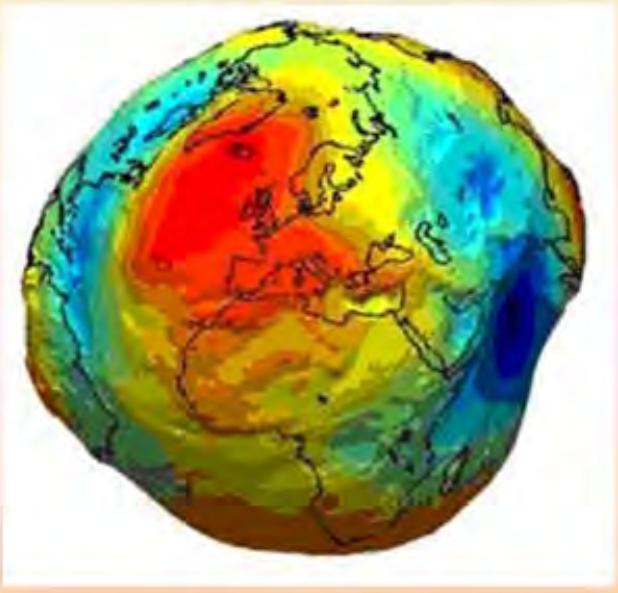


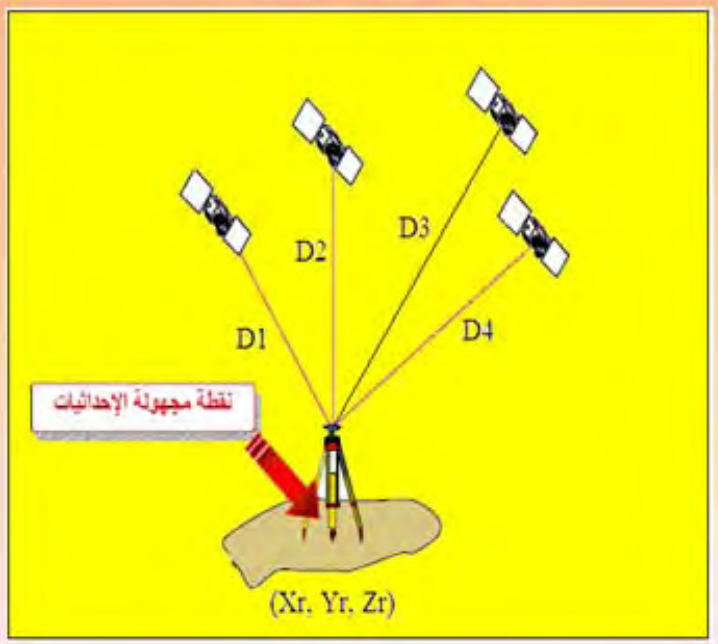
مقدمة في العلوم و التقنيات المكانية

An Introduction to Geospatial Sciences and Technologies

GPS GIS RS

د. جمعة محمد داود

١٤٣٦ هـ / ٢٠١٥



مقدمة في العلوم و التقنيات المكانية

An Introduction to Geospatial Sciences and Technologies

د. جمعة محمد داود

Gomaa M. Dawod

النسخة الأولي

١٤٣٦ هـ / ٢٠١٥ م

اتفاقية الاستخدام

هذا الكتاب وقف لله تعالى و يخضع لجميع قواعد الوقف الإسلامي مما يعني أنه يجوز لكل مسلم و مسلمة إعادة توزيعه في صورته الالكترونية أو أعاده طبعه أو تصويره **بشرط** عدم التربح منه بأي صورة من الصور أو تغيير أي شئ من محتوياته ، أما بخلاف ذلك فلابد من الحصول علي موافقة مكتوبة من المؤلف.

للإشارة إلى هذا الكتاب - كمرجع – برجاء إتباع النموذج التالي:

باللغة العربية:

داود ، جمعة محمد ، ٢٠١٥ ، مقدمة في العلوم و التقنيات المكانية، القاهرة، جمهورية مصر العربية.

باللغة الانجليزية:

Dawod, Gomaa M., 2015, An introduction to geospatial sciences and technologies (in Arabic), Cairo, Egypt.

مقدمة النسخة الأولى

بِسۡمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحۡمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ و الحمد لله العليم القدير الذي وهبني علما ووفقني في حياتي ، والصلاة والسلام علي معلم الأمم و خير البرية محمد بن عبد الله عليه الصلاة و السلام.

أدعو و أبتهل إلى مولاي و خالقي عز و جل أن يتقبل مني هذا العمل لوجهه الكريم فما أردت إلا إرضاؤه تعالى وتحقيقا لقول رسوله الكريم أن عمل ابن ادم ينقطع بعد موته إلا من ثلاث أحدهم: علم ينتفع به.

أردت أن أقدم عملا باللغة العربية عن **العلوم و التقنيات المكانية** بما يناسب طلاب المستوي الأول بالمرحلة الجامعية، فهذا ليس مرجعا شاملا، وإنما هو مقدمة فقط. والكتاب الحالي في حقيقته هو نتاج دمج ثلاثة كتب سابقة لي تناولت النظام العالمي لتحديد المواقع **GPS** ونظم المعلومات الجغرافية **GIS** و الاستشعار عن بعد **RS**، **لكن** مع بعض الاضافات الجديدة التي تؤدي الغرض من أهداف الكتاب كما يبدو من اسمه. أيضا فأن الجزء الأكبر من الكتاب يهتم بالجانب النظري لهذه العلوم و التقنيات، إلا أن الباب الأخير قد تناول أيضا تطبيقات عملية بسيطة لبرامج الكمبيوتر لهذه التقنيات و العلوم.

والكتاب الحالي هو **الثالث عشر** - بفضل الله تعالى و توفيقه - من سلسلة كتبي الرقمية المخصصة لوجه الله تعالى وابتغاء مرضاته، وهي الموجودة في العديد من مواقع شبكة الانترنت. فان كان اجتهادي قد أصاب فلي أجران و إن كنت قد أخطأت فلي أجر واحد كما في "معني" حديث رسول الله صلي الله عليه وسلم.

أدعو كل قارئ و كل مستفيد من هذا الكتاب أن يدعو الله تبارك و تعالى أن يغفر لي و لوالدي ، وأيضا ألا يحرمني من رأيه و تعليقاته وتصويباته - فلا يوجد كتاب إلا و به نواقص و أخطاء - سواء عبر البريد الالكتروني أو عبر منتدى الهندسة المساحية في:

http://surveying.ahlamontada.com/

بِسۡمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحۡمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ ..... وقل ربي زدني علما .... صدق الله العظيم.

جمعة محمد داود
dawod_gomaa@yahoo.com

مكة المكرمة (**أثناء العمرة**): رجب ١٤٣٦ هـ/ مايو ٢٠١٥ م

إهداء

إلي أساتذتي الذين أدين لهم بكل تقدير و احترام

إلى كلا من:

أ.د. أحمد عبد الستار شاكر

أ.د. دلال صبحي النجار

كتب أخري للمؤلف

١- الجيوماتكس: علم المعلوماتية الأرضية
٢- دراسات تطبيقية في الجيوماتكس
٣- المدخل إلى الخرائط
٤- المدخل إلى الخرائط الرقمية
٥- مبادئ علم نظم المعلومات الجغرافية
٦- التحليل المكاني في إطار نظم المعلومات الجغرافية
٧- مبادئ المساحة
٨- رياضيات الهندسة المساحية
٩- المدخل إلى النظام العالمي لتحديد المواقع
١٠- أسس المساحة الجيوديسية و الجي بي أس
١١- مقدمة في الصور الجوية و المرئيات الفضائية
١٢- أسس الاستشعار عن بعد

وكل هذه الكتب المجانية (بالإضافة لمواد تدريبية و ملفات تعليمية أخري) **متاحة للتحميل كاملة** في عدد كبير من مواقع شبكة الانترنت و منهم علي سبيل المثال:

- صفحتي علي موقع أكاديميا في الرابط:
http://nwrc-egypt.academia.edu/GomaaDawod

- المكتبة الرقمية المساحية المجانية في الرابط:
http://www.4shared.com/u/vJBH8xk_/__online.html

- صفحتي علي موقع جامعة أم القرى في الرابط:
http://www.uqu.edu.sa/staff/ar/4260086

بالإضافة إلي حوالي ٥٠ محاضرة فيديو علي اليوتيوب في قناتي بالرابط:

https://www.youtube.com/channel/UCcVBq89iSKrtYhxdyuQKIqA

قائمة المحتويات

صفحة

اتفاقية الاستخدام ت
مقدمة النسخة الأولي ث
الإهداء ج
قائمة المحتويات خ

الباب الأول: متطلبات أساسية ١

الفصل الأول: مقدمة ٢

١-١ مقدمة ٢
١-٢ البيانات المكانية ٢
١-٣ البنية المعلوماتية المكانية ٣
١-٤ علاقة العلوم المكانية والعلوم الأخرى ٣
١-٥ التقنيات المكانية الرئيسية ٣
١-٥-١ النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية ٣
١-٥-٢ الاستشعار عن بعد ٤
١-٥-٣ نظم المعلومات الجغرافية ٥

الفصل الثاني: الاحداثيات ٦

٢-١ مقدمة ٦
٢-٢ الاحداثيات المستطيلة ٦
٢-٣ الاحداثيات القطبية ٧
٢-٤ التحويل بين الاحداثيات المستطيلة و الاحداثيات القطبية ٧
٢-٥ الاحداثيات المستطيلة ثلاثية الأبعاد ٨
٢-٦ الاحداثيات الكروية ٩
٢-٧ الاحداثيات الاليبسويدية ١٠

الفصل الثالث: المراجع ١٢

٣-١ مقدمة ١٢
٣-٢ المراجع الجيوديسية ١٢
٣-٢-١ المراجع الأفقية ١٢
٣-٢-٢ المراجع الرأسية ١٣
٣-٣ النظم المكانية المرجعية ١٣
٣-٣-١ النظم المرجعية الهندسية الحديثة ١٤
٣-٤ التطبيقات ١٥
٣-٤-١ تطبيقات المراجع الهندسية ١٥
٣-٤-٢ تطبيقات المراجع الجهديه ١٦

تابع المحتويات **صفحة**

الفصل الرابع: تحويل الاحداثيات ٢٠

٤-١ مقدمة ٢٠
٤-٢ مفهوم الانتقال ٢٠
٤-٢-١ الانتقال ثنائي الأبعاد ٢٠
٤-٢-٢ الانتقال ثلاثي الأبعاد ٢١
٤-٣ مفهوم الدوران ٢١
٤-٣-١ الدوران ثنائي الأبعاد ٢١
٤-٣-٢ الدوران ثلاثي الأبعاد ٢٢
٤-٤ التحويل التشابهي ثلاثي الأبعاد ٢٣
٤-٥ تطبيقات تحويل الاحداثيات ٢٥
٤-٦ اسقاط الخرائط و التحويل ٢٦
٤-٦-١ مسقط ميريكاتور المستعرض ٢٨
٤-٦-١-١ تحويل الاحداثيات الجيوديسية الي الاحداثيات المسقطة ٢٨
٤-٦-١-٢ تحويل الاحداثيات المسقطة الي الاحداثيات الجيوديسية ٢٩
٤-٦-٢ مسقط لامبرت المخروطي ٣١
٤-٦-٢-١ تحويل الاحداثيات الجيوديسية الي الاحداثيات المسقطة ٣١
٤-٦-٢-٢ تحويل الاحداثيات المسقطة الي الاحداثيات الجيوديسية ٣٢

الفصل الخامس: الاشعاع الكهرومغناطيسي ٣٣

٥-١ مقدمة ٣٣
٥-٢ الطاقة الكهرومغناطيسية ٣٣
٥-٣ المجال الكهرومغناطيسي ٣٥
٥-٤ التفاعل مع الغلاف الجوي ٣٩
٥-٥ التفاعل مع الأهداف ٤١

الفصل السادس: تحليل البيانات ٤٤

٦-١ مقدمة ٤٤
٦-١ مصادر و أنواع الأخطاء ٤٤
٦-٢ مبادئ إحصائية عامة ٤٦
٦-٣ مبدأ الوزن في القياسات المكانية ٥٣
٦-٤ ضبط الشبكات ٥٩
٦-٥ الضبط بطريقة مجموع أقل المربعات ٦٠
٦-٥-١ ضبط أقل المربعات لمعادلات الرصد ٦١
٦-٥-٢ ضبط أقل المربعات للمعادلات غير الخطية ٧١
٦-٥-٣ ضبط أقل المربعات لمعادلات الشرط ٧٩
٦-٦ ضبط الشبكات بطريقة حرة ٩٠
٦-٧ تحليل نتائج ضبط الشبكات ٩٣
٦-٧-١ تحليل معامل التباين ٩٣

تابع المحتويات	صفحة

٦-٧-٢ تحليل الأرصاد الشاذة ٩٥

الباب الثاني: النظام العالمي لتحديد المواقع GPS ٩٨

الفصل السابع: مقدمة عن النظام العالمي لتحديد المواقع ٩٩

٧-١ مقدمة ٩٩
٧-٢ نبذة تاريخية ١٠١
٧-٣ مكونات نظام الجي بي أس ١٠٤
٧-٣-١ قسم الفضاء أو الأقمار الصناعية ١٠٥
٧-٣-٢ قسم التحكم و المراقبة ١٠٦
٧-٣-٣ قسم المستقبلات الأرضية ١٠٧

الفصل الثامن:اشارات و بيانات الجي بي أس ١٠٩

٨-١ مقدمة ١٠٩
٨-٢ تركيب الاشارات ١٠٩
٨-٣ أرصاد الجي بي أس ١١٠
٨-٣-١ أرصاد المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة ١١٠
٨-٣-٢ أرصاد فرق طور الإشارة الحاملة ١١٣
٨-٤ مصادر الأخطاء في قياسات الجي بي أس ١١٦
٨-٥ خطة تحديث تقنية الجي بي أس ١٢٢
٨-٦ مبدأ الفروقات في مرحلة الحسابات ١٢٤

الفصل التاسع: طرق الرصد في الجي بي أس ١٢٧

٩-١ مقدمة ١٢٧
٩-٢ طرق الرصد ١٢٧
٩-٢-١ طرق الرصد الثابتة ١٢٩
٩-٢-١-١ طريقة الرصد الثابت التقليدي ١٢٩
٩-٢-١-٢ طريقة الرصد الثابت السريع ١٣٠
٩-٢-٢ طرق الرصد المتحركة ١٣١
٩-٢-٢-١ طرق الرصد المتحرك والحساب لاحقا ١٣١
٩-٢-٢-٢ طرق الرصد المتحرك مع الحساب اللحظي ١٣٢
٩-٢-٣ مقارنة بين طرق الرصد المختلفة ١٣٣
٩-٣ حسابات خطوط القواعد لأرصاد الجي بي أس ١٣٥

الفصل العاشر: الرصد العملي بالجي بي أس ١٣٧

١٠-١ مقدمة ١٣٧
١٠-٢ التخطيط و التصميم ١٣٧

تابع المحتويات	صفحة

١٠-٢-١ أهداف المشروع و الدقة المطلوبة ١٣٧
١٠-٢-٢ اختيار أجهزة الاستقبال وبرامج الحساب ١٣٩
١٠-٢-٣ تصميم خطة الرصد ١٤٠
١٠-٢-٤ تصميم الربط علي شبكات التحكم ١٤٢
١٠-٢-٥ اختيار المرجع الجيوديسي المطلوب ١٤٤
١٠-٢-٦ اختيار مواقع النقاط وتثبيت العلامات ١٤٤
١٠-٢-٧ اختيار أنسب أوقات الرصد ١٤٥
١٠-٢-٨ اختيار أنسب طريقة للرصد ١٤٨
١٠-٢-٩ المتطلبات الأخرى ١٤٨
١٠-٣ الرصد الحقلي ١٤٩
١٠-٤ الحسابات و الضبط ١٥٣
١٠-٥ تحويل الإحداثيات ١٥٧

الفصل الحادي عشر: حسابات الجي بي أس ١٥٨

١١-١ مقدمة ١٥٨
١١-٢ عيوب الشبكات الجيوديسية في ضبط أقل المربعات ١٥٨
١١-٣ اكتشاف أخطاء الأرصاد بعد الضبط ١٥٩
١١-٤ تطبيقات ضبط أقل مجموع مربعات في أرصاد الجي بي أس ١٦١
١١-٥ الجي بي أس و الجيويد ١٦٢
١١-٥-١ ارتفاعات الجي بي أس و الجيويد ١٦٢
١١-٥-٢ طرق نمذجة الجيويد ١٦٢
١١-٥-٢-١ نمذجة الجيويد من أرصاد الجاذبية الأرضية ١٦٣
١١-٥-٢-٢ نمذجة الجيويد من أرصاد الجي بي أس و الميزانيات ١٦٤
١١-٥-٣ نماذج الجيويد العالمية ١٦٥
١١-٥-٤ نمذجة الجيويد في مشروعات الجي بي أس ١٧٠
١١-٦ خدمات الجي بي أس علي الانترنت ١٧٢
١١-٦-١ المنظمة العالمية لخدمات النظم الملاحية بالأقمار الصناعية ١٧٢
١١-٦-٢ خدمات حسابات مجانية لأرصاد الجي بي إس ١٧٤
١١-٧ نظم أخري للملاحة بالأقمار الصناعية ١٧٦

الباب الثالث: الاستشعار عن بعد ١٨٠

الفصل الثاني عشر: مقدمة عن الاستشعار عن بعد ١٨١

١٢-١ ما هو الاستشعار عن بعد؟ ١٨١
١٢-٢ الاشعاع الكهرومغناطيسي ١٨٣
١٢-٣ المجال الكهرومغناطيسي ١٨٤
١٢-٤ التفاعل مع الغلاف الجوي ١٨٨
١٢-٥ التفاعل مع الأهداف ١٩١
١٢-٦ الاستشعار الموجب و السالب ١٩٣

تابع المحتويات	صفحة

١٢-٧ خصائص المرئيات ١٩٤

الفصل الثالث عشر: الأقمار الصناعية و المستشعرات ١٩٦

١٣-١ الاستشعار من علي الأرض و من الجو و من الفضاء ١٩٦
١٣-٢ خصائص الأقمار الصناعية ١٩٧
١٣-٣ درجة الوضوح المكانية و حجم الخلية والمقياس ٢٠٠
١٣-٤ درجة الوضوح الطيفية ٢٠٢
١٣-٥ درجة الوضوح الراديومترية ٢٠٤
١٣-٦ درجة الوضوح المؤقتة/الزمنية ٢٠٥
١٣-٧ الكاميرات و التصوير الجوي ٢٠٨
١٣-٨ المسح متعدد الأطياف ٢١٢
١٣-٩ التصوير الحراري ٢١٤
١٣-١٠ التشوه الهندسي في المرئيات ٢١٥
١٣-١١ أقمار و مستشعرات الطقس ٢١٧
١٣-١٢ أقمار و مستشعرات أرصاد الأرض ٢٢١
١٣-١٣ أقمار و مستشعرات الارصاد البحرية ٢٣٠
١٣-١٤ مستشعرات أخري ٢٣٣
١٣-١٥ استقبال و بث و معالجة البيانات ٢٣٤

الفصل الرابع عشر: تحليل المرئيات ٢٣٥

١٤-١ مقدمة ٢٣٥
١٤-٢ عناصر التفسير البصري ٢٣٥
١٤-٣ المعالجة الرقمية للمرئيات ٢٣٩
١٤-٤ المعالجة الأولية ٢٤١
١٤-٥ تحسين المرئية ٢٤٥
١٤-٦ تحويل المرئية ٢٤٨
١٤-٧ تصنيف و تحليل المرئيات ٢٥٠
١٤-٨ دمج و تكامل و تحليل البيانات ٢٥٢

الفصل الخامس عشر: تطبيقات الاستشعار عن بعد ٢٥٦

١٥-١ مقدمة ٢٥٦
١٥-٢ تطوير الخرائط ٢٥٦
١٥-٣ تطبيقات زراعية ٢٥٩
١٥-٤ تطبيقات مراقبة ازالة الغابات ٢٦١
١٥-٥ تطبيقات جيولوجية ٢٦٢
١٥-٦ تطبيقات هيدرولوجية ٢٦٣
١٥-٧ تطبيقات غطاءات و استخدامات الأرض ٢٦٤
١٥-٨ تطبيقات مراقبة المحيطات و الشواطئ ٢٦٥

تابع المحتويات	صفحة

الباب الرابع: نظم المعلومات الجغرافية GIS	٢٦٧
الفصل السادس عشر: مقدمة عن نظم المعلومات الجغرافية	٢٦٧
١٦-١ لماذا الاهتمام بنظم المعلومات الجغرافية؟	٢٦٧
١٦-٢ نظم المعلومات الجغرافية أم المكانية؟	٢٦٩
١٦-٣ ماهية نظم المعلومات الجغرافية؟ أداة أم تقنية أم علم؟	٢٧٠
١٦-٤ نظرة تاريخية لتطور نظم المعلومات الجغرافية	٢٧٤
١٦-٥ مكونات نظم المعلومات الجغرافية	٢٧٦
١٦-٦ مميزات نظم المعلومات الجغرافية	٢٧٨
١٦-٧ تطبيقات علم نظم المعلومات الجغرافية	٢٧٩
١٦-٧-١ تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في الخدمات الحكومية	٢٨٠
١٦-٧-٢ تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في الخدمات التجارية	٢٨٢
١٦-٧-٣ تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في النقل و المواصلات	٢٨٣
١٦-٧-٤ تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في مجال البيئة	٢٨٤
الفصل السابع عشر: التمثيل الجغرافي و طبيعة البيانات المكانية	٢٨٦
١٧-١ مقدمة	٢٨٦
١٧-٢ التمثيل الرقمي	٢٨٦
١٧-٣ التمثيل الجغرافي	٢٨٧
١٧-٤ خصائص التمثيل الجغرافي	٢٨٧
١٧-٤-١ الأهداف المنفصلة والمجالات المتصلة	٢٨٩
١٧-٤-٢ البيانات الخطية و البيانات الشبكية	٢٩٠
١٧-٥ الخرائط الورقية	٢٩٣
١٧-٦ التعميم	٢٩٤
١٧-٧ طبيعة البيانات الجغرافية	٢٩٦
١٧-٨ الارتباط المكاني	٢٩٧
١٧-٩ اختيار العينة المكانية	٢٩٨
١٧-١٠ تأثير الُبعد أو مسافة التأثير	٢٩٩
١٧-١١ قياس تأثير المسافة كارتباط مكاني	٣٠١
١٧-١٢ التبعية بين الظاهرات المكانية	٣٠٣
١٧-١٢ التغيرات الفجائية في البيانات الجغرافية	٣٠٥
١٧-١٣ دقة و جودة تمثيل العالم الحقيقي	٣٠٦
١٧-١٤ عدم اليقين في إدراك الظاهرات المكانية	٣٠٦
١٧-١٥ عدم اليقين في قياس و تمثيل الظاهرات المكانية	٣٠٨
الفصل الثامن عشر: البيانات وقواعد المعلومات الجغرافية	٣١٢
١٨-١ نمذجة البيانات الجغرافية	٣١٢
١٨-٢ نماذج بيانات نظم المعلومات الجغرافية	٣١٣

تابع المحتويات **صفحة**

١٨-٢-١ نماذج التصميم بالكمبيوتر و الرسومات و الصور ٣١٤
١٨-٢-٢ نموذج البيانات الشبكية ٣١٤
١٨-٢-٣ نموذج البيانات الخطية ٣١٥
١٨-٢-٤ نموذج بيانات الشبكات ٣١٨
١٨-٢-٥ نموذج بيانات شبكات المثلثات غير المنتظمة ٣١٨
١٨-٢-٦ نموذج بيانات الأهداف ٣١٩
١٨-٣ نمذجة البيانات الجغرافية ٣٢٠
١٨-٤ تجميع بيانات نظم المعلومات الجغرافية ٣٢١
١٨-٥ الطرق الأساسية لتجميع البيانات ٣٢٢
١٨-٥-١ الحصول علي البيانات الشبكية ٣٢٢
١٨-٥-٢ الحصول علي البيانات الخطية ٣٢٤
١٨-٦ الطرق الثانوية لتجميع البيانات ٣٢٥
١٨-٦-١ الحصول علي البيانات الشبكية بالمسح الضوئي ٣٢٦
١٨-٦-٢ الطرق الثانوية للحصول علي البيانات الخطية ٣٢٦
١٨-٧ الحصول علي البيانات من مصادر خارجية ٣٢٨
١٨-٨ انشاء و صيانة قواعد البيانات الجغرافية ٣٢٨
١٨-٩ نظم إدارة البيانات ٣٢٩
١٨-١٠ تخزين البيانات في جداول قواعد البيانات ٣٣٠
١٨-١١ لغة الاستعلام **SQL** ٣٣٢
١٨-١٢ أنواع ووظائف قواعد البيانات الجغرافية ٣٣٣
١٨-١٣ تصميم قواعد البيانات الجغرافية ٣٣٥
١٨-١٤ نظم المعلومات الجغرافية التوزيعية ٣٣٦
١٨-١٥ توزيع البيانات ٣٣٧
١٨-١٦ نظم المعلومات الجغرافية المحمولة ٣٣٨
١٨-١٧ برامج نظم المعلومات الجغرافية ٣٤٢
١٨-١٧-١ تطور برامج نظم المعلومات الجغرافية ٣٤٢
١٨-١٧-٢ أساليب بناء برامج نظم المعلومات الجغرافية ٣٤٣
١٨-١٧-٣ البناء الثلاثي لبرامج نظم المعلومات الجغرافية ٣٤٤
١٨-١٧-٤ التخصيص في برامج نظم المعلومات الجغرافية ٣٤٦
١٨-١٧-٥ منتجي برامج نظم المعلومات الجغرافية ٣٤٧
١٨-١٨ أنواع برامج نظم المعلومات الجغرافية ٣٤٧
١٨-١٩ نظم المعلومات الجغرافية الديناميكية ٣٤٩

الفصل التاسع عشر: الخرائط و التحليل و النمذجة في نظم المعلومات الجغرافية ٣٥١

١٩-١ الكارتوجرافيا و انتاج الخرائط ٣٥١
١٩-١-١ مقدمة ٣٥١
١٩-١-٢ الخرائط و الكارتوجرافيا ٣٥٢
١٩-١-٣ أسس تصميم الخرائط ٣٥٤
١٩-١-٤ مجموعات الخرائط ونظم المعلومات الجغرافية ٣٥٨

تابع المحتويات **صفحة**

١٩-٢ التصور الجغرافي ٣٥٩
١٩-٢-١ مقدمة ٣٥٩
١٩-٢-٢ التصور الجغرافي و الاستعلام المكاني ٣٥٩
١٩-٢-٣ التصور الجغرافي و تحويل صور البيانات ٣٦١
١٩-٣ التصور الجغرافي و نظم المعلومات الجغرافية للجمهور ٣٦٢
١٩-٤ الاستعلام و القياس و التحويل ٣٦٣
١٩-٤-١ مقدمة: ما هو التحليل المكاني؟ ٣٦٣
١٩-٤-٢ الاستعلام ٣٦٤
١٩-٤-٣ القياسات ٣٦٦
١٩-٤-٤ التحويلات ٣٦٨
١٩-٥ التلخيص الوصفي و التصميم و الاستنتاج ٣٧٣
١٩-٥-١ مقدمة: المزيد من التحليل المكاني؟ ٣٧٣
١٩-٥-٢ التخليص الوصفي ٣٧٣
١٩-٥-٣ قياس الأنماط: البيانات المكانية للنقاط ٣٧٥
١٩-٥-٤ قياس الأنماط: البيانات غير المكانية للنقاط ٣٧٦
١٩-٦ الموقع الأمثل ٣٧٦
١٩-٦ -١ أفضل موقع لنقطة ٣٧٧
١٩-٦ -٢ أفضل مسار ٣٧٧
١٩-٦ -٤ الاختبارات الإحصائية ٣٧٨
١٩-٧ النمذجة المكانية ٣٧٩
١٩-٧-١ مقدمة ٣٧٩
١٩-٧ -٢ أنواع النماذج ٣٨٠
١٩-٧-٣ تقنيات النمذجة ٣٨٤
١٩-٧ -٤ الطرق متعددة المعايير ٣٨٥
١٩-٧-٥ الدقة و الفعالية: اختبار النماذج ٣٨٦
١٩-٨ ادارة نظام معلومات جغرافي ٣٨٦
١٩-٨-١ مقدمة: النظرة العامة ٣٨٦
١٩-٨-٢ عملية تطوير نظام معلومات جغرافي قابل للاستدامة ٣٨٨
١٩-٨-٣ فريق العمل قي نظام معلومات جغرافي قابل للاستدامة ٣٩١
١٩-٩ نظم المعلومات الجغرافية و الادارة و الاقتصاد المعرفي ٣٩٢
١٩-٩-١ الإدارة ونجاح نظم المعلومات الجغرافية ٣٩٢
١٩-٩-٢ مهارات العاملين في نظم المعلومات الجغرافية ٣٩٣
١٩-٩-٣ نظم المعلومات الجغرافية والتنمية المستدامة ٣٩٣
١٩-٩-٤ اقتصاد المعرفة و نظم المعلومات الجغرافية ٣٩٤

تابع المحتويات	صفحة

الباب الخامس: تطبيقات عملية فى برامج العلوم المكانية **GPS, RS, GIS Tutorials**	٣٩٧
الفصل العشرون: تدريب عملي لبرنامج GPS	٣٩٨
٢٠-١ اختيار أنسب أوقات الرصد	٣٩٨
٢٠-٢ حسابات خطوط القواعد	٤٠٣
٢٠-٢-١ الحسابات بعناصر البرنامج نفسه	٤٠٨
٢٠-٢-٢ الحسابات بعناصر منتقاة	٤١٢
٢٠-٢-٣ الحسابات بمدارات دقيقة	٤١٨
٢٠-٢-٣-١ الحصول علي ملفات المدارات الدقيقة	٤١٨
٢٠-٢-٣-٢ الحساب باستخدام ملفات المدارات الدقيقة	٤٢٢
٢٠-٣ ضبط الشبكات	٤٢٧
٢٠-٣-١ الضبط الحر للشبكات	٤٢٧
٢٠-٣-٢ الضبط النهائي للشبكات	٤٣٤
٢٠-٣-٣ الربط علي الشبكة العالمية	٤٣٦
٢٠-٤ تحويل الإحداثيات للمرجع المحلي	٤٤٢
٢٠-٤-١ تحديد المرجع الوطني	٤٤٢
٢٠-٤-٢ تحويل الإحداثيات	٤٤٦
٢٠-٥ حسابات الرفع التفصيلي	٤٤٩
الفصل الحادي والعشرون: تدريب عملي لبرنامج RS	٤٥٣
٢١-١ عرض البيانات	٤٥٣
٢١-٢ تنظيم البيانات	٤٥٨
٢١-٣ انتاج الخرائط	٤٦٢
٢١-٤ تصنيف الصور	٤٦٦
٢١-٥ التصنيف الموجه للصور	٤٧٠
٢١-٦ تصحيح الصور	٤٧٥
٢١-٧ التحسين الطيفي للصور	٤٨٣
الفصل الثاني والعشرون: تدريب عملي لبرنامج GIS	٤٩٠
٢٢-١ برنامج Arc GIS	٤٩٠
٢٢-٢ الإرجاع الجغرافي	٤٩٦
٢٢-٢-١ برنامج Arc Map	٤٩٦
٢٢-٢-٢ إضافة بيانات إلي مشروع Arc Map	٤٩٧
٢٢-٢-٣ خطوات الإرجاع الجغرافي لصورة	٥٠٠
٢٢-٢-٤ حفظ و تقييم دقة الإرجاع الجغرافي لصورة	٥٠٦
٢٢-٢-٥ تطوير نسخة مرجعة جغرافيا من الصورة الأصلية	٥٠٨
٢٢-٢-٦ ملاحظات أخري عن الإرجاع الجغرافي	٥١٢

تابع المحتويات **صفحة**

٢٢-٣ إنشاء الطبقات ٥١٧
٢٢-٣-١ برنامج Arc Catalogue ٥١٧
٢٢-٣-٢ إنشاء طبقة جديدة ٥٢٠
٢٢-٣-٣ نسخ طبقة ٥٣١
٢٢-٤ الترقيم أو رسم مظاهر الخريطة ٥٣١
٢٢-٤-١ ترقيم المضلعات ٥٣٢
٢٢-٤-٢ ترقيم الخطوط ٥٤٩
٢٢-٤-٣ ترقيم النقاط ٥٥٤
٢٢-٥ فتح عدة طبقات في مشروع واحد ٥٥٦
٢٢-٦ قاعدة البيانات غير المكانية ٥٥٨
٢٢-٧ إخراج الخريطة ٥٦٧
٢٢-٧-١ إضافة عنوان الخريطة ٥٦٩
٢٢-٧-٢ إضافة اتجاه الشمال للخريطة ٥٧٠
٢٢-٧-٣ إضافة مقياس رسم الخريطة ٥٧١
٢٢-٧-٤ إضافة مفتاح الخريطة ٥٧٢
٢٢-٧-٥ إضافة شبكة إحداثيات الخريطة ٥٧٤
٢٢-٧-٦ إضافة معلومات مسقط الخريطة ٥٨٠
٢٢-٨ الخرائط الموضوعية ٥٨٤
٢٢-٨-١ الترميز النوعي ٥٨٤
٢٢-٨-٢ الترميز الكمي ٥٩٨
٢٢-٨-٣ الترميز بالرسوم البيانية ٦٠٩
٢٢-٨-٤ التوزيع المتعدد ٦١٥

المراجع ٦١٧

نبذة عن المؤلف ٦٢١

الباب الأول

متطلبات أساسية

الفصل الأول

مقدمة

١-١ مقدمة

يتناول هذا الكتاب ثلاثة من العلوم و التقنيات المكانية geospatial sciences and technologies وهي النظام العالمي لتحديد المواقع GPS ونظم المعلومات الجغرافية GIS والاستشعار عن بعد RS، وهي التي تشكل معا ما يطلق عليه مصطلح علوم المعلومات المكانية geospatial information sciences. ويقدم الباب الأول من الكتاب الأسس الرياضية و الاحصائية و الفيزيقية لهذه الفروع من المعرفة disciplines لفهمها وتطبيقها في تجميع المعلومات و تحليلها بهدف تطوير الخرائط للمشروعات بكافة أنواعها. ثم يلي ذلك الأبواب الثلاثة التي تتناول بالتفصيل هذه العلوم و التقنيات المكانية. وفي الباب الخامس يتم تقديم تدريبا عمليا بسيطا لبرامج هذه التخصصات الثلاثة.

١-٢ البيانات المكانية

يطلق اسم البيانات المكانية geospatial data علي بيانات الأهداف الظاهرة علي الخرائط أو الممثلة داخل قواعد البيانات الرقمية وهي البيانات التي تكون مرتبطة بمعالم سطح الأرض من خلال الاحداثيات أو العناوين أو أي وسيلة أخري. كما تسمي هذه البيانات أيضا بالبيانات الفراغية spatial data أو البيانات الجغرافية geographic data. وغالبا فأن ٨٠% من كل البيانات التي نتعامل معها هي بيانات مكانية. فعنوان أي منزل أو منشأة هو بيان مكاني بصورة أو بأخرى سواء اشتمل علي الاحداثيات أو تكون من عنوان وصفي. أما ميزانية شركة فتعد مثالا للبيانات غير المكانية.

يتم الحصول علي البيانات المكانية من خلال ترقيم digitizing الخرائط الورقية، طرق وتقنيات المساحة الأرضية التقليدية، طرق تحديد الاحداثيات المتقدمة مثل النظام العالمي لتحديد المواقع GPS. كما يمكن الحصول علي البيانات المكانية باستخدام الاستشعار عن بعد سواء من المنصات المحمولة جوا (الطائرات) أو المنصات الفضائية (الأقمار الصناعية). وبعد الحصول علي هذه البيانات المكانية فيجب تنظيمها و تحليلها و استخدامها، وهنا يبرز دور نظم المعلومات الجغرافية GIS بتوفيرها لإمكانيات كبيرة في تنظيم البيانات في قواعد معلومات databases وإمكانيات الاستعلام عن البيانات query من خلال برامج الكمبيوتر. وتتكون عملية تجميع و تحليل البيانات وحتى الوصول الي طرق تساعد في اتخاذ القرار من ثلاثة مراحل: (١) الحصول علي البيانات، (٢) معالجة و تحليل البيانات، (٣) توزيع البيانات. وهذا الكتاب يستعرض تفاصيل المرحلتين الأوليتين دون التعرض للمرحلة الثالثة الخاصة بعملية توزيع و اتاحة البيانات،

١-٣ البنية المعلوماتية المكانية

يمكن القول أننا فعلا في منتصف عصر المعلومات information age، ونتيجة هذا القول أننا في حاجة لتجميع و معالجة و صيانة و توزيع البيانات المكانية و غير المكانية. وفي الولايات المتحدة الأمريكية تم تعريف عملية (وليس منظمة) تعرف باسم البنية المعلوماتية المكانية الوطنية National Spatial Data Infrastructure (أو اختصارا NSDI) وهي عملية تتكون من الناس و السياسات و المعلومات و التقنيات و الجهات التي تدعم استخدام البيانات المكانية بهدف تحسين المجتمع. ثم تم بعد ذلك تعميم هذا المصطلح ليصبح البنة المعلوماتية المكانية Spatial Data Infrastructure (أو اختصارا SDI) ليشمل البنية المعلوماتية العالمية أيضا. وفي هذا الاطار يأتي هذا الكتاب ليغطي التقنيات الثلاثة الرئيسية المستخدمين في البنية المعلوماتية المكانية حيث أنهم يمكنونا من تجميع و معالجة و تحليل هذه البيانات المكانية.

١-٤ علاقة العلوم المكانية والعلوم الأخرى

في قلب العلوم المكانية تأتي علوم الرياضيات و علوم الكمبيوتر و الفيزياء و الهندسة. وطبقا لعمق الدراسة و متطلباتها فأن مستخدم العلوم المكانية قد يجد من المفيد له الالمام بعلوم مثل الخرائط و المساحة و الجيوديسيا و الجغرافيا و الجيولوجيا. وفي كل مجال من المجالات الثلاثة الرئيسية للعلوم المكانية فهناك بعض العلوم الأخرى التي يجب أن يتعلمها (أو يلم بها جيدا) كل متخصص في أحد هذا المجالات طبقا للجدول التالي:

العلم المكاني	العوم الأخرى المطلوب دراستها (بترتيب تقريبي طبقا للأهمية)
نظم المعلومات الجغرافية GIS	الكمبيوتر، الجغرافيا، الخرائط، المساحة
النظام العالمي لتحديد المواقع GPS	الجيوديسيا، الرياضيات، الفيزياء، المساحة، ميكانيكا الأجرام السماوية
الاستشعار عن بعد RS	الفيزياء، الرياضيات، الكمبيوتر، الهندسة، الجيولوجيا، الأحياء.

١-٥ التقنيات المكانية الرئيسية

١-٥-١ النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية

لم تؤثر أي تقنية في علوم المساحة و الخرائط و الجيوديسيا مثلما أثرت تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع Global Positioning System (أو اختصارا GPS). ومن المتوقع في خلال العقد الثاني من القرن الحادى و العشرين أننا سندخل مرحلة تعدد النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية Global Navigation Satellite Systems (أو اختصارا GNSS) حيث ستكون هناك تقنيات أخري بخلاف GPS متاحة في هذا المجال. فمصطلح النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية يشمل النظام الأمريكي GPS والروسي GLONASS و الأوروبي Galileo والصيني COMPASS. ومن أهم مميزات GPS (وكل نظم GNSS) التي لم تتوافر في طرق

المساحة التقليدية أنها لا تحتاج لرؤية مباشرة line of sight بين النقاط المرصودة، وهذا عامل مهم جدا في فهم كيف أثرت تقنية GPS علي مجتمعات العلوم المكانية.

منذ السبعينات من القرن العشرين الميلادي فأن GPS مستخدم في تطبيقات المساحة و الخرائط، عندما كانت فاترة الرصد المتاحة بهذه الأقمار الصناعية عبارة عن عدة ساعات فقط يوميا. وحتى في هذا الوقت المبكر فقد تم تأكيد امكانية الوصول الي دقة السنتيمتر للخطوط الطويلة (مئات الكيلومترات). وفي بداية الثمانينات كان مستخدمو GPS يواجهون عدة مشكلات: ارتفاع أسعار الأجهزة، التغطية المكانية الأرضية الضعيفة اللأقمار الصناعية مما كان يتطلب وقت رصد طويل عند كل نقطة مساحية، الامكانيات التقنية للأجهزة ذاتها. أما اليوم فأنه من الممكن الوصول الي دقة السنتيمتر لمسافات تقدر بعشرات الكيلومترات وبصورة لحظية أو آنية. أما أجهزة GPS المخصصة للمساحة و الخرائط فقد شهدت ثورة كبيرة في امكانياتها التقنية و سهولة استخدامها وأيضا تراجعا كبيرا في أسعارها. ومن ثم فقد انتشرت تطبيقات و استخدامات GPS في المساحة و الخرائط لتشمل مجالات الطرق والتخطيط و التخطيط العمراني و مراقبة التحركات الأرضية ومراقبة ثبات المنشئات الضخمة (مثل السدود و الخزانات و الكباري ...الخ) و كافة المشروعات المدنية و شبكات البنية التحتية (مثل الكهرباء و المياه و الصرف الصحي ...الخ). بل أن تطبيقات GPS اللحظية real-time أصبحت متاحة في مجالات توجيه و التحكم في الآلات مثل ماكينات الحفر و الماكينات الزراعية. كما أن GPS أصبح التقنية الرئيسية في الارجاع الجغرافي georeferencing للصور الجوية و المرئيات الفضائية.

١-٥-٢ الاستشعار عن بعد

تعود ممارسة الاستشعار عن بعد الي مائة عام (تقريبا) مضت، ففي الحرب العالمية الأولي تم الدمج بين الطائرة و الكاميرا لتتوافر امكانية تصوير سطح الأرض من الجو. ومع بداية السبعينات من القرن العشرين الميلادي أصبح الحصول علي هذه الصور يتم من منصات الأقمار الصناعية بالإضافة للطائرات. واليوم فقد تم دمج تقنيات الاستشعار عن بعد مع كلا من GPS و نظم المعلومات الجغرافية لتوفير نظم لها امكانيات هائلة من حيث الدقة المكانية. أيضا فأن التغطية العالمية لمرئيات بعض أقمار الاستشعار عن بعد تسمح لنا بدراسة تأثير عمليات سطح الأرض والتغير في استخدامات الأرض و نماذج الطقس. أما المرئيات عالية الوضوح المكاني فتوفر لنا التفاصيل اللازمة لنظم التخطيط العمراني و مراقبة الأنشطة الزراعية ومتابعة و تقييم آثار الكوارث الطبيعية بل وإدارة موارد الأنشطة الأهلية. أيضا فأن المرئيات متوسطة الوضوح المكاني (مثل مرئيات لاندسات) فتوفر لنا بصورة روتينية و متكررة كما متوسطا من التفاصيل، مما يسمح لنا بدراسة العمليات الهيدرولوجية و أنماط الموارد الطبيعية و متابعة نمو المناطق العمرانية.

وحتى للمستخدم البسيط للانترنت فأنه قد يكون معتادا علي نظم مثل الجوجل ايرث الذي يستخدم المرئيات الفضائية كخلفية لتطبيقات متعددة مثل الملاحة و تحليل مواقع العقارات و التسوق و تخطيط الخدمات الصحية وعمليات السلامة العامة. أي أن مثل هذه النظم و التطبيقات الحديثة قد غيرت جلبت مرئيات الاستشعار عن بعد من المجال الأكاديمي واستخدامات المتخصصين فقط الي مجالات أوسع للعامة و لغير المتخصصين وفي نطاق واسع من التطبيقات. بل أن الانترنت قد

فتحت مجال الوصول الي المرئيات بسهولة وأحيانا مجانا وأيضا الحصول علي مواد تدريبية تقنية للتعامل مع هذه المرئيات و استخدامها، مما جعل مجال الاستشعار عن بعد أصبح أكثر اتساعا.

١-٥-٣ نظم المعلومات الجغرافية

قبل الستينات من القرن العشرين الميلادي لم تكن هناك طرق ذات كفاءة لإدارة الموارد الطبيعية و البشرية الموجودة في مناطق شاسعة من الأرض. ثم تلا ذلك زيادة كبيرة في امكانيات الكمبيوتر خاصة الامكانيات الرسومية graphics، أما الان فأن نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems (أو اختصارا GIS) يتم استخدامها وبكثافة في تنفيذ التحليلات المكانية للعديد من الموارد وفي نطاق واسع جدا من التطبيقات الهندسية و البيئية و التنموية بصفة عامة. ولنأخذ مثالا بسيطا لفهم كيف يمكن استخدام GIS لنفع المجتمع فلنأخذ في اعتبارنا التحليل الديوموجرافي لمعدلات زيادة الجريمة. فمن هذه النتائج يمكن عمل خرائط للمناطق التي تشهد ارتفاعا في معدلات الجريمة، ومن ثم يمكن زيادة عدد الدوريات الشرطية في هذه المناطق.

بصورة أساسية يمكن اعتبار GIS ناتجا من دمج قواعد البيانات والإمكانيات الرسومية أو الخرائطية. وتطورت نظم المعلومات الجغرافية تطورا كبيرا اعتمادا علي التطورات التقنية التي حدثت مؤخرا في المناطق المركزية لها مثل تقنيات الحصول علي البيانات المكانية و التوسع الهائل في طرق ادارة و نمذجة هذه البيانات بالإضافة لتطور تقنيات عرض visualizing البيانات و العمليات المكانية. أيضا فأن تطورات كبيرة قد حدثت في مجالات تطبيقية مثل نظم المعلومات الجغرافية المحمولة Mobile GIS حيث أمكن وضع جهاز GPS و برنامج GIS في الأجهزة المحمولة مثل الموبايلات (أي الجوالات)، وأيضا نظم المعلومات الجغرافية للمشاركة العامة Public Participant GIS (أو اختصارا PPGIS). ومع تطبيقات مثل الجوجل ايرث فقد أصبح متاحا التعامل مع البيانات المكانية علي مستوي عالمي و ليس محليا فقط.

الفصل الثاني

الاحداثيات

٢-١ مقدمة

يتناول هذا الفصل أسس الاحداثيات coordinates و نظم الاحداثيات coordinate systems الشائعة الاستخدام في العلوم المكانية الثلاثة التي يتناولها هذا الكتاب.

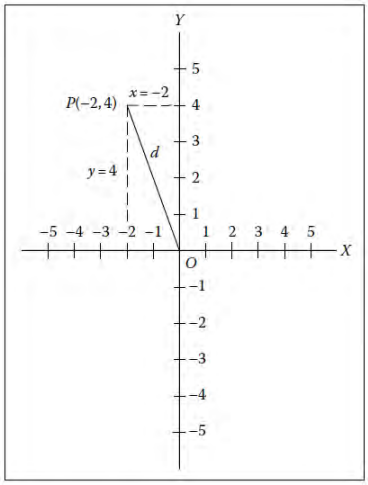
٢-٢ الاحداثيات المستطيلة

في الشكل التالي خطين مستقيمين OX و OY يتقاطعان في زاوية قائمة، وعلي كل خط سننشأ مقياس بدءا من النقطة O كمركز. تزداد الأرقام الموجبة باتجاه اليمين علي الخط الأفقي OX وتزداد في الاتجاه الأعلى علي الخط الرأسي OY. وبالنظر لموقع النقطة P في مستوي هذين المحورين فأن المسافة من محور y (أي الخط OY) سيركز لها بالرمز x بينما المسافة من محور x سيرمز لها بالرمز x، وهاتين المسافتين معا x,y سيسميان الاحداثيات المستطيلة rectangular coordinates للنقطة P. أي أن النقطة P هنا ستكون احداثياتها (-٢،٤). ويمكن حساب من هذه النقطة الي نقطة المركز (أي المسافة OP) ولنسميها d كالتالي:

$$d = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{-4^2 + 2^2} == \sqrt{20}$$

وبصورة عامة فأن المسافة بين أي نقطتين i و j يمكن حسابها بالمعادلة:

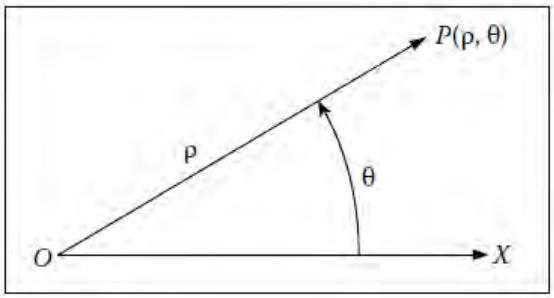
$$d = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$$



شكل (٢-١) الاحداثيات المستطيلة

٢-٣ الاحداثيات القطبية

في نظام الاحداثيات القطبية polar coordinates يتم ارجاع موقع نقطة بالنسبة لمسافتها من موقع نقطة ثابتة واتجاهها orientation من خط ثابت. ففي الشكل التالي فأن النقطة O هي النقطة الثابتة التي يطلق عليها مصطلح القطب pole، والخط OX هو الخط الثابت المسمي المحور القطبي polar axis. وهنا فأن احداثيات النقطة P ستكون: المسافة من هذه النقطة الي نقطة القطب (أي المسافة OP أو ρ) والزاوية المقاسة في اتجاه عكس حركة عقارب الساعة counterclockwise التي يصنعها الخط OP مع المحور القطبي (أي الزاوية θ وتنطق "ثيتا"). أي أن احداثيات النقطة P ستكون (ρ,θ). وفي حالة قياس الزاوية θ في اتجاه حركة عقارب الساعة clockwise فأنها ستكون زاوية سالبة. أي أنه من الممكن أن تكون الاحداثيات القطبية علي هيئة (٣ ، ٦٠°) أو (-٣ ، ٦٠°) أو (٣ ، -٦٠°).



شكل (٢-٢) الاحداثيات القطبية

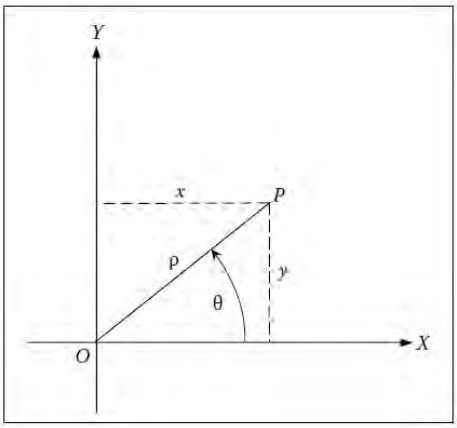
٢-٤ التحويل بين الاحداثيات المستطيلة و الاحداثيات القطبية

بالنظر للشكل التالي فيمكن ايجاد العلاقة بين نظامي الاحداثيات المستطيلة و القطبية كالتالي:

$$x = \rho \cos\theta$$
$$y = \rho \sin\theta$$

وأيضا:

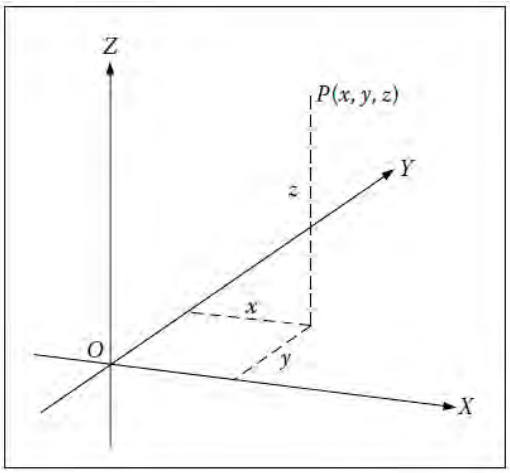
$$\rho = \pm\sqrt{x^2 + y^2}$$
$$\theta = \tan^{-1}(y/x)$$



شكل (٢-٣) العلاقة بين الاحداثيات المستطيلة و الاحداثيات القطبية

٢-٥ الاحداثيات المستطيلة ثلاثية الأبعاد

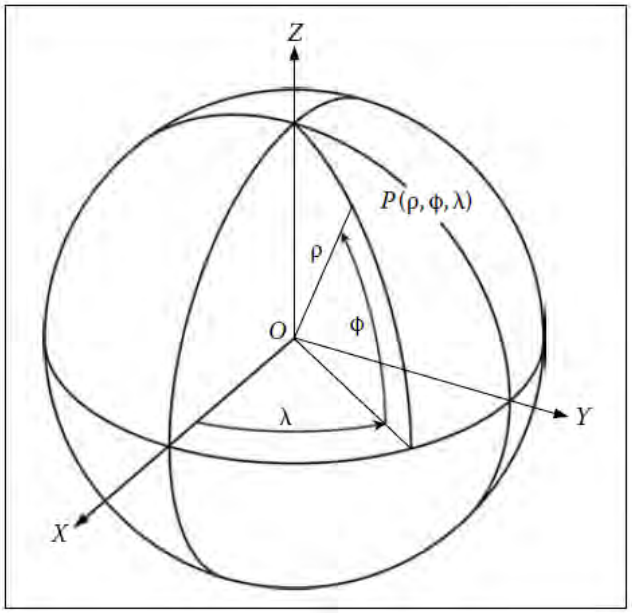
لتحديد موقع نقطة في الفراغ فيلزمنا احداثيات ثلاثية الأبعاد. في الشكل التالي يوجد ثلاثة مستويات متعامدة تتقاطع معا في الخطوط OX, OY, OZ، أي أن هذه الخطوط الثلاثة متعامدة أيضا. وتسمي هذه المستويات بمستويات الاحداثيات coordinate planes (مستوي xy، مستوي xz، مستوي yz)، بينما تسمي الخطوط الثلاثة بمحاور الاحداثيات coordinate axis (محور x، محور y، محور z)، بينما النقطة O هي نقطة الأصل أو المركز origin. وفي نظام الاحداثيات المستطيلة ثلاثية الأبعاد 3D coordinates فأن النقطة P يتم تحديد احداثياتها (x,y,z) من خلال المسافات العمودية الثلاثة منها الي مستويات الاحداثيات.



شكل (٢-٤) الاحداثيات المستطيلة ثلاثية الأبعاد

٢-٦ الاحداثيات الكروية

يمكن تحديد موقع نقطة في الفراغ من خلال: (١) المسافة OP أو ρ : طول الخط من النقطة الي نقطة المركز origin، (٢) الزاوية ϕ التي يصنعها هذا الخط مع مستوي xy، (٣) الزاوية λ من محور x الي مسقط هذا الخط في مستوي xy. ومن ثم فأن الاحداثيات (ρ,ϕ, λ) تسمي الاحداثيات الكروية spherical coordinates.



شكل (٢-٥) الاحداثيات الكروية

والعلاقة بين الاحداثيات المستطيلة ثلاثية الأبعاد و الاحداثيات الكروية تتمثل في:

$$x = \rho \cos\phi \cos\lambda$$
$$y = \rho \cos\phi \sin\lambda$$
$$z = \rho \sin\phi$$

يمكن للقارئ أن يتعرف علي الزاويتين (ϕ, λ) فهما دائرة العرض latitude و خط الطول longitude المعروفين في الخرائط و الملاحة.

٢-٧ الاحداثيات الاليبسويدية

وجد العلماء أن أفضل تمثيل لسطح الأرض هو الناتج عن دوران الاليبس أو الشكل البيضاوي أو القطع الناقص (شكل ٢-٦) حول محوره الأصغر (أو الأقصر) b. ويكون الشكل المجسم الناتج عن هذا الدوران هوة ما يعرف باسم اليبسويد الدوران ellipsoid of revolution أو اختصارا اليبسويد. ويتم تعريف الاليبسويد من خلال: (١) a قيمة نصف المحور الأكبر semi-major axis، (٢) b قيمة نصف المحور الأكبر semi-minor axis. وعلي سبيل المثال فأن الاليبسويد العالمي المرجعي reference ellipsoid المسمي GRS80 له قيم تبلغ: a = 6378137.0 m, b = 6356752.314 m.

أما معادلة الاليبسويد فتتمثل في:

$$\frac{x^2 + y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1$$

ولتسهيل بعض الحسابات علي الاليبسويد فيتم تعريف قيمتين هما:

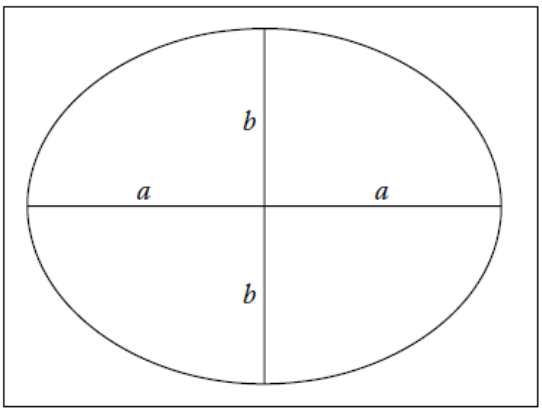
f : التفلطح flattening

e : المركزية الأولي first eccentricity

ويتم حساب هاتين القيمتين كالتالي:

$$f = \frac{a - b}{a}$$

$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} = \sqrt{2f - f^2}$$



شكل (٢-٦) الاليبس

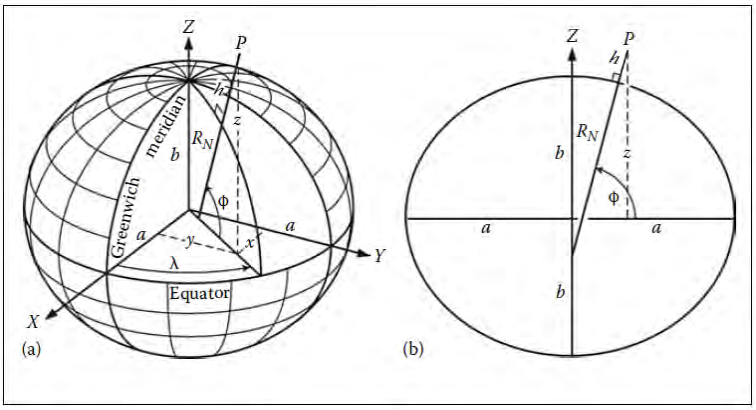
تمثل المعادلات التالية العلاقة بين الاحداثيات المستطيلة و الاحداثيات الاليبسويدية (شكل ٢-٧ a وشكل ٢-٧b الذي يمثل مقطعا في الاليبسويد):

$$x = (R_N + h)\cos\phi\cos\lambda$$
$$y = (R_N + h)\cos\phi\sin\lambda$$
$$z = (\frac{b^2}{a^2}R_N + h)\sin\phi$$

حيث:

$$R_N = \frac{a^2}{(a^2\cos^2\phi + b^2\sin^2\phi)^{1/2}} = \frac{a}{(1 - e^2\sin^2\phi)^{1/2}}$$

ويسمي R_N بنصف قطر التفلطح في المستوي الرئيسي radius of curvature in the prime vertical.



شكل (٢-٧) الاحداثيات الاليبسويدية

الفصل الثالث

المراجع

٣-١ مقدمة

يتناول هذا الفصل مفهوم المراجع datums (أو المراجع الجيوديسية geodetic datums) و النظم المكانية المرجعية وتطبيقاتها في العلوم المكانية.

٣-٢ المراجع الجيوديسية

المرجع الجيوديسي a geodetic datum هو مجموعة من الثوابت التي تحدد نظام الاحداثيات المستخدم في التحكم الجيوديسي geodetic control أي في حساب احداثيات النقاط علي الأرض. والمراجع الجيوديسية تعرف أيضا باسم النظم المكانية المرجعية geospatial reference systems. ويمكن تقسيم المراجع الجيوديسية الي مجموعتين: مراجع هندسية geometric و مراجع جهديه geopotential ومراجع قد تجمع بينهما. فالمرجع الهندسي يستخدم بصورة أساسية في العلاقات المكانية بين النقاط الأرضية دون الأخذ في الاعتبار مجال الجاذبية الأرضية للأرض Earth gravity field، مثل حساب (١) المسافة المستقيمة بين نقطتين، (٢) المسافة علي سطح الاليبسويد geodesic بين نقطتين، (٣) زوايا المثلث. أما المراجع الجهديه فتتعامل مع مثل هذه العلاقات المكانية التي تتعلق أيضا بمجال الجاذبية الأرضية للأرض.

٣-٢-١ المراجع الأفقية

لأعمال المساحة و الجيوديسيا في مناطق شاسعة من الأرض فأن الاحداثيات المستوية لن تكون عملية أو دقيقة. ما قبل عام ١٦٥٠ كان الاعتقاد السائد أن الأرض كرة في شكلها، إلا أن التطور في أجهزة القياس والنظريات العلمية قد أشاروا الي أن أحسن تمثيل أو تقريب لشكل الأرض الحقيقي هو الاليبسويد. وفي الفترة ١٧٠٠-١٨٥٠ فقد تم اجراء كم هائل من القياسات لتأكيد هذا الافتراض و لحساب قيم عناصر الاليبسويد. وعندما تم قبول مبدأ الاليبسويد كممثل لسطح الأرض فقد كان من المنطقي الاعتماد علي نظام الاحداثيات الاليبسويدية. أي أن المشكلة أصبحت في كيفية تحديد هذه الاحداثيات لنقاط التحكم أو نقاط الثوابت الأرضية. وكانت البداية في استخدام الأرصاد أو القياسات الفلكية للحصول علي هذه الاحداثيات. وبعد ذلك وفي عصر ما قبل الأقمار الصناعية فقد تم استخدام الطرق و التقنيات الجيوديسية في تحديد احداثيات أفقية (خطوط الطول longitudes و دوائر العرض Latitudes) تعرف المرجع الأفقي horizontal datum (الذي ينتمي الي فئة المراجع الهندسية). وغالبا ما كان يتم تعريف هذه المراجع الأفقية علي أساس وطني أي لدولة معينة، لكن أحيانا كانت الدول المتجاورة تستخدم مرجعا أفقيا مشتركا. وكمثال لهذه المراجع الأفقية: مرجع أمريكا الشمالية North American Datum (NAD) 1927، المرجع الأوروبي European Datum (ED) 1950، المرجع الجيوديسي الأسترالي Australian Geodetic Datum (AGD) 1966. ولتعريف مرجع أفقي فيجب معرفة قيم

علي الأقل ٨ عناصر: ٣ عناصر تحدد موقع مركز نظام الاحداثيات، ٣ عناصر تحدد توجيه محاور نظام الاحداثيات، عنصرين يحددان الاليبسويد المستخدم.

تتمثل أحد المشاكل الرئيسة في تعريف المرجع في تحديد ان كان هذا المرجع عام أو محلي فقط. ففي المرجع المحلي يتم تغيير أو تعديل وضع الاليبسويد بحيث أنه يقارب شكل الأرض الحقيقي بأحسن ما يمكن في نطاق بقعة أو دولة معينة فقط، ومن هنا يصبح وضعه محليا و لم يعد هو هذا الاليبسويد العالمي.

٣-٢-٢ المراجع الرأسية

عادة فأن المراجع الرأسية تنتمي لفئة المراجع الجهديه، حيث أننا نهتم بتحديد اتجاه جريان المياه (كما في تطبيقات الفيضان والري) وهو ما يعتمد علي مجال جاذبية الأرض. فلو كانت الأرض مصمتة وكروية تماما ولها كثافة ثابتة و لا تدور فأن قطرة مياه علي سطح الأرض ستظل ثابتة في مكانها. أما في جبل علي سطح هذه الأرض فأن قطرة المياه ستبدأ في التحرك نتيجة التغير في مجال الجاذبية الأرضية. ومن هنا فقد تم تطوير عدة أنظمة لقياس الارتفاعات heights التي تحدد مبدأ أن قطرة المياه ستتحرك من الارتفاع العالي الي الارتفاع المنخفض. فعلي سبيل المثال فأن الارتفاع الأرثومتري Orthometric height (المنسوب للعالم هلمرت Helmert) لنقطة هو المسافة المقاسة علي خيط الشاغول plumb line من سطح الجيويد الي هذه النقطة. والجيويد geoid هو السطح متساوي الجهد geopotential surface لمجال الجاذبية الأرضية الذي يكاد ينطبق مع متوسط سطح البحر Mean Sea Level (أو اختصارا MSL). وتاريخيا فأن هذا السطح MSL هو المرجع الرأسي vertical datum. ويمكن تحديد MSL من خلال قياس ارتفاع سطح البحر عند نقاط أو محطات المد و الجزر Tidal Bench Marks لمدة لا تقل عن ١٨.٦٧ عام. وفي الماضي كان يتم تحديد المرجع الرأسي منفصلا عن المراجع الأفقية لنفس الدولة، ومن أمثلة المراجع الرأسية: المرجع الرأسي الجيوديسي الوطني National Geodetic Vertical Datum (NGVD) 1929، المرجع الرأسي لشمال أمريكا North American Vertical Datum (NAVD) 1988.

٣-٣ النظم المكانية المرجعية

مع اطلاق أول قمر صناعي في عام ١٩٥٧ انتقل العلماء الي تعريف الاحداثيات الجيوديسية بإرجاعها الي نظام احداثيات مستطيلة ثلاثية الأبعاد حيث تكون نقطة الأصل أو المركز origin في مركز كتلة center of mass الأرض. وباستخدام اليبسويد متوسط (أقرب ما يكون للأرض best fitting) فأن هذه الاحداثيات يمكن تحويلها الي الاحداثيات الجيوديسية أي خط الطول و دائرة العرض و الارتفاع عن سطح الاليبسويد. ان مفهوم النظام المرجعي المكاني ثلاثي الأبعاد 3D geospatial reference system قريب جدا من مفهوم المرجع من حيث أنه ينتمي لفئة المراجع الهندسية. فالنظام المرجعي المكاني يعبر عن التغير التقني للمرجع، فتقنيات الرصد علي الأقمار الصناعية - مثل GPS - والتي تعطي دقة مكانية عالية في تحديد المواقع تتطلب أيضا دقة في تعريف أو تحديد نظام الاحداثيات. ومن هنا فأن النظام المرجعي المكاني يمكن اعتباره مرجعا محدثا أو مطورا.

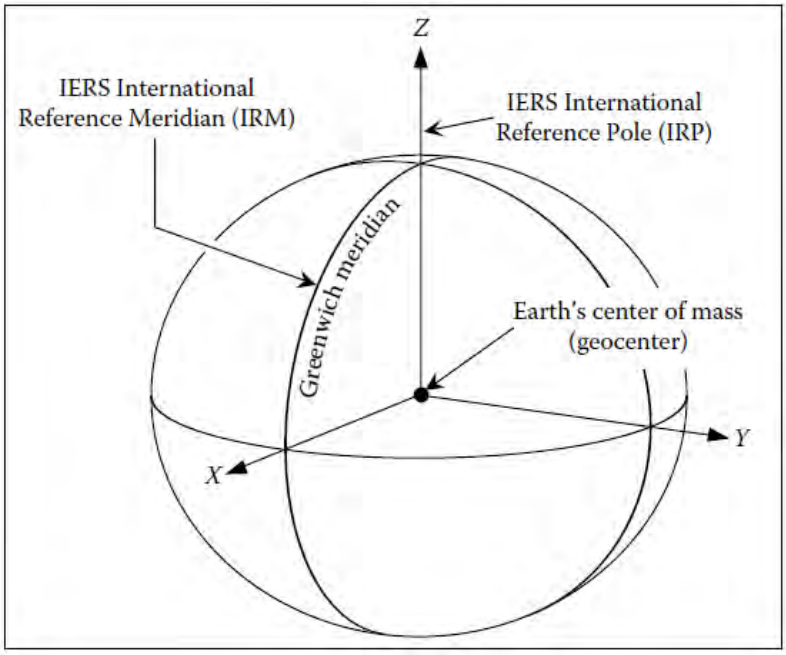
٣-٣-١ النظم المرجعية الهندسية الحديثة

يواجهه المتعاملون في العلوم المكانية باحتمالية أو امكانية استخدام عدة نظم مرجعية. ان الأسس وراء هذه النظم قد تكون واحدة إلا أن التطبيق سيختلف كثيرا. فلكي يتم تطبيق نظام مرجعي معين فأن هناك الكثير من القياسات المطلوبة. وحتى ان قام العلماء بتوحيد الأجهزة و طرق و أوقات الرصد فأن النتائج لن تكون واحدة، ففي كل الأحوال فأن القياسات تحتمل بعض الأخطاء الصغيرة ومن ثم ستكون نتائج الحسابات مختلفة. فلنأخذ شمال أمريكا كمثال: فهناك ٣ نظم مرجعية مستخدمة وهما مرجع شمال أمريكا North American Datum 1983 (NAD83)، والمرجع الجيوديسي العالمي World Geodetic System 1984 (WGS84)، والنظام المرجعي الأرضي العالمي International Terrestrial Reference System (ITRS). وستكون النتيجة العملية أن احداثيات أي نقطة علي الأرض ستتغير نتيجة تطبيق أي نظام مرجعي من هذه النظم الثلاثة. وقد يكون هذا التغير في الاحداثيات في حدود عدة أمتار، لكن التغير في المسافات بين أي نقطتين سيكون صغيرا جدا. وربما لبعض تطبيقات الخرائط و نظم المعلومات الجغرافية سيكون هذا الفرق في الاحداثيات ليس هاما أو مؤثرا، إلا أنه وللتطبيقات الجيوديسية فأن هذه الفروق هامة للغاية. والجدول التالي يوضح معاملات الاليبسويد المرجعي المستخدم في هذه النظم الثلاثة.

النظام المرجعي	نصف المحور الأكبر a	التفلطح f
NAD 83	٦،٣٧٨،١٣٧.٠	١ / ٢٩٨.٢٥٧٢٢٢١٠١
WGS 84	٦،٣٧٨،١٣٧.٠	١ / ٢٩٨.٢٥٧٢٢٣٥٦٣
ITRS	٦،٣٧٨،١٣٦.٤٩	١ / ٢٩٨.٢٥٦٤٥

نتيجة دوران الأرض (غير المنتظم) فأن توجيه كل نظام مرجعي مكاني قد يكون مختلفا وخاصة في تحديد المحور z. فعادة ما يكون المحور z لأي نظام احداثيات موجهها ناحية القطب الشمالي North pole. لكن ونتيجة لوجود عدم انتظام بسيط irregularities في حركة دوران الأرض، فأن القطب الشمالي لن يكون ثابتا. ومن ثم فهناك ما يعرف باسم القطب الشمالي العالمي المرجعي International Reference Pole (أو اختصارا IRP)، والذي يتم تحديده من خلال المنظمة العالمية لخدمات دوران الأرض والمراجع International Earth Rotation and Reference Services (أو اختصارا IERS) ومقرها الرئيسي في باريس. وتقوم هذه المنظمة بتحديد خط الطول رقم صفر (التغير الطفيف في خط طول جرينتش التقليدي) بالإضافة لتحديد مركز كتلة الأرض geocenter الذي يتغير أيضا بدرجة بسيطة جدا. وهذه التغيرات قد تكون في مستوي السنتيمتر أو المليمترات سنويا مما يجعلها مثار اهتمام العلماء فقط وليس التنفيذيين. ويكون مركز هذه النظم المرجعية الجيوديسية هو مركز الأرض، ومن ثم يطلق عليها مصطلح نظم مركزية تدور مع الأرض Earth-Centered Earth-Fixed (أو اختصارا ECEF) كما في الشكل التالي. وتقوم منظمة IERS بتعريفات متعددة realizations للنظام المرجعي الأرضي العالمي ITRS كل عدة سنوات اعتمادا علي أحدث نظم الرصد الفضائية عالية الدقة جدا مثل تقنية Very Long Baseline Interferometry (VLBI) وتقنية Satellite Laser Ranging (SLR) وتقنية Doppler Orbitography by Radio-positioning Integrated on Satellite (DORIS). وهذا النظام المرجعي الأرضي العالمي يعد أول نظام

مرجعي علي مستوي العالم الذي يأخذ في الاعتبار حركة القشرة الأرضية وذلك من خلال تحديد سرعة الحركة ثلاثية الأبعاد 3D velocity بالإضافة للإحداثيات ثلاثية الأبعاد 3D coordinates عند كل زمن مرجعي. وبناءا علي هذا التعريف الدقيق للنظام المرجعي الأرضي العالمي ITRS فقد أصبح هو الأساس للنظم المرجعية المكانية، وقامت عدة دول (مثل أمريكا و كندا) بعمل ارجاع للنظم الجيوديسية الوطنية الي نظام ITRS من خلال معادلات تحويل رياضية لتحويل الاحداثيات من المرجع الوطني الي المرجع العالمي ITRS.



شكل (٣-١) النظم المرجعية الجيوديسية

٣-٤ التطبيقات

يتم استخدام كلا من المراجع و النظم المرجعية في تحديد احداثيات النقاط اللازمة لأعمال الملاحة و المشروعات المدنية و ادارة الموارد الطبيعية ...الخ.

٣-٤-١ تطبيقات المراجع الهندسية

تستخدم المراجع الهندسية geometric datums سواء المحلية أو العالمية حول العالم. فالمتطلب الأساسي في المساحة و الجيوديسية هو احتلال نقطة ثوابت أرضية باستخدام أنسب جهاز و عمل الأرصاد أو القياسات، والتي منها يتم حساب احداثيات هذه النقاط. وعادة فأن هناك نقطة أصل و توجيه لكل مرجع، ويتم الحصول علي بياناتهم من الجهة المسئولة عن المساحة (قيم الاحداثيات و الانحرافات ...الخ لأقرب نقاط ثوابت أرضية). وحيث أن تقنية GPS أصبحت هي التقنية الأوسع انتشارا في التطبيقات المساحية فمن ثم فأن مرجع WGS84 سيكون هو الخيار الأول للمراجع العالمية. ثم يتم لاحقا تحويل احداثيات WGS84 الي الاحداثيات المقابلة في المرجع المحلي لكل

دولة. والجدول التالي يوضح بعض المراجع الجيوديسية المحلية local geodetic datums و الاليبسويد المستخدم في تعريف كلا منهم.

٣-٤-٢ تطبيقات المراجع الجهديه

كما هو معروف تقليديا فأن الجيويد هو المرجع المثالي لقياس الارتفاعات heights أو المناسيب elevations. لكن ومن وجهة نظر عملية فأن منسوب متوسط سطح البحر MSL كما يتم تحديده عند محطات المد و الجزر هو المستخدم عادة. ويجب هنا أن نراعي أن هناك فرقا بين مصطلحي الارتفاعات و المناسيب. فمثلا فأن المياه لن تتدفق (عادة)من نقطة لها "ارتفاع مقاس بالجي بي أس" عالي الي نقطة أخري لها "ارتفاع مقاس بالجي بي أس" منخفض. وذلك بسبب أن الارتفاعات المقاسة بالجي بي أس تكون منسوبة الي سطح الاليبسويد (أو ارتفاعات اليبسويدية ellipsoidal heights)، أي أنها عبارة عن كميات هندسية لا تأخذ في الاعتبار تأثير الجاذبية الأرضية. ونتيجة لذلك فيقوم علماء الجيوديسيا في كل دولة بتطوير نماذج تستطيع تحويل الارتفاعات الاليبسويدية (ولنرمز لها بالرمز h) الي ارتفاعات أرثومترية أو مناسيب (ولنرمز لها بالرمز H). وهذا التحويل يعتمد علي معرفة قيم الفرق بين سطح الجيويد و سطح الاليبسويد أو ما يعرف باسم حيود الجيويد geoid undulations (ولنرمز لها بالرمز N) حيث:

$$N = h - H$$

وكل نموذج (يسمي نموذج جيويد geoid model) يحدد قيم حيود الجيويد N كدالة تعتمد علي خطوط الطول و دوائر العرض في المنطقة التي يخدمها.

تقليديا تعد الميزانية levelling هي الطريقة الاساسية لتحديد الارتفاعات الجهديه geopotential heights (أو الأرثومترية) حيث يتم استخدام جهاز الميزان لعمل قياسات تحدد فرق الارتفاع الجهدي بين نقطة معلومة ونقطة أخري جديدة. والميزانية توفر دقة عالية خاصة عندما تكون المسافات بين النقاط أقل من عدة كيلومترات. ومع انتشار تطبيقات تقنية GPS منذ منتصف التسعينات و انتشار نماذج الجيويد أصبح من الممكن حساب الارتفاعات الجهديه للنقاط خاصة عند التعامل مع مسافات بعشرات الكيلومترات. إلا أن عدم توافر نماذج الجيويد عالية الدقة لكافة الدول يؤدي الي عدم امكانية الاعتماد علي GPS لحساب الارتفاعات الجهديه بدقة مناسبة للتطبيقات الهندسية، ومازالت الميزانية هي الأنسب حتى الان لمثل هذه المشروعات المدنية.

Geodetic Datums/Reference Systems Related to the World Geodetic System 1984 (through Satellite Ties)

Local Geodetic Datum	Associated Ellipsoid
Adindan	Clarke 1880
Afgooye	Krassovsky 1940
Ain el Abd 1970	International 1924
American Samoa 1962	Clarke 1866
Anna I Astro 1965	Australian National
Antigua Island Astro 1943	Clarke 1880
Arc 1950	Clarke 1880
Arc 1960	Clarke 1880
Ascension Island 1958	International 1924
Astro Beacon "e" 1945	International 1924
Astro DOS 71/4	International 1924
Astro Tern Island (FRIG) 1961	International 1924
Astronomical Station 1952	International 1924
Australian Geodetic 1966	Australian National
Australian Geodetic 1984	Australian National
Ayabelle Lighthouse	Clarke 1880
Bellevue (IGN)	International 1924
Bermuda 1957	Clarke 1866
Bissau	International 1924
Bogota Observatory	International 1924
Campo Inchauspe	International 1924
Canton Astro 1966	International 1924
Cape	Clarke 1880
Cape Canaveral	Clarke 1866
Carthage	Clarke 1880
Chatham Island Astro 1971	International 1924
Chua Astro	International 1924
Coordinate System 1937 of Estonia	Bessel 1841
Corrego Alegre	International 1924
Dabola	Clarke 1880
Deception Island	Clarke 1880
Djakarta (Batavia)	Bessel 1841
DOS 1968	International 1924
Easter Island 1967	International 1924
European 1950	International 1924
European 1979	International 1924
Fort Thomas 1955	Clarke 1880
Gan 1970	International 1924
Geodetic Datum 1949	International 1924
Graciosa Base SW 1948	International 1924
Guam 1963	Clarke 1866

Geodetic Datums/Reference Systems Related to the World Geodetic System 1984 (through Satellite Ties)

Local Geodetic Datum	Associated Ellipsoid
GUX I Astro	International 1924
Hjorsey 1955	International 1924
Hong Kong 1963	International 1924
Hu-Tzu-Shan	International 1924
Indian	Everest
Indian 1954	Everest
Indian I960	Everest
Indian 1975	Everest
Indonesian 1974	Indonesian 1974
Ireland 1965	Modified airy
ISTS 061 Astro 1968	International 1924
ISTS 073 Astro 1969	International 1924
Johnston Island 1961	International 1924
Kandawala	Everest
Kerguelen Island 1949	International 1924
Kertau 1948	Everest
Kusaie Astro 1951	International 1924
L. C. 5 Astro 1961	Clarke 1866
Leigon	Clarke 1880
Liberia 1964	Clarke 1880
Luzon	Clarke 1866
Mahe 1971	Clarke 1880
Massawa	Bessel 1841
Merchich	Clarke 1880
Midway Astro 1961	International 1924
Minna	Clarke 1880
Montserrat Island Astro 1958	Clarke 1880
M'Poraloko	Clarke 1880
Nahrwan	Clarke 1880
Naparima, BWI	International 1924
North American 1927	Clarke 1866
North American 1983	GRS80
North Sahara 1959	Clarke 1880
Observatorio Meteorologico 1939	International 1924
Old Egyptian 1907	Helmert 1906
Old Hawaiian	Clarke 1866
Oman	Clarke 1880
Ordnance Survey of Great Britain 1936	Airy 1830
Pico de las Nieves	International 1924
Pitcairn Astro 1967	International 1924
Point 58	Clarke 1880
Pointe Noire 1948	Clarke 1880

Geodetic Datums/Reference Systems Related to the World Geodetic System 1984 (through Satellite Ties)

Local Geodetic Datum	Associated Ellipsoid
Porto Santo 1936	International 1924
Provisional South American 1956	International 1924
Provisional South Chilean 1963	International 1924
Puerto Rico	Clarke 1866
Qatar National	International 1924
Qornoq	International 1924
Reunion	International 1924
Rome 1940	International 1924
S-42 (Pulkovo 1942)	Krassovsky 1940
Santo (DOS) 1965	International 1924
Sao Braz	International 1924
Sapper Hill 1943	International 1924
Schwarzeck	Bessel 1841
Selvagem Grande 1938	International 1924
Sierra Leone 1960	Clark 1880
S-JTSK	Bessel 1841
South American 1969	South American 1969
South Asia	Modified Fischer 1960
Timbalai 1948	Everest
Tokyo	Bessel 1841
Tristan Astro 1968	International 1924
Viti-Levu 1916	Clarke 1880
Voirol 1960	Clarke 1880
Wake-Eniwetok 1960	Hough 1960
Wake Island Astro 1952	International 1924
Zanderij	International 1924

الفصل الرابع

تحويل الاحداثيات

٤-١ مقدمة

يتناول هذا الفصل أسس و طرق تحويل الاحداثيات بين نظم الاحداثيات المختلفة. سنبدأ بتقديم مفهوم عناصر التحويل واحدا تلو الآخر، حتى الوصول لطريقة التحويل ذات العناصر السبعة. أيضا سيتم التعرض للأسس العامة والخطوات الحسابية المستخدمة في بعض أنواع مساقط الخرائط.

٤-٢ مفهوم الانتقال

٤-٢-١ الانتقال ثنائي الأبعاد

بفرض أن لدينا نظامي احداثيات (ثنائي الأبعاد 2D) متوازيين لكنها مختلفان في المركز بقيمة ازاحة معينة shift. ففي الشكل التالي فأن نظام الاحداثيات xy مختلف أو متباعد أو منزاح عن نظام الاحداثيات x'y' بقيم الانتقال translation أو التغير x_T, y_T. ومن ثم فأن العلاقة الهندسية بين احداثيات النقطة P علي كلا النظامين ستكون:

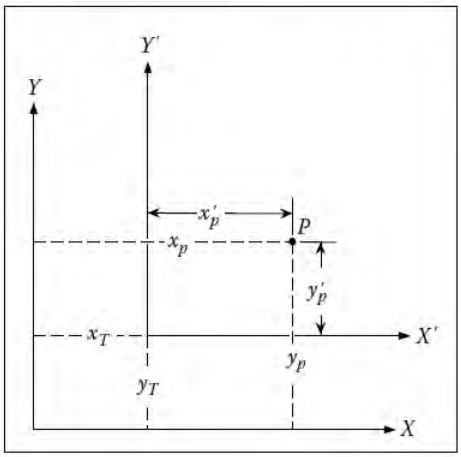
$$x_p = x_T + x'_p$$

$$y_p = y_T + y'_p$$

حيث:

x_p , y_p احداثيات النقطة p في نظام الاحداثيات xy.

x'_p , y'_p احداثيات النقطة p في نظام الاحداثيات x'y'.



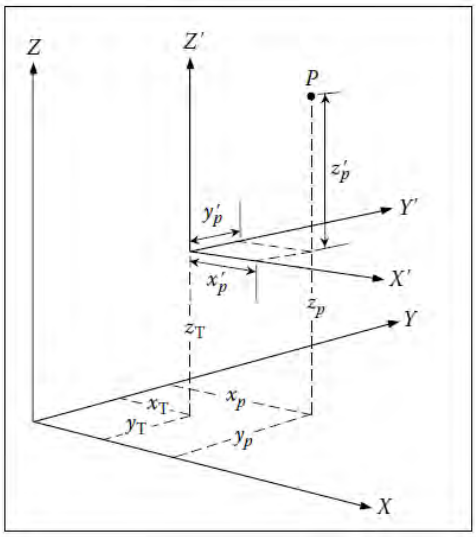
شكل (٤-١) الانتقال ثنائي الأبعاد

٤-٢-٢ الانتقال ثلاثي الأبعاد

يوضح الشكل التالي نظامي احداثيات ثلاثية الأبعاد 3D الأول xyz والثاني x'y'z'، بحيث أن مركز النظام الثاني منزاح بقيم x_T, y_T, z_T عن مركز النظام الأول. ومن ثم فأن العلاقة بين احداثيات النقطة P في كلا النظامين ستعبر عنها المعادلة التالية:

$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x'_p \\ y'_p \\ z'_p \end{bmatrix}$$

حيث:
x_p, y_p, z_p احداثيات النقطة p في نظام الاحداثيات xyz.
x'_p, y'_p, z'_p احداثيات النقطة p في نظام الاحداثيات x'y'z'.



شكل (٤-٢) الانتقال ثلاثي الأبعاد

٤-٣ مفهوم الدوران

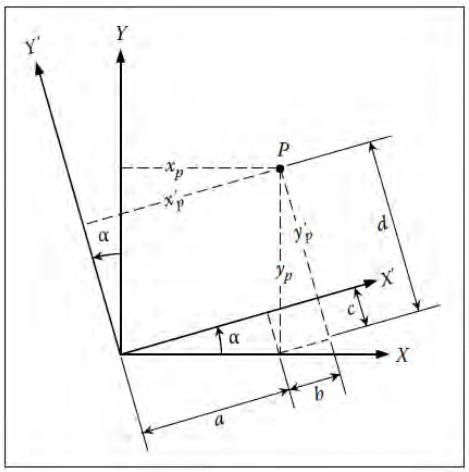
٤-٣-١ الدوران ثنائي الأبعاد

في الشكل التالي فأن نظامي الاحداثيات ليسا متوازيين، بل هناك زاوية دوران (عكس اتجاه عقرب الساعة) α بينهما. ومن ثم فأن العلاقة الهندسية لإحداثيات النقطة P في كلا النظامين ستكون:

$$\begin{bmatrix} x'_p \\ y'_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a+b \\ -c+d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha x_p + \sin\alpha y_p \\ -\sin\alpha x_p + \cos\alpha y_p \end{bmatrix}$$

أو يمكن كتابتها أيضا في الصورة:

$$\begin{bmatrix} x'_p \\ y'_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha \sin\alpha \\ -\sin\alpha \cos\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \end{bmatrix}$$

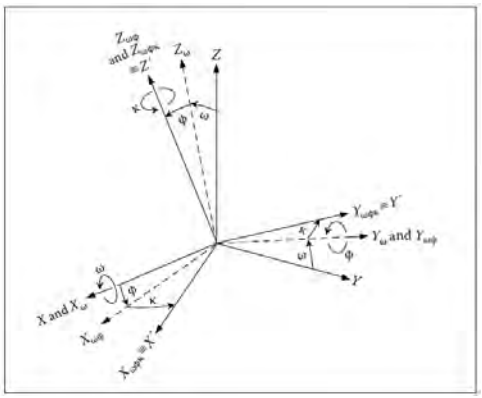


شكل (٤-٣) الدوران ثنائي الأبعاد

٤-٣-٢ الدوران ثلاثي الأبعاد

لنظامي احداثيات ثلاثية الأبعاد 3D غير متوازيين (xyz و x'y'z' كما في الشكل التالي) فأن هناك ٣ زوايا دوران بين محاور كل نظام:

- زاوية الدوران ω حول محور x
- زاوية الدوران ϕ حول محور y
- زاوية الدوران κ حول محور z



شكل (٤-٤) الدوران ثلاثي الأبعاد

وبتنفيذ الدورانات الثلاثة الواحد تلو الاخر فأن معادلات حساب الاحداثيات ستكون بالترتيب كالتالي:

بدوران النظام الثاني بقيمة زاوية ω حول محور x:

$$\begin{bmatrix} x_\omega \\ y_\omega \\ z_\omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\omega & \sin\omega \\ 0 & -\sin\omega & \cos\omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R_\omega \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

بدوران النظام الثاني بقيمة زاوية ϕ حول محور y:

$$\begin{bmatrix} x_{\omega\phi} \\ y_{\omega\phi} \\ z_{\omega\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\phi & 0 & -\sin\phi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\phi & 0 & \cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_\omega \\ y_\omega \\ z_\omega \end{bmatrix} = R_\phi \begin{bmatrix} x_\omega \\ y_\omega \\ z_\omega \end{bmatrix}$$

بدوران النظام الثاني بقيمة زاوية κ حول محور z:

$$\begin{bmatrix} x_{\omega\phi\kappa} \\ y_{\omega\phi\kappa} \\ z_{\omega\phi\kappa} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\kappa & \sin\kappa & 0 \\ -\sin\kappa & \cos\kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{\omega\phi} \\ y_{\omega\phi} \\ z_{\omega\phi} \end{bmatrix} = R_\kappa \begin{bmatrix} x_{\omega\phi} \\ y_{\omega\phi} \\ z_{\omega\phi} \end{bmatrix}$$

ومن ثم فأن نتائج الدورانات الثلاثة ستعطى المعادلة التالية لحساب احداثيات أي نقطة علي النظام x'y'z' بمعلومية احداثياتها علي النظام الأول xyz :

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = R_\kappa R_\phi R_\omega \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R(\omega, \phi, \kappa) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

حيث المصفوفة R (تسمي مصفوفة الدوران rotation matrix) هي ناتج ضرب مصفوفات الدوران الثلاثة Rω, Rϕ, Rκ، أي أنها دالة في زوايا الدوران الثلاثة ω, ϕ, κ.

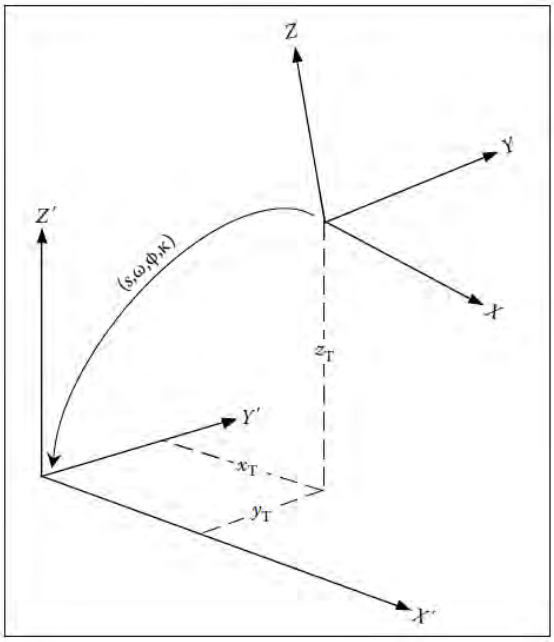
٤-٤ التحويل التشابهي ثلاثي الأبعاد

في الأجزاء السابقة افترضنا أن المقياس scale علي المحاور في كلا نظامي الاحداثيات واحد أو متساوي. فإذا كان هناك تغير في المقياس بين كلا نظامي الاحداثيات اضافة للتغير في الانتقال و الدوران فسيكون هناك ٧ عناصر مطلوبة لتحويل الاحداثيات بين النظامين: ٣ عناصر انتقال، ٣ عناصر دوران) ١ عنصر مقياس. ومن ثم فأن هذا التحويل يطلق عليه اسم التحويل ذو العناصر السبعة 7-parameters transformation أو اسم التحويل التشابهي similarity transformation. والشكل التالي و المعادلة التالية يصفان هذه العملية:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix} + SR(\omega, \phi, \kappa) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

حيث:

S	معامل المقياس scale factor،
x_T, y_T, z_T	عناصر الانتقال،
R	مصفوفة الدوران،
ω, ϕ, κ	زوايا أو عناصر الدوران.



شكل (٤-٥) التحويل التشابهي ثلاثي الأبعاد

٤-٥ تطبيقات تحويل الاحداثيات

طبقا لما سبق التعرض له فهناك مراجع عالمية (مثل WGS84 في قياسات GPS) ومراجع محلية أو وطنية خاصة بكل دولة. ومن أهم تطبيقات تحويل الاحداثيات كيفية تحويل خطوط الطول و دوائر العرض من مرجع الي اخر، وهو ما يعرف بتحويل المراجع Datum transformation. وهنا يوجد حلين: الطريقة المباشرة و الطريقة غير المباشرة. وتجدر الاشارة لوجود بعض التقريب approximation في استنباط معادلات الطريقة الاولي، مما يجعل الطريقة الثانية تؤدي الي نتائج أدق نسبيا.

الطريقة المباشرة:

في هذا الأسلوب يتم تطبيق معادلات تفاضلية differential equations تحدد (وبصورة مباشرة) فروق الاحداثيات الجيوديسية لنقطة معينة نتيجة تغير المرجع:

$$a\delta\phi = \sin\phi\cos\lambda\delta x_o + \sin\phi\sin\lambda\delta y_o - \cos\phi\delta z_o + 2a\sin\phi\cos\phi\delta f$$

$$a\cos\phi\delta\lambda = \sin\lambda\delta x_o - \cos\lambda\delta y_o$$

$$\delta h = -\cos\phi\cos\lambda\delta x_o - \cos\phi\sin\lambda\delta y_o - \sin\phi\delta z_o - \delta a + a\sin^2\phi\delta f$$

حيث:

$\delta\phi, \delta\lambda, \delta h$ التغيرات في احداثيات النقطة

$\delta x_o, \delta y_o, \delta z_o, \delta a, \delta f$ التغيرات في عناصر المرجع الجيوديسي

مع ملاحظة أن المرجعين هنا يفترض أنهما متوازيين حيث لا تدخل عناصر الدوران في المعادلات السابقة.

الطريقة غير المباشرة:

يتكون هذا الأسلوب من عدة خطوات متتالية بدءا من الاحداثيات الجيوديسية علي المرجع الأول و حتى حساب قيم الاحداثيات الجيوديسية علي المرجع الثاني:

- تحويل الاحداثيات الجيوديسية ϕ,λ,h علي المرجع الأول الي الاحداثيات المستطيلة X,Y,Z.
- تطبيق التحويل التشابهي ذو العناصر السبعة للحصول علي الاحداثيات المستطيلة علي المرجع الثاني.
- تحويل الاحداثيات المستطيلة الي احداثيات جيوديسية علي المرجع الثاني.

٤-٦ اسقاط الخرائط و التحويل

اسقاط الخرائط هو تمثيل جميع أجزاء سطح منحني (الأرض) علي مستوي (قطعة الورق الممثلة للخريطة). وهذا التحويل من مجسم ثلاثي الأبعاد الي مستوي ثنائي الأبعاد لا يمكن تحقيقه تماما، لكن لا بد من وجود تشوه distortion. وعادة فعند اختيار نوع من أنواع اسقاط الخرائط فيجب اعتبار بعض العناصر الهامة وهي:

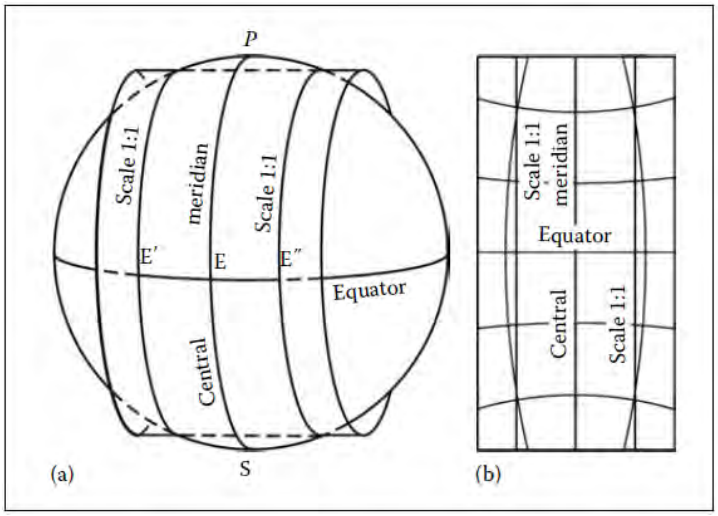
١. المساحة: بعض طرق الاسقاط مخصصة لتكون متساوية المساحة equal areas، أي أن المساحة علي الخريطة تساوي المساحة علي الأرض.
٢. الشكل: يمكن لمساقط الخرائط (أي طرق الاسقاط) أن تكون تشابهيه conformal، أي أن الزوايا المحلية لأي نقطة علي الخريطة تظهر صحيحة تماما. وهذه الخاصية تؤدي الي أن مقياس الرسم في جميع الاتجاهات حول النقطة سيكون ثابتا. وبما أن الزوايا ستكون صحيحة، فأن خطوط الطول ستقطع دوائر العرض في زوايا قائمة لهذا النوع من المساقط. لكن تجدر الاشارة الي أن الخريطة لا يمكن أن تكون تشابهيه و متساوية المساحة في نفس الوقت.
٣. الاتجاهات: للمساقط التشابهية فأن اتجاهات المحلية النسبية عند أي نقطة ستكون صحيحة. أي أن الانحرافات جميع النقاط علي الخريطة ستكون صحيحة تماما.
٤. خصائص معينة: بعض أنواع مساقط الخرائط توفر خصائص محددة مثل ظهور الخطوط ذات الاتجاهات الثابتة ستظهر خطوط مستقيمة علي الخريطة، والبعض الاخر يظهر أقصر مسافة بين نقطتين كخط مستقيم علي الخريطة.

وتوجد ثلاثة أنواع من السطوح التنموية developable surfaces التي تستخدم لعمل الاسقاط والتي بعد فردها ستمثل الخريطة المستوية. وهذه السطوح هي: الاسطوانة، المخروط، المستوي:

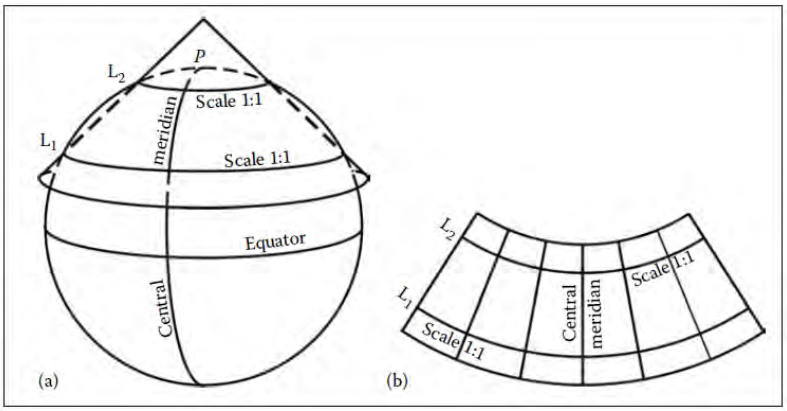
- يمكن وضع اسطوانة cylinder حول الأرض (تخيليا) بحيث يكون محورها منطبق مع محور دوران الأرض وتمس الأرض عند دائرة الاستواء equator. كما يمكن أيضا أن تقطع الاسطوانة الأرض عند دائرتي عرض محددتين. وفي كلتا الحالتين فأن خطوط الطول المسقطة علي الاسطوانة ستكون خطوط مستقيمة و علي مسافات متساوية وعمودية علي دائرة الاستواء. أيضا فأن دوائر العرض سيتم رسمها مخطوط موازية لدائرة الاستواء. ويعد مسقط ميريكاتور Mercator هو أشهر أمثلة المساقط الاسطوانية cylindrical projection.
- بنفس الطريقة فأن مخروط cone حول الأرض بحيث يكون موجهها (قمته apex) مع دوران الأرض ويكون اما مماسا لسطح الأرض عند دائرة عرض محددة أو قاطعا لها عند دائرتي عرض. وفي هذه الحالة فأن خطوط الطول ستسقط علي المخروط كخطوط مستقيمة متساوية المسافات تنبع (أو تشع) من قمة المخروط. أما دوائر العرض فسيتم رسمها كخطوط حول محيط المخروط في مستويات عمودية علي محور دوران الأرض. وعندما يكون المخروط قاطعا للأرض ويتم فرد هذا المخروط فأن خطوط الطول ستظل خطوطا مستقيمة بينما ستصبح دوائر العرض كأقواس دائرية مركزها قمة المخروط. ومن

ثم فأن الزوايا بين خطوط الطول ستكون أصغر من قيمتها الحقيقية. وهذا النوع من المساقط يعرف باسم المساقط المخروطية conic or conical projections.

- يعد وضع مستوي يمس الأرض عند أحد قطبيها هو الأساس للمساقط المستوية azimuthal projections. وتكون خطوط الطول تتبع (أو تشع) من نقطة معينة، وتكون الزوايا بينهم بقيمتها الحقيقية بعكس المساقط المخروطية. أما دوائر العرض فستظهر كدوائر كاملة مركزها القطب.



مثال لمسقط اسطواني مستعرض



مثال لمسقط مخروطي

وفي الأجزاء التالية سنقدم معادلات بعض المساقط الشهيرة للخرائط، علما بأن الزوايا هنا ستكون بوحدات الراديان radians.

٤-٦-١ مسقط ميريكاتور المستعرض

أهم خصائص مسقط ميريكاتور المستعرض Universal Transverse Merecator (المعروف اختصارا UTM) هي:

- مسقط اسطواني مستعرض (أي الاسطوانة عمودية علي محور دوران الأرض).
- من نوع المساقط التشابهيه conformal
- خط الطول المركزي central meridians وخطوط الطول التي تبعد ٩٠ درجة عنه وأيضا دائرة الاستواء ستظهر كخطوط مستقيمة.
- خطوط الطول الأخرى ستظهر منحنية.
- عند خط الطول المركزي سيكون مقياس الرسم صحيحا (لا يوجد تشوه).
- هذا المسقط عادة ما يستخدم للخرائط بمقاييس الرسم من ١ : ٢٤،٠٠٠ الي ١ : ٢٥٠،٠٠٠.

٤-٦-١-١ تحويل الاحداثيات الجيوديسية ϕ,λ الى الاحداثيات المسقطة x,y

بمعرفة مقلوب التفلطح reciprocal of the flattening (أي RF=1/f) ونصف المحور الأكبر (a) للاليبسويد المستخدم، وأيضا بمعرفة خط الطول و دائرة العرض المركزيين (ϕ_o,λ_o) وقيمة مقياس الرسم عند خط الطول المركزي، فأن معادلات تحويل الاحداثيات هي:

$$f = 1.0/RF$$

$$e^2 = 2f - f^2$$

$$e'^2 = e^2/(1-e^2)$$

$$p' = (1.0-f)a$$

$$e_n = (a-p')/(a+p')$$

$$A = 1.5e_n + 9.0/16.0e_n^3$$

$$B = 0.93750e_n^2 - 15.0/32.0e_n^4$$

$$C = -35.0/48.0e_n^3$$

$$U = 1.5e_n - 27.0/32.0e_n^3$$

$$V = 1.31250e_n^2 - 55.0/32.0e_n^4$$

$$W = 151.0/96.0e_n^3$$

$$R = a(1.0-e_n)(1.0-e_n^2)(1.0+2.25e_n^2+225.0/64.0e_n^4)$$

$$M_o - \phi_o + A\sin(2.0\phi_o) + B\sin(4.0\phi_o) + C\sin(6.0\phi_o)$$

$$S_o = \text{scale factor } RM_o$$

$$M = \phi + A\sin(2.0\phi) + B\sin(4.0\phi) + C\sin(6.0\phi)$$

$$S = RM \text{ scale factor}$$

$$T_N = \sin\phi / \cos\phi$$

$$T_S = T_N^2,$$

$$\text{ETS} = e'^2\cos^2\phi$$

$$L = (\lambda - \lambda_o)\cos\phi$$

$$RN = (\text{scale factor } a)/\sqrt{1.0 - e^2\sin^2\phi}$$

$$A_2 = 0.5RNT_N$$

$$A_4 = (5.0 - T_s + \text{ETS}(9.0 + 4.0\text{ETS}))/12.0$$

$$A_6 = \{61.0 + T_s(T_s - 58.0) + \text{ETS}(270.0 - 330.0T_s)\}/360.0$$

$$A_1 = -RN$$

$$A_3 = (1.0 - T_s + \text{ETS})/6.0$$

$$A_5 = \{5.0 + T_s(T_s - 18.0) + \text{ETS}(14.0 - 58.0T_s)\}/120.0$$

$$A_7 = \left\{61.0 - 479.0T_s + 179.0T_s^2 - T_s^3\right\}/5040.0$$

$$y = S - S_o + A_2L^2[1.0 + L^2(A_4 + A_6L^2)] + \text{false northing}$$

$$x = \text{false easting} - A_1L[1.0 + L^2\{A_3 + L^2(A_5 + A_7L^2)\}]$$

٤-٦-١-٢ تحويل الاحداثيات المسقطة x,y الى الاحداثيات الجيوديسية ϕ,λ

$$f = 1.0/RF$$

$$e^2 = 2f - f^2$$

$$e'^2 = e^2/(1 - e^2)$$

$$p' = (1.0 - f)a$$

$$e_n = (a - p')/(a + p')$$

$$C_2 = -1.5e_n + 9.0/16.0e_n^3$$

$$C_4 = 15.0/16.0e_n^2 - 15.0/32.0e_n^4$$

$$C_6 = -35.0/48.0e_n^3$$

$$C_8 = 315.0/512.0e_n^4$$

$$U_0 = 2.0(C_2 - 2.0C_4 + 3.0C_6 - 4.0C_8)$$

$$U_2 = 8.0(C_4 - 4.0C_6 + 10.0C_8)$$

$$U_4 = 32.0(C_6 - 6.0C_8)$$

$$U_6 = 128.0C_8$$

$$C_1 = 1.5e_n - 27.0/32.0e_n^4$$

$$C_3 = 21.0/16.0e_n^2 - 55.0/32.0e_n^4$$

$$C_5 = 151.0/96.0e_n^3$$

$$C_7 = 1097.0/512.0e_n^4$$

$$V_0 = 2.0(C_1 - 2.0C_3 + 3.0C_5 - 4.0C_7)$$

$$V_2 = 8.0(C_3 - 4.0C_5 + 10.0C_7)$$

$$V_4 = 32.0(C_5 - 6.0C_7)$$

$$V_6 = 128.0C_7$$

$$R = a(1.0 - e_n)(1.0 - e_n^2)(1.0 + 2.25e_n^2 + 225.0/64.0e_n^4)$$

$$M_o = \phi_o + \sin\phi_o \cos\phi_o (U_0 + U_2 \cos^2\phi_o + U_4 \cos^4\phi_o + U_6 \cos^6\phi_o)$$

$$S_o = \text{scale factor } RM_o$$

$$M = (y - \text{false northing} + S_o)/(R \text{ scale factor})$$

$$F = M + \sin M \cos M(V_0 + V_2 \cos^2 M + V_4 \cos^4 M + V_6 \cos^6 M)$$

$$T_N = \sin F/\cos F$$

$$\text{ETS} = e'^2 \cos^2 F$$

$$RN = a \text{ scale factor}/\sqrt{1 - e^2 \sin^2 F}$$

$$Q = (x - \text{false easting})/RN$$

$$B_2 = -0.5T_N(1.0 + \text{ETS})$$

$$B_4 = -\left(5.0 + 3.0T_N^2 + \text{ETS}\left[1.0 - 9.0T_N^2\right] - 4.0\text{ETS}^2\right)/12.0$$

$$B_6 = \left(61.0 + 45.0T_N^2\left[2.0 + T_N^2\right] + \text{ETS}\left[46.0 - 252.0T_N^2 - 60T_N^4\right]\right)/360.0$$

$$B_1 = 1.0$$

$$B_3 = -(1.0 + 2.0T_N^2 + \text{ETS})/6.0$$

$$B_5 = (5.0 + T_N^2\,[28.0 + 24.0T_N^2] + \text{ETS}[6.0 + 8.0T_N^2])/120.0$$

$$B_7 = -(61.0 + 662.0T_N^2 + 1320.0T_N^4 + 720.0T_N^6)/5040.0$$

$$\phi = F + B_2Q^2(1.0 + Q^2[B_4 + B_6Q^2])$$

$$L = B_1Q(1.0 + Q^2[B_3 + Q^2\{B_5 + B_7Q^2\}])$$

$$\lambda = L/\cos F + \lambda_o$$

٤-٦-٢ مسقط لامبرت المخروطي

أهم خصائص مسقط لامبرت Lambert هي:

- مسقط مخروطي.
- من نوع المساقط التشابهيه conformal
- خطوط الطول تكون أنصاف أقطار متساوية المسافات equally spaced لنفس الدوائر، ومن ثم فستقطع دوائر العرض في زوايا قائمة.
- دوائر العرض ستكون أقواس غير متساوية المسافات، وستكون متقاربة المسافات بالقرب من مركز الخريطة.
- مقياس الرسم سيكون صحيحا عند خطوط الطول القياسية أو المركزية.
- سيظهر القطب لنفس نصف الكرة الأرضية كنقطة.
- عادة ما يستخدم هذا المسقط للمناطق أو الدول التي لها امتداد كبير في اتجاه شرق-غرب.

٤-٦-٢-١ تحويل الاحداثيات الجيوديسية ϕ,λ الى الاحداثيات المسقطة x,y

بمعرفة نصف المحور الأكبر (a) والمركزية الاولي (e) للاليبسويد المستخدم، وأيضا بمعرفة دائرتي العرض المركزيتين (ϕ_1, ϕ_2) و احداثيات المركز (ϕ_o, λ_o)، فأن معادلات تحويل الاحداثيات هي:

$$m = \frac{\cos\phi}{\sqrt{1.0 - e^2 \sin^2\phi}}$$

$$t = \frac{\tan(\pi/4 - \phi/2)}{\left(\frac{1.0 - e\sin\phi}{1.0 + e\sin\phi}\right)^{0.5e}}$$

$$n = \frac{\log m_1 - \log m_2}{\log t_1 - \log t_2}$$

$$F = \frac{m_1}{n t_1^n}$$

$$R_o = aFt_o^n$$

$$t = \frac{\tan(\pi/4 - \phi/2)}{\left(\frac{1.0 - e\sin\phi}{1.0 + e\sin\phi}\right)^{0.5e}}$$

$$R = aFt^n$$

$$\theta = n(\lambda - \lambda_o)$$

$$x = R\sin\theta + \text{false easting}$$

$$y = R_o - R\cos\theta + \text{false northing}$$

٤-٦-٢-٢ تحويل الاحداثيات المسقطة x,y الى الاحداثيات الجيوديسية ϕ,λ

$$x_t = x \ - \text{false easting}$$

$$y_t = y \ - \text{false northing}$$

$$r = \frac{n}{|n|}\sqrt{x_t^2 + (R_o - y_t)^2}$$

$$\Theta = \tan^{-1}\left(\frac{x_t}{R_o - y_t}\right)$$

$$T = \left(\frac{r}{aF}\right)^{1.0/n}$$

$$\phi = \pi/2.0 - 2.0\tan^{-1}\left(T\left(\frac{1.0 - e\sin\phi}{1.0 + e\sin\phi}\right)^{e/2.0}\right)$$

الفصل الخامس

الاشعاع الكهرومغناطيسي

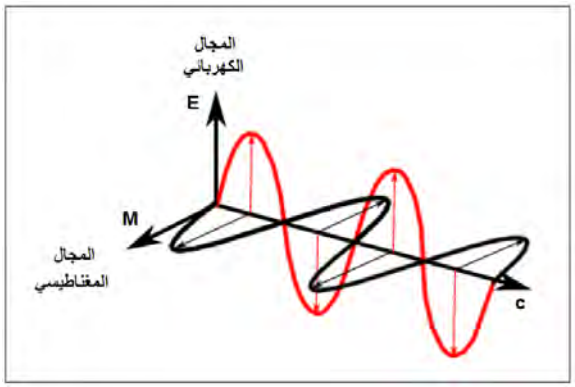
٥-١ مقدمة

يتناول هذا الفصل أسس الاشعاع الكهرومغناطيسي electromagnetic radiation كأحد أهم الموضوعات العلمية في الاستشعار عن بعد.

٥-٢ الطاقة الكهرومغناطيسية

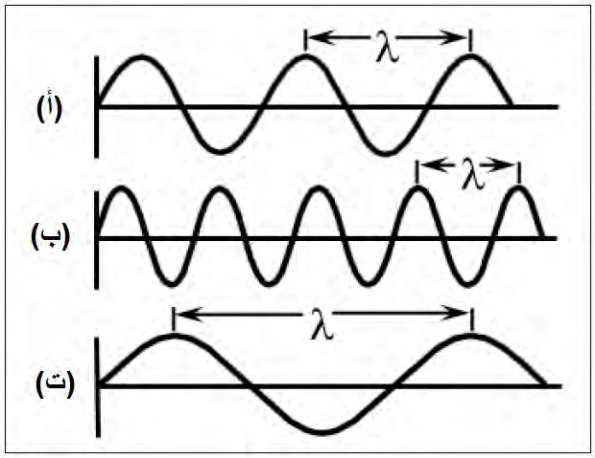
يمتلئ العالم الذي نعيش به بالطاقة. فعلي سبيل المثال فأن الضوء و الحرارة و الكهرباء هي أشكال لهذه الطاقة. وللاستشعار عن بعد فأن مصدر الطاقة المهم هو الطاقة الكهرومغناطيسية، ومصدرها الرئيسي هو الشمس.

يتكون الاشعاع (أو الطاقة) الكهرومغناطيسي من مجال كهربائي Electrical Field (E) والذي يتغير في القيمة في اتجاه عمودي علي اتجاه سريان الاشعاع و مجال مغناطيسي Magnetic Field (M) يتعامد علي المجال الكهربائي (ومن هنا جاء مصطلح الكهرومغناطيسي). و كلا المجالين الكهربائي و المغناطيسي يسيران بسرعة الضوء speed of light وتأخذ الرمز c.



شكل (٥-١) الاشعاع الكهرومغناطيسي

وهناك خاصيتين أساسيتين للإشعاع الكهرومغناطيسي لهما أهمية خاصة في فهم عملية الاستشعار عن بعد، وهما خاصيتي: طول الموجة و التردد.



شكل (٥-٢) طول الموجة في الاشعاع الكهرومغناطيسي

طول الموجة wavelength هو طول دورة كاملة، ويمكن قياسه كمسافة بين قمتين متتاليتين، وعادة ما يرمز له بالحرف اللاتيني λ (لامدا). ويقاس طول الموجة بوحدات المتر (m) أو أجزاء منه مثل النانو متر (nm) الذي يساوي جزء من بليون ($١٠^{-٩}$) من المتر، أو الميكرو متر (μm) الذي يساوي جزء من مليون ($١٠^{-٦}$) من المتر، أو السنتيمتر (cm) الذي يساوي جزء من مائة ($١٠^{-٢}$) من المتر.

أما التردد frequency فهو عدد موجات الموجة في فترة زمنية محددة. ويقاس التردد بوحدات الهرتز hertz (Hz) وهو موجة واحدة في الثانية، ومضاعفات الهرتز.

والعلاقة بين طول الموجة و التردد تعبر عنها المعادلة التالية:

$$c = \lambda v \qquad (1)$$

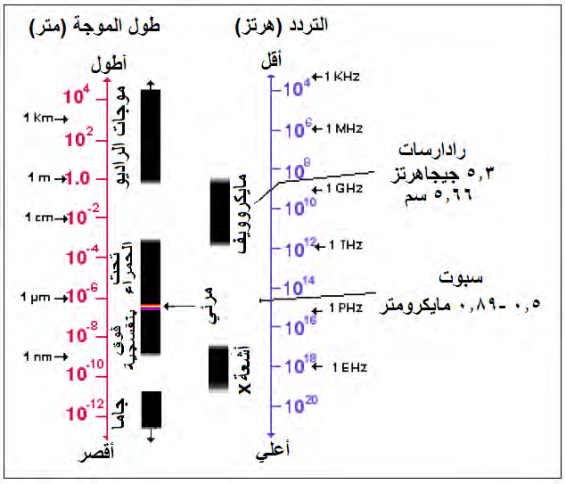
حيث:

c سرعة الضوء = ٣×١٠^{٨} متر/ث،
λ طول الموجة بالمتر،
v التردد (بالهرتز أي عدد الموجات/ث).

ومن هذه المعادلة يمكننا أن نقول أن طول الموجة و التردد لهما علاقة عكسية، فكلما قصر طول الموجة أرتفع التردد وكلما زاد طول الموجة انخفض التردد. وتجدر الاشارة الي أن فهم خصائص الاشعاع المغناطيسي هام للغاية لفهم المعلومات التي يمكن الحصول عليها من عملية الاستشعار عن بعد.

٥-٣ المجال الكهرومغناطيسي

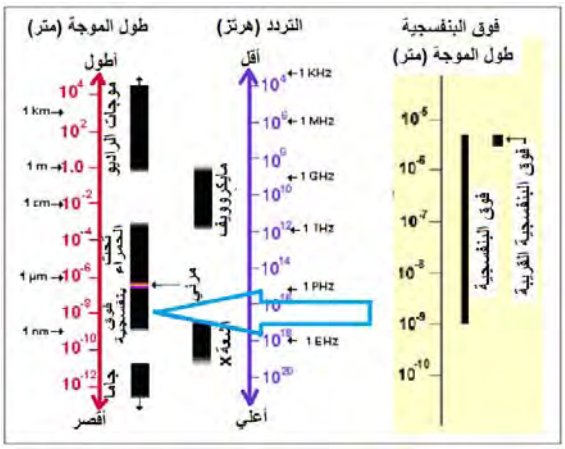
يتراوح المجال الكهرومغناطيسي electromagnetic spectrum بين أطوال موجات قصيرة (مثل أشعة جاما gamma و الاشعة السينية x-ray) وأطوال موجات طويلة (مثل الموجات القصيرة أو المايكروويف microwaves و موجات الراديو radio waves). وهناك عدة مناطق في المجال الكهرومغناطيسي مفيدة للاستشعار عن بعد.



شكل (٥-٣) المجال الكهرومغناطيسي

Spectral Region	Wavelength
Gamma rays	<0.03 nm
X-rays	0.03–30 nm
UV region	0.03–0.4 µm
Far UV	0.01–0.2 µm
Middle UV	0.2–0.3 µm
Near UV (photographic UV band)	0.3–0.4 µm
Visible region	0.4–0.7 µm
Visible blue	0.4–0.5 µm
Visible green	0.5–0.6 µm
Visible red	0.6–0.7 µm
Reflected near-IR region	0.7–3 µm
Photographic IR	0.7–1.3 µm
Middle IR	1.5–1.8 µm, 2.0–2.4 µm
Thermal IR (far IR)	3–5 µm, 8–14 µm (below ozone layer), 10.5–12.5 µm (above ozone layer)
Microwave	0.1–100 cm
Radar region	0.1–100 cm
K	0.8–2.4 cm
X (3.0 cm)	2.4–3.8 cm
C (6 cm)	3.8–7.5 cm
S (8.0 cm, 12.6 cm)	7.5–15.0 cm
L (23.5 cm, 25.0 cm)	15.0–30.0 cm
P (68 cm)	30.0–100.0 cm
Radio	>100 cm

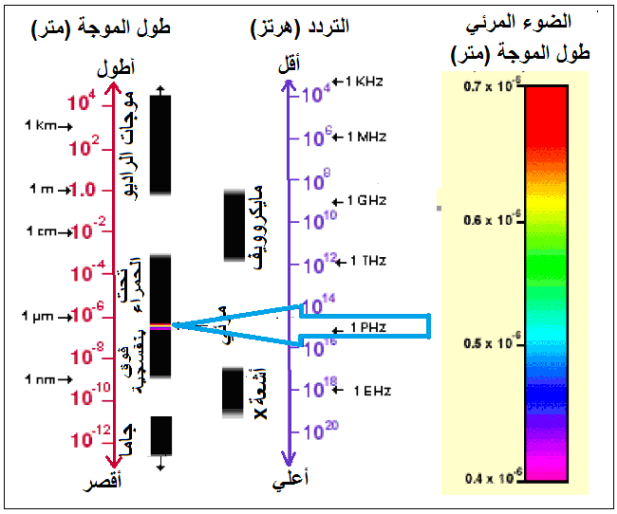
لعدة أهداف فأن الاشعة فوق البنفسجية Ultraviolet (أو اختصارا UV) لها أقصر طول موجة مما يجعلها عملية لبعض أنواع الاستشعار عن بعد. وهذا الجزء من المجال الكهرومغناطيسي يقع مباشرة خلف الاشعة البنفسجية من الضوء المرئي، ومن هنا جاء أسمه. وتوجد بعض مواد سطح الأرض - خاصة الصخور والمعادن - ينبعث منها ضوءا مرئيا عندما تقع عليها الأشعة فوق البنفسجية.



شكل (٥-٤) الأشعة فوق البنفسجية

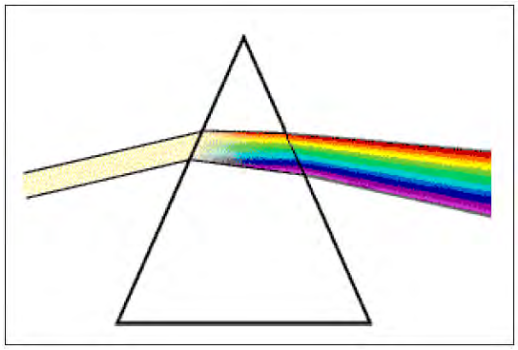
ان الضوء الذي تراه أعيننا هو جزء من المجال الكهرومغناطيسي المرئي visible spectrum. ومن الجدير ملاحظة كم هو قليل بالمقارنة ببقية المجال الكهرومغناطيسي كما هو موضح بالشكل التالي. أي أن هناك الكثير من أنواع الاشعاع حولنا لكن أعيننا لا تستطيع رؤيتها، ولذلك تسمي أشعة غير مرئية invisible، لمن يمكن تحسسها أو استشعارها من خلال أجهزة الاستشعار ومن ثم الاستفادة منها. يغطي الضوء المرئي مجالا يتراوح بين ٠.٤ الي ٠.٧ مايكرومتر. واللون أو الضوء الأحمر له أطول موجة في مكونات الضوء المرئي، بينما اللون البنفسجي له أقصر طول موجة كما هو موضح بالشكل التالي. ونشمل مكونات الضوء المرئي الألوان التالية:

- البنفسجي violet : طول موجة ٠.٤ - ٠.٤٤٦ مايكرومتر
- الأزرق blue : طول موجة ٠.٤٤٦ - ٠.٥٠٠ مايكرومتر
- الأخضر green : طول موجة ٠.٥٠٠ - ٠.٥٧٨ مايكرومتر
- الأصفر yellow : طول موجة ٠.٥٧٨ - ٠.٥٩٢ مايكرومتر
- البرتقالي orange : طول موجة ٠.٥٩٢ - ٠.٦٢٠ مايكرومتر
- الأحمر red : طول موجة ٠.٦٢٠ - ٠.٧ مايكرومتر



شكل (٥-٥) الضوء المرئي

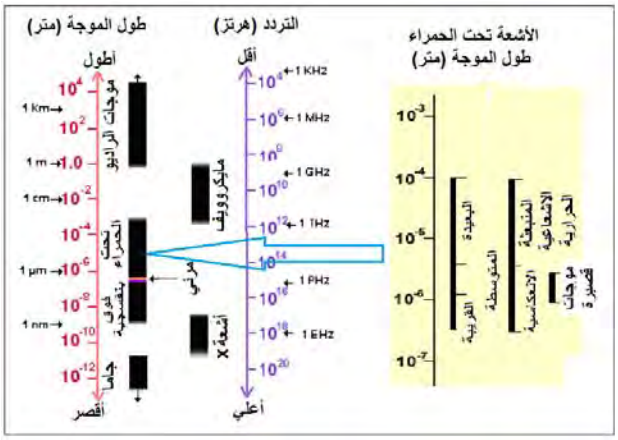
ويعد الأزرق و الأخضر و الأحمر الألوان الأساسية في المجال المرئي، وذلك بسبب أن أي لون أساسي لا يمكن أن يتكون من الألوان الأخرى بينما كل الألوان الأخرى مركبة من هذه الألوان الأساسية. ومع أننا نري ضوء الشمس كأنه لون متجانس homogeneous أو منتظم uniform إلا أنه في الحقيقة مركب من عدة مركبات أو عدة أطوال موجة من مجال الاشعاع وخاصة الاشعة فوق البنفسجية و الضوء المرئي و الاشعة تحت الحمراء. ويمكن رؤية مكونات الجزء المرئي من الاشعاع الكهرومغناطيسي عندما نمرر الضوء من خلال منشور prism كما في الشكل التالي:



شكل (٥-٦) مركبات الضوء المرئي

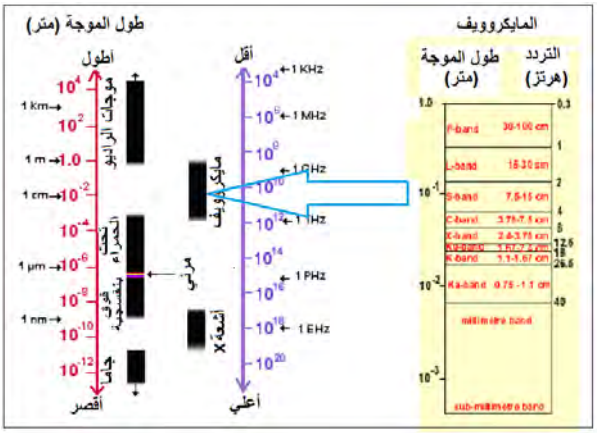
الجزء التالي الهام من المجال الكهرومغناطيسي هو الاشعة تحت الحمراء Infrared (أو اختصارا IR) والذي يغطي أطوال موجات من ٠.٧ تقريبا الي ١٠٠ مايكرومتر، أي أنه مائة مرة أعرض من الجزء المرئي. ويمكن تقسيم الاشعة تحت الحمراء الي مجموعتين بناءا علي خصائصهما الاشعاعية: تحت الحمراء الانعكاسية Reflected IR وتحت الحمراء الانبعاثية أو الحرارية Thermal IR. تستخدم الاشعة تحت الحمراء في الاستشعار عن بعد بطريقة تماثل استخدام الضوء المرئي. والأشعة تحت الحمراء الانعكاسية تغطي أطوال موجات تقريبا من ٠.٧ الي ٣.٠

مايكرومتر. أما الاشعة تحت الحمراء الحرارية فتختلف تماما عن الضوء المرئي و الاشعة تحت الحمراء الانعكاسية، فهذا الجزء من الطاقة الكهرومغناطيسية ينبعث أساسا من سطح الأرض في صورة حرارة. و تغطي الأشعة تحت الحمراء الحرارية أطوال موجات تقريبا من ٣.٠ الي ١٠٠ مايكرومتر.



شكل (٥-٧) الأشعة تحت الحمراء

الجزء الذي أصبح حديثا مثارا للاهتمام في الاستشعار عن بعد هو الأشعة القصيرة أو المايكروويف microwave والذي يتراوح طول موجته ما بين ١ ملليمتر الي ١ متر. وهذا يمثل أطول موجات الاشعة المستخدمة في الاستشعار عن بعد. وأشعة المايكروويف قصيرة طول الموجة لها خصائص مماثلة لخصائص الاشعة تحت الحمراء الحرارية، بينما تستخدم الاشعة طويلة الموجة في البث التلفزيوني و الاذاعي.

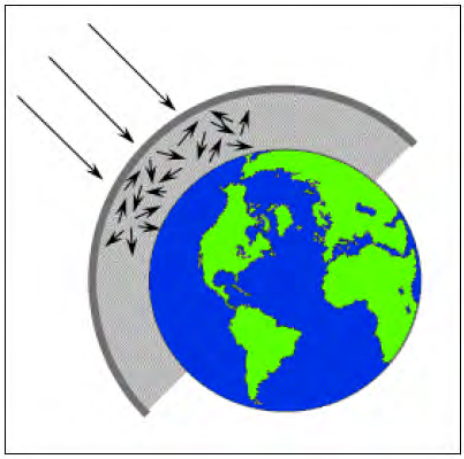


شكل (٥-٨) أشعة المايكروويف (الأشعة القصيرة)

٥-٤ التفاعل مع الغلاف الجوي

قبل أن يصل الاشعاع المستخدم في الاستشعار عن بعد الي سطح الأرض فأنه يمر بطبقات الغلاف الجوي، ومن الممكن أن تؤثر الجزئيات و الغازات الموجودة في الغلاف الجوي علي هذا الاشعاع. وتكون أسباب هذه التأثيرات ما يعرف بالتشتت و الامتصاص.

يحدث التشتت scattering عندما توجد جزئيات كبيرة من الغازات في الغلاف الجوي مما يجعل الاشعاع الكهرومغناطيسي ينحرف أو يتشتت عن مساره الأصلي. ويعتمد حجم هذا التشتت علي عدة عوامل منها طول موجة الاشعاع ووفرة جزئيات الغازات و المسافة التي يقطعها الاشعاع خلال الغلاف الجوي.



شكل (٥-٩) التشتت في الغلاف الجوي

يوجد ثلاثة أنواع من التشتت:

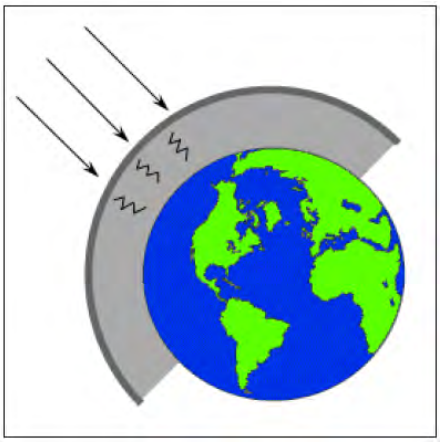
- تشتت Rayleigh ويحدث عندما تكون الجزئيات صغيرة جدا بالمقارنة بطول موجة الاشعاع، مثل جزئيات النتروجين و الاكسجين و ذرات التراب. ويؤثر هذا النوع من التشتت علي الطاقة ذات أطوال الموجة القصيرة بدرجة أكبر من تلك ذات أطوال الموجة الكبيرة، وهو نوع التشتت الأكبر في الطبقات العليا من الغلاف الجوي. وهذا التشتت هو السبب في رؤيتنا السماء باللون الأزرق خلال النهار حيث أن ضوء الشمس عندما يمر بالغلاف الجوي فأن الموجات القصيرة (الأزرق) من الضوء المرئي ستتشتت و تنتشر بدرجة أكبر من الموجات الأطول موجة.

- تشتت Mie ويحدث عندما تكون الجزئيات بنفس حجم طول موجة الاشعاع، مثل جزئيات التراب و الدخان و بخار الماء. ويؤثر هذا النوع من التشتت علي الطاقة ذات أطوال الموجة الطويلة بدرجة أكبر من تلك ذات أطوال الموجة القصيرة، ومن ثم فهو يحدث في الطبقات السفلي من الغلاف الجوي وخاصة عندما تكون السحب معتمة أو غائمة.

- التشتت غير الانتقائى nonselective ويحدث عندما تكون الجزئيات أكبر من حجم طول موجة الاشعاع، مثل جزئيات التراب الكبيرة وقطرات الماء. ويؤثر هذا النوع من التشتت علي

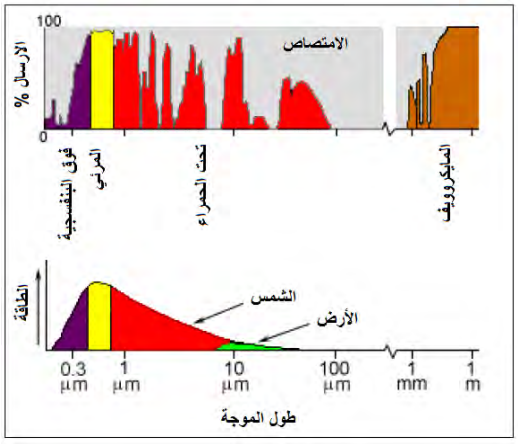
جميع أنواع الطاقة لجميع أطوال الموجات بدرجة متساوية، وهو المسبب لظهور الضباب و السحب باللون الأبيض لأعيننا حيث أن الألوان الأزرق و الأخضر و الأحمر ستشتت بنفس الدرجة.

يحدث الامتصاص absorption بصورة مغايرة للتشتت، فالامتصاص يتسبب في أن تقوم جزئيات الغلاف الجوي بامتصاص الطاقة في أطوال الموجات المختلفة. ويعد الاوزون و ثاني أكسيد الكربون و بخار الماء العوامل الثلاثة المسببة للامتصاص. ان الاوزون يمتص الاشعاع فوق البنفسجي الضار للإنسان، ولولا وجود هذه الطبقة في الغلاف الجوي لاحترق جلد الانسان عند التعرض لأشعة الشمس. أما ثاني أكسيد الكربون فيمتص الاشعاع بقوة في نطلق الاشعة تحت الحمراء البعيدة من مجال الطاقة الكهرومغناطيسية مما يتسبب في احتفاظ الغلاف الجوي بالحرارة وهو المؤدي لظاهرة الاحتباس الحراري. أما بخار الماء فيمتص الطاقة في كلا من نطاق الاشعة تحت الحمراء طويلة الموجة و أيضا الموجات القصيرة أو الميكروويف (بين ٢٢ مايكرومتر و ١ متر). ويختلف وجود بخار الماء في الطبقات السفلي من الغلاف الجوي من مكان لآخر ومن وقت لآخر طوال العام، فعلي سبيل المثال فأن المناطق الصحراوية بها القليل من بخار الماء بينما المناطق المدارية بها تركيز أعلي من بخار الماء أي رطوبة عالية.



شكل (٥-١٠) الامتصاص في الغلاف الجوي

حيث أن هذه الغازات تمتص الطاقة الكهرومغناطيسية بصور مختلفة في نطاق الطاقة فأنها تؤثر في تحديد النطاقات التي يمكن استخدامها في تطبيقات الاستشعار عن بعد. فالمناطق - داخل نطاق الطاقة الكهرومغناطيسية - التي لا تتأثر بشدة بالامتصاص في الغلاف الجوي تكون مناطق مفيدة للاستشعار عن بعد، ومن ثم يطلق عليها اسم "نوافذ الغلاف الجوي atmospheric windows". وبمقارنة خصائص مصدري الطاقة (أي الشمس و الأرض) مع نوافذ الغلاف الجوي المتاحة فيمكننا تحديد أطوال الموجات التي يمكن استخدامها بكفاءة في عملية الاستشعار عن بعد. فالجزء المرئي من نطاق الطاقة الكهرومغناطيسية يكون حساسا لنوافذ الغلاف الجوي و أيضا لقمة الطاقة الشمسية. أما الطاقة الحرارية المنبعثة من الأرض فأنها تكون في نافذة حوالي ١٠ مايكرومتر في نطاق الاشعة تحت الحمراء الحرارية، بينما النافذة الأكبر من أطوال الموجات بعد ١ ملليمتر تكون في نطاق الموجات القصيرة أو المايكروويف.



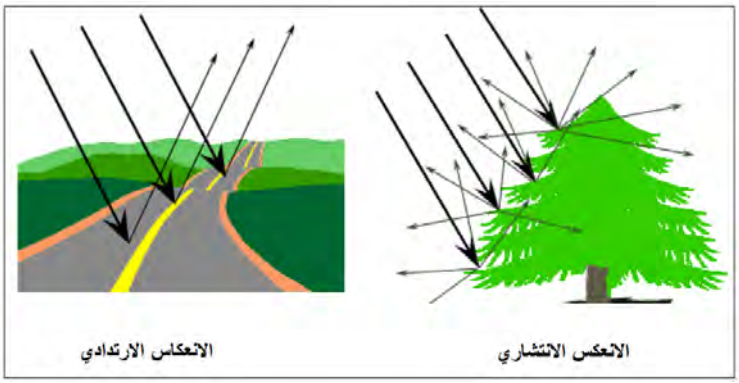
شكل (٥-١١) نوافذ الغلاف الجوي

٥-٥ التفاعل مع الأهداف

يمكن للإشعاع الذي لا يمتص أو يتناثر في الغلاف الجوي أن يصل و يتفاعل مع الأهداف الموجودة علي سطح الأرض. وهناك ثلاثة صور للتفاعل هذه الطاقة الساقطة I (كما في الشكل التالي): الامتصاص A ، النفاذ T ، الانعكاس I ، ويتم التفاعل مع الاهداف في واحدة أو أكثر من هذه الصور بناءا علي طول موجة الاشعاع و خصائص الأهداف ذاتها.

شكل (٥-١٢) صور التفاعل مع الأهداف

يحدث الامتصاص absorption عندما يقوم الهدف بامتصاص الطاقة الساقطة بينما يحدث النفاذ transmission عندما يتم مرور الطاقة من خلال الهدف، ويحدث الانعكاس reflection عندما يعكس الهدف هذه الطاقة و يعيد توجيهها. وفي الاستشعار عن بعد فأننا نهتم بقياس الاشعاع المنعكس من هذه الأهداف الأرضية، وهنا يوجد نوعين من الانعكاس: الانعكاس الارتدادي specular reflection و الانعكاس الانتشاري diffuse reflection



شكل (٥-١٣) أنواع الانعكاس

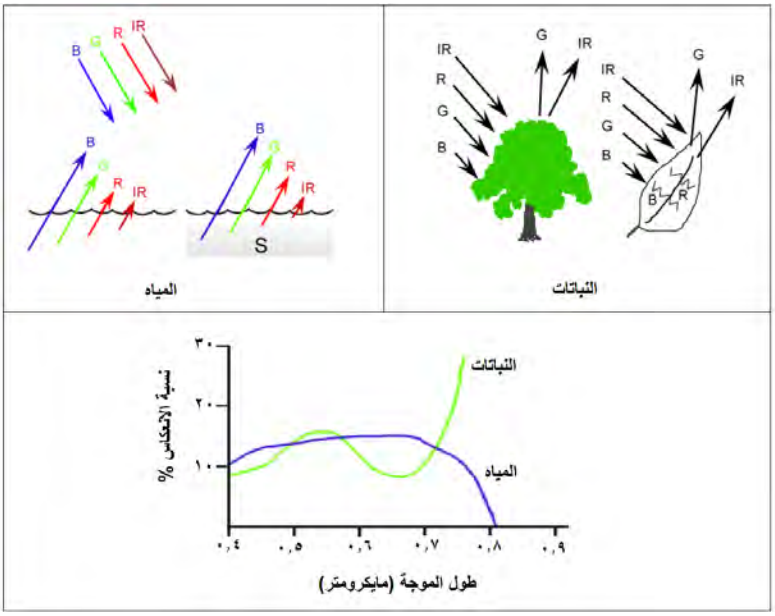
عندما يكون الهدف أملس أو ناعم smooth فيحدث الانعكاس الارتدادي أو ما يمكن تسميته الانعكاس كشبه المرآة حيث تنعكس كل أو معظم الطاقة الساقطة بعيدا عن سطح الهدف في اتجاه واحد. أما الانعكاس الانتشاري فيحدث عندما يكون سطح الهدف خشن rough حيث تنعكس الطاقة تقريبا بانتظام في جميع الاتجاهات. وكل الأهداف الأرضية تقع فيما بين حالتي الانعكاس هاتين اعتمادا علي درجة خشونة roughness الهدف مقارنة بطول موجة الاشعاع الساقط عليه. فإذا كان طول الموجة صغير جدا بالمقارنة بتغيرات السطح أو حجم الجزئ particle size الذي يتكون منه سطح هذا الهدف فأن الانعكاس الانتشاري يكون هو الغالب. فعلي سبيل المثال فأن الرمال الدقيقة ستظهر ناعمة جدا بالمقارنة لموجات الميكروويف (طول موجة كبير) لكنها ستكون خشنة بالمقارنة لموجات الضوء المرئي.

لنأخذ الان مثالين تفصلين لأهداف سطح الأرض وكيف ستتفاعل مع الطاقة في نطاق الضوء المرئي و نطاق الأشعة تحت الحمراء (الشكل التالي).

- أوراق النباتات leaves: وفيها فأن مادة الكلوروفيل ستمتص بقوة الاشعاع في أطوال الموجة للون الأزرق و الأحمر وستعكس طول موجة اللون الأخضر، وهذا ما يجعلنا نري النباتات خضراء اللون ويزداد اخضرارها في فصل الصيف حيث تكون مادة الكلوروفيل في أقصي قيمها. بينما في فصل الخريف فيكون هناك كلوروفيل أقل مما يجعل انعكاس اللون الأخضر أقل بينما يكون هناك انعكس أكثر (أو امتصاص أقل) في اللون الأحمر مما يجعل لون النباتات أحمر أو أصفر (لاحظ أن اللون الأصفر ما هو إلا مكون من كلا اللونين الأحمر و الأخضر). أيضا فأن التركيب الداخلي لصحة النبات يعمل كعاكس انتشاري مثالي في الأشعة تحت الحمراء القريبة near infrared، أي أنه اذا كانت عين الانسان حساسة لهذه الأشعة فأننا كنا سنري النباتات أكثر لمعانا لطول الموجة هذه. وفي الحقيقة فأن قياس و متابعة الاشعة تحت الحمراء القريبة المنعكسة يعد مقياسا لمدي صحة how healthy النباتات في تطبيقات الاستشعار عن بعد.

- المياه water: وفيها سيتم امتصاص أطوال الموجات الكبيرة من الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء القريبة بدرجة أكبر من تلك الأشعة ذات أطوال الموجة القصيرة. ومن ثم فأن المياه تظهر باللون الأزرق أو الأزرق-الأخضر نتيجة الانعكاس القوي لهذه الموجات القصيرة،

وتظهر المياه داكنة عند رؤيتها بالأشعة تحت الحمراء. فإذا وجدت مواد عالقة suspended sediments (S) في الطبقة العليا من المسطح المائي فأنها ستسبب في انعكاس أفضل و مظهر أكثر لمعانا. لكن هذه المواد العالقة S قد تسبب ارتباكا مع المياه الضحلة النظيفة، حيث أن كلاهما سيظهران متشابهين بدرجة كبيرة. ان الكلوروفيل في الطحالب يمتص الأشعة الزرقاء بدرجة أكبر ويعكس اللون الأخضر مما يجعل المياه تظهر أكثر اخضرارا عند وجود الطحالب. أيضا فأن تضاريس المسحات المائية (النعومة و الخشونة والمواد العائمة) قد تسبب في تعقيدات أكثر عند تفسير مكونات هذه المسطحات وتفاعلها في ظاهرة الانعكاس الارتدادي.



شكل (٥-١٤) أمثلة لتفاعلات الانعكاس مع الأهداف

ومن هذين المثالين فيمكننا أن نلاحظ أنه و طبقا لطبيعة الهدف و لطول موجة الاشعاع المستخدم فيمكننا أن نري صور مختلفة من تفاعلات الامتصاص و النفاذ و الانعكاس. ومن ثم فأننا وبقياس الطاقة المنعكسة (أو المنبعثة) من أهداف سطح الأرض في عدة أطوال موجات فنستطيع بناء أو تكوين قاعدة للتفاعل الطيفي spectral response لكل هدف. فإذا قارننا هذا التفاعل الطيفي لعدة أهداف أرضية فيمكننا أن نفرق بينهم بصورة أفضل من التفرقة بينهم في طول موجة واحد فقط. فعلي سبيل المثال فأن المياه و النباتات قد يعكسان الأشعة بصورة متشابهه في الضوء المرئي، لكنهما منفصلان تماما و مختلفان عند التعامل مع الاشعة تحت الحمراء. فبمعرفة في أي جزء من نطاق الضوء الكهرومغناطيسي يجب أن نبحث فيمكنا الوصول الي تفسير و تحليل أفضل و أدق للإشعاع وكيفية تفاعله مع الأهداف الأرضية.

الفصل السادس

تحليل البيانات

٦-١ مقدمة

يتعامل اخصائيو العلوم المكانية مع كم هائل من البيانات، ومهما كانت درجة الوعي و الاهتمام في تجميع هذه البيانات فأنها ستحتوي بعض الأخطاء. وهذا هو الهدف من الفصل الحالي.

٦-١ مصادر و أنواع الأخطاء

الخطأ هو مقدار الفرق بين القيمة المقاسة (المرصودة) والقيمة الحقيقية لها. لكن من الصعب – إن لم يكن من المستحيل – أن نعرف القيمة الحقيقية لأي قياس، ولذلك فنستعيض عنه بالقيمة الأكثر احتمالا له.

تحدث الأخطاء نتيجة ثلاثة أسباب أو مصادر هي:

(أ) أخطاء إلية:

أخطاء ناتجة عن عيوب الأجهزة المستخدمة في القياس والتي يمكن التغلب عليها من خلال ضبط الجهاز ضبط دائم و معايرته كل فترة و إتباع خطة معينة في الرصد (مثل الرصد متيامن و متياسر بجهاز الثيودليت) وتصحيح أو ضبط الأرصاد من خلال معادلات رياضية (مثلا ضبط زوايا المثلث بحيث يساوي مجموع زواياه ١٨٠ درجة).

(ب) أخطاء شخصية:

أخطاء ترجع للراصد ذاته مثل عدم اعتنائه بعملية الرصد بصورة سليمة أو قلة خبرته العملية.

(ج) أخطاء طبيعية:

أخطاء ترجع أسبابها لتغير الظروف الطبيعية أثناء عملية الرصد مثل تغير تأثير الانكسار الجوي علي الميزان في فترات اليوم الواحد.

تنقسم أنواع الأخطاء إلي أربعة أنواع تشمل:

(١) الغلط أو الخطأ الجسيم Mistake or Blunder or Gross Error:

هو قيمة شاذة تجعل القيم المرصودة غير متجانسة مع بقية الأرصاد المماثلة، وينتج عن قلة الخبرة أو الإهمال في القياس. مثلا عند قياس زاوية عدة مرات فتكتب قيمتها في احدي المرات

١٥٣ درجة بدلا من ١٣٥ درجة، أو التوجيه علي نقطة "أ" وتسجيل قراءة الزاوية علي أنها لنقطة "ب". فإذا تم قياس مسافة عدة مرات كالتالي: ٥٦.٣٢، ٥٦.٣٨، ٥٦.٤٠، ٥٧.٣٨، ٥٦.٣٥، ٥٦.٣٩ متر، فيمكن بالملاحظة اكتشاف أن القيمة ٥٧.٣٨ تعد غلط أو خطأ جسيم حيث أن باقي القيم متقاربة مع بعضها في حدود سنتيمترات بينما هذه القيمة تبعد عنهم بمتر كامل تقريبا. يمكن اكتشاف الغلط من خلال الحرص في المراجعة والتحقق من كل خطوة من خطوات الرصد ثم استبعاده نهائيا من عملية الحسابات المساحية. تجدر الإشارة إلي أن الغلط هو أخطر أنواع الأخطاء وأشدها تأثيرا علي دقة العمل في حالة عدم اكتشافه.

(٢) الخطأ التراكمي Accumulative Error:

هو خطأ صغير القيمة نسبيا (عند مقارنته بقيمة الغلط) يتكرر بنفس المقدار و الإشارة إذا تكرر القياس تحت نفس الظروف وباستخدام نفس الأجهزة ونفس الراصدين. الخطأ المنتظم خطا تراكمي بمعني أن قيمته تزيد كلما تكرر القياس، فمثلا إذا كان هناك خطأ ١٠ سنتيمتر في شريط طوله ٢٠ متر وأستخدمنا هذا الشريط في قياس مسافة تبلغ ١٠٠ متر فأن خطا منتظم قيمته ١٠ سنتيمتر سيكون في كل طرحة (رصدة أو جزء من المسافة، أي في كل ٢٠ متر مقاسه) مما سيجعل الخطأ المنتظم سيبلغ ١٠ سنتيمتر × ٥ مرات قياس = ٥٠ سنتيمتر في نهاية هذه المسافة. يتم التغلب علي الخطأ المنتظم إما بإضافة التصحيحات اللازمة له أو بوضع خطة دقيقة لعملية الرصد ذاتها، ويجب أن يتم ذلك قبل استخدام الأرصاد في العمليات الحسابية المساحية.

(٣) الخطأ المنتظم Systematic Error:

يشبه الخطأ المنتظم الخطأ التراكمي في طبيعته إلا أنه قد يكون تراكميا بنفس المقدار والإشارة وقد يختلف في قيمته و إشارته من أجزاء العمل الحقلي. كمثال تأثير عوامل الطقس (الحرارة والرطوبة) علي قياسات الزوايا و المسافات المقاسة الكترونيا سواء بأجهزة EDM أو المحطات الشاملة، ولذلك توجد معادلات رياضية لحساب قيمة هذا الخطأ المنتظم بناءا علي قيم درجات الحرارة و الرطوبة المقاسة أثناء عملية الرصد الميداني. يتم التغلب علي الأخطاء المنتظمة من خلال إجراء التصحيحات اللازمة أو بوضع خطة دقيقة لعملية الرصد واختيار أنسب ظروف القياس. أيضا يجب أن يتم التغلب علي الأخطاء المنتظمة و تصحيحها (مثل الأخطاء التراكمية) قبل استخدام الأرصاد في العمليات الحسابية المساحية.

(٤) الخطأ العشوائي أو العارض Random or Accidental Error:

الخطأ العشوائي خطأ متغير غير ثابت لا في القيمة ولا في الإشارة ولا يمكن التنبؤ به ولا معرفة مصدره الرئيسي، ولذلك فأسمه العشوائي. توجد الأخطاء العشوائية - مهما صغرت قيمتها - في كل القياسات ويتم التعامل معها بطرق رياضية لمحاولة الوصول إلي القيمة الأكثر احتمالا للكميات المطلوب حساب قيمتها الدقيقة. وهذا هو موضوع نظرية الأخطاء Theory of Errors أو عملية الضبط Adjustment.

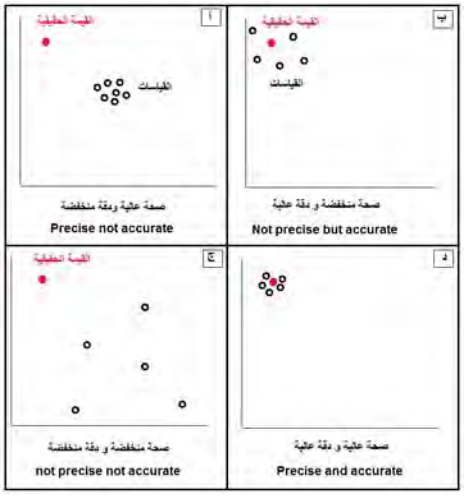
٦-٢ مبادئ إحصائية عامة

(أ) الدقة Accuracy والصحة Precision:

يجب علي دارس المساحة أن يفرق بين كلا المفهومين وخاصة – للأسف – أن بعض الكتب باللغة العربية تترجم كلا الكلمتين إلي "دقة" مع أنه يوجد اختلاف جذري بينهما. فالصحة (البعض يسميها الإحكام أو الدقة الظاهرية) Precision تدل علي مدي تقارب مجموعة من القياسات لنفس الهدف، أي أن الصحة هي درجة التوافق بين عدة قياسات لقيمة واحدة، أو هي درجة تنقية الأرصاد من الأخطاء معروفة المصدر وإزالة تأثيرها علي القياسات. بينما الدقة Accuracy تدل علي مدي قرب هذه الأرصاد من القيمة الحقيقية لها، أو بمعني آخر فالدقة هي درجة الكمال في الأرصاد وخلوها من الأخطاء بقدر الإمكان.

لنأخذ مثالا: تم قياس مسافة عدد من المرات فكانت النتائج ٨.٢٤ ، ٨.٢٦ ، ٨.٢٠ ، ٨.٢٢ متر. هذه الأرصاد متقاربة جدا من بعضها مما يجعلنا نقول أن "صحة" الأرصاد عالية. لكن ماذا لو كان الشريط المستخدم في هذه الأرصاد به خطأ منتظم قيمته ٢٠ سنتيمتر مثلا، هنا ستكون كل القياسات بعيدة عن القيمة الحقيقية للمسافة المقاسة ، أي أنها "دقة" الأرصاد ستكون منخفضة.

الشكل التالي يمثل أربعة حالات للفرق بين الدقة و الصحة: (أ) فان كانت القياسات متقاربة جدا من بعضها البعض لكنها في نفس الوقت بعيدة عن القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة عالية لكن الدقة منخفضة، (ب) أما إن كانت القياسات متباعدة عن بعضها البعض لكنها في نفس الوقت قريبة من القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة منخفضة لكن الدقة عالية، (ج) أما إن كانت القياسات متباعدة عن بعضها البعض وأيضا بعيدة عن القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة منخفضة والدقة منخفضة أيضا، (د) أما إن كانت القياسات متقاربة جدا من بعضها البعض وفي نفس الوقت قريبة من القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة عالية والدقة عالية أيضا.



شكل (٨-١) الدقة و الصحة

من الصعب معرفة القيمة الحقيقية لأي قيمة مقاسة لتحديد دقة القياسات، وغالبا نستطيع حساب قيمة هي الأكثر احتمالا أو الأكثر قربا للقيمة الحقيقية. مثلا إذا قمنا بقياس زاوية عدة مرات – وتأكدنا من عدم وجود أية أغلاط أو أخطاء منتظمة أو أخطاء تراكمية – ثم قمنا بحساب متوسط هذه الأرصاد فأنه سيكون أقرب وأكثر احتمالا للقيمة الحقيقية لهذه الزاوية. لكي نحدد مقياس للدقة يتم مقارنة القيمة الأكثر احتمالا (المتوسط) بقيمة المسافة التي تم قياسها بطريقة أدق، فمثلا نقارن متوسط المسافات المقاسة بالشريط مع قيمة المسافة المقاسة بالمحطة الشاملة ونقارن متوسط الزاوية المقاسة بالثيودليت مع قيمة الزاوية المحسوبة من أرصاد النظام العالمي لتحديد المواقع GPS، ونقارن إحداثيات GPS مع إحداثيات تقنية أخري أكثر تقدما ودقة مثل VBLI. Accurate

يمكن تقسيم الأرصاد المساحية إلي مجموعتين:

(١) أرصاد مباشرة Direct Observations:

عند قياس الكمية المطلوبة قياسا مباشرا فمثلا قياس المسافة مباشرة وكذلك قياس الزوايا المطلوبة ... الخ. تسمي هذه الكميات في هذه الحالة كميات مستقلة Independent Observations أي لا تعتمد علي أية أرصاد أو كميات أخري.

(٢) أرصاد غير مباشرة Indirect Observations:

هي الكميات التي لا يمكن قياسها مباشرة لكن يتم عمل أرصاد لكميات أخري والتي منها سيتم تحديد أو حساب قيم الكميات الأصلية المطلوبة. فمثلا قياس طول وعرض مربع بهدف حساب مساحته، وعند حساب إحداثيات نقاط ترافرس فنقيس زوايا و أضلاع الترافرس والتي هنا تمثل أرصاد غير مباشرة. وتسمي الأرصاد غير المباشرة كميات تابعة Dependant Observations لأنها تعتمد في تحديد قيمتها علي قيم أرصاد أخري تتأثر بها.

القيمة الأكثر احتمالا Most-Probable Value:

من الصعب – إن لم يكن من المستحيل – معرفة القيمة الحقيقية لأي كمية مقاسة وذلك لوجود أخطاء في القياس مهما كانت قيمة هذه الأخطاء صغيرة جدا. إن كانت الأرصاد مستقلة ولا تعتمد علي بعضها البعض وقمنا بتكرار القياس عدة مرات فأن قيمة المتوسط الحسابي ستمثل القيمة الأكثر احتمالا أو الأكثر توقعا أو الأكثر قربا للقيمة الحقيقية.

المتوسط الحسابي = مجموع الأرصاد / عدد الأرصاد (٦-١)

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n} \qquad (6\text{-}1)$$

حيث:
y_i تمثل الأرصاد $y_1, y_2, y_3, \ldots\ldots y_n$
n تمثل عدد الأرصاد

الخطأ الحقيقي True Error:

هو الفرق بين القيمة المرصودة والقيمة الحقيقية لها. وبما أن القيمة الحقيقية لا يمكن معرفتها ففي معظم الأحيان فان الخطأ الحقيقية أيضا لا يمكن معرفته. لكن في بعض الحالات يمكن معرفة الخطأ الحقيقي من خلال مواصفات أو قواعد هندسية معلومة فمثلا عند قياس الزوايا الثلاثة لمثلث فيجب أن يساوي مجموع الزوايا ١٨٠ درجة، ففي هذه الحالة يكون الخطأ الحقيقي هو ناتج طرح مجموع الزوايا المقاسة من ١٨٠.

الخطأ الحقيقي = القيمة المرصودة – القيمة الحقيقية (٢-٦)

$$\varepsilon_i = y_i - \mu \qquad (6\text{-}2)$$

حيث:
μ القيمة الحقيقية
ε الخطأ الحقيقي

الأخطاء المتبقية أو الفروق Residuals or Discrepancies:

الفرق أو الخطأ المتبقي (أو الباقي) هو الفرق بين القيمة المرصودة و القيمة الحقيقية لها. لكننا نستعيض عن القيمة الحقيقية بالقيمة الأكثر احتمالا لها وبذلك يكون الخطأ المتبقي:

الفرق = القيمة الأكثر احتمالا – القيمة المرصودة (٣-٦)

$$v_i = \bar{y} - y_i \qquad (6\text{-}3)$$

حيث:
v الخطأ المتبقي أو الفرق

التباين Variance:

التباين هو مؤشر إحصائي يحدد مدي تباين أو انتشار أو تشتت مجموعة من الأرصاد حول القيمة الحقيقية لها أو القيمة الأكثر احتمالا لها، ولذلك يوجد نوعين من التباين:

تباين المجتمع Population Variance:

إذا تم قياس **كل** الأرصاد الممكنة للقيمة المطلوبة فأن تباين المجتمع يساوي مجموع مربعات الأخطاء **الحقيقية** مقسوما علي عدد الأرصاد:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2}{n} \qquad (6\text{-}4)$$

حيث ε الخطأ الحقيقي لكل رصدة (وهو كما ذكرنا غير معلوم بسبب أن القيمة الحقيقية غالبا غير معلومة).

تباين العينة Sample Variance:

إذا تم قياس **عينة** أو مجموعة من الأرصاد للقيمة المطلوبة فأن تباين هذه العينة يساوي مجموع مربعات الأخطاء **المتبقية** (وليست الأخطاء الحقيقية) مقسوما علي عدد الأرصاد ناقص واحد:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^2}{n-1} \qquad (6\text{-}5)$$

حيث: v الخطأ المتبقي أو الفرق لكل رصدة.

أي أننا في حسابات المساحة نتعامل مع تباين العينة وليس تباين المجتمع وذلك بسبب حساب تباين المجتمع يتطلب معرفة القيمة الحقيقية وهي غير معلومة وبالتالي لا يمكننا معرفة قيم الأخطاء الحقيقية (في المعادلة ٦-٤) وذلك بالإضافة إلي أننا لا نستطيع قياس كل الأرصاد الممكنة للقيمة المطلوب قياسها.

الخطأ المعياري Standard Error:

الخطأ المعياري هو الجذر التربيعي لقيمة تباين المجتمع.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2}{n}} \qquad (6\text{-}6)$$

الانحراف المعياري Standard Deviation:

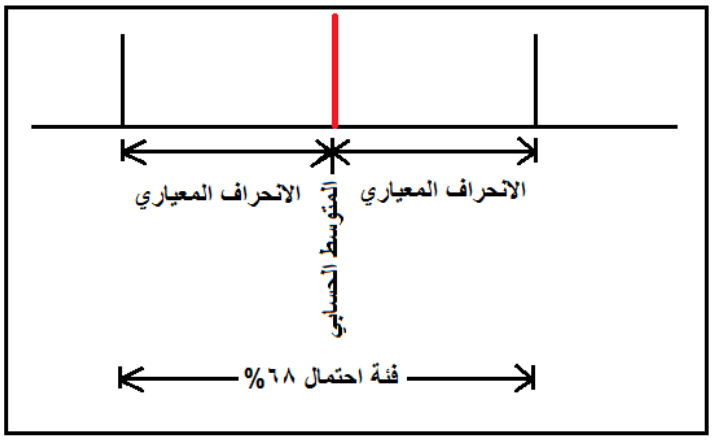
يعبر الانحراف المعياري (يطلق عليه أيضا أسم الخطأ التربيعي المتوسط Mean Square Error) عن مدي انحراف (ابتعاد أو اقتراب) القيمة المقاسة عن القيمة الأكثر احتمالا لها، وقيمته تساوي الجذر التربيعي لقيمة تباين العينة:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^2}{n-1}} \qquad (6\text{-}7)$$

ترجع أهمية قيمة الانحراف المعياري إلي وجود:

- احتمال بنسبة ٦٨.٣% أن القيمة الحقيقية ستقع في مدي يتراوح بين (المتوسط + الانحراف المعياري) و (المتوسط - الانحراف المعياري).
- احتمال بنسبة ٩٥.٤% أن القيمة الحقيقية ستقع في مدي يتراوح بين (المتوسط + ٢ الانحراف المعياري) و (المتوسط - ٢ الانحراف المعياري).
- احتمال بنسبة ٩٩.٧% أن القيمة الحقيقية ستقع في مدي يتراوح بين (المتوسط + ٣ الانحراف المعياري) و (المتوسط - ٣ الانحراف المعياري).

وهو ما يعرف باسم التوزيع الطبيعي normal distribution :



شكل (٦-٢) العلاقة بين المتوسط و الانحراف المعياري

مثال: إذا كان متوسط عدد من القياسات لمسافة يساوي ٥٣.٢١ متر وكان الانحراف المعياري للقياسات يساوي ± ٠.٠٣ متر فأن القيمة الحقيقية لهذه المسافة ستقع باحتمال ٦٨% بين ٥٣.٢١+٠.٠٣ و ٥٣.٢١-٠.٠٣ أي بين ٥٣.٢٤ و ٥٣.١٩ متر. بمعني آخر يمكن القول أن ٦٨% من القياسات أو الأرصاد يحتمل أن يكون بها خطأ قيمته تساوي قيمة الانحراف المعياري سواء بإشارة موجبة أو سالبة.

كلما صغرت قيمة الانحراف المعياري صغرت حدود هذه الفئة مما يدل علي أن القياسات أقرب ما تكون للقيمة الحقيقية، والعكس صحيح فكلما كبرت قيمة الانحراف المعياري زادت حدود الفئة مما يعطي انطباعا أن القياسات أو الأرصاد بعيدة عن القيمة الحقيقية.

أيضا يجب ملاحظة أن الانحراف المعياري يعتمد علي عدد الأرصاد (n في المعادلة ٦-٧)، أي أن كلما زاد عدد الأرصاد أو القياسات كلما زاد اقتراب هذه القياسات من القيمة الحقيقية لها وبالتالي تزداد الثقة في القياسات. وهذا من أهم مبادئ العمل المساحي بصفة عامة حيث دائما نفضل أن نقيس الكمية عدد من المرات ولا نكتفي بقياسها مرة واحدة فقط.

الانحراف المعياري للمتوسط Standard Deviation of the Mean:

الانحراف المعياري للمتوسط الحسابي هو حاصل قسمة الانحراف المعياري للعينة علي الجذر التربيعي لعدد الأرصاد:

$$S_{\bar{y}} = \pm\frac{S}{\sqrt{n}} \qquad (6\text{-}8)$$

تعبر قيمة الانحراف المعياري عن مدي تشتت أو تباعد القياسات عن بعضها البعض وبالتالي فهي قيمة معبرة عن مدي التوافق بين الأرصاد ومن ثم فأن الانحراف المعياري يؤخذ علي أنه مقياس أو مؤشر للصحة Precision. وفي العمل المساحي لا نعبر عن القيمة الأكثر احتمالا بقيمة المتوسط فقط إنما بقيمتي المتوسط و الانحراف المعياري معا، فنقول أن المسافة المقاسة – علي سبيل المثال – تساوي ٥٣.٢١ ± ٠.٠٣ متر.

بالعودة لتعريف كلا من الصحة و الدقة نستطيع القول أن الانحراف المعياري (الذي هو أساسا مؤشر للصحة Precision) يمكنه أن يعبر عن الدقة Precision في حالة خلو الأرصاد بقدر الإمكان من الأخطاء المنتظمة والأخطاء التراكمية والأغلاط. ففي حالة خلو الأرصاد من مصادر الأخطاء المعروفة فأن القياسات لن يكون بها إلا الأخطاء العشوائية فقط وبالتالي ستقترب قيم الأخطاء المتبقية أو الفروق من قيم الأخطاء الحقيقية وستقترب القيمة الأكثر احتمالا من القيمة الحقيقية للكمية المقاسة، ومن هنا فأن قيمة الانحراف المعياري ستقترب من قيمة الخطأ الحقيقي مما يجعل الانحراف المعياري يعبر - بدرجة كبيرة - عن الدقة. هنا تأتي أهم مبادئ العمل المساحي وهو أنه يحاول تحقيق أعلي درجة من الدقة في الرصد الحقلي سواء دقة الأجهزة المستخدمة أو دقة أساليب الرصد الميداني واتخاذ كافة الاحتياطات و تطبيق مواصفات الرصد وزيادة عدد الأرصاد مما يجعل الأرصاد المساحية خالية بقدر الإمكان من الأخطاء معلومة المصدر وبذلك فتكون نتائج الحسابات المساحية معبرة عن دقة الكميات المطلوب تحديدها.

مثال ١:
قيست مسافة ستة مرات فكانت الأرصاد كالتالي: ٥١.١٢، ٥١.١٤، ٥١.١٨، ٥١.١٩، ٥١.٢٢، ٥١.١٦ متر. أحسب القيمة الأكثر احتمالا لهذه المسافة.

مجموع المسافات المقاسة = ٥١.١٢ + ٥١.١٤ + ٥١.١٨ + ٥١.١٩ + ٥١.٢٢ + ٥١.١٦ = ٣٠٧.٠١ متر
المتوسط الحسابي = مجموع المسافات ÷ عددهم = ٣٠٧.٠١ ÷ ٦ = ٥١.١٦٨ متر
نحسب الخطأ المتبقي لكل قياس = المتوسط - الرصدة

الخطأ المتبقي للرصدة رقم ١ = ٥١.١٦٨ – ٥١.١٢ = ٠.٠٤٨ متر
الخطأ المتبقي للرصدة رقم ٢ = ٥١.١٦٨ – ٥١.١٤ = ٠.٠٢٨ متر
وهكذا كما في العمود الثالث من الجدول التالي.

نحسب مربع كل خطأ متبقي للقياسات:

مربع الخطأ المتبقي للرصدة رقم ١ = ٠.٠٤٨ × ٠.٠٤٨ = ٠.٠٠٢٣٣٦ متر مربع
مربع الخطأ المتبقي للرصدة رقم ٢ = ٠.٠٢٨ × ٠.٠٢٨ = ٠.٠٠٠٨٠٣ متر مربع
وهكذا كما في العمود الرابع من الجدول التالي.

نحسب مجموع مربعات الأخطاء المتبقية = ٠.٠٠٦٤٨٣ متر مربع

نحسب تباين العينة (المعادلة ١٢-٥) = ٠.٠٠٦٤٨٣ ÷ (٦-١))
= ٠.٠٠١٢٩٦٧ متر مربع

نحسب الانحراف المعياري (المعادلة ١٢-٧) = جذر (٠.٠٠١٢٩٦٧)
= ٠.٠٣٦ متر.

م	القياسات Y	الفروق v	مربع الفروق v2
1	51.12	0.048	0.002336
2	51.14	0.028	0.000803
3	51.18	-0.012	0.000136
4	51.19	-0.022	0.000469
5	51.22	-0.052	0.002669
6	51.16	0.008	0.000069

العدد	6		
المجموع	307.010		0.006483
المتوسط	51.168		

تباين المجتمع			0.0012967
الانحراف المعياري			0.036
الانحراف المعياري للمتوسط			0.015

القيمة الأكثر احتمالا = المتوسط ± الانحراف المعياري
= ٥١.١٦٨ ± ٠.٠١٥ متر.

٦-٣ مبدأ الوزن في القياسات المكانية

في المثال السابق قمنا بحساب المتوسط و الانحراف المعياري للمسافة التي تم قياسها عدد من المرات لكننا افترضنا أن كل القياسات متساوية في الدقة و الأهمية. ماذا لو كانت بعض القياسات قد تمت باستخدام الشريط بينما القياسات الأخرى تمت باستخدام جهاز EDM؟ هل ستكون كل القياسات متساوية في الأهمية ومقدار الثقة بها؟ هنا يأتي دور الوزن weight ليكون مفهوما يعبر عن مدي اختلاف أهمية أو الثقة في بعض القياسات. فكلما كانت الثقة في الرصدة كبيرة فيكون وزنها (أهميتها النسبية) كبيرا والعكس صحيح فكلما كانت الثقة ضعيفة في رصدة معينة فيجب أن يكون وزنها أقل. فعلي سبيل المثال إذا قمنا برصد زاوية معينة مرة باستخدام محطة شاملة دقتها ١" ومرة أخري باستخدام جهاز ثيودليت دقته ٥" فأن وزن الزاوية الأولي يجب أن يكون – منطقيا- أكبر من وزن الزاوية الثانية حيث أن دقة الجهاز المستخدم أعلي في الأولي من الثانية.

وبناءا علي مبدأ الوزن (أو الأهمية النسبية) فأن طريقة حساب المتوسط ستتغير لنحسب ما نطلق عليه أسم المتوسط الموزون Weighted Mean (لنفرق بينه وبين المتوسط العادي في المعادلة ٦-١ والذي كان يعتمد علي أن كل القياسات متساوية في الأهمية أو متساوية في الوزن):

المتوسط الموزون = مجموع (حاصل ضرب كل رصدة× وزنها) / مجموع الأوزان

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i \, w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \qquad (6\text{-}9)$$

كما ستتغير أيضا طريقة حساب الانحراف المعياري عند وجود أوزان مختلفة للقياسات (بدلا من المعادلة ٦-٧) وذلك بحساب الجذر التربيعي لقيمة الناتج من قسمة مجموع حاصل ضرب (مربع الخطأ المتبقي لكل رصدة في وزن الرصدة) علي عدد الأرصاد ناقص واحد:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^2 \, w_i}{n-1}} \qquad (6\text{-}10)$$

كذلك ستتغير معادلة حساب الانحراف المعياري للمتوسط (٦-٨) لتصبح ناتج قسمة الانحراف المعياري علي الجذر التربيعي لمجموع الأوزان:

$$S_{\bar{y}} = \pm \frac{S}{\sqrt{w}} \qquad (6\text{-}11)$$

مثال ٢:

قيست مسافة ستة مرات فكانت الأرصاد كالتالي: ٥١.١٢، ٥١.١٤، ٥١.١٨، ٥١.١٩، ٥١.٢٢، ٥١.١٦ متر، وكانت أوزان الأرصاد بالترتيب هي ٦، ٥، ٣ ، ١، ١، ٣. أحسب القيمة الأكثر احتمالا لهذه المسافة.

نحسب مجموع الأوزان = ٦ + ٥ + ٣ + ١ + ١ + ٣ = ١٩

نحسب حاصل ضرب الرصدة × وزنها:
للرصدة رقم ١ = ٥١.١٢ × ٦ = ٣٠٦.٧٢٠
للرصدة رقم ٢ = ٥١.١٤ × ٥ = ٢٥٥.٧٠٠
وهكذا كما في العمود الرابع من الجدول التالي.

مجموع (الرصدة×الوزن) أي مجموع العمود الرابع = ٩٧١.٨٥٠

من المعادلة ٦-٩:
المتوسط الحسابي الموزون = مجموع (الرصدة×الوزن) ÷ مجموع الأوزان
= ٩٧١.٨٥٠ ÷ ١٩ = ٥١.١٥٠ متر

نحسب الخطأ المتبقي لكل قياس = المتوسط الموزون - الرصدة
الخطأ المتبقي للرصدة رقم ١ = ٥١.١٥٠ ــ ٥١.١٢ = ٠.٠٣٠ متر
الخطأ المتبقي للرصدة رقم ٢ = ٥١.١٥٠ ــ ٥١.١٤ = ٠.٠١٠ متر
وهكذا كما في العمود الخامس من الجدول التالي.

نحسب مربع كل خطأ متبقي للقياسات:
مربع الخطأ المتبقي للرصدة رقم ١ = ٠.٠٣٠ × ٠.٠٣٠ = ٠.٠٠٠٩ متر مربع
مربع الخطأ المتبقي للرصدة رقم ٢ = ٠.٠١٠ × ٠.٠١٠ = ٠.٠٠٠١ متر مربع
وهكذا كما في العمود السادس من الجدول التالي.

نحسب حاصل ضرب (الخطأ المتبقي× الوزن):
للرصدة رقم ١ = ٠.٠٠٠٩ × ٦ = ٠.٠٠٥٤ متر
للرصدة رقم ٢ = ٠.٠٠٠١ × ٥ = ٠.٠٠٠٥ متر
وهكذا كما في العمود السابع من الجدول التالي.

نحسب مجموع حاصل ضرب (مربعات الأخطاء المتبقية × الوزن) أي مجموع العمود السابع
= ٠.٠١٥٤ متر مربع

نحسب تباين العينة = ٠.٠١٥٤ ÷ (٦-١))
= ٠.٠٠٣٠٨ متر مربع

نحسب الانحراف المعياري (المعادلة ١٢-١٠) = جذر (٠.٠٠٣٠٨)
= ٠.٠٥٥ متر.
القيمة الأكثر احتمالا = المتوسط ± الانحراف المعياري
= ٥١.١٥٠ ± ٠.٠١٣ متر.

م	القياسات	الأوزان	الرصدة × الوزن	الفروق	مربع الفروق	مربع الفروق × الوزن
	y	w	y.w	V	v2	w.v2
1	51.12	6	306.72	0.030	0.000900	0.005400
2	51.14	5	255.70	0.010	0.000100	0.000500
3	51.18	3	153.54	-0.030	0.000900	0.002700
4	51.19	1	51.19	-0.040	0.001600	0.001600
5	51.22	1	51.22	-0.070	0.004900	0.004900
6	51.16	3	153.480	-0.010	0.00010	0.00030
العدد	6					
المجموع	307.01	19	971.85		0.00850	0.01540
المتوسط الموزون			51.150			
تباين المجتمع					0.001700	0.003080
الانحراف المعياري						0.055
الانحراف المعياري للمتوسط						0.013

بمقارنة نتائج هذا المثال بنتائج المثال السابق نجد أن:

- قيمة المتوسط الموزون (٥١.١٥٠ متر) تختلف عن قيمة المتوسط العادي (٥١.١٦٨ متر).
- قيمة الانحراف المعياري للمتوسط الموزون (± ٠.٠١٣ متر) أقل من قيمة الانحراف المعياري العادي (± ٠.٠١٥ متر).

يرجع السبب في هذه الاختلافات إلي أننا في المثال الأول قد تعاملنا مع كل الأرصاد بنفس قيمة الوزن أو الأهمية أو مقدار الثقة فيها، بينما في المثال الثاني استطعنا التفرقة بين الأرصاد الموثوق بها (صاحبة الوزن الكبير) والأرصاد قليلة الثقة أو قليلة الأهمية (صاحبة الوزن الصغير) مما يجعل قيمة المتوسط الموزون تكون أقرب للأرصاد الموثوق بها. وكذلك فأن قيمة الانحراف المعياري في المثال الثاني أقل من المثال الأول بسبب أن الأرصاد صغيرة الوزن لم تعد مؤثرة بدرجة كبيرة مما يقلل من قيمة التباين أو التشتت بين مجموعة الأرصاد ككل وهذا يؤدي لتحسن قيمة الانحراف المعياري للمتوسط.

و كتجربة إذا اعتمدنا فقط علي أول رصدتين (بصفتهما ذات أعلي وزن) فسنجد أن قيمة المتوسط الموزون ستصبح ٥١.١٢٩ متر وأن قيمة الانحراف المعياري له ستصبح ± ٠.٠٠٤ متر.

م	القياسات	الأوزان	الرصدة × الوزن	الفروق	مربع الفروق	مربع الفروق × الوزن
	y	w	y.w	v	v2	w.v2
1	51.12	6	306.720	0.009	0.000083	0.000496
2	51.14	5	255.700	-0.011	0.000119	0.000595
العدد	6					
المجموع	102.26	11	562.42		0.000202	0.001091
المتوسط الموزون			51.129			
تباين المجتمع					0.000040	0.000218
الانحراف المعياري						0.015
الانحراف المعياري للمتوسط						0.004

مثال ٣:

تم إجراء ثلاثة خطوط ميزانية بين نقطتين فكانت الأرصاد كالتالي:

الخط الأول: طول الخط = ١٧٠٠ متر ، فرق المنسوب = ٢٩.٤٩٢ متر
الخط الثاني: طول الخط = ٩٠٠ متر ، فرق المنسوب = ٢٩.٤٤٠ متر
الخط الثالث: طول الخط = ١٠٠٠ متر ، فرق المنسوب = ٢٩.٤٨٠ متر

أحسب القيمة الأكثر احتمالا لفرق المنسوب بين هاتين النقطتين.

من مبادئ أعمال الميزانية أن قيمة الخطأ ستزيد كلما زادت المسافة بين النقطتين بسبب أن رصد المسافات الطويلة سيستغرق وقتا أطول وتكون عدد وقفات الميزان أكثر مما يزيد من احتمالات حدوث أخطاء في عملية الرصد الحقلي. لذلك فأننا نأخذ الوزن بحيث أنه يتناسب عكسيا مع طول خط الميزانية، أي أن الخطوط الطويلة ستأخذ وزنا أقل من الخطوط القصيرة.

وزن الخط الأول = ١ / ١٧٠٠ = ٠.٠٠٠٥٩
وزن الخط الثاني = ١ / ٩٠٠ = ٠.٠٠١١١
وزن الخط الثالث = ١ / ١٠٠٠ = ٠.٠٠١٠٠

المتوسط الموزون = (٢٩.٤٩٢×٠.٠٠٠٥٩) + (٢٩.٤٤٠×٠.٠٠١١١) + (٢٩.٤٨٠×٠.٠٠١٠٠) ÷ (٠.٠٠٠٥٩ + ٠.٠٠١١١ + ٠.٠٠١٠٠) = ٢٩.٤٦٦ متر

الخطأ المتبقي ١ = ٢٩.٤٦٦ - ٢٩.٤٩٢ = - ٠.٠٢٦ متر
الخطأ المتبقي ٢ = ٢٩.٤٦٦ - ٢٩.٤٤٠ = + ٠.٠٢٦ متر
الخطأ المتبقي ٣ = ٢٩.٤٦٦ - ٢٩.٤٨٠ = - ٠.٠١٤ متر

ونكمل باقي خطوات الحساب كما في الجدول التالي:

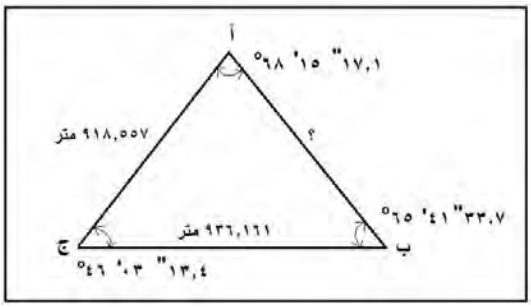
م	القياسات	الأوزان	الرصدة × الوزن	الفروق	مربع الفروق	مربع الفروق × الوزن
	y	w	y.w	v	v2	w.v2
1	29.492	0.00059	0.017	-0.026	0.00067	0.000000
2	29.44	0.00111	0.033	0.026	0.00068	0.000001
3	29.48	0.00100	0.029	-0.014	0.00019	0.000000
العدد	6					
المجموع	88.412	0.002699	0.080		0.00154	0.000001
المتوسط الموزون			29.466			
تباين المجتمع					0.00031	0.0000003
الانحراف المعياري						0.001
الانحراف المعياري للمتوسط						0.010

القيمة الأكثر احتمالا لفرق المنسوب بين النقطتين: ٢٩.٤٤٦ ± ٠.٠١٠ متر.

٦-٤ ضبط الشبكات

من مبادئ العمل المساحي إننا نقوم بقياس عدد من الأرصاد أكثر من العدد الفعلي المطلوب وذلك لكي يتوافر لدينا أرصاد زائدة Redundant Observations تمكننا من توفير فرصة للمراجعة و التحقيق الحسابي و فحص الأرصاد. فمثلا من الممكن أن نكتفي بقياس زاويتين في مثلث ونقوم بحساب الزاوية الثالثة لكننا في الواقع نقيس الزوايا الثلاثة حتى نتحقق من أن مجموعهم يساوي ١٨٠ درجة وبالتالي نتأكد من جودة القياسات ونستطيع أن نحدد قيمة الخطأ. وهنا تكون لدينا رصدة واحدة زائدة حيث أن عدد الأرصاد الفعلية للمثلث هو ٢ بينما عدد الأرصاد المقاسة هو ٣.

علي سبيل المثال إذا كان مطلوبا في الشكل التالي حساب طول ضلع المثلث أ ب وقمنا لرصد الزوايا الثلاثة للمثلث و تم قياس طول الضلعين الآخرين أ ج ، ب ج.



شكل (٦-٣) مثال للأرصاد الزائدة في مثلث

لحساب طول الضلع الثالث للمثلث يلزمنا ٣ أرصاد فقط بينما المتوفر ٥ أرصاد، لذلك يوجد عدة حلول مختلفة منها علي سبيل المثال:

من معادلة جيب الزاوية:

أ ب = ب ج جا ج / جا أ = ٧٢٥.٧٥٣ متر

أ ب = أ ج جا ج / جا ب = ٧٢٥.٧٥٩ متر

من معادلة جيب تمام الزاوية:

أب = جذر (ب ج ^{٢} + أ ج ^{٢} – ٢ ب ج × أ ج × جتا ج) = ٧٢٥.٩٥٣ متر

للتغلب علي مشكلة وجود عدة حلول (عدة احتمالات للقيمة المطلوبة) فتوجد أربعة أساليب:

(أ) اختيار أنسب مجموعة أرصاد من حيث الثقة فيهم (أدق ٣ قيم في المثال الحالي) وحساب قيمة الضلع المجهول منها. لكن عيب هذه الطريقة أننا سنهمل باقي الأرصاد ولن نستخدمها في الحسابات.

(ب) حساب القيمة المجهولة بإتباع كل الحلول و المعادلات المتاحة ثم حساب متوسط كل هذه الحلول. لكن هذه الطريقة تحتاج وقت أطول ومجهود أكبر بالطبع.

(ج) ضبط الأرصاد بصورة بسيطة (مثل ضبط قيم زوايا المثلث الثلاثة بحيث يساوي مجموعهم ١٨٠ درجة بالضبط) ثم الاعتماد علي الأرصاد المضبوطة أو المصححة في حساب قيمة الكمية المطلوبة (الضلع الثالث في مثالنا الحالي). لكن يعيب هذه الطريقة أنها تحتاج مجهود كبير خاصة في الشبكات المساحية الضخمة ، لكنها قد تكون مناسبة للأعمال البسيطة مثل الترافرسات

(د) ضبط الأرصاد بالاعتماد علي شرط أو خاصية محددة أو بأسلوب معين مشروط. وهنا يأتي ما يسمي بضبط الشبكات Network Adjustment والذي له عدة طرق.

٦-٥ الضبط بطريقة مجموع أقل المربعات

توجد عدة طرق لضبط الشبكات Network Adjustment مثل (١) طريقة أقل مجموع Least Sum والتي تعتمد علي ضبط الأرصاد بحيث يكون مجموع الأخطاء المتبقية أو الفروق Residuals أقل ما يمكن، (٢) طريقة مجموع أقل المربعات Least-Squares والتي تعتمد علي جعل مربعات الأخطاء المتبقية أقل ما يمكن. وهذه الطريقة الثانية هي الأشهر و الأكثر استخداما في أعمال المساحة و الجيوديسيا.

أثبتت الدراسات الرياضية و الإحصائية أن حل مجموعة من المعادلات - بحيث يكون مجموع مربعات الأخطاء المتبقية أقل ما يمكن – ينتج عنه أدق قيم العناصر المجهولة في هذه المعادلات. الشرط الرئيسي للضبط بطريقة مجموع أقل المربعات أن لا تحتوي الأرصاد (القياسات) الأصلية علي أي أخطاء منتظمة أو أغلاط أو أخطاء تراكمية، إنما فقط الأخطاء العشوائية. أي يجب معالجة الأخطاء المنظمة واكتشافها و إزالتها من الأرصاد قبل البدء في تنفيذ ضبط أقل مجموع مربعات.

يوجد أسلوبين لتنفيذ ضبط الشبكات في طريقة مجموع أقل المربعات:

(أ) طريقة معادلات الرصد Observation Equations:

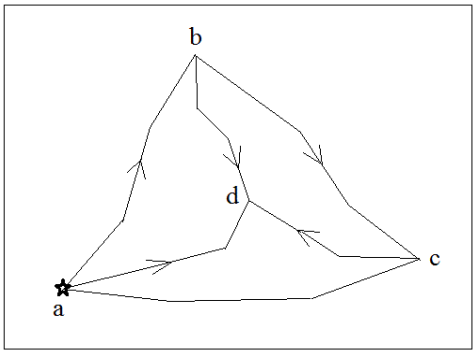
يتم تكوين معادلة رياضية تربط بين القيمة المرصودة (الرصدة) والقيم المجهولة ، ثم يتم حل هذه المعادلات معا. كما تسمي هذه الطريقة أيضا باسم الضبط المباشر Parametric Adjustment حيث أن القيم المجهولة Parameters تظهر مباشرة في معادلات الرصد المطلوب حلها.

(ب) طريقة معادلات الشرط Condition Equations:

يتم تكوين معادلات شرطية بحيث تحقق كل معادلا منهم شرطا رياضيا معينا يجب تحقيقيه في الأرصاد المساحية، ثم يتم حل هذه المعادلات معا لحساب قيم العناصر المجهولة. وتسمي هذه الطريقة أيضا باسم الضبط الشرطي Conditional Adjustment. وفي الأجزاء التالية سنتعرض لأمثلة تطبيقية لكلا من هاتين الطريقتين وكيفية تكوين و حل معادلاتهم خطوة بخطوة.

٦-٥-١ ضبط أقل المربعات لمعادلات الرصد

الشكل التالي يمثل شبكة من أرصاد الميزانيات تربط بين ٤ روبيرات BM حيث تتكون هذه الشبكة من ٦ خطوط ميزانية، ونفترض أن منسوب النقطة a معلوم (سنفرضه = صفر متر في الحالة الحالية) في هذه الحلقة.



شكل (٦-٤) مثال لضبط شبكة ميزانيات

الجدول التالي يمثل قيم الأرصاد (فروق المناسيب في كل خط) وكذلك طول خطوط الميزانية:

م	خط الميزانية		فرق المنسوب (متر)	طول الخط (كم)
	من نقطة	إلي نقطة		
١	a	c	٦.١٦	٤
٢	a	d	١٢.٥٧	٢
٣	c	d	٦.٤١	٢
٤	a	d	١.٠٩	٤
٥	b	d	١١.٥٨	٢
٦	b	c	٥.٠٧	٤

المطلوب حساب قيم العناصر المجهولة التي تتمثل في منسوب النقاط b, c, d مع قيم الانحراف المعياري لكلا منهم.

في الخطوة الأولي نكون معادلات الرصد observation equations التي تربط بين الأرصاد الستة (فروق المناسيب) والقيم المجهولة الأربعة (المناسيب ذاتها). علما بأن عدد الأرصاد (يأخذ الرمز n) = ٦، وعدد المجاهيل أو القيم المجهولة (يأخذ الرمز u) = ٣، وبالتالي سيكون لدينا عدد المعادلات = عدد الأرصاد = n = ٦ كالتالي:

$$\Delta H_1 = H_c - H_a$$
$$\Delta H_2 = H_d - H_a$$
$$\Delta H_3 = H_d - H_c$$
$$\Delta H_4 = H_b - H_a$$
$$\Delta H_5 = H_d - H_b$$
$$\Delta H_6 = H_c - H_b$$

الآن سنعيد تنظيم (أو كتابة) كل معادلة بحيث تشمل العناصر المجهولة الثلاثة (بدلا من عنصرين فقط يتغيران من معادلة لأخرى)، وبالطبع سنضع القيمة صفر أمام العنصر الذي لا يظهر في المعادلة (سنضيف في المعادلات منسوب النقطة المعلومة a مجرد للحساب لاحقا):

$$\Delta H_1 = +0\,H_b + H_c + 0\,H_d - H_a$$
$$\Delta H_2 = +0\,H_b - 0\,H_c + H_d - H_a$$
$$\Delta H_3 = +0\,H_b - H_c + H_d + 0\,H_a$$
$$\Delta H_4 = +H_b + 0\,H_c + 0\,H_d - H_a$$
$$\Delta H_5 = -H_b + 0\,H_c + H_d + 0\,H_a$$
$$\Delta H_6 = -H_b + H_c + 0\,H_d + 0\,H_a$$

في الخطوة التالية سنحول هذه المعادلات (الستة) إلي صورة المصفوفات Matrix (والمتجهات vectors وهي المصفوفة التي تتكون من عمود واحد أو صف واحد).

نضع قيم الأرصاد في متجه $\overline{L}$ (يسمي متجه الأرصاد vector of observations) يتكون من n (٦ في المثال الحالي) من الصفوف، يكتب $\overline{L}_{nx1}$ أي $\overline{L}_{6x1}$ في المثال الحالي:

$$\overline{L}_{nx1} = \begin{bmatrix} \Delta H_1 \\ \Delta H_2 \\ \Delta H_3 \\ \Delta H_4 \\ \Delta H_5 \\ \Delta H_6 \end{bmatrix}$$

ثم نضع قيم العناصر المجهولة في متجه X (يسمي متجهة العناصر المجهولة vector of unknown parameters) يتكون من u (٣ في المثال الحالي) من الصفوف، يكتب X_{ux1} أي X_{3x1} في المثال الحالي:

$$X_{ux1} = \begin{bmatrix} H_b \\ H_c \\ H_d \end{bmatrix}$$

الآن سنحسب قيم تقريبية للعناصر المجهولة (من الأرصاد نفسها) وباستخدام القيمة الثابتة لمنسوب النقطة الأولي a (منسوبها = صفر افتراضا) كالآتي:

$H_b = H_a + \Delta H_4 = 0.0 + 1.09 = 1.09$ m
$H_c = H_a + \Delta H_1 = 0.0 + 6.16 = 6.16$ m
$H_d = H_a + \Delta H_2 = 0.0 + 12.57 = 12.57$ m

أي أن متجهة القيم المجهولة التقريبي X^o سيكون:

$$X^o_{ux1} = \begin{bmatrix} 1.09 \\ 6.16 \\ 12.57 \end{bmatrix}$$

نلاحظ أن عدد الأرصاد n أكبر من عدد المجاهيل u (٦ أرصاد في ٣ مجاهيل في المثال الحالي). الفرق بين هاتين القيمتين n – u هو ما يطلق عليه اسم درجات الحرية degree of freedom. بمعني أن شبكة الروبيرات الحالية تحتوي علي ٣ نقاط (روبيرات) مجهولة المنسوب، وكان يمكن رصد ٣ خطوط ميزانية فقط لحساب قيم مناسيب هذه الروبيرات الثلاثة (حالة أن n = u). لكن لن يكون هناك أي تحقيق حسابي check أن المناسيب المحسوبة تعد مناسيب دقيقة أم لا. فإذا رصدنا خط ميزانية رابع فسيصبح لدينا أكثر من حل، وهكذا إذا رصدنا خط ميزانية خامس. أي أن في المثال الحالي يتوافر لدينا عدد درجات حرية = ٦ – ٣ = ٣. هنا يأتي دور طريقة الضبط بأقل مجموع مربعات حيث أن نتائج هذه الطريقة تقدم لنا "أفضل أو أدق" الحلول الممكنة. كلما زاد عدد درجات الحرية كلما كان ذلك أفضل في العمل المساحي و الجيوديسي بصفة عامة.

في الخطوة التالية سنقوم بحساب قيم تقريبية للأرصاد (من القيم التقريبية للعناصر المجهولة) للمتجهة التقريبي L^o كالآتي:

$\Delta H^o_1 = H^0_c - H_a = 6.16 - 0.0 = 6.16$ m
$\Delta H^o_2 = H^0_d - H_a = 12.57 - 0.0 = 12.57$ m
$\Delta H^o_3 = H^0_d - H^o_c = 12.57 - 6.16 = 6.41$ m
$\Delta H^o_4 = H^0_b - H_a = 1.09 - 0.0 = 1.09$ m
$\Delta H^o_5 = H^0_d - H^o_b = 12.57 - 1.09 = 11.48$ m
$\Delta H^o_6 = H^0_c - H^o_b = 6.16 - 1.09 = 5.07$ m

ثم سنحسب قيم متجهة الأخطاء المتبقية W (Residual Vector) والذي يتكون من n (٦ في المثال الحالي) من الصفوف، يكتب W_{nx1} أي W_{6x1} في المثال الحالي، وهو الفرق بين متجه الأرصاد الأصلية ومتجهة الأرصاد التقريبية:

$$W_{6x1} = L^o_{6x1} - L_{6x1}$$

$$W = \begin{bmatrix} 6.16 \\ 12.57 \\ 6.41 \\ 1.09 \\ 11.48 \\ 5.07 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 6.16 \\ 12.57 \\ 6.41 \\ 1.09 \\ 11.58 \\ 5.07 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.00 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ -0.10 \\ 0.00 \end{bmatrix} \text{ m}$$

ثم نضع قيم معاملات معادلات الأرصاد في مصفوفة A (تسمي مصفوفة المعاملات Coefficients Matrix) تتكون من n من الصفوف (٦ في المثال الحالي) و u من الأعمدة (٣ في المثال الحالي)، تكتب A_{nxu} أي A_{6x3} في المثال الحالي:

$$A_{6x3} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \text{ unitless}$$

لاحظ أن المصفوفة A ليس لها وحدات Unitless لأن جميع عناصرها مجرد معاملات ليس لها أية وحدات.

نأتي الآن لتكوين مصفوفة التباين Variance-Covariance Matrix و مصفوفة الوزن Weight Matrix.

تتكون مصفوفة التباين Σ من n من الصفوف و n من الأعمدة، و يتكون قطر المصفوفة diagonal من قيم التباين variance لكل رصدة من الأرصاد الأصلية، بينما يتواجد خارج القطر off-diagonal قيم الارتباط بين كل رصدة والأرصاد الأخرى. إذا لم يكن لدينا معلومات عن الارتباط بين الأرصاد (قيم العناصر خارج القطر = صفر) فأن مصفوفة الارتباط ستكون مصفوفة قطرية Diagonal Matrix أي تحتوي قيم في القطر فقط والباقي أصفار. في شبكات

الميزانيات – غالبا – نأخذ التباين لكل خط ميزانية يساوي طول الخط نفسه، أي أن مصفوفة التباين للمثال الحالي ستكون:

$$\Sigma_{6x6} = \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \end{bmatrix} \ cm^2$$

لاحظ أننا اخترنا أو فرضنا وحدات مصفوفة التباين لتكون بالسنتيمتر المربع حتى تكون متناسبة مع دقة الأرصاد الأصلية حيث أن قيم الأرصاد (القياسات) كانت لأقرب سنتيمتر. لاحظ أيضا أن وحدات بالسنتيمتر المربع لأنها وحدات تباين variance وليس وحجات انحراف معياري. لكن لأن جميع الحسابات و المصفوفات ستتم بوحدات المتر (وحدات القياسات) فيجب أن نحول هذه المصفوفة أيضا إلي وحدات المتر. يمكن لإتمام هذا التحويل (من سم^2 إلي م^2) أن نضرب المصفوفة كلها في ٠.٠٠٠١ (أو ١٠$^{-4}$) لتصبح:

$$\Sigma_{6x6} = 10^{-4} \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \end{bmatrix} \ m^2$$

ثم نحدد وزن (مؤشر الدقة) لكل رصدة من الأرصاد الأصلية (القياسات الحقلية). في شبكات الميزانيات يكون الخطأ المتوقع في أي خط ميزانية يتناسب تناسبا طرديا مع طول الخط ذاته، بمعني إذا كان خط الميزانية طويلا فنتوقع أن يحدث به خطأ أكبر من الخط القصير. لذلك نأخذ الوزن – في شبكات الميزانية – يساوي مقلوب التباين لكل رصدة. نكون مصفوفة الوزن Weight Matrix والتي تتكون من n من الصفوف و n من الأعمدة P_{nxn} (أي P_{6x6} في المثال الحالي) كالتالي:

$$P_{6x6} = 10^{-4} \begin{bmatrix} 1/4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/4 \end{bmatrix} \ 1/m^2$$

العلاقة بين الوزن و التباين هي علاقة عكسية، بمعني أن لأي رصدة:

$$P_i = 1 / \sigma^2_i$$

وبدلا من قيمة ١ (في البسط) من الممكن أن نكتب أن:

$$P_i = constant / \sigma^2_i$$

حيث σ^2_i هو تباين الرصدة variance للرصدة رقم i (حيث σ_i هو الانحراف المعياري لها). والرقم الثابت هو ما نطلق عليه اسم تباين الوزن المتساوي variance of unit weight، بمعني أن هذه القيمة ستكون ثابتة لجميع الأرصاد التي لها نفس الوزن، ويأخذ الرمز σ_o^2. أي أن:

$$P_i = \sigma_o^2 / \sigma^2_i$$

غالبا فنحن نفرض قيمة لتباين الوزن المتساوي σ_o^2 (ثم نحسب القيمة المضبوطة له من نتائج عملية الضبط ذاتها). لذلك من الممكن – في المثال الحالي – أن نأخذ $\sigma_o^2 = ١٠^{-٤}$ بحيث نعيد كتابة مصفوفة الوزن كالتالي:

$$P_{6x6} = \begin{bmatrix} 1/4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/4 \end{bmatrix} \quad 1/m^2$$

في الخطوة التالية نحسب مصفوفة جديدة تسمي مصفوفة المعادلات الأصولية Normal Equation Matrix وهي مصفوفة حاصل ضرب كلا من مدور Transposeمصفوفة المعاملات في مصفوفة الوزن في مصفوفة المعاملات نفسها:

$$N = A^T P A$$

i.e.,

$$N_{uxu} = A^T_{uxn} P_{nxn} A_{nxu}$$

أي أن مصفوفة المعادلات الأصولية ستتكون من u من الصفوف و u من الأعمدة (٣×٣ في المثال الحالي).

$$N = A^T P A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$N = \begin{bmatrix} 1.00 & -0.25 & -0.50 \\ -0.25 & 1.00 & -0.50 \\ -0.50 & -0.50 & 1.50 \end{bmatrix}$$

نلاحظ أن المصفوفة N مصفوفة متماثلة Symmetric Matrix ، بمعني أن العنصر في الصف الأول والعمود الثاني = العنصر في العمود الأول و الصف الثاني، والعنصر في الصف الأول و العمود الثالث = العنصر في العمود الأول والصف الثالث ، ... وهكذا.

$$P_{6x6} = \begin{bmatrix} 1/4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/4 \end{bmatrix} \quad 1/m^2$$

في الخطوة التالية نحسب متجه جديد يسمي متجه المعادلات الأصولية Normal Equation Vector وهو حاصل ضرب كلا من مدور Transposeمصفوفة المعاملات في مصفوفة الوزن في متجه الأخطاء المتبقية:

$$U = A^T P W$$

i.e.,

$$U_{ux1} = A^T_{uxn} P_{nxn} W_{nx1}$$

أي أن متجه المعادلات الأصولية سيتكون من u من الصفوف وعمود واحد (٣×١ في المثال الحالي).

$$U = A^T P W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.00 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ -0.10 \\ 0.00 \end{bmatrix}$$

$$U = \begin{bmatrix} 0.05 \\ 0.00 \\ -0.05 \end{bmatrix}$$

<u>الآن سنضع المعادلة الأساسية لطريقة ضبط أقل المربعات وهي المسماة بنظام المعادلات الأصولية Normal Equation System</u>:

$$(A^T P A) \hat{X} + (A^T P W) = 0$$

i.e.,

$$N \hat{X} + U = 0$$

حيث $\hat{X}$ يمثل متجه القيم المضبوطة لفرق العناصر المجهولة عن قيمتها التقريبية التي بدأنا بها:

أما حل هذه المعادلة فيكون:

$$\hat{X} = - N^{-1} U$$

حيث الرمز -١ يمثل مقلوب المصفوفة inverse of the matrix (الذي إذا ضرب في المصفوفة يكون الناتج مصفوفة الوحدة). ففي المثال الحالي:

$$N^{-1} = \begin{bmatrix} 1.6 & 0.8 & 0.8 \\ 0.8 & 1.6 & 0.8 \\ 0.8 & 0.8 & 1.2 \end{bmatrix}$$

لاحظ أن N^{-1} مصفوفة متماثلة أيضا مثل N نفسها.

ويكون متجه القيم المضبوطة لفرق العناصر المجهولة كالتالي:

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} -0.04 \\ 0.00 \\ 0.02 \end{bmatrix} \text{ m}$$

أما قيم العناصر المجهولة المضبوطة فتكون حاصل جمع المتجه الأخير مع متجهة القيم التقريبية للعناصر المجهولة:

$$\bar{X} = X^{o} + \hat{X}$$

$$\bar{X} = X^{o} + \hat{X} = \begin{bmatrix} 1.09 \\ 6.16 \\ 12.57 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.04 \\ 0.00 \\ 0.02 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.05 \\ 6.16 \\ 12.59 \end{bmatrix} \text{ m}$$

أما القيم المضبوطة للأخطاء المتبقية فيمكن حسابها كالتالي:

$$\hat{V} = A\hat{X} + W$$

$$\hat{V} = A\hat{X} + W = \begin{bmatrix} 0.00 \\ 0.02 \\ 0.02 \\ -0.04 \\ -0.04 \\ 0.04 \end{bmatrix} \text{ m}$$

كما يمكن حساب القيم المضبوطة للأرصاد (القياسات) كالتالي:

$$\bar{L} = L + \hat{V}$$

$$\bar{L} = L + \hat{V} = \begin{bmatrix} 6.16 \\ 12.57 \\ 6.41 \\ 1.09 \\ 11.58 \\ 5.07 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.00 \\ 0.02 \\ 0.02 \\ -0.04 \\ -0.04 \\ 0.04 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6.16 \\ 12.59 \\ 6.43 \\ 1.05 \\ 11.54 \\ 5.11 \end{bmatrix} \text{ m}$$

ويتم حساب القيمة المضبوطة لمعامل التباين Adjusted Variance Factor كالتالي:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \hat{V}^T \; P \; \hat{V} \; / \; (n-u)$$

$$= \begin{bmatrix} 0.00 & 0.02 & 0.02 & -0.04 & -0.04 & 0.04 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.00 \\ 0.02 \\ 0.02 \\ -0.04 \\ -0.04 \\ 0.04 \end{bmatrix} / \; (6-3)$$

$$= 0.002 \; / \; (6-3)$$

$$= 6.7 \times 10^{-4}$$

أما مصفوفة التباين المضبوط بين العناصر المجهولة Adjusted Variance-Covariance Matrix of Adjusted Parameters فيتم حسابها كالتالي:

$$\hat{\Sigma}_{\bar{X}} = \hat{\sigma}_0^2 \; N^{-1}$$

$$= 6.7 \times 10^{-4} \begin{bmatrix} 1.6 & 0.8 & 0.8 \\ 0.8 & 1.6 & 0.8 \\ 0.8 & 0.8 & 1.2 \end{bmatrix}$$

$$= 10^{-4} \begin{bmatrix} 10.67 & 5.33 & 5.33 \\ 5.33 & 10.67 & 5.33 \\ 5.33 & 5.33 & 8.00 \end{bmatrix}$$

إذا أردنا حساب قيمة الانحراف المعياري المضبوط لقيم العناصر المجهولة فنأخذ الجذر التربيعي لعناصر القطر (قيم التباين) لهذه المصفوفة.

$$\sigma_{H_b} = \sqrt{10^{-4} \times 10.67} = 3.27 \text{ cm}$$

$$\sigma_{H_b} = \sqrt{10^{-4} \times 10.67} = 3.27 \text{ cm}$$

$$\sigma_{H_d} = \sqrt{10^{-4} \times 8.00} = 2.83 \text{ cm}$$

وبالتالي فأن القيم المضبوطة للعناصر المجهولة (مناسيب الروبيرات الثلاثة) تكون كالتالي:

منسوب الروبير a = ١.٠٥ ± ٠.٠٣٢٧ متر
منسوب الروبير b = ٦.١٦ ± ٠.٠٣٢٧ متر
منسوب الروبير c = ١٢.٥٩ ± ٠.٠٢٨٣ متر

في الخطوة الأخيرة من خطوات الضبط من الممكن أن نحسب مصفوفة التباين المضبوط للأرصاد المضبوطة Adjusted Variance-Covariance Matrix of Adjusted Observations (في حالة الحاجة إليها) كالتالي:

$$\hat{\Sigma}_{\bar{L}} = A \ \hat{\Sigma}_{\bar{X}} \ A^T$$

$$\hat{\Sigma}_{\bar{L}} = 10^{-4} \begin{bmatrix} 10.67 & 5.33 & -5.33 & 5.33 & 0.00 & 5.33 \\ 5.33 & 8.00 & 2.67 & 5.33 & 2.67 & 0.00 \\ -5.33 & 2.67 & 8.00 & 0.00 & 2.67 & -5.33 \\ 5.33 & 5.33 & 0.00 & 10.67 & -5.33 & -5.33 \\ 0.00 & 2.67 & 2.67 & -5.33 & 8.00 & 5.33 \\ 5.33 & 0.00 & -5.33 & -5.33 & 5.33 & 10.67 \end{bmatrix}$$

من الممكن أن نستخدم هذه المصفوفة في حساب الانحراف المعياري للأرصاد المضبوطة في حالة أن هذه الأرصاد ستدخل في حسابات شبكة روبيرات أخري مجاورة للشبكة الحالية.

ملخص لخطوات ضبط أقل المربعات لمعادلات الرصد:

١. قم بتكوين متجه الأرصاد $\bar{L}$ ومتجه العناصر المجهولة X (مع تثبيت وحدات لجميع عناصرهما بالمتر أو بالسنتيمتر ... الخ) ثم قم بتكوين مصفوفة المعاملان.
٢. قم بتكوين مصفوفة التباين للأرصاد Σ وأختر وحدات ثابتة لجميع عناصرها.
٣. قم باختيار القيمة المناسبة لمعامل الارتباط σ_o^2 ومن ثم قم بحساب مصفوفة الوزن P.
٤. أحسب قيم العناصر المجهولة التقريبية X^o ثم القيم التقريبية للأخطاء المتبقية W.
٥. تحقيق: قيم عناصر W يجب أن تكون صغيرة.
٦. قم بحساب كلا من المصفوفة $N = A^T P A$ والمتجهة $U = A^T P W$
٧. تحقيق: N يجب أن تكون متماثلة.
٨. قم بحساب مقلوب المصفوفة N
٩. قم بحساب قيمة المتجه $\hat{X} = - N^{-1} U$
١٠. قم بحساب الأخطاء المتبقية المضبوطة $\hat{V} = A \hat{X} + W$
١١. تحقيق: $A^T P \hat{V} = 0$
١٢. قم بحساب القيم المضبوطة للعناصر المجهولة $\bar{X} = X^0 + \hat{X}$
١٣. قم بحساب القيم المضبوطة للأرصاد $\bar{L} = L + \hat{V}$
١٤. قم بحساب القيمة المضبوطة لمعامل التباين $\hat{\sigma}_o^2$
١٥. قم بحساب مصفوفة التباين المضبوط بين العناصر المجهولة $\hat{\Sigma}_{\bar{X}}$
١٦. قم بحساب مصفوفة التباين المضبوط بين الأرصاد $\hat{\Sigma}_{\bar{L}}$

طريقة أخري لتكوين نظام المعادلات الأصولية:

يمكن تكوين نظام المعادلات الأصولية بصورة أخري دون الاعتماد علي حساب قيم تقريبية للعناصر المجهولة كالتالي:

$$(A^T P A) \bar{x} + (A^T P \bar{L}) = 0$$

i.e.,

$$N \bar{x} + C = 0$$

where

$$C = A^T P \bar{L}$$

حيث:
تم استخدام متجه الأرصاد الأصلية $\bar{L}$ بدلا من متجهة الأخطاء المتبقية W، وأيضا $\bar{X}$ سيمثل متجه القيم المضبوطة للعناصر المجهولة مباشرة (وليس الفرق بينها وبيت قيمها التقريبية)

أما حل هذه المعادلة فيكون:

$$\bar{X} = N^{-1} C = (A^T P A)^{-1} (A^T P \bar{L})$$

وفي هذه الحالة فأن الأرصاد المضبوطة يتم حسابها من المعادلة:

$$\bar{L} = A \bar{X}$$

ويتم حساب الأخطاء المتبقية المضبوطة كالتالي:

$$\hat{V} = \bar{L} - A \hat{X}$$

٦-٥-٢ ضبط أقل المربعات للمعادلات غير الخطية

تعتمد نظرية أو طريقة ضبط أقل مجموع المربعات - في أساسها - علي المعادلات الرياضية الخطية فقط Linear Equations. في المثال السابق كانت معادلات الرصد من النوع الخطي (الدرجة الأولي وبدون أية أسس رياضية) وهذه هي الحالة العامة لشبكات الروبيرات و شبكات الجاذبية الأرضية وحتى شبكات الجي بي أس. ففي شبكات الجي بي أس تكون الأرصاد هي فروق الإحداثيات بين طرفي كل خط قاعدة base line بينما تكون العناصر المجهولة هي إحداثيات طرفي خط القاعدة، أي أن معادلات الرصد الثلاثة لكل خط قاعدة تكون:

$\Delta X = X_2 - X_1$
$\Delta Y = Y_2 - Y_1$
$\Delta Z = Z_2 - Z_1$

أي أنها معادلات خطية.

لكن هناك الكثير من التطبيقات المساحية التي بها تكون العلاقة الرياضية بين الأرصاد و العناصر المجهولة (المطلوب حسابها) ليست علاقة خطية من الدرجة الأولي. ولتطبيق طريقة ضبط مجموع أقل مربعات يجب تحويل هذه العلاقة (معادلة الرصد) إلي النوع الخطي وهذه العملية تسمي **التحويل الخطي أو Linearization**. تتم عملية التحويل الخطي من خلال تطبيق ما يعرف بمجموعة امتدادات تايلور Taylor expansion series، لأي معادلة غير خطية F في المجهول X فيمكن تحويلها لمعادلة خطية من خلال:

$$F(X) = a_0 + a_1 (x-x_o) + a_2 (x-x_o)^2 + a_3 (x-x_o)^3 + \ldots\ldots$$

where,

$a_0 = F(x_0)$
$a_1 = \delta F(X) / \delta X$
$a_2 = 0.5 (\delta^2 F(X) / \delta^2 X)$
$a_3 = (1/6) (\delta^3 F(X) / \delta^3 X)$

أي أن الصورة الخطية للمعادلة (غير الخطية) تتكون من حاصل جمع مجموعة من العناصر حيث العنصر الأول هو قيمة المعادلة نفسها عند القيمة التقريبية للعنصر x_0 والعنصر الثاني عبارة عن التفاضل الأول للمعادلة بالنسبة للعنصر المجهول X والعنصر الثالث هو نصف التفاضل الثاني للمعادلة .... وهكذا.

بالطبع فأن تطبيق نظرية تايلور سيكون معقدا ويحتاج لخطوات حسابية كثيرة، ولذلك فأن عملية التحويل الخطي Linearization في الضبط المساحي تكتفي بحساب أول عنصرين فقط من عناصر النظرية. ونتيجة إهمال باقي العناصر فستكون قيمة المتجه المضبوط للعناصر المجهولة $\hat{X}$ غير دقيقة ولذلك سنستعمل هذا المتجهة – مرة أخري – كما لو كان هو متجه القيم التقريبية X^o ثم نعيد خطوات الضبط مرة أخري (وخاصة قيمة متجه الأخطاء المتبقية W). وتستمر هذه العملية التكرارية iteration عدة مرات حتى يكون الفرق (في قيمة $\hat{X}$) بين تكرارين متتاليين قيمة صغيرة جدا فنأخذ قيمة المتجه $\hat{X}$ الأخير ليكون هو النتيجة النهائية لقيم العناصر المجهولة (لاحظ أننا لا نحتاج للعملية التكرارية في حل المعادلات الخطية).

أمثلة للمعادلات غير الخطية في المساحة و الجيوديسيا:

١- معادلة المسافة المقاسة بين نقطتين:
المعادلة الأصلية غير الخطية:

$$D_{jk} = \sqrt{[(X_k - X_j)^2 + (Y_k - Y_j)^2]}$$

حيث: D_{jk} المسافة (الرصدة) بين النقطة المعلومة الإحداثيات j والنقطة المجهولة الإحداثيات k، أي أن العناصر المجهولة هنا ستكون إحداثيات النقطة الثانية (X_k , Y_k).

المعادلة الخطية بالنسبة للاحداثي X للنقطة k (أي العنصر في مصفوفة المعاملات A المقابل للمجهول X_k):

$$\delta D_{jk} / \delta X_k = (X^o_k - X_j) / D_{jk}$$

المعادلة الخطية بالنسبة للاحداثي Y للنقطة k (أي العنصر في مصفوفة المعاملات A المقابل للمجهول Y_k):

$$\delta D_{jk} / \delta Y_k = (Y^o_k - Y_j) / D_{jk}$$

حيث:
(X^o_k , Y^o_k) الإحداثيات التقريبية للنقطة المجهولة K
(X_j , Y_j) الإحداثيات الحقيقية للنقطة المعلومة J
D_{jk} المسافة المقاسة بين النقطتين.

٢- معادلة الانحراف المقاس بين نقطتين:
المعادلة الأصلية غير الخطية:

$$\alpha = \tan^{-1} [(X_k - X_j) / (Y_k - Y_j)]$$

حيث: α الانحراف المقاس (الرصدة) بين النقطة المعلومة الإحداثيات j والنقطة المجهولة الإحداثيات k، أي أن العناصر المجهولة هنا ستكون إحداثيات النقطة الثانية (X_k , Y_k).

المعادلة الخطية بالنسبة للاحداثي X للنقطة k (أي العنصر في مصفوفة المعاملات A المقابل للمجهول X_k):

$$\delta \alpha / \delta X_k = (Y^o_k - Y_j) / (d^o_{jk})^2$$

المعادلة الخطية بالنسبة للاحداثي Y للنقطة k (أي العنصر في مصفوفة المعاملات A المقابل للمجهول Y_k):

$$\delta \alpha / \delta Y_k = - (X^o_k - X_j) / (d^o_{jk})^2$$

حيث:

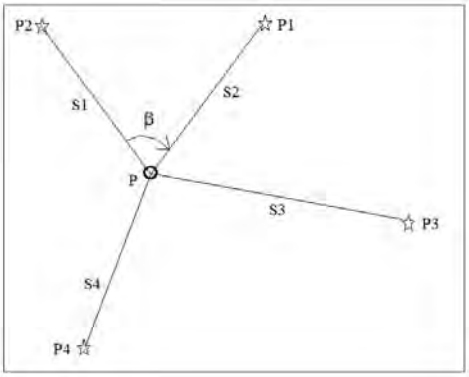
(X^o_k , Y^o_k) الإحداثيات التقريبية للنقطة المجهولة K

(X_j , Y_j) الإحداثيات الحقيقية للنقطة المعلومة J

$$d^o_{jk} = (X^o_k - X_j)^2 + (Y^o_k - Y_j)^2$$

مثال لضبط الأرصاد غير الخطية:

في الشكل التالي تم قياس ٤ مسافات أفقية (المسافات S1, S2, S3, S4) من النقاط المعلومة P1, P2, P3, P4 إلي النقطة المجهولة P (المطلوب حساب إحداثياتها) كما تم قياس الزاوية الأفقية P1 P P2:



شكل (٦-٥) مثال لضبط الأرصاد غير الخطية

كانت القياسات (الأرصاد) كالتالي:

م	الرصدة	القيمة	الانحراف المعياري
١	S1	٢٤٤.٥١٢ متر	± ٠.٠١٢ متر
٢	S2	٣٢١.٥٧٠ متر	± ٠.٠١٦ متر
٣	S3	٧٧٣.١٥٤ متر	± ٠.٠٣٨ متر
٤	S4	٢٧٩.٩٩٢ متر	± ٠.٠١٤ متر
٥	β	°١٢٣ '٣٨ "١.٤	± "٢

كانت القيم المعلومة لإحداثيات نقاط الثوابت الأرضية كالتالي:

نقطة رقم	الاسم	X (meter)	Y (meter)
١	P1	٨٤٢.٢٨١	٩٢٥.٥٣٢
٢	P2	١٣٣٧.٥٤٤	٩٩٦.٢٤٩
٣	P3	١٨٣١.٧٢٧	٧٢٣.٩٦٢
٤	P4	٨٤٠.٤٠٨	٦٥٨.٣٤٥

أما القيم التقريبية لإحداثيات النقطة المجهولة P فيمكن اعتبارها كالتالي:

$X^o = 1062.2\ m$
$Y^o = 825.2\ m$

عدد الأرصاد $n = ٥$
عدد القيم المجهولة $u = ٢$
درجات الحرية $df\ (n - u) = ٥ - ٢ = ٣$

متجه الأرصاد:

$$\overline{L} = \begin{bmatrix} S1 \\ S2 \\ S3 \\ S4 \\ \beta \end{bmatrix}$$

متجه العناصر المجهولة:

$$\overline{X} = \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}$$

معادلات الأرصاد الأصلية غير الخطية (مع ملاحظة أن الزاوية المقاسة هي الفرق بين الاتجاه الأفقي P P2 و الاتجاه الأفقي P P1) :

$$S1 = [\ (X_1 - X)^2 + (Y_1 - Y)^2\ )\ ]^{0.5}$$
$$S2 = [(X_2 - X)^2 + (Y_2 - Y)^2\ )\ ]^{0.5}$$
$$S3 = [\ (X_3 - X)^2 + (Y_3 - Y)^2\ )\ ]^{0.5}$$
$$S4 = [\ (X_4 - X)^2 + (Y_4 - Y)^2\ )\ ]^{0.5}$$
$$\beta = \tan^{-1}\ [(X_2 - X) / (Y_2 - Y)\ ] - \tan^{-1}\ [(X_1 - X) / (Y_1 - Y)\ ]$$

مصفوفة المعاملات A (التي ستحتوي معاملات الأرصاد بعد تحويلها إلي الصورة الخطية) ستكون:

$$A = \begin{bmatrix} \delta S1 / \delta X & \delta S1 / \delta Y \\ \delta S2 / \delta X & \delta S1 / \delta Y \\ \delta S3 / \delta X & \delta S1 / \delta Y \\ \delta S4 / \delta X & \delta S1 / \delta Y \\ \delta \beta / \delta X & \delta \beta / \delta Y \end{bmatrix}$$

سيتم حساب قيم معاملات المصفوفة A بالتعويض: $X = X^o$ و $Y = Y^o$. كما سيتم حساب القيم التقريبية للأرصاد بالتعويض المباشر في معادلات الرصد (غير الخطية) مع استخدام القيم التقريبية لإحداثيات النقطة المجهولة:

$$S1^{o} = [(X_1 - X^{o})^2 + (Y_1 - Y^{o})^2)]^{0.5} = 244.454 \text{ m}$$
$$S2^{o} = [(X_2 - X^{o})^2 + (Y_2 - Y^{o})^2)]^{0.5} = 321.604 \text{ m}$$
$$S3^{o} = [(X_3 - X^{o})^2 + (Y_3 - Y^{o})^2)]^{0.5} = 773.184 \text{ m}$$
$$S4^{o} = [(X_4 - X^{o})^2 + (Y_4 - Y^{o})^2)]^{0.5} = 279.950 \text{ m}$$
$$\beta = \tan^{-1} [(X_2 - X^{o}) / (Y_2 - Y^{o})] - \tan^{-1} [(X_1 - X^{o}) / (Y_1 - Y^{o})]$$
$$= 123^{0}\ 38'\ 19.87''$$

و بذلك سيكون متجه الأخطاء المتبقية:

$$W = L^{0} - L = \begin{bmatrix} 244.454 \\ 321.604 \\ 773.184 \\ 279.950 \\ 19.87'' \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 244.512 \\ 321.570 \\ 773.154 \\ 279.992 \\ 01.40'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.058 \\ 0.034 \\ 0.030 \\ -0.042 \\ 18.47'' \end{bmatrix}$$

ولحساب معاملات المصفوفة A:

$$\delta S_1 / \delta X = (X_1 - X^{o}) / S_1^{o} = 0.911907$$
$$\delta S_1 / \delta Y = (Y_1 - Y^{o}) / S_1^{o} = -0.410397$$

$$\delta S_2 / \delta X = (X_2 - X^{o}) / S_2^{o} = -0.846831$$
$$\delta S_2 / \delta Y = (Y_2 - Y^{o}) / S_2^{o} = -0.531862$$

$$\delta S_3 / \delta X = (X_3 - X^{o}) / S_3^{o} = -0.991291$$
$$\delta S_3 / \delta Y = (Y_3 - Y^{o}) / S_3^{o} = 0.130937$$

$$\delta S_4 / \delta X = (X_4 - X^{o}) / S_4^{o} = 0.802972$$
$$\delta S_4 / \delta Y = (Y_4 - Y^{o}) / S_4^{o} = 0.596017$$

$$\delta\beta/\delta X = [(Y_1 - Y^{o}) / (S_1^{o})^2] - [(Y_2 - Y^{o}) / (S_2^{o})^2] = 2.505347 \times 10^{-5} \text{ m}$$
$$\delta\beta/\delta Y = [(X_1 - X^{o}) / (S_1^{o})^2] - [(X_2 - X^{o}) / (S_2^{o})^2] = 6.363532 \times 10^{-3} \text{ m}$$

حيث أن وحدات السطر الأخير من المصفوفة A بالمتر بينما وحدات السطر الأخير من المتجه W بوحدات الثانية، فيجب ضرب السطر الأخير من A في الرقم ٢٠٦٢٦٤.٨ (رقم ثابت يعادل قيمة مقلوب جا ١").

بذلك فتكون مصفوفة المعاملات A كالتالي:

$$A = \begin{bmatrix} 0.911907 & -0.410397 \\ -0.846831 & -0.531862 \\ -0.991391 & 0.130937 \\ 0.802972 & 0.596017 \\ 5.16765 & 1312.574 \end{bmatrix}$$

يتم تكوين مصفوفة التباين للأرصاد الأصلية بحيث تتكون عناصر قطرها من التباين (مربع الانحراف المعياري) للأرصاد:

$$\Sigma_{\bar{L}} = \begin{bmatrix} (0.012)^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (0.016)^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (0.038)^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (0.014)^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (2)^2 \end{bmatrix}$$

و بفرض أن قيمة $\sigma^2_o = 1$ فأن مصفوفة الوزن ستكون كالتالي:

$$P = \begin{bmatrix} 1/(0.012)^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/(0.016)^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/(0.038)^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/(0.014)^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/(2)^2 \end{bmatrix}$$

نقوم بتكوين نظام المعادلات الأصولية:

$$N = A^T P A = \begin{bmatrix} 12553.01962 & 3208.04304 \\ 3208.04304 & 434811.54111 \end{bmatrix}$$

$$U = A^T P W = \begin{bmatrix} -649.618710 \\ 6031.984978 \end{bmatrix}$$

ويكون متجه القيم المضبوطة لفرق قيمة المجاهيل عن قيمتها التقريبية:

$$\hat{X} = -N^{-1} U = \begin{bmatrix} 0.055400 \\ -0.014281 \end{bmatrix} \quad m$$

وبذلك فأن متجه القيم المضبوطة للمجاهيل (الحل) فيكون:

$$\bar{X} = X^o + \hat{X} = \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10965.2554 \\ 825.1867 \end{bmatrix} \quad m$$

أما متجه القيم المضبوطة للأخطاء المتبقية فيكون:

$$\hat{V} = A\hat{X} + W = \begin{bmatrix} 0.00197\ m \\ 0.00550\ m \\ 0.02726\ m \\ 0.00597\ m \\ -0.27\ '' \end{bmatrix}$$

أما متجه القيم المضبوطة للأرصاد فيكون:

$$\bar{L} = L + \hat{V} = \begin{bmatrix} 244.510\ m \\ 321.564\ m \\ 773.127\ m \\ 279.986\ m \\ 123^{\circ}\ 38'\ 01.13'' \end{bmatrix}$$

ويتم حساب القيمة المضبوطة لمعامل التباين Adjusted Variance Factor كالتالي:

$$\hat{\sigma}_o^2 = \hat{V}^T\ P\ \hat{V}\ /\ (n-u)$$
$$= 0.8436 / 3$$
$$= 0.2812$$

أما مصفوفة التباين المضبوط بين العناصر المجهولة Adjusted Variance-Covariance Matrix of Adjusted Parameters فيتم حسابها كالتالي:

$$\hat{\Sigma}_{\bar{X}} = \sigma_o^2\ N^{-1} = 0.2812 \begin{bmatrix} 79.81 & -0.59 \\ -0.59 & 2.304 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 22.44 & -0.17 \\ -0.17 & 0.65 \end{bmatrix}$$

إذا أردنا حساب قيمة الانحراف المعياري المضبوط لقيم العناصر المجهولة فنأخذ الجذر التربيعي لعناصر القطر (قيم التباين) لهذه المصفوفة.

$$\hat{\sigma}_X = \sqrt{22.44} = 4.74\ mm$$
$$\hat{\sigma}_Y = \sqrt{0.65} = 0.81\ mm$$

وبالتالي فأن القيم المضبوطة للعناصر المجهولة (إحداثيات نقطة P) تكون كالتالي:

$$X = 10965.2554 \pm 0.00474\ m$$
$$Y = 825.1867 \pm 0.0081\ m$$

٦-٥-٣ ضبط أقل المربعات لمعادلات الشرط

تعتمد هذه الطريقة من طرق ضبط مجموع أقل المربعات علي تحقيق مجموعة من الشروط conditions أو القيود constrains علي الأرصاد. يكون عدد هذه الشروط مساويا لعدد الأرصاد الزائدة عن الحاجة redundant observations المتوفرة بمجموعة الأرصاد. فعلي سبيل المثال يمكن حل أي مثلث مستوي إذا عرفنا ٣ أرصاد به (زاويتين وضلع أو ضلعين و زاوية ... الخ) وهذا ما نسميه الأرصاد المحتاجين إليها أو الأرصاد الضرورية necessary observations، فإذا رصدنا الرصدة الرابعة (الزاوية الثالثة مثلا) فستكون رصدة زائدة عن الحاجة وبالتالي سيكون هناك شرط أو قيد (تحقيق حسابي) يجب تحقيقه (مجموع زوايا المثلث يجب أن تساوي ١٨٠°). يختلف عدد الأرصاد الضرورية (الأرصاد المحتاجين إليها) طبقا لنوع العمل المساحي نفسه (ترافرس، ميزانية، مثلثات .... الخ). القاعدة العامة أن:

$$r = df = n - n_{nec} = n - u$$

حيث:

r	عدد الشروط المستقلة independent conditions
df	درجات الحرية
n	عدد الأرصاد
n_{nec}	عدد الأرصاد الضرورية
u	عدد القيم المجهولة

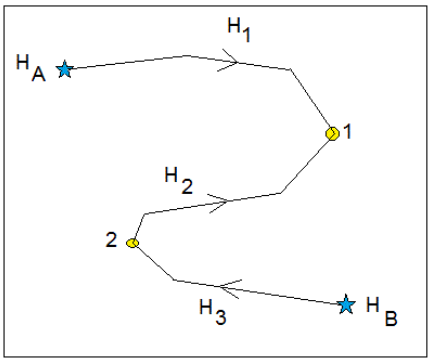
تجدر الإشارة إلي أن معادلات الشروط (أو الاشتراطات) تتكون من الأرصاد فقط و لا تدخل في تكوينها القيم المجهولة المطلوب حسابها. وعند تنفيذ طريقة الضبط الشرطي Conditional Adjustment يتم أولا تحقيق هذه الاشتراطات للحصول علي الأرصاد المضبوطة ثم في الخطوة التالية يتم حساب قيم العناصر المجهولة.

أمثلة للمعادلات الشرطية في العمل المساحي:

يعتمد تكوين معادلات الشرط علي طبيعة العمل المساحي وعلي توزيع الأرصاد ذاتها في الشبكة، أي أنه لا يوجد طريقة آلية لتكوين معادلات الشروط وعلي الراصد أن يكونها بنفسه في كل عمل مساحي يقوم بتنفيذه (بعكس طريقة معادلات الرصد التي يمكن تكوينها آليا بسهولة). سنقدم هنا بعض أمثلة لكيفية تكوين معادلات الاشتراطات:

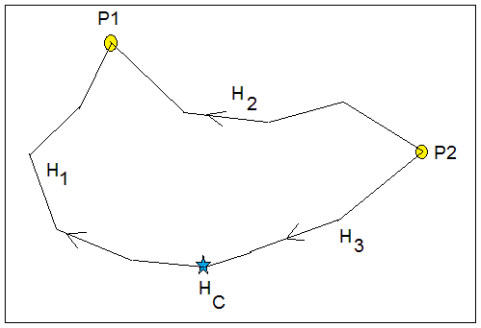
(أ) في شبكات الروبيرات:

في حالة خط ميزانية معلوم منسوب روبير BM بدايته و نهايته (أنظر الشكل) فأن مجموع فروق المناسيب للخطوط (مع مراعاة الإشارات) يجب أن يساوي فرق المنسوب بين الروبيرين، أي أن معادلة الشرط تكون:



$$H_1 - H_2 - H_3 + (H_B - H_A) = 0$$

في حالة حلقة خطوط ميزانية (أنظر الشكل) فأن معادلة الشرط تنص علي أن المجموع الجبري لفروق الميزانية (مع مراعاة الإشارات) يساوي صفر:

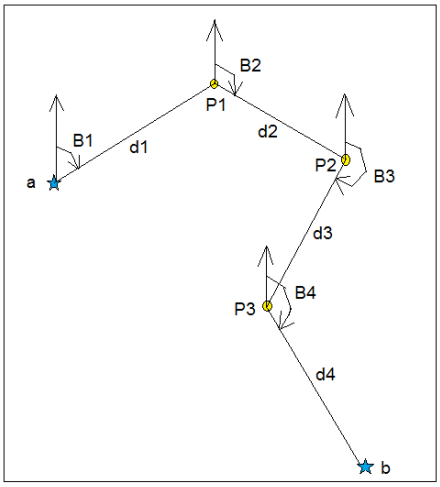


$$H_1 - H_2 + H_3 = 0$$

يمكن استنتاج أن معادلات الشرط في شبكات الميزانية تكون من النوع الخطي (معادلات درجة أولي)، وكذلك ستكون حالة شبكات الجاذبية الأرضية و شبكات الجي بي أس.

(ب) في شبكات الترافرس:

للترافرس الموصل (يربط بين نقطتين معلومتين الإحداثيات) فيوجد شرطين أحدهما لفرق الإحداثيات السينية و الآخر لفرق الإحداثيات الصادية (أنظر الشكل). في كل شرط فأن القاعدة أن مجموع فروق الإحداثيات (سواء السينية أو الصادية) يساوي فرق الإحداثيات بين النقطتين المعلومتين:



$$\Sigma^{4}_{i=1} \Delta X_i - (X_b - X_a) = 0$$

$$\Sigma^{4}_{i=1} \Delta Y_i - (Y_b - Y_a) = 0$$

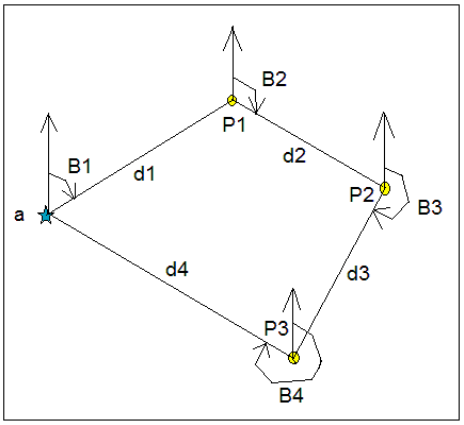
حيث علامة Σ هنا تدل علي المجموع، (X_a , Y_a) إحداثيات النقطة المعلومة a و (X_b , Y_b) إحداثيات النقطة المعلومة b.

و حيث أن فروق الإحداثيات لأي خط يتم حسابها من الأرصاد الأصلية للترافرس (زوايا و انحرافات) فأن معادلتي الشرط يمكن إعادة كتابتهما كالتالي:

$$\Sigma^{4}_{i=1} d_i \sin B_i - (X_b - X_a) = 0$$

$$\Sigma^{4}_{i=1} d_i \cos B_i - (Y_b - Y_a) = 0$$

أما في حالة <u>الترافرس المغلق</u> فأن معادلتي الشرط ستكونان:

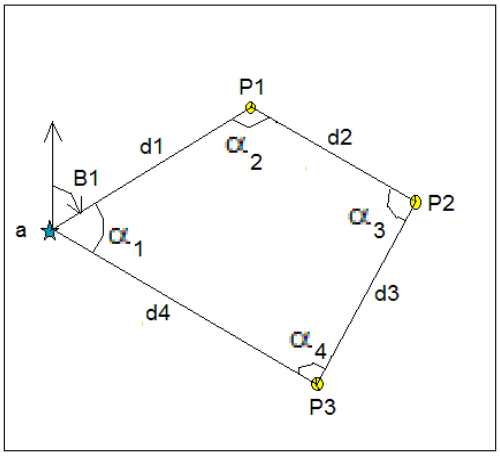


$\Sigma^{4}_{i=1} d_i \sin B_i = 0$

$\Sigma^{4}_{i=1} d_i \cos B_i = 0$

تجدر ملاحظة أن المعادلتين السابقتين ليستا معادلات خطية.

أما إذا كانت الأرصاد في الترافرس المغلق هي المسافات و الزوايا الداخلية (α) مع وجود انحراف واحد معلوم فستوجد معادلة شرط ثالثة لمجموع الزوايا الداخلية:



$\Sigma^{4}_{i=1} \alpha_i - k = 0$

حيث K ثابت يعتمد علي عدد نقاط الترافرس S ويتم حسابه كالتالي:

$K = (2 S - 4) \times 90^{o}$

ففي الشكل السابق فأن عدد نقاط الترافرس S = ٤ وبالتالي فأن قيمة K = ٣٦٠°، أي أن معادلة الشرط الثالثة لهذا الشكل هي أن مجموع الزوايا الداخلية يجب أن يساوي ٣٦٠°.

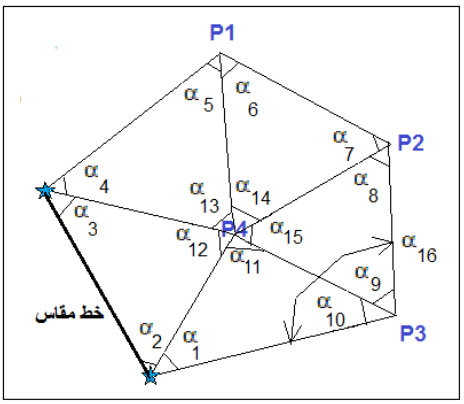
(ج) في شبكات المثلثات:

بصفة عامة: في شبكات المثلثات مقيسة الزوايا Triangulations فأن: عدد الأرصاد الضرورية = ضعف عدد النقاط المجهولة.

في الشكل التالي:

عدد النقاط المجهولة = ٤
عدد الأرصاد الضرورية = ٢ × ٤ = ٨

الأرصاد الزائدة (عدد الشروط المستقلة) = عدد الأرصاد الفعلية – عدد الأرصاد الضرورية
= ١٦ – ٨ = ٨



تتكون الشروط الثمانية من: ٥ شروط مثلثيه + ٢ شرط محلي + ١ شرط ضلعي كالتالي:

الشروط المثلثية:
لكل مثلث مغلق فأن معادلة الشرط المثلثي تكون أن مجموع زوايا يجب أن يساوي ١٨٠° زائد الزيادة الكروية spherical excess (ε) حيث أنه مثلث كروي وليس مثلث مستوي. مثلا:

$$\alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_{12} - (180^o + \varepsilon) = 0$$

الشروط المحلية:
تتعلق هذه الشروط بالأرصاد الزائدة عند أي نقطة، فمثلا عند أي نقطة تم قياس جميع الزوايا لقفل الأفق فأن مجموع هذه الزوايا يجب أن يساوي ٣٦٠° كما هو الحال عند النقطة P4 في الشكل. أيضا عند النقطة P3 تم قياس زاوية غير ضرورية (الزاوية ١٦) وهي مجموع الزاويتين ٩ و ١٠. وبذلك فأن معادلتي الشرطين المحليين في الشكل السابق هما:

$$\alpha_9 + \alpha_{10} - \alpha_{16} = 0$$
$$\alpha_{11} + \alpha_{12} + \alpha_{13} + \alpha_{14} + \alpha_{15} - 360^o = 0$$

الشرط الضلعي:
طالما يوجد ضلع (مسافة) مقاس طوله في شبكة المثلثات فيوجد شرط يسمي الشرط الضلعي وهو أن مجموع لوغاريتمات جيب الزوايا الفردية (للشكل الخارجي فقط) يجب أن يساوي مجموع لوغاريتمات جيب الزوايا الزوجية. أي أن معادلة الشرط الضلعي ستكون:

$$[\log \sin \alpha_1 + \log \sin \alpha_3 + \log \sin \alpha_5 + \log \sin \alpha_7 + \log \sin \alpha_9] - [\log \sin \alpha_2 + \log \sin \alpha_4 + \log \sin \alpha_6 + \log \sin \alpha_8 + \log \sin \alpha_{10}] = 0$$

تجدر ملاحظة أن المعادلة الشرطية السابقة ليست معادلة خطية بينما معادلات الشروط المثلثية و الشروط المحلية معادلات خطية. كما أن عدد المعادلات الشرطية في شبكة المثلثات (٨) أقل من

عدد الأرصاد الفعلية (١٦) مما يعطي ميزة حسابية لطريقة الضبط بمعادلات الاشتراطات عن الضبط بمعادلات الأرصاد في حالة شبكات المثلثات.

معادلات الضبط الشرطي:

بعد تحويل معادلات الشروط إلي الحالة الخطية (إن كانت غير خطية في أساسها) فيمكن كتابة الصورة العامة لمعادلات الشروط كالتالي:

$$B_{r,n}\ \hat{V}_{n,1} + W_{r,1} = 0$$

حيث:

$\hat{V}$ متجه الأخطاء المضبوطة (n من الصفوف)

W متجه الأخطاء المتبقية (r من الصفوف)

B مصفوفة معاملات معادلات الشروط (الخطية) وتتكون من r من الصفوف (عدد الشروط) و n من الأعمدة (عدد الأرصاد). أي أن كل عنصر من عناصر المصفوفة B هو التفاضل الأول لمعادلة الشرط بالنسبة لرصده من الأرصاد:

$$B_{r,n} = \begin{bmatrix} \frac{\delta f1}{\delta l1} & \frac{\delta f1}{\delta l2} & \cdots\cdots & \frac{\delta f1}{\delta ln} \\ \frac{\delta f2}{\delta l1} & \frac{\delta f2}{\delta l2} & \cdots\cdots & \frac{\delta f2}{\delta ln} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\delta fr}{\delta l1} & \frac{\delta fr}{\delta l2} & \cdots\cdots & \frac{\delta fr}{\delta ln} \end{bmatrix}$$

أما نظام المعادلات الأصولية Normal Equation System لطريقة الضبط الشرطي فيكون في صورة:

$$M_{r,r}\ K_{r,1} + W_{r,1} = 0$$

where,

$$M = B\ P^{-1}\ BT$$

حيث P هي مصفوفة الوزن للأرصاد الأصلية.

أما المتجه K فيسمي متجه الارتباط Vector of Correlate أو معامل ضرب لاجرانج Lagrange Multiplier حيث ابتكره العالم لاجرانج لحل مشكلة أن مصفوفة المعاملات B هي مصفوفة مستطيلة بما أن عدد صفوفها لا يساوي عدد أعمدتها (وليست مربعة مثل حالة المصفوفة A في طريقة الضبط بمعادلات الأرصاد) ولا يمكن إيجاد مقلوبها B^{-1}.

أما خطوات حل نظام المعادلات الأصولية فتتكون من:

$$K = - M^{-1} W$$

$$\hat{V} = - P^{-1} B^T K = (B P^{-1} B^T)^{-1} W$$

$$\overline{L} = L + \hat{V}$$

$$\hat{\sigma}_o^2 = \frac{V^T P V}{r}$$

$$\hat{\Sigma}_{\overline{L}} = \hat{\sigma}_o^2 [P^{-1} - (P^{-1} B^T M^{-1} B P^{-1})]$$

وبذلك نحصل علي الأرصاد المضبوطة $\overline{L}$ ومصفوفة التباين لها $\hat{\Sigma}_{\overline{L}}$ بالإضافة لقيمة معامل التباين بعد الضبط $\hat{\sigma}_o^2$.

أما لحساب القيم المضبوطة للعناصر المجهولة فنقوم باستخدام الأرصاد المضبوطة في تكوين معادلات تربط بينها و بين العناصر المجهولة، ولتكن مثلا في صورة:

$$\hat{X} = F1 (\overline{L})$$

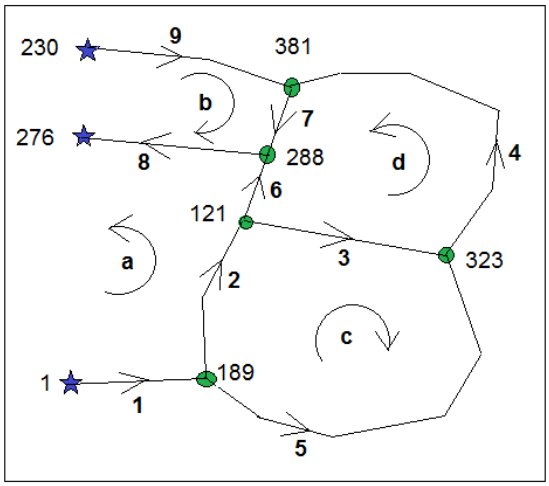
فإذا أخذنا التفاضل الأول لهذه المعادلات F1 بالنسبة للأرصاد (لنسميها المصفوفة G) فيمكن حساب مصفوفة التباين للعنصر المجهولة:

$$G = \delta F1 / \delta L$$

$$\hat{\Sigma}_{\hat{X}} = G \hat{\Sigma}_{\overline{L}} G^T$$

<u>مثال للضبط الشرطي لمعادلات خطية:</u>

الشكل التالي يمثل حلقات ميزانيات لعدد ٩ خطوط (أي أن n = 9) تربط بين ٣ نقاط معلومة المنسوب و ٥ نقاط مجهولة المنسوب (أي أن u = 5). إذن عدد الشروط المستقلة = عدد درجات الحرية: r = n – u = 4



شكل (٦-٦) مثال للضبط الشروط الخطية

وكانت الأرصاد وقيم مناسيب الروبيرات المعلومة كالآتي:

الروبير	المنسوب H (متر)
١	٢.٧٩١
٢٧٦	١٩.٣١٦
٢٣٠	٣٣.٨٣١

رصدة رقم L	من روبير	إلي روبير	المسافة (كم)	فرق المنسوب (متر)
١	١	١٨٩	١.١٤	١٠.٠٣٨
٢	١٨٩	١٢١	٢.٨٤	٨.٢٩٧
٣	١٢١	٣٢٣	٣.٢١	١.٩٤٩
٤	٣٢٣	٣٠١	٦.٠٣	٥.٢١٧-
٥	١٨٩	٣٢٣	٦.٧٥	١٠.٢٤٤
٦	١٢١	٢٨٨	٠.٨٤	١.٥٦٢
٧	٣٠١	٢٨٨	٢.٩٤	٤.٨٣٧
٨	٢٨٨	٢٧٦	٢.٠١	٣.٣٧٠-
٩	٢٣٠	٣٠١	٥.٢٨	١٥.٩٧٩-

من حلقات الميزانية بالشكل يمكن اختيار الشروط المستقلة (الأربعة) كالتالي:

من الحلقة a:

$$L_1 + L_2 + L_6 + L_8 - (H_{276} - H_1) = 0$$

من الحلقة b:

$$L_9 + L_7 + L_8 – (H_{276} – H_{230}) = 0$$

من الحلقة c:

$$L_2 + L_3 - L_5 = 0$$

من الحلقة d:

$$L_3 + L_4 + L_7 – L_6 = 0$$

حيث أن معادلات الاشتراطات خطية فيمكن تكوين مصفوفة المعاملات B (٤ صفوف و ٩ أعمدة) كالتالي:

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

أما متجهة الفروق W فيتم حسابه من معادلات الاشتراطات وباستخدام قيم الأرصاد المقاسة:

$W_1 = L_1 + L_2 + L_6 + L_8 – (H_{276} – H_1) = 10.038 + 8.297 + 1.562 – 3.370 – (19.316 – 2.791) = 0.002 \text{ m} = 2 \text{ mm}$

$W_2 = L_9 + L_7 + L_8 – (H_{276} – H_{230}) = -15.979 + 4.837 – 3.370 – (19.316 – 33.831) = 0.003 \text{ m} = 3 \text{ mm}$

$W_3 = L_2 + L_3 - L_5 = 8.297 + 1.949 – 10.244 = 0.002 \text{ m} = 2 \text{ mm}$

$W_4 = L_3 + L_4 + L_7 – L_6 = 1.949 – 5.217 + 4.837 – 1.562 = 0.007 \text{ m} = 7 \text{ mm}$

أي أن:

$$W = \begin{bmatrix} 2 \\ 3 \\ 2 \\ 7 \end{bmatrix} \text{ mm}$$

كما سبق الذكر فأن في شبكات الميزانية يتم اعتبار التباين variance (لكل خط) مساويا لطول الخط ذاته، وبما أن الوزن weight هو مقلوب التباين فأن الوزن لكل خط ميزانية يمكن أخذه مساويا لطول الخط بالكيلومتر. أي أن مصفوفة التباين للأرصاد ΣL = مقلوب مصفوفة الوزن P^{-1} ستكون كالتالي:

$$P^{-1} = \Sigma_L = \begin{bmatrix} 1.14 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2.84 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3.21 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6.03 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.84 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2.94 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2.01 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5.28 \end{bmatrix}$$

نبدأ في خطوات الحل المتتالية:

$$M = (B P^{-1} B^T) = \begin{bmatrix} 6.83 & 2.01 & 2.84 & -0.84 \\ 2.01 & 10.23 & 0 & 2.94 \\ 2.84 & 0 & 12.80 & 3.21 \\ -0.84 & 2.94 & 3.21 & 13.02 \end{bmatrix}$$

$$M^{-1} = \begin{bmatrix} 0.1850 & -0.0463 & -0.0497 & 0.0347 \\ -0.0463 & 0.1166 & 0.0188 & -0.0339 \\ -0.0497 & 0.0188 & 0.0970 & -0.0314 \\ 0.0347 & -0.0339 & -0.0314 & 0.0944 \end{bmatrix}$$

$$K = - M^{-1} W = \begin{bmatrix} -0.37 \\ -0.06 \\ 0.07 \\ -0.57 \end{bmatrix}$$

$$\hat{V} = - P^{-1} B^T K = \begin{bmatrix} -0.4 \\ -0.9 \\ -1.6 \\ -3.4 \\ -0.5 \\ 0.2 \\ -1.8 \\ -0.9 \\ -0.3 \end{bmatrix} \text{ mm}$$

$$\overline{L} = L + \hat{V} = \begin{bmatrix} 10.0376 \\ 8.2962 \\ 1.9474 \\ -5.2204 \\ 10.2435 \\ 1.5622 \\ 4.8352 \\ -3.3709 \\ -15.9793 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$\hat{\sigma}_o^2 = \frac{\hat{V}^T P \hat{V}}{r} = \frac{4.743}{4} = 1.1857$$

$$\hat{\sigma}_o = \sqrt{1.1857} = 1.09$$

$$\hat{\Sigma}_{\bar{L}} = \hat{\sigma}_o^2 [P^{-1} - (P^{-1} B^T M^{-1} B P^{-1})]$$

$$= \begin{bmatrix} 1.067 & -0.519 & 0.065 & -0.282 & -0.454 & -0.171 & 0.046 & -0.377 & 0.330 \\ & 1.622 & -0.547 & -0.067 & 1.075 & -0.373 & 0.240 & -0.729 & 0.489 \\ & & 2.233 & -1.447 & 1.687 & 0.250 & -0.536 & 0.231 & 0.305 \\ & & & 3.078 & -1.514 & 0.359 & -1.272 & -0.010 & 1.282 \\ & & & & 2.761 & -0.123 & -0.296 & -0.498 & 0.794 \\ & & & & & 0.820 & 0.211 & -0.276 & 0.065 \\ & & & & & & 2.019 & -0.498 & -1.521 \\ & & & & متماثلة & & & 1.382 & -0.885 \\ & & & & & & & & 2.406 \end{bmatrix}$$

الآن يمكن حساب القيم المضبوطة لمناسيب النقاط المجهولة باستخدام الأرصاد المضبوطة:

$$\hat{H}_{189} = H_1 + \bar{L}_1 = 12.8286 \text{ m}$$

$$\hat{H}_{121} = H_1 + \bar{L}_1 + \bar{L}_2 = 21.1248 \text{ m}$$

$$\hat{H}_{323} = H_1 + \bar{L}_1 + \bar{L}_5 = 23.0721 \text{ m}$$

$$\hat{H}_{288} = H_{276} - \bar{L}_8 = 22.6869 \text{ m}$$

$$\hat{H}_{301} = H_{230} + \bar{L}_9 = 17.8517 \text{ m}$$

من هذه المعادلات الخمسة نكون المصفوفة G كالتالي:

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ثم يمكن حساب قيمة مصفوفة التباين للقيم المجهولة:

$$\hat{\Sigma}_{\hat{X}} = G \hat{\Sigma}_{\bar{L}} G^T = \begin{bmatrix} 1.067 & 0.547 & 0.613 & 0.377 & 0.330 \\ 0.547 & 1.650 & 1.169 & 1.106 & 0.820 \\ 0.613 & 1.169 & 2.921 & 0.875 & 1.124 \\ 0.377 & 1.106 & 0.875 & 1.382 & 0.885 \\ 0.330 & 0.820 & 1.124 & 0.885 & 2.406 \end{bmatrix}$$

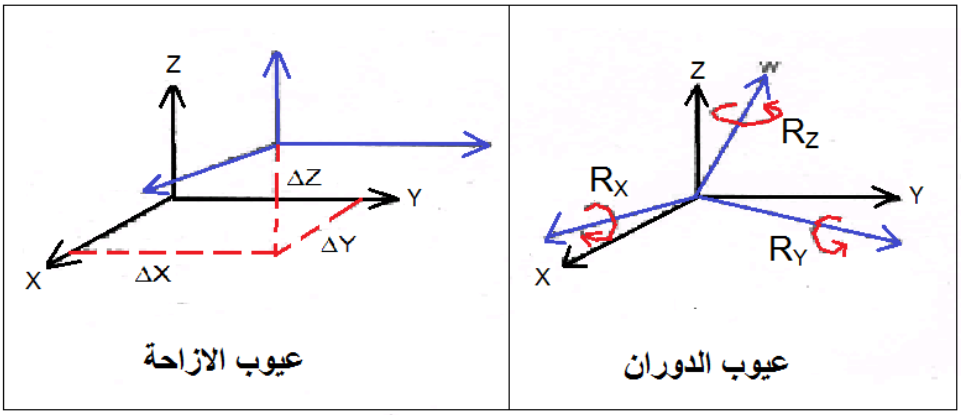
أي أن قيم الانحراف المعياري لمناسيب الروبيرات (الجذر التربيعي لعناصر القطر):

$$\sigma_{189} = \sqrt{1.067} \text{ m}$$
$$\sigma_{121} = \sqrt{1.650} \text{ m}$$
$$\sigma_{323} = \sqrt{2.921} \text{ m}$$
$$\sigma_{288} = \sqrt{1.382} \text{ m}$$
$$\sigma_{301} = \sqrt{2.406} \text{ m}$$

٦-٦ ضبط الشبكات بطريقة حرة

تعاني أرصاد (قياسات) أي شبكة جيوديسية من عيوب المرجع Datum Defects حيث أن الأرصاد في حد ذاتها لا تحدد المرجع الذي تستند إليه هذه الشبكة. فإذا أخذنا علي سبيل المثال أرصاد شبكة الميزانية (حلقة من خطوط الميزانية) فأن كل رصدة تعطي فرق المنسوب بين نقطتين BM، لكن هذه الشبكة غير محدد لها المرجع الرأسي الذي تعتمد عليه. فان لم نحدد القيمة المطلقة absolute value لمنسوب نقطة من نقاط الشبكة فأن الشبكة لن تكون مرجعة أو محددة المرجع. من هنا نقول أنه يوجد عيب مرجعي واحد في شبكة الميزانية. مثال آخر عندما نرصد أطوال أضلاع مثلث فأن هذه المثلث من الممكن أن يقع في أي منطقة في العالم حيث أنه غير محدد المرجع، أي يعاني من عيوب مرجعية. ولإصلاح هذه العيوب يلزمنا معرفة القيمة المطلقة لإحداثيات (س،ص) لنقطة من نقاط هذا المثلث. وبعد ذلك يلزمنا أيضا تحديد علاقة هذا المثلث المقاس الأضلاع بمحور الإحداثيات (قيمة ميله علي المحور س أو المحور ص). إذن نقول أن المثلث المقاس الأضلاع يعاني من ٣ عيوب مرجعية.

يمكن تقسيم العيوب المرجعية في الشبكات الجيوديسية إلي ٣ أنواع: عيوب الإزاحة Translation وعيوب الدوران Rotation وعيب المقياس Scale. تكمن عيوب الإزاحة في تحديد الإزاحات بين نقطة من نقاط الشبكة و نقطة الأصل لنظام الإحداثيات، أي أن عيوب الإزاحة يمكن أن تكون ٢ فقط (س،ص) للشبكات الأفقية أو ٣ (س،ص،ع) للشبكات ثلاثية الأبعاد. أما عيوب الدوران فتشمل تحديد ميول الشبكة عن محاور نظام الإحداثيات نفسه، أي أنها مثل عيوب الإزاحة قد تكون ٢ للشبكات الأفقية (أليميل عن محور س و الميل عن محور ص) أو تكون ٣ للشبكات ثلاثية الأبعاد. أما عيب الدوران (دائما عيب واحد فقط) فهو الذي يحدد حجم الشبكة بالنسبة للأرض. فمثلا إن لم يتم قياس طول ضلع واحد من أضلاع أي مثلث فيمكننا رسم مئات من هذه المثلثات تختلف في حجمها مع أن زواياه واحدة.



شكل (٦-٧) العيوب المرجعية في الشبكات الجيوديسية

العيوب المرجعية للشبكات الجيوديسية

نوع الشبكة	العيوب المرجعية	
	العدد	النوع
شبكات الميزانيات	١	١ إزاحة
شبكات الجاذبية الأرضية	١	١ إزاحة
شبكات المثلثات مقاسة الأضلاع	٣	٢ إزاحة ١ دوران
شبكات المثلثات مقاسة الزوايا	٤	٢ إزاحة ١ دوران ١ مقياس
الشبكات الأرضية ثلاثية الأبعاد	٦ (في حالة قياس ضلع في الشبكة)	٣ إزاحة ٣ دوران
	٧ (في حالة عدم قياس ضلع في الشبكة)	٣ إزاحة ٣ دوران ١ مقياس
شبكات الجي بي أس	٣	٣ إزاحة

تجدر ملاحظة السطر الأخير في الجدول السابق والذي يحدد عدد عيوب شبكات الجي بي أس بثلاثة فقط مع أن هذه الشبكات من نوع الشبكات ثلاثية الأبعاد. يرجع السبب في ذلك إلي أن أرصاد الجي بي أس الأساسية هي فروق الإحداثيات بين كل طرفي خط قاعدة ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) والتي يمكن منها حساب انحراف الخط وبالتالي يمكن تحديد ميله عن المحاور الثلاثة (أي لا توجد عيوب دوران في شبكات الجي بي أس). بالمثل فيمكن حساب طول خط القاعدة من مركباته الثلاثة المقاسة، وبالتالي فلن يوجد عيب مقياس في شبكات الجي بي أس وسيتبقي فقط في هذه الشبكات عيوب الإزاحة الثلاثة.

هذه هو مفهوم العيوب المرجعية للشبكات من وجهة النظر الجيوديسية. أما من وجهة النظر الرياضية فأن وجود هذه العيوب لا يسمح بحساب مقلوب مصفوفة نظام المعادلات الأصولية N وهي التي يعتمد عليها حساب قيم العناصر المجهولة الناتجة من ضبط مجموع أقل المربعات ($\hat{X} = -N^{-1} U$ -). بمعني أننا لا نستطيع حساب قيمة المصفوفة N^{-1} لأنها مصفوفة أحادية Singular Matrix لأي شبكة جيوديسية. وللتغلب علي هذا الوضع فيجب معالجة العيوب المرجعية للشبكة، وهو ما يتم بأحدي طريقتين وهما: ضبط الشبكة الحرة و الضبط بأقل عدد من القيود.

تعتمد طريقة ضبط الشبكة الحرة Free-Network Adjustment علي معالجة العيوب المرجعية للشبكة من خلال تثبيت قيم (غير دقيقة) لمرجع الشبكة. فمثلا في حالة شبكة الميزانية فنقوم بفرض قيمة منسوب احدي نقاط الشبكة (مثلا نفرضه = صفر)، وبالتالي يمكننا حساب مناسيب كل نقاط الشبكة المرصودة. مثال آخر: في حالة شبكات الجي بي أس نقوم بفرض الإحداثيات الثلاثة لنقطة من نقاط الشبكة المرصودة (مثلا إحداثياتها التقريبية الناتجة من أرصاد الشفرة) وبالتالي يمكن استكمال خطوات عملية الضبط وحساب إحداثيات باقي نقاط الشبكة.

لكن من المهم جدا ملاحظة أن نتائج هذا الضبط الحر (كما يبدو من أسمه) لن تكون هي النتائج الدقيقة للشبكة الجيوديسية. فهذه النتائج معتمدة علي قيمة تقريبية لمعالجة عيوب الشبكة حتى نستطيع حساب N^{-1} و استكمال معادلات وخطوات الضبط. علي الجانب الآخر فأن أهم مميزات طريقة الضبط الحر أنها تسمح لنا باكتشاف دقة أرصاد الشبكة ذاتها وأيضا باكتشاف أيه أخطاء بها قبل إتمام عملية الضبط النهائي. فمثلا من نتائج الضبط الحر نستطيع حساب قيم الانحراف المعياري للأرصاد المضبوطة (من المصفوفة $\hat{\Sigma}_{LL}$) وبالتالي يمكننا اكتشاف أية أرصاد غير دقيقة ونقوم بحذفها حتى لا تؤثر علي باقي الأرصاد وعلي النتائج النهائية للعناصر المجهولة. من هنا فأن إتمام عملية الضبط الحر وفحص نتائجها بدقة و تمعن يعد من أهم خطوات ضبط الشبكات الجيوديسية. من الممكن أن نعيد عملية الضبط الحر عدة مرات (مع حذف بعض الأرصاد غير الدقيقة في كل مرة) قبل أن نتأكد من أن الأرصاد التي ستدخل في الضبط النهائي للشبكة هي الأرصاد الدقيقة فقط.

أما طريقة الضبط بأقل عدد من القيود Minimal- or Minimum-Constraints Adjustment فهي مثل طريقة الضبط الحر تماما إلا أننا نقوم بتثبيت قيم حقيقية معلومة لعيوب الشبكة. فمثلا في حالة شبكة الميزانية نقوم بتثبيت قيمة المنسوب المعلوم (الحقيقي) لنقطة BM في الشبكة بدلا من فرض أن منسوبها يساوي الصفر. يمكن الاطلاع علي المعادلات الرياضية لعملية الضبط الحر أو الضبط بأقل عدد من القيود في المراجع الجيوديسية المتخصصة.

أما في حالة تثبيت عدد أكبر من عدد عيوب المرجع للشبكة الجيوديسية فهذا ما يطلق عليه اسم الضبط بعدد أكبر من القيود أو Over-Constraints Adjustment. فمثلا في شبكات الميزانية إذا قمنا بتثبيت قيمة منسوب نقطتين BM من نقاط الشبكة (عدد العيوب المرجعية للشبكة ١ فقط)، أو في شبكات الجي بي أس إذا قمنا بتثبيت إحداثيات نقطتين من نقاط الشبكة (أي ٦ عناصر) مع أن عدد عيوب الشبكة يبلغ ٣ فقط (X,Y,Z لنقطة واحدة). وهي حالة تتطلب فحص دقيق للشبكة المقاسة و أيضا تعتمد علي دقة المرجع الذي نقوم بتثبيته.

٦-٧ تحليل نتائج ضبط الشبكات

يعد تحليل النتائج من أهم – إن لم يكن هو أهم – خطوات ضبط الشبكات الجيوديسية وخاصة شبكات الجي بي أس التي بدأ تطبيقها في ازدياد سريع في الفترة الأخيرة. يمكن بالتحليل الدقيق لنتائج الضبط (الفحص المبدئي للأرصاد و الضبط الحر للشبكة) اكتشاف أية أرصاد غير دقيقة وأية مشاكل في الشبكة ومن ثم التعامل معها بطريقة علمية للوصول إلي أدق النتائج. توجد عدة خطوات لتحليل نتائج الشبكات سنتعرض لأهمهم في الأجزاء التالية.

٦-٧-١ تحليل معامل التباين

في معادلات الضبط بطريقة أقل مجموع مربعات تعاملنا مع معامل التباين قبل الضبط (assumed or a priori variance factor) σ_o^2 وهي قيمة تم افتراضها – قبل بدء الضبط – ليتم بها حساب مصفوفة الوزن من مصفوفة التباين للأرصاد (غالبا نفرضها = ١):

$$P = \sigma_o^2 \ \Sigma^{-1}$$

وبعد اكتمال خطوات الضبط قمنا بحساب أو تقدير القيمة المضبوطة لمعامل التباين (Adjusted or estimated or a posteriori Variance Factor):

$$\hat{\sigma}_o^2 = \hat{V}^T \ P \ \hat{V} \ / \ (n - u)$$

يتم إجراء مقارنة بين القيمة المفترضة أو الأولية لمعامل التباين والقيمة المحسوبة أو المضبوطة لها:

$$\hat{\sigma}_o^2 \ / \ \sigma_o^2$$

والذي من المفترض أن يساوي ١ أو قريبا منه حتى تكون قيمة معامل التباين المبدئي مناسبة أو قريبة لتلك القيمة الناتجة من الضبط وبالتالي فأن خطوات و حسابات الضبط تكون سليمة. أما إن كانت نتيجة هذه المقارنة لا تساوي ١ (أو قريبة منه) فأن هذا يعد إنذارا بأن هناك شيئا ما لم يكن بالصورة السليمة سواء في:

- وجود أخطاء – بشرية - في نقل الأرصاد المقاسة في الطبيعة.
- وجود أخطاء منتظمة لم يتم معالجتها في الأرصاد قبل بدء الضبط.
- تكوين معادلات الضبط (سواء معادلات الأرصاد أو معادلات الاشتراطات) بصورة غير دقيقة.
- عدم مناسبة الوزن المستخدم للأرصاد الأصلية، إما أن يكون الوزن (أو بمعني آخر الانحراف المعياري الذي يعبر عن دقة الأرصاد الأساسية) أقل من الحقيقية أو أن يكون أكبر من الحقيقية.

ومن ثم فيجب إعادة فحص الأرصاد و المعادلات مرة أخري وإصلاح أية عيوب بها ثم إعادة عملية الضبط من جديد.

يجب ملاحظة أن هذا التحليل لا يؤثر علي القيمة النهائية المضبوطة للعناصر المجهولة حيث أن معادلة حساب هذه العناصر لا تدخل بها قيمة معامل التباين المضبوط $\hat{\sigma}_0^2$ كما سبق أن رأينا في المعادلة:

$$\hat{X} = -N^{-1}U$$

لكنه يؤثر علي قيمة التباين (ومن ثم الانحراف المعياري) لهذه العناصر:

$$\hat{\Sigma}_{\bar{X}} = \hat{\sigma}_0^2 \, N^{-1}$$

وأيضا يؤثر علي قيمة التباين للأرصاد المضبوطة:

$$\hat{\Sigma}_{\bar{L}} = A \; \hat{\Sigma}_{\bar{X}} \; A^T$$

في الأمثلة المحلولة السابقة نري (في مثال شبكة الميزانيات) أن قيمة معامل التباين المبدئي أو المفروض كانت:

$$\sigma_0^2 = 1 \times 10^{-4}$$

بينما قيمة معامل التباين المضبوط كانت:

$$\hat{\sigma}_0^2 = 6.7 \times 10^{-4}$$

أي أن قيمة تحليل معامل التباين:

$$\hat{\sigma}_0^2 / \sigma_0^2 = 6.7$$

مما يدل علي أن قيمة معامل التباين (ومن ثم الانحراف المعياري للأرصاد) المبدئي كانت أكبر مما ينبغي، أي أن الأرصاد الأصلية كانت أقل دقة مما توقعنا.

أما في المثال الثاني (مثال التقاطع) فنري أن قيمة معامل التباين المبدئي أو المفروض كانت:

$$\sigma_0^2 = 1$$

بينما قيمة معامل التباين المضبوط كانت:

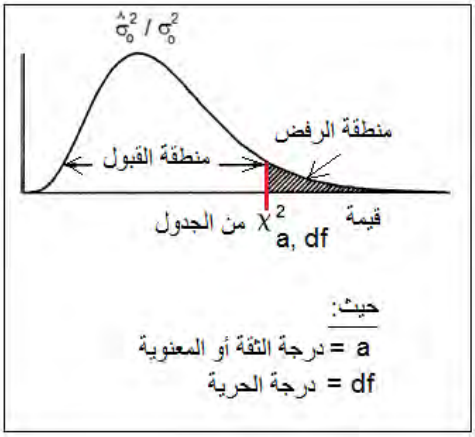
$$\hat{\sigma}_0^2 = 0.2812$$

أي أن قيمة تحليل معامل التباين:

$$\hat{\sigma}_0^2 / \sigma_0^2 = 0.2812$$

مما يدل علي أن قيمة معامل التباين (ومن ثم الانحراف المعياري للأرصاد) المبدئي كانت أقل مما ينبغي، أي أن الأرصاد الأصلية كانت أدق مما توقعنا لها.

يعد الاختبار الإحصائي "مربع كاي Chai-Square" أو χ^2 هو الذي يتم استخدامه لبيان العلاقة الإحصائية بين معامل التباين المبدئي و معامل التباين المضبوط، ويسمي هذا الاختبار علي نتائج ضبط الشبكات باختبار درجة التوافق Goodness of Fit. يعتمد هذا الاختبار علي مقارنة قيمة تحليل معامل التباين $\hat{\sigma}_0^2 / \sigma_0^2$ لشبكة معينة مع القيمة المفترضة من الجداول الإحصائية للاختبار، ومن ثم إن كانت النتيجة متوافقة فأن الاختبار يكون مقبول أو ناجح Pass أو يكون الاختبار مرفوض أو غير ناجح Fail في الحالة الأخرى.



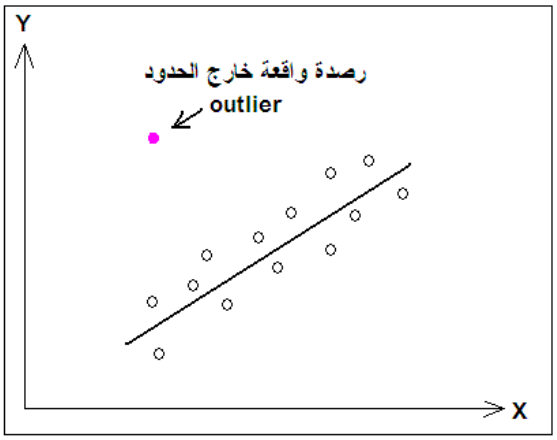
شكل (٦-٨) اختبار درجة التوافق أو اختبار مربع كاي

معظم البرامج التجارية software الخاصة بضبط الشبكات الجيوديسية (وخاصة برامج الجي بي أس) تعطي نتيجة هذا الاختبار ضمن نتائج عملية الضبط، ومن ثم يجب علي المستخدم معرفة نتيجة الاختبار وكيفية التعامل معها. كما سبق الذكر أن عدم نجاح هذا الاختبار يعد إنذارا لمراجعة البيانات الأصلية للشبكة ومعادلاتها، فان تأكد المستخدم أن كل هذه الخطوات سليمة فليس أمامه إلا تغيير قيمة معامل التباين المبدئي σ_0^2 بحيث يكون متوافقا مع القيمة المضبوطة الناتجة من الضبط $\hat{\sigma}_0^2$ ثم يعيد عملية ضبط الشبكة مرة أخري حتى ينجح هذا الاختبار.

٦-٧-٢ تحليل الأرصاد الشاذة

الأرصاد الشاذة أو الأرصاد الواقعة خارج الحدود هي أرصاد لها أخطاء متبقية Residuals تقع خارج (من هنا جاء أسمها Out Lay or Outliers) حدود ثقة معينة متوقعة لها. لنأخذ مثال بسيط: إذا قسنا مسافة عدد من المرات وكانت قيمها هي ١١.٢٤ ، ١١.٢١ ، ١١.٢٧ ، ١١.٢٨ ، ١١.٢٣ ، ١٧.٨٨ متر. من الواضح أن القياسات الخمسة الأولي قريبة جدا من بعضها البعض بينما الرصدة الأخيرة بعيدة جدا عنهم. مما يجعلنا نشك أن هذا القياس الأخير حدث به خطأ ضخم سواء نتيجة الجهاز المستخدم أو الراصد أو الظروف الجوية لعملية الرصد ذاتها ، وهذا ما نطلق عليه "الرصدة الشاذة أو الرصدة الواقعة خارج الحدود outlier". فإذا قمنا بحساب المتوسط باستخدام جميع الأرصاد فستكون قيمته غير دقيقة ، بينما المنطقي أن يتم استبعاد هذه الرصدة الخاطئة وحساب المتوسط باستخدام الأرصاد الخمسة الأولي فقط. وعلي سبيل المثال إن كان لدينا رصدة

وكان الخطأ المتبقي لها (أي التصحيح) $\hat{V}$ الناتج من عملية الضبط ٠.٠١ متر – مثلا – لكن الانحراف المعياري لهذا التصحيح $\hat{\sigma}_{\hat{v}}$ كان ± ٠.٠٣ متر. في هذه الحالة تكون هذه الرصدة مشكوكا في مصداقيتها حتى إن كانت قيمة التصحيح (الخطأ المتبقي) صغيرة في حد ذاتها، إلا أن انحرافه المعياري أكبر من قيمته ذاتها. تأتي خطورة الأرصاد الشاذة من أنها **تؤثر** علي باقي أرصاد الشبكة وتقلل من دقة النتائج النهائية الناتجة من عملية الضبط. من هنا لا بد من اكتشاف هذه الأرصاد الشاذة و حذفها من الشبكة الجيوديسية.



شكل (٦-٩) الأرصاد الشاذة أو الواقعة خارج الحدود

أهتم علماء الجيوديسيا بعملية اكتشاف الأرصاد الشاذة من خلال ابتكار اختبارات إحصائية خاصة لتحليل نتائج ضبط الشبكات، مثل طريقة فحص البيانات Data Snooping للعالم Barada من خلال تطبيق الاختبار الإحصائي t-Test في عام ١٩٦٨م، و طريقة اكتشاف الأرصاد الشاذة Outlier Detection من خلال تطبيق اختبار تاو Tau Test للعالم Pope في عام ١٩٧٦م. يعتمد اختبار تاو علي حساب قيمة حاصل قسمة القيمة المطلقة للخطأ المتبقي لأي رصدة علي قيمة انحرافه المعياري $|\hat{V}| / \hat{\sigma}_{\hat{v}}$ (ويسمي الخطأ المتبقي المعياري Standardized Residual) ومقارنتها بالقيمة المتوقعة من الجداول الإحصائية الخاصة بهذا الاختبار. فان كان الخطأ المتبقي المعياري أكبر من القيمة الإحصائية المتوقعة له فهذا يدل علي أن هذه الرصدة هي رصدة شاذة outlier ويجب حذفها من أرصاد الشبكة وإعادة عملية الضبط مرة أخري.

معظم البرامج التجارية software الخاصة بضبط الشبكات الجيوديسية (وخاصة برامج الجي بي أس) تعطي نتيجة هذا الاختبار ضمن نتائج عملية الضبط، ومن ثم يجب علي المستخدم معرفة نتيجة الاختبار وكيفية التعامل معها. وتتكون خطوات تحليل الأرصاد و نتائج الضبط من:

- إجراء الضبط الأولي باستخدام جميع أرصاد الجي بي أس.
- إذا أشارت نتائج الاختبار الإحصائي لوجود عدد من الأرصاد الواقعة خارج الحدود outliers فلا نحذفها كلها ، إنما نحذف فقط الرصدة ذات أكبر قيمة من نتائج الاختبار. السبب في ذلك أن رصدة واحدة خاطئة من الممكن أن تؤثر علي أرصاد أخري سليمة أو

دقيقة ، ومن هنا فأن حذف كل الأرصاد التي تظهر في نتائج الاختبار سيقلل من عدد الأرصاد في الشبكة بصورة غير ضرورية مما سيقلل من جودة الحل النهائي للشبكة.

- نعيد إجراء ضبط الشبكة مرة أخري للحصول علي نتائج جديدة سواء للإحداثيات أو للاختبار الإحصائي أيضا.
- تتكرر هذه العملية عدد من المرات حتى نصل في الخطوة الأخيرة إلي عدم وجود أية أرصاد واقعة خارج الحدود علي الإطلاق.
- نعتمد إحداثيات آخر عملية ضبط لتكون الإحداثيات النهائية الدقيقة لشبكة الجي بي أس.

الباب الثاني

النظام العالمي لتحديد المواقع

GPS

الفصل السابع

مقدمة عن النظام العالمي لتحديد المواقع

٧-١ مقدمة

النظام العالمي لتحديد المواقع Global Positioning System (أو اختصارا GPS) هو نظام لتحديد المواقع و الملاحة وتحديد الزمن تم تصميمه و يدار بواسطة وزارة الدفاع الأمريكية. ويقدم هذا النظام العديد من المميزات التي جعلته التقنية الاساسية حول العالم في تجميع البيانات المكانية، وتشمل:

- متاح طوال ٢٤ ساعة يوميا ليلا و نهارا وعلي مدار العام كله.
- يغطي جميع أنحاء الأرض.
- لا يتأثر بأية ظروف مناخية مثل درجات الحرارة و المطر و الرطوبة والرعد و الرق و العواصف.
- الدقة العالية في تحديد المواقع لدرجة تصل إلي ملليمترات في بعض التطبيقات و طرق الرصد الجيوديسية أو دقة أمتار قليلة (٢.٥ متر في المتوسط) للتطبيقات الملاحية.
- الوفرة الاقتصادية بحيث أن تكلفة استخدام الجي بي أس تقل بنسبة أكبر من ٢٥% بالمقارنة بأي نظام ملاحي أرضي أو فضائي آخر.
- لا يحتاج لخبرة تقنية متخصصة لتشغيل أجهزة الاستقبال (وخاصة المحمولة يدويا) لدرجة أن بعض مستقبلات الجي بي أس أصبحت تدمج في الساعات اليدوية و أجهزة الاتصال التليفوني.

تتعدد التطبيقات المدنية لتقنية الجي بي أس بصورة كبيرة في مجالات متعددة مثل: الملاحة البرية وتحديد مواقع المركبات المتحركة في الشوارع بغرض زيادة كفاءة النقل البري، الملاحة الفضائية و تحديد مواقع المركبات الفضائية الخارجية ، الملاحة الجوية وتحديد مواقع الطائرات أثناء الهبوط و الإقلاع و طوال مسار الرحلات الجوية ، الزراعة ورسم خرائط التربة وإرشاد الجرارات الزراعية أثناء عملها ، الملاحة البحرية وتحديد مواقع السفن طوال مسار الرحلة ، السكك الحديدية والتحديد الدقيق لمواقع القطارات بهدف تحسين مستوي السلامة والأمان و كفاءة التشغيل ، التطبيقات البيئية مثل تحديد مواقع محطات قياس المد و الجزر وربط بياناتها علي المستوي العالمي بغرض مراقبة ظاهرة ارتفاع منسوب سطح البحر وكذلك مراقبة حركة التسربات من حاملات البترول و مراقبة و رسم خرائط لمناطق حرائق الغابات ، السلامة العامة و الغوث من الكوارث الطبيعية وخاصة في استخدامات فرق البحث و الإنقاذ للمناطق التي تعرضت لمثل هذه الكوارث وأيضا الاستجابة السريعة لحالات الطوارئ ، تطبيقات قياس و تزامن الوقت مثل دمج بيانات محطات رصد مواقع الزلازل وكذلك ضبط تزامن أجهزة الكمبيوتر للبنوك العالمية متعددة الفروع وأيضا لشركات توزيع الكهرباء ، بالإضافة لمجال الهندسة المساحية و إنشاء الخرائط.

أيضا تعددت التطبيقات المساحية لتقنية الجي بي أس بصورة كبيرة في السنوات الماضية وتشمل بعضها:

- إنشاء الشبكات الجيوديسية للثوابت الأرضية الدقيقة وتكثيف الشبكات القديمة منها (عن طريق إضافة محطات جديدة لها).
- رصد تحركات القشرة الأرضية.
- رصد إزاحة أو هبوط المنشئات الحيوية كالكباري و الجسور و السدود و القناطر.
- أعمال الرفع المساحي التفصيلي و الطبوغرافي.
- إنتاج خرائط طبوغرافية و تفصيلية دقيقة و في صورة رقمية.
- تحديد المواقع لعلامات الضبط الأرضي للصور الجوية و المرئيات الفضائية لنظم الاستشعار عن بعد.
- تطبيقات المساحة التصويرية الأرضية Close-Range Photogrammetry.
- تطوير نماذج الجيويد الوطنية بالتكامل مع أسلوب الميزانية الأرضية.
- تجميع البيانات المكانية عند استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية، وخاصة لتطبيقات تحديد مواقع الخدمات المدنية Location-Based Services وتطبيقات النقل الذكي Intelligent Transportation وأيضا تطبيقات نظم معلومات الأراضي Land Information Systems أو LIS.
- الربط بين المراجع الجيوديسية المختلفة للدول في حالات المشروعات الحدودية المشتركة.
- نظم الخرائط المحمولة Mobile Mapping Systems أو MMS.
- الرفع الهيدروجرافي و تطوير الخرائط البحرية و النهرية.
- تثبيت و توثيق مواقع العلامات الحدودية بين الدول.
- بدمج تقنيتي الجي بي أس و نظم المعلومات الجغرافية أمكن إنتاج خرائط رقمية و قواعد بيانات محمولة يدويا للمدن بكافة تفاصيلها و خدماتها.

شكل (٧-١) بعض مجالات تطبيقات الجي بي أس

٧-٢ نبذة تاريخية

قبل بدء عصر الأقمار الصناعية توصل العلماء إلي طريقة جديدة لتحديد المواقع بالاعتماد علي الموجات الراديوية أو الكهرومغناطيسية ، وكان المبدأ الأساسي في هذه الطريقة هو قياس الزمن الذي تستغرقه الموجه الراديوية في الرحلة ذهابا و عودة بين محطة البث أو الإرسال Transmitting Station وجهاز الاستقبال Receiver. فإذا استخدمنا القاعدة العلمية المعروفة:

المسافة = السرعة × الزمن

وباعتبار أن سرعة الموجة تعادل سرعة الضوء (حوالي ٣٠٠ ألف كيلومتر في الثانية) فيمكننا حساب المسافة بين محطة الإرسال و جهاز المستقبل. لكن يتبادر إلي الأذهان السؤال التالي: كيف يمكن لهذه الفكرة - أو هذه المسافة التي يمكن حسابها – أن تستخدم في تحديد موقع شخص معين؟ الإجابة سهلة و تتكون من (شكل ٧-٢):

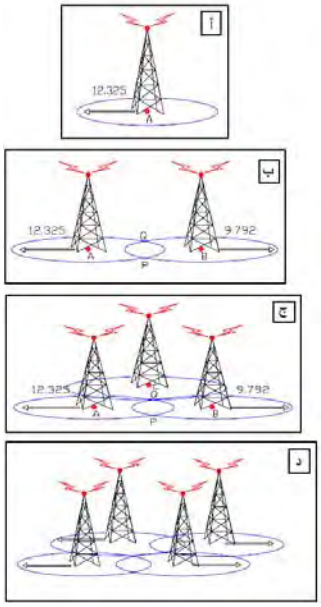
نفترض أن برج إرسال قد تم وضعه فوق نقطة معلومة الموقع ولتكن نقطة A علي سطح الأرض ، ونحن لدينا وحدة أو جهاز استقبال لهذه الموجات الراديوية في موقع ما غير معلوم. عند فتح جهاز الاستقبال وقياس (أو حساب) المسافة بين هذا الموقع المجهول و المحطة أو البرج عند A وجدنا أنها تساوي ١٢.٣٢٥ متر مثلا. إن هذه المعلومة (شكل ٧-٢ أ) لا تخبرنا أين موقعنا بالضبط ولكنها تقرب موقعنا إلي أي نقطة علي محيط الدائرة التي نصف قطرها يساوي ١٢.٣٢٥ متر حول برج الإرسال A (وهو البرج المعلوم موقعه مسبقا).

الآن نفترض أننا قمنا بتثبيت برج إرسال ثاني فوق نقطة معلومة أيضا ولتكن B علي سطح الأرض، و بنفس الطريقة قمنا بحساب (أو قياس) المسافة بواسطة جهاز استقبال الموجات الراديوية فكانت تساوي ٩.٧٩٢ متر.هذه المعلومة الجديدة تخبرنا أيضا أننا نقع علي محيط دائرة مركزها نقطة B ونصف قطرها يساوي ٧.٧٩٢ متر. أي أننا موجودين علي بعد ١٢.٣٢٥ متر من نقطة A وأيضا علي بعد ٩.٧٩٢ متر من نقطة B. وهذا يؤدي بنا أننا نقع عند تقاطع هاتين الدائرتين ، أما عند نقطة P أو عند نقطة Q (شكل ٧-٢ ب). أي أننا نستخلص أن وجود برجين إرسال يمكننا من تحديد احتمال موقع من موقعين ، ولا يخبرنا بالضبط أين نحن.

نحتاج الآن لبرج إرسال ثالث يتم وضعه عند نقطة معلومة و لتكن C علي سطح الأرض ، و بنفس الطريقة نقوم بحساب (أو قياس) المسافة بواسطة جهاز استقبال الموجات الراديوية. هذه المسافة الثالثة ستخبرنا بكل تأكيد هل نحن عند النقطة P أو عند النقطة Q (شكل ٧-٢ ج).

فإذا كانت الأبراج أو محطات الإرسال الثلاثة تعمل باستمرار وفي نفس الوقت ، فأن أي جهاز استقبال لهذه الموجات الراديوية سيستقبل الإشارات المرسلة من المحطات الثلاثة و يمكنه بسرعة تحديد موقعه في هذه اللحظة. فإذا كان جهاز الاستقبال هذا متحركا (أي موجود علي سفينة مثلا) فأنه باستطاعته تحديد موقعه باستمرار عند كل لحظة في مسيرته. فإذا أضفنا برج إرسال رابع فأن

هذه المنظومة ستكون ذات كفاءة عالية لان البرج الرابع سيكون حكما للوثوق في إشارات الأبراج الثلاثة الأساسية كما أنه سيكون احتياطيا في حالة عدم استقبال الإشارات من أيا من الأبراج الثلاثة (شكل ٧-٢ د). وتسمي هذه الطريقة لتحديد المواقع بنظم الملاحة الراديوية Radio Navigation Systems.

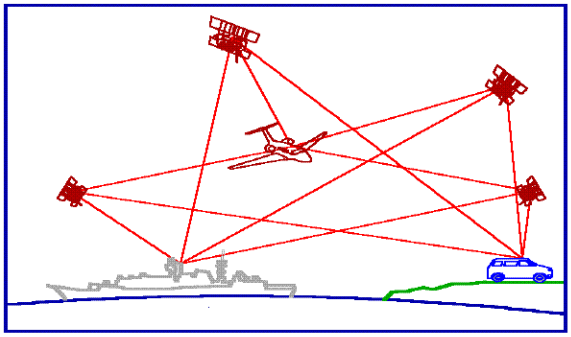


شكل (٧-٢) الملاحة الراديوية و تحديد المواقع

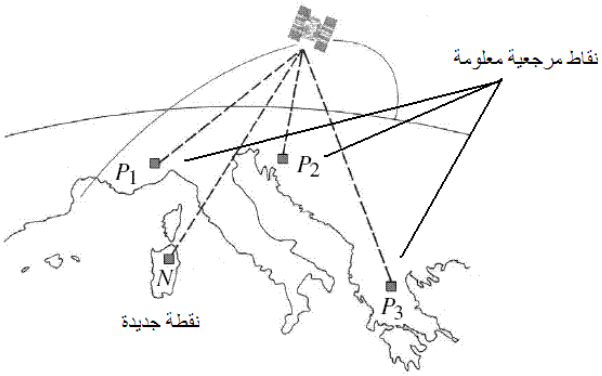
ومن أمثلة هذه النظم الراديوية لتحديد المواقع نظام لوران LORAN وهو اختصارا لاسم "الملاحة للمساحات الشاسعة LOng RAnge Navigation" والذي بدأ في الولايات المتحدة الأمريكية تقريبا في عام ١٩٥٠ ويهدف أساسا لمساعدة السفن في إبحارها. تكون نظام لوران من عدد من السلاسل (السلسلة مكونة من ٤ أبراج إرسال تغطي كل محطة أو برج حوالي ٥٠٠ ميل) ليمكن تغطية الساحل الغربي الأمريكي كله. لكن هذه النظم الملاحية كان لها بعض العيوب أو المعوقات مثل: (١) أي نظام سيكون ذو تغطية محدودة تبلغ حوالي ٥% من سطح الأرض وبالتالي فلن يصلح ليكون نظام ملاحة عالمي ، (٢) يستطيع هذا النظام تحديد المواقع في اتجاهين فقط – أي الموقع الأفقي – لكنه لا يمكنه تحديد الارتفاع في الاتجاه الرأسي ، (٣) دقة النظام كانت في حدود ٢٥٠ متر والتي قد يمكن اعتبارها مناسبة للملاحة البحرية لكنها غير مناسبة للملاحة الجوية – للطائرات – أو لطرق المساحة الأرضية التي تتطلب دقة أعلي في تحديد المواقع.

مع ظهور الأقمار الصناعية طبق العلماء نفس مبدأ الملاحة الراديوية في تطوير ما عرف باسم الملاحة بالأقمار الصناعية Satellite Navigation. فإذا استبدلنا محطات الإرسال الأرضية بأقمار صناعية ترسل موجات راديوية يستطيع جهاز الاستقبال أن يتعامل معها ويحسب المسافة من موقعه إلي موقع كل قمر صناعي فيمكن تحديد الموقع الذي به هذا المستقبل. ربما يتبادر إلي الأذهان الآن سؤال: أبراج الإرسال كانت ثابتة و معلومة الموقع وكنا نستخدمها كعلامات مرجعية Reference Points تمكننا من حساب موقع جهاز الاستقبال ، لكن الأقمار الصناعية غير ثابتة

فكيف سيمكن التعامل معها؟ الإجابة هي أن كل قمر صناعي يكون معلوم المدار الذي يدور عليه في الفضاء وتكون من أهم مهام الجهة المسئولة عن نظام الأقمار الصناعية أن تراقب كل قمر و تحدد موقعه بكل دقة في كل لحظة ، وبالتالي فيمكننا القول أن موقع كل قمر صناعي يكون معلوما في أي لحظة طوال ٢٤ ساعة يوميا ، أي أن كل قمر صناعي سيكون بمثابة نقطة مرجعية. وطبقا لهذا المبدأ الأساسي فيمكن اعتبار القمر الصناعي – من وجهة النظر المساحية – علي أنه هدف Target عالي الارتفاع ، بحيث إذا أمكن رصده من ثلاثة نقاط أرضية معلومة الإحداثيات فيمكن تحديد موقع نقطة مجهولة ترصد هذا القمر الصناعي في نفس اللحظة.



شكل (٧-٣) الملاحة بالأقمار الصناعية



شكل (٧-٤) المبدأ المساحي للملاحة بالأقمار الصناعية

تطورت نظم الملاحة بالأقمار الصناعية مع إطلاق نظام الملاحة الأمريكي Navy Navigation Satellite System الذي عرف باسم ترانزيت Transit وأيضا باسم نظام دوبلر Doppler - في الستينات من القرن العشرين الميلادي، وكان الهدف الرئيسي منه تحديد مواقع القطع البحرية في البحار و المحيطات والمعرفة الدقيقة لإحداثيات المواقع الإستراتيجية. وبالرغم من هذه الأهداف العسكرية إلا أن المهندسين المدنيين قد استخدموا هذا النظام في العديد من التطبيقات المساحية وخاصة إنشاء شبكات الثوابت الأرضية الدقيقة. أعتمد نظام الدوبلر علي عدد من الأقمار الصناعية التي تدور علي ارتفاع حوالي ١٠٠٠ كيلومتر من سطح الأرض حيث يكمل كل قمر دورة كاملة حول الأرض في مدة تبلغ ١٠٧ دقيقة وكانت دقة تحديد المواقع الأرضية اعتمادا علي هذا النظام

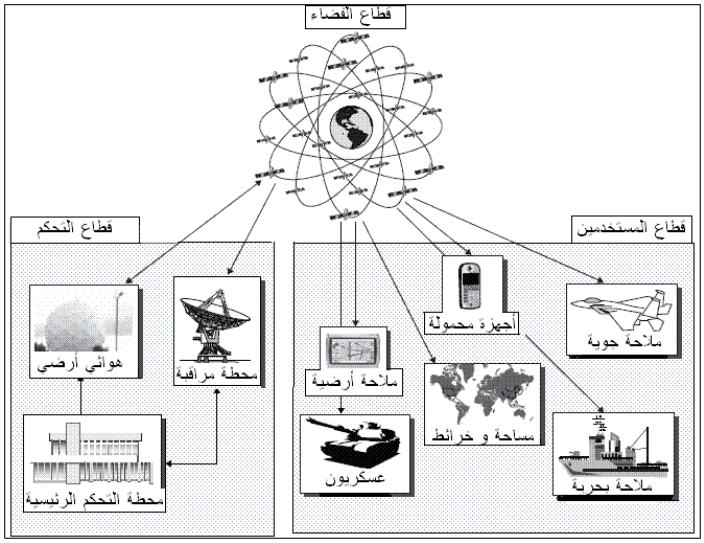
في حدود ٣٠-٤٠ متر. ومع أن أقمار الدوبلر تغطي معظم أنحاء الأرض إلا أن عددها (٦ أقمار صناعية فقط) لم يكن يسمح بتواصل الإشارات طوال ٢٤ ساعة يوميا – بل لعدة ساعات طبقا للموقع المطلوب علي الأرض – مما لم يلبي حاجة مستخدمي النظام سواء العسكريين أو المدنيين وأدي ذلك إلي بدء وزارة الدفاع الأمريكية - مع بداية السبعينات - في تطوير نظام ملاحي آخر.

مع بداية الستينات من القرن العشرين الميلادي اهتمت عدة جهات حكومية في الولايات المتحدة الأمريكية (مثل وزارة الدفاع DoD و وزارة النقل DoT وهيئة الطيران الفضاء ناسا NASA) بتطوير نظام ملاحي يعتمد علي رصد الأقمار الصناعية. وتم إطلاق نظام ترانزيت Transit في عام ١٩٦٤ ، إلا أنه سرعان ما لم يلبي حاجات القطاعين العسكري و المدني وخاصة في عنصري الدقة و الاتاحة وبدأ التفكير إما في تطوير هذا النظام أو البحث عن بديل جديد له. بدأت عدة جهات علمية و حكومية اقتراح نظم جديدة و في عام ١٩٦٩ قامت وزارة الدفاع بإنشاء برنامج جديد تحت اسم البرنامج العسكري للملاحة بالأقمار الصناعية DNSS لتوحيد الجهود وراء إطلاق نظام ملاحي جديد. وبالفعل تم اقتراح تقنية جديدة تحت اسم "النظام العالمي الملاحي لتحديد المواقع بقياس المسافة و الزمن باستخدام الأقمار الصناعية NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System" أو اختصارا باسم NAVSRAT GPS، إلا أنه عرف علي نطاق واسع – بعد ذلك – باسم النظام العالمي لتحديد المواقع أو اختصارا "جي بي أس GPS". تم إطلاق أول قمر صناعي في هذا النظام في ٢٢ فبراير ١٩٧٨ وفي ٨ ديسمبر ١٩٩٣ تم إعلان اكتمال النظام مبدئيا Initial Operational Capability (IOC) ، أما الإعلان النهائي لاكتمال النظام رسميا Fully Operational Capability (FOC) فقد كان في ٢٧ أبريل ١٩٩٥. وفي بدايته كان الجي بي أس مقصورا علي الاستخدامات العسكرية للقوات المسلحة الأمريكية وحلفاؤها حتى أعلن الرئيس الأمريكي ريجان في عام ١٩٨٤ السماح للمدنيين باستخدامه (لكن ليس جميع مميزاته أو مستوي الدقة العالية في تحديد المواقع !) ، وكان ذلك بعد حادثة إسقاط القوات المسلحة الروسية لطائرة ركاب كورية مدنية بعد دخولها بالخطأ في المجال الجوي الروسي. ويدار الجي بي أس من خلال وزارة الدفاع الأمريكية وهي الجهة المسئولة عن إطلاق الأقمار الصناعية و مراقبتها و التأكد من كفاءة تشغيلها واستبدالها كل فترة زمنية بحيث تكون إشارات هذه التقنية متاحة ٢٤ ساعة يوميا وعلي مدار كل الأيام لجميع المستخدمين علي سطح الأرض. وفي عام ١٩٩٦ تم تكوين لجنة عليا تضم عدد من الوزارات الأمريكية لكي تشرف علي نظام الجي بي إس و تضع السياسات المستقبلية اللازمة ، وسميت باللجنة التنفيذية مابين الوزارات Inter-Agency GPS Executive Board أو اختصارا IGEB (الرابط علي شبكة الانترنت في: http://www.igeb.gov/charter.shtml

٧-٣ مكونات نظام الجي بي أس

يتكون نظام الجي بي أس من ثلاثة أجزاء أو أقسام هي:

- قسم الفضاء ويحتوي الأقمار الصناعية Space Segment.
- قسم التحكم و السيطرة Control Segment.
- قسم المستقبلات الأرضية أو المستخدمون User Segment.



شكل (٧-٥) أقسام الجي بي أس

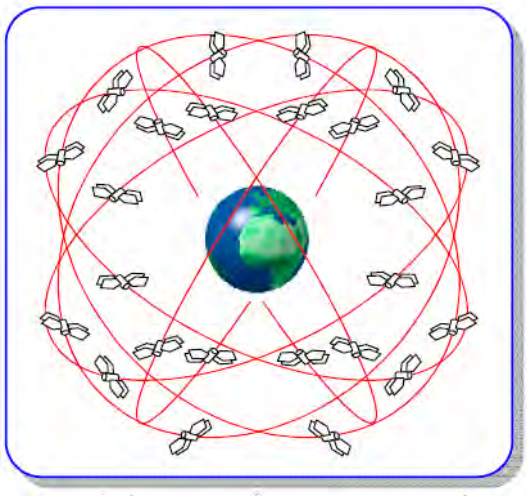
وسنستعرض الملامح الرئيسية لكل قسم من هذه الأقسام الثلاثة.

٧-٣-١ قسم الفضاء أو الأقمار الصناعية

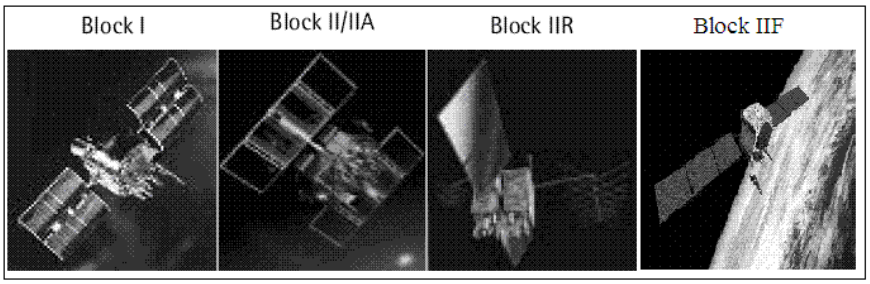
يتكون قسم الفضاء - اسميا - من ٢٤ قمرا صناعيا (٢١ قمر عامل + ٣ أقمار احتياطية spare موجدة في الفضاء) موزعة في ٦ مدارات بحيث يكون هناك ٤ أقمار صناعية في كل مدار مما يسمح بالتغطية الدائمة (أي وجود علي الأقل ٤ أقمار صناعية) لكل موقع علي سطح الأرض في أي لحظة طوال اليوم (شكل ٣-٣). وقد يصل عدد الأقمار الصناعية في وقت معين إلي ما هو أكثر من ٢٤ قمرا طبقا لخطة إطلاق الأقمار الصناعية. وتدور الأقمار الصناعية في مدارات شبه دائرية علي ارتفاع حوالي ٢٠٢٠٠ كيلومتر من سطح الأرض ليكمل كل قمر صناعي دورة كاملة حول الأرض في مدة ١١ ساعة و ٥٦ دقيقة بالتوقيت الزمني الأرضي العالمي GMT. ويتراوح وزن القمر الصناعي بين ٤٠٠ و ٨٥٠ كيلوجرام ويبلغ عمره الافتراضي (للأجيال الحديثة من الأقمار الصناعية) حوالي سبعة سنوات و نصف، ويستمد طاقته من خلال صفيحتين لالتقاط الطاقة الشمسية بالإضافة لوجود ثلاثة بطاريات احتياطية من النيكل تزوده بالطاقة عندما يمر بمنطقة ظل الأرض. ويقوم كل قمر صناعي بتوليد موجتين علي ترددين مختلفين Frequency يسموا L1 و L2 بالإضافة لشفرتين Codes و رسالة ملاحية Navigation Message يتم بثهم علي هذين الترددين. كما يحتوي كل قمر علي عدد من الساعة الذرية Atomic Watch سواء من نوع السيزيوم cesium أو الرابيديوم rubidium.

تغيرت مواصفات و كفاءة الأقمار الصناعية في نظام الجي بي أس علي مر السنوات بحيث يمكن تقسيم الأقمار إلي عدد من الأجيال (شكل ٣-٤). بدأت أقمار الجيل الأول – يسمي Block I – وعددهم ١١ قمرا مع بداية تقنية الجي بي أس منذ إطلاق القمر الأول في ٢٢ فبراير ١٩٧٨ وكان آخر أقمار هذا الجيل الذي أطلق في ٩ أكتوبر ١٩٨٥. وكان ميل مدار أقمار الجيل الأول ٦٣° علي مستوي دائرة الاستواء والعمر الافتراضي المصمم للقمر الواحد هو أربعة سنوات و نصف (إلا أن

بعضهم بقي يعمل بكفاءة لحوالي عشرة سنوات). وكان الجيل الثاني من الأقمار الصناعية Block II/IIA أكثر كفاءة من سابقه وتكون من ٢٨ قمرا صناعيا تم إطلاقها في الفترة بين فبراير ١٩٨٩ و نوفمبر ١٩٩٧ بحيث يبلغ ميل مدار القمر الصناعي ٥٥° على دائرة الاستواء ، و زاد العمر الافتراضي للقمر الواحد إلي سبعة سنوات و نصف. ثم تعددت الأجيال الفرعية من الجيل الثاني لتصبح هناك أقمار IIR (٢١ قمر بعمر افتراضي يبلغ عشرة سنوات) وأقمار IIR-M وأقمار IIF (بعمر افتراضي يصل إلي خمسة عشر عاما) ، كما بدأ العمل في تصميم أقمار الجيل الثالث من الأقمار الصناعية Block III.



شكل (٧-٦) قطاع الفضاء في تقنية الجي بي أس



شكل (٧-٧) نماذج للأقمار الصناعية في نظام الجي بي أس

٧-٣-٢ قسم التحكم و المراقبة

يتكون قسم التحكم و المراقبة من محطة التحكم الرئيسية في ولاية كلورادو الأمريكية وأربعة محطات مراقبة في عدة مواقع حول العالم. تستقبل محطات المراقبة كل إشارات الأقمار الصناعية وتحسب منها المسافات لكل الأقمار المرصودة وترسل هذه المعطيات بالإضافة لقياسات الأحوال الجوية إلي محطة التحكم الرئيسية والتي تستخدم هذه البيانات في حساب المواقع اللاحقة للأقمار وسلوك (تصحيحات) ساعاتها وبالتالي تكون الرسالة الملاحية لكل قمر صناعي. تقوم محطة التحكم

الرئيسية بعمل التصحيحات اللازمة لمدارات الأقمار الصناعية وكذلك تصحيح ساعات الأقمار ، ثم تقوم بإرسال هذه المعلومات للأقمار الصناعية (مرة كل ٢٤ ساعة) والتي تقوم بتعديل مساراتها و أزمانها وبعد ذلك ترسل هذه البيانات المصححة كإشارات إلي أجهزة الاستقبال الأرضية.

شكل (٧-٨) قسم التحكم و السيطرة

٧-٣-٣ قسم المستقبلات الأرضية

يضم هذا القطاع أجهزة استقبال الجي بي أس (مستخدمو النظام) التي تستقبل إشارات الأقمار الصناعية وتقوم بحساب موقع – إحداثيات – المكان الموجود به المستقبل سواء علي الأرض أو في الجو أو في البحر ، بالإضافة لسرعة واتجاه حركة المستقبل إن كان متحركا أثناء فترة الرصد. بصفة عامة يتكون جهاز الاستقبال من: هوائي مع مضخم إشارة ، وحدة تردد راديوي أو لاقط الإشارات، مولد ترددات ، وحدة تأمين الطاقة الكهربائية ، وحدة التحكم للمستخدم ، بالإضافة إلي وحدة ذاكرة لتخزين القياسات.

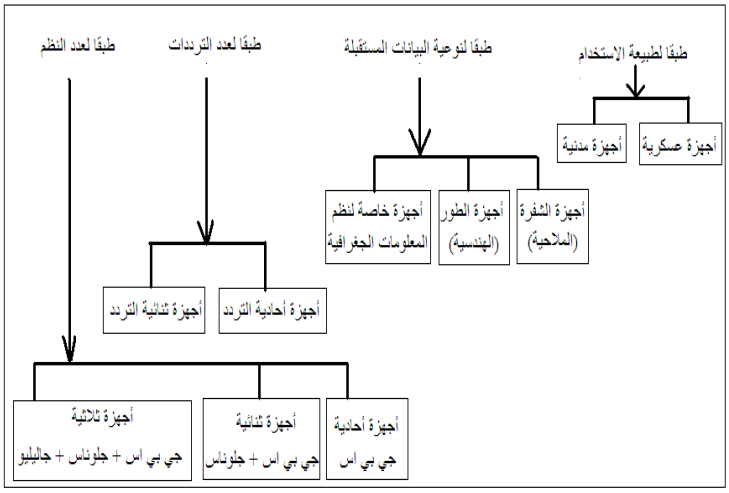
تتعدد أنواع أجهزة الاستقبال بصورة كبيرة جدا طبقا لعدد من العوامل:

أ- طبقا لطبيعة الاستخدام: توجد أجهزة استقبال عسكرية (تستطيع التعامل مع الشفرة العسكرية التي تبثها الأقمار الصناعية وتفك شفرتها للحصول علي دقة عالية جدا في حساب المواقع) وأجهزة استقبال مدنية.

ب- طبقا لنوعية البيانات المستقبلة: توجد مستقبلات تسمي بأجهزة الشفرة Code ومشهورة أيضا باسم الأجهزة الملاحية Navigation Receivers أو الأجهزة المحمولة يدويا Hand-Held Receivers ، وتوجد أجهزة تسمي بأجهزة قياس الطور Phase ومعروفة أيضا باسم الأجهزة الهندسية أو الجيوديسية Geodetic Receivers ، وظهرت حديثا الفئة الثالثة من الأجهزة والتي أطلق عليها أجهزة تجميع البيانات لنظم المعلومات الجغرافية GIS-Specific Receivers.

ج- <u>طبقا لعدد الترددات:</u> توجد أجهزة تستقبل تردد واحد من الترددين الذين تبثهما الأقمار الصناعية وتسمي أجهزة أحادية التردد Single-Frequency Receivers أو أجهزة التردد الأول L1-Receivers ، وأجهزة ثنائية التردد Dual-Frequency Receivers التي تستطيع استقبال كلا ترددي الجي بي أس L1 and L2 (وهي أغلي قليلا من الأجهزة أحادية التردد).

د- <u>طبقا لعدد النظم:</u> هناك أجهزة تتعامل فقط مع إشارات نظام الجي بي أس ، وأجهزة ثنائية النظام تستقبل الإشارات من كلا من الجي بي أس و النظام الملاحي الروسي جلوناس، وأجهزة ثلاثية النظم حيث يمكنها أيضا استقبال إشارات النظام الملاحي الأوروبي جاليليو عند بدء العمل به،



شكل (٧-٩) أنواع أجهزة استقبال الجي بي أس

شكل (٧-١٠) بعض أجهزة استقبال الجي بي أس

الفصل الثامن

اشارات و بيانات الجي بي أس

٨-١ مقدمة

يهدف هذا الفصل الي التعرف بصورة تفصيلية عن خصائص اشارات النظام العالمي لتحديد المواقع، وأيضا أنواع بيانات هذه التقنية.

٨-٢ تركيب الاشارات

يقوم كل قمر صناعي من أقمار الجي بي أس بإرسال إشارتين راديوتين علي ترددين carrier frequencies ومحمل عليهما نوعين من الشفرات الرقمية digital codes بالإضافة لرسالة ملاحية navigation message. يبلغ تردد الإشارة الأولي – تسمي L1 – ١٥٧٥.٤٢ ميجاهرتز بينما يبلغ تردد الإشارة الثانية – تسمي L2 – ١٢٢٧.٦٠ ميجاهرتز. كما يبلغ طول الموجة wavelength لتردد L1 ١٩ سنتيمتر بينما يبلغ ٢٤.٤ سنتيمتر لتردد L2. السبب الرئيسي وراء وجود ترددين صادرين من كل قمر صناعي هو تقدير و حساب الخطأ الذي تتعرض له الإشارات عند مرورها في طبقات الغلاف الجوي. أما طريقة وضع modulation الشفرة علي التردد الحامل له فتختلف من قمر صناعي لآخر حتى يتم تقليل أخطاء تداخل الإشارات.

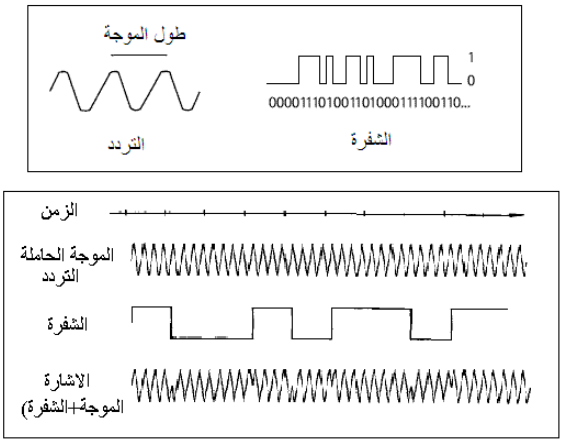
الشفرة الأولي تسمي شفرة الحصول الخشن Coarse-Acquisition Code وترمز لها بالرمز C/A وأحيانا نسميها الشفرة المدنية (لأنها المتاحة للأجهزة المدنية للتعامل معها وقراءة محتوياتها)، بينما الشفرة الثانية تسمي الشفرة الدقيقة Precise Code ويرمز لها بالرمز P والبعض يطلق عليها أحيانا اسم الشفرة العسكرية (لان التعامل معها وقراءتها لا يتم إلا باستخدام أجهزة استقبال خاصة غير متاحة إلا لأفراد الجيش الأمريكي). تتكون كل شفرة من سيل من الأرقام صفر و واحد ، ولذلك تعرف الشفرة بمصطلح الضجة العشوائية الزائفة Pseudo Random Noise أو PRN لان الشفرة تشبه الإشارة العشوائية ، لكن في الحقيقة فأن الشفرة يتم توليدها من خلال نموذج رياضي وليست عشوائية. تحمل شفرة C/A علي التردد الأول L1 فقط بينما تحمل الشفرة P علي كلا الترددين L1, L2. تجدر الإشارة – دون الدخول في تفاصيل فنية معقدة – أن الشفرة P أدق كثيرا من الشفرة C/A ولذلك فقد تم منع إمكانية قراءتها من قبل المستخدمين المدنيين منذ فبراير ١٩٩٤ وقصرها فقط علي التطبيقات العسكرية للولايات المتحدة الأمريكية و حلفاؤها (عن طريق إضافة قيم مجهولة لها تسمي W-code بحيث تتغير الشفرة من P إلي ما يسمي الشفرة Y-code).

وبذلك يمكن القول أن نظام الجي بي أس يقدم نوعين من الخدمات:

- خدمة التحديد القياسي للمواقع Standard Positioning Service أو اختصارا SPS والتي تعتمد علي استقبال و قراءة واستخدام البيانات من الشفرة المدنية C/A ، ولذلك تسمي هذه الخدمة بالخدمة المدنية.

- خدمة التحديد الدقيق للمواقع Precise Positioning Service أو اختصارا PPS والتي تعتمد علي استقبال و قراءة واستخدام البيانات من الشفرة الدقيقة P ولذلك تسمي هذه الخدمة بالخدمة العسكرية.

تتكون الرسالة الملاحية لكل قمر صناعي من مجموعة من البيانات ، وهي تضاف علي كلا الترددين L1, L2. تحتوي بيانات الرسالة الملاحية علي إحداثيات القمر الصناعي ، معلومات عن حالة و كفاءة القمر (صحة القمر satellite health) وأيضا الأقمار الأخرى ، تصحيح خطأ ساعة القمر ، الإحداثيات المتوقعة أو المحسوبة للقمر الصناعي (ولباقي الأقمار) في الفترة المستقبلة وتسمي almanac ، بالإضافة لبيانات عن الغلاف الجوي.



شكل (٨-١) التردد و الشفرة في إشارات الأقمار الصناعية

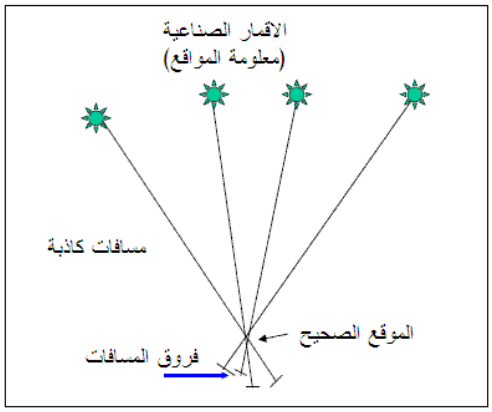
٨-٣ أرصاد الجي بي أس

إن دراسة الأرصاد (أساليب القياس) التي يوفرها نظام الجي بي أس من الأهمية لمستخدم هذه التقنية حتى يلم بطرقها المختلفة ودقة تحديد الموقع الممكن الوصول إليها في كل نوع من الأرصاد المستخدمة. يوفر نظام الجي بي أس أربعة أنواع من الأرصاد (أو طرق قياس المسافات بين جهاز الاستقبال و الأقمار الصناعية) إلا أن نوعين فقط هما الشائعي الاستخدام والمطبقين في أجهزة الاستقبال ، وهما المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة (البعض يسميها أشباه المسافات) و فرق طور الإشارة الحاملة. تختلف دقة تحديد المواقع بدرجة كبيرة جدا باختلاف نوع الأرصاد ، فالأجهزة الملاحية تطبق طريقة المسافة الكاذبة ودقتها في حساب الإحداثيات بحدود عدة أمتار بينما تطبق الأجهزة الجيوديسية أسلوب فرق طور الإشارة الحاملة لتصل إلي مستوي عدة سنتيمترات في دقة تحديد المواقع. وسنتعرض لكلا نوعي الأرصاد في الأجزاء التالية.

٨-٣-١ أرصاد المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة

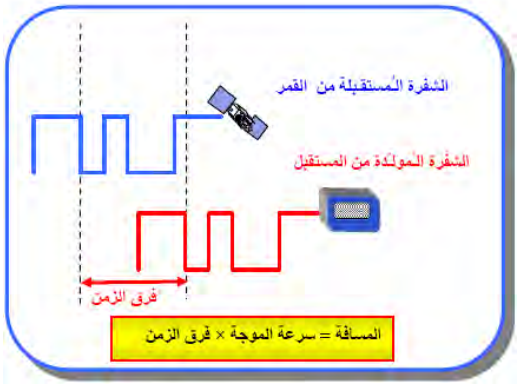
يعتمد هذا الأسلوب أو هذا النوع من أرصاد الجي بي أس علي الفكرة البسيطة التي تعرضنا إليها في الفصل الثالث وهي أن المسافة بين جهاز الاستقبال و القمر الصناعي تساوي سرعة الإشارة مضروبة في الزمن المستغرق. لكن بسبب وجود عدة مصادر للأخطاء فأن هذه المسافة المحسوبة

لن تساوي المسافة الحقيقية بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال ، ولذلك تسمي المسافة الكاذبة Pseudorange.



شكل (٨-٢) مبدأ المسافات الكاذبة

لقياس المسافة الكاذبة يقوم جهاز الاستقبال بتطوير شفرة داخله (سواء الشفرة المدنية C/A أو الشفرة العسكرية الدقيقة P طبق لنوع جهاز الاستقبال ذاته) مماثلة للشفرة التي يستقبلها من القمر الصناعي. بمقارنة كلا الشفرتين يمكن حساب فرق الزمن الذي استغرقته الإشارة منذ صدورها من القمر الصناعي وحتى وصولها لجهاز الاستقبال ، ومن ثم يمكن حساب قيمة المسافة الكاذبة.



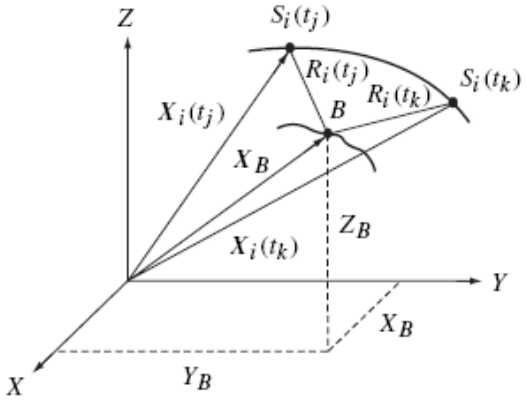
شكل (٨-٣) طريقة قياس المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة

يمكن التعبير عن المسافة الكاذبة بدلالة إحداثيات كلا من القمر الصناعي (الإحداثيات المعلومة) وجهاز الاستقبال (الإحداثيات المطلوب حسابها) بالمعادلة التالية:

$$PR_i = ((X_i-X_B)^2 + (Y_i-Y_B)^2 + (Z_i-Z_B)^2)^{1/2} + c\,dt_u \qquad (8\text{-}1)$$

حيث:

PR_i المسافة الكاذبة المقاسه بين القمر الصناعي i وجهاز الاستقبال B.
(X_i , Y_i , Z_i) إحداثيات القمر الصناعي.
(X_B , Y_B , Z_B) إحداثيات جهاز الاستقبال.
c سرعة الضوء.
dt_u خطأ التزامن بين زمن نظام الجي بي أس و ساعة جهاز الاستقبال.



شكل (٨-٤) العلاقات الهندسية في أرصاد المسافات الكاذبة

طبقا لوجود العديد من مصادر الأخطاء التي تؤثر علي إشارات الأقمار الصناعية فأن المعادلة (٨-١) غير دقيقة و يجب أن تصبح:

$$PR_i = ((X_i-X_B)^2 +(Y_i-Y_B)^2 +(Z_i-Z_B)^2)^{1/2} + c\,dt_u + \delta \qquad (8\text{-}2)$$

حيث δ يضم تأثيرات أخطاء الأيونوسفير و التروبوسفير و باقي الأخطاء الأخرى الطبيعية منها و العشوائية.

برصد ٤ أقمار صناعية (علي الأقل) يمكن تكوين ٤ معادلات من النوع (٨-٢) وحلهم آنيا لحساب قيم إحداثيات جهاز الاستقبال.

من أهم مميزات ها النوع من أرصاد تقنية الجي بي أس أنه لا يتطلب مواصفات تقنية عالية تدخل في تصنيع أجهزة الاستقبال ، فاستخدام الشفرة لا يتطلب أجزاء الكترونية متقدمة وبالتالي فأن سعر جهاز الاستقبال لن يكون غاليا. ومن هنا فأن جميع أجهزة الاستقبال الملاحية Navigation أو المحمولة يدويا Hand-Held تطبق أسلوب المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة في تحديد المواقع.

علي الجاني الآخر فأن أهم عيوب هذا النوع من أرصاد الجي بي أس يتمثل في أن الدقة المتوقعة لتحديد المواقع بهذا الأسلوب لن تكون عالية الدقة. يمكن تقدير دقة أرصاد المسافة الكاذبة بقيم تتراوح بين ±٦ متر (عند انحراف معياري 1σ أي بنسبة احتمال تبلغ ٦٨.٣%) و ±١٩ متر (عند

انحراف معياري 3σ أي بنسبة احتمال تبلغ ٩٩.٧%) للإحداثيات الأفقية ، بينما ستكون الدقة أكبر من هذه الحدود في الاحداثي الرأسي (من ±١١ إلي ±٤٢ متر). وبالطبع فقد تكون هذا الدقة في تحديد المواقع مناسبة للأعمال الاستكشافية و الجغرافية والخرائط ذات مقياس الرسم الصغير و بعض تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية ، إلا أنها دقة غير مناسبة للأعمال المساحية و الجيوديسية.

تجدر الإشارة إلي أن هذا النوع من أرصاد الجي بي أس يسمي أيضا التحديد المطلق للنقطة Absolute Point Positioning حيث أنه يعتمد علي استخدام جهاز استقبال واحد فقط لتحديد موقع أو إحداثيات النقطة المرصودة في نفس لحظة رصدها.

٨-٣-٢ أرصاد فرق طور الإشارة الحاملة

يقوم جهاز الاستقبال (الجيوديسي النوع) بتطوير موجة داخلية ثابتة تشبه الموجة التي يبثها القمر الصناعي ، ثم يقوم بمقارنة طور phase كلا الموجتين عن طريق قياس فرق الطور carrier phase or carrier beat phase والذي يكون دالة في المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال في لحظة الرصد. لكن هذا الفرق في الطور يتكون من جزأين: (١) العدد الصحيح integer للموجات الكاملة ، (٢) أجزاء الموجات عند كلا من جهاز الاستقبال و القمر الصناعي. وهنا تأتي أهم المشاكل التي تواجه نوع هذه الأرصاد: جهاز الاستقبال يستطيع وبكل دقة قياس أجزاء الموجات لكنه لا يستطيع تحديد عدد الموجات الكاملة. ومن ثم فأن العدد الصحيح للموجات الكاملة ويسمي الغموض الصحيح Integer Ambiguity أو اختصارا الغموض Ambiguity (N') يتم اعتباره قيمة مجهولة مطلوب حسابها أثناء إجراء حسابات تحديد المواقع.

فرق الطور Φ_B عند جهاز الاستقبال B هو الفرق بين طور الإشارة الملتقطة من القمر الصناعي Φ_{CR} وطور الإشارة الثابتة المولدة في جهاز الاستقبال Φ_o:

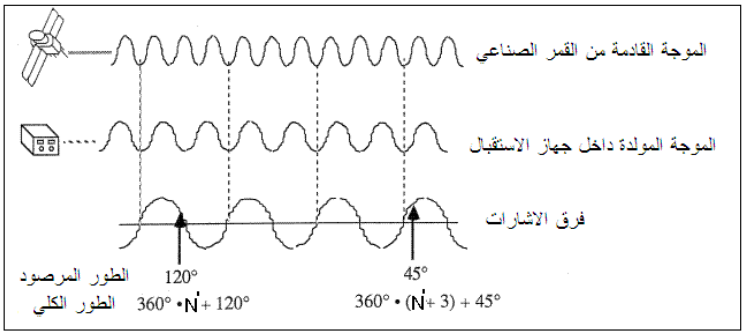
$$\Phi_B = \Phi_{CR} - \Phi_o \qquad (8\text{-}3)$$

والذي يمكن كتابته بصورة أخري كالآتي:

$$\Phi_{CR} = (2\pi / \lambda') (| X_i - X_B | - N'_{Bi} \lambda + c\, dt_U) \qquad (8\text{-}4)$$

حيث:
X_i متجه vector موقع القمر الصناعي
X_B متجه vector موقع جهاز الاستقبال
λ' طول الموجة الحاملة (١٩ سم للموجة الأولي L1 ، ٢٤ سم للموجة الثانية L2).
c سرعة الضوء.
dt_u خطأ التزامن بين زمن نظام الجي بي أس و ساعة جهاز الاستقبال.
N' هو الغموض أو عدد الموجات الصحيحة.

شكل (٨-٥) أرصاد فرق طور الموجة الحاملة



شكل (٨-٦)
كيفية قياس فرق طور الموجة الحاملة

أيضا وبسبب وجود العديد من مصادر الأخطاء التي تؤثر علي إشارات الأقمار الصناعية فأن المعادلة (٨-٤) غير دقيقة تماما و يجب أن تصبح:

$$\Phi_{CR} = (2\pi / \lambda) (| X_i - X_B | - N'_{Bi} \lambda' + c\, dt_U) + \delta \qquad (8\text{-}5)$$

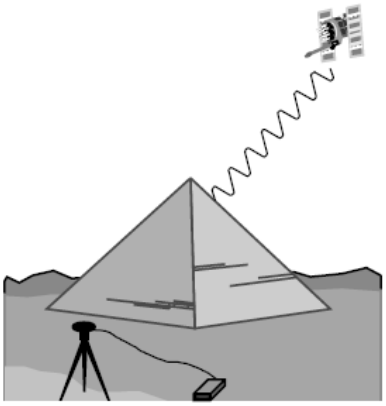
حيث δ يضم تأثيرات أخطاء الأيونوسفير و التروبوسفير و باقي الأخطاء الأخرى الطبيعية منها و العشوائية.

من عيوب ها النوع من أرصاد تقنية الجي بي أس أنه يتطلب مواصفات تقنية عالية تدخل في تصنيع أجهزة الاستقبال ، فتوليد موجة داخل أجهزة الاستقبال يتطلب أجزاء الكترونية متقدمة وبالتالي فأن سعر جهاز الاستقبال سيكون غاليا مقارنة بأجهزة قياس المسافات الكاذبة. ومن هنا فأن أجهزة الاستقبال الملاحية Navigation أو المحمولة يدويا Hand-Held لا تطبق هذا الأسلوب، إنما هو فقط مطبق في تحديد المواقع باستخدام الأجهزة الجيوديسية.

علي الجاني الآخر فأن أهم مميزات أرصاد الجي بي أس باستخدام فرق طور الإشارة الحاملة يتمثل في أن الدقة المتوقعة لتحديد المواقع بهذا الأسلوب تكون عالية. فالقاعدة العامة أن أقل مسافة يمكن

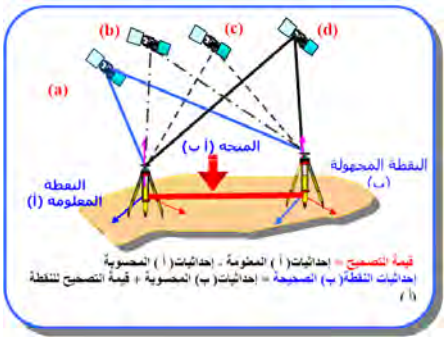
قياسها بهذا النوع من الأرصاد = (٣٦٠/٢) من طول الموجة ، فمثلا طول موجة التردد الأول L1 = ١٩ سنتيمتر ، مما يسمح لنا بقياس مسافات تصل إلي ١ ملليمتر. وبالطبع فأن هذا المستوي العالي من الدقة في تحديد المواقع مناسبة للأعمال المساحية و الجيوديسية.

أيضا من المشكلات التي تواجه عملية تحديد المواقع باستخدام فرق طور الموجة الحاملة: تحديد قيمة الغموض المجهول 'N وأيضا تأثير مصادر الأخطاء الأخرى δ في المعادلة (٨-٥). كما أن الغموض سيظل ثابت القيمة طالما أستمر جهاز الجي بي أس في استقبال الموجة القادمة من هذا القمر الصناعي ، بينما إذا أنقطع هذا الاستقبال (بسبب أي عوائق منعته من الوصول لجهاز الاستقبال) فأن قيمة الغموض 'N ستتغير وتصبح مجهول جديد عند عودة الاستقبال مرة أخري. وهذه الحالة هي ما يطلق عليها "خطأ تغير الدورة Cycle Slip".



شكل (٨-٧) خطأ تغير الدورة

لذلك لجأ علماء الجيوديسيا إلي فكرة الفروقات Differencing التي تتيح حذف تأثير بعض مصادر الأخطاء عند رصد إشارات الجي بي أس باستخدام جهازي استقبال في نقطتين مختلفتين و يعملان معا في نفس الوقت. وفي هذه الحالة يمكن حساب فرق الإحداثيات ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) بين النقطتين الأرضيتين بدقة عالية بدلا من حساب إحداثيات نقطة واحدة كما في أسلوب التحديد المطلق للإحداثيات. ومن ثم فيطلق - عامة - علي هذا النوع من أرصاد الجي بي أس أسم التحديد النسبي للمواقع Relative Positioning.



شكل (٨-٨) التحديد النسبي للمواقع

٨-٤ مصادر الأخطاء في قياسات الجي بى أس

كأي تقنية بشرية ، توجد عدة مصادر للأخطاء الطبيعية العشوائية Random Errors وأيضا الأخطاء المنتظمة Systematic Errors or Biases تؤثر علي جودة و دقة عمل الجي بي أس. أمكن للعلماء استنباط طرق و نماذج رياضية للتغلب علي هذه الأخطاء أو علي الأقل الوصول بها لأدني حد ممكن حتى يمكن الحصول علي دقة عالية في تحديد المواقع.

من أهم مصادر الأخطاء في نظام الجي بي أس:

أ- الاتاحية المنتقاة
ب- تأثير طبقة التروبوسفير في الغلاف الجوي
ت- تأثير طبقة الأيونوسفير في الغلاف الجوي
ث- خطأ ساعة القمر الصناعي
ج- خطأ مدار القمر الصناعي
ح- خطأ ساعة جهاز الاستقبال
خ- خطأ هوائي جهاز الاستقبال
د- خطأ تعدد المسار
ذ- تأثير الوضع الهندسي للأقمار الصناعية

شكل (٨-٩) مصادر أخطاء الجي بي أس

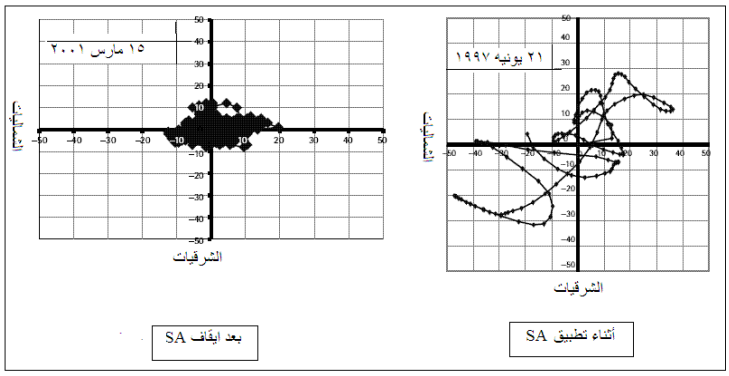
يعرض الجدول التالي أحد التقديرات لتأثير مصادر الأخطاء علي دقة تحديد المواقع أو حساب إحداثيات أجهزة استقبال الجي بي أس

تأثير الأخطاء علي دقة تحديد المواقع
(باستخدام شفرة C/A وعند مستوي ثقة ٩٥%)

نوع مصدر الخطأ	الخطأ (بالمتر)
طبقة التروبوسفير في الغلاف الجوي	٠.٢
طبقة الأيونوسفير في الغلاف الجوي	٧.٠
خطأ ساعة ومدار القمر الصناعي	٢.٣
خطأ جهاز الاستقبال	٠.٦
تعدد المسارات	١.٥
التوزيع الهندسي لمواضع الأقمار الصناعية	١.٥

خطأ الاتاحية المنتقاة:

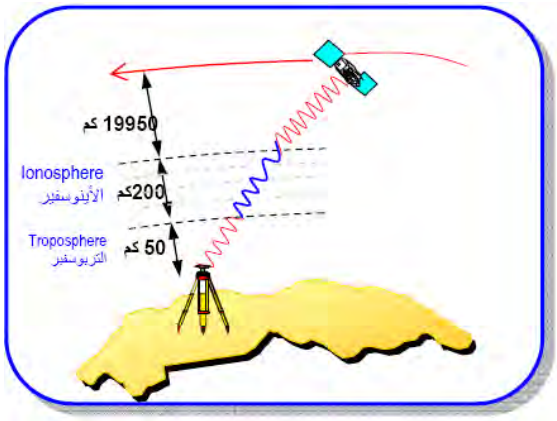
الاتاحية المنتقاة Selective Availability أو اختصارا SA هو خطأ متعمد حيث تضيف وزارة الدفاع الأمريكية قيمة معينة من الخطأ لتقليل الدقة التي يمكن للمستخدم أن يحسب إحداثياته اللحظية Real-Time. كان الهدف الرئيسي وراء فرض هذا الخطأ في إشارات الأقمار الصناعية هو منع التطبيقات العسكرية (التي تتطلب الحصول علي الإحداثيات لحظيا) للجيوش المعادية للولايات المتحدة من التمتع بمميزات دقة الجي بي أس ، ولم يكن هذا الخطأ يؤثر كثيرا علي التطبيقات المدنية – بصفة عامة – حيث طور العلماء عدة طرق رياضية لتقدير هذا الخطأ ومعالجته في مرحلة الحسابات المكتبية بعد انتهاء العمل الحقلي. أثناء فرض خطأ SA كانت الدقة الأفقية للخدمة المدنية SPS (عند مستوي معنوية ٩٥%) ±١٠٠ متر والدقة الأفقية تبلغ ±٣٠٠ متر. وفي ١ مايو ٢٠٠٠ وبعد دراسات مكثفة قامت الحكومة الأمريكية بإيقاف العمل بهذا المصدر من مصادر الأخطاء لتجعل إشارات الأقمار الصناعية في حالتها الطبيعية. ومنذ ذلك الحين فقد أصبحت الدقة الأفقية للخدمة المدنية SPS (عند مستوي معنوية ٩٥%) ±١٣ متر أو أقل كمتوسط علي المستوي العالمي وبحد أقصي ±٣٦ متر في أسوأ الحالات و المواقع ، بينما صارت الدقة الرأسية ±٢٢ متر أو أقل كمتوسط علي المستوي العالمي وبحد أقصي ±٧٧ متر في أسوأ الحالات و المواقع.



شكل (٨-١٠) دقة تحديد المواقع قبل و بعد خطأ SA

تأثير طبقة التروبوسفير في الغلاف الجوي:

التروبوسفير طبقة من طبقات الغلاف الجوي للأرض تمتد حوالي ٥٠ كيلومتر من سطح الأرض. تتسبب هذه الطبقة – عند مرور إشارات الأقمار الصناعية بها – في تأخير أو إبطاء سرعة الإشارات مما ينتج عنه خطأ في حساب المسافات بين جهاز الاستقبال والأقمار الصناعية (حيث تكون المسافة المحسوبة أطول من المسافة الحقيقية) ، وبالتالي سينتج خطأ في تحديد إحداثيات موقع الرصد. تتراوح قيم خطأ طبقة التروبوسفير بين ٢.٣ متر للأقمار التي تقع رأسيا أعلي جهاز الاستقبال ، ٩.٣ متر للأقمار علي زاوية ارتفاع ١٥° من جهاز الاستقبال ، ٢٠-٢٨ متر للأقمار علي زاوية ارتفاع ٥° فقط من جهاز الاستقبال. أبتكر العلماء عدة نماذج رياضية تمكن من تقدير قيمة خطأ التروبوسفير – بدقة معقولة – ومن ثم إمكانية تصحيح تأثير هذا الخطأ علي إشارات الأقمار الصناعية. من أحدث هذه النماذج نموذج هيئة المحيطات و الأجواء الأمريكية NOAA.

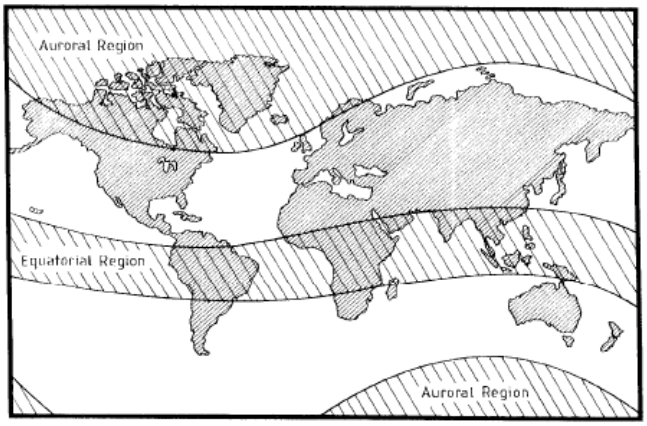


شكل (٨-١١) طبقيتي التروبوسفير و الأيونوسفير في العلاف الجوي

تأثير طبقة الأيونوسفير في الغلاف الجوي:

في الطبقات العليا من الغلاف الجوي للأرض فأن الأشعة فوق البنفسجية و الأشعة السينية تتفاعل مع جزئيات و ذرات الغازات ، مما ينتج عنه الكترونيات و ذرات حرة في احدي طبقات الغلاف الجوي. تسمي هذه الطبقة بالايونوسفير أو طبقة التأين الحر وهي تمتد من ارتفاع حوالي ٥٠ كيلومتر من سطح الأرض إلي ارتفاع حوالي ١٠٠٠ كيلومتر أو أكثر. تؤثر طبقة الأيونوسفير علي إشارات الجي بي أس المرسلة من الأقمار الصناعية بصورة تجعل الإشارة أسرع قليلا من سرعة الضوء ، أي أن المسافة المحسوبة بين المستقبل و القمر الصناعي ستكون أقصر (في حالة استخدام أرصاد الطور) و أطول (في حالة استخدام أرصاد الشفرة) من المسافة الحقيقية ، مما سينتج عنه خطأ في تحديد إحداثيات موقع الرصد. يعتمد تأثير خطأ الأيونوسفير علي دورة النشاط الشمسي التي تتكرر كل ١١ سنة ويبلغ أقصي تأثير له عند قمة هذه الدورة حيث تبلغ كمية الإشعاع الشمسي أقصي مدي لها (حدثت آخر قمة لدورة الإشعاع الشمسي في عام ٢٠٠١ أي أن القمة التالية ستكون في أكتوبر ٢٠١١). كما يزداد النشاط الشمسي (ومن ثم تأثير الأيونوسفير) في الحزام الجغرافي ±٣٠° خط الاستواء المغناطيسي و في مناطق الشفق القطبية. عامة يتراوح تأثير خطأ الأيونوسفير في تحديد الإحداثيات من ٥ إلي ١٥ متر ، وقد يبلغ حوالي ١٥٠ متر في فترة الإشعاع الشمسي

القصوى وخاصة بالقرب من المستوي الأفقي Horizon في فترة منتصف اليوم. حيث أن تأثير الأيونوسفير يختلف باختلاف تردد الموجة فقد تمكن العلماء من استنباط طرق رياضية لحساب هذا التأثير عند استخدام أجهزة استقبال ثنائية التردد (أي تستقبل إشارات الأقمار الصناعية علي كلا الترددين L1 and L2). وهذا هو السبب وراء أن هذه الأجهزة ثنائية التردد هي المستخدمة في الأعمال الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية في تحديد المواقع (مثل إنشاء شبكات الثوابت الأرضية)، بينما الأجهزة أحادية التردد (L1 فقط) تستخدم في تطبيقات الرفع المساحي التي لا تطلب إلا دقة سنتيمترات.



شكل (٨-١٢) مناطق النشاط الشمسي المرتفع

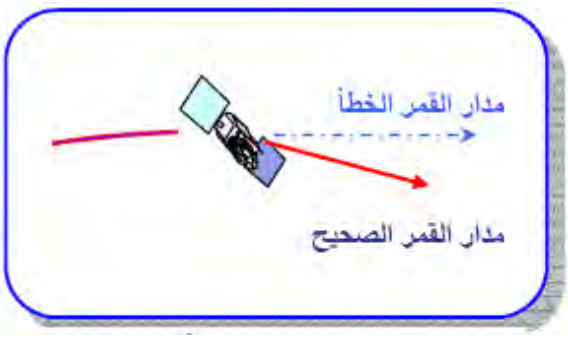
خطأ ساعة القمر الصناعي:

مع أن الساعات الموجودة في الأقمار الصناعية هي ساعات ذرية دقيقة جدا ، إلا أنها ليست تامة الدقة perfect وتكون دقتها في حدود من ٨.٦٤ إلي ١٧.٢٨ نانوثانية/يوم (النانو ثانية هو الجزء من المليار من الثانية الواحدة). وهذه الدقة في قياس الزمن في القمر الصناعي تعادل دقة تتراوح بين ٢.٥٩ و ٥.١٨ متر في قياس المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال. يقوم قسم التحكم و السيطرة – في منظومة الجي بي أس – بمراقبة أداء الساعات الموجودة في الأقمار الصناعية وحساب قيمة أي أخطاء بها ومن ثم يرسل هذه التصحيحات إلي الأقمار الصناعية و التي تقوم بدورها في إعادة بث هذه المعلومات – داخل الرسالة الملاحية – إلي المستخدمين لأخذها في الاعتبار. إلا أن هذه التصحيحات لا تكون كافية تماما ويتبقي جزء بسيط من الخطأ يؤدي لوجود خطأ - في حساب إحداثيات أجهزة الاستقبال - في حدود أمتار قليلة.

خطأ مدار القمر الصناعي:

مدار كل قمر صناعي يتم حسابه بواسطة محطة التحكم و السيطرة و إرساله للأقمار الصناعية التي بدورها ترسله للمستخدمين داخل ما يعرف بالرسالة الملاحية في الإشارات. لكن القوي الحقيقية في الفضاء الخارجي المؤثرة علي حركة القمر الصناعي في مداره لا تكون في الصورة المثلي المستخدمة في النماذج الرياضية لحساب مدار كل قمر صناعي ، مما سينتج عنه اختلاف بين

المدار المحسوب (أي إحداثيات القمر الصناعي) و المدار الحقيقي. عامة يبلغ خطأ المدار قيمة تتراوح بين ٢ و ٥ متر.



شكل (٨-١٣) خطأ مدار الأقمار الصناعية

خطأ ساعة جهاز الاستقبال:

تستخدم أجهزة الاستقبال في قياس الزمن ساعات أرخص وأقل دقة من الساعات الذرية الموجودة في الأقمار الصناعية ، مما ينتج عنه خطأ في قياس المسافة لبن القمر و المستقبل تكون قيمته أكبر بكثير من خطأ ساعة القمر الصناعي. لكن أخطاء ساعة جهاز الاستقبال يمكن معالجتها بعدة طرق منها طريقة إضافة مجهول أثناء عملية حل المعادلات في حسابات إحداثيات جهاز الاستقبال (المعادلتين ٨-٣ و ٨-٤).

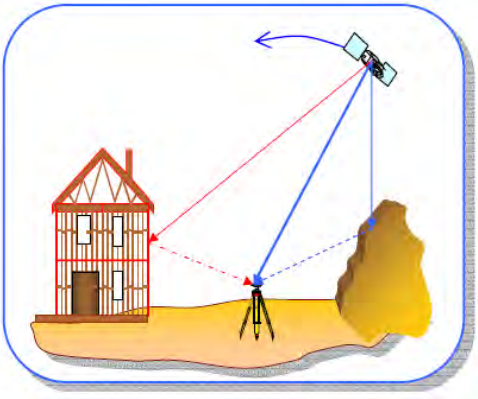
خطأ هوائي جهاز الاستقبال:

من أهم خصائص هوائي جهاز الاستقبال Receiver Antenna دقة تحديد نقطة التقاط الأشعة القادمة من الأقمار الصناعية وهي المسماه "مركز طور الهوائي Antenna Phase Center". عامة لا ينطبق مركز طور الهوائي مع المركز الهندسي للهوائي ، حيث أنه يختلف عنه بناءا علي ارتفاع و انحراف القمر الصناعي أثناء الرصد. ويؤدي ذلك الاختلاف إلي خطأ في قياس المسافات و حساب إحداثيات جهاز الاستقبال. تختلف قيمة خطأ الهوائي باختلاف نوع الهوائي ذاته ، ويكون عادة في حدود سنتيمترات قليلة. وتوجد أنواه من الهوائيات للأجهزة المساحية العادية و أنواع أخري للأجهزة الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية في تحديد المواقع.

خطأ تعدد المسار:

يعد خطأ تعدد المسار من أهم و أخطر أنواع مصادر الأخطاء في قياسات الجي بي أس. ينتج هذا الخطأ عندما تصل إشارات الأقمار الصناعية إلي جهاز الاستقبال من خلال مسارات متعددة ، أي تصطدم الإشارة بعائق (شجرة أو مبني أو جسم معدني أو سطح مائي مثلا) ثم ترتد إلي جهاز الاستقبال. من الممكن أن يصل تأثير هذا الخطأ إلي ٥ متر عند استخدام قياسات الطور علي التردد الأول L1 ، بينما قد يصل إلي عشرات الأمتار عند استخدام أرصاد الشفرة. من هنا جاءت أهمية اختيار أماكن أجهزة الاستقبال بصورة مناسبة لتفادي هذا الخطأ ، كما توجد أيضا أنواع من

هوائيات أجهزة الاستقبال (تسمي Chock-Ring Antenna) تقلل بنسبة كبيرة من أخطاء تعدد المسار.



شكل (٨-١٤) خطأ تعدد المسارات

شكل (٨-١٥) نوع هوائي يقلل خطأ تعدد المسارات

تأثير الوضع الهندسي للأقمار الصناعية:

بالإضافة لمصادر الأخطاء السابقة (سواء تلك الناتجة من الأقمار الصناعية أو أجهزة الاستقبال أو الإشارات) فأن الوضع الهندسي لمواقع الأقمار الصناعية أثناء فترة الرصد يؤثر أيضا علي دقة الإحداثيات الأرضية المستنتجة. إن التوزيع الجيد لمواقع الأقمار الصناعية في السماء يعطي دقة جيدة في حساب مواقع المستقبلات الأرضية ، بينما يتوقع أن يؤثر التوزيع السيئ لمواقع الأقمار علي دقة الإحداثيات المستنتجة. يتم التعبير عن تأثير مواقع الأقمار الصناعية باستخدام معامل يسمي "معامل الدقة Dilution of Precision" ويرمز له بالرمز DOP ، ويوجد منه عدة أنواع بناء علي المستوي المطلوب الحساب به. تشتمل معاملات الدقة علي أنواع:

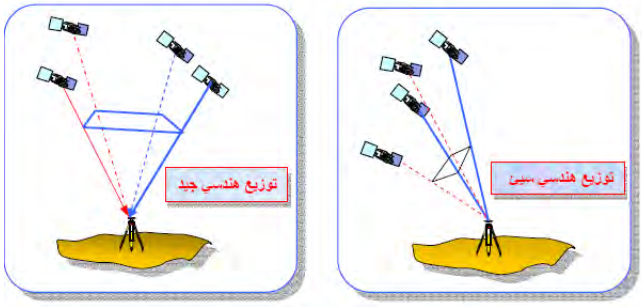
- معامل الدقة الأفقية ويرمز له بالرمز HDOP.
- معامل الدقة الرأسية ويرمز له بالرمز VDOP.
- معامل الدقة ثلاثية الأبعاد ويرمز له بالرمز PDOP.
- معامل الدقة الهندسية (رباعية الأبعاد) ويرمز له بالرمز GDOP.
- معامل الدقة الزمنية ويرمز له بالرمز TDOP.

يمكن حساب الدقة المتوقعة لتحديد المواقع بالجي بي أس من المعادلة:

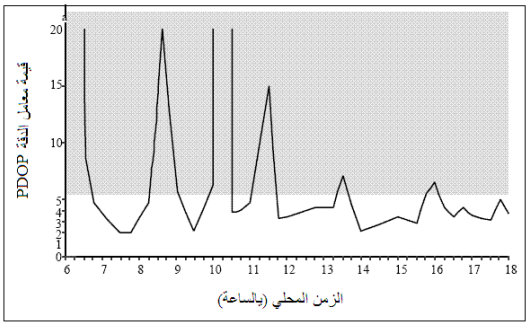
$$A_p = DOP \times A_m \qquad (8\text{-}6)$$

حيث A_p تعبر عن دقة الموقع ، A_m تعبر عن دقة القياس.

بما أن مواقع الأقمار الصناعية في الفترة المستقبلة تكون محسوبة وموجودة داخل الرسالة الملاحية لكل قمر صناعي (almanac) فأنه يمكن حساب قيم معاملات الدقة دون الحاجة للرصد الفعلي. أي إذا عرفنا الموقع الجغرافي التقريبي المطلوب العمل به فيمكن لبرامج حسابات الجي بي أس أن تقوم بحساب قيم DOP ليوم الرصد المطلوب ، ومن هنا يمكن اختيار الفترات الزمنية التي يكون فيها معامل الدقة أحسن ما يمكن وتجنب تلك الفترات التي يكون بها توزيع الأقمار الصناعية سيئا. وهذه الخطوة مهمة بالفعل للأعمال الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية في تحديد المواقع. للوصول لدقة عالية في تحديد المواقع يوصي بأن تكون معامل الدقة ثلاثية الأبعاد PDOP ٥-٦ أو أقل.



شكل (٨-١٦) تأثير توزيع الأقمار الصناعية



شكل (٨-١٧) مثال لحساب معاملات الدقة و التأثير المتوقع لتوزيع الأقمار الصناعية

٨-٥ خطة تحديث تقنية الجي بي أس

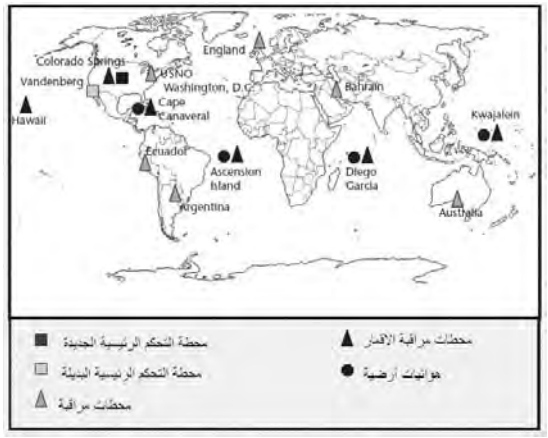
بعد مرور حوالي ثلاثون عاما من بزوغ تقنية الجي بي أس ازداد عدد مستخدميه إلي حوالي ٢٠ مليون مستخدما حول العالم ، مما زادت معه الحاجة لتطوير هذه التقنية بصورة تلبي طموحات كل هؤلاء المستخدمين سواء العسكريين أو المدنيين. وفي ٢٥ يناير ١٩٩٩ أعلن نائب الريس الأمريكي رسميا رصد ميزانية تبلغ ٤٠٠ مليون دولار لتنفيذ خطة تطوير الجي بي أس. تشمل الأهداف الأساسية للخطة إضافة تحسينات تقنية لكلا من قطاع الفضاء (الأقمار الصناعية) وقطاع التحكم و السيطرة وذلك عن طريق إضافة أنواع جديدة من الإشارات بهدف زيادة جودة الخدمة للقطاعات العسكرية و المدنية وأيضا العلمية حول العالم. من المتوقع أن تستمر خطة تحديث الجي بي أس عدة سنوات حتى اكتمالها النهائي.

بدأت أولي خطوات خطة تطوير الجي بي أس من خلال تطوير نسخة معدلة من الجيل الثاني للأقمار الصناعية والتي سميت أقمار IIR-M (بدلا من IIR). تتمتع هذه الأقمار المعدلة بإمكانية بث أو إرسال نوع جديد من الشفرة المدنية علي التردد الثاني (L2) والتي أطلق عليها اسم شفرة L2C بالإضافة لإرسال شفرة عسكرية جديدة سميت الشفرة (M) علي كلا الترددين L1 و L2. ويدا إطلاق أول قمر من هذا الجيل المعدل IIR-M في عام ٢٠٠٥. إن إضافة شفرة مدنية ثانية (مع الشفرة المدنية الحالية C/A) سيتيح إمكانية تصحيح خطأ طبقة الأيونوسفير للأجهزة الملاحية و الجيوديسية ، مما سينعكس علي زيادة دقتها في تحديد المواقع بصورة كبيرة.

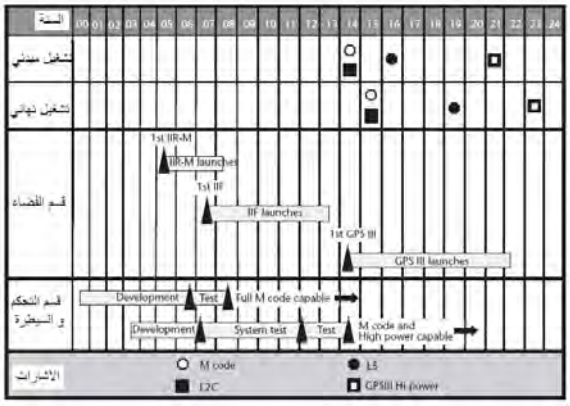
تأتي ثاني خطوات خطة تطوير الجي بي أس من خلال البدء في تصميم و إنتاج و إطلاق جيل فرعي آخر من أقمار الجيل الثاني - أطلق عليها أقمار IIF وعددهم ١٢ قمرا – والتي ستكون أهم خصائصها إرسال إشارة أو تردد ثالث جديد (بجانب الترددين الأساسين L1, L2) والذي أطلق عليه اسم تردد L5 وقيمته ١١٧٦.٤٥ ميجاهرتز ، وذلك بالإضافة لبث الشفرتين الجديدتين L2C و M. كما أن العمر الافتراضي لهذا الجيل من الأقمار الصناعية سيبلغ ١١.٣ سنة ، ومن الموقع أن يبدأ التردد الثالث بحلول عام ٢٠١٦ ويكتمل (يتم بثه في جميع الأقمار الصناعية) في عام ٢٠١٩.

أيضا تشتمل خطة تطوير الجي بي أس علي تصميم و إنتاج الجيل الثالث من الأقمار الصناعية Block-III والذي سيكون نقلة هامة جدا في تطوير أقمار الجي بي أس. من المتوقع بدء إطلاق أقمار الجيل الثالث في عام ٢٠٢١ والانتهاء من إطلاق جميع الأقمار – وعددهم يتراوح بين ٢٧ و ٣٣ قمرا – في ٢٠٢٣.

كما تشتمل خطة تطوير الجي بي أس علي تطوير قسم التحكم و السيطرة – بدأ فعلا في عام ٢٠٠٠ – بهدف تخفيض تكلفة تشغيل القسم و زيادة كفاءة مهامه. وفي هذا الجزء من التطوير سيتم إحلال منشئات محطة التحكم الرئيسية وإضافة إمكانيات متابعة و مراقبة التردد و الإشارات الجديدة وتحديث أجهزة الكمبيوتر العملاقة بقسم التحكم و السيطرة وأيضا إضافة محطات متابعة جديدة لمراقبة أداء و كفاءة عمل الأقمار الصناعية.



شكل (٨-١٨) محطات المراقبة و السيطرة الجديدة

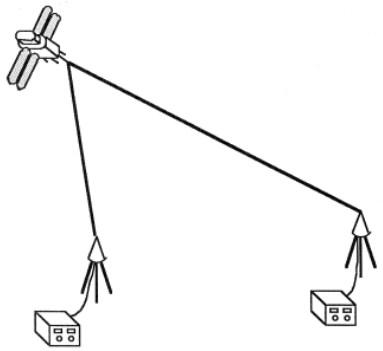


شكل (٨-١٩) المخطط الزمني لتنفيذ خطة تطوير الجي بي أس

إن خطة تطوير تقنية الجي بي أس ستكون لها العديد من المزايا ، من وجهة نظر مستخدمي النظام، بصورة لم يسبق لها مثيل منذ بدء تطبيق الجي بي أس. فإذا أخذنا عامل دقة الإحداثيات (تحديد المواقع) باستخدام الخدمة المدنية القياسية SPS فأن الدقة ستنخفض من حدودها الحالية (١٠-٢٠ متر) بنسبة ٥٠% بحلول عام ٢٠١٥ (لتصبح ٥-١٠ متر) بالاعتماد علي الإشارتين المدنيتين C/A الحالية و L2C المتوقعة ، وبحلول عام ٢٠١٩ ومع إتاحة التردد الثالث L5 فأن الدقة ستتحسن بنسبة ٥٠% أخري لتصل إلي حدود ١-٥ متر باستخدام أجهزة الاستقبال الملاحية رخيصة السعر. سيؤدي ذلك لجودة أكثر في تجميع المعلومات المكانية الخاصة بتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية GIS وأيضا تطبيقات الاستشعار عن بعد ، كما ستصبح الأعمال الجيوديسية عالية الدقة تتم بصورة أسرع وبالتالي أرخص للوصول لدقة السنتيمترات أو حتى المليمترات.

٨-٦ مبدأ الفروقات في مرحلة الحسابات

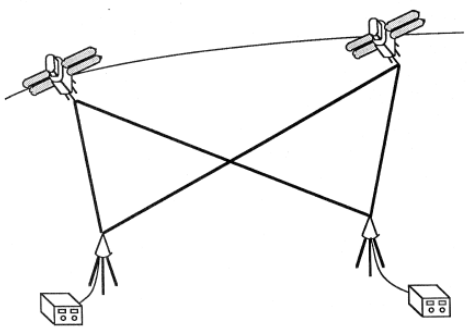
يمكن تقسيم مصادر الأخطاء التي تؤثر علي أرصاد الجي بي أس (وبالتالي دقة تحديد المواقع) إلي ثلاثة مجموعات: أخطاء الأقمار الصناعية ، أخطاء أجهزة الاستقبال ، أخطاء تأثير الغلاف الجوي والأخطاء العشوائية. فإذا أخذنا أخطاء الأقمار الصناعية كمثال: إذا كان لدينا جهازي استقبال يرصدان نفس القمر الصناعي في نفس اللحظة وكانت المسافة بين موقعي الجهازين صغيرة فيمكن أن نتوقع أن تأثير خطأ القمر الصناعي و أيضا تأثير طبقة الغلاف الجوي سيكون متساوي القيمة – تقريبا – علي المسافتين من هذا القمر الصناعي إلي هذين الجهازين الأرضيين. وبالتالي فإذا طرحنا الأرصاد (المعادلتين) عند كلا الجهازين فأننا سنقلل بنسبة كبيرة جدا من تأثير هذين الخطأين علي الحل الناتج ، لكن من المهم جدا أن ندرك أن هذا الحل لن يكون إحداثيات نقطتي الرصد- X_1,Y_1,Z_1 للنقطة الأولي ولا X_2, Y_2, Z_2 للنقطة الثانية - لكن الفرق بينهما ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) ، ومن هنا جاءت تسمية التحديد "النسبي" للمواقع. هذا المبدأ أو الحل يطلق عليه اسم الفرق (أو التفاضل في بعض الترجمات) الأحادي بين المستقبلات Between-Receiver Single Difference



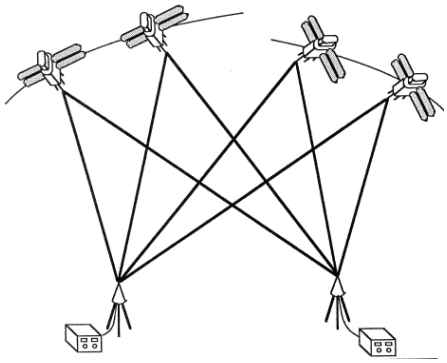
شكل (٨-٢٠) الفرق الأحادي بين المستقبلات

بنفس المبدأ يمكن تطوير نوع آخر من الفروقات (أثناء عملية حسابات أرصاد الجي بي أس Data Processing) إذا كان لدينا جهازي استقبال يرصدان قمرين صناعيين في نفس اللحظة. بعد تكوين معادلة الفرق الأحادي بين المستقبلات لكلا نقطتي الرصد مع القمر الصناعي الأول، نقوم بتكوين معادلة الفرق الأحادي بين المستقبلات لكلا نقطتي الرصد مع القمر الصناعي الثاني. وبعد ذلك نطرح كللا الفرقين الأحاديين من بعضهما فتنتج لنا معادلة ما يسمي بالفرق الثنائي Double Difference. يتميز الفرق الثنائي أنه يزيل (أو يقلل بنسبة كبيرة) من أخطاء الأقمار الصناعية و تأثير الغلاف الجوي (مثل الفرق الأحادي) بالإضافة إلي أخطاء ساعات أو زمن أجهزة المستقلات أيضا.

يأتي الفرق الثلاثي Triple Difference كأحد أساليب الفروقات الهامة في حسابات أرصاد الجي بي أس، والذي يقوم علي مبدأ طرح معادلتين فرق ثنائي من بعضهم البعض ، أي حالة جهازين استقبال يرصدان نفس القمرين الصناعيين في لحظتي رصد متتاليتين (وليس لحظة رصد واحدة مثل حالة الفرق الثنائي).



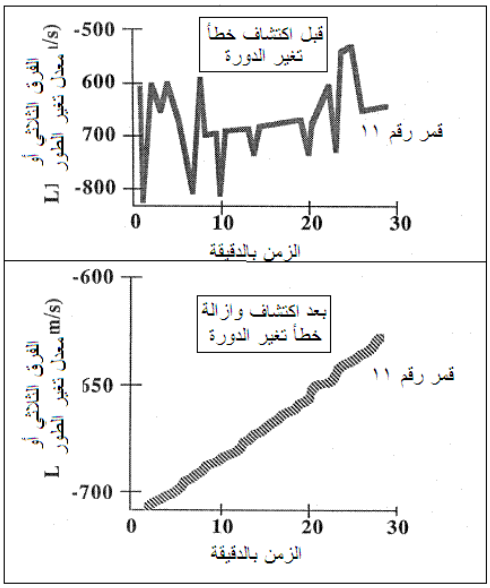
شكل (٨-٢١) الفرق الثنائي



شكل (٨-٢٢) الفرق الثلاثي

تنبع أهمية (حل أو معادلة) الفرق الثلاثي من نقطة هامة جدا: كما سبق الإشارة إلي أن قيمة خطأ الغموض Ambiguity تعتبر هامة جدا في أرصاد طور الموجة الحاملة للوصول لدقة عالية في

تحديد المواقع. هذه القيمة (التي يمكن حسابها من معادلات الفرق الثنائي) تظل قيمة ثابتة طالما هناك استمرارية في وصول موجات القمر الصناعي إلي جهاز الاستقبال. فإذا انقطعت هذه الاستمرارية (بسبب وجود أي عائق قريب من جهاز الاستقبال) فأن قيمة خطأ الغموض ستتغير وهي الحالة المعروفة باسم خطأ تغير الدورة Cycle Slip. في معادلة الفرق الثلاثي سيختفي مجهول الغموض (أي لا يمكن تحديده من هذا الفرق) ، فإذا حدث خطأ تغير الدورة فسيظهر في معادلة واحدة فقط – لهذه اللحظة – ولن يظهر في معادلة اللحظة التالية بعد عودة استمرارية الاستقبال مرة أخري. ومن هنا فأن لحظة حدوث الخطأ ستظهر كقفزة مفاجئة في أرصاد الفروقات الثلاثية ، مما يسهل لنا تحديد هذه اللحظة التي حدث بها انقطاع الاستقبال – من القمر الصناعي – وبالتالي إمكانية حساب قيمة خطأ الغموض الجديدة بعد عودة الاستقبال مرة أخري.



شكل (٨-٢٣) خطأ تغير الدورة في الفرق الثلاثي

الفصل التاسع

طرق الرصد في الجي بي أس

٩-١ مقدمة

يهدف هذا الفصل الي التعرف بصورة تفصيلية عن طرق الرصد و طرق الحساب للنظام العالمي لتحديد المواقع.

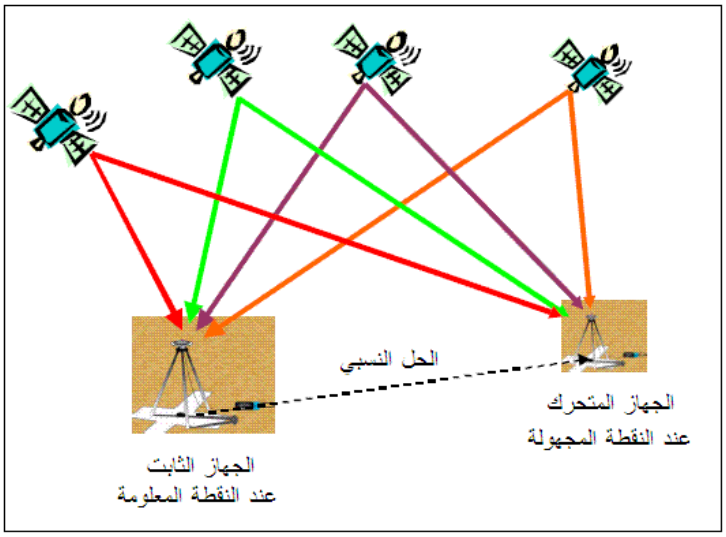
٩-٢ طرق الرصد

لتحديد إحداثيات موقع أو نقطة معينة يكفي استخدام جهاز استقبال واحد يقوم باستقبال الموجات المرسلة من الأقمار الصناعية ، وهذا ما يطلق عليه التحديد المطلق للمواقع Absolute Point Positioning. لكن دقة هذه الإحداثيات ستكون في حدود عدة أمتار مما يجعل هذا الأسلوب مناسبا للتطبيقات الملاحية وبعض تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية أو للخرائط ذات مقياس الرسم الصغير ، لكنه بالطبع لن يكون مناسبا للتطبيقات المساحية و الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية في تحديد المواقع.

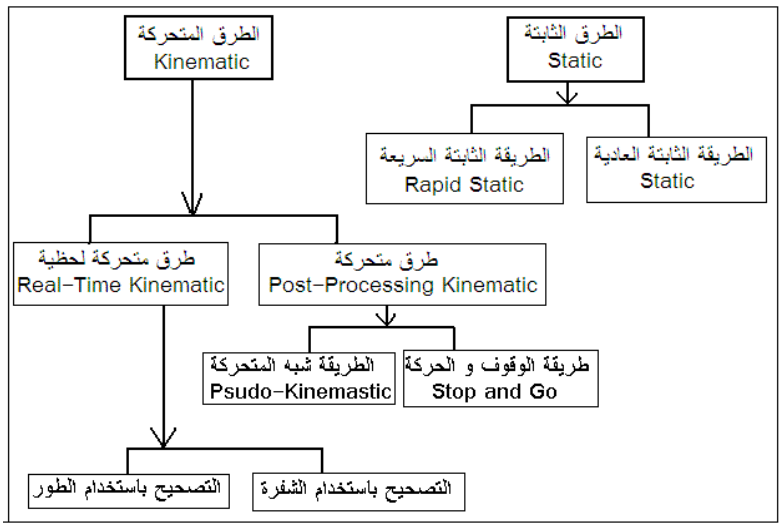
تتعدد طرق الرصد المساحية بنظام الجي بي أس بطريقة كبيرة بناءا علي عدة عوامل مثل عدد أجهزة الاستقبال المتوفرة و الدقة المطلوبة أو طبيعة المشروع. يجب علي مستخدم الجي بي أس أن يلم بمميزات و عيوب كل طريقة قبل أن يقرر الطريقة التي يتبعها في مشروع معين.

تعتمد الطرق المساحية لتجميع أرصاد الجي بي أس علي أسلوب الرصد النسبي أو الرصد التفاضلي Relative or Differential حيث يكون هناك جهازي استقبال أحدهما يسمي القاعدة Base Receiver أو الجهاز المرجعي Reference Receiver موجودا علي نقطة مساحية معلومة الإحداثيات ، بينما الجهاز الثاني يسمي المتحرك Rover Receiver وهو الذي يتولي رصد النقاط المطلوب تحديد موقعها ، ويقوم كلا الجهازين برصد الأقمار الصناعية آنيا simultaneously في نفسي الوقت. يقوم الجهاز الثابت أو القاعدة بتحديد قيمة الخطأ في إشارات الأقمار الصناعية في كل لحظة وذلك عن طريق مقارنة الإحداثيات المعلومة لهذه النقطة مع إحداثياتها المحسوبة من أرصاد الجي بي أس. بافتراض أن المسافة بين جهاز القاعدة و الجهاز المتحرك ليست كبيرة فيمكن اعتماد مبدأ أن تأثير أخطاء الرصد عند النقطة المتحركة تساوي تقريبا نفس التأثير عند النقطة القاعدة ، ومن ثم يمكن أيضا تصحيح إحداثيات النقاط التي يرصدها الجهاز الآخر أو الجهاز المتحرك ، عن طريق نقل هذه التصحيحات من الجهاز الثابت إلي الجهاز المتحرك. قد تتم عملية نقل التصحيحات في المكتب بعد انتهاء تجميع البيانات الحقلية (نسميها المعالجة اللاحقة Post-Processing) أو تتم لحظيا في الموقع (نسميها التصحيح اللحظي Real-Time). وتجدر الإشارة إلي أن الحل الناتج من هذه الطرق يكون حلا نسبيا - أي فرق الإحداثيات - بين النقطة المعلومة و النقطة المجهولة ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) والذي سيضاف إلي إحداثيات النقطة المعلومة ليمكننا حساب إحداثيات النقطة المجهولة.

بصفة عامة يمكن تقسيم طرق الرصد إلي مجموعتين رئيسيتين: الطرق الثابتة Static – ومنها الطريقة التقليدية و الطريقة السريعة – والطرق المتحركة Kinematic ومنها طرق تعتمد علي الحساب اللاحق و أخري تعتمد علي استقبال تصحيحات بهدف إكمال عملية حساب الإحداثيات في الموقع مباشرة. وتجدر الإشارة إلي أن الطريقة الثابتة التقليدية هي الأنسب لمشروعات المساحة الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية (مثل إنشاء شبكات الثوابت الأرضية) بينما باقي الطرق تكون مناسبة للأعمال المساحية والرفع المساحي.



شكل (٩-١) مبدأ الرصد النسبي لأرصاد الجي بي أس



شكل (٩-٢) طرق رصد الجي بي أس

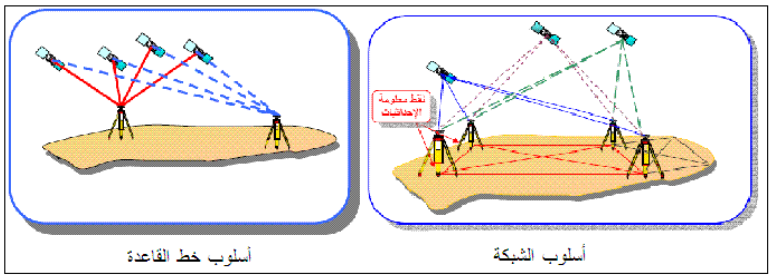
٩-٢-١ طرق الرصد الثابتة

تعد طرق الرصد الثابتة static أنسب طرق رصد الجي بي أس للتطبيقات المساحية و الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية (تصل إلي مستوي المليمتر) في تحديد المواقع. الطريقة الثابتة التقليدية هي أقدم – و أدق أيضا - طرق رصد الجي بي أس بينما ظهرت بعدها طريقة أخري (أو تعديل لها) سميت بالرصد الثابت السريع.

٩-٢-١-١ طريقة الرصد الثابت التقليدي

في هذه الطريقة يحتل الجهاز الثابت نقطة معلومة الإحداثيات بينما يقوم الجهاز الآخر (أو عدد من الأجهزة) باحتلال النقطة (أو النقاط) المجهولة المطلوب تحديد مواقعها ، وفي نفس الوقت تبدأ كل الأجهزة في استقبال إشارات الأقمار الصناعية. الأجهزة الجيوديسية ثنائية التردد Dual-Frequency Geodetic Receivers هي الأجهزة المستخدمة في هذه الطريقة حتى يمكن الوصول لمستوي الدقة المطلوبة ، وان كان يمكن استخدام الأجهزة أحادية التردد Single-Frequency Receivers للمسافات الصغيرة التي لا تتجاوز ٢٠ كيلومتر. تتراوح فترة الرصد المشترك session التي تعمل خلالها أجهزة الاستقبال بين ٣٠ دقيقة و عدة ساعات طبقا لطول المسافات بين الجهاز الثابت و الأجهزة الأخرى (ما يطلق عليه خط القاعدة أو خطوط القواعد Base Line). تقوم أجهزة الاستقبال بتجميع الأرصاد بمعدل (Sample Rate) رصده كل ١٥-٢٠ ثانية.

توجد عدة أساليب لتجميع البيانات تعتمد علي عدد أجهزة الاستقبال المتوفرة. اذا لم يتوفر إلا جهازين استقبال فقط فيتم العمل بأسلوب خط القاعدة Base Line حيث يوضع الجهاز الثابت أعلي النقطة المعلومة و الجهاز الآخر أعلي أولي النقاط المجهولة لفترة زمنية معينة ، ثم ينتقل لرصد النقطة المجهولة الثانية ثم الثالثة و هكذا. بينما في حالة توافر أكثر من جهازين فأن أسلوب العمل يتم بطريقة الشبكة Network حيث جهاز (أو أثنين أحيانا) فوق النقطة (أو النقطتين) المعلومتين بينما توضع باقي الأجهزة علي النقاط المجهولة.



شكل (٩-٣) أساليب الرصد الثابت التقليدي

بعد انتهاء تجميع الأرصاد الحقلية يتم نقل البيانات (من جميع الأجهزة) إلي الحاسب الآلي حيث تتولي برامج متخصصة GPS Data Processing Software تنفيذ عمليات الحساب و الضبط للوصول إلي قيم دقيقة لإحداثيات النقاط المجهولة. إذا كانت أطوال خطوط القواعد صغيرة

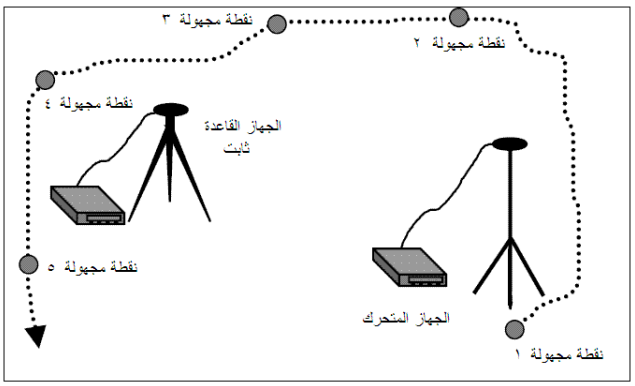
نسبيا (١٥-٢٠ كيلومتر) فيمكن تحديد قيمة الغموض بدقة والوصول إلي نوع الحل الثابت Fixed Solution ، بينما لخطوط القواعد الطويلة فمن المتوقع ألا يتم الوصول لقيمة صحيحة integer لخطأ الغموض ، ومن ثم فيكون الحل الخالي من الأيونوسفير هو الأفضل. أما للخطوط الطويلة جدا (مئات الكيلومترات) فيفضل استخدام برامج الحساب العلمية – مثل برنامج BERNSE من جامعة برن السويسرية – لأنها برامج أفضل من تلك البرامج التجارية العادية لهذه الحالات.

الدقة المتوقعة لطريقة الرصد الثابت التقليدية تكون ٥ ملليمتر ± ١ جزء من المليون (ppm) أي ٥ ملليمتر + ملليمتر لكل واحد كيلومتر من طول خط القاعدة. كمثال: لخط قاعدة طوله ٢٠ كيلومتر ، فأن الدقة المتوقعة = ٥ + ٢٠ = ± ٢٥ ملليمتر. تجدر الإشارة إلي أنه بمكن الوصول لدقة أحسن من هذا المستوي العام باستخدام أجهزة جيوديسية حديثة وأيضا باستخدام مدارات أكثر دقة للأقمار الصناعية.

توجد عدة مواصفات دولية منشورة تحدد التفاصيل التقنية للرصد و الحساب لطرق رصد الجي بي أس، والتي يمكن الحصول عليها من عدد من المواقع علي شبكة الانترنت.

٩-٢-١-٢ طريقة الرصد الثابت السريع

في حالة وقوع النقاط المجهولة (المطلوب تحديد إحداثياتها) في نطاق مسافة قصيرة – في حدود ١٠-١٥ كيلومتر - من موقع النقطة المعلومة أو المرجعية فيمكن للجهاز المتحرك أن يرصد نقطة مجهولة لمدة زمنية بسيطة ، ثم ينتقل لرصد نقطة مجهولة ثانية و ثالثة و هكذا. يكون الجهاز القاعدة أو الجهاز المرجعي مستمرا في تجميع الأرصاد طوال فترات الرصد كلها لتتوفر أرصاد مشتركة مع الجهاز المتحرك عند كل نقطة مجهولة يقوم برصدها. لذلك سميت هذه الطريقة بالرصد الثابت السريع Fast or Rapid Static. تتراوح فترة الرصد session عند كل نقطة مجهولة بين ٢ و ١٠ دقائق ، وبمعدل رصد sample rate كل ١٥-٢٠ ثانية مثل الطريقة الثابتة التقليدية. وأيضا يتم نقل الأرصاد من كلا الجهازين إلي الحاسب الآلي لإجراء عمليات الحسابات و استنتاج إحداثيات النقاط المجهولة التي تم رصدها.



شكل (٩-٤) طرق الرصد الثابت السريع

تتميز طريقة الرصد الثابت السريع أنها تقلل بدرجة كبيرة من الوقت اللازم لتجميع البيانات الحقلية، مما يجعلها مناسبة للأعمال المساحية التفصيلية و الطبوغرافية في منطقة صغيرة. لكن وعلي الجانب الآخر فأن الدقة المتوقعة لهذه الطريقة (١٠ ملليمتر ± ١ ppm) لا تصل لنفس مستوي دقة طريقة الرصد الثابت التقليدية مما يجعلها غير مطبقة في الأعمال الجيوديسية الدقيقة.

٩-٢-٢ طرق الرصد المتحركة

تعتمد فكرة الرصد المتحرك Kinematic علي وجود جهاز ثابت مرجعي Base علي النقطة المعلومة بينما يتحرك الجهاز الآخر Rover (أو الأجهزة) لرصد عدد من النقاط المجهولة. تختلف طرق الرصد المتحرك بناءا علي عاملين: أسلوب حركة الجهاز الثاني ، طريقة نقل التصحيحات من الجهاز الثابت لباقي الأجهزة.

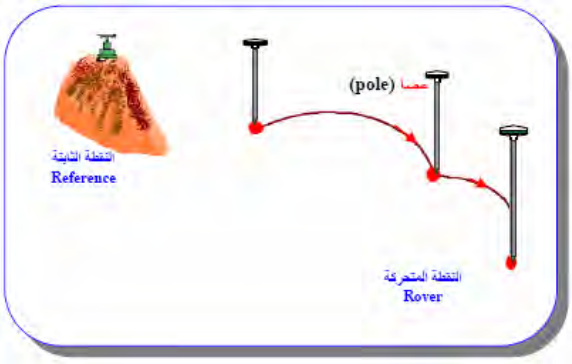
٩-٢-٢-١ طرق الرصد المتحرك والحساب لاحقا

في هذه النوعية من أساليب الرصد المتحرك يتم الاعتماد علي أن التصحيحات - التي يقوم بحسابها الجهاز المثبت فوق النقطة المعلومة – سيتم نقلها إلي أرصاد الأجهزة المتحركة عن طريق برنامج الحساب software في الحاسب الآلي بعد انتهاء الأعمال الحقلية. أي أن حساب إحداثيات النقاط المرصودة سيكون في المكتب أو Post-Processing وليس في الحقل(تسمي هذه الطرق PPK اختصارا لكلمات Post-Processing Kinematic).

أولي هذه النوعية طريقة الذهاب و التوقف Stop and Go وفيها يتوقف الجهاز المتحرك Rover لمدة ١٥-٣٠ ثانية ليرصد كل نقطة من النقاط المجهولة. في أولي النقاط المجهولة يتوقف جهاز للاستقبال لمدة ٥-١٠ دقائق يجمع فيها عدد من أرصاد الأقمار الصناعية يسمح بحساب قيمة الغموض Ambiguity ، وتسمي هذه الخطوة: الإعداد Initialization. ثم يبدأ التحرك إلي النقطة الثانية ثم الثالثة و هكذا وهو مستمر في تجميع الأرصاد. طالما لم ينقطع الاتصال (استمرارية استقبال الموجات) بين المستقبل و الأقمار الصناعية فتستمر حركة الجهاز ، إما إذا أنقطع هذا الاستمرار – أي حدث خطأ تغير الدورة Cycle Slip – فيجب العودة لآخر نقطة مرصودة و البقاء أعلاها في وضع الثبات لمدة ٥-١٠ دقائق (عملية إعداد جديدة)، ومن هنا جاء اسم هذه الطريقة: الذهاب و التوقف (شكل ٥-٥) والتي تناسب الرفع المساحي التفصيلي في حدود ١٠-١٥ كيلومتر حول النقطة المعلومة. تقليديا كانت طريقة الذهاب و التوقف أقدم طرق الرصد المتحرك – تم تطويرها في نهاية الثمانينات من القرن العشرين الميلادي – وربما لم تعد مستخدمة بكثرة الآن.

ثاني و أحدث طرق الرصد المتحرك هي ما تعرف باسم طريقة الرصد شبه المتحرك Pseudo-Kinematic والبعض يسميها طريقة الرصد المتحرك Kinematic مباشرة. وأهم مميزاتها أنها لا تتطلب الوقوف عند كل نقطة مجهولة ، إنما تكتفي برصدها حتى ولو ثانية واحدة. أيضا لا تتطلب طريقة الرصد شبه المتحرك إجراء عملية الإعداد لأنها تطبق مبدأ رياضي حديث يسمح بحساب قيمة الغموض أثناء بدء حركة الجهاز Rover من نقطة لآخري (يسمي الحل الطائر On-The-Fly أو اختصارا OFT). أيضا في هذه الطريقة يتم ضبط جهاز الاستقبال بحيث يسجل

الأرصاد آليا كل فترة زمنية معينة (مثلا كل ثانية) ولا توجد حاجة للمستخدم لإعطاء أمر الرصد في جهاز الاستقبال عند كل نقطة مجهولة كما في طريقة الذهاب و التوقف. كل هذه المميزات جعلت طريقة الرصد شبه المتحرك أكثر جاذبية وأسهل و أرخص لتطبيقات الرفع المساحي.



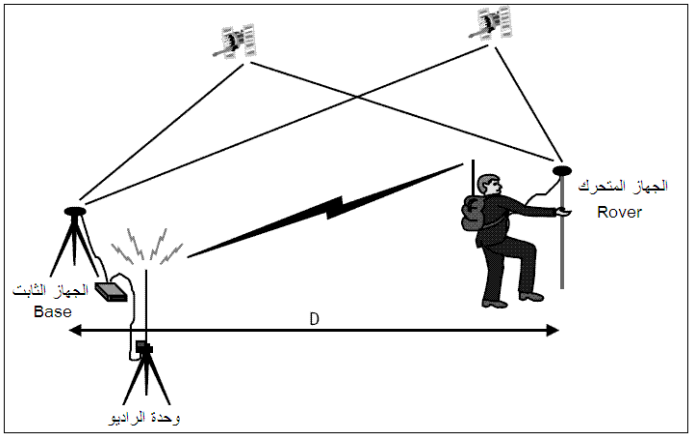
شكل (٩-٥) طريقة الذهاب و التوقف

٩-٢-٢-٢ طرق الرصد المتحرك مع الحساب اللحظي

كانت الطرق التقليدية للرصد المتحرك تعتمد علي فكرة تجميع الأرصاد في الموقع ثم إجراء الحسابات علي الحاسب الآلي في المكتب. لكن وجد مهندسو المساحة أن هناك حالات معينة – مثل توقيع نقاط معلومة الإحداثيات علي أرض الواقع Stack Out – تحتاج حساب قيم إحداثيات النقط المرصودة في نفس لحظة الرصد. من هنا بدأ التفكير في تطوير طرق رصد متحركة جديدة. تعتمد هذه الطرق علي وجود جهاز راديو عند النقطة الثابت يقوم بإرسال أو بث التصحيحات التي يقوم الجهاز المرجعي بحسابها إلي الجهاز (أو الأجهزة) المتحرك والذي بدورها يكون متصل بجهاز راديو لاسلكي آخر. أي أن الجهاز المتحرك سيتكون من وحدتين: وحدة استقبال إشارات الأقمار الصناعية ، بالإضافة إلي وحدة استقبال لا سلكية لاستقبال التصحيحات المرسلة من الجهاز الثابت. من أرصاد الأقمار الصناعية يقوم الجهاز المتحرك بحساب إحداثيات النقطة المرصودة (لكنها إحداثيات غير دقيقة تماما) ومن تصحيحات الجهاز المرجعي يقوم الجهاز المتحرك بتصحيح الإحداثيات للوصول إلي قيم دقيقة في نفس اللحظة ، ولذلك فتسمي هذه الطرق بطرق الرصد المتحرك الآني Real-Time.

بناء علي نوع التصحيحات التي يحسبها الجهاز الثابت فتوجد طريقتين من طرق الرصد المتحرك مع الحساب اللحظي. إذا كانت التصحيحات خاصة بأرصاد الشفرة code فأن الطريقة تسمي الجي بي أس التفاضلي Differential GPS أو اختصارا DGPS. بينما إن كان الجهاز الثابت يقوم بحساب و تصحيح أرصاد طور الموجة Carrier Phase فأن الطريقة تسمي الرصد المتحرك اللحظي Real-Time Kinematic أو اختصارا RTK. وكما سبق الإشارة فأن أرصاد طور الموجة تكون أكثر دقة من أرصاد الشفرة مما يؤدي إلي أن دقة طريقة الجي بي أس التفاضلي DGPS تكون عدة ديسيمترات أو ما هو أقل من المتر، بينما تصل دقة طريقة الرصد المتحرك اللحظي RTK إلي ٢-٥ سنتيمتر. ولذلك فأن طرق الرصد التفاضلي تستخدم في التطبيقات

الملاحية و نظم المعلومات الجغرافية بينما طريقة الرصد المتحرك اللحظي هي المطبقة في الأعمال المساحية.



شكل (٩-٦) طريقة الرصد المتحرك اللحظي

٩-٢-٣ مقارنة بين طرق الرصد المختلفة

إذا أخذنا عامل الدقة كمقياس للمقارنة بين طرق الرصد في نظام الجي بي أس فأن أعلي هذه الطرق دقة هي طريقة الرصد الثابت التقليدية. أما إذا أخذنا العامل الاقتصادي فأن طرق الرصد المتحرك تقلل بنسبة كبيرة من الزمن اللازم لتجميع القياسات الحقلية مما يجعلها أرخص تكلفة من الطرق الثابتة. لكن هناك عوامل أخري يجب أخذها في الاعتبار ، فمثلا تكلفة شراء وحدات الراديو اللاسلكية وقدرة هذه الأجهزة علي بث التصحيحات يضيف عاملا جديدا في وضع ميزانية شراء أجهزة الجي بي أس.

أما بالنسبة للمقارنة بين الحساب اللاحق Post-Processing والحساب الآني Real-Time فهناك عوامل أخري يجب وضعها في الحسبان. ففي أسلوب الرصد مع الحساب اللاحق تتوافر للمستخدم – باستخدام برامج الحاسب الآلي المتخصصة - فرصة للتحقق من الأرصاد التي تم تجميعها والتأكد من جودتها والتحكم في عمليات الحساب حتى الوصول للإحداثيات النهائية للنقاط المرصودة. علي الجانب الآخر فان أسلوب الرصد المتحرك مع الحساب الآني لا يوفر هذه الميزة ، وعلي المستخدم أن يقبل الإحداثيات المحسوبة كما هي مهما كان مستوي الدقة التي أمكن التوصل إليه (غالبا يكون أقل دقة من حالة الحساب اللاحق). من وجهة نظر الكثير من مستخدمي الجي بي أس – وخاصة في البلاد العربية – فأن الرصد المتحرك الآني هو الأسهل لأنه لا يحتاج لخبرة كبيرة في التعامل مع برامج متخصصة ، كما أنه يعطي النتائج في نفس لحظة الرصد دون الحاجة لأية عمليات حسابية في المكتب. لكن هذا الأسلوب لا يجب أن يطبق إلا في حالة الحاجة للإحداثيات فعلا أثناء الرصد أي في أعمال التوقيع المساحي Setting Out. الجدولان التاليان يقدمان مقارنة سريعة بين الطرق المختلفة للرصد باستخدام نظام الجي بي أس.

مقارنة بين طرق الرصد المختلفة

الطريقة	الاحتياجات	التطبيقات	الدقة
الرصد الثابت التقليدي	- أجهزة استقبال أحادية أو ثنائية التردد. - فترة رصد من ٣٠ دقيقة إلي ساعة علي الأقل.	المساحة الجيوديسية عالية الدقة.	ملليمترات.
الرصد الثابت السريع	- أجهزة استقبال أحادية أو ثنائية التردد. - فترة رصد ٥-٢٠ دقيقة.	المساحة الأرضية والمساحة الجيوديسية متوسطة الدقة.	ملليمترات إلي سنتيمترات.
الذهاب و التوقف	- أجهزة استقبال أحادية. - فترة رصد ١-٢ دقيقة. - نحتاج فترة إعداد في بداية الرصد.	المساحة الأرضية متوسطة الدقة.	عدة سنتيمترات.
شبه التحرك	- أجهزة استقبال أحادية أو ثنائية.	المساحة الأرضية والرفع المساحي.	عدة سنتيمترات.
التحرك اللحظي	- أجهزة استقبال أحادية أو ثنائية. - وحدة راديو لاسلكية. - المسافات لا تزيد عن ١٠ كيلومتر.	- التوقيع المساحي. - الرفع المساحي و الهيدروجرافي. - إنشاء ثوابت لضبط الصور الجوية. - المساحة الطبوغرافية والخرائط الكنتورية.	عدة سنتيمترات.

مقارنة بين زمن الرصد و دقة طرق الرصد المختلفة

الطريقة	زمن الرصد	الدقة
الرصد الثابت التقليدي	باستخدام أجهزة أحادية التردد: ٤٥-٦٠ دقيقة. باستخدام أجهزة أحادية التردد: ٤٥-٦٠ دقيقة ، ويزيد الزمن بزيادة المسافة بين الجهاز الثابت و المتحرك.	١ سنتيمتر + ٢ جزء من المليون. ٠.٥ سنتيمتر + ١ جزء من المليون.
الرصد الثابت السريع	٨-٢٠ دقيقة طبقا لعدد الاقمار المرصودة.	قريبة من دقة الرصد الثابت التقليدي.
الذهاب و التوقف	٥-٣٠ ثانية	٢-٥ سنتيمتر + ٢ جزء من المليون.
شبه التحرك	٠.٥ – ٥ ثانية	٢-٥ سنتيمتر + ٢ جزء من المليون.
التحرك اللحظي	٥-٣٠ ثانية تبعا لحاجة العمل.	٢ سنتيمتر + ٢ جزء من المليون.

٩-٣ حسابات خطوط القواعد لأرصاد الجي بي أس

عادة فأن برامج الحسابات Data Processing Software التي تأتي مع أجهزة الجي بي أس تشمل ما يسمي الحساب الآلي Auto-Processing – وهو وظيفة في هذه البرامج لتنفيذ الحسابات آليا – للتسهيل علي المستخدمين غير المتخصصين، دون الاطلاع علي المعاملات التي قام البرنامج بتطبيقها عند تنفيذ هذه الحسابات Configuration Parameters. إن برامج الحسابات تم إنتاجها من قبل شركات متخصصة ، لكن داخل البرنامج توجد العديد من الاختيارات و المعاملات التي يجب أن يلم بها المستخدم ليقرر هو الاختيارات المناسبة في كل حالة وكل مشروع. وسنتعرض هنا لبعض أمثلة يجب أخذها في الاعتبار.

حتى الآن فأن الفروقات (سواء الأحادية أو الثنائية أو الثلاثية) يمكن تكوينها إما باستخدام أرصاد الشفرة أو باستخدام أرصاد طور الموجة ، علي التردد الأول L1 من ترددي الأقمار الصناعية (أجهزة الاستقبال أحادية التردد Single-Frequency GPS Receivers). أما في حالة قدرة جهاز الرصد علي استقبال كلا الترددين (الأجهزة ثنائية التردد Dual-Frequency GPS Receivers والتي تكون أغلي سعرا من الأجهزة أحادية التردد) فيوجد نوع آخر من الفروقات – أو طرق الحل - يمكن تطويره. فإذا كان لدينا فرق ثنائي – مثلا – لأرصاد التردد الأول و فرق ثنائي لأرصاد التردد الثاني فمن المنطقي أن نفترض أن تأثير خطا الأيونوسفير سيكون تقريبا واحد علي كلا المعادلتين أو الرصدتين. فإذا طرحنا كلتا المعادلتين (لكلا الترددين) فسينتج لنا معادلة

جديدة لن يكون فيها تأثير هذا الخطأ ، وهو الفرق المسمي "الخالي من الأيونوسفير Iono-Free Solution. وبالطبع فأن هذا الحل سيكون أدق من أي نوع آخر من الحلول أو الفروقات بسبب أن تأثير الأيونوسفير يعد أكبر و أهم مصادر الأخطاء علي أرصاد الجي بي أس.

أيضا عند توفر أرصاد كلا الترددين (L1, L2) فيمكن دمج كلا الترددين لتطوير نوع افتراضي من الأرصاد يسمي Wide-Lane أو الحارة الواسعة ، ومن مميزاته أن طول الموجة له سيكون ٨٦ سنتيمتر (وليس ١٩ أو ٢٤ سنتيمتر للترددين الأصليين أو الحقيقيين) مما يسمح بسهولة تحديد قيمة الغموض Ambiguity.

عند تحديد قيمة الغموض يقوم برنامج الحساب بعدد من تكرارات الحلول Iterations للوصول إلي العدد الصحيح من الدورات الكاملة الذي يعبر عن قيمة هذا الخطأ. بالطبع فأن الحل الرياضي لا يصل إلي عدد صحيح Integer لكن إذا كانت جودة الحل عالية فأن أقرب عدد صحيح سيكون هو القيمة المناسبة للغموض. مثلا: إذا كان أحسن الحلول لعدد الدورات الكاملة = ٨٥٦.٦ دورة فأن أحسن قيمة للغموض (والتي يجب أن تكون عددا صحيحا) ستكون ٨٥٧ دورة. السؤال الآن هو كيف سيحدد البرنامج "أحسن" حل من هذه الحلول أو التكرارت؟ يتم ذلك عن طريق معاملات إحصائية تقيم جودة كل حل أو تكرار iteration حتى يمكن تحديد أي الحلول هو الأحسن. فإذا أجتاز حل هذه الاختبارات الإحصائية فنطلق عليه مصطلح الحب الثابت Fixed Solution ، أما إن لم يجتاز أي حل من الحلول هذه الاختبارات الإحصائية فأن أفضل الحلول يطلق عليه مصطلح الحل غير الثابت Float Solution. وبالطبع فأن الحل الثابت يكون هو الأدق (لأنه توصل إلي قيمة دقيقة للغموض) ويجب استخدامه في مراحل الحسابات التالية.

في حالة التوصل إلي حل ثابت وأيضا – في نفس الوقت - يكون خالي من تأثير الأيونوسفير Iono-Free Fixed Solution فيعد هو أدق الحلول أو أدق قيمة لفرق إحداثيات النقطتين في التحديد النسبي للمواقع Relative Positioning. وحيث أن أرصاد الجي بي أس – عامة – تشتمل علي أرصاد أكبر من العدد الضروري ، أي أرصاد زائدة Redundant Observations بهدف استخدامها في التأكد و التحقيق ، فمن المهم اختيار أي الأرصاد ستدخل في المرحلة النهائية لحسابات إحداثيات النقط المرصودة. كمثال: إذا تم رصد خط بين نقطتين في يومين مختلفين ، وكان حل أرصاد اليوم الأول من النوع غير الثابت Float بينما نتج حل ثابت Fixed من أرصاد اليوم الثاني ، فمن المنطقي أن نفضل الحل الثابت عن الحل الآخر و نعتمد عليه في حساب الإحداثيات لاحقا. من هنا تأتي أهمية أن يلم مستخدم الجي بي أس (وخاصة للتطبيقات المساحية و الجيوديسية) بأنواع الحلول و خصائص كل نوع وأيضا معاملات الحساب في البرنامج Software حتى يكون للمستخدم القرار النهائي السليم في كيفية تنفيذ الحسابات أملا في الوصول إلي أحسن وأدق قيم إحداثيات للنقاط المرصودة بنظام الجي بي أس.

الفصل العاشر

الرصد العملي بالجي بي أس

١٠-١ مقدمة

يهدف هذا الفصل الي التعرف بصورة تفصيلية عن الخطوات العملية لتجميع الأرصاد المكانية باستخدام تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع.

تتعدد أساليب تنفيذ الأعمال المساحية و الجيوديسية باستخدام الجي بي أس بصورة كبيرة بتعدد طرق الرصد و أنواع الأجهزة و برامج الحسابات ، مما يصعب معه إعداد تصور كامل و دقيق لخطوات تنفيذ أي مشروع مساحي بالجي بي أس. علي الجانب الآخر فهناك خطوط عريضة يتم تطبيقها – بصورة أو بآخري – في أي عمل مساحي بالجي بي أس بهدف التأكد من جودة خطوات العمل المكتبي و الحقلي لضمان الوصول للدقة العالية المنشودة في تحديد المواقع وإنشاء الخرائط.

١٠-٢ التخطيط و التصميم

إن تخطيط ما قبل العمل الحقلي Pre-Planning واختيار مواقع النقاط واختيار الأجهزة المستخدمة و تصميم طريقة واليات الرصد لهو من العوامل الهامة التي تؤثر لاحقا علي الدقة المستهدف الوصول إليها و أيضا تؤثر علي تكلفة المشروع بصفة عامة.

قبل البدء في مشروع الجي بي أس يجب أولا تحديد عدة عوامل تشمل:

- طبيعة المشروع و أهدافه.
- الدقة المطلوب تحقيقها أفقيا و رأسيا.
- عدد نقاط التحكم الأفقية و الرأسية المطلوب رصدها.
- المرجع الجيوديسي الذي ستنسب إليه الأرصاد.
- الأجهزة المتاحة و عددها و مواصفاتها.
- أنسب فترات الرصد الحقلي.

١٠-٢-١ أهداف المشروع و الدقة المطلوبة

تختلف عوامل التخطيط و التصميم باختلاف طبيعة المشروع ذاته (إنشاء شبكات ثوابت أرضية لمنطقة صغيرة أم لمنطقة شاسعة ، الرفع التفصيلي أو الطبوغرافي بهدف إنشاء الخرائط ، تجميع بيانات مكانية لنظم المعلومات الجغرافية .... الخ). لكل مشروع مواصفات (وخاصة في تحديد الدقة المطلوبة) تختلف باختلاف طبيعة المشروع والهدف منه. كمثال يعرض الجدول التالي مواصفات الدقة المطلوبة في مشروعات أو تطبيقات مختلفة باستخدام الجي بي أس، بينما الجدول الآخر يقدم مواصفات أخري لحدود الدقة المطلوبة في مشروعات الهندسة المدنية و نظم المعلومات الجغرافية و إنتاج الخرائط.

الدقة المطلوبة لبعض التطبيقات المساحية للجي بي أس

التطبيق	الدقة النسبية المطلوبة	الدقة المتوقعة (متر)
الاستكشاف و نظم المعلومات الجغرافية	١×١٠^{-٤}	من ١ إلي ٥
الخرائط الطبوغرافية صغيرة المقياس و أنظمة مراقبة المركبات	١×١٠^{-٥}	من ٠.٢ إلي ١
الرفع المساحي متوسط الدقة والمسح العقاري	من ٥ إلي ١×١٠^{-٦}	من ٠.٠١ إلي ٠.٢
الجيوديسيا وشبكات الثوابت الأرضية والرفع المساحي عالي الدقة	من ٥×١٠^{-٧} إلي ١×١٠^{-٦}	أقل من ٠.٠١ إلي ٠.٠٥
الجيوديسيا الديناميكية (مراقبة تحركات القشرة الأرضية مثلا) والعمل المساحي بدقة عالية جدا	١×١٠^{-٧}	من ٠.٠٠١ إلي ٠.٠٢

الدقة المطلوبة للجي بي أس في المشروعات المدنية

نوع المشروع	مقياس رسم الخريطة	الدقة الأفقية (مم)	الدقة الرأسية (مم)
مخططات مشروعات إنشائية	١ : ٥٠٠	١٠٠	٥٠
مخططات الخدمات السطحية و تحت السطحية	١ : ٥٠٠	١٠٠	٥٠
رسومات إنشائية و تصميم مباني	١ : ٥٠٠	٢٥	٥٠
مخططات رصف الطرق	١ : ٥٠٠	٢٥	٥٠
مخططات الحفر	١ : ٥٠٠	٢٥٠	١٠٠
مخططات عامة لقرية أو حي	١ : ٥٠٠٠	١٠٠٠	١٠٠٠
الرفع المساحي للخدمات الموجودة	١ : ١٠٠٠	١٠٠	١٠٠
نظم معلومات جغرافية للمنازل و الخدمات	١ : ٥٠٠٠	١٠٠٠٠	غير مطلوب
خرائط و نظم معلومات جغرافية لتطبيقات بيئية	١ : ٥٠٠٠	١٠٠٠٠	غير مطلوب
خرائط و نظم معلومات جغرافية لخدمات الطوارئ	١ : ٥٠٠٠	١٠٠٠٠	غير مطلوب
خرائط مراقبة الفيضانات وجريان المياه السطحية	١ : ٥٠٠٠	١٠٠٠٠	١٠٠
خرائط تصنيف التربة و الجيولوجيا	١ : ٥٠٠٠	١٠٠٠٠	غير مطلوب
خرائط تصنيف الغطاء الأراضي	١ : ٥٠٠٠	١٠٠٠٠	غير مطلوب
مراقبة هبوط المنشئات	مقياس كبير	١٠	٢

١٠-٢-٢ اختيار أجهزة الاستقبال وبرامج الحساب

إن اختيار الأجهزة المتاحة للرصد (عددها و نوعها) أيضا من أهم العوامل المؤثرة علي جودة المنتج النهائي لمشروعات الجي بي أس. فكمثال توجد بعض أجهزة الاستقبال المخصصة لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية من الممكن أن توفر الدقة المطلوبة لمثل هذه النوعية من التطبيقات (٠.٥ – ٣ متر) لكنها بالطبع لن تكون مناسبة لأعمال الرفع المساحي. أما مواصفات أجهزة الجي بي أس الجيوديسية فتختلف أيضا من شركة لأخرى ويجب اختيار الجهاز الذي يوفر الحد الأدنى من المواصفات التالية:

- أجهزة جيوديسية النوع Geodetic GPS Receivers ذات دقة عالية.
- أجهزة ثنائية التردد (تستقبل كلا ترددي الجي بي أس L1, L2).
- تستقبل كلا من الشفرة و الموجة الحاملة.
- تعمل في الوضع الثابت التقليدي.
- تعمل أيضا في الوضع التفاضلي (أي تستقبل التصحيحات من مصدر خارجي).
- متعددة القنوات بحد أدني ٢٤ قناة.
- ذاكرة داخلية أو خارجية تسمح بتخزين القياسات لمدة لا تقل عن ٨ ساعات رصد متواصلة.
- مصدر طاقة داخلي أو خارجي يسمح بتوفير الطاقة اللازمة للجهاز لمدة لا تقل عن ٨ ساعات رصد متواصلة.
- الهوائي مقاوم لتأثير تعدد المسار Multipath بدرجة جيدة.
- دقة عالية في تحديد مركز – أو نقطة – التقاط الموجات Phase Center في الهوائي.
- هوائي حساس بدرجة عالية ، و سهل الضبط و التسامت أعلي النقطة الأرضية المرصودة.

أما الأجهزة أحادية التردد (L1) – غالبا توفر دقة سنتيمترات في تحديد المواقع - فيمكن استخدامها في أعمال الرفع المساحي و الطبوغرافي بصفة عامة ولكنها لا تفضل في التطبيقات الجيوديسية مثل إنشاء شبكة الثوابت الأرضية.

اختيار برامج حسابات الأرصاد و برامج الضبط يعد أيضا مؤثر في جودة النتائج المتوقع الحصول عليها. يشترط أن يقدم برنامج الحساب – علي الأقل - الوظائف التالية:

أ- تخطيط ما قبل الرصد.
ب- معالجة القياسات و تنقيحها.
ت- التعامل مع مختلف طرق الرصد (الثابت ، المتحرك ، .... الخ).
ث- التشغيل الآلي للبيانات Auto-processing mode مع إعطاء المستخدم إمكانية تغيير معاملات الحساب إن أراد.
ج- التعامل مع المدارات الدقيقة للأقمار الصناعية Precise ephemerides وأيضا التصحيحات الدقيقة لخطأ ساعات الأقمار الصناعية Precise satellite clocks.
ح- ضبط الأرصاد لكل فترة رصد session.
خ- ضبط الشبكة بالكامل (سواء الضبط المقيد أو غير المقيد).
د- التحليل الإحصائي للنتائج.

ذ- تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية المختلفة.
ر- إسقاط الإحداثيات بمختلف نظم إسقاط الخرائط.
ز- توفير الرسوم البيانية لصحة النتائج و الضبط.
س- سهولة الاستخدام.

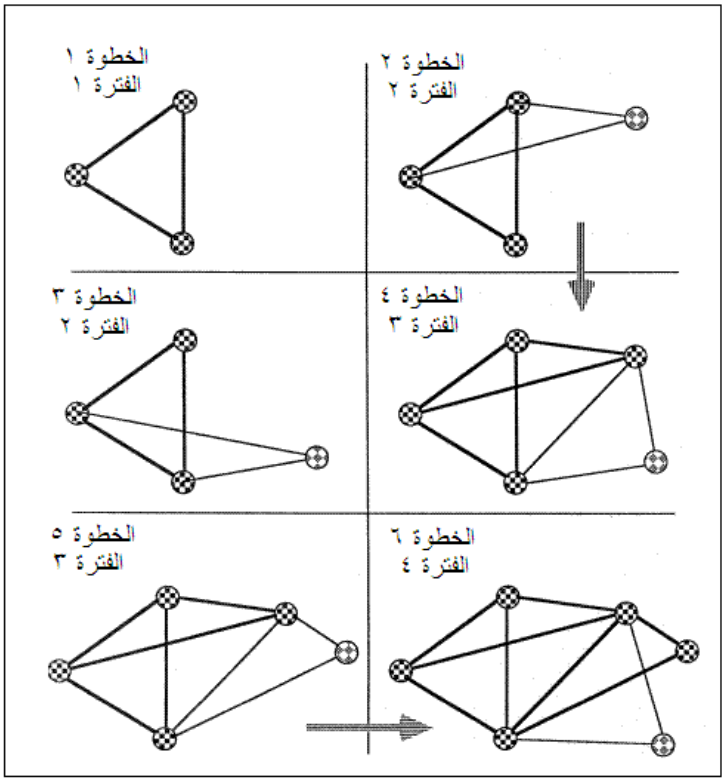
كما أن اختيار الأجهزة و البرامج (في حالة الشراء الجديد) لا بد أن يشمل توافر التدريب الجيد والمتعمق علي استخدام هذه الأجهزة و البرامج في كافة تفاصيل طرق الرصد المتعددة، وأيضا توافر الدعم الفني المستمر من قبل الشركة الموردة.

في حالة الاعتماد علي الرصد المتحرك اللحظي RTK أو الجي بي أس التفاضل DGPS فأن مواصفات وحدة الاستقبال اللاسلكي يجب أيضا أن توضع في الاعتبار. فقدرة ومدي الجهاز في بث التصحيحات تؤثر علي اختيار مواقع و أيضا عدد النقاط الثابتة التي ستستخدم في تنفيذ الرصد الحقلي. بعض أجهزة الراديو اللاسلكية توفر مدي ٣-٥ كيلومترات (أي ستتطلب إنشاء عدد أكبر من نقاط الثوابت في منطقة العمل) بينما البعض الآخر قد يصل مداه إلي ٣٠ كيلومتر.

١٠-٢-٣ تصميم خطة الرصد

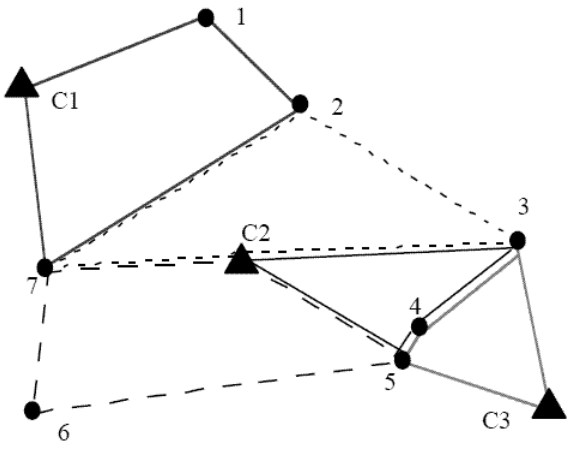
من العوامل المؤثرة علي الزمن المستغرق للعمل الحقلي وضع خطة جيدة لتنقل أجهزة الرصد بين النقاط. مع توافر أجهزة الاتصالات التليفونية المحمولة فقد أصبح تنظيم العمل الحقلي أكثر سهولة و كفاءة ، إلا أن بعض المشروعات من الممكن أن تتم في مناطق خارج حدود تغطية مثل هذه الشبكات الخلوية. وفي هذه الحالات فيجب إعداد تصور كامل وتفصيلي عن كيفية تنظيم مواعيد فترات الرصد sessions وكيفية تنظيم تنقل الأجهزة بين النقاط المختلفة. المثال التالي يقدم مخططا لكيفية تحريك الأجهزة المتاحة (٣ مستقبلات) لرصد شبكة مكونة من ٦ نقاط أرضية. تبدأ الخطوة الأولي – في التصميم – باستخدام المستقبلات الثلاثة لرصد النقاط ١ ، ٢ ، ٣. ثم هناك بديلين لإضافة النقطة الرابعة (الخطوة ٢ والخطوة ٣) إلا أن الخطوة ٣ هي الأفضل ، ثم في الخطوة التالية يوجد بديلين أيضا (الخطوة ٤ و الخطوة ٥) لرصد النقطة الخامسة حيث الخطوة ٥ تعد أفضل ، وفي آخر الخطوات يتم رصد النقطة السادسة. كما يقدم الشكل الآخر مثالا آخر لرصد ١٠ نقاط في ٧ فترات رصد مع تحقيق بعض الأرصاد المتكررة لضمان جودة الشبكة.

كما أن عدد الأجهزة المتاحة للاستخدام سيكون عاملا مؤثرا في تكلفة المشروع ، فمع أن أجهزة الرصد الجيوديسية مازالت مرتفعة الثمن (من ١٠ إلي ٢٠ ألف دولار للجهاز الواحد طبقا لمواصفاته و مشتملاته) إلا أن بعض التطبيقات عالية الدقة يجب أن يتوافر بها علي الأقل ٣-٤ أجهزة تعمل آنيا.



شكل (١٠-١) مثال لتخطيط رصد شبكة جي بي أس

فترة الرصد	أجهزة الاستقبال			
	A	B	C	D
1	C1	1	2	7
2	C2	3	2	7
3	C2	5	6	7
4	C2	5	3	4
5	C3	5	3	4
6	C1	C2	C3	6
7	C1	C2	C3	1



شكل (١٠-٢) مثال لفترات رصد شبكة جي بي أس مع تكرار بعض رصد الخطوط

تحديد مواقع (ومعرفة إحداثيات) نقاط التحكم المتوفرة في منطقة العمل – أو بالقرب منها – من العوامل الهامة أيضا في التخطيط ما قبل العمل الحقلي. كما هو معروف أن أرصاد الجي بي أس في الوضع النسبي Relative Positioning (وهو المطبق في الأعمال المساحية وليس الملاحية) تعطي فروق الإحداثيات بين كل نقطتين مرصودتين ، و لحساب الإحداثيات المطلقة لكل نقطة فيجب ربط الشبكة بنقطة واحدة – علي الأقل – من نقاط التحكم Control Points المعلومة الإحداثيات. يتطلب التخطيط و التصميم لمشروع الجي بي أس معرفة مواقع نقاط التحكم المتوفرة وأيضا الحصول علي إحداثيات هذه النقاط التي ستستخدم لاحقا في مرحلة الحسابات و ضبط الشبكات. ومع أن أقل عدد لنقاط التحكم المطلوبة هو نقطة واحدة فقط إلا أنه يفضل وجود أكثر من نقطة تحكم يتم رصدهم مع الشبكة الجديدة للحصول علي ربط جيد للعمل المساحي المستهدف مع المرجع الجيوديسي ونظام الإحداثيات الوطني للدولة. في التطبيقات الجيوديسية – مثل إنشاء شبكات ثوابت أرضية – يشترط وجود أكثر من نقطة تحكم يتم استخدامهم في أثناء العمل الحقلي. أما في حالة عدم توافر أية نقاط تحكم علي الإطلاق فيوجد طرق حديثة لربط الشبكة منها: (١) حساب الوضع المطلق الدقيق Precise Point Positioning or PPP لأحدي النقاط الجديدة بالشبكة ويكون ناتجا من رصدها لفترة زمنية طويلة أو (٢) استخدام الشبكة العالمية IGS (سنتحدث عنها لاحقا).

١٠-٢-٤ تصميم الربط على شبكات التحكم

توافر عدد من نقاط التحكم الرأسية المعلومة المنسوب Vertical Control Points مهم أيضا عند تحويل الارتفاعات الناتجة من أرصاد الجي بي أس (ارتفاعات جيوديسية) إلي مناسيب مقاسة من متوسط سطح البحر MSL. لذلك لا بد من وجود نقطة تحكم رأسية واحدة علي الأقل يتم رصدها في احدي فترات رصد مشروع الجي بي أس الجديد. لكن في معظم التطبيقات المساحية فمن الأفضل توافر أكثر من نقطة - من هذه النوعية – في منطقة العمل لاستخدامهم لاحقا للحصول علي دقة جيدة في عملية تحويل الارتفاعات واستنباط قيم المناسيب.

يعرض الجدول التالي مثال لمجموعة أخري من المواصفات الجيوديسية فيما يتعلق بنقاط الضبط الأفقية و الرأسية المطلوبة عند إنشاء شبكة ثوابت بالجي بي أس سواء بطريقة الرصد الثابت التقليدية أو الرصد الثابت السريع، بينما يعرض الجدول الآخر مجموعة أخري من مواصفات تخطيط و رصد شبكة من الثوابت الأرضية باستخدام الرصد الثابت.

مواصفات نقاط التحكم المطلوبة في إنشاء شبكة جي بي أس

البند	الرصد الثابت التقليدي	الرصد الثابت السريع
أقل عدد لنقاط التحكم المطلوبة لربط المشروع الجديد	علي الأقل ٣	علي الأقل ٣
أقصي مسافة بين نقاط التحكم و حدود المشروع	٣٠ ميل	٣٠ ميل
أقل نسبة مئوية لعدد خطوط القواعد متكررة الرصد	٥ %	٥ %
أقل عدد تكرار لاحتلال النقاط	١٠٠% مرتين ، ١٠% ثلاثة مرات	١٠٠% مرتين ، ١٠% ثلاثة مرات

مواصفات الرصد الثابت لإنشاء شبكة جي بي أس

البند	شبكة درجة أولي	شبكة درجة ثانية	شبكة درجة ثالثة
الدقة النسبية المطلوبة (جزء في المليون ppm)	١٠	٢٠-٥٠	١٠٠
الربط علي الشبكة الوطنية	نعم	نعم	اختياري
أقل عدد لنقاط الربط علي المرجع الوطني	٣	٢	٢
أنسب عدد لنقاط الربط علي المرجع الوطني	أكثر من ٣	٢	٢
مرات تكرار رصد خطوط القواعد لنسبة ١٠% من عدد الخطوط	٢	٢	٢
أقصي عدد لخطوط القواعد في الحلقة الواحدة	١٠	١٠-٢٠	٢٠
أقصي محيط للحلقة الواحدة (كم)	١٠٠	١٠٠-٢٠٠	اختياري
أقصي خطأ قفل الحلقة (جزء من المليون ppm)	١٠	٢٠-٥٠	١٠٠-٢٠٠
عدد مرات قياس ارتفاع الهوائي/الجهاز في النقطة	٢	٢	٢
أجهزة جيوديسية ثنائية التردد لرصد الخطوط أقل من ٢٠ كم	نعم	لا	لا
أجهزة جيوديسية ثنائية التردد لرصد الخطوط أكبر من ٢٠ كم	نعم	نعم	نعم
زاوية القناع Mask Angle أثناء الرصد	١٥°	١٥°	١٥°

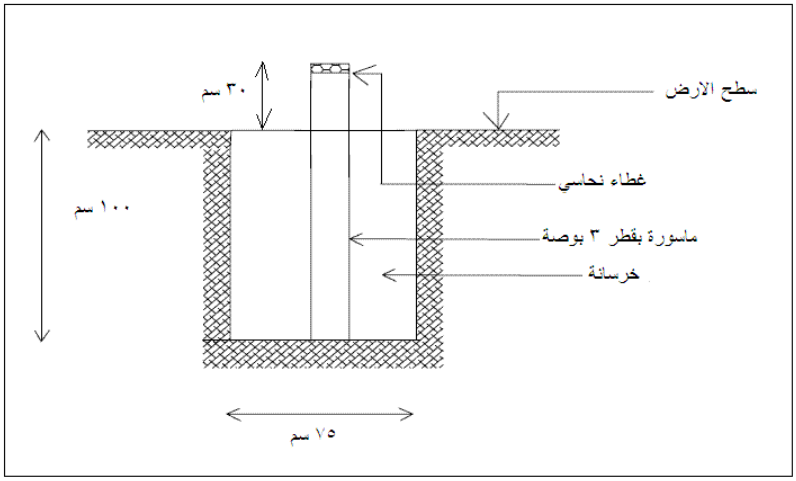
١٠-٢-٥ اختيار المرجع الجيوديسى المطلوب

تحديد المرجع الجيوديسي Datum الذي سيعتمد عليه المشروع يعد من العوامل الهامة جدا في التخطيط ، هل المطلوب اعتماد المرجع العالمي WGS84 في حساب إحداثيات النقاط المرصودة و إنشاء الخرائط الجديدة للمشروع أم يجب تحويل الإحداثيات لمرجع جيوديسي محلي. فان كانت عملية التحويل Datum Transformation مطلوبة فيجب تحديد طريقة تنفيذها: (١) بمعرفة عناصر تحويل معلومة Transformation Parameters ، (٢) بحساب عناصر التحويل. فان كانت عناصر التحويل معلومة فيجب الحصول علي قيمها من الجهة المسئولة عن حسابها. أما في حالة عدم وجود عناصر تحويل فيجب رصد ٣ نقاط تحكم (معلومة الإحداثيات في المرجع المحلي) مع شبكة الثوابت الجديدة المزمع إقامتها للمشروع واستخدام أحد برامج الحساب لتقدير عناصر التحويل بين المراجع في منطقة العمل.

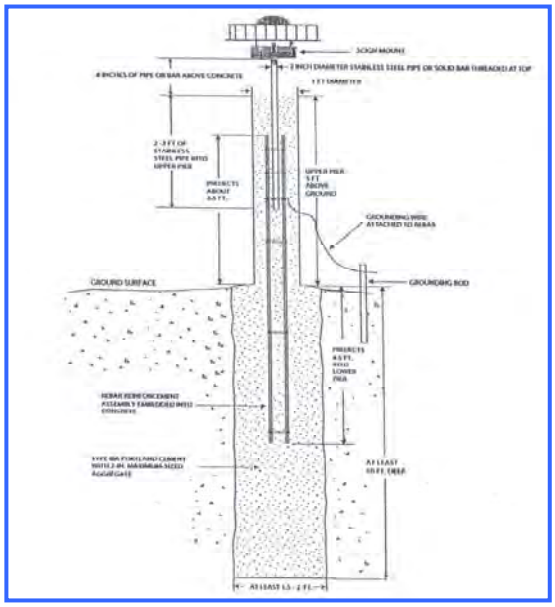
١٠-٢-٦ اختيار مواقع النقاط وتثبيت العلامات

مواصفات اختيار مواقع النقاط الثابتة و طريقة بناء العلامات الأرضية يعد أيضا من عوامل التخطيط ما قبل العمل الحقلي. الشكل التالي يقدم نموذجا عاما لبناء نقطة ثوابت أرضية للتطبيقات المساحية بينما يقدم الشكل الآخر نموذجا آخر للتطبيقات الجيوديسية الدقيقة، بينما توجد مواصفات أكثر تفصيلا لإنشاء الثوابت المساحية طبقا لكل نوع من أنواع التربة في منطقة العمل. النقاط التالية تقدم خطوطا عريضة لكيفية اختيار المواقع المناسبة لإنشاء الثوابت الأرضية:

- سهولة الوصول لموقع النقطة.
- ضمان تواجد النقطة في هذا الموقع لفترة طويلة.
- أن يكون الموقع مناسبا للاستخدام المساحي.
- أن يكون البناء علي أرض صخرية صلبة و ثابتة.
- ألا توجد عوائق حول موقع النقطة في حدود ^{o}١٥ من مستوي الأفق.



شكل (١٠-٣) نموذج بناء نقطة ثوابت للأعمال المساحية



شكل (١٠-٤) نموذج بناء نقطة ثوابت للأعمال الجيوديسية

١٠-٢-٧ اختيار أنسب أوقات الرصد

اختيار أنسب وقت للرصد في الجي بي أس يعد أيضا من خطوات التصميم و التخطيط. فمع أن أشارات الأقمار الصناعية في الجي بي أس متاحة ٢٤ ساعة يوميا ، ألا أن دقة و جودة وعدد الأقمار الصناعية يختلف من موقع جغرافي لآخر و من ساعة لآخري في نفس اليوم. يعد معامل دقة الموقع PDOP العامل الأساسي الذي يصف العلاقة بين توزيع الأقمار الصناعية في زمن معين و بين الدقة المتوقعة للرصد في هذا الوقت. ويمكن معرفة قيم PDOP لأي مكان و في أي وقت باستخدام البرامج المتخصصة (أي قبل تنفيذ العمل الحقلي ذاته). لذلك لا بد من استخدام أحد هذه البرامج لحساب معامل الدقة في الأيام المحددة للرصد الحقلي ، ومن ثم اختيار أنسب أوقات أو ساعات اليوم التي يكون فيها معامل PDOP أقل من ٦ ضمانا للوصول لأدق تحديد للمواقع المرصودة. أما للرصد المتحرك اللحظي فأن PDOP أقل من ٣ يعتبر جيدا ، ومن ٣ إلي ٦ يعتبر مقبولا بينما ما هو أكبر من ٦ يعتبر ضعيفا. أما قيمة زاوية القناع Mask or Cut-Off Angle فيجب ألا تقل عن 15^{o} في معظم التطبيقات المساحية و الجيوديسية.

يعتمد اختيار طول فترة الرصد علي عدة عوامل أهمهم الدقة المتوقعة أو المطلوبة في المشروع المساحي ، بالإضافة لمعامل الدقة GDOP وعدد الأقمار الصناعية المتوفرة في وقت الرصد. الجدول التالي يقدم خطوطا عريضة لكيفية تحديد طول زمن أو فترة الرصد سواء في طريقة الرصد الثابت التقليدي أو الرصد الثابت السريع ، بينما يقدم الجدول التالي مواصفات أخري عند استخدام أجهزة استقبال جي بي أس أحادية أو ثنائية التردد. أما في حالة أنشاء ثوابت أرضية و رأسية – أي أنه مطلوب تحديد الارتفاع الارثومتري لنقاط الشبكة – فأن مواصفات طول فتره الرصد ستتغير بصورة ملحوظة للوصول إلي دقة جيدة في قياس الارتفاعات كما نري في الجدول

الاخر، وفي هذه الحالة يجب أن يتم ربط الشبكة مع ٣ نقاط تحكم رأسية BM علي الأقل مع استخدام نموذج جيويد جيد.

طول وقت الرصد الحقلي للرصد الثابت

طول خط القاعدة (كم)	عدد الأقمار الصناعية المتوفرة	معامل الدقة GDOP	وقت الرصد (دقيقة)
أولا: الرصد الثابت التقليدي:			
أقل من ١ كم	أكثر من ٤	أقل من ٦	١٠-٣٠
١ - ٥	أكثر من ٤	أقل من ٦	٣٠-٦٠
٥-١٠	أكثر من ٤	أقل من ٦	٦٠-٩٠
١٠-٢٠	أكثر من ٤	أقل من ٦	٩٠-١٢٠
٢٠-٥٠	أكثر من ٤	أقل من ٦	٢-٣ ساعات
٥٠-١٠٠	أكثر من ٤	أقل من ٦	أكثر من ٣ ساعات
أكثر من ١٠٠	أكثر من ٤	أقل من ٦	أكثر من ٤ ساعات
ثانيا: الرصد الثابت السريع:			
أقل من ١ كم	أكثر من ٤	أقل من ٥	أقل من ٥ دقائق
١-٥	أكثر من ٤	أقل من ٥	٥-١٠ دقائق
٥-١٠	أكثر من ٤	أقل من ٥	١٠-١٥ دقيقة
١٠-٢٠	أكثر من ٤	أقل من ٥	١٠-٣٠ دقيقة

طول وقت الرصد الحقلي للرصد الثابت للأجهزة أحادية و ثنائية التردد

طول خط القاعدة (كم)	عدد الأقمار الصناعية المتوفرة	وقت الرصد للأجهزة أحادية التردد (دقيقة)	وقت الرصد للأجهزة ثنائية التردد (دقيقة)
١ ــ ١٠	أكثر من ٦	٢٤	٨
١٠ ــ ٢٠	أكثر من ٦	٣٠	١٠
٢٠ ـ ٥٠	أكثر من ٦	٦٠	٢٠
أكبر من ٥٠	أكثر من ٦	٩٠	٣٠
١ ــ ١٠	أكثر من ٤	٣٦	١٢
١٠ ــ ٢٠	أكثر من ٤	٤٥	١٥
٢٠ ـ ٥٠	أكثر من ٤	٧٥	٢٥
أكبر من ٥٠	أكثر من ٤	١٣٥	٤٥

طول وقت الرصد الحقلي للرصد الثابت لشبكات الثوابت الرأسية
(للوصول لدقة ± ٣٠ ملليمتر في حساب المناسيب)

طول خط القاعدة (كم)	وقت الرصد للأجهزة أحادية التردد (دقيقة)	معامل القياس Sample rate (ثانية)
أقل من ١٠	٣٠	٥
١٠ – ٢٠	٦٠	١٠
٢٠ – ٤٠	١٢٠	١٥
٤٠ – ٦٠	١٨٠	١٥
٦٠ – ٨٠	٢٤٠	١٥
٨٠ – ١٠٠	٣٠٠	١٥
أكبر من ١٠٠	أكثر من ٣٠٠	١٥

أيضا فأن تحديد معامل الأرصاد sample rate (المعدل الزمني بين كل رصدة و الرصدة التالية) يجب أن يتم قبل بدء العمل الحقلي ويتم ضبط أجهزة الاستقبال قبل التوجه للمشروع. الجدول التالي يوضح قيم معامل الأرصاد المقترحة لكافة طرق الرصد بالجي بي أس، بينما يقدم الجدول الآخر نموذجا آخر لمواصفات الرصد بالجي بي أس في إنشاء شبكة ثوابت أرضية بكلتا طريقتي الرصد الثابت التقليدي و السريع.

قيم معامل الأرصاد في طرق الرصد المختلفة

طريقة الرصد	الثابت	الثابت السريع	الذهاب و التوقف	المتحرك
معامل الأرصاد	١٠ ثانية	٥-١٠ ثانية	١-٥ ثانية	٠.٢ ثانية

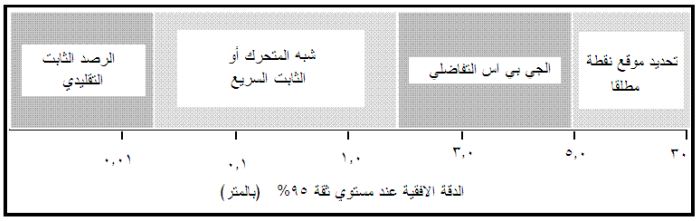
مواصفات رصد شبكة جي بي أس

البند	الرصد الثابت التقليدي	الرصد الثابت السريع
أقصي قيمة لمعامل الدقة PDOP	٥	٥
أقل زمن لفترة الرصد	٣٠ دقيقة	١٥ دقيقة
أقصي معامل أرصاد	١٥ ثانية	١٥ ثانية
أقل زاوية قناع	١٠°	١٠°

١٠-٢-٨ اختيار أنسب طريقة للرصد

يتم اختيار طريقة الرصد بعد وضع الخطوط العريضة لأهداف المشروع و مستوي الدقة المطلوب الوصول إليه ، حيث تتم المفاضلة بين جميع طرق الجي بي أس وخاصة من وجهة نظر تقنية و اقتصادية في نفس الوقت. فإذا كان المشروع – مثلا – بهدف استكشاف عام لمنطقة أو تطوير نظم معلومات جغرافية لأماكن الخدمات الموجودة في مدينة أو تحديث الخرائط صغيرة المقياس فيمكن

الاكتفاء باستخدام أجهزة الاستقبال الملاحية أو المحمولة يدويا (أجهزة أرصاد الشفرة) والتي توفر دقة في حدود ± ٤-٨ متر وبمتوسط ± ٥ مترحيث تكون هذه الدقة مناسبة لمثل هذه التطبيقات و أيضا غير مكلفة ماديا. أما في حالة تطوير نظم معلومات جغرافية لمساحة صغيرة (حي مثلا) أو لأعمال المساحة الهيدروجرافية أو لمراقبة النحر في الشواطئ فأن الدقة المطلوبة ستكون في حدود ± ١ متر أو أقل مما يجعل طريقة الجي بي أس التفاضلي DGPS هي الأنسب وخاصة في حالة توافر مصدر لتصحيحات الأرصاد سواء من جهات توفر هذه الخدمة أو استخدام جهاز مرجعي لحساب تصحيحات الشقرة و نقلها للأجهزة المتحركة سواء لحظيا أو باستخدام التصحيح المكتبي. تعد أجهزة الرصد (النسبي وليس المطلق) المخصصة لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية بديلا مناسبا لمثل هذه التطبيقات (حيث أنها أرخص سعرا من الأجهزة الجيوديسية و أسهل أيضا في التعامل معها). كما أن خدمات التصحيحات التجارية (مثل خدمة OmniStar) تعد بديلا آخر اقتصاديا في حالة عدم توافر جهات حكومية تبث التصحيحات في محيط منطقة العمل ، وكمثال فقد تم استخدام هذه الخدمة التجارية في الرفع الهيدروجرافي لنهر النيل في مصر وأثبتت أنها توفر الوقت اللازم للأعمال الحقلية بنسبة كبيرة مما جعلها تخفض من تكلفة المشروع. أما للرفع المساحي سواء التفصيلي أو الطبوغرافي فأن طرق الرصد المتحرك تعد هي الأنسب و الأوسع انتشارا ، لكن يبقي المفاضلة بين هذه الطرق لتنفيذ التصحيح و الحسابات في الموقع مباشرة RTK أم في المكتب بعد انتهاء العمل الحقلي PPK. في حالة توقيع نقاط معلومة الإحداثيات فأن طريقة RTK هي البديل الوحيد لان التوقيع اللحظي يتطلب التصحيح اللحظي لأرصاد الجي بي أس ، أما في حالة الرفع المساحي فأن طريقة PPK من الممكن أن تكون هي الأفضل حيث أنها تتيح للمستخدم التحقق من الأرصاد و استبعاد الغير دقيق منها قبل إجراء حسابات تحديد الإحداثيات النهائية للنقاط المرصودة وذلك من خلال البرامج المكتبية المتخصصة بعد انتهاء العمل الميداني ، وان كان البعض يستعمل طريقة RTK في الرفع المساحي لأنها أسرع ولا تحتاج لأية أعمال مكتبية. أما لتطبيقات المساحة الجيوديسية و المساحة الأرضية عالية الدقة فلا يوجد بديل عن طرق الرصد الثابت.



شكل (١٠-٥) مثال للدقة المتوقعة من طرق الرصد المتعددة

١٠-٢-٩ المتطلبات الأخرى

أيضا تجهيز المتطلبات اللوجستية اللازمة يعد من مكونات التخطيط للمشروع لأنه يؤثر علي الوقت المستغرق لتنفيذ العمل الحقلي. يجب عمل حصر بالمتطلبات (عدد و مواصفات السيارات المناسبة لمنطقة العمل ، عدد أفراد الفريق الحقلي وخبراتهم (الجدول التالي)، مدي توافر مصدر طاقة دائم لشحن بطاريات أجهزة الرصد ، إمكانيات الاتصالات التليفونية أو اللاسلكية في منطقة العمل ، إمكانيات إقامة مخيم لأفراد الفريق الحقلي .... الخ) وإعدادها قبل بدء العمل الميداني.

مثال لأفراد الفريق الحقلي و مسؤولياتهم

الوظيفة	المسؤوليات
رئيس الفريق الحقلي	- تنظيم الأرصاد طبقا لخطة الرصد. - التحقق من جودة إشارات الأقمار الصناعية. - التحقق من جودة النتائج يوميا و تعديل خطة الرصد إن لزم. - التغلب علي الصعوبات الفنية و الحياتية للفريق.
راصدين	- التأكد من توافر الأجهزة و المعدات اللازمة. - التأكد من شحن بطاريات الأجهزة يوميا. - التأكد من احتلال النقطة المطلوب رصدها فعلا. - ضبط أفقية و تسامت جهاز الاستقبال/الهوائي. - قياس ارتفاع الجهاز/الهوائي. - تشغيل الجهاز. - مراقبة عمل الجهاز و استمرارية الأرصاد. - تكملة تسجيل كل بيانات النقطة في جدول الرصد الحقلي.
مشغل بيانات	- التأكد من تجميع بيانات كل الأجهزة. - نقل البيانات من الأجهزة إلي الحاسب الآلي. - عمل نسخ احتياطية backup من كل الأرصاد. - حساب أرصاد الجي بي أس. - ضبط الحلقات أولا بأول. - مراجعة النتائج وإعداد تقرير إلي رئيس الفريق الحقلي.

١٠-٣ الرصد الحقلي

تبدأ خطوات العمل الحقلي باستكشاف منطقة العمل بصورة عامة ، من خلال الخرائط أو المرئيات الفضائية أو الصور الجوية المتوفرة ، كما يمكن الاستعانة بالطرق الحديثة المتوفرة علي شبكة الانترنت مثل برنامج جوجل أيرث Google Earth أو موقع http://www.wikimapia.org المجاني. في مرحلة الاستكشاف يتم اختيار مواقع النقاط الثابتة المطلوب إنشاؤها ويتم إعداد كروكي لكل موقع و طرق الوصول إليه. ويجب مراعاة المواصفات الفنية لتوزيع نقاط الثوابت و مواصفات موقع كل نقطة وخاصة فيما يتعلق بخلو الموقع المقترح من أية عوائق ربما تكون سببا في حدوث خطأ تعدد المسار Multipath Error الذي يؤثر علي جودة و دقة أرصاد الجي بي أس. وقبل بدء الرصد الحقلي يتم مراجعة كافة معاملات التشغيل configuration or setup parameters المخزنة في الجهاز أو وحدة التحكم ، مثل نوع الرصد و معدل الأرصاد وزاوية القناع ... الخ.

إن أجهزة استقبال الجي بي أس تعد أجهزة متطورة وتكاد تكون عملية استقبال و تخزين إشارات الأقمار الصناعية عملية آلية ، وتنحصر الأخطاء البشرية في بعض النقاط التي يجب مراعاتها وبكل دقة:

- إعداد جدول لتسجيل بيانات كل محطة يتم رصدها وخاصة: اسم النقطة ، نوع و موديل و رقم جهاز الاستقبال ، نوع و موديل و رقم الهوائي إن كان منفصلا عن جهاز الاستقبال ، اسم الراصد ، وقت بدء و إنهاء عملية تجميع الأرصاد.
- ضبط تسامت و أفقية الجهاز أو الهوائي بعناية تامة ودقة ، والتأكد من ضبط الأفقية قبل و بعد عملية تجميع الأرصاد.
- قياس ارتفاع الجهاز بكل دقة مرة قبل بدء تشغيله و مرة أخري بعد انتهاء عملية الرصد. علما بأن بعض الأجهزة تقيس الارتفاع مائلا و بعضها يقيسه رأسيا ، فيجب التأكد من كتيب تشغيل كل جهاز من الطريقة الصحيحة المناسبة.
- إدخال ارتفاع الجهاز في وحدة التحكم المصاحبة له ، وأيضا تسجيل الارتفاع في جدول الرصد ، وهذه خطوة هامة للتحقق من أن كلا القراءتين سليمتين.
- في الرصد المتحرك يتم قياس ارتفاع الانتنا عن سطح الأرض سواء كانت مركبة علي عصا الرصد pole أو مثبتة علي السيارة من الخارج.
- اختيار أسما مناسبا لأرصاد كل نقطة في كل فترة رصد عند إدخال البيانات في وحدة التحكم (اسم المشروع Job).
- للرصد المتحرك اللحظي RTK يجب ضبط معاملات استقبال التصحيحات في كلا من الجهاز المرجعي و الجهاز المتحرك – طبقا لكتيبات التشغيل - بحيث يكونا متطابقين لضمان إرسال و استقبال التصحيحات.
- متابعة قيمة PDOP – علي شاشة الجهاز - طوال فترة الرصد و تسجيل تغيرها بمرور زمن الرصد.

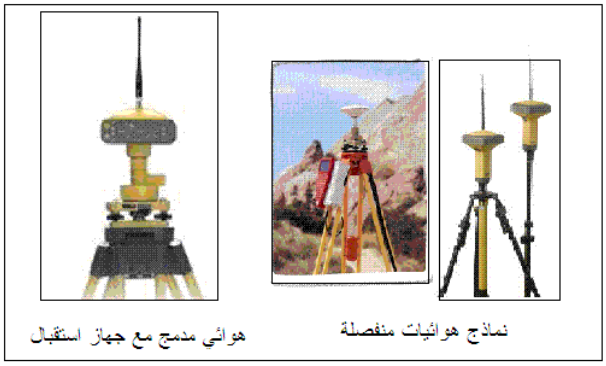
نموذج رصد ثابت بجهاز تحديد المواقع GPS

(مجموعة من النقط)

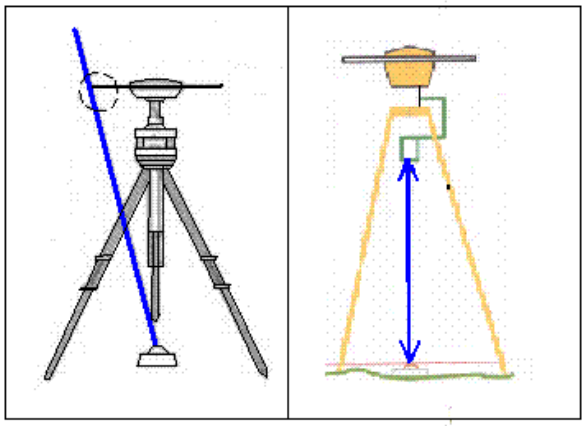
اسم الراصد : .....

معلومات عن المشروع:	**معلومات عن الموقع:**
اسم المشروع: ..... رقم النقطة:	الإحداثيات التربيبية للنقطة:
نوع النقطة : ☐ ثابت Reference ☐ متحرك Rover	خط الطول: .....
نوع الرصد : ☐ ثابت ☐ ثابت سريع	دائرة العرض: .....
التاريخ: / / 142 هـ الموافق / / م	الارتفاع: .....
وقت بداية الرصد(التوقيت المحلي):	
وقت نهاية الرصد(التوقيت المحلي) :	
معلومات عن الجهاز:	**معلومات عن الأقمار:**
اسم الجهاز وموديله :	الأقمار عند بداية الرصد: .....
رقم وحدة المستقبل:	الأقمار عند نهاية الرصد : .....
رقم الهوائي: ..... ارتفاع الهوائي: ..... م	التوزيع الهندسي للأقمار: ..... (PDOP)
ملحوظات:	

شكل (١٠-٦) نموذج لكارت بيانات حقلية لمحطة جي بي أس



شكل (١٠-٧) بعض أجهزة الرصد الجيوديسية



شكل (١٠-٨) بعض طرق قياس ارتفاع الجهاز

شكل (١٠-٩) العمل الحقلي للرصد المتحرك اللحظي

في تطبيقات تجميع البيانات المكانية و غير المكانية Attributes لنظم المعلومات الجغرافية فيجب تصميم حقول قاعدة بيانات المشروع قبل التوجه للحقل. مثلا لمشروع تجميع بيانات المدارس فأن قاعدة البيانات تتكون حقولها من: اسم المدرسة ، نوع المرحلة التعليمية ، اسم الحي و الشارع ، .... الخ ، وبهذه الخطوة يتم تنفيذ العمل الحقلي أسرع عند رصد موقع وإدخال البيانات المطلوبة لكل مدرسة.

شكل (١٠-١٠) العمل الحقلي بأجهزة نظم المعلومات الجغرافية

في تطبيقات التوقيع المساحي Setting-Out (باستخدام طريقة الرصد المتحرك اللحظي RTK) يجب إعداد ملف بإحداثيات النقاط المطلوب توقيعها ورفع الملف إلي جهاز الاستقبال – أو وحدة التحكم – قبل بدء العمل الحقلي. وفي الحقل يتم استدعاء الملف و البدء في توقيع كل نقطة حيث يظهر علي شاشة الجهاز الفروق (مسافة و اتجاه) بين الإحداثيات الحالية و الإحداثيات المطلوب توقيعها ويبدأ الراصد في التحرك حتى يتلاشي هذا الفرق فيقوم يوضع العلامة الأرضية في مكانها المطلوب.

في تطبيقات الرفع الطبوغرافي لمساحة كبيرة يجب إعداد تصور لكيفية تنفيذ العمل الحقلي ومواصفاته وخاصة المسافة الأفقية بين النقاط التي تحقق الوصول لأهداف و دقة المشروع. تعتمد هذه المسافة علي الفترة الكنتورية اللازمة لإعداد الخرائط الكنتورية المطلوبة ، وحيث أن عملية توجيه الراصد في المناطق الصحراوية (حيث لا توجد أهداف أو علامات أرضية) ليست سهلة فيفضل إعداد مسارات (خطوط) الرصد في ملفات – ملفات أوتوكاد مثلا - و تحميلها إلي أجهزة الاستقبال قبل بدء العمل الحقلي. وبذلك يتم التأكد من أن عملية الرفع المساحي بالجي بي أس تمت كما هو مخططا لها و بالكثافة المطلوبة للبيانات والتي تؤدي لتحقيق أهداف المشروع.

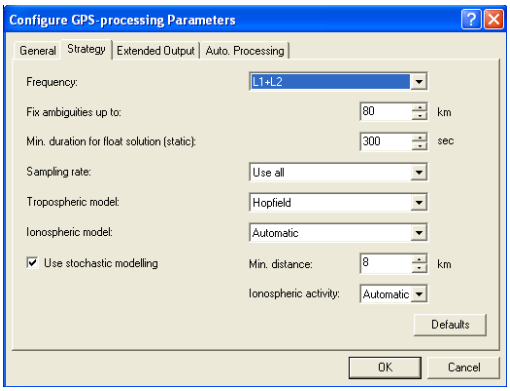
من المهم جدا تحميل بيانات الأرصاد الحقلية من أجهزة الاستقبال إلي الحاسب الآلي Data Download بعد نهاية كل يوم عمل حقلي لفحص الملفات والتأكد من سلامتها وعمل نسخ احتياطية منها علي أقراص مدمجة (CD or DVD). أما في الأعمال الجيوديسية فيفضل إجراء حسابات الأرصاد بصورة مبدئية – يوميا بعد انتهاء العمل الحقلي – للتأكد من جودة الأرصاد بصورة أولية لحين البدء في تنفيذ الحسابات النهائية ، وفي حالة وجود مشاكل في أحدي النقاط المرصودة أو أحد خطوط القواعد فيتم إعادة الرصد في اليوم التالي مباشرة.

١٠-٤ الحسابات و الضبط

تقوم كل شركة من الشركات المنتجة لأجهزة استقبال الجي بي أس بتطوير صيغ format خاصة بها لتخزين ملفات الأرصاد. وكل شركة تنتج برنامج حسابات software خاص بها والذي يستطيع التعامل بسهولة مع صيغ الملفات الناتجة من أجهزة من نفس الشركة. في حالة وجود أكثر من نوع من أنواع أجهزة استقبال الجي بي أس المستخدمة في مشروع معين فأن أي برنامج حساب لن يستطيع التعامل مع صيغ ملفات صادرة من أجهزة من شركات أخري. هنا نلجأ لصيغة قياسية standard format تسمح باستخراج البيانات – أو الأرصاد – من أي ملف أرصاد ، وهذه الصيغة تسمي راينكس RINEX وهذا الاسم اختصار لكلمات: صيغة تبادل الملفات التي لا تعتمد علي نوع الجهاز Receiver INdependent EXchange format. كمثال: إذا كان لدينا مشروع تم فيه استخدام أجهزة جي بي أس من شركة ترمبل و أجهزة أخري من شركة ليكا ، فأننا نستدعي البيانات من أجهزة ترمبل download باستخدام برنامج هذه الشركة ثم تعيد تصدير Export الملفات إلي صيغة راينكس حتى يستطيع برنامج حسابات شركة ليكا أن يتعامل معها ، والعكس صحيح أيضا حيث يمكن تحميل بيانات أجهزة ليكا إلي الحاسب الآلي ثم تعيد تصديرها بصيغة راينكس حتى يتعامل معها برنامج حسابات شركة ترمبل.

أما خطوات حساب أرصاد الجي بي أس Data Processing فتختلف باختلاف طريقة الرصد المستخدمة ، لكن التسلسل المنطقي للخطوات يشمل:

- تحميل البيانات من أجهزة الاستقبال إلي الحاسب الآلي.
- اختيار معاملات الحساب Processing Parameters المناسبة لطريقة الرصد المستخدمة.
- فحص معلومات كل نقطة مرصودة (اسم النقطة ، ارتفاع الجهاز ، نوع الجهاز و نوع الهوائي .... الخ).
- اختيار خطوط القواعد المستقلة independent baselines لحسابها.
- في حالة توافر ملفات دقيقة لمدارات الأقمار الصناعية Precise Orbits فيجب استدعائها للبرنامج مع التأكد من أنها ضمن معاملات الحساب المطلوبة.
- تنفيذ حساب خطوط القواعد Baseline Processing.
- مراجعة و فحص النتائج.



شكل (١٠-١١) مثال لضبط معاملات الحساب المطلوبة

توجد عدة خطوط عريضة تساعد المستخدم في فحص و تقييم نتائج حسابات خطوط القواعد ومنها ما هو موجود في الجدول التالي.

عناصر تقييم جودة حلول خطوط القواعد

العنصر	الحدود المقبولة
<u>نوع الحل:</u> حل ثابت للتردد الأول L1 حل ثابت خالي مكن الأيونوسفير حل غير ثابت خالي من الأيونوسفير	 مفضل للخطوط أقل من ١٠ كم للخطوط ١٠ – ٧٥ كم مفضل للخطوط أكبر من ٧٥ كم
<u>التبـــاين المرجعـــي Reference Variance:</u> القيمة الاسمية القيمة القصوى لأرصاد L1 القيمة القصوى لأرصاد L1, L2	 من ١ إلي ١٠ ١٠ (يرفض إن زاد عن ٢٠) ٥ (يرفض إن زاد عن ١٠)
<u>الخطأ التربيعي المتوسط RMS:</u> للخطوط أقل من ٥ كم للخطوط أقل من ٢٠ كم للخطوط ٢٠ - ٥٠ كم	 ١٠ مللي ١٥ مللي ٣٠ مللي
نسبة التباين Variance Ratio لحل قيمة الغموض الصحيح Integer Solution	أكبر من ١.٥ للحل الثابت Fixed أقل من ١.٥ للحل غير الثابت Float أكبر من ١.٥ وأقل من ٣.٠: تحذير أو مشكوك به.

ويعرض الشكل التالي مثالا لنتائج حسابات الخطوط حيث يظهر نوع الحل لكل خط و قيمة معامل الحل Ratio وأيضا التباين المرجعي ، مما يسهل فحص جودة حلول الخطوط و اختيار الأدق منهم للدخول في عملية ضبط الشبكة.

Station (From)	(To)	Solution Type	Slope Dist (m)	Ratio	Reference Variance	Entered Ant Hgt (From)	(To)
A 1001	MESAS	Iono free fixed	20841.965	6.6	3.814	1.674	1.559
A 1001	SJH 44	L1 fixed	4426.843	13.3	11.994	2.125	1.714
COMERIO	A 1001	Iono free float	28604.039		3.059	2.122	2.125
COMERIO	DRYDOCK	Iono free fixed	26731.603	17.2	4.845	2.122	1.683
COMERIO	MESAS	Iono free fixed	17436.970	20.4	3.522	2.122	1.504
COMERIO	MP 1	Iono free fixed	26466.871	15.9	3.535	2.122	1.651
COMERIO	SJH 44	Iono free fixed	26791.206	8.0	3.748	2.122	1.714
DRYDOCK	A 1001	L1 fixed	2099.928	3.5	23.933	1.683	2.125
DRYDOCK	SJH 44	L1 fixed	2986.722	4.1	19.858	1.683	1.714
MESAS	A 1001	Iono free fixed	20841.967	1.5	3.761	1.504	2.125
MESAS	DRYDOCK	Iono free fixed	19984.666	16.6	5.558	1.504	1.683
MESAS	SJH 44	Iono free fixed	21973.981	9.3	2.783	1.504	1.714
MP 1	A 1001	L1 fixed	2160.311	4.0	21.693	1.651	2.125
MP 1	PN 007	Iono free fixed	5114.381	19.0	4.801	1.775	2.143
MP 1	PN 030	L1 fixed	4609.931	8.5	27.470	1.775	1.656

شكل (١٠-١٢) مثال لنتائج حسابات خطوط القواعد

أما في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية وطريقة الجي بي أس التفاضلي DGPS فأن النتائج تشمل – غالبا- الإحداثيات المحسوبة للنقاط المرصودة وقيم الانحراف المعياري فيها.

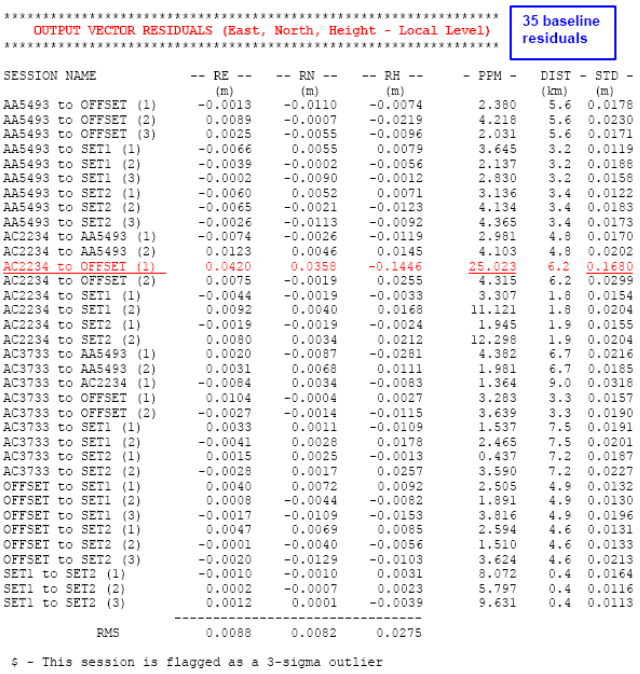
Point	Ref No.	Point Description	FL SP Coordinate X	Y	Obs	95% Precision * Y	X	X-Y	Z
38-1	38	Concrete Bulkhead, in line with East edge of Building	920,742.89	522,331.98	720	0.6 ft	0.6 ft	0.8 ft	0.9 ft
38-2	38	Concrete Bulkhead, in line with West edge of Building	920,696.28	522,324.20	120	1.0 ft	1.0 ft	1.3 ft	1.6 ft
94-3	94	Northeast corner of concrete pier @ La Coloma Marina	918,350.11	525,035.11	723	0.5 ft	0.5 ft	0.7 ft	0.8 ft
94-4	94	Northwest corner of concrete pier @ La Coloma Marina	918,343.00	525,039.66	101	1.2 ft	1.2 ft	1.6 ft	2.7 ft
110-5	110	Point on corrugated steel bulkhead	917,156.88	525,821.07	676	0.9 ft	0.9 ft	1.1 ft	1.6 ft
116-6	116	Northeast corner of wooden pier @ Langer-Krell Marine Electronics	916,946.64	525,963.01	724	0.5 ft	0.5 ft	0.6 ft	0.7 ft
46-7	46	Northeast corner of wooden pier	919,868.69	522,728.61	794	0.5 ft	0.5 ft	0.7 ft	1.4 ft

شكل (١٠-١٣) مثال لنتائج حسابات الجي بي أس التفاضلي

يعد ضبط الشبكة Network Adjustment من أهم خطوات حسابات أرصاد الجي بي أس ، ويتكون من عدة خطوات متتالية ضمانا لاكتشاف أيه أخطاء outliers والتوصل لأدق تقديرات الإحداثيات النهائية للنقاط المرصودة. وتشمل هذه الخطوات:

أ- تحليل خطأ القفل في كل حلقة لضمان حدود قيمه طبقا للمواصفات المطلوبة.
ب- إجراء عملية ضبط غير مقيد Free Net Adjustment (عن طريق تثبيت إحداثيات نقطة واحدة فقط غالبا تكون اختيارية) لفحص جودة الأرصاد ذاتها.
ت- استخدام النتائج الإحصائية للضبط غير المقيد في اكتشاف أية أرصاد غير جيدة Outliers or Blunders وحذفها (عن طريق الاختبارات الإحصائية المعروفة مثل اختبار تاو).
ث- إجراء الضبط النهائي للشبكة Final Constrained Adjustment (سواء بتثبيت إحداثيات نقطة واحدة معلومة فقط Minimal-Constrained أو بتثبيت إحداثيات أكثر من نقطة معلومة Over-Constrained).

الشكل التالي يقدم مثال لنتائج الضبط الغير مقيد لأحدي شبكات الجي بي أس المكونة من عدد ٣٥ خط قاعدة. بسهولة يمكن ملاحظة أن الخط الثاني عشر به مشكلة حيث أن قيمة الانحراف المعياري له تساوي ٠.١٦٨ متر و الدقة النسبية ppm له تساوي ٢٥.٠٢٣ جزء من المليون. كما أن برنامج الحسابات قد عرض ملاحظة في آخر صفحة النتائج أن هذا الخط محتمل أن يكون رصدة خارج الحدود outlier. بينما يعرض الشكل الآخر مثال لنتائج الضبط المقيد والذي يجب فحص نتائجه بعناية – وخاصة الدقة النسبية prec – ضمانا للوصول للدقة المنشودة للمشروع. كما يقدم الشكل الآخر مثال للإحداثيات النهائية للنقاط المرصودة و دقة كل نقطة.



****
OUTPUT VECTOR RESIDUALS (East, North, Height - Local Level)
****

35 baseline residuals

SESSION NAME	-- RE -- (m)	-- RN -- (m)	-- RH -- (m)	- PPM -	DIST - (km)	STD - (m)
AA5493 to OFFSET (1)	-0.0013	-0.0110	-0.0074	2.380	5.6	0.0178
AA5493 to OFFSET (2)	0.0089	-0.0007	-0.0219	4.218	5.6	0.0230
AA5493 to OFFSET (3)	0.0025	-0.0055	-0.0096	2.031	5.6	0.0171
AA5493 to SET1 (1)	-0.0066	0.0055	0.0079	3.645	3.2	0.0119
AA5493 to SET1 (2)	-0.0039	-0.0002	-0.0056	2.137	3.2	0.0188
AA5493 to SET1 (3)	-0.0002	-0.0090	-0.0012	2.830	3.2	0.0158
AA5493 to SET2 (1)	-0.0060	0.0052	0.0071	3.136	3.4	0.0122
AA5493 to SET2 (2)	-0.0065	-0.0021	-0.0123	4.134	3.4	0.0183
AA5493 to SET2 (3)	-0.0026	-0.0113	-0.0092	4.365	3.4	0.0173
AC2234 to AA5493 (1)	-0.0074	-0.0026	-0.0119	2.981	4.8	0.0170
AC2234 to AA5493 (2)	0.0123	0.0046	0.0145	4.103	4.8	0.0202
AC2234 to OFFSET (1)	0.0420	0.0358	-0.1446	25.023	6.2	0.1680
AC2234 to OFFSET (2)	0.0075	-0.0019	0.0255	4.315	6.2	0.0299
AC2234 to SET1 (1)	-0.0044	-0.0019	-0.0033	3.307	1.8	0.0154
AC2234 to SET1 (2)	0.0092	0.0040	0.0168	11.121	1.8	0.0204
AC2234 to SET2 (1)	-0.0019	-0.0019	-0.0024	1.945	1.9	0.0155
AC2234 to SET2 (2)	0.0080	0.0034	0.0212	12.298	1.9	0.0204
AC3733 to AA5493 (1)	0.0020	-0.0087	-0.0281	4.382	6.7	0.0216
AC3733 to AA5493 (2)	0.0031	0.0068	0.0111	1.981	6.7	0.0185
AC3733 to AC2234 (1)	-0.0084	0.0034	-0.0083	1.364	9.0	0.0318
AC3733 to OFFSET (1)	0.0104	-0.0004	0.0027	3.283	3.3	0.0157
AC3733 to OFFSET (2)	-0.0027	-0.0014	-0.0115	3.639	3.3	0.0190
AC3733 to SET1 (1)	0.0033	0.0011	-0.0109	1.537	7.5	0.0191
AC3733 to SET1 (2)	-0.0041	0.0028	0.0178	2.465	7.5	0.0201
AC3733 to SET2 (1)	0.0015	0.0025	-0.0013	0.437	7.2	0.0187
AC3733 to SET2 (2)	-0.0028	0.0017	0.0257	3.590	7.2	0.0227
OFFSET to SET1 (1)	0.0040	0.0072	0.0092	2.505	4.9	0.0132
OFFSET to SET1 (2)	0.0008	-0.0044	-0.0082	1.891	4.9	0.0130
OFFSET to SET1 (3)	-0.0017	-0.0109	-0.0153	3.816	4.9	0.0196
OFFSET to SET2 (1)	0.0047	0.0069	0.0085	2.594	4.6	0.0131
OFFSET to SET2 (2)	-0.0001	-0.0040	-0.0056	1.510	4.6	0.0133
OFFSET to SET2 (3)	-0.0020	-0.0129	-0.0103	3.624	4.6	0.0213
SET1 to SET2 (1)	-0.0010	-0.0010	0.0031	8.072	0.4	0.0164
SET1 to SET2 (2)	0.0002	-0.0007	0.0023	5.797	0.4	0.0116
SET1 to SET2 (3)	0.0012	0.0001	-0.0039	9.631	0.4	0.0113
RMS	0.0088	0.0082	0.0275			

$ - This session is flagged as a 3-sigma outlier

شكل (١٠-١٤) مثال لنتائج ضبط غير مقيد شبكة جي بي أس

From	To	±S	Slope Dist	Prec
A	C	0.0116	12,653.537	1,089,000
A	E	0.0100	7,183.255	717,000
B	C	0.0116	10,644.669	916,000
B	D	0.0097	11,211.408	1,158,000
D	C	0.0118	17,577.670	1,484,000
D	E	0.0107	9,273.836	868,000
F	A	0.0053	6,430.014	1,214,000
F	C	0.0115	10,617.871	921,000
F	E	0.0095	6,616.111	696,000
F	D	0.0092	8,859.036	964,000
F	B	0.0053	10,744.076	2,029,000
B	F	0.0053	10,744.076	2,029,000
A	F	0.0053	6,430.014	1,214,000

شكل (١٠-١٥) مثال لنتائج ضبط نهائي شبكة جي بي أس

Station	X	Y	Z	Sx	Sy	Sz
A	402.35087	-4,652,995.30109	4,349,760.77753			
B	8,086.03178	-4,642,712.84739	4,360,439.08326			
C	12,046.58076	-4,649,394.08256	4,353,160.06335	0.0067	0.0068	0.0066
E	-4,919.33908	-4,649,361.21987	4,352,934.45341	0.0058	0.0058	0.0057
D	-3,081.58313	-4,643,107.36915	4,359,531.12202	0.0055	0.0056	0.0057
F	1,518.80119	-4,648,399.14533	4,354,116.68936	0.0030	0.0031	0.0031

شكل (١٠-١٦) مثال لنتائج إحداثيات نقاط شبكة جي بي أس

١٠-٥ تحويل الإحداثيات

في آخر خطوات حسابات أرصاد الجي بي أس يتم تحويل الإحداثيات النهائية المضبوطة للمواقع المرصودة من المجسم العالمي WGS84 إلي المرجع المحلي (إن لزم ذلك في حالة توقيع هذه النقاط علي خرائط وطنية مختلفة المرجع). تتكون هذه الخطوة الأخيرة من مراحل الحسابات من خطوتين فرعيتين: (١) تحويل المرجع Datum Transformation ، (٢) إسقاط الخرائط Map Projection. جميع البرامج التجارية commercial software الخاصة بحسابات الجي بي أس تحتوي طرق لتنفيذ كلتا الخطوتين ، بشرط تعيين قيم المعاملات اللازمة.

تحويل المراجع يشمل تحويل الإحداثيات الجيوديسية ثلاثية الأبعاد (خط الطول و دائرة العرض و الارتفاع الجيوديسي) أو الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية (X, Y, Z) من المرجع الجيوديسي العالمي WGS84 - الذي تنسب إليه أرصاد نظام الجي بي أس – إلي المرجع الجيوديسي الوطني لدولة معينة. يلزم تنفيذ هذه الخطوة معرفة قيم لعناصر التحويل السبعة بين هذين المرجعين. يمكن استخدام القيم الموجودة في الجدول مع مراعاة أنها ليست عالية الدقة ، أو الحصول من الجهات الحكومية علي قيم أكثر دقة لعناصر التحويل في هذا البلد. كما يمكن أيضا حساب قيم لعناصر التحويل في حالة معرفة الإحداثيات المحلية لثلاثة نقاط علي الأقل ورصدهم مع شبكة الجي بي أس الجديدة للحصول علي إحداثياتهم علي WGS84 أيضا.

أما الخطوة الثانية فتهدف لإسقاط الإحداثيات ثلاثية الأبعاد إلي إحداثيات ثنائية الأبعاد لتوقيعها علي الخرائط. هنا لا بد من معرفة نوع المسقط المستخدم – في الخرائط المطلوب التوقيع عليها – بالإضافة لقيم العناصر الخمسة التي تحدد مواصفات هذا المسقط.

يجب الإشارة إلي أنه في حالة طريقة الرصد المتحرك اللحظي RTK فيجب تغذية جهاز استقبال الجي بي أس (أو وحدة التحكم به) بقيم عناصر التحويل بين المراجع و أيضا بقيم معاملات نظام الإسقاط حتى يستطيع الجهاز تحويل الإحداثيات - من WGS84 إلي الإحداثيات المسقطة المطلوبة – آنيا في نفس لحظة الرصد ، وبالتالي تكون الإحداثيات الناتجة في الموقع في نظام الإسقاط الوطني المطلوب مباشرة.

أيضا تجدر الإشارة إلي أن دمج أرصاد الجي بي أس مع أرصاد مساحة أرضية أصبح متاحا الآن سواء علي مستوي الأجهزة أو مستوي برامج الحسابات. تم إنتاج أجهزة تدمج مستقبل جي بي أس مع محطة شاملة Total Station في جهاز واحد لتحقيق سهولة في العمل بجهاز واحد بدلا من جهازين (مثال جهاز Smart Station من إنتاج شركة ليكا). كما أن برامج الحسابات الحديثة أصبحت تتعامل مع كلا من أرصاد الجي بي أس وأيضا أرصاد أجهزة المساحة الأرضية (مثل برنامج Geomantic Office من شركة ترمبل أو برنامج Geo Office من شركة ليكا) حيث تتم خطوات الحسابات و الضبط و إسقاط الخرائط لكل أنواع الأرصاد في إطار واحد.

الفصل الحادي عشر

حسابات الجي بي أس

١١-١ مقدمة

يهدف هذا الفصل الي التعرف بصورة تفصيلية عن خطوات الحساب و خاصة ضبط الشبكات للأرصاد المكانية باستخدام تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع، بالإضافة لموضوع تحويل ارتفاعات الجي بي أس الي مناسيب. أيضا يتعرض هذا الفصل لنظم الملاحة بالأقمار الصناعية الأخرى المشابهه للجي بي أس.

١١-٢ عيوب الشبكات الجيوديسية في ضبط أقل المربعات

تعاني أي شبكة مساحية أو جيوديسية من عيوب تحديد موقعها المطلق علي سطح الأرض ، حيث أن معظم القياسات المساحية تكون نسبية و ليست مطلقة. أي أننا نقيس مسافة – مثلا – بين نقطتين لنعبر عن الوضع النسبي لإحداهما عن الأخرى ، لكننا لا نعرف الموقع الحقيقي المطلق (الإحداثيات) لأحدي هاتين النقطتين علي الأقل. ومن هنا فأن عملية الضبط التي نجريها لن تنجح في حساب إحداثيات هذه الشبكة (رياضيا لن نتمكن من إيجاد مقلوب المصفوفة [ATPA] في الفصل السادس).

ترجع عيوب الشبكات Datum Defects إلي كبقية تحديد المرجع Datum الذي تنسب إليه هذه الأرصاد أو الشبكات. أو بمعني آخر كيفية تحديد نظام الإحداثيات المطلوب التعامل معه وأين تقع نقطة الأصل له واتجاهات محاوره الثلاثة بالنسبة للأرض. تتكون عيوب الشبكات من ٧ عناصر أو عيوب:

- ثلاثة عناصر لتحديد موقع مركز نظام الإحداثيات
- ثلاثة عناصر لتحديد اتجاه محاور النظام.
- عنصر لتحديد معامل القياس.

فإذا أخذنا مثال شبكات المثلثات Triangulation Network فأنها تعاني من العيوب السبعة ، حيث أن أرصاد هذه الشبكات تتكون من قياس الزوايا الداخلية للمثلثات ، فلا يوجد بها إحداثيات مطلقة أو مسافات أو انحرافات. لذلك كان يتم الرصد الفلكي لتحديد الإحداثيات المطلقة (خط الطول و دائرة العرض) لبعض نقاط الشبكة وأيضا رصد الانحراف الفلكي لبعض الخطوط لتحديد اتجاهات الشبكة في الفراغ orientation. أما معامل القياس فكان يتم تحديده من خلال قياس بعض أطوال الخطوط في الشبكة ، وبذلك كان يتم التغلب علي العيوب السبعة للشبكة ومن ثم التوصل إلي الإحداثيات المطلقة لكل نقاطها. أما شبكات المثلثات مقاسة الأضلاع Trilateration Network فتعاني من ٦ عيوب فقط حيث أن معامل القياس معلوم لان أرصاد هذه الشبكات تتكون من المسافات بين كل نقطة و الأخرى ، أي أن هذا النوع من الشبكات يحتاج أيضا للقياسات الفلكية سواء للإحداثيات أو الانحرافات.

أما في شبكات الجي بي أس: يوجد فقط ٣ عيوب ، فعيوب تحديد اتجاه محاور النظام وأيضا عنصر معامل القياس تكون معلومة. يرجع ذلك إلي أن قياسات الجي بي أس ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) تمكننا من حساب انحراف وطول هذا الخط:

- ظل (tan) انحراف الخط = $\Delta Y/\Delta X$
- طول الخط = الجذر التربيعي $[\Delta X^2+\Delta Y^2+\Delta Z^2]$

وبالتالي فلا يوجد في شبكة الجي بي أس إلا ٣ عيوب لتحديد مركز محاور نظام الإحداثيات. أي يلزمنا في شبكات الجي بي أس تحديد أو معرفة الإحداثيات المطلقة لنقطة واحدة فقط في الشبكة ومنها يمكن حساب إحداثيات جميع نقاط الشبكة.

إذا كان لدينا نقطة مرجعية معلومة الإحداثيات Reference Control Station فنثبت إحداثياتها أثناء عملية الضبط Fixed Point (أي أن هذه الإحداثيات لن تأخذ أيه تصحيحات وستظل قيمتها ثابتة) وبالتالي حساب إحداثيات باقي النقاط. وهذه الحالة من حالات ضبط مجموع أقل المربعات تسمي الضبط مع أقل عدد من الشروط الخارجية Minimal-Constraints Adjustment. وهذه هي أفضل الحالات حيث أن الدقة الناتجة للإحداثيات ستعبر فقط عن دقة قياسات الجي بي أس المرصودة.

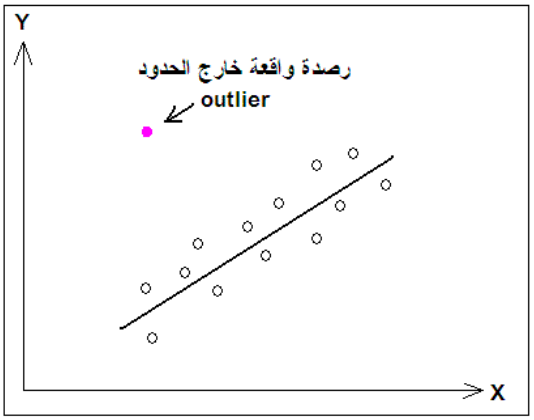
أما إذا كانت شبكة الجي بي أس المرصودة تحتوي علي أكثر من نقطة مرجعية معلومة الإحداثيات يتم تثبيت قيمهم أثناء عملية الضبط فتسمي هذه الحالة الضبط مع شروط خارجية أكثر من اللازم Over-Constraints Adjustment. وهي حالة غير مفضلة في الأحوال العادية لأنه في حالة وجود "عدم توافق" بين إحداثيات النقط المرجعية فأن هذه الاختلافات ستنتقل إلي إحداثيات الشبكة المرصودة بجميع نقاطها ، أي أن الدقة الناتجة لإحداثيات نقاط الشبكة المرصودة ستعبر ليس فقط عن دقة قياسات الجي بي أس إنما أيضا عن دقة النقاط المرجعية المثبتة.

٣-١١ اكتشاف أخطاء الأرصاد بعد الضبط

تعتمد نظرية مجموع أقل المربعات – في أساسياتها – علي مبدأ أن الأخطاء أو المتبقيات residuals المصاحبة للأرصاد هي عبارة عن أخطاء طبيعية أو عشوائية normal or random errors ، وتقوم طريقة الضبط بتوزيع هذه الأخطاء بصورة تضمن الوصول لأحسن تقدير للكميات المجهولة (الإحداثيات مثلا). أي أن الأخطاء المنتظمة Systematic Errors (مثل تأثير خطأ التروبوسفير) لا بد من حسابها و تصحيحها قبل بدء عملية الضبط ذاتها. فإذا لم يتم ذلك – لبعض الأرصاد المقاسه – فأنه سيؤثر بشدة علي جودة النتائج التي يتم حسابها. ومن هنا فأن فحص النتائج يعد من أهم خطوات ضبط الأرصاد أو الشبكات في تطبيقات الجي بي أس لاكتشاف أية أرصاد خاطئة Erroneous Observations وحذفها و إعادة ضبط الشبكة مرة أخري.

الأرصاد الواقعة خارج الحدود Outliers هي أرصاد أو قياسات تقع خارج حدود معينة (يتم حسابها) من مستويات الثقة، وبالتالي فأنها أرصاد غير مرغوب بها ويجب حذفها حتى لا تؤثر علي

باقي الأرصاد ومن ثم علي جودة النتائج. لنأخذ مثال بسيط: إذا قسنا مسافة عدد من المرات وكانت قيمها هي ١١.٢٤ ، ١١.٢١ ، ١١.٢٧ ، ١١.٢٨ ، ١١.٢٣ ، ١٧.٨٨ متر. من الواضح أن القياسات الخمسة الأولي قريبة جدا من بعضها البعض بينما الرصدة الأخيرة بعيدة جدا عنهم. مما يجعلنا نشك أن هذا القياس الأخير حدث به خطأ ضخم سواء نتيجة الجهاز المستخدم أو الراصد أو الظروف الجوية لعملية الرصد ذاتها ، وهذا ما نطلق عليه "الرصدة الواقعة خارج الحدود outlier". فإذا قمنا بحساب المتوسط باستخدام جميع الأرصاد فستكون قيمته غير دقيقة ، بينما المنطقي أن يتم استبعاد هذه الرصدة الخاطئة وحساب المتوسط باستخدام الأرصاد الخمسة الأولي فقط.



شكل (١١-١) الأرصاد الواقعة خارج الحدود

تقوم معظم برامج حسابات الجي بي أس software بعد انتهاء عملية ضبط الأرصاد بإجراء اختبارات إحصائية لتحديد الأخطاء الواقعة خارج الحدود. ويجب علي المستخدم أن يقرر إذا ما كان سيقبل نتائج الضبط أم يحذف هذه الأخطاء و يعيد إجراء الضبط مرة أخري ، أي أن هذه الخطوة لا يقوم بها البرنامج بشكل آلي. ومن هذه الاختبارات الإحصائية اختبار "فحص البيانات data snooping " و اختبار τ (ينطق" تاو") وهو يعد الأكثر تطبيقا في برامج الحاسب الآلي، كما توجد عدة طرق أخري. وتتكون خطوات تحليل الأرصاد و نتائج الضبط من:

- إجراء الضبط الأولي باستخدام جميع أرصاد الجي بي أس.
- إذا أشارت نتائج الاختبار الإحصائي لوجود عدد من الأرصاد الواقعة خارج الحدود outliers فلا نحذفها كلها ، إنما فقط نحذف الرصدة ذات أكبر قيمة من نتائج الاختبار. السبب في ذلك أن رصدة واحدة خاطئة من الممكن أن تؤثر علي أرصاد أخري سليمة أو دقيقة ، ومن هنا فأن حذف كل الأرصاد التي تظهر في نتائج الاختبار سيقلل من عدد الأرصاد في الشبكة بصورة غير ضرورية مما سيقلل من جودة الحل النهائي للشبكة.
- نعيد إجراء ضبط الشبكة مرة أخري للحصول علي نتائج جديدة سواء للإحداثيات أو للاختبار الإحصائي أيضا.
- تتكرر هذه العملية عدد من المرات حتى نصل في الخطوة الأخيرة إلي عدم وجود أية أرصاد واقعة خارج الحدود علي الإطلاق.
- نعتمد إحداثيات آخر عملية ضبط لتكون الإحداثيات النهائية الدقيقة لشبكة الجي بي أس.

إن تحديد و حذف الأرصاد الواقعة خارج الحدود outliers يحسن من نتائج شبكات الجي بي أس بصورة كبيرة جدا ، ويجب علي المستخدم ألا يهمل هذه الخطوة الإحصائية الهامة حتى يمكنه الحصول علي أصح إحداثيات النقاط المرصودة.

١١-٤ تطبيقات ضبط أقل مجموع مربعات في أرصاد الجي بي أس

يستخدم ضبط أقل مجموع مربعات في أرصاد الجي بي أس في مجالين: (١) ضبط الأرصاد المقاسه (إشارات الأقمار الصناعية) للوصول لأدق قيمة لمركبات خط القاعدة Base Line بين كل نقطتين في الوضع النسبي ، (٢) في ضبط الشبكات.

يعتمد المجال الأول علي برنامج الحساب المستخدم GPS Processing Software والمعاملات المطبقة في هذه الخطوة. عند وجود عدد من الأرصاد أكثر من العدد الأدنى المطلوب Redundant Observations فأن نتائج حسابات الأرصاد ستكون عدد من خطوط القواعد ، وهنا يجب علي المستخدم فحص هذه النتائج بكل عناية. ففي هذه الحالة توجد درجة من الحرية Degree of Freedom (تساوي = عدد الأرصاد – عدد القيم المجهولة) تسمح للمستخدم اختيار أحسن الخطوط التي يتدخل عملية ضبط الشبكة. هنا يجب فحص النتائج الإحصائية لكل خط قاعدة محسوب (وخاصة قيمة الخطأ التربيعي المتوسط RMS وقيمة الخطأ في الخط بالنسبة لطول الخط ppm) لبيان أية خطوط قليلة الدقة. ومن ثم بيان مجموعة الخطوط الدقيقة التي سيتم اعتمادها لبدء عملية ضبط الشبكة. وتوجد بعض المواصفات العامة لعملية التقييم و الفحص هذه.

أما المجال الثاني لتطبيق طريقة ضبط مجموع أقل المربعات فيكون في كيفية تنفيذ ضبط الشبكة بصورة جيدة للوصول لأدق الإحداثيات. وعامة تتم عملية ضبط الشبكات Network Adjustment في عدد من الخطوات المتسلسلة تتكون من:

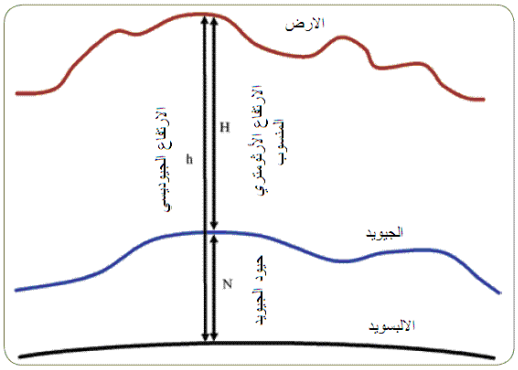
أ- تحليل خطأ القفل في كل حلقة لضمان حدود قيمه طبقا للمواصفات المطلوبة.
ب- إجراء عملية ضبط غير مقيد Free Net Adjustment (عن طريق تثبيت إحداثيات نقطة واحدة فقط غالبا تكون اختيارية) لفحص جودة الأرصاد ذاتها.
ت- استخدام النتائج الإحصائية للضبط غير المقيد في اكتشاف أية أرصاد غير جيدة Outliers or Blunders وحذفها (عن طريق الاختبارات الإحصائية المعروفة مثل اختبار تاو).
ث- إجراء الضبط النهائي للشبكة Final Constrained Adjustment (سواء بتثبيت إحداثيات نقطة واحدة معلومة فقط Minimal-Constrained أو بتثبيت إحداثيات أكثر من نقطة معلومة Over-Constrained).

١١-٥ الجي بي أس و الجيويد

١١-٥-١ ارتفاعات الجي بي أس و الجيويد

تعتمد أرصاد الجي بي أس وأيضا الإحداثيات الناتجة عن هذه التقنية علي المجسم أو الاليبسويد العالمي WGS84 ، أي أن الارتفاع الناتج من الجي بي أس يكون مقاسا من سطح هذا الاليبسويد ولذلك يسمي الارتفاع الاليبسويدي Ellipsoidal Height أو الارتفاع الجيوديسي Geodetic Height . بينما في التطبيقات المساحية و الخرائطية فأن الارتفاع المستخدم – أي المنسوب – يكون مقاسا من منسوب متوسط سطح البحر MSL أو الذي يمثل شكل الجيويد ، ويسمي الارتفاع الأرثومتري Orthometric Height. والفرق بين سطح الاليبسويد و سطح الجيويد يسمي حيود الجيويد Geoid Undulation أو ارتفاع الجيويد Geoidal Height (شكل ٨-١) ، وهو فرق مؤثر لا يمكن إهماله حيث قد تصل قيمته إلي ١٠٠ متر في بعض المناطق علي الأرض. كمثال في مصر يتراوح حيود الجيويد بين حوالي ٩ متر عند الحدود المصرية السودانية في الجنوب و حوالي ٢٢ متر عند البحر الأبيض المتوسط في الشمال. ولكي يتم تحويل الارتفاع الجيوديسي لنقطة ما (لنرمز له بالرمز h) إلي منسوبها المقابل (لنسميه H) فيجب معرفة قيمة حيود الجيويد (N) عند هذه النقطة طبقا للمعادلة:

$$h = H - N \qquad (11\text{-}1)$$



شكل (١١-٢) العلاقة بين أنواع الارتفاعات

لذلك فمن المهم عند استخدام نظام الجي بي أس في المشروعات المساحية أن نحصل علي نموذج للجيويد حتى يمكن تحويل ارتفاعات الجي بي أس إلي مناسيب و بدقة تناسب العمل الهندسي. توجد عدة طرق لتحديد حيود الجيويد سنتعرض لها في هذا الجزء.

١١-٥-٢ طرق نمذجة الجيويد

توجد طرق عديدة لحساب قيمة حيود الجيويد – أي نمذجة الجيويد Geoid Modeling - تعتمد علي عدة أنواع من القياسات الجيوديسية مثل: الأرصاد الفلكية ، أرصاد الجاذبية الأرضية ، أرصاد الجي بي أس مع الميزانيات ، طرق التمثيل المتناسق لمجال جهد الأرض باستخدام أرصاد مختلفة

النوع Heterogeneous Data. لم تعد القياسات الفلكية منتشرة في السنوات الماضية مما جعل استخدامها في نمذجة الجيويد لم يعد مطبقا الآن ، وسنتناول الطرق الأخرى بصورة مبسطة في الأجزاء التالية.

١١-٥-٢-١ نمذجة الجيويد من أرصاد الجاذبية الأرضية

باستخدام أجهزة خاصة Gravimeters يتم قياس قيمة الجاذبية الأرضية Measured Gravity علي سطح الأرض ، كما يمكن أيضا باستخدام خصائص الاليبسويد حساب قيمة الجاذبية النظرية Theoretical or Normal Gravity علي سطح الاليبسويد. الفرق بين قيمة الجاذبية المقاسه و قيمة الجاذبية النظرية المحسوبة - يسمي شذوذ الجاذبية Gravity Anomalies - يعبر بصورة معينة عن الفرق بين كلا من الاليبسويد و الجيويد. تمكن العالم ستوكس Stokes في عام ١٨٤٩ من استنباط المعادلة التالية التي يمكن منها حساب قيمة حيود الجيويد من قيم شذوذ الجاذبية:

$$N = (R / 4\pi) \iint \Delta g \, S(\psi) \, d\sigma \qquad (11\text{-}2)$$

حيث:

R تمثل نصف قطر الأرض المتوسط.
Δg شذوذ الجاذبية
$S(\psi)$ دالة ستوكس
ψ المسافة الدائرية بين نقطة الحساب والنقطة المقاس عندها الجاذبية.
$d\sigma$ جزء صغير من الأرض يتم التكامل باستخدامه.

كما نري في هذه المعادلة فأن التكامل الثنائي $\iint$ يتم علي كل سطح الأرض ، أي أنه لحساب قيمة حيود الجيويد N عند نقطة واحدة فيلزمنا عشرات الآلاف من قياسات شذوذ الجاذبية ، وهذا أول عيوب هذه الطريقة. أيضا فأن قياسات شذوذ الجاذبية تحتاج تصحيحا إضافيا يعتمد علي معرفة تضاريس الأرض مما يتوجب معه أننا نحتاج نموذج ارتفاعات رقمي Digital Elevation Model أو DEM للمنطقة المطلوب حساب الجيويد لها. لكن علي الجانب الآخر فأن نمذجة الجيويد من أرصاد الجاذبية الأرضية يتميز بأن قياسات الجاذبية الأرضية أسهل و أسرع و أرخص من أنواع الأرصاد الجيوديسية الأخرى. كما أن إطلاق أنواع خاصة من الأقمار الصناعية لقياس الجاذبية الأرضية علي المستوي العالمي – في السنوات القليلة الماضية - قد أحدث ثورة علمية في مجال استخدام هذه الطريقة لنمذجة الجيويد. كمثال لقياسات الجاذبية الأرضية في البلدان العربية فقد تم إقامة الشبكة القومية المصرية للجاذبية الأرضية في الفترة ٩٤-١٩٩٧ وتكونت من ١٥٠ محطة جاذبية أرضية موزعين علي معظم المناطق المأهولة بمتوسط مسافات بين النقاط يبلغ ٧٠ كيلومتر و بدقة متوسطة $\pm$٠.٠٢٢ ملي جال (الملي جال هو وحدة قياس الجاذبية الأرضية و يساوي 10^{-5} متر/ثانية^2).

لعدم إمكانية قياس الجاذبية الأرضية علي كل جزء من الأرض فأن المعادلة (١١-٢) تتحول لصورة أخري حيث يتم تجزئة قيمة حيود الجيويد N إلي ثلاثة مركبات:

$$N = N^{GGM} + N^{\Delta g} + N^{H} \qquad (11\text{-}3)$$

حيث:
N^{GGM} = قيمة تأثير نموذج يعبر عن مجال الجاذبية عالميا.
$N^{\Delta g}$ = قيمة تأثير الجاذبية الأرضية المحلية.
N^{H} = قيمة تأثير تغير الطبوغرافيا في المنطقة.

أي أن نمذجة الجيويد في منطقة معينة تحتاج: (١) نموذج جيويد (أو نموذج جاذبية) عالمي ، (٢) قياسات جاذبية أرضية محلية للمنطقة ، (٣) نموذج ارتفاعات رقمي يمثل طبوغرافية المنطقة. هذا الأسلوب هو المطبق في نمذجة الجيويد علي مستوي الدول.

١١-٥-٢-٢ نمذجة الجيويد من أرصاد الجي بي أس و الميزانيات

يعد هذا الأسلوب (يسمي الطريقة الهندسية) هو الأمثل للمساحة بالجي بي أس وخاصة للمناطق الصغيرة (منطقة تغطي مساحة من ١٠ إلي ٢٠ كيلومتر مربع). يتم تنفيذ قياسات جي بي أس عند مجموعة من النقاط المعلوم منسوبها (نقاط روبيرات أو BM) ، وبالتالي يمكن حساب قيمة حيود الجيويد عند هذه النقاط باستخدام المعادلة (١١-١). في أبسط الصور فيمكن باستخدام نقطة واحدة فقط معرفة الفرق بين سطحي الاليبسويد و الجيويد ، إلا أن رصد جي بي أس عند ٣ روبيرات يعد وضعا أفضل بالتأكيد. وجود ٣ نقاط معلوم لهم كلا من h و H سيمكننا من حساب ٣ معاملات (الميل tilt في اتجاه الشمال ، الميل في اتجاه الشرق ، الفرق المتوسط) لوصف الفروق بين كلا السطحين. أي أن الجيويد يتم تمثيله من خلال سطح أو مستوي مائل tilted plane . وبعد ذلك يمكن استخدام هذا النموذج أو هذا المستوي لكي نحول ارتفاع الجي بي أس لأي نقطة جديدة مرصودة إلي منسوبها. وبالطبع يمكن استخدام أكثر من ٣ نقاط (معلوم عندها h و H) وذلك للحصول علي مصداقية أكثر more reliability لنتائج المستوي المائل حيث أن استخدم ٣ نقاط معلومة فقط يعطي ٣ معادلات مطلوب حلهم في ٣ قيم مجهولة أي – رياضيا و إحصائيا - لا يوجد أي تحقيق check للنتائج ، بينما استخدام أكثر من ٣ نقاط سيعطي عدد معادلات أكبر من عدد المجاهيل مما سينتج عنه وجود تحقيق ومؤشرات إحصائية لجودة النتائج المحسوبة. أيضا يمكن استخدام نماذج رياضية أكثر دقة (من نموذج السطح المائل) مثل دالة ذات الحدود polynomials بفرض وجود عدد أكبر من النقاط المعلومة (معلوم لها h و H).

لكن هذه الطريقة الهندسية لها أيضا بعض العيوب مثل:
- النموذج الرياضي المستنبط يصلح فقط للمنطقة المحصورة بالنقاط المعلومة (محاولة استنباط extrapolation قيمة N خارج المنطقة لن تكون جيدة علي الإطلاق).
- نموذج المستوي المائل – نموذج بسيط رياضيا – ويصلح فقط لمناطق صغيرة (شكل وتغير الجيويد أكثر تعقيدا من محاولة وصفه بسطح مائل).
- عمليا قد يكون من الصعب إيجاد نقاط معلومة المنسوب (روبيرات أو BM) في المنطقة المطلوب العمل فيها.

١١-٥-٣ نماذج الجيويد العالمية

تعد طرق التمثيل المتناسق لمجال جهد الأرض Spherical harmonic representation of the Earth's geopotential field من الطرق المستخدمة في نمذجة الجيويد علي المستوي العالمي باستخدام أرصاد مختلفة النوع Heterogeneous Data. تقوم الجهات العلمية المتخصصة بتجميع القياسات الجيوديسية (جاذبية أرضية ، جي بي أس ، أرصاد فلكية .. الخ) من كل مناطق العالم وإدخالها في برامج كمبيوتر متخصصة لتطوير نماذج عالمية تصف تغير الجيويد عالميا Global Geoid Models أو اختصارا GGM. المعادلة التالية تصف طريقة حساب حيود الجيويد باستخدام طريقة التمثيل المتناسق لمجال جهد الأرض:

$$N=(GM/r\gamma)\times\sum_{n=2}^{360}(a/r)^n-\sum_{m=0}^{n}((\bar{C}_{nm}\times\cos m\lambda)+(\bar{S}_{nm}\times\sin m\lambda))\times P_{nm}(\sin\phi) \qquad (11\text{-}4)$$

حيث:

n, m أقصي درجة للنموذج العالمي.
γ الجاذبية النظرية علي الاليبسويد.
r المسافة الهندسية المركزية للنقطة علي الاليبسويد.
G معامل نيوتن للجاذبية الأرضية.
M كتلة الأرض.
a نصف المحور الأكبر للاليبسويد.
λ خط الطول الجيوديسي.
$\bar{C}_{nm}$, $\bar{S}_{nm}$ معاملات التمثيل المتناسق.
P_{nm} دالة لاجندر.

بدأ تطوير نماذج الجيويد العالمية منذ عام ١٩٦٠ وإنتاجها مستمر حتى الآن ، ويمكن الحصول مجانا علي أي نموذج جيويد عالمي من موقع المركز الدولي لنماذج الجاذبية الأرضية العالمية International Center of Gravity Earth Models أو اختصارا ICGFM في الرابط: http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/modelstab.html. لكن نظرا لعدم توافر عدد ضخم من القياسات الجيوديسية تغطي كل أنحاء الأرض بانتظام فلم يكن ممكنا تطوير نماذج عالمية ذات تباين أفقي resolution كبير ، فمعظم النماذج حتى عام ٢٠٠٨ لم تزيد درجة تمثيلها degree عن ٣٦٠ بما يدل علي أن النموذج يعطي نقطة كل ٥١ أو تقريبا ١٠٠ كيلومتر أفقيا علي سطح الأرض. وهذا بالطبع أدي إلي أن دقة نماذج الجيويد العالمية لم تصل لدقة كبيرة ، وكمثال يعرض الجدول التالي تقديرات الدقة لبعض نماذج الجيويد العالمية.

دقة بعض نماذج الجيويد العالمية

(RMS لفرق حيود الجيويد – بالمتر - عند نقاط جيوديسية معلومة)

النموذج	تاريخ تطويره	الدقة في أمريكا	الدقة في أوروبا	الدقة في البرازيل	الدقة العالمية المتوسطة
GOC05S	٢٠١٥	0.399	0.372	0.505	0.392
EIGEN-6C4	٢٠١٤	0.247	0.210	0.446	0.241
GIF48	٢٠١١	0.319	0.275	0.474	0.308
EGM2008	٢٠٠٨	0.248	0.208	0.460	0.244
PGM2000A	٢٠٠٠	0.381	0.483	0.717	0.427
EGM96	١٩٩٦	0.379	0.477	0.730	0.426
OSU91A	١٩٩١	0.534	0.712	1.058	0.699

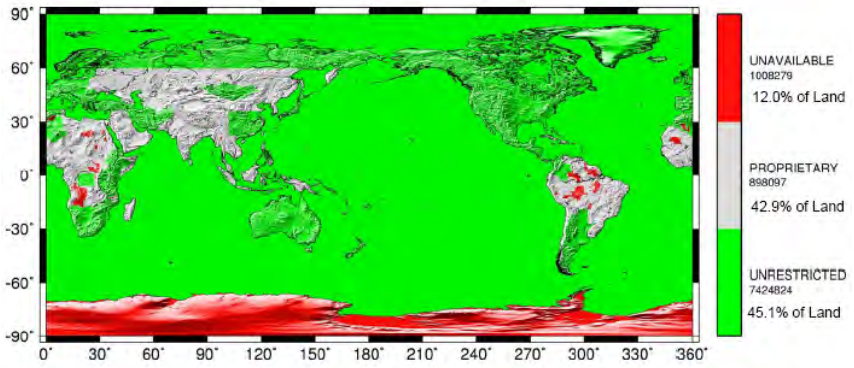
من الجدول السابق نستنتج أن هذه النماذج العالمية ليست دقيقة بالدرجة الكافية لمتطلبات المساحة و الجيوديسيا ، لكن وعلي الجاني الآخر فأن أي محاولة لنمذجة جيويد محلي لدولة معينة يجب أن تعتمد علي اختيار أحد هذه النماذج العالمية لإمدادها بقيم الجاذبية الأرضية علي المستوي العالمي. أي أن أفضل طرق نمذجة الجيويد لمناطق كبيرة (دولة مثلا) يتمثل في الدمج أو التكامل بين نموذج جيويد عالمي مع قياسات جيوديسية محلية (جاذبية أرضية و جي بي أس و ميزانيات) في هذه الدولة.

تجدر الإشارة إلي أن معظم برامج حسابات أرصاد الجي بي أس تعتمد في داخلها علي أحد نماذج الجيويد العالمية بحيث أن البرنامج يستطيع حساب منسوب نقاط الجي بي أس المرصودة. لكن من المهم جدا علي مستخدم الجي بي أس أن يعرف دقة هذا النموذج العالمي وبالتالي دقة هذا المنسوب المحسوب. وبصورة عامة لا يمكن الاعتماد علي نماذج الجيويد العالمية بمفردها في التطبيقات المساحية و الجيوديسية إنما يتم تطعيمها بقياسات محلية لزيادة دقتها في منطقة العمل.

نموذج الجيويد العالمي ٢٠٠٨

في أبريل ٢٠٠٨ أطلقت هيئة المساحة العسكرية الأمريكية نموذج الجيويد العالمي EGM2008 وأتاحته للجميع مجانا علي شبكة الانترنت. يعد هذا النموذج ثورة علمية في مجال نماذج الجيويد العالمية ، حيث أن درجة النمذجة degree قد بلغت ٢١٦٠ مقارنة بدرجة تساوي ٣٦٠ لجميع نماذج الجيويد العالمية السابقة له. ترجع هذه الدرجة العالية في تمثيل حيود الجيويد إلي قاعدة البيانات الجيوديسية (وخاصة قياسات شذوذ الجاذبية) الضخمة التي استخدمت في تطوير نموذج EGM2008 والتي غطت تقريبا كل سطح الأرض سواء اليابسة أو البحار مما لم يتوافر لأي جهة عالمية قبل ذلك (شكل ٨-٤). تدل هذه الدرجة العالية في النمذجة أن التباين الأفقي resolution للنموذج (المسافة بين كل نقطتين يمكن للنموذج حساب قيمة حيود الجيويد عندهما) يبلغ ١٠' أي ما يعادل ١٨ كيلومتر فقط مقارنة بتباين يساوي حوالي ١٠٠ كيلومتر للنماذج السابقة. نموذج الجيويد العالمي ٢٠٠٨ EGM2008 متاح للجميع علي الانترنت في الرابط:

http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008
كما يوجد وصف تفصيلي لطرق تطويره والبيانات المستخدمة في الرابط:
http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/NPavlis&al_EGU2008.ppt



شكل (١١-٣) شذوذ الجاذبية المستخدمة لتطوير نموذج الجيويد العالمي ٢٠٠٨

توجد ٣ طرق لاستخدام نموذج EGM2008 كما هو معروض في الجدول التالي:

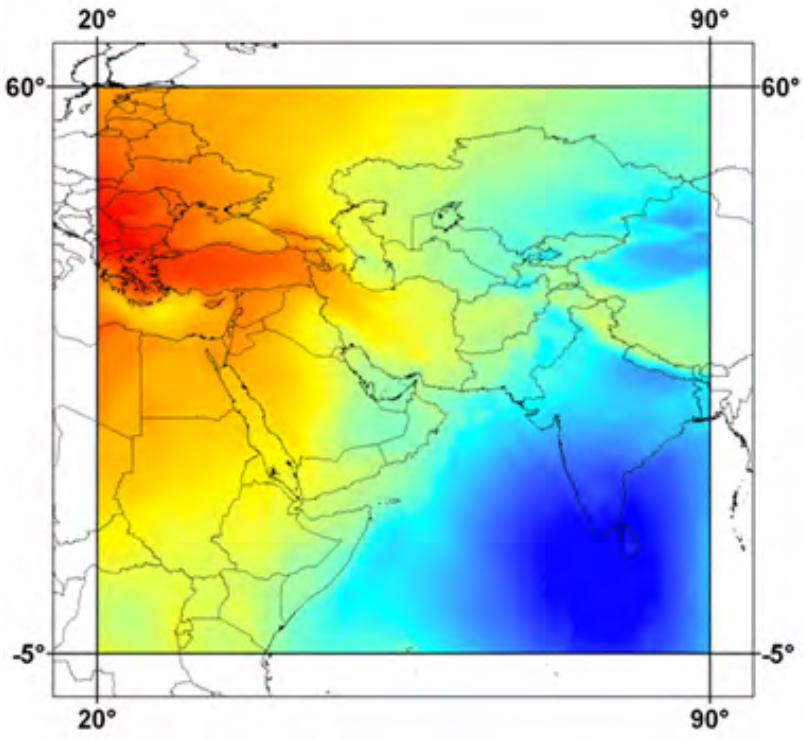
أ- حساب قيمة حيود الجيويد نقطة بنقطة باستخدام المعاملات الأصلية harmonic coefficients للنموذج.
ب- استنباط interpolation قيمة حيود الجيويد من شبكة grid للقيم لكل العالم ، وتوجد شبكتين متاحتين الأولي بتباين أفقي ١'×١' (حجم الملف ٨٢٥ ميجابايت) والثانية بتباين أفقي ٢.٥'×٢.٥' (حجم الملف ١٣٥ ميجابايت).
ت- باستخدام شبكة grid لقيم حيود الجيويد ، والشبكة بصيغة ESRI Grid للتعامل معها مباشرة داخل برنامج Arc GIS وهو أحد برامج نظم المعلومات الجغرافية من إنتاج شركة ESRI الأمريكية. في فبراير ٢٠٠٩ تم إتاحة ملف شبكة من هذا النوع لمنطقة الشرق الأوسط فقط ، وفي مايو ٢٠٠٩ تم إتاحة شبكات أخري تغطي باقي أنحاء العالم.

من المهم ملاحظة أن حساب حيود الجيويد من نموذج EGM2008 يشمل أيضا – في نفس الخطوة – إضافة تصحيح الفرق بين الجيويد و شبيه الجيويد ، لان نماذج الجيويد التي تعتمد علي طريقة التمثيل المتناسق لمجال جهد الجاذبية الأرضية spherical harmonic تنتج سطح قريب جدا من سطح الجيويد يسمي شبيه الجيويد co-geoid or quasi-geoid ، و لا بد من إضافة تصحيح لهذا السطح حتى يتم تحويله إلي شكل الجيويد الحقيقي ، وهي عملية هامة يجب مراعاتها.

طرق الحصول علي نموذج الجيويد العالمي EGM2008

الملف	الوظيفة	الرابط
طريقة حساب قيمة حيود الجيويد نقطة بنقطة باستخدام المعاملات الأصلية:		
hsynth_WGS84.exe	برنامج الحسابات التنفيذي	http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/hsynth_WGS84.exe
EGM2008_to2190_TideFree.gz	ملف معاملات النموذج (حجمه ٧٢ ميجابايت)	http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/EGM2008_to2190_TideFree.gz
Zeta-to-N_to2160_egm2008.gz	ملف تصحيح النموذج (حجمه ٥٠ ميجابايت)	http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/Zeta-to-N_to2160_egm2008.gz
Input.dat	ملف إدخال بيانات أو إحداثيات النقاط المطلوب الحساب عندها	http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/INPUT.DAT
Output.dat	ملف النتائج	http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/OUTPUT1.DAT
طريقة استنباط قيمة حيود الجيويد من شبكة:		
interp_1min.exe	الملف التنفيذي لحسابات الاستنباط من شبكة ١'	http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/interp_1min.exe
Und_min1x1_egm2008_isw=82_WGS84_TideFree_SE.gz	شبكة ١' لقيم حيود الجيويد للعالم (حجم الملف ٨٢٥ ميجابايت)	http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/Small_Endian/Und_min1x1_egm2008_isw=82_WGS84_TideFree_SE.gz
interp_2p5min.exe	الملف التنفيذي لحسابات الاستنباط من شبكة ٢.٥'	http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/interp_2p5min.exe
Und_min2.5x2.	شبكة ٢.٥' لقيم	http://earth-

5_egm2008_isw=82_WGS84_TideFree_SE.gz	حيود الجيويد للعالم (حجم الملف ١٣٥ ميجابايت)	info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/Small_Endian/Und_min2.5x2.5_egm2008_isw=82_WGS84_TideFree_SE.gz
طريقة الشبكة بصيغة ESRI Grid للتعامل معها مباشرة داخل برنامج Arc GIS:		
egm08_centcom_geoid.zip	ملف الشبكة بحجم ٨ ميجابايت وهي لمنطقة الشرق الأوسط والتي تم إعلانها في فبراير ٢٠٠٩ (أيضا تم إعلان شبكات تغطي باقي أنحاء العالم في مايو ٢٠٠٩).	http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/GIS/egm08_centcom_geoid.zip



شكل (١١-٤) حيود الجيويد في منطقة الشرق الأوسط من النموذج العالمي EGM2008

الطريقة الأولي هي الأنسب للتطبيقات المساحية و الجيوديسية ذات الدقة العالية ، كما أنها مناسبة للدمج في أي برنامج حسابي آخر حيث أن الملف الأصلي للحسابات (بلغة FORTRAN متاح أيضا). أما الطريقة الثانية فهي مناسبة للتطبيقات متوسطة الدقة وتتميز بسرعة تنفيذها بالمقارنة بالطريقة الأولي. أما الطريقة الثالثة فأهم ميزة بها أنها تسمح بعملية تحديد قيمة حيود الجيويد - و من ثم تحويل الارتفاع الجيوديسي إلي منسوب - داخل برنامج نظم المعلومات الجغرافية Arc GIS والذي يعد أشهر برامج هذه التقنية.

١١-٥-٤ نمذجة الجيويد في مشروعات الجي بي أس

إن نمذجة الجيويد (استنباط نموذج جيويد) مناسب لتطبيقات نظام الجي بي أس هي عملية من الممكن أن تتم من خلال عدة وسائل أو طرق تعتمد في المقام الأول علي الهدف من المشروع و مستوي الدقة المنشود. من خلال ما قد تم استعراضه – في هذا الفصل – يمكن تحديد أربعة طرق لنمذجة الجيويد:

أ- تطوير نموذج جيويد محلي لمنطقة الدراسة.
ب- نمذجة جيويد لمنطقة صغيرة من خلال قياسات جي بي أس و أرصاد ميزانية.
ت- استخدام نموذج جيويد عالمي.
ث- التكامل بين نموذج جيويد عالمي و قياسات جيوديسية محلية.

الطريقة الأولي هي الأنسب لمساحات كبيرة من الأرض (إقليم أو دولة مثلا) و تتطلب توافر قاعدة بيانات جيوديسية (قياسات جاذبية أرضية و أجي بي أس و ميزانيات) مع خبرة في طرق و برامج حسابات الجيويد. وبالتالي فهذه مهمة الجهات الحكومية و الباحثين الأكاديميين المتخصصين في الهندسة المساحية و الجيوديسية.

الطريقة الثانية ربما تكون هي الأنسب و الأسهل أيضا لمشروعات الجي بي أس لمناطق صغيرة المساحة (عدة كيلومترات). في هذه الطريقة يتم رصد جي بي أس لعدد لا يقل عن ثلاثة من النقاط المعلومة المنسوب (روبيرات أو BM). باستخدام المعادلة ٨-١ يمكن حساب قيمة حيود الجيويد N عند هذه النقاط المعلوم عندها الارتفاع الجيوديسي h الناتج من أرصاد الجي بي أس والارتفاع الأرثومتري H الناتج من أرصاد الميزانيات. ثم يمكن استخدام أي برنامج (مثل الإكسل مثلا) لاستنباط نموذج سطح مائل يصف تغير سطح الجيويد في هذه المنطقة الصغيرة ، والذي من خلاله يمكن حساب قيمة حيود الجيويد N عند أي نقطة جي بي أس – داخل المنطقة التي تغطيها النقاط المعلومة - وتحويل ارتفاعها الجيوديسي إلي منسوب.

الطريقة الثالثة تعتمد علي استخدام أي نموذج جيويد عالمي متاح و علي الأخص أحدث و أدق هذه النماذج وهو EGM2008 بأي طريقة من الطرق الثلاثة المتاحة. علي الجانب الآخر فأن دقة النماذج العالمية ليست عالية وكمثال – كما سبق الذكر – فدقة نموذج EGM2008 تبلغ ± ٠.٢٤ متر في المتوسط عالميا (أي أن الخطأ المتوسط المتوقع هو ربع المتر وان كان متوقعا أن تزيد قيمة الخطأ عن هذه القيمة في بعض النقاط). يعتمد استخدام هذه الطريقة للنماذج العالمية سيكون

لتطبيقات أو مشروعات لا تحتاج دقة عالية في حساب المناسيب مثل تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية أو الخرائط ذات مقياس الرسم الصغير.

الطريقة الرابعة هي الأفضل للتطبيقات المساحية و الجيوديسية الدقيقة حيث أن تطعيم نماذج الجيويد العالمية بأرصاد جيوديسية محلية يزيد من دقة هذه النماذج ويجعلها بديلا اقتصاديا مناسبا يوفر كثيرا من تكلفة تطوير نموذج جيويد وطني. تتشابه هذه الطريقة مع الطريقة الأولي في كيفية تنفيذها لكن مع بعض الاختلافات البسيطة. يتطلب هذا الأسلوب معرفة قيمة حيود الجيويد عند عدد من نقاط التحكم (نقاط جي بي أس معلومة المنسوب أو نقاط جاذبية أرضية) ويكون عدد و توزيع هذه النقاط مناسبا لمساحة المنطقة المطلوبة. ثم يتم حساب قيمة حيود الجيويد من النموذج العالمي – EGM2008 مثلا – عند هذه النقاط المعلومة و من ثم يمكن تحديد قيمة خطأ النموذج عند كل نقطة:

$$dN = N_{obs} - N_{EGM2008} \qquad (11\text{-}5)$$

حيث:
dN فرق حيود الجيويد
N_{obs} حيود الجيويد المقاس أو المعلوم
$N_{EGM2008}$ حيود الجيويد من نموذج EGM2008

ثم يتم استنباط معادلة ذات حدود polynomial لوصف توزيع هذه الفروق علي امتداد المنطقة الجغرافية التي تغطيها النقاط المعلومة. كمثال فأن معادلة ذات الحدود من الدرجة الأولي لمنطقة شمال وادي النيل في مصر كانت:

$$dN = -5.529490551 - 0.05161249\ \varphi + 0.219581806\ \lambda \qquad (11\text{-}6)$$

ويتم حساب القيمة النهائية لحيود الجيويد N_{FINAL} عند أي نقطة جي بي أس – داخل المنطقة التي تغطيها النقاط المعلومة - وتحويل ارتفاعها الجيوديسي إلي منسوب من خلال استنباط interpolation قيمة الفرق dN وإضافته إلي قيمة حيود الجيويد $N_{EGM2008}$ الناتج من النموذج العالمي:

$$N_{FINAL} = N_{EGM2008} + dN \qquad (11\text{-}7)$$

هذه الطريقة تزيد من دقة النموذج العالمي بعد أن يتم تطعيمه بقياسات محلية تجعله أكثر توافقا مع سطح الجيويد المحلي الحقيقي في منطقة الدراسة. وكلما زاد عدد النقاط المعلومة وكان توزيعها متماثلا علي المنطقة المطلوبة كلما كانت النتائج أفضل ، مما يجعل هذا الأسلوب هو أفضل الطرق المتاحة في مجال نمذجة الجيويد و تحويل ارتفاعات تقنية الجي بي أس إلي المناسيب المستخدمة في تطبيقات المساحة و الخرائط.

١١-٦ خدمات الجي بي أس علي الانترنت

مع انتشار تطبيقات تحديد المواقع بالأقمار الصناعية في العقدين الأخيرين تم تطوير عدد من المواقع علي شبكة الانترنت لخدمة مستخدمي هذه التقنيات وخاصة للتطبيقات الهندسية والعلمية. إن شبكة المعلومات الدولية مليئة بخدمات مذهلة – تطبيقية و تعليمية – لا غني عنها لمستخدمي نظام الجي بي إس علي وجه الخصوص ، بل أن بعض هذه الخدمات المجانية قد تقلل من التكلفة الاقتصادية للمشروعات المساحية. أيضا المنتجات التقنية المتاحة مجانا علي الانترنت قد ترفع مستوي دقة قياسات تحديد المواقع بالجي بي إس بصورة مؤثرة. كما أن بعض هذه الخدمات يقوم بإجراء الحسابات الدقيقة لتحديد المواقع مجانا ، والبعض الآخر يقدم برامج حاسوبية software مجانية لتطبيقات الجي بي إس. لا يمكن حصر جميع خدمات الجي بي إس علي الانترنت لكننا سنستعرض في هذا الجزء بعضا منها.

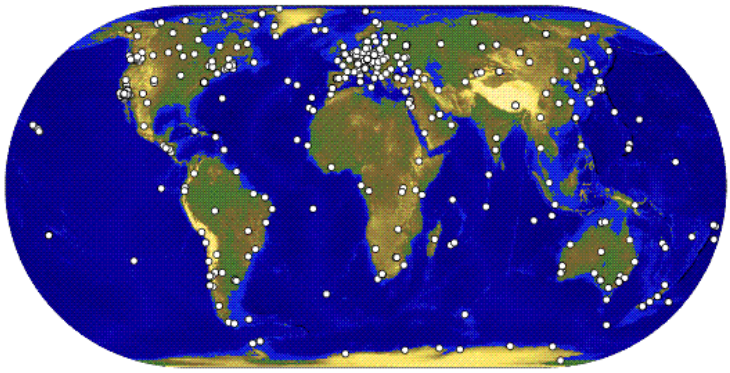
١١-٦-١ المنظمة العالمية لخدمات النظم الملاحية بالأقمار الصناعية IGS

تعد المنظمة العالمية لخدمات النظم الملاحية بالأقمار الصناعية International GNSS Service والمعروفة اختصارا باسم IGS من أشهر و أفيد خدمات الجي بي إس علي شبكة الانترنت. كان الاسم القديم للمنظمة هو المنظمة العالمية لخدمات الجي بي إس إلا أنها ومع امتداد خدماتها لتشمل نظام الجلوناس الروسي فقد تغير أسمها للاسم الحالي ، كما أنها تنوي أيضا تقديم خدمات مماثلة للنظام الأوروبي جاليليو عند اكتماله و بدء العمل به. موقع المنظمة في الرابط: http://igscb.jpl.nasa.gov/

إن منظمة IGS هي تجمع تطوعي مكون من حوالي ٢٠٠ جهة تخصصية علي المستوي العالمي تتيح قياسات الجي بي إس و الجلوناس لخدمة المجتمع الدولي مجانا بغرض دراسة الأرض بصورة دقيقة. تعد خدمات IGS جزءا من خدمات المنظمة الدولية للجيوديسيا International Association of Geodesy. كما يتم تقديم خدمات الحسابات الدقيقة من خلال عدد من مراكز الحسابات Data Centers تقدمها الجهات العالمية المتخصصة. يمكن اعتبار منظمة IGS كأدق تجمع مدني – وليس عسكري - لمستخدمي تحديد المواقع بالأقمار الصناعية علي المستوي العالمي. تشمل خدمات IGS الآتي:

١. أرصاد محطات أرضية لكلا من الجي بي إس و الجلوناس.
٢. تصحيح مدارات الأقمار الصناعية للجي بي إس.
٣. تصحيح مدارات الأقمار الصناعية لجلوناس.
٤. تصحيح أخطاء ساعة القمر الصناعي للجي بي إس .
٥. تصحيح أخطاء ساعة جهاز استقبال الجي بي إس عند كل محطة من المحطات الأرضية لشبكة IGS .
٦. الإحداثيات الدقيقة لكل محطة من المحطات الأرضية لشبكة IGS .
٧. سرعة تحرك القشرة الأرضية عند كل محطة من المحطات الأرضية لشبكة IGS .
٨. عناصر دوران الأرض حول محورها Earth Rotation Parameters.
٩. عناصر تصحيح أخطاء الغلاف الجوي Atmospheric Parameters لكلا طبقتي الايونوسفير و التروبوسفير.

تعد شبكة المحطات الأرضية من أهم منتجات منظمة IGS في مجال التطبيقات المساحية لنظام الجي بي إس. تتكون الشبكة من أكثر من ٣٠٠ محطة موزعين علي جميع أنحاء العالم. تم إنشاء هذه المحطات بشروط تقنية عالية بحيث تضمن أعلي دقة ممكنة في تجميع إشارات الأقمار الصناعية ٢٤ ساعة يوميا وإتاحتها علي الانترنت بصورة يومية لجميع المستخدمين مجانا. يتم إرسال أرصاد كل المحطات إلي مراكز التشغيل Processing Centers المتعاونة مع الهيئة لتحليل كل هذه القياسات من خلال برامج Scientific Processing Software عالية الدقة و الكفاءة تعمل علي أجهزة سوبر كمبيوترات ذات مواصفات تقنية عالية. ويتم التواصل و التعاون بين جميع مراكز التشغيل للتأكد من نتائج كل مركز مع المراكز الأخرى حتى يمكن التوصل إلي دقة عاليه للمنتجات عالية الذكر قبل نشرها لجميع المستخدمين مجانا علي موقع الهيئة علي الانترنت. يمكن الحصول علي قائمة بجميع محطات IGS من الرابط: http://igscb.jpl.nasa.gov/network/netindex.html.



شكل (١١-٥) توزيع محطات IGS

تعود أهمية محطات IGS الأرضية إلي أنها تعمل ٢٤ ساعة يوميا و تتاح أرصادها – في صيغة راينكس – يوميا مجانا ، كما أن إحداثيات كل محطة معلومة بدقة عالية. بذلك يمكن لأي مستخدم جي بي إس أن يعتمد علي أي نقطة IGS كنقطة تحكم يمكنه ربط أرصاده عليها مباشرة. أي أننا نكون قد قللنا عدد أجهزة استقبال الجي بي إس المطلوبة في أي مشروع مما يقلل من زمن و تكلفة تجميع القياسات الحقلية وبالتالي خفض التكلفة الاقتصادية للمشروع. في بعض المناطق النائية التي لا توجد بها شبكات جيوديسية وطنية – لأي دولة – فأن محطات IGS تكون البديل المناسب المتاح لربط الشبكات الجديدة. كما أن الدقة العالية لإحداثيات محطات IGS تجعلها من أنسب الطرق التقنية في التطبيقات الجيوديسية الدقيقة مثل مراقبة تحركات القشرة الأرضية.

يتم الحصول علي أرصاد (صيغة راينكس) لأي محطة IGS من مراكز البيانات التابعة للمنظمة و منهم مثلا مركز بيانات SOPAC الأمريكي في الرابط: /ftp://garner.ucsd.edu ، حيث توجد جميع الملفات مرتبة سنويا في صفحة: /ftp://garner.ucsd.edu/archive/garner/rinex. وهذه الملفات (بامتداد z) مضغوطة و يمكن إزالة الضغط عنها بأي برنامج (مثل WINZIP) أو الحصول علي أحد هذه البرامج من الرابط: /http://www.gzip.org.

بعد إيقاف العمل بخطأ الاتاحية المنتقاه SA في عام ٢٠٠٠ فأن خطأ مدار القمر الصناعي أصبح أكثر مصادر الأخطاء تأثيرا علي دقة و جودة تحديد المواقع بنظام الجي بي إس. إن قيمة الخطأ في مدار القمر الصناعي Broadcast Orbits (أي المدار الذي يرسله القمر الصناعي لحظيا داخل إشاراته) يبلغ حوالي ١٠٠ سنتيمتر ، ومن هنا جاءت الحاجة لحساب مدار أكثر دقة لكل قمر صناعي قبل استخدامه في حساب موقع جهاز الاستقبال. تقوم منظمة IGS بحساب و نشر عدة أنواع من مدارات الأقمار الصناعية GPS تختلف في دقتها و أيضا موعد إتاحتها للمستخدمين علي الانترنت. وفي مجال التطبيقات الهندسية – وخاصة المساحية – التي تتطلب دقة عالية فأننا نعتمد علي أدق نوع من أنواع المدارات وهو المعروف باسم المدار الدقيق أو المدار النهائي Precise or Final Orbits حتى لو انتظرنا أسبوعين – بعد تاريخ الرصد الحقلي – للحصول عليه من موقع IGS. إن استخدام المدارات الدقيقة للأقمار الصناعية يحسن بدرجة مؤثرة من مستوي الدقة لأرصاد ونتائج مشروعات الجي بي إس. والجدول التالي يقدم مقارنة بين أنواع مدارات الأقمار الصناعية لنظام الجي بي إس التي تتيحها هيئة IGS:

أنواع و خصائص بيانات مدارات الجي بي إس المتاحة في IGS

نوع البيانات		الدقة	مدي التأخير	معدل التحديث	معدل الأرصاد
مرسلة من الأقمار الصناعية Broadcast	مدارات الأقمار	~١٠٠ سم	آنيا	- -	يوميا
	خطأ ساعات الأقمار	~ ٥ نانوثانية			
السريع جدا المحسوب Ultra rapid predicted	مدارات الأقمار	~٥ سم	آنيا	٤ مرات يوميا	١٥ دقيقة
	خطأ ساعات الأقمار	~ ٣ نانوثانية			
السريع جدا المرصود Ultra rapid observed	مدارات الأقمار	أقل من ٣ سم	٣-٩ ساعات	٤ مرات يوميا	١٥ دقيقة
	خطأ ساعات الأقمار	~ ٠.٢ نانوثانية			
السريع Rapid	مدارات الأقمار	أقل من٢.٥ سم	١٧-٤١ ساعة	يوميا	١٥ دقيقة
	خطأ ساعات الأقمار	٠.١ نانوثانية			٥ دقائق
النهائي Final	مدارات الأقمار	أقل من ٢.٥ سم	١٢-١٨ يوم	أسبوعيا	١٥ دقيقة
	خطأ ساعات الأقمار	٠.٧٥ نانوثانية			٥ دقائق

١١-٦-٢ خدمات حسابات مجانية لأرصاد الجي بي إس

مع زيادة انتشار تطبيقات الجي بي إس بصورة مذهلة في الكثير من المجالات علي المستوي العالمي قامت عدة جهات دولية أكاديمية و تطبيقية بإنشاء مواقع لها علي شبكة الانترنت بغرض

مساعدة مستخدمي الجي بي إس علي الوصول لأعلي دقة ممكنة في تحديد المواقع. تمتلك هذه الخدمات أو المواقع بالعديد من المميزات مثل: (١) أنها خدمة مجانية بدون أي تكلفة ، (٢) أنها تلغي الحاجة لشراء برنامج متخصص في الحسابات ، (٣) أنها مفيدة جدا لمن ليست لديهم خبرة كبيرة في طرق حسابات أرصاد الجي بي إس ونماذجه الرياضية المختلفة ، (٤) أن استخدام المحطات العالمية IGS كمحطات ربط للنقاط الجديدة يقلل من عدد أجهزة الرصد المطلوبة لإكمال الأعمال الحقلية وبالتالي فأن تكلفة تجميع البيانات الحقلية ستقل أيضا. وهذه المميزات تساعد في خفض معقول لتكلفة مشروعات المساحة والخرائط باستخدام تقنية الجي بي إس.

تشمل مواقع الحسابات الآنية on-line processing services العديد من المواقع ومنها علي سبيل المثال:

١. موقع AUSPOS الاسترالي في الرابط: http://www.ga.gov.au.
٢. موقع PPP الكندي في الرابط: http://www.geod.nrcan.gc.ca.
٣. موقع SCOUT الأمريكي في الرابط: http://sopac.ucsd.edu/
٤. موقع هيئة المساحة الجيوديسية الأمريكية OPUS في الرابط: http://www.ngs.noaa.gov.
٥. موقع Auto-GIPSY الأمريكي في الرابط: http://milhouse.jpl.nasa.gov/ag/

يقدم الموقع الأول خدماته لكل المستخدمين في العالم منذ أواخر عام ٢٠٠٠ ، وتقوم بتشغيله منظمة استراليا للعلوم الأرضية Geo-science Australia. يقبل الموقع (عن طريق البريد الالكتروني أو ftp) ملفات أرصاد الجي بي إس بصيغة راينكس من أي مستخدم في العالم. يعتمد حساب الإحداثيات علي استخدام مدارات الأقمار الصناعية الدقيقة من IGS بالإضافة للربط علي أقرب ٣ من محطات IGS الأرضية وإخراج النتائج في إطار ITRF وإرسالها للمستخدم عبر البريد الالكتروني.

الموقع الكندي PPP تديره هيئة المساحة الجيوديسية الكندية و هو مشابه تماما لمواصفات الموقع الأول ، إلا أنه يقبل أيضا أرصاد جي بي إس متحركة kinematic GPS data بالإضافة للأرصاد الثابتة static GPS data. الكنديون هم أول من أبتكر مصطلح PPP الذي يعني التحديد الدقيق لإحداثيات النقطة Precise Point Positioning عن طريق الاستفادة من خدمات منظمة IGS ومازالوا يطورون هذا الأسلوب للعديد من التطبيقات.

موقع SCOUT يديره مركز بيانات المدارات و أرصاد المحطات الدائمة SOPAC وهو أحد مراكز حسابات IGS العالمية. من مميزات هذا الموقع أنه يتيح للمستخدم أن يحدد محطات IGS التي يريد ربط أرصاده عليها. أما موقع OPUS الذي تديره هيئة المساحة الجيوديسية الأمريكية NGS فيعتمد علي ربط الأرصاد مع محطات CORS المقامة في الولايات المتحدة الأمريكية (أو في دول أخري وتشرف عليها NGS) ، وبالتالي فأن خدمات هذا الموقع غير متاحة لكل المستخدمين. أما موقع Auto-GIPSY فيعتمد علي حساب إحداثيات مطلقة لكل نقطة Single Point Positioning دون ربطها علي محطات IGS.

١١-٧ نظم أخري للملاحة بالأقمار الصناعية

لا يعد الجي بي أس هو النظام الملاحي الوحيد المتوافر حاليا لتحديد المواقع باستخدام الأقمار الصناعية ، فتوجد عدة نظم شبيهه سواء نظم عالمية (تغطي خدماتها كل الأرض) أو نظم إقليمية (تغطي خدماتها مناطق معينة). وسنلقي الضوء – في الجزء القادم – علي بعض هذه النظم.

النظام الروسي جلوناس

تتشابه بدايات النظام الروسي للملاحة بالأقمار الصناعية (أسمه باللغة الروسية هو: GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema وبالانجليزية: GLObal Navigation Satellite System) المعروف اختصارا باسم جلوناس GLONASS مع بدايات الجي بي أس من حيث أنه نظام عسكري بدأ التفكير بتطويره في عام ١٩٧٦ أثناء فترة الحرب الباردة بين الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوفيتي السابق (روسيا الآن) ، كما أنه مثل الجي بي أس فيدار بواسطة وزارة الدفاع. في ١٢ أكتوبر ١٩٨٢ تم إطلاق أول قمر صناعي في نظام جلوناس وأعلن النظام يعمل مبدئيا في ٢٤ سبتمبر ١٩٩٣.

يتكون نظام جلوناس – رسميا – من ٢١ قمرا صناعيا موزعة في ٣ مدارات حول سطح الأرض ، وتدور علي ارتفاع ١٩١٠٠ كيلومتر من سطح الأرض وزاوية ميل ٦٤.٨° بحيث يكمل كل قمر دورة حول الأرض كل ١١ ساعة و ١٥ دقيقة. يرسل كل قمر صناعي نوعين من الخدمات: الإشارة الدقيقة Precision Signal أو اختصارا SP ، الإشارة عالية الدقة High-Precision Signal أو اختصارا HP علي ترددات تتراوح بين ١٦٠٢.٥٦٢٥ و ١٦١٥.٥ ميجاهرتز(في النطاق المعروف باسم تردد L1). تبلغ الدقة المدنية جراء استخدام إشارات نظام جلوناس حوالي ٥٥ متر أفقيا و ٧٠ متر رأسيا عند رصد ٤ أقمار صناعية ، لكن دقة الإشارة عالية الدقة HP تكون أدق بكثير من هذه المستويات. من المتوقع أن تصل دقة نظام جلوناس لتحديد المواقع إلي حدود نفس الدقة التي يوفرها الجي بي أس بحلول عام ٢٠٢٠. تقع محطة التحكم الرئيسية في موسكو بينما توجد ٤ محطات مراقبة أخري داخل الأراضي الروسية.

النظام الأوروبي جاليليو:

في عام ١٩٩٩ تم اقتراح إقامة نظام جاليليو كمشروع مشترك بين الاتحاد الأوروبي EU و وكالة الفضاء الأوروبية ESA كبديل مدني تديره جهة مدنية بعكس وزارتي الدفاع اللتين تديران كلا من الجي بي أس و جلوناس. كما أن مشروع نظام ملاحي فضائي بهذا الحجم سيتيح قدرات هائلة للصناعة في الدول الأوروبية التي تشترك في تنفيذه ، حيث من المتوقع أن يتيح المشروع وظائف لحوالي ١٠٠ ألف شخص في أوروبا ، وسيكون العائد الاقتصادي للنظام ضخما حيث سيبلغ عدد مستخدميه ٣.٦ مليون مستخدم حتى عام ٢٠٢٠. كما تم السماح لعدة دول غير أوروبية (مثل الصين و كوريا الجنوبية و إسرائيل و المغرب و السعودية) بالمشاركة في تطوير جاليليو عن طريق المساعدات المادية أو الصناعية أو البحثية. اكتملت الدراسات التقنية المبدئية لهذا المشروع العملاق ، وبدأت مرحلة التطوير في عام ٢٠٠١ ، ومن المتوقع اكتمال النظام في عام ٢٠٢٠.

سيتكون نظام جاليليو من ٣٠ قمر صناعي (٢٧ قمر عامل + ٣ أقمار احتياطية) موزعين في ثلاثة مدارات تميل بزاوية ٥٦° و علي ارتفاع ٢٣٦١٦ كيلومتر من سطح الأرض ، بحيث يكمل كل قمر دورة حول الأرض كل ١٤ ساعة و ٧ دقائق. وسيكون هناك مركزين أرضيين للمراقبة و التحكم في الأقمار الصناعية. ستقوم الأقمار الصناعية في نظام جاليليو ببث ١٠ إشارات: ٦ مخصصة للخدمة العامة و خدمة البحث و الاتقاد ، ٢ للخدمة التجارية ، ٢ لخدمة المرافق العامة. وستكون الإشارات في نطاقين من الترددات: ١١٦٤-١٢١٥ ميجاهرتز ، ١٥٥٩-١٥٩١ ميجاهرتز. وتم إطلاق أول قمر صناعي في منظومة جاليليو (GIOVE-A) في ٢٨ ديسمبر ٢٠٠٥ وكان إطلاق القمر التجريبي الثاني (GIOVE-B) في عام ٢٠٠٨ لوضع اللمسات النهائية علي النظام و مواصفاته و التأكد من تشغيله بجودة عالية.

النظام الصيني بيدو:

بدأ نظام بيدو (أو البوصلة) كنظام ملاحي يهدف لتغطية الصين فقط ، إلا أنه تطور لاحقا بهدف تحقيق تغطية إقليمية ثم الوصول بعد ذلك إلي التغطية العالمية. من المتوقع أن يتكون النظام من ٥ أقمار صناعية ثابتة المدار Geostationary Erath Orbit Satellites أو اختصارا GEO بالإضافة إلي ٣٠ قمرا صناعيا متوسطة المدار Medium Earth Orbiting Satellites أو اختصارا MEO موزعين في ٦ مدارات علي ارتفاع ٢١٥٠٠ كيلومتر من سطح الأرض وبزاوية ميل ٥٥° ، وينتظر اكتمال هذا النظام بحلول عام ٢٠١٥. ترسل الأقمار الصناعية إشارتها في عدد من الترددات: ١١٩٥.١٤ ، ١٢١٩.١٤ ، ١٢٥٦.٥٢-١٢٨٠.٥٢، ١٥٥٩.٠٥-١٥٦٣.١٥ ، ١٥٨٧.٦٩-١٥٩١.٧٩ ميجاهرتز. تم إطلاق القمر الصناعي الثاني في هذا النظام الصيني في ١٤ أبريل ٢٠٠٩ ، والذي قامت الأكاديمية الصينية للفضاء و التكنولوجيا بتصنيعه. يتكون قطاع التحكم والسيطرة من ٣ محطات: محطة تحكم رئيسية ، محطة متابعة ، و محطة إرسال بيانات للأقمار الصناعية. من المتوقع أن يوفر نظام البوصلة خدماته بأسلوبين: الخدمة المفتوحة Open Service لكل المستخدمين والتي ستوفر دقة تحديد المواقع في حدود ١٠ متر ، الخدمة الخاصة Authorized Service للمستخدمين الخاصين.

نظم ملاحية إقليمية:

بالإضافة للنظم الملاحية الأربعة (الجي بي أس و جلوناس و جاليليو و بيدو) التي لها تغطية عالمية فتوجد عدة نظم ملاحية أخري تهدف لزيادة كفاءة الملاحة بالأقمار الصناعية في مناطق محددة من الأرض. قامت اليابان بتطوير نظام QZSS (مكون من ٣ أقمار صناعية) ليغطي حدودها الإقليمية. أيضا تقوم الهند بتطوير نظام ملاحي إقليمي – يسمي IRNSS – ليتم الانتهاء منه فيما بين عامي ٢٠٠٨ و ٢٠١١ ليزيد كفاءة الملاحة في حدودها الجغرافية الإقليمية.

نظم الازدياد

نظم الازدياد (أو التكبير أو التعزيز) Augmentation Systems هي نظم تهدف لزيادة دقة و جودة تحديد المواقع باستخدام جهاز استقبال واحد Stand-alone. المبدأ النظري وراء تطوير مثل هذه النظم يعتمد علي حساب تصحيح لإشارات الأقمار الصناعية المرصودة (يتم حسابه من

خلال أجهزة تحتل نقاط معلومة الإحداثيات) وبث هذا التصحيح في نطاق منطقة جغرافية محددة بحيث يكون جهاز الجي بي أس قادرا علي استقباله ومن ثم يقوم بتصحيح الإحداثيات التي يحصل عليها من نظام الجي بي أس. يتم بث هذه التصحيحات بعدة طرق: إما باستخدام البث الراديوي اللاسلكي ، أو بإرسال التصحيحات المحسوبة إلي أقمار صناعية خاصة والتي تعيد إرساله مرة أخري لتستقبله المستقبلات الأرضية (تسمي نظم الازدياد بالاعتماد علي الأقمار الصناعية Satellite-Based Augmentation Systems أو اختصارا SBAS)، أو عن طريق شبكات التليفون الخلوي (الموبايل أو الجوال) ، أو عن طريق شبكة المعلومات الدولية (الانترنت). كما تشمل أيضا نظم الازدياد دمج أجهزة استقبال الجي بي أس مع أنواع أخري من الأجهزة الأرضية (مثل أجهزة القصور الذاتي Inertial Sensors) التي تقوم بتحديد المواقع في حالة غياب إشارات الأقمار الصناعية مثلما يحدث في المناطق السكنية أو داخل الأنفاق في المدن الكبرى. باستخدام جهاز جي بي أس يستطيع التعامل مع نظام من نظم الازدياد يمكن حسين دقة تحديد المواقع من عدة أمتار إلي بعض عشرات من السنتيمترات فقط.

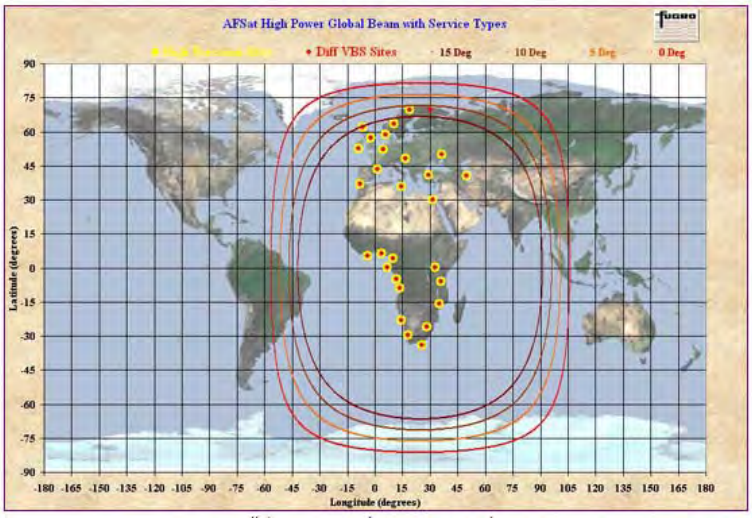
من أمثلة نظم الازدياد الموجودة في بعض الدول الأوروبية و العربية:

- نظام الازدياد للمناطق الشاسعة Wide Area Augmentation System المعروف باسم WASS والذي يغطي الولايات المتحدة الأمريكية وتديره وكالة الطيران الاتحادية الأمريكية. يتكون نظام WASS من ٢٥ محطة جيوديسية أرضية ترصد أقمار الجي بي أس وتحسب التصحيحات اللازمة لكل قمر في كل لحظة ، ثم تقوم بإرسال التصحيحات إلي المحطة الرئيسية والتي تقوم بدورها بإرساله إلي القمرين الصناعيين التابعين لمنظومة WASS ، ثم يرسل هذين القمرين التصحيحات من خلال ترددات تستطيع معظم أنواع أجهزة الجي بي أس (مستخدمي WASS) استقبالها لتصحيح مواقعها المحسوبة. تبلغ دقة تحديد المواقع باستخدام GPS/WASS أقل من ٣ أمتار باستخدام أجهزة الاستقبال الملاحية المحمولة يدويا.
- النظام الملاحي الأوروبي الثابت European Geostationary Navigation Overlay Service المعروف اختصارا باسم EGNOS وتديره هيئة الفضاء الأوروبية ويغطي قارة أوروبا، ويتيح تصحيحات – من خلال ٣ أقمار صناعية - لكلا من نظام الجي بي أس وأيضا نظام جلوناس.
- نظام الازدياد الأمريكي العسكري Wide Area GPS Enhancement أو اختصارا WAGE وتديره وزارة الدفاع الأمريكية للأغراض العسكرية فقط.
- نظام الازدياد متعدد الأغراض Multifunctional Satellite Augmentation System أو MSAS والذي تديره وزارة الأراضي و النقل في اليابان.
- نظام الازدياد لمدينة جده بالمملكة العربية السعودية والذي تديره أمانة جدة، والذي يوفر دقة أفقية في تحديد المواقع تصل إلي مستوي السنتيمتر.
- نظام الازدياد لمدينة دبي بالإمارات العربية المتحدة والذي تديره بلدية دبي ويقدم دقة ٢-٣ سنتيمتر في تحديد المواقع.
- نظام الازدياد الملاحي المصري ويسمي: الشبكة الإقليمية المصرية لتحديد المواقع بالأقمار الصناعية باستخدام الأسلوب الفرقي DGPS (تديره الهيئة المصرية لسلامة الملاحة البحرية) بغرض تقديم خدماته للسفن المبحرة في كلا البحرين الأحمر و الأبيض المتوسط.

يتكون هذا النظام من ٧ محطات أرضية كلا منها تبث إرسالها (خدمة التصحيحات) لاسلكيا في منطقة دائرية يبلغ نصف قطرها حوالي ٢٠٠ كيلومتر.

- نظام الازدياد في مملكة البحرين ومكون من ٥ محطات.

أيضا تجدر الإشارة لوجود نظم ازدياد تجارية (بخلاف النظم السابقة والتي عادة تكون حكومية وتقدم خدماتها مجانا للمستخدمين) ومنهم - علي سبيل المثال – نظام شركة OminStar التي تتيح خدماتها علي المستوي العالمي مقابل اشتراكات مالية ، من خلال ٣ أنواع من الخدمة: خدمة VBS بدقة أقل من متر واحد ، خدمة HP بدقة حوالي ٣٠ سنتيمتر ، خدمة XP بدقة حوالي ١٠ سنتيمتر. ويغطي أحد أقمار OmniStar المنطقة العربية كلها بحيث يتيح خدماته لكل المستخدمين بها.



شكل (١١-٦) تغطية نظام الازدياد OmniStar في المنطقة العربية

الباب الثالث

الاستشعار عن بعد

RS

الفصل الثاني عشر

مقدمة عن الاستشعار عن بعد

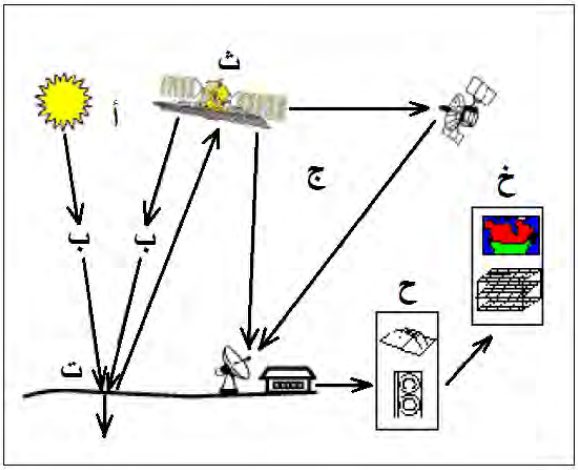
يقدم هذا الفصل نبذة مختصرة بسيطة عن الاستشعار عن بعد وتطبيقاته في تجميع البيانات المكانية.

١٢-١ ما هو الاستشعار عن بعد ؟

الاستشعار عن بعد هو علم تجميع المعلومات عن سطح الأرض دون الاتصال أو التلامس الفعلي معه، وذلك من خلال تحسس و تسجيل الطاقة المنعكسة أو المنبعثة ومعالجتها و تحليلها وتطبيق هذه المعلومات.

Remote sensing is the science of acquiring information about the Earth's surface without actually being in contact with it. This is done by sensing and recording reflected or emitted energy and processing, analyzing, and applying that information.

في معظم تقنيات الاستشعار عن بعد فأن هذه العملية تشمل التفاعل بين الاشعاع الساقط و الأهداف ذاتها. ولتبسيط هذه العملية فسنتحدث عن نظم التصوير حيث توجد سبعة عناصر متفاعلة مع بعضها (لاحظ أن هناك تقنيات غير تصويرية للاستشعار عن بعد) وهي كالتالي:



شكل (١٢-١) مكونات عملية الاستشعار عن بعد

أ. مصدر الطاقة أو مصدر الاضاءة:

يتمثل أول متطلبات عملية الاستشعار عن بعد في وجود مصدر طاقة Energy source يقوم بإضاءة أو توفير طاقة كهرومغناطيسية electromagnetic energy للأهداف المطلوبة.

ب. الاشعاع و الغلاف الجوي:

ستمر الطاقة من مصدرها و حتى وصولها للأهداف المطلوبة من خلال الغلاف الجوي atmosphere ومن ثم ستتفاعل معه. وقد يتم هذا التفاعل مرة أخري عندما تسير (أو تنعكس) الطاقة من الأهداف الي أجهزة الاستشعار أو المستشعرات sensors .

ت. التفاعل مع الأهداف:

عندما تمر الطاقة خلال الغلاف الجوي لتصل الي الاهداف فأنها تتفاعل مع كل هدف طبقا لخصائص كلا من الهدف و الاشعاع.

ث. تخزين الطاقة من خلال المستشعرات:

بعد أن تنعكس (أو تنبعث) الطاقة من الأهداف فأننا نحتاج لجهاز استشعار أو مستشعر sensor (من بعد و ليس متلامسا مع الهدف) لتجميع و تسجيل هذا الاشعاع الكهرومغناطيسي.

ج. الارسال و الاستقبال و المعالجة:

تحتاج الطاقة التي تم تسجيلها بواسطة المستشعرات الي ارسالها transmission في صورة الكترونية غالبا الي محطة استقبال reception و معالجة processing حيث يتم معالجة البيانات وتحويلها الي مرئية image (رقمية و أحيانا ورقية).

ح. التفسير و التحليل:

يتم تفسير interpretation و تحليل analysis المرئية المسجلة سواء بصريا أو رقميا بهدف استخراج المعلومات عن الأهداف التي تم تحسسها عن بعد.

خ. التطبيق:

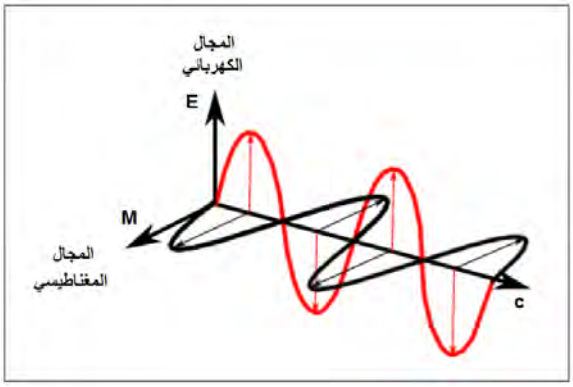
يتمثل العنصر الأخير من عناصر عملية الاستشعار عن بعد في تطبيق المعلومات التي تم الحصول عليها عن الأهداف بهدف الفهم الأفضل والحصول علي معلومات جديدة عن هذه الأهداف ومن ثم المساعدة في حل مشكلة معينة.

وسنستمر في تناول هذه العناصر السبعة لعملية الاستشعار عن بعد تفصيلا في الاجزاء القادمة.

١٢-٢ الاشعاع الكهرومغناطيسي

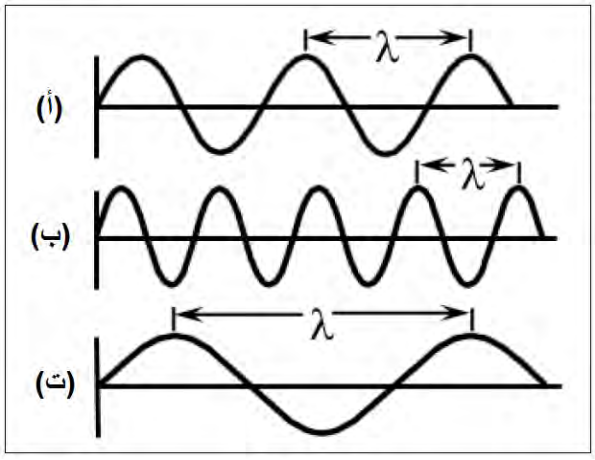
كما لاحظنا في الجزء السابق فأن أول متطلبات عملية الاستشعار عن بعد هو وجود مصدر طاقة يضئ الأهداف (في خالة أن الطاقة لا تنبعث من الأهداف ذاتها).وتكون هذه الطاقة في صورة اشعاع كهرومغناطيسي. وللإشعاع الكهرومغناطيسي خصائص أساسية و يتصرف بطريقة محددة طبقا لقوانين نظرية الموجات.

يتكون الاشعاع الكهرومغناطيسي من مجال كهربائي Electrical Field (E) والذي يتغير في القيمة في اتجاه عمودي علي اتجاه سريان الاشعاع و مجال مغناطيسي Magnetic Field (M) يتعامد علي المجال الكهربائي (ومن هنا جاء مصطلح الكهرومغناطيسي). و كلا المجالين الكهربائي و المغناطيسي يسيران بسرعة الضوء speed of light وتأخذ الرمز c.



شكل (١٢-٢) الاشعاع الكهرومغناطيسي

وهناك خاصيتين أساسيتين للإشعاع الكهرومغناطيسي لهما أهمية خاصة في فهم عملية الاستشعار عن بعد، وهما خاصيتي: طول الموجة و التردد.



شكل (١٢-٣) طول الموجة في الاشعاع الكهرومغناطيسي

طول الموجة wavelength هو طول دورة كاملة، ويمكن قياسه كمسافة بين قمتين متتاليتين، وعادة ما يرمز له بالحرف اللاتيني λ (لامدا). ويقاس طول الموجة بوحدات المتر (m) أو أجزاء منه مثل النانو متر (nm) الذي يساوي جزء من بليون (10^{-9}) من المتر، أو الميكرو متر (μm) الذي يساوي جزء من مليون (10^{-6}) من المتر، أو السنتيمتر (cm) الذي يساوي جزء من مائة (10^{-2}) من المتر.

أما التردد frequency فهو عدد موجات الموجة في فترة زمنية محددة. ويقاس التردد بوحدات الهرتز hertz (Hz) وهو موجة واحدة في الثانية، ومضاعفات الهرتز.

والعلاقة بين طول الموجة و التردد تعبر عنها المعادلة التالية:

$$c = \lambda v \qquad (1)$$

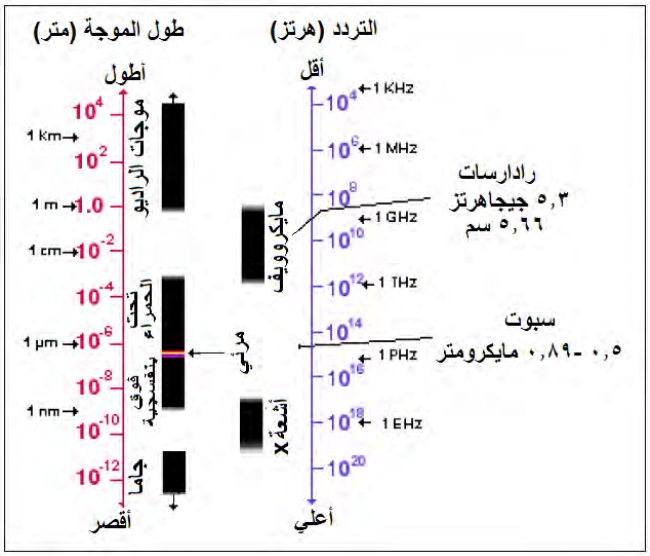
حيث:

- c سرعة الضوء = 3×10^{8} متر/ث،
- λ طول الموجة بالمتر،
- v التردد (بالهرتز أي عدد الموجات/ث).

ومن هذه المعادلة يمكننا أن نقول أن طول الموجة و التردد لهما علاقة عكسية، فكلما قصر طول الموجة أرتفع التردد وكلما زاد طول الموجة انخفض التردد. وتجدر الاشارة الي أن فهم خصائص الاشعاع المغناطيسي هام للغاية لفهم المعلومات التي يمكن الحصول عليها من عملية الاستشعار عن بعد.

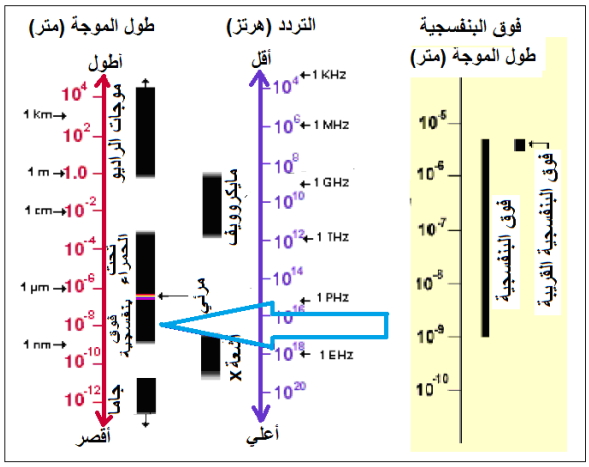
١٢-٣ المجال الكهرومغناطيسي

يتراوح المجال الكهرومغناطيسي electromagnetic spectrum بين أطوال موجات قصيرة (مثل أشعة جاما gamma و الاشعة السينية x-ray) وأطوال موجات طويلة (مثل الموجات القصيرة أو المايكروويف microwaves و موجات الراديو radio waves). وهناك عدة مناطق في المجال الكهرومغناطيسي مفيدة للاستشعار عن بعد.



شكل (١٢-٤) المجال الكهرومغناطيسي

لعدة أهداف فأن الاشعة فوق البنفسجية Ultraviolet (أو اختصارا UV) لها أقصر طول موجة مما يجعلها عملية لبعض أنواع الاستشعار عن بعد. وهذا الجزء من المجال الكهرومغناطيسي يقع مباشرة خلف الاشعة البنفسجية من الضوء المرئي، ومن هنا جاء أسمه. وتوجد بعض مواد سطح الأرض - خاصة الصخور والمعادن - ينبعث منها ضوءا مرئيا عندما تقع عليها الأشعة فوق البنفسجية.

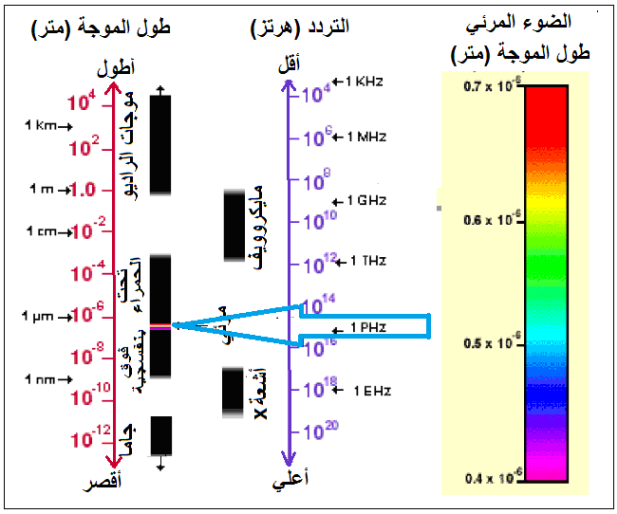


شكل (١٢-٥) الأشعة فوق البنفسجية

ان الضوء الذي تراه أعيننا هو جزء من المجال الكهرومغناطيسي المرئي visible spectrum. ومن الجدير ملاحظة كم هو قليل بالمقارنة ببقية المجال الكهرومغناطيسي كما هو موضح بالشكل التالي. أي أن هناك الكثير من أنواع الاشعاع حولنا لكن أعيننا لا تستطيع رؤيتها، ولذلك تسمي أشعة غير مرئية invisible، لمن يمكن تحسسها أو استشعارها من خلال أجهزة الاستشعار ومن

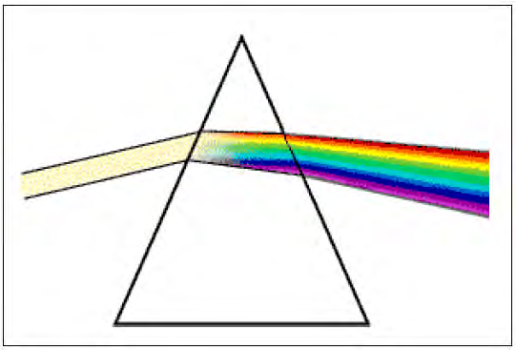
ثم الاستفادة منها. يغطي الضوء المرئي مجالا يتراوح بين ٠.٤ الي ٠.٧ مايكرومتر. واللون أو الضوء الأحمر له أطول موجة في مكونات الضوء المرئي، بينما اللون البنفسجي له أقصر طول موجة كما هو موضح بالشكل التالي. ونشمل مكونات الضوء المرئي الألوان التالية:

- البنفسجي violet : طول موجة ٠.٤ - ٠.٤٤٦ مايكرومتر
- الأزرق blue : طول موجة ٠.٤٤٦ - ٠.٥٠٠ مايكرومتر
- الأخضر green : طول موجة ٠.٥٠٠ - ٠.٥٧٨ مايكرومتر
- الأصفر yellow : طول موجة ٠.٥٧٨ - ٠.٥٩٢ مايكرومتر
- البرتقالي orange : طول موجة ٠.٥٩٢ - ٠.٦٢٠ مايكرومتر
- الأحمر red : طول موجة ٠.٦٢٠ - ٠.٧ مايكرومتر



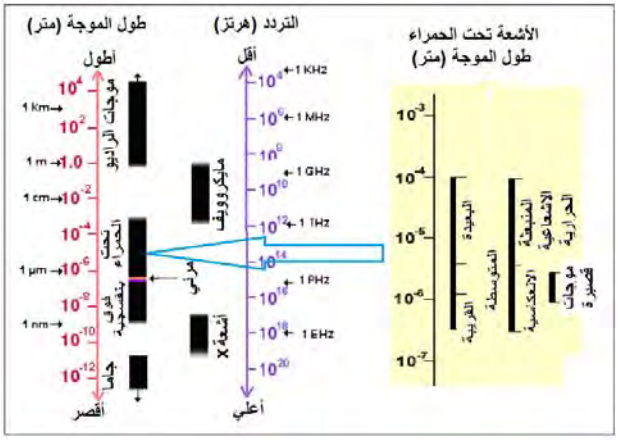
شكل (١٢-٦) الضوء المرئي

ويعد الأزرق و الأخضر و الأحمر الألوان الأساسية في المجال المرئي، وذلك بسبب أن أي لون أساسي لا يمكن أن يتكون من الألوان الأخرى بينما كل الألوان الأخرى مركبة من هذه الألوان الأساسية. ومع أننا نري ضوء الشمس كأنه لون متجانس homogeneous أو منتظم uniform إلا أنه في الحقيقة مركب من عدة مركبات أو عدة أطوال موجة من مجال الاشعاع وخاصة الاشعة فوق البنفسجية و الضوء المرئي و الاشعة تحت الحمراء. ويمكن رؤية مكونات الجزء المرئي من الاشعاع الكهرومغناطيسي عندما نمرر الضوء من خلال منشور prism كما في الشكل التالي:



شكل (١٢-٧) مركبات الضوء المرئي

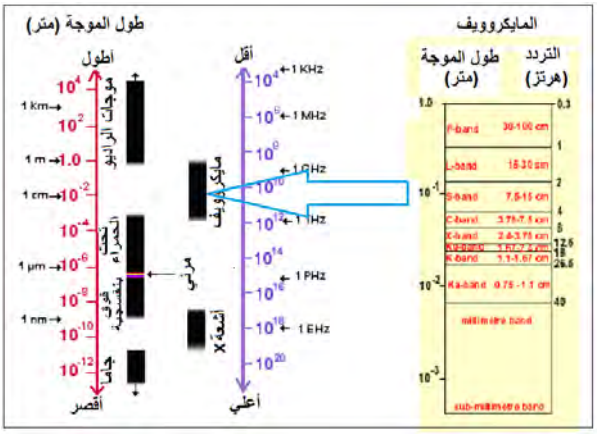
الجزء التالي الهام من المجال الكهرومغناطيسي هو الاشعة تحت الحمراء Infrared (أو اختصارا IR) والذي يغطي أطوال موجات من ٠.٧ تقريبا الي ١٠٠ مايكرومتر، أي أنه مائة مرة أعرض من الجزء المرئي. ويمكن تقسيم الاشعة تحت الحمراء الي مجموعتين بناءا علي خصائصهما الاشعاعية: تحت الحمراء الانعكاسية Reflected IR وتحت الحمراء الانبعاثية أو الحرارية Thermal IR. تستخدم الاشعة تحت الحمراء في الاستشعار عن بعد بطريقة تماثل استخدام الضوء المرئي. والأشعة تحت الحمراء الانعكاسية تغطي أطوال موجات تقريبا من ٠.٧ الي ٣.٠ مايكرومتر. أما الاشعة تحت الحمراء الحرارية فتختلف تماما عن الضوء المرئي و الاشعة تحت الحمراء الانعكاسية، فهذا الجزء من الطاقة الكهرومغناطيسية ينبعث أساسا من سطح الأرض في صورة حرارة. و تغطي الأشعة تحت الحمراء الحرارية أطوال موجات تقريبا من ٣.٠ الي ١٠٠ مايكرومتر.



شكل (١٢-٨) الأشعة تحت الحمراء

الجزء الذي أصبح حديثا مثارا للاهتمام في الاستشعار عن بعد هو الأشعة القصيرة أو المايكروويف microwave والذي يتراوح طول موجته ما بين ١ ملليمتر الي ١ متر. وهذا يمثل أطول موجات الاشعة المستخدمة في الاستشعار عن بعد. وأشعة المايكروويف قصيرة طول الموجة لها خصائص

مماثلة لخصائص الاشعة تحت الحمراء الحرارية، بينما تستخدم الاشعة طويلة الموجة في البث التلفزيوني و الاذاعي.

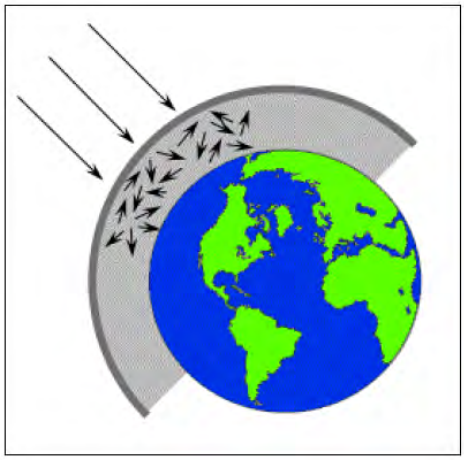


شكل (١٢-٩) أشعة المايكروويف (الأشعة القصيرة)

١٢-٤ التفاعل مع الغلاف الجوي

قبل أن يصل الاشعاع المستخدم في الاستشعار عن بعد الي سطح الأرض فأنه يمر بطبقات الغلاف الجوي، ومن الممكن أن تؤثر الجزئيات و الغازات الموجودة في الغلاف الجوي علي هذا الاشعاع. وتكون أسباب هذه التأثيرات ما يعرف بالتشتت و الامتصاص.

يحدث التشتت scattering عندما توجد جزئيات كبيرة من الغازات في الغلاف الجوي مما يجعل الاشعاع الكهرومغناطيسي ينحرف أو يتشتت عن مساره الأصلي. ويعتمد حجم هذا التشتت علي عدة عوامل منها طول موجة الاشعاع ووفرة جزئيات الغازات و المسافة التي يقطعها الاشعاع خلال الغلاف الجوي.



شكل (١٢-١٠) التشتت في الغلاف الجوي

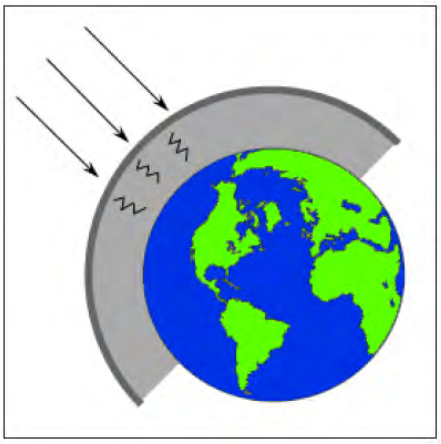
يوجد ثلاثة أنواع من التشتت:

- تشتت Rayleigh ويحدث عندما تكون الجزئيات صغيرة جدا بالمقارنة بطول موجة الاشعاع، مثل جزئيات النتروجين و الاكسجين و ذرات التراب. ويؤثر هذا النوع من التشتت علي الطاقة ذات أطوال الموجة القصيرة بدرجة أكبر من تلك ذات أطوال الموجة الكبيرة، وهو نوع التشتت الأكبر في الطبقات العليا من الغلاف الجوي. وهذا التشتت هو السبب في رؤيتنا السماء باللون الأزرق خلال النهار حيث أن ضوء الشمس عندما يمر بالغلاف الجوي فأن الموجات القصيرة (الأزرق) من الضوء المرئي ستشتت و تنتشر بدرجة أكبر من الموجات الأطول موجة.

- تشتت Mie ويحدث عندما تكون الجزئيات بنفس حجم طول موجة الاشعاع، مثل جزئيات التراب و الدخان و بخار الماء. ويؤثر هذا النوع من التشتت علي الطاقة ذات أطوال الموجة الطويلة بدرجة أكبر من تلك ذات أطوال الموجة القصيرة، ومن ثم فهو يحدث في الطبقات السفلي من الغلاف الجوي وخاصة عندما تكون السحب معتمة أو غائمة.

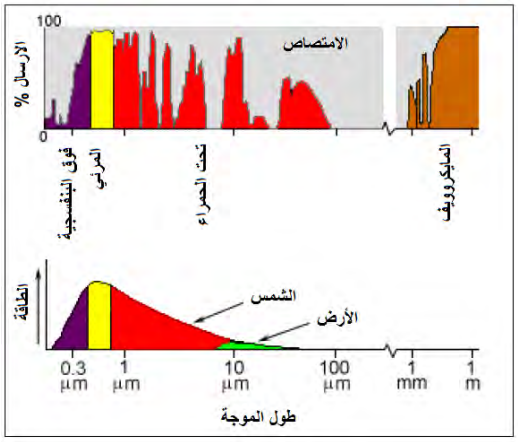
- التشتت غير الانتقائى nonselective ويحدث عندما تكون الجزئيات أكبر من حجم طول موجة الاشعاع، مثل جزئيات التراب الكبيرة وقطرات الماء. ويؤثر هذا النوع من التشتت علي جميع أنواع الطاقة لجميع أطوال الموجات بدرجة متساوية، وهو المسبب لظهور الضباب و السحب باللون الأبيض لأعيننا حيث أن الألوان الأزرق و الأخضر و الأحمر ستشتت بنفس الدرجة.

يحدث الامتصاص absorption بصورة مغايرة للتشتت، فالامتصاص يتسبب في أن تقوم جزئيات الغلاف الجوي بامتصاص الطاقة في أطوال الموجات المختلفة. ويعد الاوزون و ثاني أكسيد الكربون و بخار الماء العوامل الثلاثة المسببة للامتصاص. ان الاوزون يمتص الاشعاع فوق البنفسجي الضار للإنسان، ولولا وجود هذه الطبقة في الغلاف الجوي لاحترق جلد الانسان عند التعرض لأشعة الشمس. أما ثاني أكسيد الكربون فيمتص الاشعاع بقوة في نطلق الاشعة تحت الحمراء البعيدة من مجال الطاقة الكهرومغناطيسية مما يتسبب في احتفاظ الغلاف الجوي بالحرارة وهو المؤدي لظاهرة الاحتباس الحراري. أما بخار الماء فيمتص الطاقة في كلا من نطاق الاشعة تحت الحمراء طويلة الموجة و أيضا الموجات القصيرة أو الميكروويف (بين ٢٢ مايكرومتر و ١ متر). ويختلف وجود بخار الماء في الطبقات السفلي من الغلاف الجوي من مكان لآخر ومن وقت لآخر طوال العام، فعلي سبيل المثال فأن المناطق الصحراوية بها القليل من بخار الماء بينما المناطق المدارية بها تركيز أعلي من بخار الماء أي رطوبة عالية.



شكل (١٢-١١) الامتصاص في الغلاف الجوي

حيث أن هذه الغازات تمتص الطاقة الكهرومغناطيسية بصور مختلفة في نطاق الطاقة فأنها تؤثر في تحديد النطاقات التي يمكن استخدامها في تطبيقات الاستشعار عن بعد. فالمناطق - داخل نطاق الطاقة الكهرومغناطيسية - التي لا تتأثر بشدة بالامتصاص في الغلاف الجوي تكون مناطق مفيدة للاستشعار عن بعد، ومن ثم يطلق عليها اسم "نوافذ الغلاف الجوي atmospheric windows". وبمقارنة خصائص مصدري الطاقة (أي الشمس و الأرض) مع نوافذ الغلاف الجوي المتاحة فيمكننا تحديد أطوال الموجات التي يمكن استخدامها بكفاءة في عملية الاستشعار عن بعد. فالجزء المرئي من نطاق الطاقة الكهرومغناطيسية يكون حساسا لنوافذ الغلاف الجوي و أيضا لقمة الطاقة الشمسية. أما الطاقة الحرارية المنبعثة من الأرض فأنها تكون في نافذة حوالي ١٠ مايكرومتر في نطاق الاشعة تحت الحمراء الحرارية، بينما النافذة الأكبر من أطوال الموجات بعد ١ ملليمتر تكون في نطاق الموجات القصيرة أو المايكروويف.



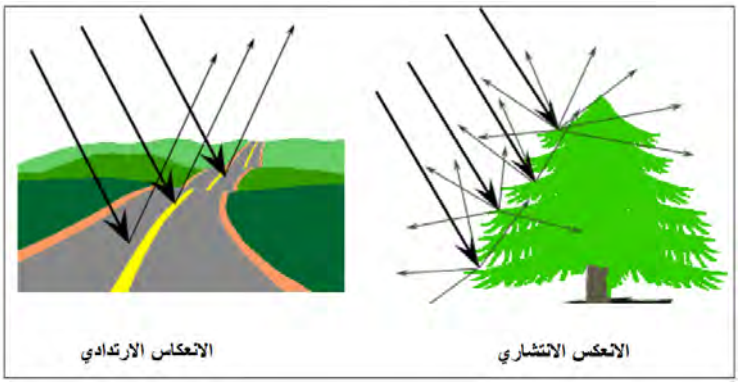
شكل (١٢-١٢) نوافذ الغلاف الجوي

١٢-٥ التفاعل مع الأهداف

يمكن للإشعاع الذي لا يمتص أو يتناثر في الغلاف الجوي أن يصل و يتفاعل مع الأهداف الموجودة علي سطح الأرض. وهناك ثلاثة صور للتفاعل هذه الطاقة الساقطة I (كما في الشكل التالي): الامتصاص A ، النفاذ T ، الانعكاس I ، ويتم التفاعل مع الاهداف في واحدة أو أكثر من هذه الصور بناءا علي طول موجة الاشعاع و خصائص الأهداف ذاتها.

شكل (١٢-١٣) صور التفاعل مع الأهداف

يحدث الامتصاص absorption عندما يقوم الهدف بامتصاص الطاقة الساقطة بينما يحدث النفاذ transmission عندما يتم مرور الطاقة من خلال الهدف، ويحدث الانعكاس reflection عندما يعكس الهدف هذه الطاقة و يعيد توجيهها. وفي الاستشعار عن بعد فأننا نهتم بقياس الاشعاع المنعكس من هذه الأهداف الأرضية، وهنا يوجد نوعين من الانعكاس: الانعكاس الارتدادي specular reflection و الانعكاس الانتشاري diffuse reflection



شكل (١٢-١٤) أنواع الانعكاس

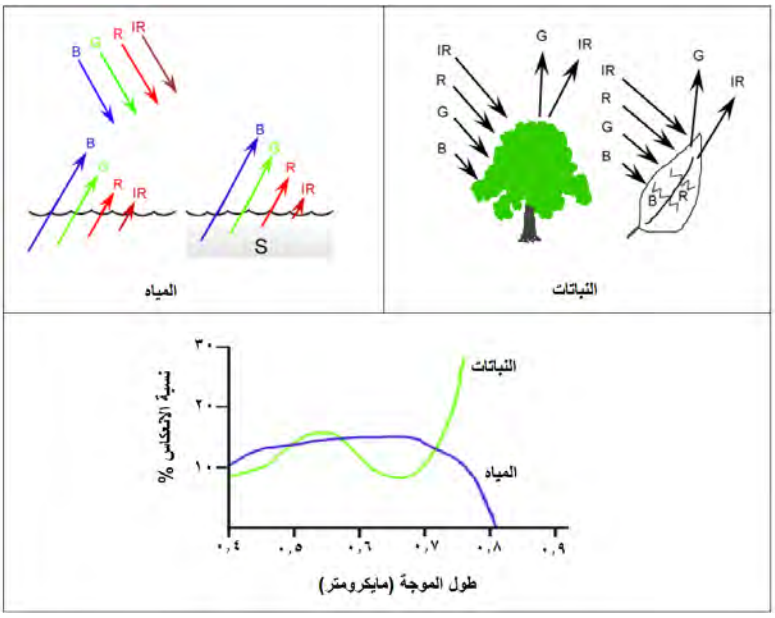
عندما يكون الهدف أملس أو ناعم smooth فيحدث الانعكاس الارتدادي أو ما يمكن تسميته الانعكاس كشبه المرآة حيث تنعكس كل أو معظم الطاقة الساقطة بعيدا عن سطح الهدف في اتجاه واحد. أما الانعكاس الانتشاري فيحدث عندما يكون سطح الهدف خشن rough حيث تنعكس الطاقة

تقريبا بانتظام في جميع الاتجاهات. وكل الأهداف الأرضية تقع فيما بين حالتي الانعكاس هاتين اعتمادا علي درجة خشونة roughness الهدف مقارنة بطول موجة الاشعاع الساقط عليه. فإذا كان طول الموجة صغير جدا بالمقارنة بتغيرات السطح أو حجم الجزئ particle size الذي يتكون منه سطح هذا الهدف فأن الانعكاس الانتشاري يكون هو الغالب. فعلي سبيل المثال فأن الرمال الدقيقة ستظهر ناعمة جدا بالمقارنة لموجات الميكروويف (طول موجة كبير) لكنها ستكون خشنة بالمقارنة لموجات الضوء المرئي.

لنأخذ الان مثالين تفصلين لأهداف سطح الأرض وكيف ستتفاعل مع الطاقة في نطاق الضوء المرئي و نطاق الأشعة تحت الحمراء (الشكل التالي).

- أوراق النباتات leaves: وفيها فأن مادة الكلوروفيل ستمتص بقوة الاشعاع في أطوال الموجة للون الأزرق و الأحمر وستعكس طول موجة اللون الأخضر، وهذا ما يجعلنا نري النباتات خضراء اللون ويزداد اخضرارها في فصل الصيف حيث تكون مادة الكلوروفيل في أقصي قيمها. بينما في فصل الخريف فيكون هناك كلوروفيل أقل مما يجعل انعكاس اللون الأخضر أقل بينما يكون هناك انعكس أكثر (أو امتصاص أقل) في اللون الأحمر مما يجعل لون النباتات أحمر أو أصفر (لاحظ أن اللون الأصفر ما هو إلا مكون من كلا اللونين الأحمر و الأخضر). أيضا فأن التركيب الداخلي لصحة النبات يعمل كعاكس انتشاري مثالي في الأشعة تحت الحمراء القريبة near infrared، أي أنه اذا كانت عين الانسان حساسة لهذه الأشعة فأننا كنا سنري النباتات أكثر لمعانا لطول الموجة هذه. وفي الحقيقة فأن قياس و متابعة الاشعة تحت الحمراء القريبة المنعكسة يعد مقياسا لمدي صحة how healthy النباتات في تطبيقات الاستشعار عن بعد.

- المياه water: وفيها سيتم امتصاص أطوال الموجات الكبيرة من الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء القريبة بدرجة أكبر من تلك الأشعة ذات أطوال الموجة القصيرة. ومن ثم فأن المياه تظهر باللون الأزرق أو الأزرق-الأخضر نتيجة الانعكاس القوي لهذه الموجات القصيرة، وتظهر المياه داكنة عند رؤيتها بالأشعة تحت الحمراء. فإذا وجدت مواد عالقة suspended sediments (S) في الطبقة العليا من المسطح المائي فأنها ستسبب في انعكاس أفضل و مظهر أكثر لمعانا. لكن هذه المواد العالقة S قد تسبب ارتباكا مع المياه الضحلة النظيفة، حيث أن كلاهما سيظهران متشابهين بدرجة كبيرة. ان الكلوروفيل في الطحالب يمتص الأشعة الزرقاء بدرجة أكبر ويعكس اللون الأخضر مما يجعل المياه تظهر أكثر اخضرارا عند وجود الطحالب. أيضا فأن تضاريس المسحات المائية (النعومة و الخشونة والمواد العائمة) قد تسبب في تعقيدات أكثر عند تفسير مكونات هذه المسطحات وتفاعلها في ظاهرة الانعكاس الارتدادي.



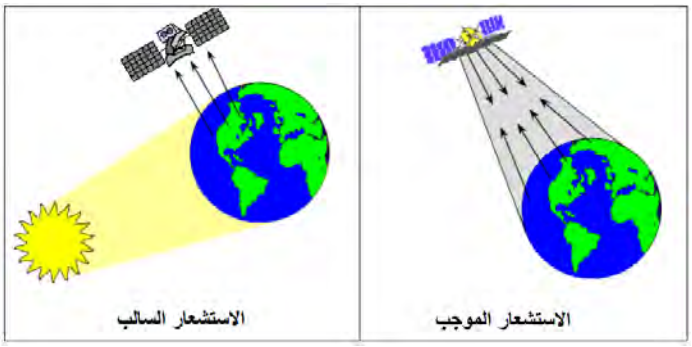
شكل (١٢-١٥) أمثلة لتفاعلات الانعكاس مع الأهداف

ومن هذين المثالين فيمكننا أن نلاحظ أنه و طبقا لطبيعة الهدف و لطول موجة الاشعاع المستخدم فيمكننا أن نري صور مختلفة من تفاعلات الامتصاص و النفاذ و الانعكاس. ومن ثم فأننا وبقياس الطاقة المنعكسة (أو المنبعثة) من أهداف سطح الأرض في عدة أطوال موجات فنستطيع بناء أو تكوين قاعدة للتفاعل الطيفي spectral response لكل هدف. فإذا قارننا هذا التفاعل الطيفي لعدة أهداف أرضية فيمكننا أن نفرق بينهم بصورة أفضل من التفرقة بينهم في طول موجة واحد فقط. فعلي سبيل المثال فأن المياه و النباتات قد يعكسان الأشعة بصورة متشابهه في الضوء المرئي، لكنهما منفصلان تماما و مختلفان عند التعامل مع الاشعة تحت الحمراء. فبمعرفة في أي جزء من نطاق الضوء الكهرومغناطيسي يجب أن نبحث فيمكنا الوصول الي تفسير و تحليل أفضل و أدق للإشعاع وكيفية تفاعله مع الأهداف الأرضية.

١٢-٦ الاستشعار الموجب و السالب

تمثل الشمس مصدرا هاما من مصادر الطاقة أو الاضاءة المستخدمة في الاستشعار عن بعد، فطاقة الشمس اما أن تنعكس عند سقوطها علي سطح الأرض كما في حالة أشعة الضوء المرئي أو أن يتم امتصاصها ثم انبعاثها مرة أخري كما في حالة الاشعة تحت الحمراء الحرارية. ومن ثم فأن أجهزة الاستشعار عن بعد التي تقيس الطاقة الطبيعية المتاحة - مثل طاقة الشمس - يطلق عليه اسم مستشعرات سالبة أو سلبية passive sensors. أي أن هذه المستشعرات السالبة تقيس الطاقة فقط عندما يكون هذا المصدر الطبيعي متاحا، وبالنسبة للطاقة المنعكسة فأن هذا يحدث فقط في النهار فلا توجد طاقة منعكسة في الليل. أما الطاقة المنبعثة فمن الممكن قياسها و تحسسها نهارا أو ليلا طالما كانت كميتها كافية بحيث تسمح بالتحسس.

علي الجانب الاخر فأن أجهزة الاستشعار أو المستشعرات الموجبة أو الايجابية active sensors تستخدم طاقتها الخاصة للإضاءة أو التحسس، فهي تبث الاشعاع الموجهه الي الأهداف الأرضية ثم تستقبله و تسجله بعد انعكاسه. ومن مميزات المستشعرات الموجبة أنها تعمل في أي وقت من اليوم أو فصول السنة، كما أنها تستخدم لفحص أطوال موجات لا يمكن توافرها في طاقة الشمس الطبيعية، مثل الموجات القصيرة أو المايكروويف. لكن هذه المستشعرات الموجبة تتطلب توليد كمية كبيرة من الطاقة تكفي لإضاءة الأهداف، ومن أمثلتها مستشعرات الليزر و مستشعرات الرادار المعروفة باسم Synthetic Aperture Radar (SAR).



شكل (١٢-١٦) الاستشعار الموجب و السالب

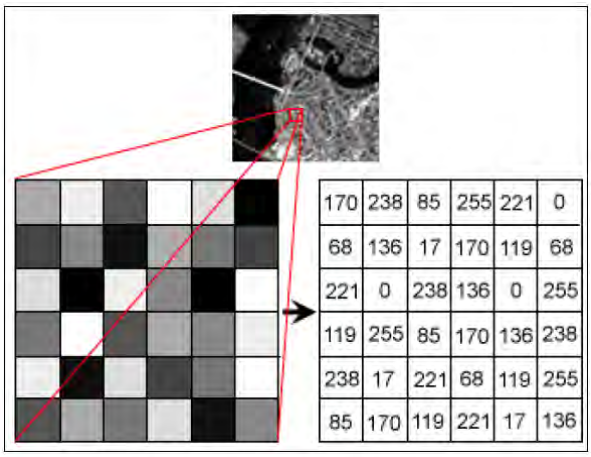
١٢-٧ خصائص المرئيات

قبل المضي قدما في تفاصيل الاستشعار عن بعد علينا أن نتعرض سريعا لبعض المبادئ و المصطلحات الفنية المتعلقة بمرئيات images الاستشعار عن بعد.

ان الطاقة الكهرومغناطيسية يمكن بيانها أو تحسسها سواء فوتوغرافيا photographically او الكترونيا electronically. تستخدم عملية التصوير الفوتوغرافي التفاعلات الكيمائية علي سطح الفيلم الحساس لبيان و تسجيل تغيرات الطاقة. ومن المهم أن نفرق بين مصطلحي الصور photographs و المرئيات images في الاستشعار عن بعد. فالمرئية تعبر عن التمثيل الصوري pictorial representation بغض النظر عن طول الموجة أو الجهاز المستخدم في بيان و تسجيل الطاقة الكهرومغناطيسية. أما الصورة فتعود الي نوع محدد من المرئيات وهي التي تم فيها استخدام الأفلام لبيان و تسجيل الطاقة. وعادة فأن الصور يتم تسجيلها في نطاق أطوال الموجات من ٠.٣ الي ٠.٩ مايكرومتر، أي نطاق الضوء المرئي و الاشعة تحت الحمراء. ومن هنا فيمكننا القول ان كل الصور هي مرئيات بينما ليست كل المرئيات صورا. وبالتالي فأن المصطلح الأوسع انتشارا هو المرئية طالما أننا لا نتحدث خصيصا عن صور تم تسجيلها فوتوغرافيا.

يمكن للصورة أن يتم تمثيلها و عرضها بصورة رقمية digital format من خلال تقسيم الصورة الي اقسام صغيرة متساوية المساحة و الشكل وهي ما يطلق عليها اسم الخلايا او البكسل pixels. وهذه الخلايا تمثل درجة اللمعان brightness لكل مساحة بواسطة قيمة رقمية digital number (الشكل التالي). أي أننا قد حولنا الصورة الفوتوغرافية الأصلية الي مرئية رقمية، وهو

ما يحدث عندما نقوم بعملية المسح الضوئي scanning للصورة. أما المستشعرات التي تتحسس و تسجل الطاقة بصورة الكترونية فأنها تتبع نفس المنهج من خلال تسجيل الطاقة في مصفوفة رقمية من البداية.



شكل (١٢-١٧) تحويل الصورة الفوتوغرافية الي نسخة رقمية

يتم تجميع و تسجيل الطاقة في جزء صغير أو ضيق من مجال الاشعة الكهرومغناطيسية فيما يسمي القناة channel أو النطاق band. ويمكن تجميع و عرض معلومات عدة قنوات أو عدة نطاقات باستخدام الألوان الاساسية الثلاثة (الأزرق و الأخضر و الأحمر) حيث يتم تمثيل معلومات كل نطاق أو كل قناة كواحد من هذه الألوان، وطبقا لدرجة اللمعان النسبي (أي القيمة الرقمية) لكل خلية أو بكسب في كل قناة فأن الألوان الثلاثة سيتم دمجهم بصور مختلفة لتمثيل الألوان المختلفة. وعندما نستخدم هذه الطريقة لعرض معلومات قناة واحدة أو نطاق من أطوال الموجات فأننا نقوم بعرض محتويات هذه القناة من خلال الألوان الرئيسية الثلاثة. وبسبب أن درجة اللمعان في كل خلية تكون متساوية للألوان الثلاثة فأنها تتجمع في مرئية أبيض و أسود black and white image. أما عندما يتم عرض أكثر من قناة أو نطاق و لكلا منهم لون أساسي مختلف فأن درجة اللمعان ستختلف من قناة الي أخري في طريقة دمج الألوان ومن ثم فأنهم سينتجون مرئية ملونة color image.

شكل (١٢-١٨) المرئيات الملونة و غير الملونة

الفصل الثالث عشر

الأقمار الصناعية و المستشعرات

يتعرض هذا الفصل لأنواع الأقمار الصناعية و أيضا أجهزة الاستشعار (أو المستشعرات) المستخدمة في الاستشعار عن بعد.

١٣-١ الاستشعار من على الأرض و من الجو و من الفضاء

في الفصل السابق تعلمنا بعض المفاهيم الأساسية لعملية الاستشعار عن بعد وشرحنا بقليل من التفصيل المكونات الثلاثة الأولي لهذه العملية وهي مصدر الطاقة والتفاعل مع الغلاف الجوي و التفاعل مع الأهداف الأرضية. وعندما تعرضنا للاستشعار عن بعد الموجب و السالب فقد بدأنا ندخل في شرح المكون الرابع ألا وهو تسجيل الطاقة من خلال المستشعرات sensors. وفي الفصل الحالي سنتوسع في شرح هذا الجزء.

لكي يمكن للمستشعر أن يجمع و يسجل الطاقة المنعكسة أو المنبعثة من الهدف أو السطح المطلوب فيجب أن يكون موضوعا في منصة platform لا تلامس هذا الهدف أو هذا السطح. وتتعدد المنصات المستخدمة في الاستشعار عن بعد بحيث يمكن أن تكون موضوعة علي الأرض أو في الجو أي داخل الغلاف الجوي (طائرة أو بالون) أو في الفضاء أي خارج الغلاف الجوي (قمر صناعي أو مكوك الفضاء).

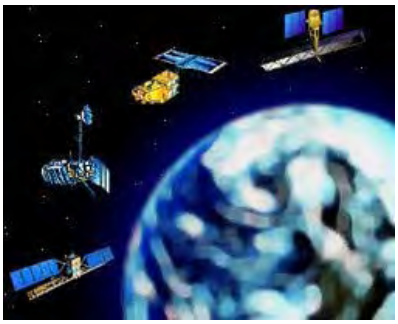
تستخدم المستشعرات الأرضية ground-based sensors في تسجيل معلومات تفصيلية عن السطح بالمقارنة بالمستشعرات الجوية أو الفضائية. وفي بعض الأحيان فأن هذا يستخدم بغرض التعرف التفصيلي علي خصائص الأهداف التي تم تحسسها بمستشعرات أخري حتى نستطيع أن نفهم و نحلل جيدا معلومات المرئيات.

شكل (١٣-١) المستشعرات الأرضية

أما المستشعرات الجوية فغالبا ما تكون موضوعة في طائرات ذات أجنحة متزنة stable-wing aircraft مع أن طائرات الهليكوبتر تستخدم أحيانا. ويتم استخدام الطائرات في تجميع و تسجيل معلومات تفصيلية

شكل (١٣-٢) المستشعرات الجوية

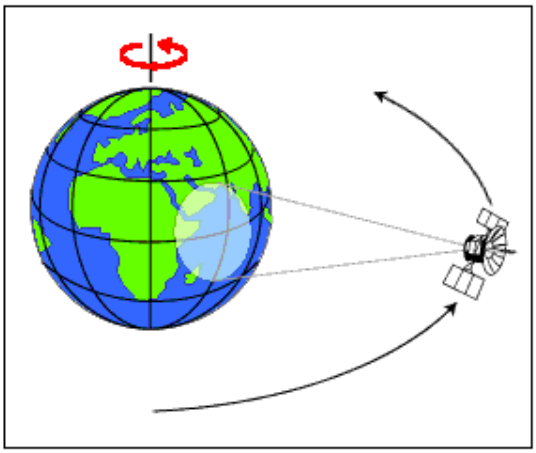
عادة فأن الاستشعار عن بعد من الفضاء يتم باستخدام المستشعرات في الأقمار الصناعية satellites وأيضا في مكوك الفضاء space shuttle. وتتعدد أنواع الأقمار الصناعية بصفة عامة لتشمل/ أقمار الملاحة، أقمار الاتصالات، أقمار دراسة الأرض وهي المجموعة التي تشمل أقمار الاستشعار عن بعد. وبسبب مدارها حول الأرض فأن الاقمار الصناعية تتيح لنا تغطية متكررة للأرض وبصورة مستمرة.



شكل (١٣-٣) المستشعرات الفضائية

١٣-٢ خصائص الأقمار الصناعية

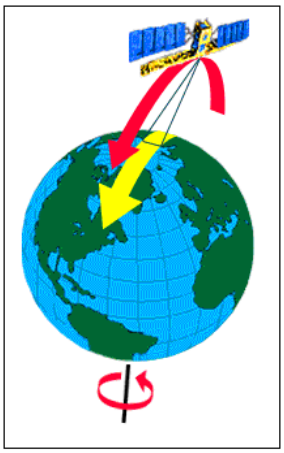
لكل قمر صناعي مدار orbit يناسب الهدف من المستشعر الذي يحمله القمر الصناعي، وتختلف المدارات طبقا للارتفاع altitude (ارتفاع المدار عن سطح الارض) والتوجيه orientation و الدوران rotation بالنسبة للأرض. فالأقمار الصناعية الموضوعة علي ارتفاعات عالية جدا بحيث انها تري نفس المنطقة من الارض في كل الاوقات يكون لها ما يسمي بالمدارات الثابتة مع الارض geostationary orbits. وهذه الاقمار الثابتة مع الارض تكون علي ارتفاعات تقريبا ٣٦٠٠٠ كيلومتر و تدور بنفس سرعة الارض بحيث انها تكون كما لو كانت "ثابتة" بالنسبة لسطح الارض. ومن ثم فان هذه المدارات تسمح للأقمار الصناعية بتجميع معلومات مستمرة عن منطقة محددة من الارض، وتعد اقمار الاتصالات و اقمار المناخ من نوعية الاقمار الصناعية التي لها مدارات ثابتة.



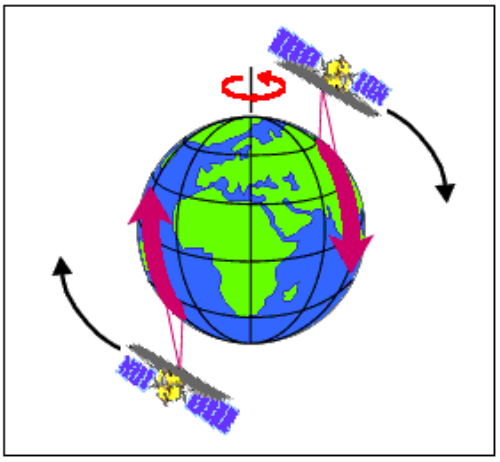
شكل (١٣-٤) المدارات الثابتة للأقمار الصناعية

توجد عدة منصات للاستشعار عن بعد مصممة لتدور في مدار (غالبا من الشمال الي الجنوب) بحيث أنها ومع دوران الأرض تتيح تغطية معظم سطح الأرض في فترة زمنية معينة. وهذه المدارات تسمي بالمدارات شبه القطبية near-polar orbits، وجاء هذا المصطلح بسبب ان المدار يميل علي الخط الواصل بين القطبين الشمالي و الجنوبي للأرض. كما ان كثير من هذه المدارات تكون ايضا متزامنة مع الشمس sun-synchronous بحيث انها تغطي كل منطقة من العالم في وقت محلي ثابت constant local time وهو ما يطلق عليه اسم الوقت الشمسي المحلي. ففي اي دائرة عرض latitude فان موقع الشمس في السماء عندما يمر القمر الصناعي فوقه سيكون واحدا في نفس الفصل المناخي. وهذا يضمن ظروف اضاءة متناسقة عند الحصول علي المرئيات في فصل مناخي محدد علي سنوات متتالية. وهذا الأمر هام جدا لمتابعة التغيرات change detection بين مرئيات متعاقبة زمنيا وأيضا لدمج (عمل موزايك) لعدة مرئيات معا حيث أنهم في هذه الحالة لن يحتاجوا لتصحيح ظروف اضاءة مختلفة.

ان معظم الاقمار الصناعية للاستشعار عن بعد اليوم تكون من ذات المدارات شبه القطبية، اي ان القمر يسير باتجاه القطب الشمالي في احد اوجه الارض ثم يسير باتجاه القطب الجنوبي في النصف الثاني من مداره، وهذا ما يسمي بالمسار الصاعد ascending pass و المسار الهابط descending pass. فإذا كان المدار متزامن مع الشمس ايضا فعادة ما يكون المسار الصاعد في الجانب ذو الظل من الارض بينما يكون المسار الهابط في الجانب المضاء (المواجه للشمس) من الارض. ومن ثم فان المستشعرات التي تقوم بتحسس و تسجيل الطاقة الشمسية الانعكاسية فستسجل الطاقة في المسار الهابط فقط. اما المستشعرات الموجبة التي لها مصدر اضاءة خاص بها او المستشعرات السالبة التي تسجل الاشعاع المنبعث (الحراري) فيمكنها ايضا التحسس في المسار الصاعد.

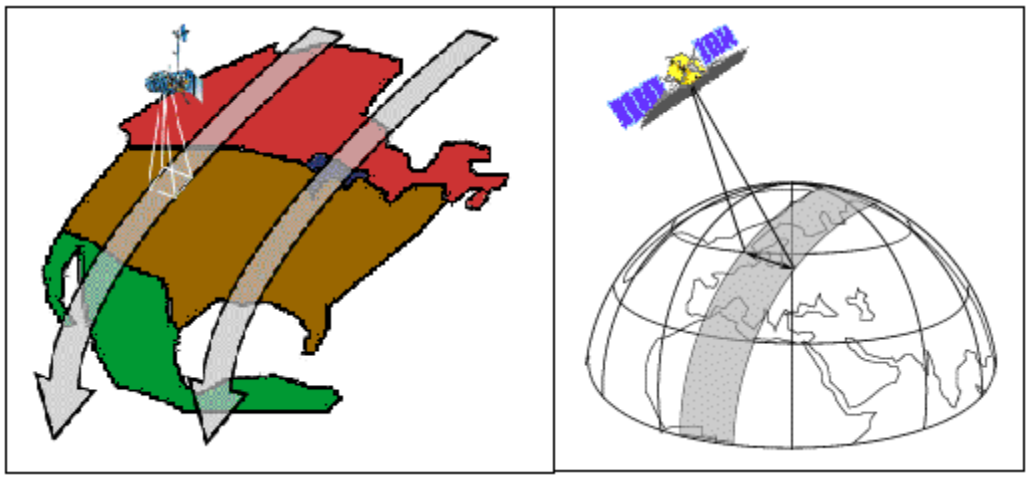


شكل (١٣-٥) المدارات شبه القطبية للأقمار الصناعية



شكل (١٣-٦) المسار الصاعد و المسار الهابط للأقمار الصناعية

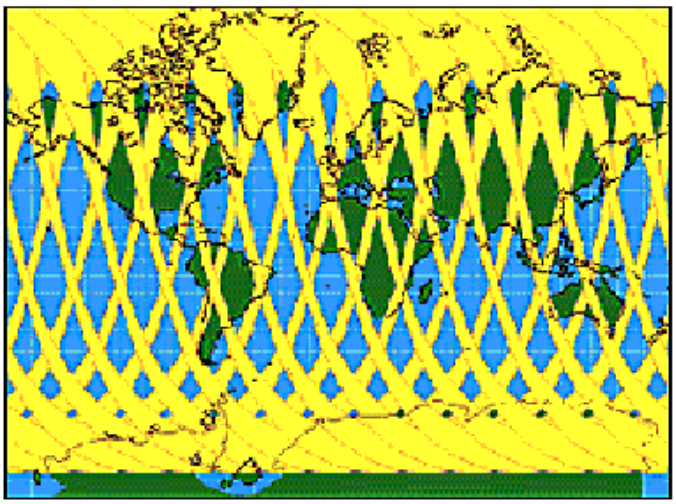
كلما يدور القمر الصناعي حول الأرض فأن المستشعر "يري" جزءا من سطح الأرض، وهذه المنطقة هي ما يطلق عليه اسم "صف التحسس swath". وتختلف صفوف التحسس التي يمكن استشعارها من مستشعر الي اخر بحيث يتراوح عرضها ما بين عشرات و مئات من الكيلومترات. وبالطبع فأن حركة دوران الأرض حول نفسها (من الغرب الي الشرق) فأن صف التحسس سيتحرك ناحية الغرب، مما يجعل القمر الصناعي يمر فوق صف تحسس اخر عند تتابع المسارات. ومن ثم فأن مدار القمر الصناعي و حركة الأرض معا يتيحان التغطية الكاملة لتحسس و استشعار لسطح الأرض من بعد.



شكل (١٣-٧) صفوف تحسس الأقمار الصناعية

تكتمل دورة كاملة من المدارات orbital cycle عندما يعود القمر الصناعي للمرور مرة ثانية فوق نفس النقطة علي سطح الأرض (تسمي نقطة النديرnadir point). وتختلف الفترة الزمنية

لدورة المدارات من قمر صناعي الي اخر، ويطلق علي هذه الدورة اسم "فترة اعادة الزيارة revisit period". أما في حالة استخدام مستشعرات متحركة steerable sensors فأن المستشعر يستطيع رؤية بقعة أرضية خارج نقطة النديرoff-nadir قبل و بعد مسارات المدار، مما يجعل فترة اعادة الزيارة أقل زمنيا من زمن دورة المدارات. وتعد فترة اعادة الزيارة هامة للغاية في عديد من تطبيقات الاستشعار عن بعد خاصة عند الحاجة لمرئيات متتالية، ومنها علي سبيل المثال مراقبة انتشار تسرب بقعة من الزيت أو مراقبة اثار الفيضانات. وفي حالة المدارات شبه القطبية near-polar orbits فأن المناطق مرتفعة دوائر العرض high latitude سيتم تحسسها بتكرار أكبر من المناطق الاستوائية نتيجة التداخل بين المسارات المتجاورة للقمر الصناعي حيث أن المسارات يتكون متقاربة عند القطبين.



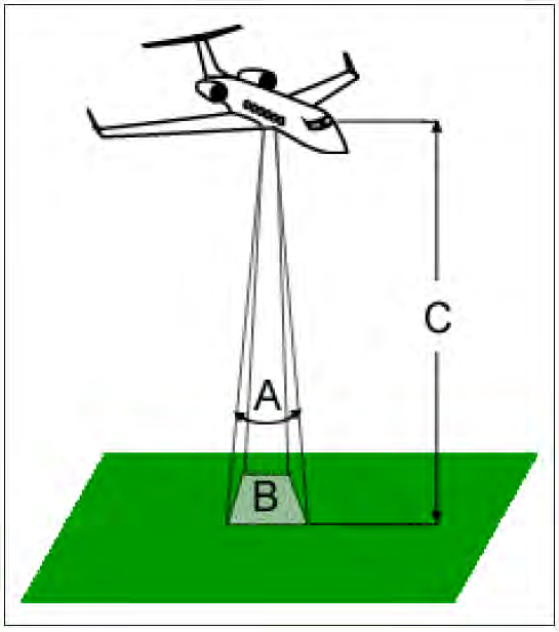
شكل (١٣-٨) دورة مدارات الأقمار الصناعية

١٣-٣ درجة الوضوح المكانية و حجم الخلية والمقياس

لعدة أجهزة من أجهزة الاستشعار عن بعد فأن المسافة بين الهدف و منصة الاستشعار تلعب دورا بالغ الأهمية في تحديد تفاصيل المعلومات التي تظهر المنطقة التي يتم تحسسها. ان المستشعرات الموجودة في المنصة تكون بعيدة جدا عن الهدف أي أنها تستشعر منطقة كبيرة ولا تستطيع اظهار التفاصيل كاملة. ويمكنك المقارنة ما بين ما يراه رائد الفضاء من داخل مكوك الفضاء و ما تراه أنت من داخل الطائرة، فرائد الفضاء يمكنه رؤية دولة بأكملها في منظر واحد لكنه لا يمكنه التمييز بين المباني المختلفة، بينما من بداخل الطائرة عند الطيران فوق مدينة يمكنه تمييز المباني والسيارات بوضوح لكن لا يمكنه رؤية منطقة كبيرة مثل رائد الفضاء . وهذا الفرق موجود أيضا ما بين الصور الجوية و مرئيات الأقمار الصناعية.

تعتمد تفاصيل المرئية علي درجة الوضوح المكانية spatial resolution لجهاز الاستشعار والتي تعرف بأنها مساحة أو حجم size أصغر ظاهرة يمكن تحسسها smallest possible feature can be detected. وتعتمد درجة الوضوح المكانية للمستشعرات اللايجابية علي ما يعرف باسم مجال الرؤية اللحظية Instantaneous Field of View (أو اختصارا IFOW)،

وهو مخروط الرؤية للمستشعر A ويحدد المنطقة الأرضية التي يمكن رؤيتها من ارتفاع محدد في لحظة زمنية محددة B. ويتم حساب مساحة المنطقة المرئية بضرب IFOW في ارتفاع المستشعر من سطح الأرض C، وهذه المنطقة علي الأرض تسمي خلية الوضوح resolution cell أي أقصي درجة وضوح مكاني للمستشعر. ومن ثم فأنه حتى يمكن استشعار هدف محدد فأن مساحته أو حجمه size يجب أن تساوي أو أن تكون أكبر من خلية الوضوح. أي أنه في حالة أن مساحة الهدف أقل من مساحة خلية الوضوح فلن يمكن تحسسه او استشعاره.



شكل (١٣-٩) درجة الوضوح المكانية

كما سبق الاشارة في الفصل الأول فأن مرئيات الاستشعار عن بعد تتكون من مصفوفة من العناصر أو الخلايا (بكسل) pixels، وهي أصغر وحدة علي المرئية. وعادة تكون الخلايا مربعة وتمثل مساحة محددة من المرئية. ومن المهم التفرقة بين حجم البكسل pixel size و درجة الوضوح المكانية spatial resolution فهما ليسا شيئا واحدا في جميع الحالات. ففي حالة أن المستشعر له درجة وضوح مكانية ٢٠ متر والمرئية من هذا المستشعر تظهر بوضوح كامل full resolution فأن كل بكسل ستمثل ٢٠×٢٠ متر علي الأرض. وفي هذه الحالة فأن حجم البكسل يساوي درجة الوضوح المكانية. لكن من الممكن أن نظهر مرئية باستخدام حجم بكسل مختلف عن درجة وضوحها المكانية، فمثلا في حالة عرض ملصقات (بوستر) لمرئيات سطح الأرض فنستخدم حجم خليه يمثل مساحة كبيرة (أكبر من درجة الوضوح المكانية الأصلية لهذه المرئية).

يقال للمرئيات التي تعتمد علي اظهار الأهداف الكبيرة فقط أن لها درجة وضوح مكانية خشنة أو قليلة coarse or low resolution، بينما في المرئيات التي لها درجة وضوح مكانية دقيقة أو عالية fine or high resolution فيمكن اظهار الأهداف الصغيرة. فأقمار الاستشعار عن بعد العسكرية علي سبيل المثال مصممة بحيث يمكنها تحسس كل ما يمكن من التفاصيل، أي أن لها درجة وضوح مكانية عالية أو دقيقة. أما الأقمار الصناعية التجارية فتوفر مرئيات لها درجة

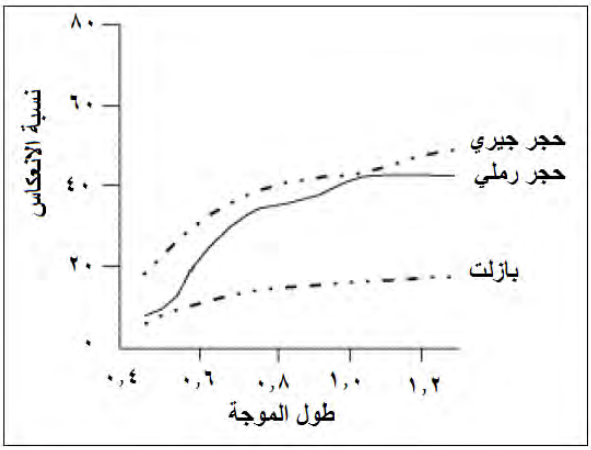
وضوح مكانية تتراوح بين عدة أمتار الي عدة كيلومترات. وكقاعدة عامة فكلما زادت درجة الوضوح المكانية كلما قلت المساحة الأرضية التي يمكن رؤيتها.

شكل (١٣-١٠) اختلاف درجات الوضوح المكانية

تعرف نسبة المسافة علي المرئية أو الخريطة الي المسافة الأرضية الحقيقية المناظرة باسم مقياس الرسم scale. فإذا كان لديك خريطة لها مقياس رسم ١ : ١٠٠،٠٠٠ (مثلا) فأن الهدف الذي يبلغ طوله علي الخريطة ١ سنتيمتر سيكون طوله الحقيقي علي الأرض ١٠٠،٠٠٠ سنتيمتر (أي ١ كيلومتر). ومن ثم فأن الخرائط أو المرئيات الفضائية التي لها قيمة صغيرة من نسبة "الخريطة/الأرض" (١ / ١٠٠،٠٠٠ علي سبيل المثال) يطلق عليها اسم الخرائط أو المرئيات صغيرة المقياس small scale ، بينما تلك التي لها نسبة أكبر (مثلا ١ / ٥،٠٠٠) تسمي كبيرة المقياس large scale.

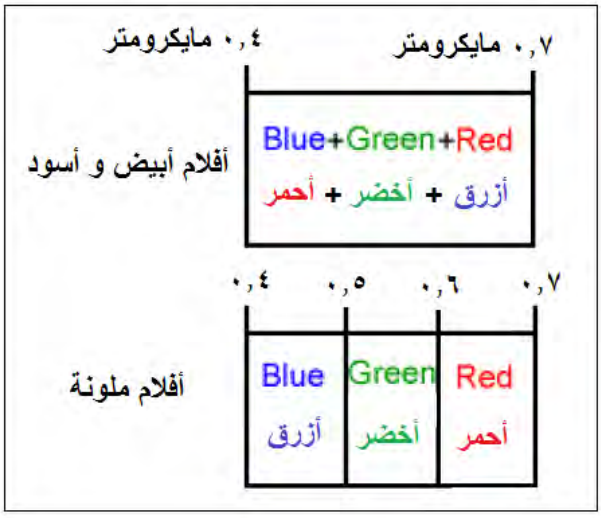
١٣-٤ درجة الوضوح الطيفية

أشرنا في الفصل السابق الي أن الاستجابة الطيفية spectral response أو منحنيات الانبعاث الطيفي spectral emissivity curves تميز الانعكاس أو الانبعاث للهدف باستخدام أطوال موجات مختلفة. ويمكن تمييز الاهداف المختلفة في مرئية من خلال مقارنة استجابتها الطيفية في مجال من أطوال الموجات. فالمجموعات الكبيرة مثل المياه و النباتات يمكنها أن تنفصل في مجالات مختلفة من أطوال الموجات مثل الضوء المرئي و الاشعة تحت الحمراء.



شكل (١٣-١١) اختلاف الاستجابة الطيفية للأهداف

لكن بعض المجموعات الدقيقة أو التفصيلية مثل أنواع الصخور قد لا يمكن تمييزها بسهولة باستخدام هاتين المجموعتين أو هذين المجالين من أطوال الموجات وقد تحتاج لعمل مقارنة في مجال ضيق من مجالات الضوء الكهرومغناطيسي. ومن ثم فأننا نحتاج لمستشعر يكون له "درجة وضوح طيفية spectral resolution" عالية. فدرجة الوضوح الطيفية تعبر عن قدرة المستشعر في تحديد فترات دقيقة من أطوال الموجات، أي أنه كلما كانت درجة الوضوح الطيفية أدق كلما ضاق مجال أطوال الموجات لقناة أو نطاق محدد. فالأفلام الأبيض و الأسود تسجل أطوال الموجات الممتدة علي نطاق الضوء المرئي، أي أن درجة وضوحها الطيفية خشنة coarse فهي لا تستطيع التمييز بين أطوال الموجات المختلفة داخل هذا النطاق وتسجل فقط الانعاس في كل مجال الضوء المرئي. بينما علي الجانب الاخر فأن الافلام الملونة لها درجة وضوح طيفية عالية بحيث أنها تستطيع تحسس الطاقة المنعكسة في أطوال الموجات الزرقاء و الخضراء و الحمراء كلا علي حدي. ومن ثم فهي تستطيع تمثيل الأهداف في عدة ألوان اعتمادا علي مدي الانعكاس في كل نطاق من أطوال الموجات.



شكل (١٣-١٢) درجات الوضوح الطيفية للأفلام المختلفة

ان العديد من نظم الاستشعار عن بعد تسجل الطاقة في فترات متعددة من أطوال الموجات باستخدام درجات وضوح طيفية مختلفة، وهذه النظم يطلق عليها اسم "المستشعرات متعددة الوضوح الطيفي multi-spectral sensors". أما المستشعرات المتقدمة فيطلق عليها اسم "المستشعرات عالية الوضوح الطيفي hyperspectral sensors" حيث أنها تستطيع تحسس مئات من النطاقات الطيفية الضيقة أو الدقيقة في الضوء المرئي و الاشعة تحت الحمراء القريبة و المتوسطة. ومن ثم فأن درجة وضوحها الطيفية العالية تسهل من التمييز بين الأهداف المختلفة اعتمادا علي الاستجابة الطيفية لكل هدف في كل نطاق طيفي ضيق.

١٣-٥ درجة الوضوح الراديومترية

بينما ترتيب البكسل أو الخلايا يصف تكوين المرئية ذاتها، فأن الخصائص الراديومترية هي التي تصف المعلومات الحقيقية لمحتوي المرئية الفضائية. في كل مرة يتم الحصول علي مرئية (سواء علي فيلم أو باستخدام مستشعر) فأن حساسيتها لكمية الطاقة الكهرومغناطيسية هي التي تحدد درجة الوضوح الراديومترية radiometric resolution. فالوضوح الراديودمتري لمرئية يصف قدرتها علي التمييز بين الفروقات البسيطة جدا من الطاقة، فكلما زادت درجة الوضوح الراديومترية لمستشعر كلما زادت حساسيته لاكتشاف الفروق في الطاقة المنعكسة أو المنبعثة.

يتم تسجيل بيانات الطاقة من خلال أعداد موجبة تتراوح بين الصفر الي أس محدد للعدد ٢. وهذا النطاق يقابل عدد البت bit المستخدمة في ترميز الأرقام في النظام الثنائي binary format. فكل بت تسجل الأس المرفوع له الرقم ٢ (مثلا: ١ بت = $٢^{١}$ = ٢). ويعتمد الحد الأقصى المتاح لمستويات اللمعان علي عدد البت المستخدم في تمثيل الطاقة المنعكسة. فعلي سبيل المثال فان كان مستشعر يستخدم ٨ بت في تسجيل البيانات، فهناك $٢^{٨}$ = ٢٥٦ قيمة رقمية متاحة وستتراوح ما بين الصفر و ٢٥٥. أما في حالة استخدام ٤ بت فقط فسيكون هناك $٢^{٤}$ = ١٦ قيمة رقمية متاحة فقط وستتراوح ما بين الصفر و ١٥، ومن ثم فستكون درجة الوضوح الراديومترية أقل. وعادة ما يتم تمثيل بيانات المرئية باستخدام نطاق من درجات اللون الرمادي grey tones ، حيث يكون اللون الأسود ممثلا بالرقم صفر واللون الأبيض ممثلا بالرقم الأقصى المتاح (مثل رقم ٢٥٥ في البيانات ذات الثمانية بت). وبمقارنة مرئية بدرجة وضوح راديومترية ٢-بت بمرئية أخري لها درجة وضوح راديومترية ٨-بت فيمكننا رؤية أن هناك فروق كبيرة في مستوي التفاصيل في كلا منهما.

شكل (١٣-١٣) الاختلاف في درجات الوضوح الراديومترية

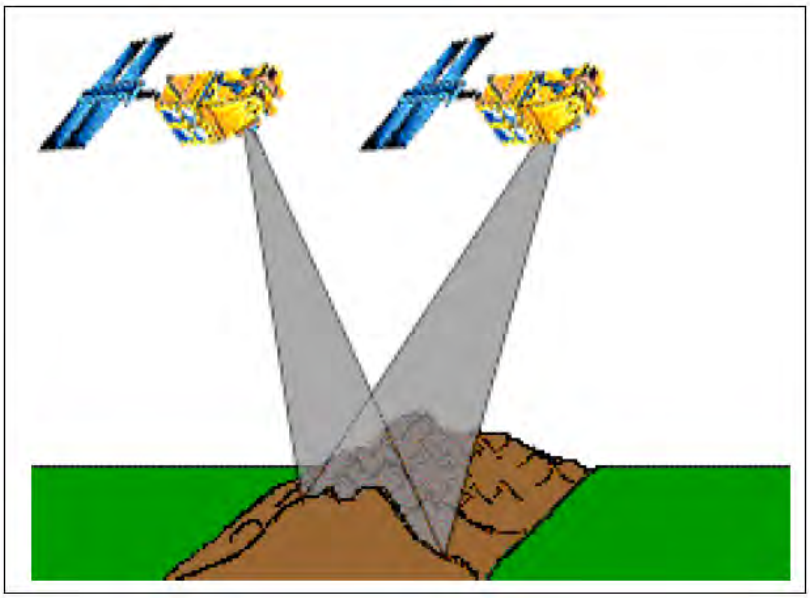
١٣-٦ درجة الوضوح المؤقتة/الزمنية

بالإضافة لدرجة الوضوح المكانية و درجة الوضوح الراديومترية فأن درجة الوضوح المؤقتة أو الزمنية temporal resolution تعد مهمة في الاستشعار عن بعد. وقد سبق أن تعرضنا لهذا المفهوم في الجزء ٢-٢ عندما تحدثنا عن فترة اعادة الزيارة revisit period والتي عادة ما تكون عدة أيام بالنسبة للأقمار الصناعية. ومن ثم فأن القيمة المطلقة لدرجة الوضوح المؤقتة أو الزمنية لنظام استشعار عن بعد لكي يقوم بتحسس نفس البقعة الأرضية مرة أخري هي هذه الفترة. لكن وبسبب التداخل overlap بين صفوف التحسس swaths للمدارات المتعاقبة كلما زادت دوائر العرض فأن هناك مناطق من الأرض سيتم تحسسها بتردد أكبر. أيضا فأن بعض أنواع الاقمار الصناعية لديها القدرة علي توجيه مستشعراتها لتحسس نفس البقعة الأرضية في مدارات مختلفة بفترات تتراوح ما بين يوم الي خمسة أيام. ومن ثم فأن درجة الوضوح الزمنية الحقيقية لمستشعر تعتمد علي عدة عوامل ومنها قردة القمر الصناعي و المستشعر ذاته وأيضا تداخل صفوف التحسس و دائرة العرض.

ان القدرة علي تجميع مرئيات لنفس المنطقة من سطح الأرض في فترات زمنية متعددة تعد من أهم عناصر تطبيق معلومات الاستشعار عن بعد. فالخصائص المكانية للأهداف قد تتغير مع مرور الوقت، وهذا ما يمكن اكتشافه من خلال تجميع و مقارنة المرئيات متعددة الوضوح الزمني multi-temporal images. فعلي سبيل المثال فأنه وفي خلال موسم النمو فأن النباتات المختلفة تكون في حالة تغير مستمر ومن ثم فأن قدرتنا علي متابعة هذا التغير تعتمد علي " متي وبأي تردد when and how frequently " يمكننا الحصول علي المرئيات. وباستخدام التحسس في فترات زمنية مختلفة وبصفة دورية فيمكننا متابعة التغيرات التي تحدث علي سطح الأرض سواء

كانت تغيرات طبيعية (مثل التغير في الغطاء النباتي أو الفيضان) أو تغيرات بشرية (مثل النمو العمراني و التصحر). فعامل الزمن في الاستشعار عن بعد يكون هاما عندما:

- السحب المستمرة تعطي مجال رؤية محدود لسطح الارض.
- الحاجة لمتابعة الظواهر السريعة (مثل الفيضان و تسرب الزيت ... الخ)
- الحاجة للمتبعة المستمرة (مثل معدلات انتشار مرض نباتي معين من سنة لآخري)
- خصائص التغير لبعض الأهداف علي مدار الزمن قد تستخدم لتمييزها عن الأهداف المماثلة.



شكل (١٣-١٤) درجة الوضوح المؤقتة أو الزمنية

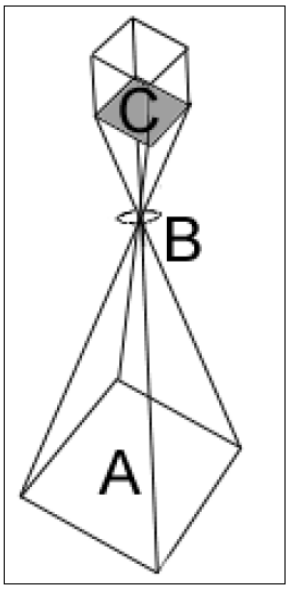
يقدم الجدول التالي بعض خصائص عدة اقمار صناعية للاستشعار عن بعد:

أمثلة لبعض خصائص عدة اقمار صناعية للاستشعار عن بعد

القمر	الاطلاق	الوضوح المكاني (م)		عدد النطاقات	طول البكسل (كم)	ارتفاع القمر (كم)	اعادة الزيارة (يوم)
		بانكروماتية	متعدد الاطياف				
WorldView-3	٢٠١٤	٠.٣١	١.٢٤	٢٩	١٣.١	٦١٧	١
GeoEye-1	٢٠٠٨	٠.٤١	١.٦٥	٤	١٥.٢	٧٧٠	٨.٣
WorldView-2	٢٠٠٩	٠.٤٦	١.٨٤	١٣	١٧.٦	٧٧٠	١.١
Pleiades-1B	٢٠١٢	٠.٥	٢.٠	٥	٢٠	٦٩٤	١
QuickBird	٢٠٠١	٠.٦٥	٢.٦	٥	١٦.٨	٤٥٠	٣.٥
IKONOS	١٩٩٩	٠.٨٢	٣.٢	٥	١١.٣	٦٨١	٣
EgyptSat-2	٢٠١٤	١.٠	٤.٠	٤	٤٦.٦	٧٢٠	
SkySat-2	٢٠١٤	١.١	٢.٠	٥	٨	٤٥٠	١
SPOT-7	٢٠١٤	١.٥	٦.٠	٥	٦٠	٦٩٤	١
SPOT-6	٢٠١٢	١.٥	٦.٠	٥	٦٠	٦٩٤	١
RapidEye	٢٠٠٨	٥.٠	١٠.٠	٥	٧٧	٦٣٠	٥.٥
ASTER	١٩٩٩	١٥	٣٠	١٤	٦٠	٧٠٥	١٦
LandSat-8	٢٠١٣	١٥	٣٠	١١	١٨٥	٧٠٥	١٦
LandSat-7 ETM	١٩٩٩	١٥	٣٠	٨	١٨٥	٧٠٥	١٦

١٣-٧ الكاميرات و التصوير الجوي

يعد استخدام الكاميرات في التصوير الجوي أبسط و أقدم المستشعرات المستخدمة في الاستشعار عن بعد لسطح الأرض. فالكاميرات هي نظم اطارية framing systems تحصل علي صورة شبه لحظية near-instantaneous snapshot لبقعة أرضية A. أي أن الكاميرا هي مستشعر بصري سالب optical passive sensor يستخدم عدسة B (أو مجموعة من العدسات) لتكوين صورة عند C المستوي البؤري focal plane.

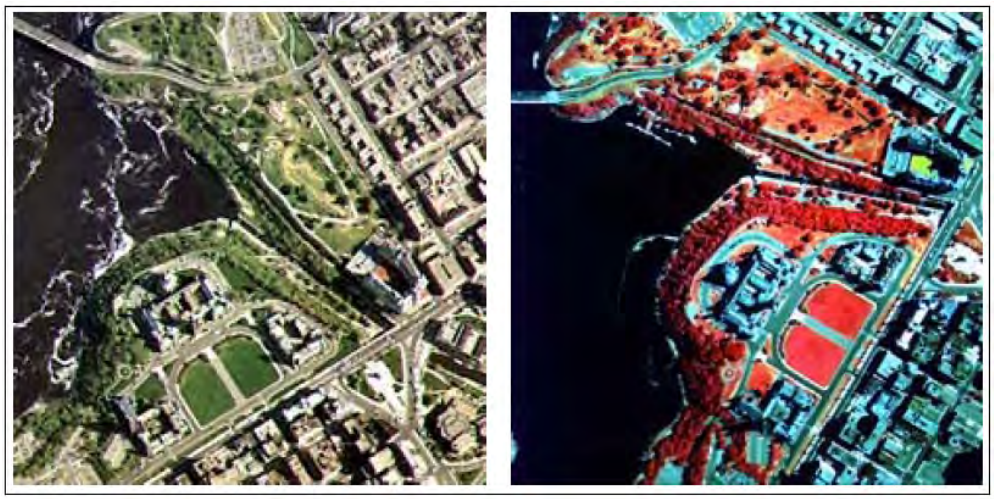


شكل (١٣-١٥) مفهوم التصوير الجوي

تكون الأفلام التصويرية حساسة للضوء ما بين ٠.٣ مايكرومتر و ٠.٩ مايكرومتر في نطاق الطول الموجي المتراوح ما بين الأشعة فوق البنفسجية والضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء القريبة. فالأفلام الأبيض و أسود - ويطلق عليها اسم الأفلام البانكروماتية panchromatic - تستشعر الأشعة فوق البنفسجية و الضوء المرئي، وتنتج الصور غير الملونة وهي الأكثر استخداما في التصوير الجوي. والصور فوق البنفسجية تستخدم نفس الأفلام البانكروماتية لكن مع وجود فلتر (أو مصفاة) لامتصاص و منع طاقة الضوء المرئي من الوصول الي الفيلم ذاته، ومن ثم فأن الاشعة فوق البنفسجية فقط هي التي يتم تسجيلها. لكن هذا النوع من الأفلام غير شائع الاستخدام حيث أن الامتصاص و التشتت في طبقات الغلاف الجوي يؤثر عليها بشدة. أما التصوير الأبيض و أسود الحساس للأشعة تحت الحمراء فيستخدم أفلاما حساسة للنطاق الكلي ما بين ٠.٣ - ٠.٩ مايكرومتر وهو مفيد جدا لاكتشاف الفروق بين النباتات المختلفة نتيجة لحساسية هذه الأفلام لنعطس الاشعة تحت الحمراء القريبة.

يشمل التصوير الملون العادي color photography والتصوير الملون الزائف false color photography (أو التصوير الملون تحت الحمراء color infrared أو اختصارا CIR) استخدام أفلام لها ثلاثة طبقات layers بحيث أن كل طبقة تكون حساسة لمجال مختلف من

الضوء. ففي التصوير الملون العادي فأن الطبقات تكون حساسة للضوء الأزرق و الأخضر و الأحمر مثل أعيننا، وبالتالي فأن هذه الصور تظهر بنفس الطريقة التي نري نحن بها المعالم الأرضية (مثلا الشجر يظهر باللون الأخضر ... الخ). أما في التصوير الملون تحت الحمراء CIR فأن الطبقات تكون حساسة للأخضر و الأحمر وللأشعة تحت الحمراء القريبة، وهي التي ستظهر بعد معالجتها بالألوان الأزرق و الأخضر و الأحمر علي الترتيب. أي أن في الصور الملونة الزائفة false color photographs فأن الأهداف التي لها انعكاس كبير للأشعة تحت الحمراء ستظهر علي الصورة حمراء، بينما الأهداف التي لها انعكاس أحمر كبير ستظهر علي الصورة خضراء، والأهداف التي لها انعكاس أخضر كبير ستظهر علي الصورة زرقاء. ومن هنا فأن هذه الصور تعطينا تمثيلا "زائفا" للأهداف مقارنة بالألوان المعتادة لنا.



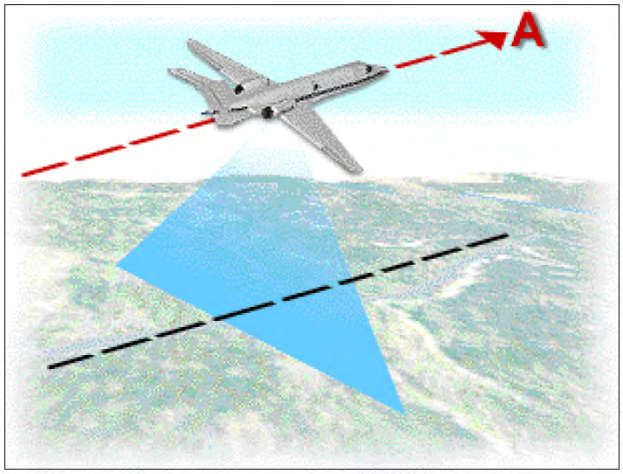
شكل (١٣-١٦) الصور الملونة العادية و الصور الملونة الزائفة

يمكن تركيب الكاميرات علي منصات عديدة منها المنصات الارضية و طائرات الهليكوبتر و الطائرات العادية و الاقمار الصناعية. وللصور الجوية الدقيقة او التفصيلية المأخوذة من الطائرات استخدامات متعددة خاصة عندما تكون التفاصيل ضرورية. ويعتمد الغطاء الارضي للصورة علي عدة عوامل تشمل البعد البؤري للعدسة و ارتفاع المنصة وخصائص و مساحة الفيلم المستخدم. يؤثر البعد البؤري focal length علي مجال الرؤية الزاوية angular field of view للعدسة (يماثل مفهوم مجال الرؤية اللحظي المشار اليه في الجزء ١٢-٣) و يحدد المنطقة التي تراها الكاميرا. وعادة ما يتراوح البعد البؤري ما بين ٩٠ و ٢١٠ ملليمتر، والأكثر شيوعا هو ١٥٢ ملليمتر. وكلما زاد البعد البؤري كلما قلت مساحة المنطقة المغطاة علي الارض لكن مع مستوي عالي من التفاصيل (أي بمقياس رسم كبير). كما تعتمد المنطقة المغطاة ايضا علي ارتفاع منصة التصوير، فعلي ارتفاعات كبيرة تستطيع الكاميرا رؤية منطقة أكبر من الأرض من تلك المنطقة التي يمكن رؤيتها علي ارتفاعات أصغر، لكن مع تفاصيل أقل (أي مقياس رسم صغير). ويمكن للصور الجوية أن تمدنا بتفاصيل دقيقة حتى درجة وضوح مكانية تبلغ ٥٠ سنتيمتر. لكن درجة الوضوح المكاني الحقيقية للصور الجوية تختلف باختلاف عوامل متعددة بصورة عامة.

يتم تصنيف معظم الصور الجوية اما مائلة oblique أو رأسية vertical اعتمادا علي توجيه الكاميرا نسبة الي الأرضَ أثناء لحظة التصوير. فالصور الجوية المائلة عادة ما يتم التقاطها وتكون الكاميرا موجهه الي جانب الطائرة. وتؤخذ الصور شديدة الميل high oblique بحيث يظهر الأفق في الصورة بخلاف الصور المائلة التي لا يظهر بها الأفق. والصور المائلة مفيدة لتغطية منطقة كبيرة من سطح الأرض في صورة واحدة ولبيان تضاريس سطح الأرض. لكن هذا النوع من الصور الجوية غير مستخدم في انتاج الخرائط بسبب التشوه الكبير في مقياس رسم الصورة والذي يمنع القياسات الدقيقة للمسافات و المساحات و الارتفاعات.

شكل (١٣-١٧) مثال لصورة جوية مائلة

ان الصور الجوية الرأسية المأخوذة بكاميرا أحادية العدسة هي الاكثر استخداما في التصوير الجوي لأغراض الاستشعار عن بعد وإنتاج الخرائط. وهذه الكاميرات تكون مصممة بحيث تلتقط عدد كبير من الصور المتتالية مع تقليل التشوه بقدر الامكان، وعادة ما تكون مربوطة بنظام ملاحي لتحديد المواقع للحصول علي الاحداثيات الجغرافية الدقيقة لكل صورة. وتطير الطائرة في عدد من الخطوط يسمي كلا منها "خط طيران flight line" ويتم التقاط الصور بحيث تكون الكاميرا موجهه لأسفل وذلك بتداخل يبلغ ٥٠ - ٦٠% بين كل صورتين متتاليتين. وهذا التداخل يضمن التغطية الكاملة للمنطقة، كما أنه يسهل الرؤية الاستراسكوبية (المجسمة) stereoscopic viewing. فكل صورتين متتاليتين تظهران منطقة التداخل بينهما من منظرين مختلفين، وبالتالي يمكن استخدام جهاز يسمي الاستريسكوب stereoscope للحصول علي منظر مجسم ثلاثي الأبعاد للمنطقة و يسمي النموذج الاستريسكوبي stereoscopic model.



شكل (١٣-١٨) خطوط الطيران في التصوير الجوي

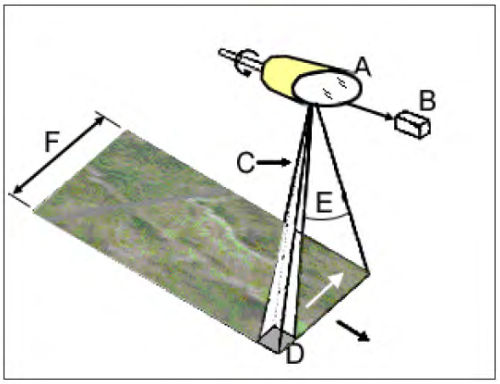
تكون الصور الجوية مفيدة أكثر عندما نحتاج درجة وضوح مكاني دقيقة أو عالية بغض النظر عن درجة الوضوح الطيفية والتي عادة ما تكون خشنة أو قليلة بالمقارنة ببيانات المستشعرات الالكترونية. ويتم استخدام الصور الجوية الرأسية في عمل القياسات الدقيقة منها وذلك لعدة تطبيقات مثل الخرائط و الجيولوجيا و الغابات. ويطلق علي علم القياس من الصور الجوية مصطلح photogrammetry وهو علم قديم يتم تطبيقه منذ بداية التصوير الجوي. وعادة ما يتم تفسير الصور بطريقة بصرية من خلال شخص ذو خبرة في التفسير، كما أنها يمكن مسحها ضوئيا للحصول علي نسخة رقمية منها و من ثم تفسيرها باستخدام برامج الكمبيوتر المتخصصة.

يستخدم التصوير متعدد النطاقات multi-band photography عدد من النظم متعددة النطاقات باستخدام عدة افلام للحصول علي صور لحظية متعددة في عدة نطاقات من المجال الكهرومغناطيسي. وتكون اهم مميزات هذا النوع من الكاميرات قدرتها علي تسجيل الاشعة المنعكسة بصورة منفصلة في نطاقات متعددة من اطوال الموجات، مما يسمح بتمييز افضل بين الاهداف المختلفة. أما الكاميرات الرقمية digital cameras التي تسجل الطاقة المنعكسة الكترونيا فتختلف بصورة كبيرة عن تلك الكاميرات التي تستخدم الافلام. فبدلا من الافلام فان هذه الكاميرات تستخدم مصفوفة مدرجة مغطاة بالسيليكون gridded array of silicon coated او ما يعرف باسم الاجهزة ثنائية الشحن charge-coupled devices (اختصارا CCD) والتي تستجيب بصورة منفصلة للإشعاع الكهرومغناطيسي. فالطاقة التي تصل الي سطح أجهزة CCD تسبب توليد شحنة كهربائية يتناسب مع درجة اللمعان للمنطقة الأرضية. ويتم تحديد رقم لكل نطاق في كل خلية أو بكسل بناءا علي هذه الشحنة الكهربائية. ومن ثم فأن هذه الصيغة الرقمية للمرئية الناتجة يمكن التعامل معها و تفسيرها باستخدام برامج الكمبيوتر. وعادة ما تكون الصور الرقمية لها درجة وضوح مكانية في حدود ٠.٣ متر و درجة وضوح طيفية ما بين ٠.٠١٢ و ٠.٣ ملليمتر، وعادة ما يتراوح عرض مصفوفة الخلايا size of pixel arrays بين ٥١٢×٥١٢ و ٢٠٤٨×٢٠٤٨.

١٣-٨ المسح متعدد الأطياف

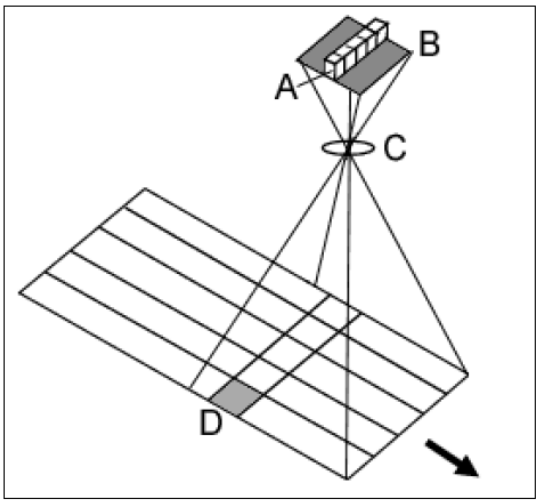
تقوم عدة نظم استشعار عن بعد بتجميع البيانات باستخدام نظم المسح scanning systems التي تستخدم مستشعر له مجال رؤية ضيق IFOV يمسح سطح الأرض لبناء مرئية ثنائية الأبعاد. ويمكن استخدام نظم المسح سواء من الطائرة أو من القمر الصناعي. ونظام المسح الذي يسمح بتجميع البيانات في عدة نطاقات من الطاقة يطلق عليه اسم "ماسح متعدد النطاقات multi-spectral scanner" أو اختصارا MSS، وهذا هو النوع الأكثر شيوعا من نظم المسح. ويوجد نوعين أو طريقتين للمسح في الماسحات متعددة النطاقات: المسح ضد المسار across-track scanning والمسح عبر المسار along-track scanning.

تقوم ماسحات ضد المسار بمسح الأرض في عدة خطوط تكون موجهة عموديا علي اتجاه حركة منصة الاستشعار (أي عمودية علي اتجاه مسار القمر الصناعي). وكل خط يتم مسحه بالتأرجح sweep من أحد جانبي المستشعر الي الجانب الاخر باستخدام مرآه متحركة rotating mirror (A)، وكلما تقدم القمر للأمام تتم عمليات مسح متعاقبة لبناء مرئية ثنائية الابعاد لسطح الارض. ويتم فصل الطاقة المنعكسة أو المنبعثة الي عدة مكونات كهرومغناطيسية بحيث يتم تحسس كلا منها بصورة مستقلة. وتوجد متحسسات داخلية internal detectors (B) كلا منها حساس لنطاق محدد من اطوال الموجات بحيث يقوم كلا متحسس بقياس الطاقة لنطاق معين من النطاقات وتحويل هذه الطاقة الي بيانات رقمية يقوم بتخزينها. ويحدد مجال الرؤية IFOV للمستشعر (C) وارتفاع منصة الاستشعار قيمة الدقة المكانية للخلية الأرضية التي يتم استشعارها (D). أما المجال الزاوي للرؤية angular field of view (E) فهو قيمة تأرجح المرآه بالدرجات المستخدمة في مسح خط، ومن ثم فهو يحدد عرض مسار التحسس swath علي الأرض (F). فالماسحات في الطائرات عادة ما تستطيع التأرجح لزوايا كبيرة (بين ٩٠ و ١٢٠ درجة) بينما ماسحات الأقمار الصناعية وبسبب ارتفاعاتها العالية فلا يمكنها التأرجح الا لزوايا صغيرة (ما بين ١٠ و ٢٠ درجة). وحيث أن المسافة ما بين المستشعر والهدف تزيد في حواف مسار الاستشعار فأن درجة الوضوح المكانية (حجم الخلية) يصبح أكبر أيضا مما يتسبب في حدوث تشوه هندسي geometric distortion في المرئية. أيضا وحيث أن زمن مجال الرؤية للخلية الواحدة (يسمي زمن الكمون dwell time) يكون قصيرا جدا فأنه يكون مؤثرا في تحديد درجات الوضوح المكانية و الراديومترية و الطيفية للمستشعر.



شكل (١٣-١٩) المسح بطريقة ضد المسار

تقوم ماسحات عبر المسار along-track scanners باستخدام الحركة الامامية للمستشعر لتسجيل خطوط مسح متعاقبة وبناء المرئية ثنائية الأبعاد عموديا علي اتجاه الطيران. لكن و بدلا من استخدام مرآة المسح المتأرجحة فأن هذه الماسحات تستخدم مجموعة خطية من المتحسسات a linear array of detectors (A) موضوعة علي المستوي البؤري focal plane للمرئية (B) الذي يكونه نظام العدسات lens system (C) والذي يتحرك في نفس اتجاه حركة المسار (أي عبر المسار). ويقوم كل متحسس بقياس الطاقة لخلية أرضية محددة (D)، وبالتالي فأن حجم المتحسس و مجال الرؤية IFOV يحددان درجة الوضوح المكانية للنظام. وبالطبع فهناك حاجة لعدة مجموعات خطية من المتحسسات حتى يمكن قياس عدة نطاقات من الطاقة الكهرومغناطيسية. وبالتالي فأن الطاقة المستشعرة من كل متحسس في كل مجموعة خطية يتم تسجيلها رقميا لبناء المرئية المطلوبة.



شكل (١٣-٢٠) المسح بطريقة عبر المسار

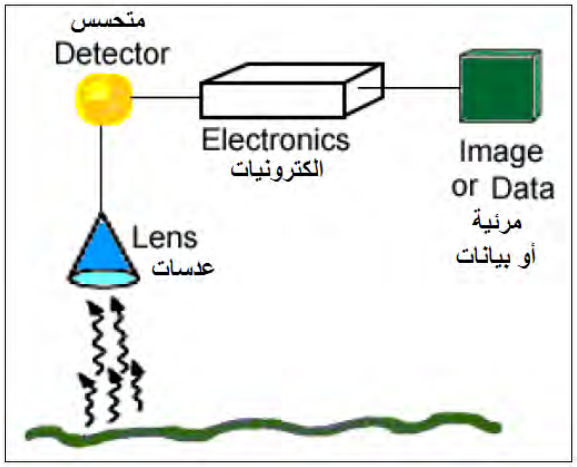
وللماسحات عبر المسار عدة مميزات عن الماسحات ضد المسار، فوجود مجموعات من المتحسسات يسمح بان يقوم كللا منهم باستشعار الطاقة لكل خلية ارضية في فترة زمنية اطول (زمن الكمون) وهذا يزيد من كمية الطاقة المستشعرة وأيضا من درجة الوضوح الراديومترية. كما أن زمن الكمون الأطول يسهل مجال الرؤية IFOV أصغر ومن ثم يحسن كثيرا من درجة الوضوح المكانية ودرجة الوضوح الطيفية. وحيث أن المتحسسات تكون أجهزة الكترونية فهي عادة ما تكون أصغر حجما و أخف وزنا و أقل استهلاكا للطاقة، وبالتالي فهي أكثر كفاءة ولها عمر افتراضي أطول حيث أنها لا تتكون من أية أجزاء متحركة (مثل مرآة التأرجح).

في كل الأحوال (بطريقة التحسس ضد المسار أو عبر المسار) فأن نظم المسح scanning systems تتفوق علي نظم التصوير photographic systems. فالمجال الطيفي لنظم التصوير مقصور فقط علي الضوء المرئي و الأشعة تحت الحمراء القريبة، بينما الماسحات متعددة النطاقات MSS تستطيع زيادة هذا المجال الي الاشعة تحت الحمراء الحرارية. كما أن لها درجات وضوح طيفية أكبر من نظم التصوير. أيضا فأن نظم المسح تقوم بتسجيل الطاقة الكترونيا مما يسمح بقياس و تسجيل هذه الطاقة بدقة عالية. وتتطلب نظم التصوير الامداد المستمر بالأفلام و

تحتاج لعمليات معالجة الأفلام علي الأرض بعد التقاط الصور، بينما التسجيل الالكتروني لنظم المسح يسهل من ارسال البيانات الي محطات الاستقبال والمعالجة الفورية لها علي الكمبيوتر.

١٣-٩ التصوير الحراري

توجد عدة مستشعرات متعددة النطاقات MSS يمكنها تحسس الاشعة تحت الحمراء الحرارية thermal infrared بالإضافة لنطاقات الضوء المرئي و الاشعة تحت الحمراء القريبة. لكن استشعار الطاقة المنبعثة من الأرض في نطاق الاشعة تحت الحمراء الحرارية (بين ٣ و ١٥ مايكرومتر) يختلف عن استشعار الاشعة المنعكسة. فالمستشعرات الحرارية thermal sensors تستخدم متحسسات ضوئية تكون حساسة للتفاعل المباشر مع الوحدات الضوئية (الفوتونات photons) الموجودة علي سطحها ومن ثم يمكنها قياس الاشعاع الحراري المنبعث. ويتم تبريد هذه المتحسسات في درجة حرارة تقترب من الصفر المطلق حتى يمكن تقليل الانبعاث الحراري الداخلي لها. وبصفة اساسية فان المستشعرات الحرارية تقيس درجة حرارة السطح و الخصائص الحرارية للأهداف.



شكل (١٣-٢١) الاستشعار الحراري

عادة ما تكون المرئيات الحرارية مستشعرة باستخدام ماسحات ضد المسار تقوم بتحسس الاشعاع المنبعث فقط في النطاق الحراري من الطاقة الكهرومغناطيسية. وتستخدم المستشعرات الحرارية واحد او اكثر من المراجع الحرارية الداخلية internal temperature references حتى يمكنها مقارنة الاشعاع المستشعر وتحديد الحرارة المستشعرة المطلقة. وعادة ما يتم تسجيل البيانات علي أفلام او شرائط ممغنطة، وتكون درجة الوضوح الحرارية temperature resolution في حدود درجة مئوية واحدة. وللتحليل فيتم اظهار المرئية الحرارية النسبية (تسمي thermogram) بدرجات اللون الرمادي حيث تظهر الحرارة الدافئة بلون فاتح و تظهر الحرارة الباردة بلون داكن. وعادة ما يتم استخدام هذه المرئيات الحرارية النسبية في تطبيقات الاستشعار عن بعد. اما قياسات الحرارة المطلقة فيمكن حسابها لكنها تحتاج لمعايرة دقيقة للمراجع الحرارية الداخلية وأيضا لمعلومات تفصيلية عن الخصائص الحرارية للأهداف الارضية بالإضافة لتصحيح كلا من التشوه الهندسي و التأثيرات الراديومترية للمرئية.

شكل (١٣-٢٢) مرئية حرارية

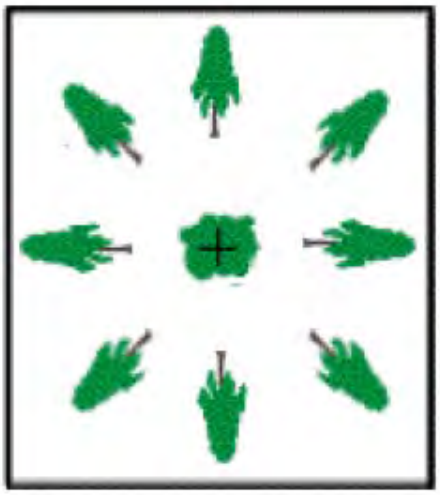
حيث ان نطاق الاشعة تحت الحمراء الحرارية كبير نسبيا (بالمقارنة بنطاق الضوء المرئي) فان تأثير التشتت في الغلاف الجوي يكون قليلا لهذه الاشعة. لكن علي الجانب الاخر فأن الامتصاص يؤثر بقوة علي نطاقين الاول من ٣ -٥ مايكرومتر و الثاني من ٨-١٤ مايكرومتر. وبما أن الطاقة تنخفض كلما زاد طول الموجة فان المستشعرات الحرارية عادة ما يكون لها مجال رؤية IFOV كبير وذلك لضمان وصول كمية كافية من الطاقة الي المتحسس. وبالتالي فان درجة الوضوح المكانية للمستشعرات الحرارية غالبة ما تكون خشنة بالمقارنة لدرجة وضوح المرئيات في نطاق الضوء المرئي و نطاق الاشعة الحمراء اللقريبة. ويمكن الحصول علي المرئيات الحرارية نهارا او ليلا (بسبب ان الاشعاع منبعث و ليس منعكس) وتستخدم لعدة انواع من التطبيقات في الاستكشاف العسكري و المخابراتي و ادارة الكوارث (مثل متابعة حرائق الغابات) ومراقبة فقدان الحرارة.

١٣-١٠ التشوه الهندسي في المرئيات

يتعرض أي نوع من المرئيات (سواء نظم التصوير من الطائرات او نظم المسح متعدد النطاقات من الاقمار الصناعية) الي عدة تشوهات هندسية geometric distortions. وهذه التشوهات موجودة في اي نظام استشعار عن بعد حيث اننا نحاول تمثيل سطح الارض المجسمة ثلاثية الأبعاد من خلال مرئية ثنائية الأبعاد. وهذه الأخطاء قد تكون بسبب عدة عوامل تشمل علي سبيل المثال:

- منظور بصريات المستشعر perspective of sensor optics
- حركة نظام المسح motion of scanning systems
- حركة و عدم ثبات المنصة motion and instability of platform
- دائرة عرض و ارتفاع و سرعة المنصة latitude, altitude, and velocity of platform
- تغير تضاريس سطح الارض terrain relief
- تكور و دوران الأرض curvature and rotation of the Earth

تقدم النظم الاطارية framing systems (مثل الكاميرات في التصوير الجوي) لقطة snapshot لحظية لسطح الأرض أسفل الكاميرا، ومن ثم فأن التشوه الهندسي الاساسي هنا سيكون بسبب ازاحة التضاريس relief displacement. فالأهداف الموجودة تحت مركز الكاميرا مباشرة (أي عند نقطة النديرِ) سيمكن رؤية قمتها فقط، بينما الأهداف الأخرى سيظهر علي الصورة قمتها و جزء من جوانبها. وعندما يكون الهدف طويلا أو بعيدا جدا عن مركز الصورة سيكون التشوه المكاني له كبيرا.



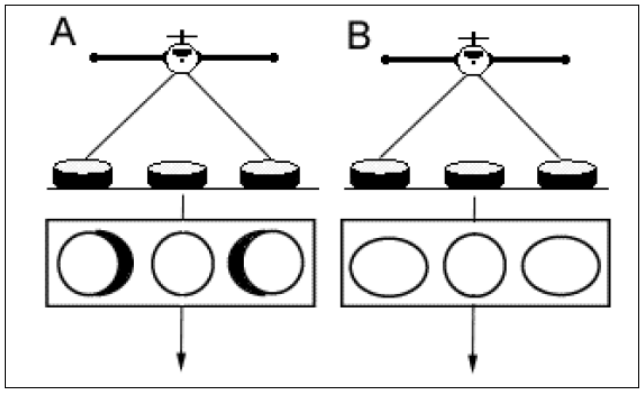
شكل (١٣-٢٣) التشوه الهندسي في الصور الجوية

ان البناء الهندسي لماسحات عبر المسار مشابه لبناء الصور الجوية/ حيث أن كل متحسس في كل خط يأخذ لقطة snapshot للخلية الأرضية المستشعرة. وتكون التغيرات الهندسي بين الخطوط بسبب التغير في ارتفاع و دائرة عرض المنصة علي مسار الطيران.

أما نظم المسح ضد المسار فيكون بها نوعين من التشوهات الهندسية، أولهما الازاحة التضاريسية (A) المشابه للتصوير الجوي لكن في اتجاه واحد فقط وهو الموازي لاتجاه المسح. وهنا لا يكون هناك اي تشوه مباشرة تحت المستشعر (عند نقطة النديرِ). وكلما تم التحسس بعيدا عن نقطة النديرِ كلما ظهر التشوه او الازاحة والتي تزيد باتجاه اطراف مسار التحسس. أما النوع الثاني من التشوه (B) فيحدث نتيجة دوران بصريات الماسح scanning optics. فكلما تم تحسس ضد (عمودي علي) المسار كلما زادت المسافة بين المستشعر و الهدف الارضي. ومع أن مرآة التحسس تدور بسرعة ثابتة، الا أن مجال الرؤية IFOV للمستشعر سيتحرك بسرعة (بالمقارنة بالأرض) ويستشعر منطقة أكبر كلما كان قريبا من الأطراف. ويؤدي هذا التأثير الي ضغط صورة الاهداف البعيدة عن نقطة النديرِ، وهذا ما يسمي تشوه مقياس المماس tangential scale distortion. كما ان كل المرئيات تخضع لتشوهات هندسية بسبب التغيرات في ثبات المنصة والذي يشمل تغير سرعتها و ارتفاعها اثناء التحسس او الاستشعار. وهذه التأثيرات مؤثرة عند استخدام الطائرات كمنصات للاستشعار إلا انها اقل تأثيرا بدرجة كبيرة مع منصات الاقمار الصناعية التي يكون لها مدارات اكثر ثباتا. لكن وعلي الجانب الاخر فان حركة دوران الارض ناحية الشرق تتسبب في ان تأرجح نظم المسح سيغطي منطقة الي الغرب قليلا من الخط السابق. ومن ثم فأن المرئية الناتجة

ستكون منحرفة skewed وهو ما يعرف بالتشوه الانحرافي skew distortion والذي يكون شائعا في مرئيات الماسحات متعددة النطاقات.

مع أن مصادر التشوه الهندسي تختلف من حالة لآخري و من نظام استشعار لآخر ألا أنها موجودة في مرئيات الاستشعار عن بعد. وفي معظم الحالات يمكننا ازالة ا، تقليل هذه الأخطاء بدرجة كبيرة إلا أن هذه الحقيقة يجب وضعها في الاعتبار قبل أية محاولات للقياس أو استنباط أية معلومات من المرئيات.

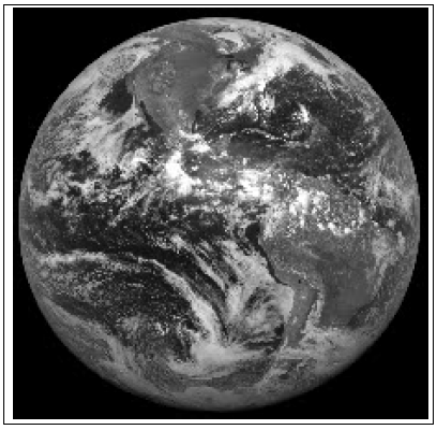


شكل (١٣-٢٤) التشوهات الهندسية في المرئيات

حيث أننا انتهينا الان من استعراض الخصائص العامة للمستشعرات و الأقمار الصناعية فسنتحدث في الأجزاء القادمة عن أنواع محددة من المستشعرات (باستخدام الأقمار الصناعية) التي تعمل في نطاق الضوء المرئي و الاشعة تحت الحمراء القريبة.

١٣-١١ أقمار و مستشعرات الطقس

تعد أقمار مراقبة الطقس واحدة من أوليات الأقمار الصناعية المدنية في الاستشعار عن بعد حيث تم اطلاق أول قمر للطقس (قمر TIROS-1) في عام ١٩٦٠ بواسطة الولايات المتحدة الامريكية. وفي خلال الخمس سنوات التالية تم اطلاق عدد من هذه الأقمار في مدارات شبه قطبية near-polar orbits تقدم تغطية عالمية كاملة لنماذج الطقس. وقدمت وكالة الفضاء الأمريكية (المعروفة اختصارا باسم ناسا NASA) في عام ١٩٦٦ أول مرئية تغطي نصف الكرة الأرضية تبين توزيع السحب كل نصف ساعة. والآن توجد عدة دول تدير نظم أقمار صناعية لمراقبة و متابعة الظروف المناخية حول العالم. وبصفة عامة فأن هذه الأقمار تستخدم مستشعرات لها دقة وضوح مكانية قليلة أو خشنة (بالمقارنة بأقمار رصد الأرض) وتقدم تغطية مكانية كبيرة. أما درجة وضوحها الزمنية/المؤقتة فتكون عالية حتى يمكنها تقديم أرصاد متكررة لسطح الأرض والرطوبة و غطاء السحب مما يسمح بمراقبة شبة مستمرة للظروف المناخية العالمية ومن ثم امكانية التنبؤ. وسنستعرض الان بعضا من هذه التطبيقات المترولوجية.



شكل (١٣-٢٥) التطبيقات المناخية ومراقبة الطقس

أقمار GOES:

تم تصميم القمر GOES (أو القمر البيئي العامل الثابت Geostationary Operational Environmental Satellite) بواسطة وكالة الفضاء الأمريكية - ناسا - ليقدم مرئيات متكررة صغيرة المقياس لسطح الأرض و غطاء السحب. وتم استخدام أجيال هذا القمر الصناعي علي مدار ٢٠ عاما في مراقبة الطقس و التنبؤ به. وهذه الأقمار الصناعية جزءا من منظومة أو شبكة عالمية من أقمار الطقس تتباعد بقيمة تقريبية ٧٠ درجة في خطوط الطول حول الأرض ليمكنها تغطية شبه كاملة للأرض. ويوجد قمرين GOES موضوعين في مدارات ثابتة مع الأرض geostationary علي ارتفاع ٣٦٠٠٠ كيلومتر بحيث أن كلا منهما يري تقريبا ثلث الأرض. وأحد هذين القمرين موضوع عند خط طول ٧٥ درجة غرب ليراقب الأمريكيتين الشمالية و الجنوبية وجزء كبير من المحيط الأطلنطي، بينما القمر الاخر موضوع عند خط طول ١٣٥ درجة غرب ليراقب أمريكا الشمالية و المحيط الهادي. ومن ثم فهما معا يغطيان المنطقة من خط طول ٢٠ غربا الي خط طول ١٦٥ غربا. والصورة التالية توضح مرئية GOES تظهر الاعصار الذي حدث بالجنوب الشرقي من الولايات المتحدة في سبتمبر ١٩٩٦.

شكل (١٣-٢٦) تطبيقات القمر الصناعي GOES لمراقبة الطقس

تم اطلاق جيلين من أقمار GOES وكلاهما يقيس الاشعاع المنبعث و المنعكس ومنه يمكن استنباط درجة حرارة الغلاف الجوي و الرياح و الرطوبة و غطاء السحب. يتكون الجيل الأول من GOES-1 الذي تم اطلاقه في ١٩٧٥ وحتى GOES-7 المطلق في ١٩٩٢. أما الجيل الثاني فبدأ مع GOES-8 في ١٩٩٤ وكان له مميزات متقدمة عديدة، مثل الرصد شبه المستمر لسطح الأرض مما يسمح بالحصول علي المرئيات كل ١٥ دقيقة، بالإضافة لتحسن كبير في كلا من درجة الوضوح المكانية و الراديومترية. ويقيس المستشعر من خلال ٥ قنوات الاشعاع المنعكس و المنبعث في نطاق الضوء المرئي و نطاق الاشعة تحت الحمراء القريبة باستخدام درجة وضوح راديومترية ١٠ بت، كما في الجدول التالي:

خصائص مرئيات أقمار الطقس GOES

النطاق	طول الموجة (مايكرومتر)	الوضوح المكاني (كم)	الاستخدام
١	٠.٥٢ - ٠.٧٢ النطاق المرئي	١	السحب، التلوث، العواصف
٢	٣.٧٨ - ٤.٠٣ الاشعة تحت الحمراء القصيرة	٤	الضباب أثناء الليل، سحب المياه و الثلوج أثناء النهار، الحرائق والبراكين، درجة حرارة سطح البحر ليلا
٣	٦.٤٧ - ٧.٠٢ المستوي العالي لبخار الماء	٤	المناطق متوسطة الرطوبة، مراقبة حركة المستوي المتوسط من الغلاف الجوي
٤	١٠.٢ - ١١.٢ الاشعة تحت الحمراء الطويلة	٤	الرياح، العواصف القوية، المطر الغزير
٥	١١.٥ - ١٢.٥ نطاق الاشعة تحت الحمراء الحساسة لبخار الماء	٤	الرطوبة منخفضة المستوي، درجة حرارة سطح البحر، التراب المحمول جوا والرماد البركاني

و بالإضافة لقنوات المرئيات imaging channels يوجد أيضا ١٩ قناة أخري sounding channels تقوم بقياس الاشعاع المنبعث في ١٨ نطاق من الاشعة تحت الحمراء الحرارية و نطاق واحد من الاشعاع المنعكس في النطاق المرئي، وذلك بدرجة وضوح مكاني ٨ كيلومترات و درجة وضوح راديومترية ١٣ بت. وتستخدم هذه البيانات في تحديد درجات الحرارة السطحية و درجات حرارة السحب العليا ونماذج الرطوبة متعددة المستويات في الغلاف الجوي بالإضافة لتحليل توزيع الأوزون.

أقمار NOAA AVHRR

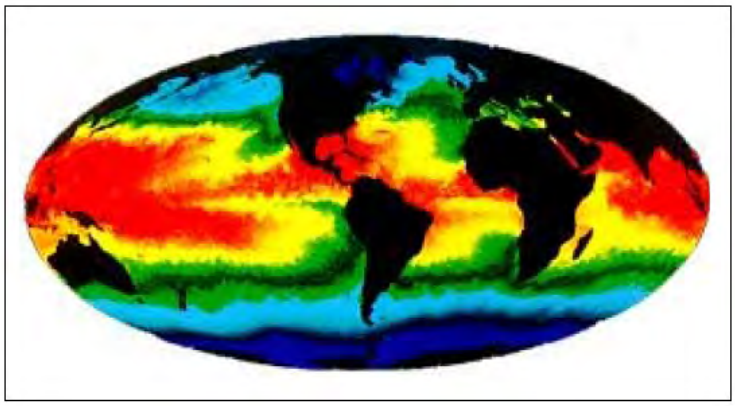
تتبني وكالة الفضاء الأمريكية عدة نظم أخري من الأقمار الصناعية المخصصة للتطبيقات المناخية تسمح بالحصول علي تغطية كاملة للأرض وفي فترات مستمرة لا تتجاوز ٦ ساعات لأي بقعة في العالم. والمستشعر الرئيسي الموجود في هذه الأقمار يسمي الراديومتر المتقدم عالي الدقة جدا

Advanced Very High Resolution Radiometer أو اختصارا AVHRR. ويستشعر هذا المستشعر الاشعاع في النطاق المرئي و الاشعة تحت الحمراء القريبة و المتوسطة والحرارية من خلال مسار يبلغ عرضه ٣٠٠٠ كيلومتر كما في الجدول التالي:

خصائص مرئيات أقمار الطقس NOAA AVHRR

النطاق	طول الموجة (مايكرومتر)	الوضوح المكاني (كم)	الاستخدام
١	٠.٥٨ - ٠.٦٨	١.١	السحب، الغيوم، الثلوج
٢	١.١ - ٧٢٥؟.٠ الاشعة تحت الحمراء القصيرة	١.١	المياه، النباتات، المسح الزراعي
٣	٣.٥٥ - ٣.٩٣ الأشعة تحت الحمراء المتوسطة	١.١	حرارة سطح البحر، البراكين، حرائق الغابات
٤	١٠.٣ - ١١.٣ الاشعة تحت الحمراء الحرارية	١.١	حرارة سطح البحر، رطوبة التربة
٥	١١.٥ - ١٢.٥ الاشعة تحت الحمراء الحرارية	١.١	حرارة سطح البحر، رطوبة التربة

ومع أن بيانات AVHRR مستخدمة علي نطاق واسع في نظم التنبؤ و التحليل للطقس، الا أنها أيضا مناسبة لتطبيقات أخري تشمل درجات حرارة سطح البحر ومراقبة النبات الطبيعي وظروف نمو المحاصيل. فعملية انشاء موزايك mosaic من مرئيات هذا القمر الصناعي لتغطي مساحات كبيرة من الأرض تسمح بعمل خرائط و اجراء التحليل صغير المقياس للغطاء النباتي.

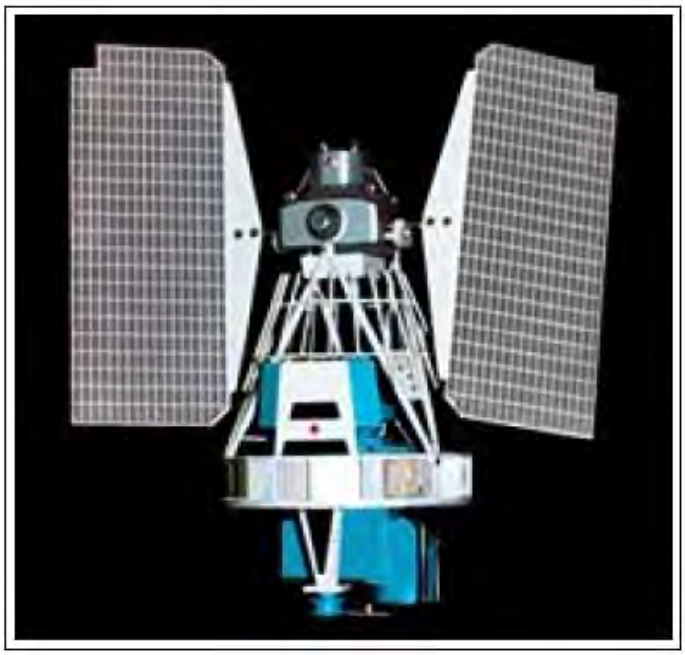


شكل (١٣-٢٧) تطبيقات القمر الصناعي NOAA VHHRR لمراقبة حرارة سطح البحار

١٢-١٣ أقمار و مستشعرات أرصاد الأرض

أقمار لاندسات:

أطلقت ناسا أول قمر صناعي للاستشعار عن بعد مصمم ومخصص لدراسة و مراقبة سطح الأرض في عام ١٩٧٢ وهو القمر الصناعي لاندسات Landsat-1 (كان اسمه الأولي هو قمر تقنية موارد الأرض Earth Resources Technology Satellite أو اختصارا ERTS-1). وتم تصميم لاندسات كقمر تجريبي لدراسة امكانية تجميع بيانات متعددة النطاقات لسطح الأرض من خلال الأقمار الصناعية. ومنذ ذلك الحين فقد تمكن هذا البرنامج الناجح في تجميع كم هائل من البيانات حول العالم باستخدام عدة أقمار صناعية. وفي عام ١٩٨٣ انتقلت مسئولية ادارة برنامج لاندسات من ناسا الي الهيئة الامريكية للطقس و المحيطات NOAA، وفي عام ١٩٨٥ تحول البرنامج الي برنامج تجاري يسمح بتقديم البيانات للمستخدمين المدنيين. وكل أقمار لاندسات موضوعة في مدارات شبه قطبية متزامنة مع الشمس near-polar sun-synchronous orbits وكانت الأقمار الثلاثة الاولي علي ارتفاع ٩٠٠ كيلومتر بينما باقي الأقمار التالية علي ارتفاع ٧٠٠ كيلومتر مما يسمح بفترة اعادة زيارة تبلغ ١٦ يوم.



شكل (١٣-٢٨) أحد الأجيال الأولي لأقمار لاندسات

توجد عدة مستشعرات علي متن أقمار لاندسات وتشمل نظم كاميرات تسمي BRV ونظم ماسحات متعددة الأطياف MSS والماسح الموضوعي Thematic Mapper أو TM. وكل مستشعر يجمع بيانات علي مسار يبلغ عرضه ١٨٥ كيلومتر، أي أن عرض المرئية الواحدة يبلغ ١٨٥×١٨٥ كيلومتر. ويقوم الماسح متعدد الأطياف بتحسس الأهداف في أربعة نطاقات طيفية ولكلا منهم درجة وضوح مكانية تقريبا ٦٠×٨٠ متر ودرجة وضوح راديومترية ٦ بت (أي ٦٤

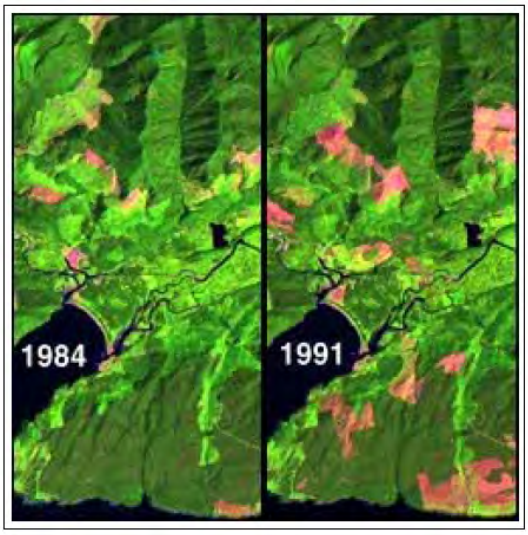
رقم). وبدءا من عام ١٩٩٢ تم ايقاف العامل بالماسح المتعدد MSS وإحلاله بالمساح الموضوعي TM بدءا من القمر لاندسات ٤. وقد زاد عدد المتحسسات لكل نطاق فأصبح ١٦ متحسسا (بدلا من ٦ متحسسات فقط في مستشعرات MSS). وباستخدام المرآة المتأرجحة فقد أصبح هناك ١٦ خط تحسس يمكن تجميعهم بالتبادل للنطاق غير الحراري (٤ خطوط للنطاق الحراري). وبالتالي فقد زاد زمن الكمون dwell time وتحسن الوضوح الهندسي و الراديومتري للبيانات. وتبلغ درجة الوضوح المكانية للماسح الموضوعي ٣٠ متر (١٢٠ متر لنطاق الاشعة تحت الحمراء الحرارية)، وتبلغ درجة الوضوح الراديومترية لكل النطاقات ٨ بت (أي ٢٥٦ رقم). وتستخدم بيانات كلا المستشعرين TM و MSS في عدد كبير من تطبيقات الاستشعار عن بعد والتي تشمل ادارة الموارد و الخرائط و مراقبة البيئة و اكتشاف التغيرات.

نطاقات المستشعر MSS في أقمار لاندسات

القناة		طول الموجة (مايكرومتر)
لاندسات ١، ٢، ٣	لاندسات ٤، ٥	
MSS 4	MSS 1	٠.٥ - ٠.٦ (أخضر)
MSS 5	MSS 2	٠.٦ - ٠.٧ (أحمر)
MSS 6	MSS 3	٠.٧ - ٠.٨ (تحت الحمراء القريبة)
MSS 7	MSS 4	٠.٨ - ١.١ (تحت الحمراء القريبة)

نطاقات المستشعر TM في أقمار لاندسات

القناة	طول الموجة (مايكرومتر)	الاستخدام
TM 1	٠.٤٥ - ٠.٥٢ أزرق	التمييز بين التربة و النباتات، رسم خطوط الشواطئ، تحديد الأهداف العمرانية
TM 2	٠.٥٢ - ٠.٦٠ أخضر	خرائط النبات الأخضر(قمة الانعكاس)، تحديد الأهداف العمرانية
TM 3	٠.٦٣ - ٠.٦٩ أحمر	التمييز بين النباتات و غير النباتات حتي وان كانت خضراء اللون، تحديد الأهداف العمرانية
TM 4	٠.٧٦ - ٠.٩٠ تحت حمراء قريبة	تحديد أنواع و صحة و محتوي النباتات، رطوبة التربة
TM 5	١.٥٥ - ١.٧٥ تحت حمراء قصيرة	رطوبة التربة ورطوبة النبات، التمييز بين المناطق المغطاة بالسحب و المغطاة بالثلوج
TM 6	١٠.٤ - ١٢.٥ تحت حمراء حرارية	رطوبة التربة وعمل الخرائط الحرارية
TM 7	٢.٠٨ - ٢.٣٥ تحت حمراء قصيرة	التمييز بين أنواع الصخور والمعادن، محتوي الرطوبة في التربة



شكل (١٣-٢٩) مراقبة التغيرات أحد تطبيقات مرئيات لاندسات

يعد لاندسات-٨ أحدث أقمار سلسلة لاندسات وتم اطلاقه في ١١ فبراير ٢٠١٣، وهو يمسح الأرض كاملة كل ١٦ يوم، وتسمح هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية USGS بالتحميل المجاني لمرئياته بعد ٢٤ ساعة وذلك من الرابط:

http://landsatlook.usgs.gov/

أو من الرابط:

http://earthexplorer.usgs.gov/

كما تم اضافة مستشعرات جديدة في لاندسات-٨ منهم مستشعر مصور الأرض الفعال Operational Land Imager (اختصارا OLI) و مستشعر الاشعة تحت الحمراء الحرارية Thermal Infrared Sensor (اختصارا TIRS):

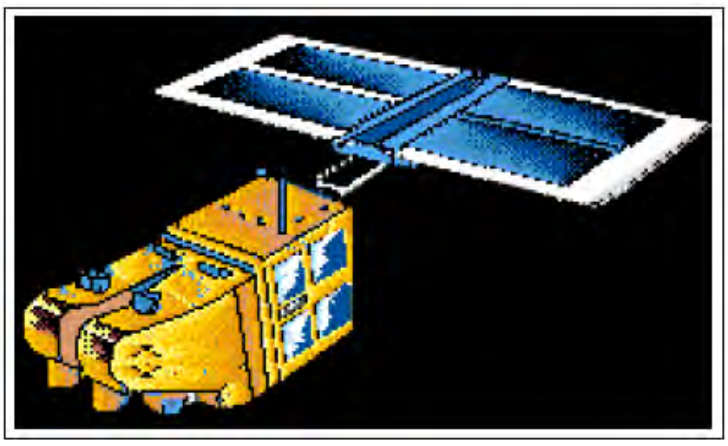
شكل (١٣-٣٠) قمر لاندسات-٨

نطاقات المستشعرات الجديدة في قمر لاندسات-٨

النطاق	طول الموجة (مايكرومتر)	الدقة المكانية (متر)
Band 1 ضباب الشواطئ	٠.٤٣ - ٠.٤٥	٣٠
Band 2 الأزرق	٠.٤٥ - ٠.٥١	٣٠
Band 3 الأخضر	٠.٥٣ - ٠.٥٩	٣٠
Band 4 الأحمر	٠.٦٤ - ٠.٦٧	٣٠
Band 5 تحت الحمراء القريبة	٠.٨٥ - ٠.٨٨	٣٠
Band 6 تحت الحمراء القصيرة ١	١.٥٧ - ١.٦٥	٣٠
Band 7 تحت الحمراء القصيرة ٢	٢.١١ - ٢.٢٩	٣٠
Band 8 البانكروماتي	٠.٥٠ - ٠.٦٨	١٥
Band 9 السحاب الرقيق	١.٣٦ - ١.٣٨	٣٠
Band 10 تحت الحمراء الحرارية ١	١٠.٦٠ - ١١.١٩	١٠٠ ثم يعاد معالجتها لتصبح ٣٠
Band 11 تحت الحمراء الحرارية ٢	١١.٥٠ - ١٢.٥١	١٠٠ ثم يعاد معالجتها لتصبح ٣٠

أقمار سبوت:

تعد سلسلة أقمار سبوت SPOT (اختصار الاسم الفرنسي Systeme Pour l'Observation del la Terre) من نظم الأقمار الصناعية المخصصة للاستشعار عن بعد والمصممة والمطلقة بواسطة المركز الوطني لنظم الأرض بفرنسا وبدعم من كلا من السويد و بلجيكا. تم اطلاق سبوت-١ في عام ١٩٨٦ مع احلاله باستمرار بقمر اخر كل ٣-٤ سنوات. وجميع الأقمار في مدارات شبه قطبية ومتزامنة مع الشمس علي ارتفاع ٨٣٠ كيلومتر من سطح الأرض، مما يسمح بفترة اعادة الزيارة كل ٢٦ يوم.



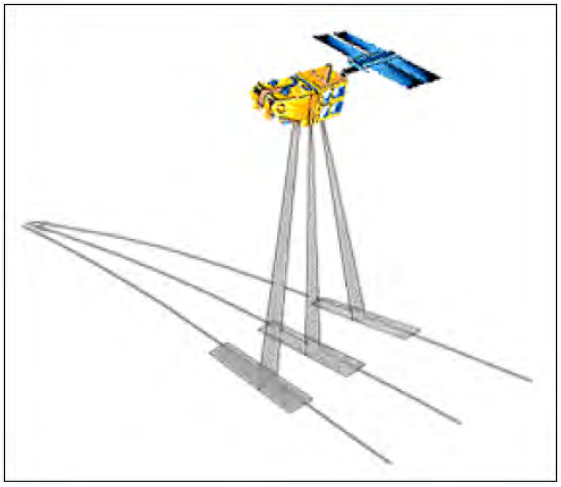
شكل (١٣-٣١) أحد أقمار سبوت

لأقمار سبوت نظامين من نوع النظام المرئي عالي الدقة High Resolution Visible (أو اختصارا HRV) للحصول علي للمرئيات، وكلا منهما قادر علي التحسس بطريقة القناة الأحادية (البانكروماتية) و طريقة تعدد النطاقات في ثلاثة قنوات. وكل مستشعر مع-المسار يتكون من ٤ مصفوفات خطية من المحددات: صف من ٦٠٠٠ عنصر للطريقة البانكروماتية تستطيع تحسس درجة وضوح مكانية ١٠ متر، صف من ٣٠٠٠ عنصر لكل نطاق من النطاقات المتعددة تستطيع تحسس درجة وضوح مكانية ٢٠ متر. ويبلغ عرض المسار لكلا الطريقتين ٦٠ كيلومتر.

نطاقات المستشعر HRV في أقمار سبوت

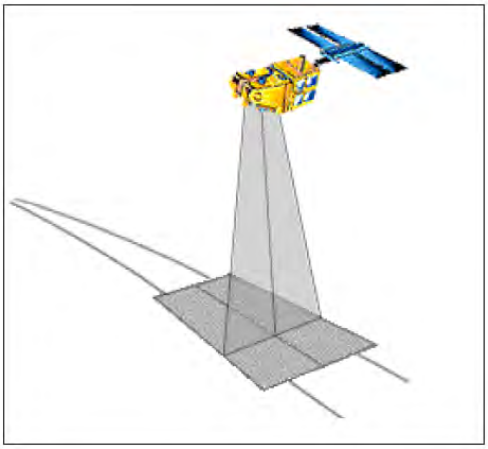
النطاق/الطريقة	طول الموجة (مايكرومتر)
الطريقة البانكروماتية PLA	٠.٥١ - ٠.٧٣ (أزرق-أخضر-أحمر)
الطريقة متعددة النطاقات MLA	
Band 1	٠.٥٠ - ٠.٥٩ (أخضر)
Band 2	٠.٦١ - ٠.٦٨ (أحمر)
Band 3	٠.٧٩ - ٠.٨٩ (تحت الحمراء القريبة)

يمكن ضبط زاوية رؤية المستشعر علي كلا جانبي المسار الرأسي للقمر الصناعي (النديز) مما يسمح برؤية أو تحسس المنطقة خارج النديز وهذا يزيد من قدرة القمر علي اعادة الزيارة. وهذه الامكانية للمستشعر لكي يتحسس ٢٧ درجة خارج النديز تسمح لأقمار سبوت بتغطية مسار يبلغ ٩٥٠ كيلومتر ومن ثم اعادة الزيارة عدة مرات أسبوعيا. وعند توجيه المستشعر خارج النديز فأن عرض المسار يتراوح بين ٦٠ و ٨٠ كيلومتر، وهذا يسمح بمراقبة مناطق محددة و يزيد أيضا من امكانية الحصول علي مرئيات خالية من السحب cloud-free scenes، بالإضافة لإمكانية الحصول علي مرئيات متداخلة أو استريوسكوبية حيث أن الحصول علي مرئيتين لنفس المنطقة من زاويتين مختلفتين يمكننا من اجراء التحليل ثلاثي الأبعاد لتضاريس سطح الأرض.



شكل (١٣-٣٢) مسارات أقمار سبوت

تزيد هذه الرؤية المائلة من تردد زيارة المناطق الاستوائية الي ثلاثة أيام (٧ مرات خلال الدورة الكاملة البالغة ٢٦ يوم)، بينما المناطق الواقعة علي دائرة عرض ٤٥ درجة يمكن رؤيتها بتردد أكبر يبلغ ١١ مرة كل ٢٦ يوم (نتيجة تقارب مسارات القمر ناحية القطب). وعند توجيه المستشعر ليغطي مسارات أرضية متجاورة فيمكن رؤية مسار يبلغ عرضه ١١٧ كيلومتر (مع تداخل ٣ كيلومترات بين كل مسارين متتاليين). وفي هذه الطريقة فيمكن تجميع البيانات اما في النطاق البانكروماتي أو في النطاق المتعدد وليس في كلاهما في نفس الوقت.



شكل (١٣-٣٣) تغير عرض المسار في أقمار سبوت

تتميز مرئيات سبوت بدرجة الوضوح المكانية الدقيقة، واستخدام النطاقات الثلاثة في الحصول علي المرئيات زائفة الألوان false-color images. كما تستخدم المرئية البانكروماتية في زيادة وضوح sharpness المرئية الملونة. وتستخدم مرئيات سبوت في التطبيقات التي تحتاج لوضوح تفصيلي مثل خرائط النمو العمراني، وأيضا لتطبيقات التي تحتاج مراقبة متكررة (مثل التطبيقات الزراعية). كما أن مرئيات سبوت الاستريسكوبية تلعب دورا هاما في تطبيقات الخرائط الطبوغرافية و عمل نماذج ارتفاعات رقمية DEM (اختصار Digital Elevation Model).

حديثا تم اطلاق القمر سبوت-٧ في ٣٠ يونيه ٢٠١٤ ليبعد ١٨٠ درجة في نفس المدار مع القمر سبوت-٦ (الذي تم اطلاقه في ٢٠١٢) ليغطيان معا منطقة تبلغ ستة ملايين كيلومتر مربعا في اليوم بحيث تكون فترة إعادة الزيارة الي يوم واحد. وتبلغ قدرة الوضوح المكانية لكلاهما ١.٥ متر للنطاق البانكروماتي (مناسبة لإنتاج الخرائط بمقياس رسم ١:٢٥٠٠٠) و ٦.٠ أمتار للنطاقات الأربعة المتعددة (الأزرق و الأخضر و الأحمر وتحت الحمراء القريبة)، و يبلغ عرض المسار ٦٠ كيلومتر عند النديد.

شكل (١٣-٣٤) قمر سبوت-٧

شكل (١٣-٣٥) مرئية سبوت-٧ لمدينة سيدني الاسترالية في ٣ يوليه ٢٠١٤

أقمار IRS

تدمج مجموعة الأقمار الهندية للاستشعار عن بعد Indian Remote Sensing (أو اختصارا IRS التي بدأ اطلاق أول أقمارها في ١٩٨٨) مميزات من كلا من أقمار لاندسات و أقمار سبوت. القمر الرابع من هذه المجموعة IRS-1D الذي تم اطلاقه في سبتمبر ١٩٩٧ له ثلاثة مستشعرات: كاميرا عالية الوضوح ذات نطاق واحد بانكروماتي PAN، ومستشعر متوسط الوضوح ذو أربعة قنوات LISS-III، ومستشعر متوسط الوضوح ذو قناتين لمجال رؤية كبير WiFS.

وبالإضافة لدرجة وضوحه المكانية العالية فأن المستشعر البانكروماتي في أقمار IRS يمكنه الحركة حتى ٢٦ درجة عمودي علي المسار مما يسمح بالتحسس الاستريسكوبي وتقليل فترة اعادة الزيارة (مثل القمر سبوت). وتستخدم مرئيات IRS عالية الوضوح المكاني في تطبيقات التخطيط

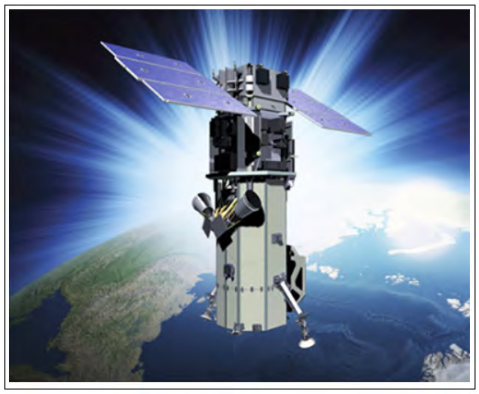
العمراني و الخرائط. أما النطاقات الأربعة للمستشعر LISS-III فهي مماثلة لنطاقات المستشعر TM في أقمار سبوت، ومن ثم فهي ممتازة لتطبيقات تمييز أنواع النباتات وخرائط الغطاء الأرضي وتخطيط الموارد الطبيعية. أما مستشعر WiFS المماثل لنطاقات مستشعر NOAA AVHRR من حيث الوضوح المكاني و التغطية فهو مناسب لتطبيقات مراقبة النباتات علي مستوي اقليمي.

خصائص مستشعرات أقمار IRS

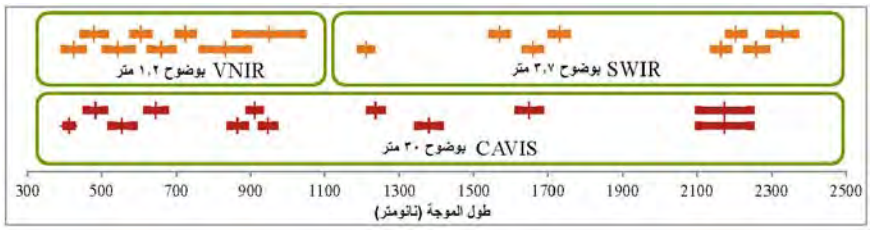
المستشعر	طول الموجة (مايكرومتر)	درجة الوضوح المكانية (م)	عرض المسار (كيلومتر)	فترة اعادة الزيارة (يوم) عند خط الاستواء
بانكروماتي **PAN**	٠.٥ - ٠.٧٥	٥.٨	٧٠	٢٤
LISS-III				
الأخضر	٠.٥٢ - ٠.٥٩	٢٣	١٤٢	٢٤
الأحمر	٠.٦٢ - ٠.٦٨	٢٣	١٤٢	٢٤
تجث الحمراء القريبة	٠.٧٧ - ٠.٨٦	٢٣	١٤٢	٢٤
تحت الحمراء القصيرة	١.٥٥ - ١.٧٠	٧٠	١٤٨	٢٤
WiFS				
الأحمر	٠.٦٢ - ٠.٦٨	١٨٨	٧٧٤	٥
تحت الحمراء القريبة	٠.٧٧ - ٠.٨٦	١٨٨	٧٧٤	٥

أقمار Worldview

يعد WorldView-3 القمر الثالث من هذه السلسة من الأقمار الصناعية التجارية من شركة Digital Globe (و أطلق في ١٣ أغسطس ٢٠١٤) من أحدث الأقمار الصناعية للاستشعار عن بعد وأفضلها من حيث الوضوح المكاني. وتصل دقة الوضوح المكاني لهذا القمر الي ٠.٣١ متر للنطاق البانكروماتي و ١.٢٤ متر للنطاقات المتعددة و ٣.٧ متر لنطاق الاشعة تحت الحمراء القصيرة. ويتميز هذا القمر بالإضافة للمستشعر البانكروماتي (٠.٤٥ - ٠.٨٠ مايكرومتر) و المستشعر متعدد النطاقات VNIR (وعددهم ٨ للنطاقات ٠.٤٠ - ١.٠٤ مايكرومتر) باستشعار الأشعة تحت الحمراء القصيرة SWIR في ٨ نطاقات (١.١٩٥ - ٢.٣٦٥ مايكرومتر) و مستشعر من نوع CAVIS يتحسس الضباب و السحب و محتوي بخار الماء وعدة مركبات مناخية أخري في ١٢ نطاق (٠.٤٠٥ - ٢.٢٤٥ مايكرومتر). كما يتميز WorldView-3 بفترة اعادة زيارة أقل من يوم ويمكنه جمع بيانات لمساحة ٦٨٠ ألف كيلومتر مربع يوميا، وبقدرة وضوح راديومترية ١١ بت للنطاق البانكروماتي و ١٤ بت للنطاقات المتعددة.



شكل (١٣-٣٦) قمر WorldView-3



شكل (١٣-٣٧) نطاقات الاستشعار في قمر WorldView-3

أقمار SkySat

سلسلة أخري من الأقمار التجارية المخصصة للاستشعار عن بعد المملوكة لشركة SkySat Imaging والتي أطلقت أول أقمارها في ٢٠١٣ ثم القمر الثاني SkySat-2 في ٨ يوليه ٢٠١٤ علي ارتفاع ٤٥٠ كيلومتر من سطح الأرض. وبالإضافة للمرئيات فيقدم هذا القمر أيضا لقطات فيديو بالأبيض و الأسود بجودة ٣٠ لقطة/ثانية لمدة تصل الي ٩٠ ثانية. أما درجة الوضوح المكانية للنطاق البانكروماتي فتبلغ ١.١ متر وللنطاق المتعدد تبلغ ٢.٠ متر، ويبلغ عرض المسار ٢ و ٨ كيلومترات علي الترتيب.

شكل (١٣-٣٨) قمر SkySat-2

نطاقات الاستشعار في قمر SkySat-2

النطاق	طول الموجة (مايكرومتر)
البانكروماتي	٠.٤٥ - ٠.٩٠
الأزرق	٠.٤٥ - ٠.٥١٥
الأخضر	٠.٥١٥ - ٠.٥٩٥
الأحمر	٠.٦٠٥ - ٠.٦٩٥
تحت الحمراء القريبة	٠.٧٤ - ٠.٩٠

نظم MEIS-11 and CASI

من المفيد أيضا التعرض لبعض تطبيقات الاستشعار عن بعد المعتمدة علي الطائرات (وليس الأقمار الصناعية) كمنصات. فعلي سبيل المثال فأن النظام الكندي MEIS-II (الذي يرمز الي الماسح البصري-الالكتروني متعدد النطاقات أو Multispectral Electro-optical Imaging Scanner) فيعتمد علي تركيب هذا الماسح في الطائرات. ويسمح النظام بتجميع البيانات في ٨ بت (أي ٢٥٦ رقم) في ثمانية نطاقات تتراوح بين ٠.٣٩ و ١.١ مايكرومتر باستخدام مصفوفة خطية مكونة من ١٧٢٨ متحسس لكل نطاق. كما توجد امكانية التصوير الاستريسكوبي من خط طيران واحد، بالإضافة لإمكانية اختيار نطاق معين متغير من الطاقة للتعامل معه كل مرة.

أما النظام الكندي CASI (يرمز الي النظام الاستريسكوبي المضغوط للتصوير الجوي Compact Airborne Spectrographic Imager) فيعد من أوليات نظم الاستشعار الجوي التجاري. فالمستشعر متعدد النطاقات يسمح بتحسس النطاقات في الضوء المرئي و الاشعة تحت الحمراء باستخدام ماسح عبر-المسار به ٢٨٨ قناة تغطي أطوال موجات من ٠.٤ الي ٠.٩ مايكرومتر. وتعتمد درجة الوضوح المكانية علي ارتفاع الطيران إلا أن تحديد نطاقات الاستشعار تعتمد علي احتياجات المستخدم ذاته. وقد كانت هذه النظم الجوية مفيدة للغاية في تطوير المستشعرات متعددة النطاقات التي تم استخدامها في نظم الاقمار الصناعية.

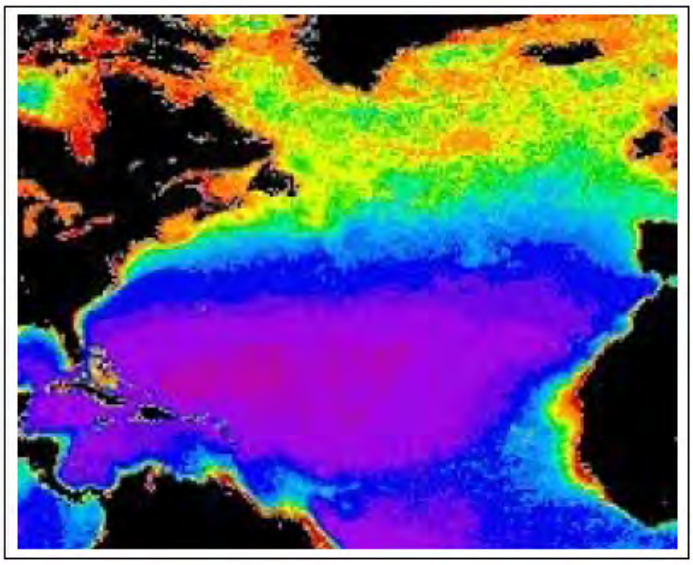
١٣-١٣ أقمار و مستشعرات الارصاد البحرية

قمر Nimbus-7

تشكل المحيطات ثلثي الكرة الأرضية وتلعب دورا هاما في النظام المناخي العالمي، ومن ثم فتوجد عدة نظم أقمار صناعية مخصصة لدراسة المحيطات. تم اطلاق أول قمر من هذه الفئة (القمر Nimbus-7) في ١٩٧٨ حاملا مستشعر من نوع الماسح الملون لمناطق الشواطئ Costal Zone Color Scanner (أو اختصاراCZCS). ويسمح مدار هذا القمر الصناعي بتغطية كاملة للأرض كل ستة أيام، ويتم التحسس في ستة نطاقات طيفية كما في الجدول التالي. هذا و قد توقف هذا القمر الصناعي في عام ١٩٨٦.

نطاقات الاستشعار لمستشعر CZCS

القناة	طول الموجة (مايكرومتر)	العناصر المستشعرة
١	٠.٤٣ - ٠.٤٥	امتصاص الكلوروفيل
٢	٠.٥١ - ٠.٥٣	امتصاص الكلوروفيل
٣	٠.٥٤ - ٠.٥٦	المادة العضوية gelbstoff
٤	٠.٦٦ - ٠.٦٨	تركيز الكلوروفيل
٥	٠.٧٠ - ٠.٨٠	النبات السطحي
٦	١٠.٥٠ - ١٢.٥٠	الحرارة السطحية



شكل (١٣-٣٩) أحد مرئيات أقمار CZCS

أقمار MOS

تم اطلاق أول أقمار هذه السلسلة من الأقمار الصناعية للأرصاد البحرية Marine Observation Satellite (أو اختصارا MOS) في ١٩٨٧ بواسطة اليابان، ثم جاء القمر الثاني في ١٩٩٠. ويبلغ ارتفاع القمر ٩٠٠ كيلومتر، ومن ثم فأن فترة اعادة الزيارة تصل الي ١٧ يوم. وتحمل هذه الأقمار الصناعية ثلاثة أنواع من المستشعرات: (١) ماسح راديومتري متعدد النطاقات ذو أربعة قنوات MESSR، (٢) ماسح راديومتري مرئي و حراري ذو أربعة قنوات VTIR، (٣) ماسح راديومتري للأشعة القصيرة ذو قناتين MSR. وتماثل نطاقات المستشعر MESSR نطاقات المستشعر MSS في أقمار لاندسات مما يجعل هذه البيانات مفيدة لتطبيقات الأراضي كما هي مفيدة للتطبيقات البحرية.

نطاقات الاستشعار المرئية و الاشعة تحت الحمراء في أقمار MOS

المستشعر	طول الموجة (مايكرومتر)	الوضوح المكاني (متر)	عرض المسار (كيلومتر)
MESSR	٠.٥١ - ٠.٥٩	٥٠	١٠٠
	٠.٦١ - ٠.٦٩	٥٠	١٠٠
	٠.٧٢ - ٠.٨٠	٥٠	١٠٠
	٠.٨٠ - ١.١٠	٥٠	١٠٠
VTIR	٠.٥٠ - ٠.٧٠	٩٠٠	١٥٠٠
	٦.٠ - ٧.٠	٢٧٠٠	١٥٠٠
	١٠.٥ - ١١.٥	٢٧٠٠	١٥٠٠
	١١.٥ - ١٢.٥	٢٧٠٠	١٥٠٠

مستشعر SeaWiFS

تم تصميم هذا المستشعر (اختصار المستشعر عريض المجال لرؤية البحار Sea-Viewing Wide-Field-of View Sensor) خصيصا لمراقبة المحيطات وتم وضعه علي متن القمر الصناعي SeaStar في مدار يرتفع ٧٠٥ كيلومتر عن سطح الأرض. وتسمح البيانات المستشعرة في ثمانية قنوات ضيقة بدراسة عناصر مناخية محددة في المحيطات (مثل المخزون الحراري وتكون الضباب) وبدرجة وضوح مكانية عالية تبلغ ١.١ كيلومتر عند النديد من خلال مسار يبلغ عرضه ٢٨٠٠ كيلومتر، وأيضا بدرجة وضوح مكانية أقل تبلغ ٤.٥ كيلومتر لمسار عرضه ١٥٠٠ كيلومتر.

نطاقات الاستشعار لمستشعر SeaWiFS

القناة	طول الموجة (مايكرومتر)
١	٠.٤٠٢ - ٠.٤٢٢
٢	٠.٤٣٣ - ٠.٤٥٣
٣	٠.٤٨٠ - ٠.٥٠٠
٤	٠.٥٠٠ - ٠.٥٢٠
٥	٠.٥٤٥ - ٠.٥٦٥
٦	٠.٦٦٠ - ٠.٦٨٠
٧	٠.٧٤٥ - ٠.٧٨٥
٨	٠.٨٤٥ - ٠.٨٨٥

١٣-١٤ مستشعرات أخري

قدمت الاجزاء الثلاثة السابقة نبذة عن أشهر المستشعرات و الأقمار الصناعية المستخدمة في تطبيقات الاستشعار عن بعد الشائعة. الا أنه يوجد أنواع أخري من المستشعرات الأقل شيوعا لأغراض أخري من الاستشعار عن بعد، ومنهم المستشعرات الاتية.

الفيديو

مع أنها أقل من حيث درجة الوضوح المكانية من التصوير الجوي التقليدي أو اللاستشعار الرقمي، إلا أن كاميرات الفيديو تقدم وسيلة مفيدة للحصول علي البيانات. ومن التطبيقات التي تستفيد من الفيديو عمليات مراقبة الكوارث الطبيعية (مثل الحرائق و الفيضانات) وتقدير المحاصيل و أمراضها ومراقبة المخاطر البيئية وأيضا المراقبة الأمنية لأجهزة الشرطة. وتسجل كاميرات الفيديو الاشعاع في النطاق المرئي وأيضا الأشعة تحت الحمراء القريبة وفي بعض الأحيان الأشعة تحت الحمراء المتوسطة.

نظم FLIR

تعمل نظم FLIR (اختصار الاشعة تحت الحمراء للحركة الأمامية Forward Looking Infrared) مثل المستشعرات الحرارية بنظام ضد المسار، لكنها تقدم منظر مائل وليس منظر النديز لسطح الأرض. وعادة ما تستخدم هذه المستشعرات في الطائرات أو الهليكوبتر لتحسس المنطقة التي تقع أمام الطائرة. ومن أمثلة تطبيقات هذه المستشعرات عمليات البحث و الانقاذ والعمليات العسكرية و أيضا مراقبة حرائق الغابات.

تقنية LiDAR

تعمل تقنية التحسس و قياس المسافات بالضوء Light Detection And Ranging كنظام استشعار عن بعد موجب active sensor بطريقة مشابهه للرادار. وهنا يتم اطلاق أشعة ليزر من المستشعر ومن ثم تحسس وقياس الطاقة المنعكسة من الأهداف التي يقع عليها الليزر. وبقياس الزمن المستغرق من لحظة الاطلاق الي لحظة عودة الليزر للمستشعر يمكن حساب المسافة بينهما. وبصورة عالية الكفاءة يتم استخدام هذه التقنية في قياس الارتفاعات و أعماق المياه. كما تستخدم هذه التقنية أيضا في دراسات الغلاف الجوي مثل قياس محتوي الجزئيات في كل طبقة من طبقات الغلاف الجوي و مراقبة التيارات الهوائية وتقدير كثافة الهواء.

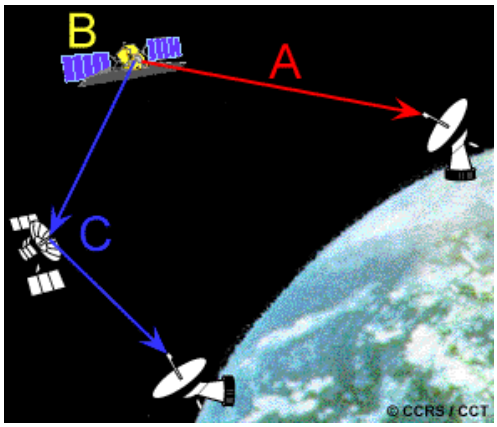
تقنية RADAR

تعمل تقنية التحسس و قياس المسافات بالراديو Radio Detection And Ranging (الرادار) كمستشعر موجب active sensor ، حيث يتم اطلاق أشعة قصيرة من المستشعر ومن ثم تحسس وقياس الطاقة المنعكسة من الأهداف. وبقياس الزمن المستغرق من لحظة الاطلاق الي لحظة عودة الليزر للمستشعر وأيضا بقياس كمية الطاقة المنعكسة فيمكن تكوين مرئية ثنائية الأبعاد لسطح

الأرض. ومن مميزات الرادار أنها تقنية تعتمد علي مصدر طاقة خاص بها ومن ثم يمكنها العمل نهارا أو ليلا، كما أن الاشعة القصيرة قادرة علي اختراق السحب والمطر. وسنستعرض هذه التقنية بالتفصيل لاحقا.

١٣-١٥ استقبال و بث و معالجة البيانات

في الاستشعار عن بعد باستخدام الطائرات فأن البيانات المستشعرة يتم استرجاعها و تحليلها بمجرد هبوط الطائرة. أما بيانات الأقمار الصناعية فتحتاج للبث الرقمي الي سطح الأرض وذلك من خلال ثلاثة بدائل: (A) بث البيانات مباشرة الي محطة استقبال أرضية Ground Receiving Station (اختصارا GRS) اذا كانت في مجال رؤية القمر الصناعي، فان لم تكن المحطة الأرضية في مجال رؤية القمر فيتم تخزين البيانات علي متن القمر ذاته لحين بثها للمحطة الأرضية في وقت لاحق (B)، كما يمكن أيضا ارسال البيانات للمحطة الأرضية من خلال نظام للأقمار الصناعية لحمل و بث البيانات (C)، أي يتم نقل البيانات من قمر صناعي الي اخر لحين بثها للمحطة الأرضية المناسبة.



شكل (١٣-٤٠) طرق بث بيانات الاستشعار عن بعد

تصل البيانات للمحطة الأرضية في صورة رقمية خام raw digital format، وعند الحاجة يتم معالجة هذه البيانات لتصحيح الأخطاء والتشوهات المنتظمة الهندسية و تشوهات الغلاف الجوي ثم وضعها في صورة قياسية. وعادة ما يتم كتابة البيانات علي وسائط تخزين مثل الاسطوانات المدمجة CD أو الشرائط من خلال نظام أرشيف تفصيلي معين.

للعديد من المستشعرات يمكن امداد العملاء بمرئيات شبه لحظية near real-time اذا كانت الحاجة تتطلب ذلك، وعادة ما يتم استخدام نظم معالجة سريعة لهذا الغرض بهدف انتاج مرئيات قليلة الوضوح بعد ساعات قليلة من استشعار البيانات عن بعد. ومن أمثلة هذه التطبيقات عمليات ابحار السفن في محيطات المناطق القطبية والتي تتطلب معلومات سريعة عن التيارات البحرية وحركة الجبال الثلجية حتى يمكن تحديد مسارات امنة للسفن. كما أن هذه المرئيات قليلة الوضوح تستخدم للمعاينة قبل أن يقوم العملاء بشراء المرئيات الأصلية عالية الجودة.

الفصل الرابع عشر

تحليل المرئيات

في هذا الفصل يتم تقديم الخطوات الأساسية لعملية تحليل و تفسير مرئيات الاستشعار عن بعد واستنباط المعلومات منها.

١٤-١ مقدمة

حتى يمكننا الاستفادة من مميزات الاستشعار عن بعد و الاستفادة من البيانات المستشعرة فيجب أن نكون قادرين علي استخراج المعلومات المفيدة من المرئيات وهو ما يعرف باسم تفسير interpretation و تحليل analysis المرئيات. وهذا هو المكون السادس من مكونات عملية الاستشعار التي ذكرناها في الفصل الأول. وتشمل هذه الخطوة تحديد أو تعريف الأهداف المختلفة و قياسها من أجل استنباط معلومات مفيدة عنهم. وهذه الأهداف التي يمكن ظهورها علي المرئية:

- أهداف قد تكون في صورة نقطة أو خط أو مساحة، أي أنها تأخذ أي صورة مثل أتوبيس في موقف أو طائرة علي مدرج أو كوبري أو طريق وحتى المسطحات المائية و الحقول الزراعية.
- يجب أن تكون الأهداف قابلة للتمييز distinguishable أي أنها مختلفة عن الأهداف المحيطة بها علي نفس المرئية.

يتم معظم تفسير و تحليل المرئيات بصورة بصرية أو بشرية visual interpretation، وعادة ما تتم هذه العملية بعد طباعة المرئيات علي الورق. ومن ثم تسمي هذه الصيغة بالصيغة التناظرية analog format للبيانات، وكما ذكرنا في الفصل الأول أن هناك بيانات استشعار تكون مباشرة في صيغة رقمية digital format. ويمكن للتفسير البصري أو البشري أن يتم لفحص البيانات الرقمية المعروضة علي شاشة الكمبيوتر. وفي حالة توافر البيانات في الصيغة الرقمية فمن الممكن عمل المعالجة و التحليل الرقمي أو الآلي digital processing and analysis باستخدام الكمبيوتر والبرامج المتخصصة. و تاريخيا كانت عملية التفسير و التحليل البشري تتم بداية علي الصور الجوية، ولم تبدأ عمليات التفسير الالي إلا حديثا بعد التوصل لعمليات تسجيل البيانات رقميا و ابتكار الكمبيوتر. ويتميز التفسير البصري بأنه لا يحتاج لأجهزة متقدمة أو غالية الثمن مثل التفسير الرقمي، لكنه عادة مقصور علي تحليل قناة واحدة أو صورة واحدة في نفس الوقت. لكن وعلي الجانب الاخر فأن التحليل الرقمي في بيئة الكمبيوتر يمكننا من التعامل مع مرئيات مركبة من عدة قنوات أو من عدة أزمنة. ومن هنا فأن التحليل الآلي مفيد جدا لتحليل عدة نطاقات و التعامل مع كم هائل من البيانات المستشعرة وبسرعة أكبر كثيرا من التحليل البشري.

١٤-٢ عناصر التفسير البصري

ان تحديد الأهداف هو مفتاح عملية التفسير و استخراج المعلومات. وتشمل هذه العملية محاولة رصد الاختلافات بين الأهداف و محيطها والمقارنة بين الأهداف المختلفة من خلال رصد بعض العناصر المرئية/البصرية ومنها: درجة اللون، الشكل، الحجم، النمط، النسيج، الظل و التواجد.

درجة اللون tone:

درجة اللون هي اللمعان النسبي (للمرئيات غير الملونة) أو اللون (للمرئيات الملونة) لهدف معين علي المرئية. بصفة عامة فأن درجة اللون هو العامل الرئيسي للتمييز بين عدة أهداف أو عدة معالم.

شكل (١٤-١) درجة اللون

الشكل shape:

وهو الهيئة العامة أو تكوين أو الاطار الخارجي للهدف، وهو عنصر هام للتمييز بين عدة أهداف. فعلي سبيل المثال فأن الحواف المستقيمة عادة ما تدل علي أهداف عمرانية أو أهداف زراعية (حقول) بينما الأهداف الطبيعية مثل حواف الغابات عادة ما تكون متعرجة في الشكل. وكمثال اخر فأن الحقول الزراعية التي يتم ريها باستخدام نظم الري الدائرية ستظهر علي صورة أشكال دائرية في المرئية.

شكل (١٤-٢) الشكل

الحجم size:

يعتمد حجم الأهداف علي المرئية علي مقياس رسمها، لكن بالإضافة للحجم المطلق فأن تقييم أو مقارنة حجم هدف معين بصورة نسبية مع حجم الأهداف المحيطة به علي المرئية يكون عاملا هاما في عملية التفسير. فعلي سبيل المثال فأنه في مرئية تظهر منطقة مدنية بها العديد من المباني فأن الأهداف أو المباني الكبيرة ترجح وجود منشئات صناعية بينما الأهداف الصغيرة قد تشير الي مباني سكنية.

شكل (١٤-٣) الحجم

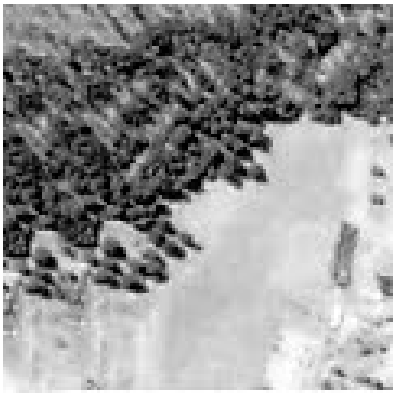
النمط pattern:

النمط هو الترتيب المكاني spatial arrangement للأهداف القابلة للتمييز. عادة فأن التكرار المتماثل لنفس درجات اللون و النسيج ينتج عنه أنماط يمكن تمييزها. فعلي سبيل المثال فأن بساتين الفاكهة تتميز بالأشجار المتباعدة بصورة منتظمة وأيضا الشوارع في مدينة والمساكن منتظمة المسافات تقدم بعض أمثلة للنمط.

شكل (١٤-٤) النمط

النسيج texture:

يمثل النسيج ترتيب و تكرار الاختلافات في درجة اللون في منطقة معينة علي المرئية. فالنسيج الخشن rough texture يتكون من درجات لون مزركشة أو متعددة حيث تتغير درجة اللون بصورة مفاجئة في منطقة صغيرة، بينما النسيج الناعم smooth texture سيكون له تغير بسيط جدا في درجة اللون. عادة ما يكون النسيج الناعم نتيجة أسطح منتظمة مثل الحقول الزراعية و الأسفلت والأرض العشبية. وعلي الجانب الآخر فأن النسيج الخشن يكون للأسطح الخشنة و التركيبات غير المنتظمة مثل الغابات علي سبيل المثال.



شكل (١٤-٥) النسيج

الظل shadow:

الظل عامل مهم من عوامل التفسير البصري ويعطينا فكرة عن الارتفاعات النسبية للأهداف علي المرئية، ومن ثم يسهل تمييزها. لكن الظل قد يكون عائقا أيضا في عملية التفسير لأنه قد يؤثر علي الأهداف الواقعة في منطقة الظل ذاتها. أيضا فأن الظلال مفيدة لتفسير التضاريس خاصة في مرئيات الرادار.

شكل (١٤-٦) الظل

التواجد association:

يؤخذ عامل التواجد أو الترابط أو المصادقة في عملية التفسير حيث يدل علي العلاقة بين الأهداف المحيطة بالهدف المراد تمييزه. فعلي سبيل المثال فأن المنشئات الصناعية عادة ما تتواجد بالقرب من خطوط المواصلات، بينما المناطق السكنية تتواجد أو تترابط مع المدارس و الملاعب. ففي الصورة التالية يمكن تمييز وجود بحيرة مترابطة مع القوارب والمنطقة الترفيهية المجاورة.

شكل (١٤-٧) التواجد

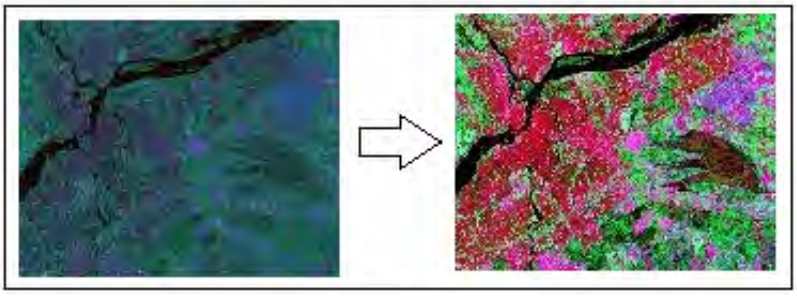
١٤-٣ المعالجة الرقمية للمرئيات

للاستفادة من التقنيات المتوافرة في عصرنا الحالي فأن معظم بيانات الاستشعار عن بعد يتم تخزينها في صورة رقمية. ومن ثم فأن عملية معالجة المرئيات صارت تتم في صورة رقمية باستخدام أجهزة الكمبيوتر و برامجها المتخصصة. وعادة ما تشمل هذه العملية عدة وظائف أو مراحل يمكن تقسيمها الي أربعة مجموعات رئيسية تشمل:

- المعالجة الأولية pre-processing
- تحسين المرئية image enhancement
- تحويل المرئية image transformation
- تصنيف و تحليل المرئية image classification and analysis

تشمل مرحلة المعالجة الأولية الخطوات اللازمة قبل البدء في التحليل و استنباط المعلومات. وهذه الوظائف تنقسم الي التصحيح الراديومتري و التصحيح الهندسي للمرئية. فالتصحيح الراديومتري radiometric correction يشمل تصحيح التعرجات أو التشوهات لبيانات المستشعر والضجيج أو التشوه الناتج عن طبقات الغلاف الجوي ثم تحويل البيانات لصورة تماثل وبدقة الطاقة المنبعثة أو المنعكسة للمستشعر. أما التصحيح الهندسي فيشمل تصحيح التشوهات الهندسية الناتجة عن العلاقة الهندسية بين الأرض و المستشعر ثم تحويل البيانات الي نظام احداثيات يمثل العالم الحقيقي (خطوط الطول و دوائر العرض) علي سطح الأرض.

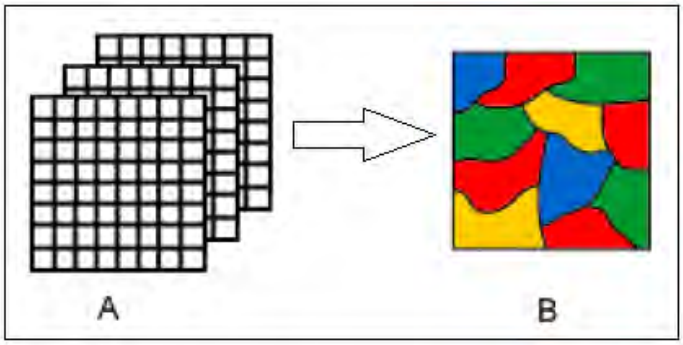
تهدف المرحلة الثانية من مراحل معالجة المرئية - مرحلة تحسين المرئية - تهدف الي تحسين جودة تمثيل المرئية للمساعدة في تفسيرها و تحليلها بصريا. ومن أمثلة وظائف هذه المرحلة وظيفة زيادة تباين contrast stretching المرئية و وظيفة الفلتر (أو المصفاة) المكاني spatial filtering ليسهل التمييز بين الأهداف.



شكل (١٤-٨) تحسين المرئية

تشبع عمليات تحويل المرئية في مفهومها عمليات تحسين المرئية، إلا أن تحسين المرئية غالبا ما يتم علي مرئية واحدة بينما عادة ما تشتمل عمليات التحويل معالجة بيانات عدة مرئيات. وتتم عمليات رياضية (مثل الجمع و الطرح و الضرب و القسمة) بهدف تكوين و تحويل النطاقات الأصلية للمرئية الي مرئية "جديدة" تمثل مظاهر أو أهداف المرئية بصورة جيدة.

تهدف عمليات مرحلة التصنيف و التحليل الي التحديد الرقمي وتصنيف خلايا (البكسل) البيانات. فعادة ما يتم التصنيف علي بيانات متعددة القنوات (A) وتحديد فئة لكل خلية/بكسل (B) طبقا لخصائص احصائية عن قيمة اللمعان لكل خلية.



شكل (١٤-٩) تصنيف المرئية

وفي الاجزاء التالية سنلقي الضوء علي هذه العمليات بتفصيل أكثر.

١٤-٤ المعالجة الأولية

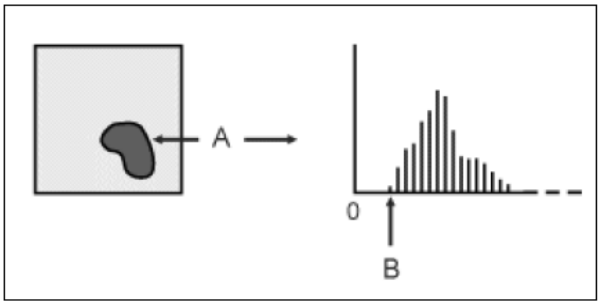
تهدف عمليات المعالجة الأولية (وتعرف أيضا بعمليات استعادة و تقويم المرئية image restoration and rectification) لتصحيح الأخطاء و التشوهات الراديومترية و الهندسية للمستشعر و الغلاف الجوي المؤثرة علي البيانات. تكون التصحيحات الراديومترية ضرورية بسبب التغير في اضاءة المشهد و هندسة الرؤية و ظروف الطقس وأخطاء المستشعر ذاته. وتختلف هذه الأخطاء بناءا علي المستشعر و المنصة المستخدمين في استشعار البيانات بالإضافة للظروف أثناء عملية الاستشعار. أيضا يكون من المرغوب فيه أن تتم تحويل و معايرة البيانات مقارنة بوحدات مطلقة للإشعاع و الانعكاس وذلك بهدف تسهيل عملية المقارنة بين البيانات.

يمكن تصحيح تغيرات الاضاءة و هندسة الرؤية (للمستشعرات البصرية) بعمل نمذجة للعلاقات الهندسية و المسافة بين كلا من المنطقة الأرضية المصورة و الشمس و المستشعر. وهذه غالبا ما يكون مطلوبا ليمكننا مقارنة مرئيات عدة مستشعرات لعدة فترات زمنية أو ليمكننا عمل موزايك مرئيات متعددة لنفس المستشعر مع الاحتفاظ بظروف اضاءة منتظمة من مشهد الي آخر.

شكل (١٤-١٠) المعالجة الأولية للمرئية

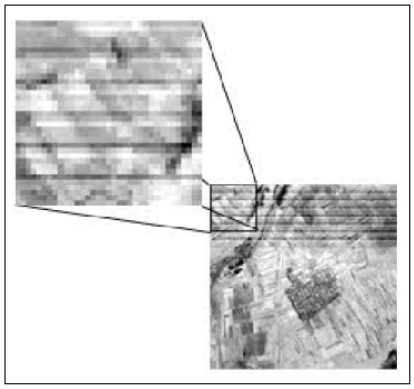
سبق الذكر في الفصل السابق أن تشتت الاشعاع قد يحدث أثناء مرور و تفاعل الاشعاع مع الغلاف الجوي. وقد يؤدي هذا التشتت الي تقليل أو اضعاف جزء من الطاقة التي تضئ المشهد. أيضا فأن طبقات الغلاف الجوي تضعف الأشعة التي تسير من الهدف الي المستشعر. ويمكن تطبيق عدة طرق لتصحيح أخطاء الغلاف الجوي atmospheric correction تتراوح ما بين من خلال النمذجة التفصيلية لظروف الطقس أثناء عملية الاستشعار و الحسابات البسيطة التي تعتمد فقط علي المرئية ذاتها. وكمثال لهذه الطريقة الأخيرة نقوم بفحص قيم الاضاءة المرصودة (أي القيم الرقمية digital numbers) لمنطقة تقع في الظل أو لهدف داكن جدا (مثل بحيرة A) وتحديد أقل قيمة (B). ويتم التصحيح من خلال طرح هذه القيمة (المحسوبة لكل نطاق band) من جميع الخلايا في النطاق المناظر. وحيث أن التشتت يعتمد علي طول الموجة فأن أقل قيمة ستختلف من نطاق الي نطاق اخر. وهذه الطريقة مبنية علي الفرض بأن الانعكاس من هذه الأهداف (في حالة كون الغلاف

الجوي صحو) سيكون صغير جدا (ان لم صفرا). ومن ثم فنحن اذا استطعنا رصد القيم الأكبر كثيرا من الصفر فستكون خالية من التشتت.

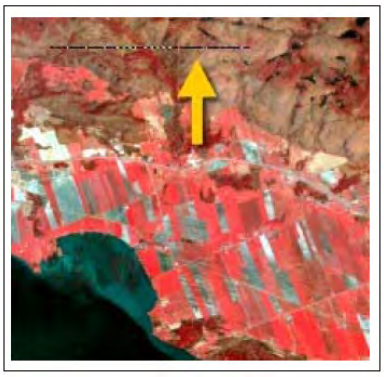


شكل (١٤-١١) تصحيح أخطاء تشتت الغلاف الجوي

يحدث الضجيج noise في المرئية اما بسبب عدم الانتظام أو بسبب أخطاء تحدث في سواء في استجابة المستشعر أو في تسجيل و بث البيانات. ومن الأنواع الشائعة للضجيج الشرائح المنتظمة systematic striping و الخطوط المتساقطة dropped lines. ويجب تصحيح هذين الخطأين قبل البدء في عمليات التحسين و التحليل. كانت الشرائح المنتظمة شائعة في مرئيات مستشعر MSS لأقمار اللاندسات القديمة بسبب خطأ انحراف drift يحدث مع مرور الزمن في المتحسسات الستة لهذا النظام. وكان هذا الانحراف مختلفا في كل متحسس ومن ثم يسبب اختلافا في اللمعان وتمثيله في كل متحسس، ومن هنا فأن المظهر العام أو الاجمالي سيكون هو التأثير الشرائحي striped effect. أما الخطوط المتساقطة فتحدث عند وجود أخطاء منتظمة تتسبب في وجود فجوات أو بيانات معيبة علي خط المسح أثناء عملية الاستشعار. وعادة ما يتم معالجة هذا العين من خلال احلال خلايا الخط المعيب بخلايا الخط الأعلى منه أو الخط الأسفل منه أو بمتوسط كلاهما.



شكل (١٤-١٢) خطأ الشرائح المنتظمة



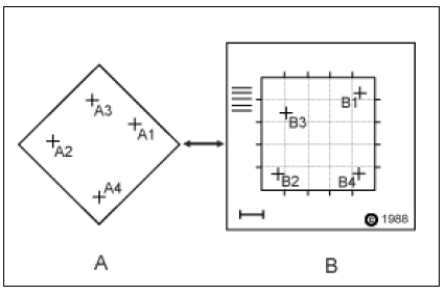
شكل (١٤-١٣) خطأ الخطوط المتساقطة

للتطبيقات الكمية لبيانات الاستشعار عن بعد فمن الضروري تحويل القيم الرقمية الي قياسات بوحدات تمثل الانعكاس أو الانبعاث الحقيقي من سطح الأرض. ويتم ذلك بالاستعانة بمعلومات تفصيلية عن استجابة المستشعر والطريقة التي يتم بها تحويل الاشارات التناظرية analog

signals (أي الاشعاع المنعكس أو المنبعث) الي القيم الرقمية، وهو ما يعرف بطريقة التحويل تناظري-الي-رقمي analog-to-digital (أو اختصارا A-to-D). وبحل هذه العلاقة بطريقة عكسية فيمكننا حساب قيمة الاشعاع المطلق لكل خلية، وهذا ما يمكننا من عمل مقارنة دقيقة بين عدة مرئيات مختلفة في التاريخ أو من مستشعرات مختلفة.

في الجزء ١٣-١ تعلمنا أن كل المرئيات المستشعرة تتعرض ضمنيا لتشوهات هندسية. وهذه التشوهات ناتجة عن عدة عوامل منها: منظور عدسات المستشعر، حركة نظام المسح، حركة المنصة، ارتفاع و سرعة المنصة، تأثير أو ازاحة التضاريس، وتكور سطح الأرض. وتهدف التصحيحات الهندسية geometric corrections الي التغلب علي هذه الأخطاء أو التشوهات حتى يكون التمثيل الهندسي للمرئية أقرب ما يكون للعالم الحقيقي. والكثير من هذه التشوهات يكون منتظما systematic أو يمكن التنبؤ به predictable في طبيعته ومن ثم يمكن معالجته من خلال النمذجة الدقيقة للعلاقة الهندسية بين المستشعر و المنصة و الأرض. لكن يوجد بعض التشوهات التي تكون غير منتظمة un-systematic أو عشوائية random وهي ما لا يمكن نمذجتها بهذه الطريقة. وهنا يتم ما يعرف بعملية التسجيل الهندسي geometric registration للمرئية لنظام احداثيات أرضية معلوم.

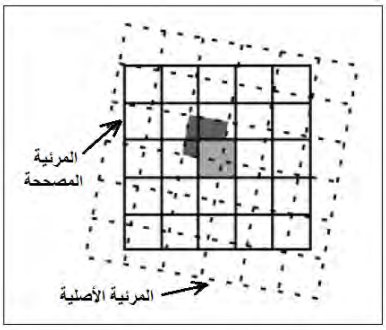
تشمل عملية التسجيل الهندسي تحديد الاحداثيات علي المرئية image coordinates (أي الصف و العمود) لبعض النقاط الواضحة علي المرئية (A) والتي يطلق عليها اسم نقاط الضبط الأرضي ground control points (أو اختصارا GCP) ومطابقة احداثياتهم في نظام احداثيات أرضية (مثلا خط الطول و دائرة العرض). وعادة ما يتم الحصول علي الاحداثيات الأرضية الحقيقية لهذه النقاط من خريطة (B) سواء كانت ورقية أو رقمية، ومن ثم تسمي هذه العملية بالتسجيل من المرئية الي الخريطة image-to-map registration. وبمجرد تحديد مجموعة من نقاط الضبط الموزعة توزيعا جيدا علي المرئية فيقوم برنامج الكمبيوتر بحساب معادلات تحويل الاحداثيات ليمكن بع ذلك تطبيقها علي الاحداثيات الأصلية للمرئية (الصف و العمود) واستنتاج الاحداثيات الأرضية الحقيقية. أيضا يمكن لعملية التسجيل الهندسي أن تتم بتسجيل مرئية الي مرئية أخري سبق تحديد احداثياتها الأرضية الحقيقية. وهذا ما يسمي بالتسجيل من مرئية الي مرئية image-to-image registration.



شكل (١٤-١٤) التسجيل الهندسي من مرئية الي خريطة

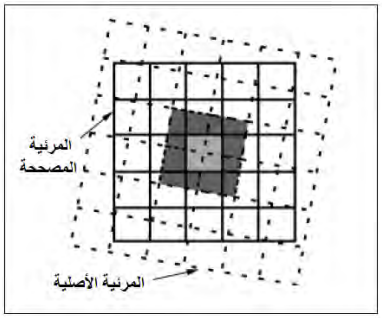
حتى يمكننا اتمام التصحيح الهندسي للمرئية الأصلية المشوهه فأن عملية تسمي اعادة أخذ العينة re-sampling يتم تطبيقها لتحديد القيم الرقمية التي سيتم وضعها في كل خلية أو بكسل للمرئية

الجديدة الناتجة. وهذه العملية تقوم بحساب قيمة الخلايا الجديدة بناءا علي قيم الخلايا في المرئية الأصلية، وهناك ثلاثة طرق شائعة الاستخدام في عملية اعادة أخذ العينة وهي: الجار الأقرب nearest neighbor، الاستنباط الخطي المزدوج bilinear interpolation، الالتفاف التكعيبي cubic convolution. ان طريقة الجار الأقرب تستخدم للخلية الجديدة القيمة الرقمية للخلية التي تكون أقرب ما يكون لها في المرئية الأصلية. وهذه الطريقة هي أبسط طرق اعادة أخذ العينة، وهي لا تقوم بتغيير القيم الأصلية الا أن بعض قيم الخلايا قد تتكرر بينما البعض الاخر قد يفقد.

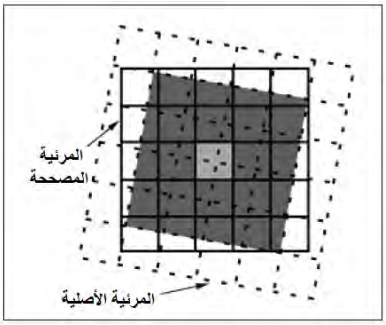


شكل (١٤-١٥) طريقة الاستنباط الخطي المزدوج لإعادة أخذ العينة

تعتمد طريقة الاستنباط الخطي المزدوج علي حساب المتوسط الموزون لأقرب أربعة خلايا علي المرئية الأصلية لحساب قيمة الخلية في المرئية الجديدة. وبسبب عملية المتوسط فأن المرئية الجديدة ستكون ذات قيم جديدة (مختلفة) تماما. وهذا التأثير قد يكون غير مرغوبا به في حالة اتمام التصنيف و التحليل المعتمد علي الاستجابة الطيفية. وهنا فقد يكون اتمام عملية اعادة أخذ العينة لاحقا بعد اتمام التصنيف. أما طريقة الالتفاف التكعيبي فتقوم بحساب المتوسط لعدد ١٦ خلية مجاورة علي المرئية الأصلية للخلية علي المرئية الجديدة. ومثل الطريقة السابقة فأن المرئية الناتجة عن تطبيق طريقة الالتفاف التكعيبي ستكون جديدة تماما وذات قيم خلية مختلفة تماما عن المرئية الأصلية. لكن كلتا هاتين الطريقتين تتميزان بالنتاج مرئيات أكثر وضوحا و تفاديا المظهر الداكن الذي قد ينتج عن تطبيق طريقة الجار الأقرب.



شكل (١٤-١٦) طريقة الجار الأقرب لإعادة أخذ العينة

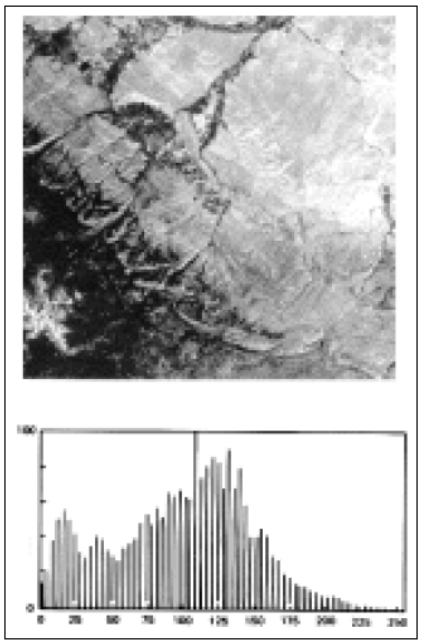


شكل (١٤-١٧) طريقة الالتفاف التكعيبي لإعادة أخذ العينة

١٤-٥ تحسين المرئية

يستخدم تحسين المرئية لجعل التفسير البصري أسهل، ومع أن عمليات التصحيحات الراديومترية و الهندسية قد تكون قد تمت قبل أن يتم توفير المرئيات للمستخدم إلا أن المرئية قد تكون مازالت غير ملائمة تماما للتفسير البصري. ان أجهزة الاستشعار عن بعد - خاصة في الأقمار الصناعية - تكون مصممة للتعامل مع مستويات عدة من طاقة الأهداف والتي غالبا تناسب جميع الظروف التي يمكن مواجهتها. ومع التغيرات الكبيرة في الاستجابة الطيفية لمجال واسع من الأهداف (غابات و صحراء و ثلوج و مياه ....الخ) فأنه لا يوجد تصحيح راديومتري يستطيع أن يتعامل مع كل هذه الأنواع ليوفر لنا مجال اضاءة و تباين مناسب لجميع هذه الأهداف. ومن ثم فأن لكل تطبيق و لكل مرئية يكون هناك تصحيح مخصص لجعل قيم الاضاءة أفضل ما يكون.

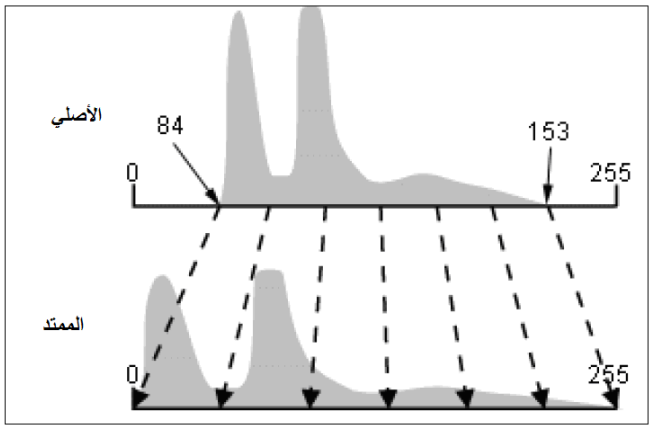
في المرئية الخام raw image فأن البيانات المفيدة تغطي جزء صغير من مجال القيم الرقمية (غالبا ٨ بت أي ٢٥٦ مستوي). يشمل تحسين التباين contrast enhancement تغيير القيم الأصلية ليمكن التعامل مع مجال أكبر ومن ثم زيادة التباين بين الأهداف و خلفياتها. ولكي نفهم تحسين التباين نبدأ أولا بمفهوم الرسم البياني للمرئية image histogram. فالرسم البياني ما هو إلا تمثيل تصويري (أو بياني) لقيم الاضاءة التي تتكون منها المرئية، حيث تكون قيم الاضاءة (أي من صفر الي ٢٥٥) ممثلة علي المحور السيني ويكون عدد مرات تكرار كل قيمة من هذه القيم ممثلا علي المحور الصادي للرسم البياني.



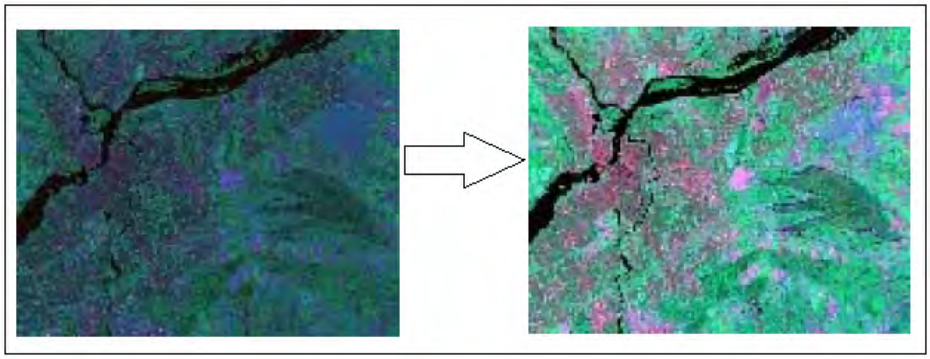
شكل (١٤-١٨) الرسم البياني للمرئية

توجد عدة طرق لتحسين تباين المرئية، و سنتعرض هنا لبعضها. أبسط طرق التحسين هو طريقة الامتداد الخطي للتباين linear contrast stretch. وتشمل هذه الطريقة تحديد أقل و أعلي قيمة

للرسم البياني للمرئية ثم تطبيق تحويل معين لتمديد هذا المجال لكي يقع داخل المجال الكلي. ففي الشكل التالي فأن المجال الأصلي يتراوح بين ٨٤ و ١٥٣ (أي ٧٠ مستوي) بينما سنحوله لكي يغطي المجال الكلي ما بين الصفر و ٢٥٥. وكنتيجة لتطبيق هذا الأسلوب فأن المناطق الفاتحة علي المرئية ستبدو أفتح و المناطق الداكنة ستبدو أدكن، مما يجعل التفسير البصري للمرئية أسهل.

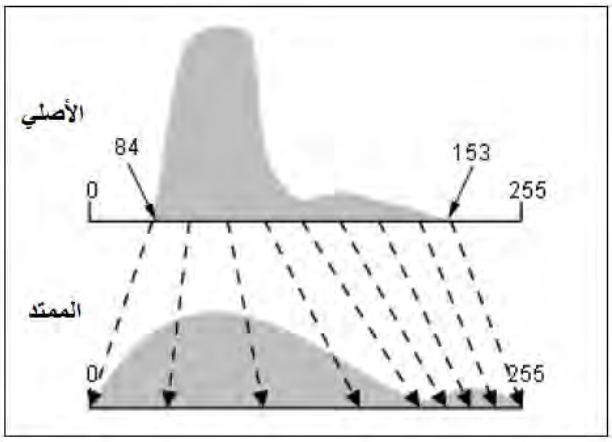


شكل (١٤-١٩) طريقة الامتداد الخطي للتباين



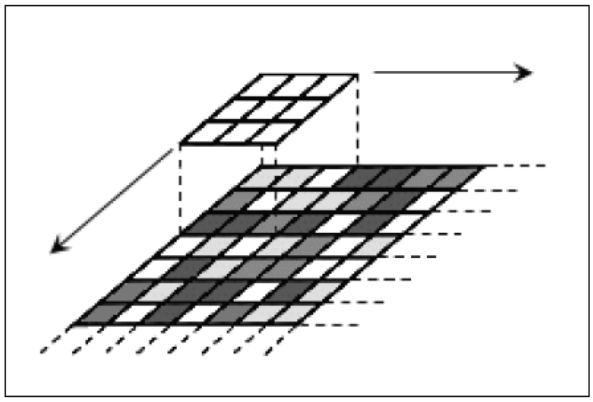
شكل (١٤-٢٠) نتيجة تطبيق الامتداد الخطي للتباين

ان التوزيع المنتظم للمجال في المرئية الناتجة قد لا يكون هو أفضل طرق تحسين المرئية خاصة اذا كان المرئية الأصلية غير منتظمة التوزيع. وهنا نستخدم طريقة أخري تسمي الامتداد المتساوي البياني histogram-equalized stretch. وهنا فأن الامتداد سيعطي قيم أكثر (أي مجال أكبر) للجزء المتكرر من الرسم البياني. وبهذا الأسلوب فأن تفاصيل هذا الجزء ستكون أكثر تباينا من جزء الرسم البياني الأقل تكرارا أو حدوثا. فعلي سبيل المثال اذا كان لدينا مرئية يظهر بها جزء من نهر والمناطق المحيطة به وكانت المياه تغطي المجال الرقمي من ٤٠ الي ٧٦، فيمكننا عمل امتداد لهذا الجزء فقط لكي يغطي المجال الكلي (من صفر الي ٢٥٥) لكي يمكننا زيادة تباين المنطقة المائية فقط و تفسير ما بها من تفاصيل مثل التغير في الترسيب في قاع النهر. لكن في هذا المثال فأن جميع الخلايا التي لها قيم رقمية أقل من ٤٠ أو أكبر من ٧٦ سيتم تحديد قيم اما صفر أو ٢٥٥ علي الترتيب لها، أي أنها تفاصيل هذه المناطق ستختفي علي المرئية الجديدة.



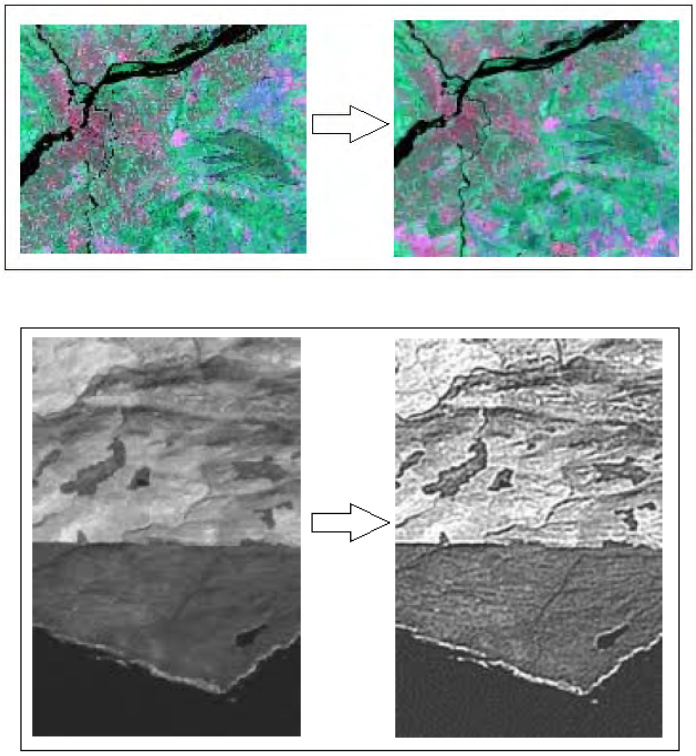
شكل (١٤-٢١) طريقة الامتداد المتساوي البياني للتباين

تشمل طريقة التصفية المكانية spatial filtering وظائف أخري للمعالجة بهدف تحسين مظهر المرئية. وتعتمد هذه الطريقة علي تعظيم اظهار أهداف محددة بناءا علي ترددها المكاني spatial frequency، وهي طريقة متعلقة بمفهوم النسيج texture الذي سبق التعرض له. فمناطق النسيج الخشن علي المرئية -حيث يكون التغير في درجة اللون كبيرا وبصورة مفاجئة- يكون لها تردد مكاني عالي بينما مناطق النسيج الناعم يكون لها تردد مكاني منخفض. ومن الطرق الشائعة للتصفية المكانية امرار "نافذة" تتكون من عدد قليل من الصفوف والأعمدة (مثلا ٣×٣ أو ٥×٥) علي كل خلية أو بكسل في المرئية مع تطبيق نموذج رياضي يعتمد علي قيم الخلايا أسفل هذه النافذة. وتتحرك النافذة علي كل صف وعلي كل عمود بحيث تطبق النموذج الرياضي مرة واحدة كل مرة، وتتكرر هذه الحسابات خلية بخلية علي كل أنحاء المرئية. ونتيجة تغير الحسابات وتغير وزن كل خليه في النافذة فأن طريقة التصفية المكانية يمكنها تحسين عدة أنواع من الأهداف علي المرئية.



شكل (١٤-٢٢) طريقة التصفية المكانية

من طرق التصفية المكانية طريقة الفلتر منخفض المسار low-pass filter والذي يستخدم لتعظيم و تحسين المناطق الكبيرة المتجانسة في درجة اللون وتقليل كم التفاصيل علي المرئية. أي أن هذا الفلتر غالبا ما يقوم بتنعيم مظهر المرئية، ومن أمثلة النماذج الرياضية للفلتر منخفض المسار نماذج المتوسط و الوسيط (عادة ما تستخدم في مرئيات الرادار). وعلي الجانب الاخر فأن الفلتر عالي المسار high-pass filter يهدف تعظيم مظهر تفاصيل المرئية، مثل تعظيم اظهار الطرق والتراكيب الجيولوجية خطية الشكل.



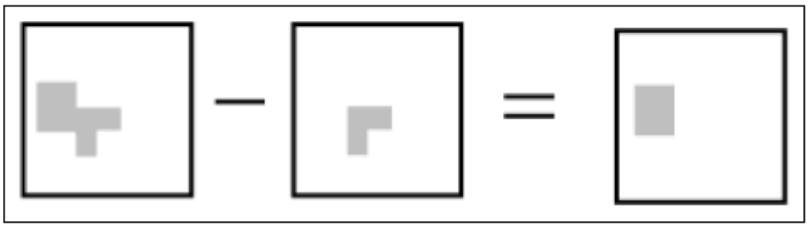
شكل (١٤-٢٣) أمثلة لتطبيق طريقة التصفية المكانية

١٤-٦ تحويل المرئية

عادة ما تشتمل عمليات تحويل المرئية علي وظائف ادارة النطاقات المتعددة للبيانات سواء كانت من مرئية واحدة متعددة النطاقات أو من عدة مرئيات لنفس المنطقة تن استشعارها في عدة أزمنة. وفي كلتا الحالتين فأن تحويل المرئية ينتج عنه مرئية "جديدة" تهدف للتركيز علي أهداف محددة أو خصائص هامة وإظهارها بصورة أفضل من المرئية (أو المرئيات) الأصلية.

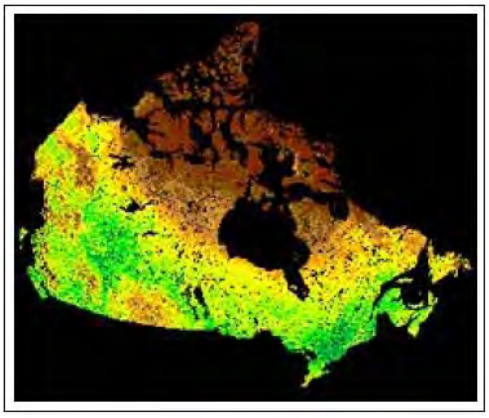
تقوم الوظائف الأساسية لتحويل المرئية بتطبيق عمليات حسابية بسيطة علي بيانات المرئية. فعلي سبيل المثال فأن طرح المرئيات image subtraction عادة ما يستخدم لبيان التغيرات التي حدثت لمرئيات متعددة التاريخ. ففي الشكل التالي يتم طرح قيمة اضاءة الخلية في المرئية الأولي من قيمة اضاءة الخلية للمرئية الثانية. وبإعادة المقياس scaling للمرئية الناتجة بإضافة قيمة ثابتة (١٢٧ في حالتنا وهي قيمة الاضاءة للون الرمادي المتوسط) الي القيم الناتجة من عملية الطرح،

فأننا علي مرئية جديدة مختلفة. ففي هذه المرئية فأن الخلايا التي لها تغير بسيط أو لا يوجد بها تغير بين المرئيتين الأصليتين سيكون لها قيمة اضاءة حول ١٢٧، بينما المناطق أو الخلايا التي لها تغير كبير سيكون لها قيم أعلي أو أقل من ١٢٧. وكأمثلة فأن هذا النوع من حالات تحويل المرئية يستخدم في اكتشاف التغيرات في التنمية العمرانية حول المدن وفي اكتشاف مناطق التصحر.



شكل (١٤-٢٤) طرح مرئيتين

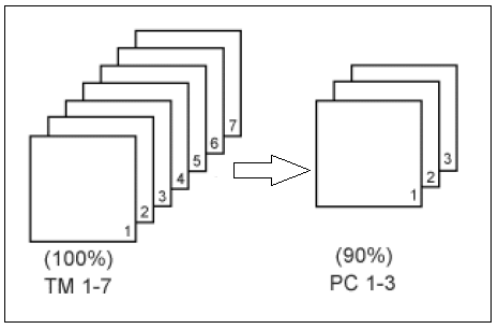
أيضا يعد قسمة المرئيات image division (ويعرف أيضا باسم التنسيب [من النسبة] الطيفي spectral rationing) من الطرق الشائعة في تحويل المرئيات، وهو يهدف الي القاء الضوء علي التغيرات الدقيقة في الاستجابة الطيفية لغطاءات السطح المختلفة. بقسمة بيانات نطاقين طيفين مختلفين فأن المرئية الناتجة تحسن التغيرات في ميول منحنيات الانعكاس الطيفي بين النطاقين المختلفين والتي قد تكون في الأساس غير ظاهرة نتيجة تغير الاضاءة أو اللمعان في كل نطاق منهما. المثال التالي يوضح هذا المفهوم: النباتات الصحية تعكس الطاقة بقوة في نطاق الاشعة تحت الحمراء القريبة وتمتص بقوة الاشعة الحمراء المرئية، بينما الاسطح الأخرى مثل الرطوبة و المياه تظهر انعكاسات متساوية تقريبا في كلا هذين النطاقين. أي أن قسمة النطاق ٧ من مرئية لاندسات MSS (نطاق الاشعة تحت الحمراء القريبة من ٠.٨ الي ١.١ ملليمتر) علي النطاق ٥ (نطاق اللون الأحمر من الضوء المرئي من ٠.٦ الي ٠.٧ ملليمتر) سينتج لنا الأقسام الأكبر من ١.٠ للنباتات و الاقسام القريبة من ١.٠ للتربة و المياه. ومن ثم فأن التمييز بين النباتات و الأسطح الأخرى سيتحسن بصورة ملموسة. أيضا فربما يكون ممكنا لدينا أن نميز بين مناطق النباتات المريضة أو غير الصحية والتي سيكون قسمها أقل من ذلك للنباتات الصحية.



شكل (١٤-٢٥) مثال لقسمة نطاقين

من المميزات الأخرى للتنسيب الطيفي أننا و بسبب أننا ننظر للقيم النسبية (أي النسب ratios) بدلا من قيمها المطلقة فأن التغيرات في اضاءة المشهد بسبب التأثيرات الطبوغرافية تنقص. ومن ثم فأنه وبالرغم من أن الانعكاس المطلق لغطاء الغابات في منطقة متغيرة الميول سيعتمد علي الاتجاه لمصدر الاضاءة و هو الشمس، إلا أن نسبة الانعكاسات بين نطاقين ستكون متقاربة جدا. أما التنسيب باستخدام مجموع أو الفرق بين نطاقين من عدة مستشعرات فقد تم تطويره لمراقبة ظروف وحالة النباتات.ومن أشهر طرق تحويل المرئيات ما يعرف باسم المعامل الطبيعي الفرقي للنباتات Normalized Difference Vegetation Index (أو اختصارا NDVI) والذي يتم استخدامه لمراقبة الغطاء النباتي علي مستوي اقليمي و مستوي عالمي باستخدام مستشعر الراديومتر المتقدم عالي الوضوح جدا Advanced Very High Resolution Radiometer (اختصارا AVHRR) الموجود في سلسلة أقمار NOAA (أرجع للجزء ٢-١ من الفصل الثاني).

عادة ما تكون بيانات النطاقات المختلفة مرتبطة correlated (أي بينها ارتباط احصائي) ومن ثم فهي تحتوي معلومات متشابهه. فعلي سبيل المثال فأن بيانات النطاقين ٤ و ٥ لمستشعر MSS في مرئيات القمر لاندسات (أي النطاقين الأخضر و الأحمر بالترتيب) عادة ما تحتوي مظاهر بصرية متشابهه حيث أن انعكاسات نفس الأهداف عادة ما ستكون متساوية. ومن هنا فأن طرق تحويل المرئيات من الممكن استخدامها امعالجة الخصائص الاحصائية للبيانات متعددة النطاقات بهدف تقليل التكرار و الارتباط بين النطاقات. ومن هذه الطرق تحليل المركبات الرئيسية principal components analysis والذي يهدف أساسا الي تقليل عدد نطاقات هذه البيانات و ضم أكبر كم ممكن من البيانات في عدد صغير من النطاقات. ففي الشكل التالي يمكن تحويل بيانات النطاقات السبعة لمستشعر TM بحيث أن المكونات الرئيسية الثلاثة الاولي تحتوي تقريبا ٩٠% من البيانات الأصلية. وبالطبع فأن تفسير و تحليل بيانات هذه النطاقات الثلاثة (سواء بصريا أو رقميا) سيكون أبسط و أكثر كفاءة من تحليل النطاقات الأصلية السبعة.

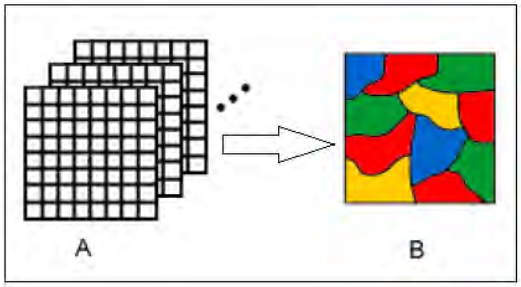


شكل (١٤-٢٦) تحليل المركبات الرئيسية

١٤-٧ تصنيف و تحليل المرئيات

يهدف المحلل البشري الي تقسيم الاهداف علي المرئية باستخدام عوامل التفسير البصري لكي يقوم بتحديد مجموعات متجانسة من الخلايا أو البكسل تمثل الأهداف المختلفة أو غطاءات الأرض. ويستخدم التصنيف الرقمي للمرئيات Digital Image Classification معلومات طيفية تمثل

القيم الرقمية لنطاق أو أكثر ومن ثم يحاول تقسيم كل خلية أو بكسل طبقا لهذه المعلومات الطيفية. ويسمي هذا النوع من التصنيف الرقمي باسم ادراك الأنماط الطيفية Spectral Pattern Recognition، أي أنه يهدف الي اعطاء مجموعة محددة لجميع الخلايا التي تنتمي لنمط طيفي معين علي المرئية (مياه، غابات، قمح ذرة ...الخ). ومن هنا فأن المرئية المصنفة تتكون من موزايك من الخلايا كلا منها تمثل موضوع theme معين ولذلك فهي تمثل خريطة موضوعية thematic map من المرئية الأصلية.

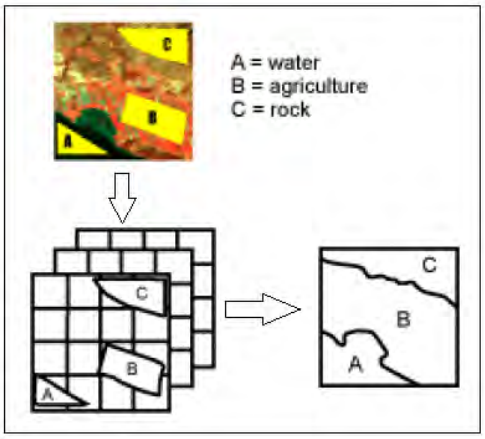


شكل (١٤-٢٧) تصنيف المرئيات

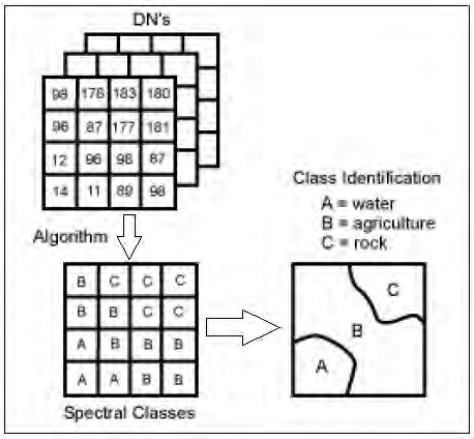
عندما نتحدث عن الفئات أو المجموعات فيجب أن نفرق بين أصناف أو طبقات المعلومات information classes و الأصناف أو الطبقات الطيفية spectral classes. فطبقات المعلومات هي الفئات التي يهدف التحليل الي تحديدها علي المرئية مثل أنواع المحاصيل المختلفة والأنواع المختلفة من الأشجار وأنواع الصخور المختلفة ... الخ. أما الطبقات الطيفية فهي مجموعات من الخلايا المتجانسة (أو القريبة) بالنسبة لدرجات الاضاءة في القنوات الطيفية المختلفة للبيانات. والهدف هنا هو المزاوجة أو الملائمة بين الطبقات الطيفية لبيانات المرئية و طبقات المعلومات المطلوبة. ومن الصعب أن يوجد ملائمة دقيقة كاملة بين طبقتين محددتين. فقد توجد طبقة معلومات واسعة (مثل الغابات) تتكون من عدة طبقات طيفية فرعية spectral sub-classes. ففي مثالنا هذا فأن الطبقات الطيفية الفرعية قد تعود الي التغير في العمر و الكثافة والنوع و الشكل. ومن هنا فيكون هدف المحلل أن يقرر كيف يزاوج ما بين الطبقات أو الفئات الطيفية وطبقات المعلومات.

يمكن تقسيم أنواع التصنيف الي مجموعتين رئيسيتين وهما التصنيف المراقب supervised classification و التصنيف غير المراقب unsupervised classification. ففي التصنيف المراقب يقوم المفسر بتحديد عينات متجانسة (علي المرئية) لأنواع الغطاءات أو طبقات المعلومات المنشودة. ويطلق علي هذه العينات اسم منطقة التدريب training areas. ويكون اختيار منطقة التدريب قائما علي معرفة المفسر بالمنطقة الجغرافية لهذه المرئية ومعلوماته عن الغطاءات الأرضية الظاهرة علي المرئية. ومن هنا فأن المفسر يقوم بمراقبة supervise عملية تقسيم أو تصنيف الطبقات. ثم يتم استخدام المعلومات لكافة النطاقات في هذه المنطقة "لتدريب" الكمبيوتر علي كيفية تمييز المناطق المتشابهه لكل مجموعة أو فئة. ومن هنا فيقوم الكمبيوتر من خلال برامج معينة متخصصة لتحديد البصمة الرقمية numerical signature لكل منطقة تدريب، ثم يقوم بتحديد أي فئة (من فئات هذه البصمة) أقرب لكل خلية أو بكسل علي المرئية. أي

أننا في التصنيف المراقب نقوم أولا بتحديد طبقات المعلومات التي يتم استخدامها لاحقا لتحديد الطبقات الطيفية التي تمثلها.



شكل (١٤-٢٨) التصنيف المراقب

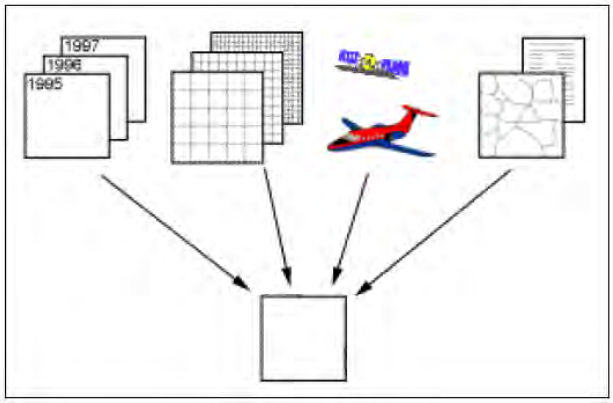


شكل (١٤-٢٩) التصنيف غير المراقب

أما التصنيف غير المراقب فهو عكس التصنيف المراقب من حيث أن الطبقات الطيفية يتم تجميعها أولا طبقا لمعلومات المرئيات فقط ثم لاحقا يتم ملائمتها أو مزاوجتها لطبقات المعلومات. وتستخدم برامج كمبيوتر تسمي برامج أو طرق التجميع clustering algorithms لتحديد المجموعات الرقمية (أو الاحصائية) في البيانات. وعادة ما يحدد المفسر عدد المجموعات التي سيتم البحث عنها أو تصنيفها، وقد يحدد أيضا الحدود الفاصلة بين هذه المجموعات والتغير داخل كل مجموعة. ويكون المنتج النهائي لهذه العملية التكرارية هو مجموعة من المجموعات أو الطبقات التي قد يرغب المفسر في دمجها معا أو مجموعة من الطبقات التي يرغب في تقسيمها الي طبقات فرعية لاحقا (من خلال تطبيق برنامج التجميع مرة أخري). ومن ثم فأن التصنيف غير المراقب لا ينتهي بدون تدخل بشري، لكنه في نفس الوقت لا يبدأ بمعرفة تقسيم مبدئي للبيانات كما في حالة التصنيف المراقب.

١٤-٨ دمج و تكامل و تحليل البيانات

في الأيام الاولي للاستشعار عن بعد التناظري (عندما كان مصدر البيانات الوحيد هو التصوير الجوي) كان دمج و تكامل البيانات من المصادر المتعددة صعبا. بينما في وقتنا المعاصر فأن معظم البيانات تكون في صورة رقمية ومن عدة مستشعرات مما يجعل دمج البيانات طريقة معتادة للتفسير و التحليل. يشمل دمج و تكامل البيانات Data integration دمج عدة أنواع من البيانات مختلفة المصادر في محاولة لاستخراج معلومات جديدة أو معلومات أفضل. وقد يشمل الدمج بيانات تكون في طبيعتها متعددة النطاقات و متعددة الفترة الزمنية و متعددة الوضوح المكاني و متعددة المستشعرات.



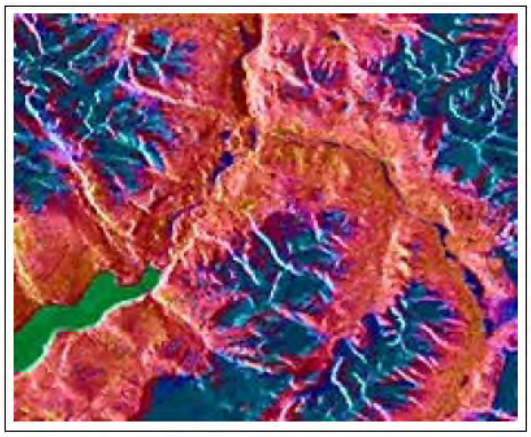
شكل (١٤-٣٠) دمج و تكامل البيانات

سبق التعرض لدمج البيانات متعددة التاريخ عندما شرحنا طرح المرئيات. ان المرئيات المستشعرة في تواريخ مختلفة multi-temporal images يمكن تطبيقها لبيان التغيرات الزمنية من خلال طرق بسيطة مثل طرح البيانات أو من خلال طرق أكثر تعقيدا مثل المقارنات المتعددة لتصنيفات مختلفة. أيضا فأن دمج و تكامل المرئيات متعددة الوضوح المكاني multi-resolution images يكون مفيدا في عدد من التطبيقات. فدمج بيانات عالية الوضوح المكاني مع بيانات منخفضة الوضوح يزيد بدرجة ملحوظة من وضوح التفاصيل المكانية مما يزيد من القدرة علي تمييز الأهداف. وتعد بيانات القمر سبوت مناسبة لمثل هذا التطبيق حيث يتم دمج البيانات أحادية النطاق أو الأبيض و أسود panchromatic ذات الوضوح المكاني ١٠ أمتار مع البيانات متعددة النطاقات ذات الوضوح المكاني ٢٠ متر. فهنا فأن البيانات متعددة النطاق تؤمن الوضوح الطيفي الجيد بينما البيانات أحادية النطاق تؤمن وضوحا مكانيا أفضل.

شكل (١٤-٣١) دمج البيانات متعددة الوضوح المكاني

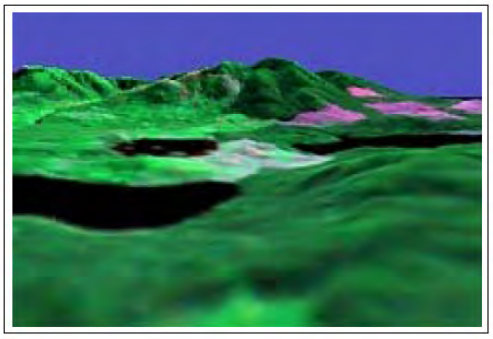
أيضا يمكن دمج بيانات من عدة مستشعرات، ومن أمثلة هذا التطبيق دمج بيانات بصرية متعددة النطاقات مع بيانات مرئيات الرادار. فهذين المصدرين من مصادر البيانات يقدمان لنا كما هائلا من

البيانات عن السطح، فالبيانات البصرية تؤمن لنا معلومات طيفية تفصيلية تفيدينا في التمييز بين أنواع غطاءات السطح بينما المرئيات ارادارية تركز علي التفاصيل التركيبية في المرئية.



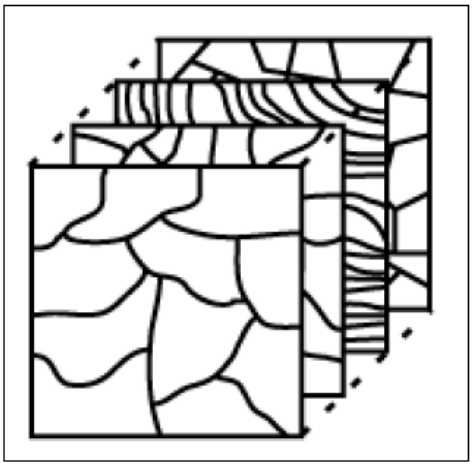
شكل (١٤-٣٢) دمج مرئيات استشعار بصرية و مرئيات رادارية

يتطلب دمج بيانات متعددة المصادر أن تكون هذه البيانات مسجلة هندسيا (أي مرجعة جغرافية) سواء بتسجيل كل مصدر الي المصادر الأخرى أو بتسجيلهم الي نظام احداثيات جغرافية واحد أو الي خريطة أساس base map. أيضا يمكن دمج مصادر أخري من البيانات مع بيانات الاستشعار عن بعد. فعلي سبيل المثال يمكن دمج بيانات نماذج الارتفاعات الرقمية Digital Elevation Models (أو اختصارا DEM) أو نماذج التضاريس الرقمية Digital Terrain Models (أو اختصارا DTM) مع بيانات المرئيات ليخدم هذا الدمج عدة تطبيقات. فنماذج الارتفاعات الرقمية قد تكون مفيدة في عمليات تصنيف المرئية حيث يمكن تصحيح تغيرات التضاريس و الميول باستخدام هذه النماذج مما يزيد من دقة تصنيف المرئية. أيضا فأن نماذج الارتفاعات و التضاريس الرقمية تكون مفيدة في تطوير المشاهد ثلاثية الأبعاد (المجسمات) من خلال اسقاط مرئية الاستشعار عن بعد علي بيانات الارتفاعات لتحسين رؤية المنطقة الجغرافية بصورة مجسمة.



شكل (١٤-٣٣) دمج بيانات الاستشعار مع نماذج الارتفاعات الرقمية

يعد دمج بيانات متعددة الأنواع و من مصادر مختلفة هو ذروة تحليل البيانات. ففي بيئة رقمية حيث تكون كافة البيانات مرجعة هندسيا (أو جغرافيا) فأن امكانيات استخراج و استنباط المعلومات تكون أعلي بكثير. وهذا المفهوم هو أساس التحليل في بيئة نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems (أو اختصارا GIS). فأي نوع معلومات يمكن ارجاعه هندسيا/جغرافيا يمكن من ثم وضعه داخل هذا الاطار الرقمي/ كما في مثال بيانات نماذج الارتفاعات الرقمية. وكمثال اخر فيمكن دمج الخرائط الرقمية للتربة و غطاءات الأرض و شبكات الطرق و المواصلات ... الخ طبقا للهدف المنشود. أيضا فأن نتائج تصنيف مرئية فضائية يمكن أن يستخدم لاحقا كمصدر جديد داخل نظام المعلومات الجغرافية ومن ثم يمكن تحديث الخرائط الموجودة بالفعل. وكقاعدة عامة فأنه كلما زادت البيانات أثناء التحليل تحسنت النتائج وزادت دقتها بدرجة أكثر كثيرا من استخدام مصدر واحد للبيانات.



شكل (١٤-٣٤) مفهوم تعدد أنواع البيانات داخل نظم المعلومات الجغرافية

الفصل الخامس عشر

تطبيقات الاستشعار عن بعد

يستعرض هذا الفصل بعض تطبيقات الاستشعار عن بعد واستنباط المعلومات منها.

١٥-١ مقدمة

لكل مستشعر من المستشعرات هدفا مخصصا، فالمستشعرات البصرية مصممة بالتركيز علي النطاقات الطيفية التي سيتم جمع بياناتها بينما لمستشعرات الرادار فأن زاوية السقوط و نطاق الموجات القصيرة يلعبان دورا حيويا في تحديد التطبيقات المناسبة لهذه المرئيات. ان لكل تطبيق من تطبيقات الاستشعار عن بعد متطلباته في درجة الوضوح المكانية و درجة الوضوح الطيفية و درجة الوضوح الزمنية (فترة اعادة الزيارة). فعلي سبيل المثال فأن مرئية أحادية النطاق (أي غير ملونة) لن تكون حساسة لتمييز صحة النباتات بسبب ان تغير مستوي الكلوروفيل لن يكون كبيرا في النطاق الاحمر من الاشعة المرئية. وكمثال اخر فان تطوير خرائط يتطلب مستوي دقيق من درجات الوضوح المكانية. أيضا فهناك العديد من التطبيقات التي تتطلب فترة قصيرة لإعادة الزيارة مثل تطبيقات متابعة تسرب الزيت وحرائق الغابات وحركة الكتل الجليدية في المحيطات، بينما هناك تطبيقات أخري قد يكون مناسبا لها اعادة الزيارة بصفة موسمية فقط (مثل تمييز المحاصيل الزراعية). بل ربما يتم استخدام أكثر من مستشعر لمعالجة متطلبات تطبيق معين.

١٥-٢ تطوير الخرائط

تعد الخرائط مكونا رئيسا من مكونات ادارة موارد الأرض، والخرائط في نفس الوقت هي أحد منتجات عملية تحليل بيانات الاستشعار عن بعد. فالخرائط الجغرافية و الموضوعية وخرائط الأساس لها أهمية كبيرة في عمليات التخطيط و المتابعة و التقييم لعمليات الادارة و الاستكشاف والتخطيط. كما أن التمثيل الرقمي للارتفاعات و التضاريس (أي نماذج الارتفاعات الرقمية DEM) ودمجها في اطار نظم معلومات جغرافية حيوية في التطبيقات المدنية و العسكرية المعاصرة. والآن هناك طلب متزايد علي منتجات الاستشعار عن بعد للاستخدام في مجال تطوير الخرائط. وتشمل تطبيقات الخرائط:

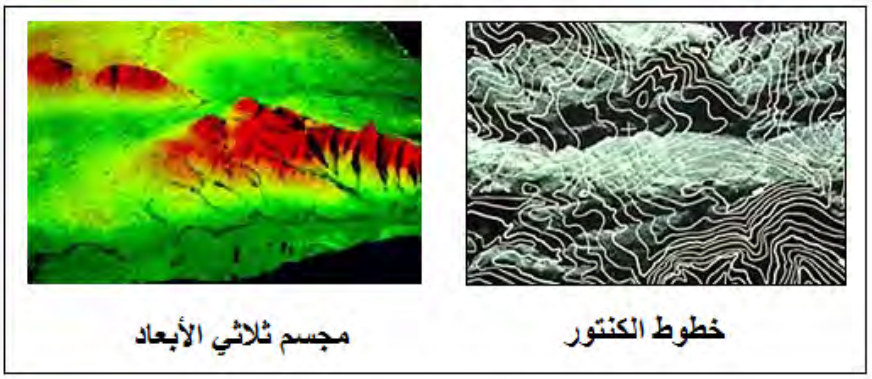
- الخرائط البلانيمترية
- الخرائط الطبوغرافية
- الخرائط الموضوعية
- نماذج الارتفاعات الرقمية

يشمل تطوير الخرائط البلانيمترية planimetry من تحديد و توقيع غطاءات الأرض الاساسية و شبكات الصرف والبنية التحتية و شبكات النقل و المواصلات في المستوي الأفقي x-y. وبصفة عامة فأن البيانات البلانيمترية (ثنائية الأبعاد) ضرورية للتطبيقات علي مستوي كبير large scale مثل التخطيط العمراني و ادارة الخدمات. يمكن استخدام طرق المساحة الأرضية وأيضا

طرق الرصد علي الأقمار الصناعية مثل تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع GPS في الحصول علي بيانات و قياسات عالية الدقة. إلا أن هناك قيود عديدة تحد من استخدام هذه التقنيات خاصة أنها طرق مكلفة اقتصادية وتواجه مشاكل في مسح مناطق كبيرة أو مناطق نائية. وهنا يبرز الاستشعار عن بعد كوسيلة تقنية هامة في تطوير هذا النوع من الخرائط. وفي مثل هذا التطبيق فأن المرئيات عالية الوضوح المكاني تكون مطلبا أساسيا للحصول علي دقة عالية لهذه الخرائط. وفي حالة المناطق المغطاة بالسحب و الغيوم فأن المرئيات الرادارية تكون بديلا مناسبا.

يعد توافر نموذج ارتفاعات رقمي DEM مطلبا حيويا لعمل التصحيحات الهندسية و الراديومترية لمرئيات الاستشعار عن بعد، وأيضا لتطوير الخرائط الكنتورية ولتحليل تضاريس سطح الأرض. ففي العصر الحالي فأن معظم التطبيقات الخرائطية لا تعتمد فقط علي الخرائط البلانيمترية ثنائية الأبعاد. وقد تزايد الطلب علي نماذج الارتفاعات الرقمية مع انتشار تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية. وتوجد عدة مصادر لتطوير نموذج ارتفاعات رقمي مثل عمل قياسات لعدة نقاط باستخدام طرق المسح الأرضي و GPS، ثم تطبيق الطرق الرياضية لاستنباط interpolation اللارتفاعات بين هذه النقاط. لكن هذه الطرق التقليدية تستهلك الكثير من الوقت ومكلفة اقتصاديا و من الصعب التعامل معها في تطوير الخرائط علي مستوي اقليمي. ومن ثم فأن تطوير نماذج الارتفاعات الرقمية من بيانات الاستشعار عن بعد يقدم بديلا عالي الكفاءة. وهناك طريقتين رئيسيتين يتم تطبيقهما وهما: (١) القياس من الصور المزدوجة المتداخلة stereo-grammetry، (٢) التحليل الفرقي لبيانات الرادار Interferometry. فالأسلوب الأول يعتمد علي استخراج معلومات الارتفاعات (المناسيب) من المرئيات المتداخلة سواء من الصور الجوية أو من بعض أنواع المرئيات مثل SPOT و SAR. أما الطريقة الثانية فتعتمد علي تحليل بيانات عدة مسارات متتالية (أو طريقة الأنتنا المزدوجة) لمستشعرات SAR سواء الجوية أو الفضائية. وهذه الطريقة الأخيرة يمكنها توفير مستويات عالية من الدقة قد تصل الي عدة سنتيمترات للرادار الجوي أو عدة ديسيمترات للرادار الفضائي. ومن أمثل تطبيقات نماذج الارتفاعات الرقمية مراقبة تصدعات القشرة الأرضية وانخفاض الأراضي (نتيجة سحب المياه الجوفية) وحركة القشرة الأرضية نتيجة الزلازل و البراكين ومراقبة المنشئات الضخمة مثل السدود.

شكل (١٥-١) مرئيات رادار متداخلة



شكل (١٥-٢) طرق تمثيل الارتفاعات

حديثا تزايد الطلب علي قواعد البيانات الرقمية الجغرافية والخرائط الرقمية سواء الطبوغرافية أو الموضوعية. وتتكون الخريطة الطبوغرافية من خطوط الكنتور بالإضافة للمعلومات البلانيمترية التفصيلية، وتخدم كقاعدة بيانات عامة للاستخدام المدني و العسكري أيضا. تطوير الخريطة الموضوعية الأساسية Baseline Thematic Mapping (أو اختصارا BTM) هي تكامل أو دمج بين مرئيات فضائية رقمية مع استخدامات و غطاءات الأرض ومعلومات طبوغرافية لكي تكون ما يعرف باسم الخريطة المصورة image map. وقد تم تطوير هذا النوع الجديد من الخرائط الموضوعية thematic maps لكي يأخذ في الاعتبار مميزات معالجة المرئيات و مميزات دمج عدة أنواع من المعلومات المكانية من عدة مصادر مما يزيد من امكانية عرض كم أكبر من المعلومات في صورة كارتوجرافية (أو خرائطية). وعادة ما تتكون الخريطة الموضوعية الأساسية (أو خريطة الأساس الموضوعية) من قواعد بيانات طبوغرافية و غطاء أرض و بنية تحتية. ويتم عرض معلومات موضوعية معينة علي خريطة الأساس لكي تخدم نوعا معينا من المستخدمين. أما عن دور الاستشعار عن بعد في هذا الموضوع فأن المرئيات تقدم معلومات مكملة للتفاصيل الموضوعية المعروضة، ومن ثم فتعمل كخريطة أساس base map. فعلي سبيل المثال فأن المرئيات متعددة النطاقات تعد ممتازة لتوفير معلومات تكميلية عن غطاء الأرض.

شكل (١٥-٣) مفهوم خريطة الأساس الموضوعية

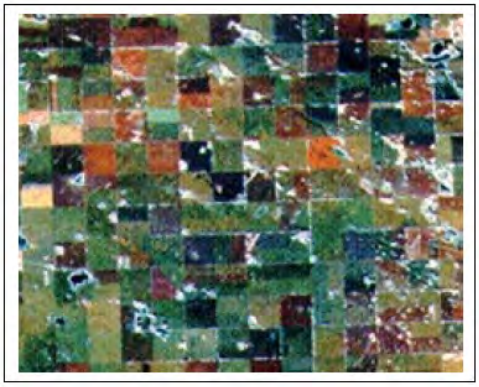
١٥-٣ تطبيقات زراعية

تلعب الزراعة دورا رئيسا في اقتصاد الدول المتقدمة و الدول النامية علي السواء. فإنتاج الغذاء هام لكل فرد، والإنتاج بصورة اقتصادية هو الهدف للمزارع البسيط و للمؤسسات الزراعية الكبري. ومن ثم فهناك حاجة رئيسية لمعرفة او تقدير المنتج (كما و جودة) للتحكم في السعر ومتطلبات التجارة الدولية.

تستخدم الصور الجوية و المرئيات الفضائية كأدوات تقنية لتطوير الخرائط الخاصة بتحديد انواع المحاصيل و فحص صحتها و جودتها ومراقبة العمليات الزراعية، وتضم التطبيقات الزراعية للاستشعار عن بعد:

- تحديد أنواع المحاصيل
- تقييم حالات المحاصيل
- تقدير الانتاج
- خرائط حالات التربة
- خرائط ادارة التربة
- متابعة خطوات الزراعة

يعد تحديد نوع المحصول عاملا هاما لعدة أسباب منها ان معرفة نوع حصول معين سيستخدم في تقدير انتاجه ومعرفة وقت حصاده وأيضا متابعة حالة التربة وتقدير الخسائر في حالة التعرض لعناصر طبيعية مثل العواصف و الفيضانات. وكانت الطرق التقليدية لمعرفة انواع المحاصيل تعتمد علي السجلات الزراعية و الزيارات الميدانية. والآن اصبح الاستشعار عن بعد وسيلة اقتصادية عالية الكفاءة لتجميع المعلومات وتحديد انواع المحاصيل. بل ان الاستشعار عن بعد يقدم اكثر من ذلك حيث يمكن الحصول علي معلومات عن صحة المحصول ومتابعة مراحل نموه من خلال المرئيات متعددة النطاقات. أيضا فان مرئيات الرادار يمكنها توفير معلومات اضافية عن التوزيع و التركيب و محتوي الرطوبة، ومن ثم فأن دمج بيانات من كلا نوعي المستشعرات (البصرية و الرادارية) يوفر كفاءة افضل في التصنيف الدقيق لأنواع المحاصيل. وتعد نتائج تفسير و تحليل المرئيات كبيانات مدخلة input لنظم المعلومات الجغرافية GIS لتكوين قواعد بيانات زراعية رقمية.

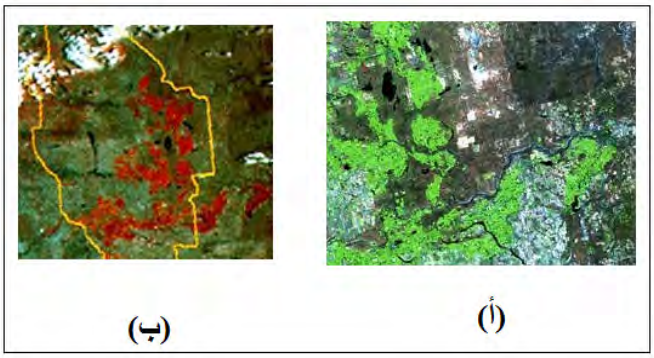


شكل (١٥-٤) تحديد أنواع المحاصيل

يعد تقدير صحة المحصول و الاكتشاف المبكر لأي أمراض من العوامل الهامة للحصول علي انتاج وراعي جيد. فمن الضروري اكتشاف ومعالجة أية عوامل اجهاد ناتجة عن قلة المحتوي المائي بالإضافة لأية أمراض أو اصابات قد تحدث للمحصول. وهذه المراقبة تتطلب الحصول علي مرئيات بصورة متكررة (بحد أقصي أسبوعيا) وتوفيرها للمزارعين بسرعة (عادة في خلال يومين). أيضا تستخدم بيانات الاستشعار عن بعد في تحديد معدلات نمو النباتات فقد تكون هناك معدلات نمو مختلفة في المزرعة الواحدة نتيجة نقص النترات أو الأسمدة علي سبيل المثال. وبتوفير هذه البيانات للمزارعين فيمكنهم اتخاذ القرار السليم وتحديد نوع و كمية السماد المطلوب. أيضا فأن بيانات الاستشعار عن بعد تساعد في تحديد الضرر الناتج عن ظروف الطقس مثل تأثير الجفاف أو الرطوبة العالية. فالمرئيات لا تساعد فقط في اكتشاف المشكلات بل انها تستخدم للإدارة الجيدة للعملية الزراعية.

شكل (١٥-٥) تحديد مشكلات المحاصيل

تحتوي النباتات الصحيحة (ذات صحة جيدة) علي كميات كبيرة من مادة الكلوروفيل، ومن ثم فأن انعكاساتها في النطاقين الأزرق و الأحمر من الضوء المرئي سيكون قليلا حيث أن الكلوروفيل يمتص الطاقة في هذين النطاقين. إلا أن الانعكاس في اللوم الأخضر و في الأشعة تحت الحمراء القريبة سيكون عاليا. وعلي العكس فأن النبات المريض لن يحتوي علي كم كبير من الكلوروفيل، ومن هنا فأن استخدام النطق الأخضر المرئي و نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة في المرئيات سيكون مفيدا لاكتشاف أمراض النباتات. ومن خلال فحص المعامل الطبيعي الفرقي للنباتات Normalized Difference Vegetation Index (المعروف اختصارا بمصطلح NDVI كما ذكرنا في الفصل الثالث) بجد أن النبات السليم سيكون له معامل NDVI عالي بينما النبات المريض سيكون معامل NDVI له منخفضا. ففي المثال التالي "أ" (مرئية ملونة) نري أن المنطقة المروية ستظهر بلون أخضر فاتح بينما المنطقة الجافة ستكون بلون غامق. أما المثال الثاني "ب" (مرئية ملونة وأشعة تحت حمراء) فالنبات الصحي السليم سيظهر بلون أحمر فاتح.

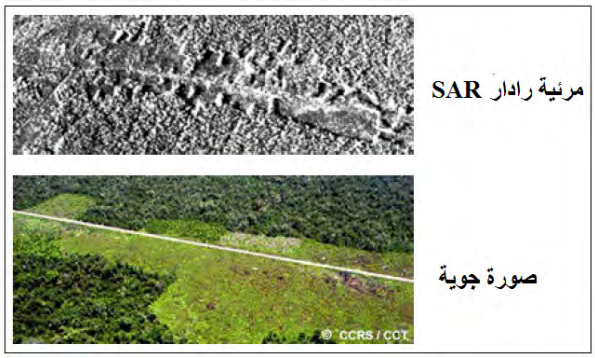


شكل (١٥-٦) تحديد صحة النباتات

١٥-٤ تطبيقات مراقبة ازالة الغابات

يعد ازالة الغابات deforestation مشكلة عالمية كبري لها تأثيرات متعددة. فعلي سبيل المثال ففي أوروبا فأن التلوث الصناعي قد دمر نسبة كبيرة من أراضي الغابات وخاصة في جمهوريات التشيك و ألمانيا و بولندا. أيضا ففي البلدان الاستوائية فأن ازالة الغابات قد دمر الكثير من الاراضي الزراعية و المراعي في أفريقيا و اسيا و أمريكا اللاتينية. وجدير بالذكر فأن فقدان الغابات يؤدي الي زيادة تعرية التربة و ملوحة الأنهار ويؤثر علي الحياة البرية ومصادر مياه الشرب بالإضافة للإنتاج الزراعي.

يعد الاستشعار عن بعد - مع أدوات أخري - الي تحليل أفضل لمشكلة ازالة الغابات. فالمرئيات متعددة النطاقات توفر وسيلة جيدة لتحليل التغيرات change detection analysis، حيث يتم دمج مرئيات من سنوات سابقة مع مرئيات حديثة ومن ثم قياس الفروق في مساحة و امتداد الغابات. أيضا يمكن الاستفادة من المرئيات الرادارية في تحديد المناطق الأكثر عرضة لهذه المشكلة وتحديد أسبابها. وفي البلدان التي يسمح بها بقطع الأشجار فأن الاستشعار عن بعد يكون أداة جيدة لمراقبة مناطق و مواصفات هذه الأنشطة. وعلي النطاق العالمي وخاصة لمبادرات منظمة الأمم المتحدة فأن مرئيات الاستشعار عن بعد توفر غطاء مكانيا واسعا كما أنها توفر تكامل البيانات و اتصالها.



شكل (١٥-٧) مراقبة ازالة الغابات حول طريق

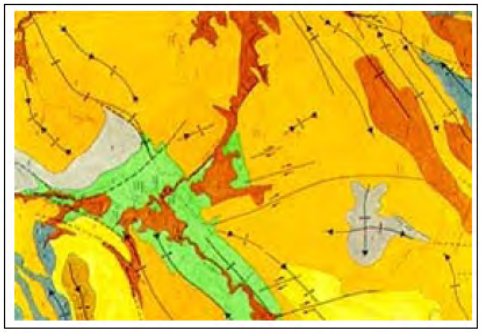
١٥-٥ تطبيقات جيولوجية

يهتم علم الجيولوجيا بدراسة تراكيب و انواع سطح الارض والأسطح التحتية subsurface بهدف فهم العمليات الفيزيقية للقشرة الارضية. والصورة التقليدية للجيولوجيا هي استكشاف exploration و استخراج exploitation المعادن والموارد الهيدروكربونية مثل البترول. أيضا تشمل الجيولوجيا دراسة المخاطر الطبيعية مثل البراكين و الانزلاقات الارضية و الزلازل، ومن ثم فأن الدراسات الجيوتقنية تعد عاملا مهما في مشروعات الهندسة المدنية.

يقدم الاستشعار عن بعد وسيلة جيدة لاستخراج معلومات عن تراكيب سطح الارض والأسطح التحتية، لكنه عادة ما يكون مدعوما بمصادر أخري للبيانات تقدم قياسات مكملة. وتشمل التطبيقات الجيولوجية للاستشعار عن بعد:

- خرائط طبقة العمق bedrock mapping
- خرائط التراكيب الجيولوجية structural mapping
- استكشاف المعادن mineral exploration
- استكشاف موارد الهيدروكربونات hydrocarbon exploration
- استكشاف و استخراج الرمال والحصى sand and gravel exploration
- الجيولوجيا البيئية environmental geology

تلعب الجيولوجيا الانشائية structural geology دورا هاما في استخراج المعادن و البترول وأيضا في مراقبة المخاطر الطبيعية. وخرائط التراكيب الجيولوجية (الخرائط الانشائية) تحدد خصائص التراكيب مثل الفوالق و الصدوع، وهو ما يفيد في تفسير و مراقبة حركات القشرة الارضية crustal movements. وبالاستعانة بالقياسات التفصيلية للتراكيب الجيولوجية (مثل المسح الزلزالي seismic surveying) فيمكن تحديد الاماكن المحتملة للبترول و الغاز. ويقدم الاستشعار عن بعد رؤية أمثر شمولا لعناصر الخرائط الانشائية في منطقة اقليمية بدلا من مجرد معلومات عند نقاط أرضية محددة. وفي المناطق كثيفة الغطاء النباتي فأن مرئيات الرادار (وبسبب أنها حساسة للتغير في التضاريس) تقدم وسيلة عالية الكفاءة لبيان التراكيب الجيولوجية



شكل (١٥-٨) مثال لخريطة التراكيب الجيولوجية

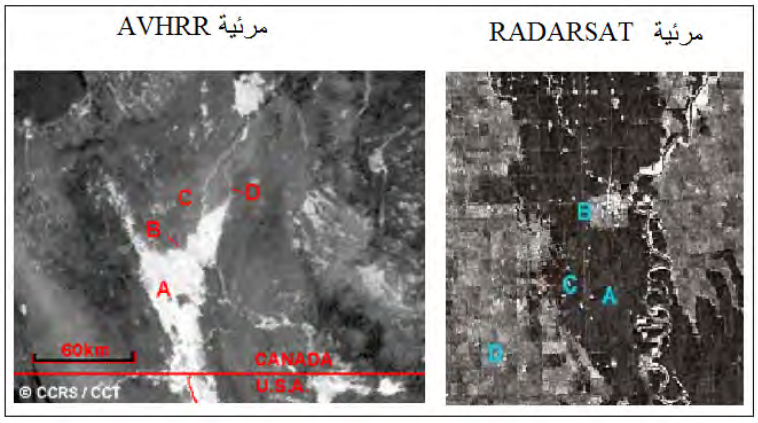
شكل (١٥-٩) مثال لمرئية رادارية تبرز التراكيب الجيولوجية

١٥-٦ تطبيقات هيدرولوجية

يهتم علم الهيدرولوجيا بدراسة المياه علي الأرض، سواء كانت مياه جوفية أو سطحية أو أمطار أو ثلوج. وعادة فأن معظم العمليات الهيدرولوجية تكون ديناميكية ليس فقط علي مر السنوات انما أيضا ما بين الفصول، ومن ثم فهي تتطلب أرصاد متكررة. وهذا أحد مميزات استخدام بيانات الاستشعار عن بعد في الدراسات الهيدرولوجية، بالإضافة الي أن المرئيات قدم صورة واسعة عن طبيعة الظواهر الهيدرولوجية و تغيراتها. وتشمل التطبيقات الهيدرولوجية:

- مراقبة الانهار و البحيرات
- مراقبة و تطوير خرائط الفيضانات
- مراقبة حركة الجبال الثلجية glacier
- تحديد التغيرات في دلتا الأنهار
- تطوير الخرائط و مراقبة الأراضي المبللة
- تقدير رطوبة التربة
- مراقبة امتداد الثلوج
- قياس عمق الثلوج
- تطوير خرائط شبكات التصريف
- نمذجة الأحواض الهيدرولوجية
- اكتشاف التسرب في قنوات الري
- جدولة مواعيد الري

تعد الفيضانات ظاهرة طبيعية في الدورة الهيدرولوجية. والفيضان ضروري لزيادة خصوبة التربة من خلال اضافة مواد مغذية nutrients ورواسب صغيرة. لكن وعلي الجانب الاخر فأن الفيضانات قد تكون مدمرة وتتسبب في وفيات وأضرار كبيرة للبنية التحتية المدنية و الحضرية. وتستخدم تطبيقات الاستشعار عن بعد في مراقبة و قياس الحدود المكانية للمناطق التي تعرضت للفيضان، ومن ثم تحديد طرق الاخلاء والإنقاذ. ومع دمج بيانات الاستشعار عن بعد في اطار نظام معلومات جغرافي GIS فيمكن الحصول علي تقييم دقيق و سريع لمناسيب المياه و الأضرار والمناطق التي تعرضت لمخاطر الفيضانات. وتشمل قائمة المستفيدين من هذه التطبيقات علي سبيل المثال هيئات تخطيط المدن و إدارات الدفاع المدني و إدارات الأرصاد الجوية و شركات النقل و المواصلات و شركات التأمين. ويحتاج معظم هؤلاء المستخدمين الحصول علي البيانات بصورة شبه لحظية near real-time فعادة ما تكون فترة حدوث الفيضان فترة زمنية صغيرة نسبيا ويكون الطقس مشبعا بالغيوم و السحب الكثيفة. وفي مثل هذه الحالات يبرز دور المرئيات الرادارية للاستفادة منها في مراقبة الفيضانات. ومع اسقاط مرئيات تقنية SAR علي مرئيات بصرية سابقة لما قبل حدوث الفيضان، فيمكن تحديد المناطق التي تعرضت للغرق وتقييم مخاطر الفيضان.



شكل (١٥-١٠) أمثلة لتطبيقات المرئيات في مراقبة الفيضان

١٥-٧ تطبيقات غطاءات و استخدامات الأرض

مع أن مصطلحي غطاء الأرض Land Cover و استخدام الأرض Land Use يستخدمان كما لو كانا يؤديان نفس المعني، إلا أن هناك فارقا بينهما. فغطاء الأرض يشير الي كل غطاء لسطح الأرض مثل النباتات و المنشئات المدنية و المياه و التربة ....الخ. ومن ثم فأن تحديد و تطوير خرائط لغطاء الأرض هام لدراسات المراقبة علي الصعيدين الاقليمي و الدولي ولإدارة الموارد الطبيعية ولأنشطة التخطيط. أما علي الجانب الآخر فأن استخدامات الأرض تشير الي الهدف الذي تخدمه الأرض مثل الزراعة و الحياة البرية. وتشمل تطبيقات استخدامات الأرض المراقبة و وتطوير الخرائط لبيان استخدام كل بقعة أرض وما يطرأ علي هذا الاستخدام من تغير مع مرور الزمن. ومن هنا فأن القياسات الناتجة من بيانات الاستشعار عن بعد تستخدم في استنباط بيانات غطاء الأرض ومنها يمكن استنباط استخدامات الأرض خاصة مع استخدام مصادر أخري من البيانات المكملة و المعرفة السابقة. وتشمل تطبيقات استخدامات الأرض:

- ادارة الموارد الطبيعية
- حماية الحياة البرية
- تطوير الخرائط كمدخل لنظم المعلومات الجغرافية
- التوسعات المدنية و الحضرية
- اكتشاف المخاطر و الأضرار (للحرائق و الفيضانات .... الخ)
- الحدود القانونية وحساب الضرائب

مع زيادة السكان يزداد التوسع العمراني للمدن، ومن ثم تتناقص استخدامات الأرض الزراعية علي أطراف هذه المدن. فتوسع المدن يعد مؤشرا للتمدن urbanization والتوسع الصناعي industrialization (أي التنمية development)، لكنه غادة ما يكون له أثرا سلبيا علي بيئة المنطقة. ويتم قياس التغير في استخدام الأرض (من الحضري الي المدني) بهدف تقدير زيادة السكان و التنبؤ والتخطيط لهذا التوسع العمراني من قبل المخططين. ومن هنا فأن تحليل استخدام الأرض الزراعي و المدني هام للتأكد من أن خطط التنمية العمرانية لا تجير علي الأرض

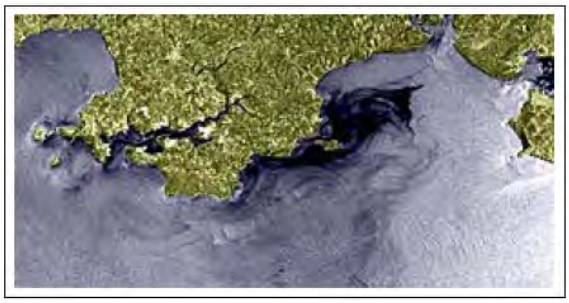
الزراعية. وهنا يأتي دور تحليل بيانات الاستشعار عن بعد متعددة التاريخ، والتي توفر رؤية منطقية لتوسع المدن و امتدادها. والعامل الأساسي هنا في اكتشاف تغير استخدام الأرض (من الحضري الي المدني) هو التمييز بين الاستخدامات الحضرية (المزارع و الغابات) والاستخدامات المدنية للأرض (المناطق السكنية والمناطق الصناعية). وهنا يتم تطبيق طرق الاستشعار عن بعد لتصنيف أنواع استخدامات الأرض بصورة جيدة و دقيقة لمساحات شاسعة من الأرض وبصورة متكررة. وعادة فأن مثل هذه التطبيقات تعتمد علي درجة وضوح مكانية عالية بهدف تحديد التفاصيل المكانية وأيضا بيانات متعددة النطاقات لكي يمكن التمييز بين الاستخدامات المتعددة للأرض.

١٥-٨ تطبيقات مراقبة المحيطات و الشواطئ

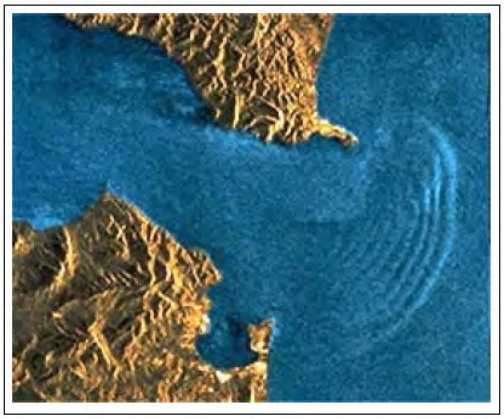
لا يقدم المحيط لنا الطعام فقط انما يعمل كخطوط نقل و مواصلات وله أهمية بالغة في نظام الطقس علي الأرض والحفاظ علي الدورة الهيدرولوجية للمياه. ومن هنا فأن فهم الطبيعة الديناميكية للمحيطات هام لتقدير حجم المخزون السمكي ولخطوط النقل البحرية ودراسة آثار الظواهر المناخية والتنبؤ بالعواصف ومن ثم تقليل مخاطرها. وتشمل دراسات المحيط: دراسة الرياح و التيارات (من حيث الاتجاه و السرعة و الارتفاع) وتحديد الأعماق البحرية bathymetry وأيضا دراسة حرارة المياه. وتشمل تطبيقات الاستشعار عن بعد في مجال مراقبة المحيطات:

- تحديد أنماط المحيط (التيارات، أعماق المحيطات، مناطق المياه الضحلة، الموجات ...الخ).
- التنبؤ بالعواصف
- تقدير المخزون السمكي
- مراقبة درجات حرارة المياه
- مراقبة جودة المياه
- مراقبة تسرب الزيت من مواقع استخراجه البحرية
- الملاحة البحرية
- مراقبة تأثيرات المد و الجزر و العواصف
- تحديد الخط الفاصل بين البحر و الأرض
- مراقبة حركة خطوط الشواطئ
- تطوير خرائط الأهداف الشاطئية

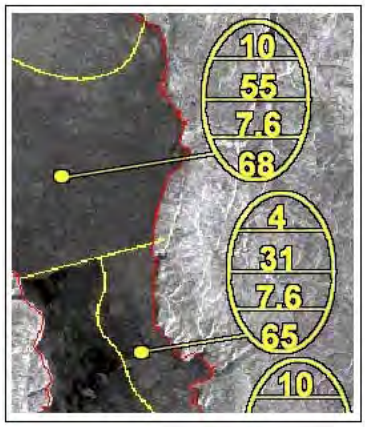
تعد خطوط الشواطئ coastlines فاصلا حساسا بين المياه و الأرض وتتأثر بالتغيرات التي تحدث من العمليات الديناميكية للبحار و المحيطات. ومن المعلوم أن ٦٠% من سكان الأرض يعيشون في مناطق قريبة من المحيطات. ومن ثم فأنه من الضروري متابعة مراقبة تغيرات خطوط الشواطئ مثل التعرية الشاطئية و التمدن و التلوث. وهذه التطبيقات يمكن مراقبتها و اتطوير خرائط لها من خلال بيانات الاستشعار عن بعد.



شكل (١٥-١١) مراقبة تسرب الزيت باستخدام المرئيات



شكل (١٥-١٢) مراقبة التيارات البحرية باستخدام المرئيات



شكل (١٥-١٣) تقدير أعماق الثلوج باستخدام المرئيات

الباب الرابع

نظم المعلومات الجغرافية

GIS

الفصل السادس عشر

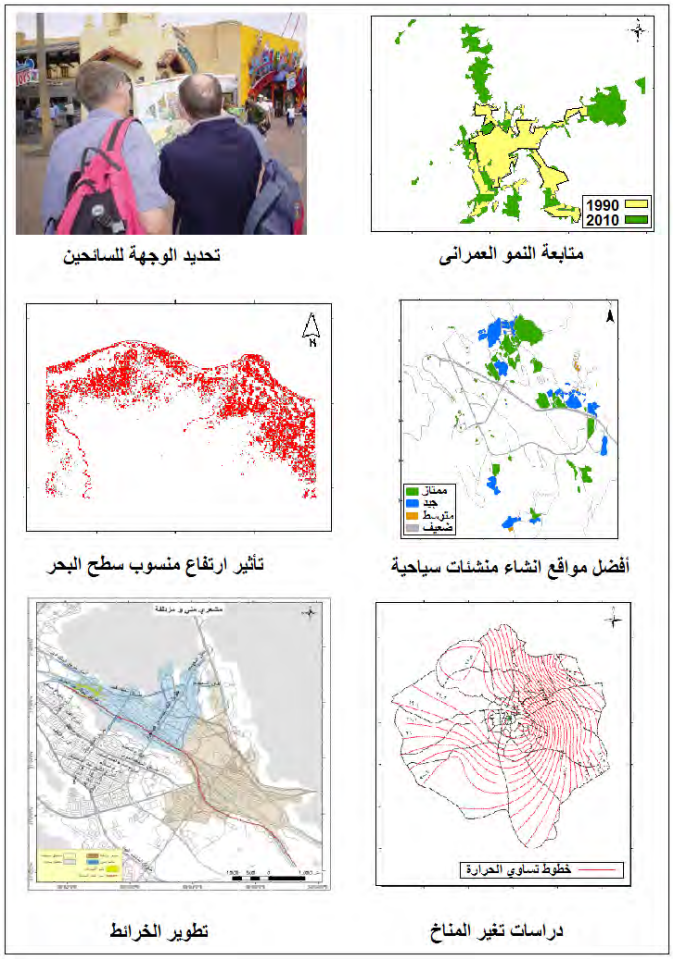
مقدمة عن نظم المعلومات الجغرافية

يقدم هذا الفصل نبذة تعريفية عن نظم المعلومات الجغرافية و أهميتها و تاريخ تطورها وأهميتها في العلوم المكانية.

١٦-١ لماذا الاهتمام بنظم المعلومات الجغرافية؟

من المعروف أن أي حدث يحدث في مكان محدد، ويهتم الانسان بمعرفة "موقع" أو مكان أي حدث علي سطح الأرض. فنحن نحيا علي سطح الأرض و نسافر في أجوائها و بحارها ونحفر الأنفاق داخلها، ومن هنا فأن معرفة "مواقع" النشاطات البشرية يعد أمرا بالغ الأهمية. فمعرفة أين يقع حدث ما يمكننا من أن ننتقل الي هذا المكان أو نرسل أحدا اليه بهدف جمع معلومات أكثر عن هذا الحدث و مكانه وآثاره و تبعاته. ومن هنا يمكن القول أن أي قرار يتطلب تبعات "مكانية أو جغرافية" ومن ثم فأن الموقع المكاني أو الموقع الجغرافي هو أحد أهم عناصر اتخاذ القرارات و تطوير السياسات وبناء الخطط في أي مجتمع. ان نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems - أو اختصارا GIS - هي نوع خاص ومميز من نظم المعلومات التي ليس فقط تراقب و تتابع الاحداث و المتغيرات و الأنشطة وإنما أيضا تحدد "مواقع أو أماكن" هذه الأحداث و الأنشطة البشرية.

لأهمية تحديد المواقع فأن هذا الأمر أصبح عنصرا هاما في حل مشاكل المجتمعات الانسانية. وربما نحن لا ندري أن أمورا حياتية يومية تتطلب منا الاعتماد علي المعلومات المكانية، فعلي سبيل المثال فنحن يوميا نتخذ قرارا ذا طبيعة مكانية عندما نحدد في كل صباح أي الطرق التي سنسلكها للوصول للعمل و العودة منه. وتسمي المشاكل التي تتطلب الاعتماد علي معلومات مكانية باسم "المشكلات الجغرافية" ومن أمثلتها: (أ) يعتمد مسئولو الرعاية الصحية علي المعلومات المكانية في تحديد مواقع انشاء المراكز الصحية و المستشفيات الجديدة، (ب) يعتمد مهندسو شبكات المواصلات علي المعلومات المكانية في اختيار أفضل مواقع انشاء الطرق الجديدة، (ج) يعتمد السياح علي المعلومات المكانية في اختيار أماكن الترفيه و مواقع الفنادق ومواقع الاثار أثناء تجوالهم، (د) يعتمد المزارعون علي المعلومات المكانية في تحديد أماكن وضع الشتلات الجديدة وأيضا مواقع التسميد في مزارعهم، (ذ) يعتمد مهندسو الانشاءات المدنية علي المعلومات المكانية في متابعة مواقع أجزاء المنشئات طوال فترة تنفيذ المشروع، (ر) يعتمد مسئولو الحماية المدنية علي المعلومات المكانية في تحديد مواقع التضرر من الكوارث الطبيعية - مثل السيول والانهيارات الأرضية - ووضع الخطط اللازمة للتقليل من اثارها السلبية ..... الخ. وبذلك فأن استخدام أو تطبيق نظم المعلومات الجغرافية GIS لم يعد في وقتنا الحالي أمرا أكاديميا يتم داخل الجامعات و مراكز البحوث انما صار روتينا يطبق باستمرار داخل الجهات الحكومية و الشركات الأهلية الخاصة للوصول لحلول عملية دقيقة لمشكلات مجتمعية.



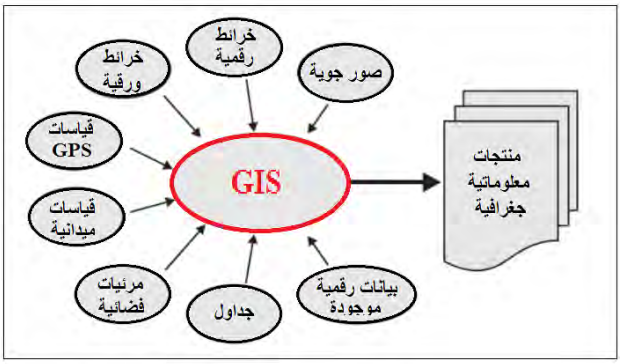
شكل (١٦-١) أمثلة للمشكلات الجغرافية

١٦-٢ نظم المعلومات الجغرافية أم المكانية؟

تشير الصفة "الجغرافية Geographic" الي أن هذه النوعية من نظم المعلومات تهتم بالمعلومات عن سطح الأرض. إلا أن هناك مصطلحا اخر يتم تداوله أيضا وهو نظم المعلومات "المكانية Spatial Information Systems" مما يجعل مجال عمل نظم المعلومات المكانية يتخطى سطح الأرض ليكون في أي "مكان". فعلي سبيل المثال يستخدم هذا العلم في دراسة الكواكب الأخرى وليس كوكب الأرض فقط، كما تم تطبيقه في المجال الطبي لدراسة و تحليل المعلومات عن الجسم البشري، مما يجعل مصطلح نظم المعلومات "الجغرافية" ليس هو الأمثل في هذه التطبيقات الحديثة. ومع استخدام مصطلح نظم المعلومات المكانية SIS فقد ظهر في السنوات الأخيرة مصطلحا جديدا وهو " المعلومات المكانية الأرضية أو Geospatial Information " ليدل علي نوع خاص من المعلومات المكانية التي تتعلق فقط بالأرض. فعلي سبيل المثال فقد تغير اسم وكالة الاستخبارات و الخرائط الأمريكية National Intelligence Mapping Agency في عام ٢٠٠٣م (١٤٢٤ هـ) الي اسم وكالة الاستخبارات المكانية الأرضية National

Geospatial-Intelligence Agency. ومع نهاية القرن العشرين الميلادي ظهر أيضا مصطلح "الجيوماتكس Geomatics" أو المعلوماتية الأرضية ليدل علي مظلة علمية أو علم أو تخصص يضم بالإضافة لنظم المعلومات الجغرافية عدة علوم و تقنيات أخري مثل الهندسة المساحية و الاحصاء و علوم الحاسب الالي و تقنيات النظام العالمي لتحديد المواقع و الاستشعار عن بعد. ومنذ ذلك الحين فقد غيرت بعض الجامعات اسم قسم الهندسة المساحية بها ليصبح تحت مسمي قسم الجيوماتكس.

تساعدنا نظم المعلومات - بصفة عامة - علي ادارة ما نعرف من معلومات من خلال تسهيل عمليات ترتيب و تخزين و استرجاع و صيانة و تحليل هذه المعلومات بهدف الوصول لحلول للمشاكل التي تواجهنا. وفي هذا الاطار يجب أن نفرق بين مصطلحي البيانات Data و المعلومات Information، فالبيانات هي مجموعة من الأرقام و النصوص في صورتها الخام raw والتي يمكن جمعها في ما يعرف باسم قاعدة البيانات Database. أما المعلومات فهي ناتج عمليات تمت علي البيانات مثل عمليات الاختيار و الترتيب و التحليل بناءا علي هدف محدد، وبالتالي فيمكن القول أن المعلومات هي ما يمكن استخلاصه من دراسة و تحليل البيانات الخام. وهنا تبرز واحدة من أهم مميزات نظم المعلومات الجغرافية - أو المكانية - حيث تسهل لنا تخزين و دمج عدة أنواع من قواعد البيانات و تحليلها و استنباط معلومات جديدة منها تخدم الهدف المراد الوصول اليه. وتزيد نظم المعلومات الجغرافية من مرونة استخدام البيانات الخام، فبدمج عدة أنواع من البيانات متعددة المصادر في إطار تكاملي واحد (أي نظام معلومات جغرافي) فتزداد قدراتنا في تمثيل و تحليل البيانات والاستفادة منها بتحويلها إلي منتجات معلوماتية.



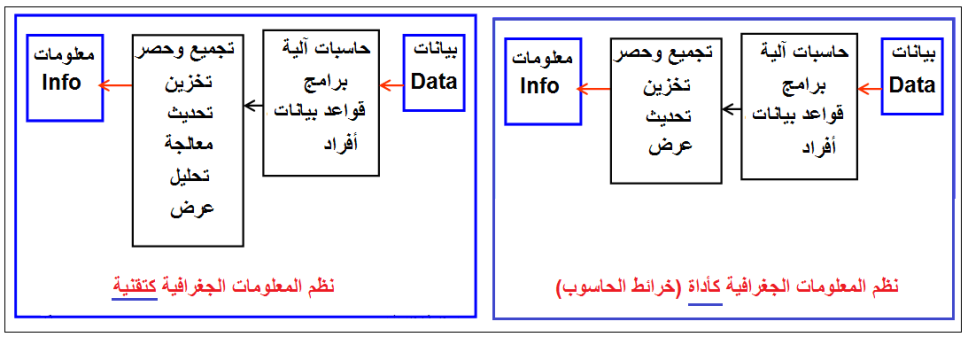
شكل (١٦-٢) البيانات و المعلومات الجغرافية

١٦-٣ ماهية نظم المعلومات الجغرافية؟ أداة أم تقنية أم علم؟

تختلف النظرة لنظم المعلومات الجغرافية اختلافا شاسعا، بل أن تعريف مصطلح نظم المعلومات الجغرافية ذاته يتعدد بدرجة كبيرة مما يجعل الكثيرون يتساءلون عن ماهية هذه النظم وهل هي مجرد أداة حاسوبية أم تقنية أم أنها علم في حد ذاته. فمن أمثلة أبسط تعريفات نظم المعلومات الجغرافية أنها وعاء لحفظ بيانات الخرائط في صورة رقمية، وهنا يمكننا أن نعتبر نظم المعلومات الجغرافية مجرد "أداه tool" لتحويل الخرائط الورقية الي خرائط رقمية. أيضا نجد تعريفا اخر يقول أن نظم المعلومات الجغرافية هي "أداه حاسوبية لحل المشكلات الجغرافية ". كما نجد أيضا

من يعرف نظم المعلومات الجغرافية علي أنها "أداة لعمل قياسات أو عمليات علي البيانات الجغرافية كانت ستكون أكثر صعوبة بتنفيذها يدويا علي الخرائط الورقية. وربما ظهرت مثل هذه التعريفات مع بداية ظهور مصطلح نظم المعلومات الجغرافية ذاته منذ عدة عقود حيث كانت النظرة العامة لهذه الاداة لتطوير الخرائط الرقمية ومقارنتها مع الطرق التقليدية لاستخدامات الخرائط الورقية.

بعد عقدين من ابتكار نظم المعلومات الجغرافية و استخدامها كأداة، تطور تعريف هذا المصطلح بعد أن بدأت في الظهور تطبيقات جديدة تعتمد ليس فقط علي حفظ البيانات الجغرافية في صورة رقمية بل تخطتها الي تحليل هذه البيانات بهدف الوصول لحلول علمية و عملية لمشكلات مجتمعية قائمة في عدد كبير من التخصصات و الاهتمامات. ومن ثم تخطت نظم المعلومات الجغرافية مرحلة "الاداة" لتصل الي مرحلة "التقنية technology" حيث صارت تعتمد في داخلها علي التكامل بين عدة علوم مثل علوم الجغرافيا و الكارتوجرافيا و الجيوديسيا و الاحصاء و الكمبيوتر بجانب تقنيات الاستشعار عن بعد و نظم تحديد المواقع. وفي هذا الاطار يأتي تعريف معهد البحوث و النظم البيئية (المعروف باسم شركة ازري ESRI) لنظم المعلومات الجغرافية علي أنها " مجمع متناسق يضم مكونات الحاسب الآلي و البرامج و قواعد البيانات والأفراد المدربين ويقوم هذا المجمع بحصر دقيق للمعلومات المكانية و غير المكانية و تخزينها و تحديثها و معالجتها و تحليلها و عرضها". وفي الشكل التالي يمكن ملاحظة الفرق بين كون نظم المعلومات الجغرافية كأداة أو كتقنية في وجود كلمتي "معالجة" و "تحليل" البيانات.



شكل (١٦-٣) نظم المعلومات الجغرافية

ولتوضيح هذا الفرق الرئيسي بين خرائط الحاسوب (النظم كأداة) و نظم المعلومات الجغرافية (كتقنية) فلنأخذ مثالا بسيطا: لإنشاء خريطة لتوزيع مواقع المدارس في مدينة مكة المكرمة فسيقوم المتخصص في الخرائط الرقمية بإنشاء خريطة أساس للمدينة (من خرائط ورقية مثلا) ثم سيقوم بتحديد مواقع المدارس في الطبيعة (بأجهزة النظام العالمي لتحديد المواقع GPS علي سبيل المثال) ثم سيقوم بتجميع البيانات غير المكانية للمدارس (نوع المدرسة و المرحلة التعليمية و عدد الطلاب ...الخ) ثم سيقوم بإنشاء قاعدة بيانات رقمية لهذه البيانات المكانية و غير المكانية للمدارس في مدينة مكة المكرمة. ومن ثم يمكن لهذا المستخدم إنشاء عدد من الخرائط الرقمية (وطباعتها بعد ذلك) لتوزيع المدارس في مكة المكرمة سواء جميع المدارس أو خريطة لتوزيع المدارس في كل مرحلة تعليمية معينة وكذلك خرائط موضوعية كمية لتوزيع عدد الطلاب و عدد المعلمين في كل مدرسة ... وهكذا. فان قام المستخدم بكل هذه الخطوات فيكون قد أدي عمله تماما كراسم خرائط

رقمية. أما المتخصص في نظم المعلومات الجغرافية (الذي سيستخدمها كتقنية) فسيكون لديه عدة أهداف أو خطوات أخري قبل أن يكمل هذا المشروع التطبيقي. فعلي سبيل المثال فعلي هذا المتخصص أن يدرس نمط توزيع المدارس في هذه المنطقة الجغرافية وهل هو نمط منتظم يغطي كافة أنحاء المدينة أم نمط متجمع في بقعة محددة، وبالتالي يحدد إن كانت هناك حاجة لإنشاء مدارس جديدة في هذه المدينة لكي يصبح توزيع المدارس منتظما ويلبي حاجة كافة سكان المدينة أم لا. كما أن هذا المتخصص في نظم المعلومات الجغرافية – ربما – سيقوم أيضا بدراسة موقع كل مدرسة وهل هو يلبي الاشتراطات والمواصفات المتعارف عليها لمواقع المدارس أم لا. ومن خلال التحليلات المكانية يقوم بتحديد معامل ملائمة لكل مدرسة ليقيس من خلاله درجة ملائمة موقع المدرسة للمواصفات المكانية المحددة، وبالتالي يقوم بإعداد تقرير عن المدارس المقامة في مواقع غير آمنه من الناحية الهندسية و البيئية. وربما قام متخصص نظم المعلومات الجغرافية أيضا بالمضي قدما - في دراسته لهذه الظاهرة – ليحدد أنسب المواقع الجغرافية المناسبة لإنشاء مدارس جديدة في هذه المنطقة سواء من حيث حاجة سكان أحياء المدينة أو من حيث اختيار مواقع ملائمة توافي متطلبات مواصفات إنشاء المدارس. أيضا سيقوم هذا المتخصص بمحاولة التنبؤ الإحصائي المستقبلي لعدد المدارس المطلوبة بعد عدة سنوات وإعداد توقعات بمواقع و أنواع المدارس. وخلاصة القول – من هذا المثال البسيط – أن إعداد خرائط رقمية أيا كان نوعها و عددها وألوانها المبهرة الجميلة هو تطبيق لتقنية خرائط الحاسوب أو استخدام نظم المعلومات الجغرافية كمجرد أداة وليس استخداما كاملا أو علميا لوظيفة نظم المعلومات الجغرافية كتقنية.

يتعلق المستوي الثالث من مستويات تعريف نظم المعلومات الجغرافية باعتبارها علم GIS Science وليس مجرد تقنية. وكان أول ظهور لمصطلح "علم نظم المعلومات الجغرافية GIS Science" في عام ١٩٩٢ م (١٤١٢ هـ) في بحث منشور للدكتور Michael Goodchild. ثم ظهرت بعد ذلك عدة مصطلحات تحمل نفس المعني مثل الجيوماتكس Geomatics وعلم المعلوماتية الأرضية Geoinformatics وعلم المعلومات المكانية Spatial Information Science والهندسة الجيو-معلوماتية Geoinformation Engineering. فعلم نظم المعلومات الجغرافية يهتم بتطوير أسلوب علمي لكل القضايا المتعلقة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية و التقنيات الأخرى المصاحبه لها. وبمعني اخر فأنه العلم الذي يستخدم مجال برمجيات نظم المعلومات الجغرافية لتحديد و تحليل و حل المشاكل القائمة. وتجدر الاشارة لوجود مؤتمر دولي يعقد في الولايات المتحدة الامريكية منذ عام ٢٠٠٠م تحت اسم مؤتمر علم نظم المعلومات الجغرافية (www.giscience.org). فإذا نظرنا لموضوعات هذا المؤتمر في دورته الحالية (٢٠١٤م/١٤٣٥هـ) سنجد أنها تشمل الأقسام التالية: الجغرافيا، علم الكمبيوتر، علم الادراك، الهندسة، علم المعلومات، الفلسفة، الرياضيات، العلوم الاجتماعية، الاحصاء. ومن هنا يمكن استخلاص ماهية علم نظم المعلومات الجغرافية في حد ذاته.

ان هذه النظرة الحديثة تتخطي النظرة الضيقة لتطبيق نظم المعلومات الجغرافية كما هي وبإمكانياتها المتاحة (في برنامج كمبيوتر متخصص software) الي ابتكار و تطوير أدوات علمية جديدة وبرمجة وظائف جديدة لتطبيقات محددة. فعلي سبيل المثال فأن معظم برامج نظم المعلومات الجغرافية تستطيع تمثيل قياسات GPS لتحديد مواقع الظاهرات المكانية و توقيعها في قاعدة البيانات، إلا أن مهندس الجيوماتكس يستطيع تطوير برامج جديدة programming لعمل وظائف جديدة - داخل البرنامج الرئيسي - لتنفيذ الحسابات الهندسية و تحليل أرصاد أو قياسات GPS

للتأكد من جودتها و دقتها قبل ضمها لقاعدة البيانات المكانية. هنا لم يقم هذا المستخدم بتطبيق الامكانيات الحالية للبرنامج بل أنه أضاف وظائف جديدة له بناءا علي خبرته العلمية في علم الجيوديسيا. وبذلك فأننا نجد أن كل برنامج GIS يختلف في وظائفه من اصدار الي اخر، حيث هناك من قام بإضافة أيقونات جديدة تمثل أدوات تحليلية جديدة في الاصدار الأحدث. وبمعني اخر فأن اخصائيو نظم المعلومات الجغرافية من جميع التخصصات (الجغرافيا و الهندسة و الرياضيات و الاحصاء و الموارد المائية و علوم البيئة .... الخ) ولديهم خبرة في مجال برمجة الكمبيوتر هم من ينظرون لنظم المعلومات الجغرافية علي أنها ليست مجرد تقنية، حيث أنهم يقدمون حلولا علمية جديدة - كلا في تخصصه - ثم يقومون ببرمجة هذه الخطوات الحسابية أو الطرق العلمية الجديدة ليضعوها في صورة أدوات ووظائف جديدة في البرنامج الأصلي. ولا يجب أن يتخيل أحد أن مبرمجو الكمبيوتر هم فقط من يمثلون هذه الفئة، بل أن الجغرافي أو المهندس المدني - علي سبيل المثال لا الحصر - يستطيعون ابتكار حلول علمية جديدة في تخصصاتهم وبتعلم احدي لغات البرمجة فيكونون هم الأجدر علي تطوير برامج جديدة وإضافتها لبرامج نظم المعلومات الجغرافية، وبذلك يكونوا قد أسهوا في تطوير هذه البرامج، ومن ثم فهم قد تعاملوا مع نظم المعلومات الجغرافية كعلم وقاموا بابتكار اضافات جديدة علي تقنية نظم المعلومات الجغرافية.

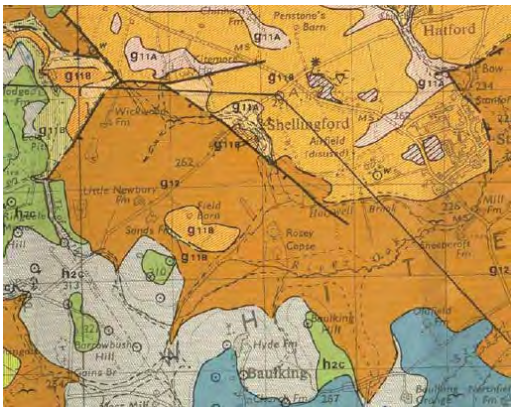
ويعتمد علم نظم المعلومات الجغرافية في جوهره علي عدد من التخصصات العلمية أو العلوم الأساسية وأيضا التقنيات والتي تشمل:

- علم الكمبيوتر Computer Science: ويستخدم في تمثيل و تشغيل (حساب) المعلومات المجمعة من خلال تطوير أجهزة تقنية (عتاد أو hardware) و طرق و نماذج و نظم تقنية (برامج أو software).
- علم الجيوديسيا Geodesy: ويستخدم لتحديد شكل و حجم الأرض والنماذج الرياضية المستخدمة في هذا التمثيل مثل السطوح المرجعية أو الاليبسويد Ellipsoids و نماذج الجيويد Geoid Models وأيضا لتمثيل مجال الجاذبية الأرضية.
- علم المساحة Surveying: وهو الذي يجمع الطرق و الأجهزة و التقنيات المستخدمة في قياس و تمثيل تفاصيل معالم وتضاريس سطح الأرض.
- علم الخرائط Cartography: يقدم علم الكارتوجرافيا قواعد و أسس و طرق تمثيل المعالم الطبيعية و البشرية لسطح الأرض سواء تمثيلا ورقيا (خرائط تقليدية) أو رقميا (خرائط رقمية).
- علم المساحة التصويرية Photogrammetry: يحدد مواقع و أشكال الأهداف الأرضية من خلال القياسات علي الصور الجوية.
- الاستشعار عن بعد Remote Sensing: للحصول علي معلومات مكانية و بيئية دون الاحتكام المباشر مع الأهداف الأرضية (أي من بعد).
- النظام العالمي لتحديد المواقع Global Positioning System or GPS : للحصول علي الإحداثيات الثلاثية الأبعاد للأهداف الثابتة أو المتحركة لأي مكان علي سطح الأرض وتحت أية ظروف مناخية.
- نظم المسح الليزري Laser Scanning System: لتحديد الأهداف وقياس مسافاتها من خلال استخدام الأشعة في النطاق البصري (من ٠.٣ الى ١٥ مايكرومتر).

- نظم اتخاذ القرار Decision Support System or DSS: لتطبيق نظم معلومات جغرافية معقدة أو مركبة بهدف إيجاد سيناريوهات محتملة لنمذجة الواقع الحقيقي علي الأرض و توفير مجموعة من الحلول لمتخذي القرار.
- النظم الذكية Expert System or ES: تأخذ في الاعتبار أجهزة تستطيع أن تقلد عملية الإدراك لدي الخبراء وقدراتهم علي إدارة الحقائق المركبة وذلك بطريقة حسابية رقمية.
- نظم المعلومات الجغرافية العنكبوتية WebGIS: لتوفير و إتاحة و توزيع البيانات المكانية من خلال حاسبات (كمبيوترات) عن بعد بطريقة الشبكات الحاسوبية.

١٦-٤ نظرة تاريخية لتطور نظم المعلومات الجغرافية

توجد بعض الاختلافات في التحديد التاريخي الدقيق لتطور نظم المعلومات الجغرافية؛ حيث كانت تجري جهود متماثلة في كلا من أمريكا الشمالية و أوروبا في نفس الفترة الزمنية تقريبا. وربما يعد نظام المعلومات الجغرافي الكندي أول ظهور لنظم المعلومات الجغرافية حيث قامت الحكومة الكندية في عام ١٩٦٣ م (١٣٨٣ هـ) بتحويل خرائط الموارد الأرضية من صورتها الورقية الي صورة رقمية للاستفادة منها في تصنيف الاراضي و استخداماتها المتعددة وإجراء بعض القياسات عليها مثل حساب المساحات. وتقريبا وفي نفس الوقت بدأ مكتب الاحصاء الأمريكي في التفكير بتطوير سجلات رقمية لجميع الشوارع و الطرق بهدف الارجاع الجغرافي الالي لبيانات الاحصاء السكاني الذي كان مقررا في عام ١٩٧٠م. وكانت هذه الفكرة دافعا لقيام جامعة هارفارد في عام ١٩٦٤م بإنشاء معمل الرسم و التحليل بالكمبيوتر بهدف تطوير نظام معلومات جغرافي عام يخدم عددا من التطبيقات وليس هدفا محددا. أما في انجلترا فقد بدأت وحدة الكارتوجرافيا التجريبية في عام ١٩٦٧م في أول تجربة لإنشاء نظام حاسوبي لتطوير الخرائط بهدف تقليل تكلفة ووقت انشاء الخرائط بصورتها التقليدية، وفي عام ١٩٧٣م تم انتاج أول خريطة جيولوجية رقمية بواسطة هيئة المساحة الجيولوجية البريطانية. ومنذ ذلك التاريخ بدأت جهات انتاج الخرائط في أمريكا و أوروبا (مثل هيئة المساحة الامريكية و هيئة المساحة العسكرية الامريكية و هيئة المساحة البريطانية والمعهد الوطني الفرنسي للخرائط) الاستفادة من هذه التقنية الجديدة في انتاج الخرائط الرقمية. إلا بريطانيا أصبحت أول دولة تنجح في تطوير قاعدة بيانات كاملة لخرائطها الرقمية، وكان ذلك في عام ١٩٩٥م (١٤١٦هـ).



شكل (١٦-٤) أول خريطة جيولوجية رقمية

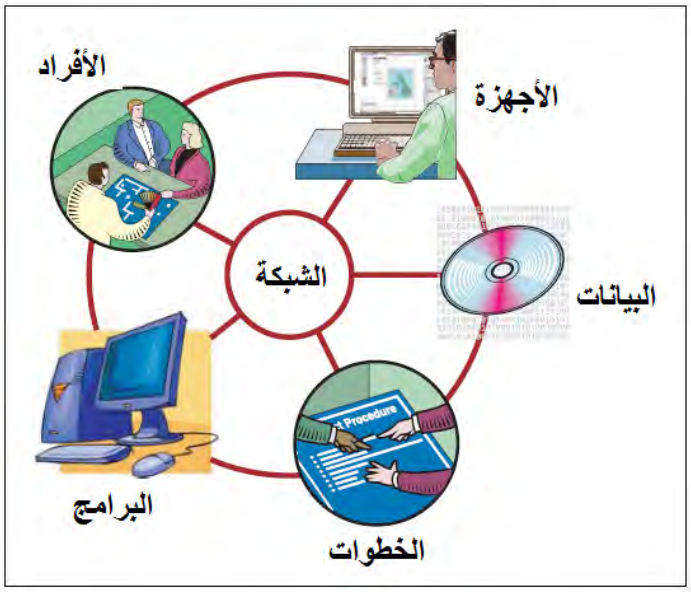
لعبت تقنية الاستشعار Remote Sensing عن بعد دورا هاما في تطوير نظم المعلومات الجغرافية كونها تقنية لجمع البيانات المكانية. تم اطلاق أول قمر صناعي عسكري في الخمسينات من القرن العشرين الميلادي بغرض جمع معلومات مخابراتية، ومع أنه كان يستخدم الكاميرا و الأفلام التقليدية في أعمال التصوير إلا أن تخزين و تحليل هذا الكم الهائل من المعلومات المكانية كان له دور كبير - بصورة سرية - في تطوير نظم المعلومات الجغرافية. ثم تطورت تقنية الاستشعار عن بعد طوال عقد الستينات لتنتقل من التصوير التقليدي الي التصوير الرقمي أو الاستشعار عن بعد الرقمي Digital Remote Sensing، وظهر أول قمر صناعي مدني للاستشعار عن بعد وهو القمر الامريكي لاندسات Landsat في عام ١٩٧٢م (١٣٩٢ هـ). أيضا ساعدت التطبيقات العسكرية والمخابراتية في تطوير نظم الملاحة وتحديد المواقع العالمية بالرصد علي الأقمار الصناعية في فترة السبعينات من القرن العشرين الميلادي، فظهرت تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع Global Positioning System أو اختصارا جي بي أس GPS، والتي ساعدت علي الوصول لتحديد مواقع الظاهرات المكانية بدقة و سرعة و تكلفة أقل وعلي مستوي عالمي، وهو ما أدي لتطور في الحصول علي البيانات المكانية ومن ثم تطور نظم المعلومات الجغرافية. ومع بداية عقد الثمانينات من القرن العشرين الميلادي حدث تطور هام وهو انخفاض أسعار أجهزة الكمبيوتر Hardware مما أطلق صناعة تطوير البرامج Software وخاصة برامج نظم المعلومات الجغرافية. فلك أن تتخيل أنه قبل هذا الوقت كان ثمن جهاز كمبيوتر (بإمكانيات الكمبيوتر الشخصي الحالي) في حدود ٢٥٠،٠٠٠ دولار أمريكي بينما كانت البرامج المصاحبة له في حدود ١٠٠،٠٠٠ دولار أمريكي! ويقدم الجدول التالي عرضا مبسطا لأهم المحطات التاريخية في تطور نظم المعلومات الجغرافية.

التاريخ	نوع الحدث	الحدث
مرحلة الابتكار		
١٩٦٣	تقني	تطوير نظام المعلومات الجغرافية الكندي
١٩٦٣	عام	انشاء المنظمة الامريكية لنظم المعلومات الحضرية و الاقليمية URISA
١٩٦٤	أكاديمي	انشاء معمل الرسم و التحليل بالكمبيوتر بجامعة هارفارد الأمريكية
١٩٦٧	تقني	مشروع DIME بمكتب الاحصاء الأمريكي لتطوير سجلات رقمية لجميع الشوارع و الطرق بهدف الارجاع الجغرافي الالي لبيانات الاحصاء السكاني
١٩٦٧	أكاديمي	انشاء وحدة الكارتوجرافيا التجريبية ECU في بريطانيا
١٩٦٩	تجاري	انشاء شركتي ايزري ESRI و انترجراف Intergraph لتطوير برامج حاسوبية لنظم المعلومات الجغرافية
١٩٦٩	أكاديمي	نشر أول كتاب يتناول بعض أسس نظم المعلومات الجغرافية Design with Nature للمؤلف Ian McHarg
١٩٧٢	تقني	اطلاق القمر الصناعي الاول للاستشعار عن بعد Landsat
١٩٧٤	أكاديمي	عقد أول مؤتمر علمي AutoCarto 1 في فيرجينيا بأمريكا يتناول نظم المعلومات الجغرافية
مرحلة الإنتاج التجاري		
١٩٨١	تجاري	اطلاق أول نسخة من برنامج Arc Info المتخصص في نظم المعلومات

		الجغرافية
١٩٨٥	تقني	اكتمال منظومة النظام العالمي لتحديد المواقع GPS
١٩٨٦	تجاري	انشاء شركة MapInfo لبرامج نظم المعلومات الجغرافية
١٩٨٧	أكاديمي	ظهور المجلة الدولية لنظم المعلومات الجغرافية IJGIS
١٩٨٨	أكاديمي	انشاء المركز الوطني الامريكي للمعلومات الجغرافية و التحليل US NCGIA وأيضا معمل البحوث البريطاني الاقليمي UK RRL
١٩٩٢	تقني	اطلاق أول نسخة من الخرائط الرقمية العالمية DCW من تطوير المساحة العسكرية الامريكية (بحجم ١.٧ جيجا بايت)
١٩٩٤	عام	صدور قرار الرئيس الامريكي (كلينتون) بإنشاء البنية التحتية للمعلوماتية المكانية US NSDI واللجنة الاتحادية للمعلومات الجغرافية FGFC
١٩٩٥	عام	اكتمال أول مجموعة خرائط رقمية لدولة كاملة في بريطانيا من تطوير هيئة المساحة البريطانية و تتكون من ٢٣٠ ألف خريطة
١٩٩٦	تقني	ظهور عدد من نظم المعلومات الجغرافية علي الانترنت Internet GIS
مرحلة الانتشار		
١٩٩٤	أكاديمي	تأسيس اتحاد برامج نظم المعلومات الجغرافية مفتوحة المصدر Open GIS لتطوير برامج غير تجارية
١٩٩٧	أكاديمي	اطلاق Map Server 1 اول برنامج نظم معلومات جغرافية مفتوح المصدر open-source علي الانترنت بواسطة جامعة مينيسوتا الأمريكية
١٩٩٩	تجاري	اطلاق أول قمر صناعي تجاري للاستشعار عن بعد IKONOS
٢٠٠٠	تجاري	تجاوز حجم صناعة نظم المعلومات الجغرافية (أجهزة و برامج و خدمات) لقيمة ٧ مليار دولار أمريكي
٢٠٠٣	تقني	إطلاق خرائط جوجل و جوجل ايرث Google Earth, Google Maps

١٦-٥ مكونات نظم المعلومات الجغرافية

يتكون نظام المعلومات الجغرافي من ستة أقسام رئيسية تشمل الأجهزة Hardware والبرامج Software و البيانات Data و الأفراد People والخطوات Procedures والشبكة Network. وسنحاول هنا تقديم شرحا مختصرا عن كل جزء من هذه الاجزاء ولاحقا - في الفصول القادمة - سيتم التعرض للتفاصيل التقنية لكلا منها.



شكل (١٦-٥) مكونات نظم المعلومات الجغرافية

الأجهزة: تشمل كل جهاز يستخدمه مشغل نظم المعلومات الجغرافية سواء لإدخال البيانات أو معالجة البيانات أو عرض النتائج. تقليديا كانت أجهزة الكمبيوتر المكتبي desktop هي الاساس، إلا أن المستخدم أصبح لديه الان خيارات متعددة مثل الكمبيوتر المحمول laptop أو اللوح الكفي PDA بل وحتى الاجهزة المركبة داخل السيارات in-vehicle devices.

البرامج: تتعدد برامج نظم المعلومات الجغرافية من برامج مصممة للعمل علي الكمبيوتر الشخصي للمستخدم (وسعرها في حدود مئات الدولارات) وبرامج أكثر تعقيدا تناسب المؤسسات الكبيرة وتكون محملة علي خادم الشبكة الحاسوبية server للمؤسسة (وسعرها في حدود عشرات الالاف من الدولارات). ومعظم برامج نظم المعلومات الجغرافية تكون برامج تجارية commercial software يتم شراؤها من الشركات المنتجة لها (مثل برامج ArcGIS, MapInfo, AutoCAD Map)، إلا أنه توجد بعض البرامج الاكاديمية التي طورتها جامعات (مثل برنامج IDRISI من جامعة كلارك). ولكل برنامج امكانيات تقنية تختلف من برنامج الي اخر، كما توجد داخل نفس البرنامج عدة نسخ لكلا منها امكانيات مختلفة.

البيانات: تتكون البيانات من التمثيل الرقمي لأنواع محددة من البيانات في منطقة محددة من سطح الأرض بهدف ايجاد حلول علمية لمشاكل محدده في هذه البقعة المكانية. ويتم بناء قاعدة البيانات database لمشروع نظم المعلومات الجغرافية في أول مرة كما يتم تحديثها update باستمرار لتعبر عن الواقع بصفة مستمرة. وقد تكون قاعدة البيانات صغيرة الحجم (عدة ميجا بايت) يمكن تخزينها بسهولة علي قرص صلب، وقد تكون كبيرة الحجم (تصل الي تيرا بايت) يتم تخزينها علي خادم شبكي server ذو إمكانيات تقنية كبيرة، و الجدول التالي يقدم بعض الأمثلة لقواعد البيانات في عدة تطبيقات.

حجم قاعدة البيانات		مثال للتطبيق
ميجا بايت	١ ٠٠٠ ٠٠٠ بايت	مشروع نظم معلومات جغرافية صغير
جيجا بايت	١ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ بايت	قاعدة بيانات لشبكة الطرق في مدينة كبيرة أو دولة صغيرة
تيرا بايت	١ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ بايت	ارتفاعات سطح الأرض بقدرة توضيح مكاني ٣٠ متر
بيتا بايت	١ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ بايت	مرئيات فضائية للأرض بقدرة توضيح مكاني ١ متر
اكسا بايت	١ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ بايت	تمثيل (مستقبلي) ثلاثي الأبعاد لسطح الأرض بقدرة توضيح مكاني ١٠ متر

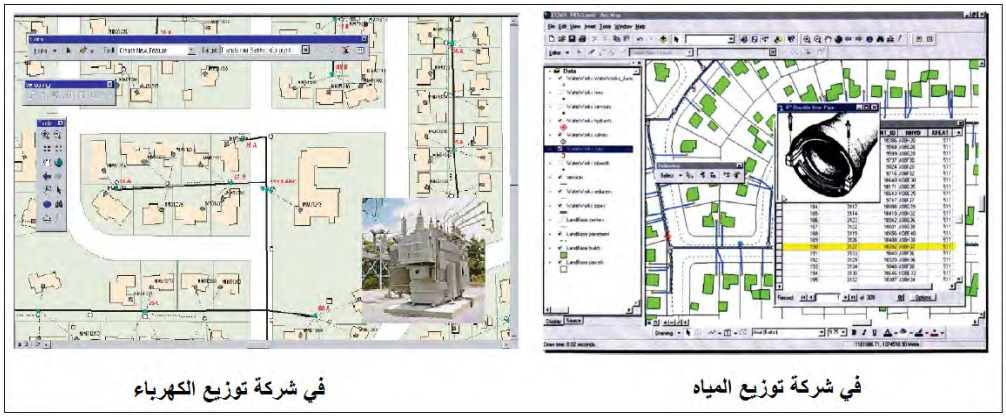
الأفراد: هم أهم مكونات نظم المعلومات الجغرافية الذين يقومون بتشغيل الاجهزة و البرامج و استخدام البيانات. وتختلف أعمال و مهارات أفراد نظم المعلومات الجغرافية اختلافا كبيرا بناءا علي وظيفة كل فرد، إلا أنهم جميعا لديهم الحد الأدنى من المعلومات عن العمليات الاساسية للتعامل مع البيانات الجغرافية مثل أنواع و مصادر البيانات و دقتها. وفي هذا الاطار فهناك مدخل بيانات، مشغل بيانات، محلل بيانات، مدير قاعدة البيانات، مدير نظام، مبرمج، مدير شبكات .... الخ.

الخطوات: يتطلب نظام المعلومات الجغرافية ادارة أو خطوات تشغيلية قياسية لتنظيم العمل والتأكد من جودة البيانات المستخدمة و مطابقة أسلوب العمل للميزانية المالية المحددة وأيضا المحافظة علي ضبط تنفيذ مراحل تشغيل النظام للوصول للنتائج المنشودة له.

الشبكة: في معظم تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية حاليا يتم الاعتماد علي شبكة حاسوبية بهدف نقل و مشاركة البيانات بين مستخدمي النظام. وقد تكون الشبكة من نوع Intranet أي شبكة خاصة لمؤسسة أو جهة معينة، وقد يتم استخدام شبكة الانترنت Internet ذاتها.

١٦-٦ مميزات نظم المعلومات الجغرافية

صارت نظم المعلومات الجغرافية مطبقة في وقتنا الحالي في عدد كبير من التطبيقات التي تؤثر علي حياتنا اليومية. فعلي سبيل المثال فالطاقة الكهربائية التي تصل منازلنا تعتمد في جزء من مسارها علي استخدام نظم المعلومات الجغرافية في شركة الكهرباء لمتابعة مراحل توليد و توزيع الطاقة، وبنفس الطريقة فأن شركة توزيع المياه أيضا تعتمد علي نظم المعلومات الجغرافية حتى تستطيع ايصال الماء العذب لمنازلنا.



شكل (١٦-٦) أمثلة لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية

ويرجع هذا الانتشار الكبير في الاعتماد علي نظم المعلومات الجغرافية الذي حدث في العقدين الأخيرين لما لهذا العلم (أو هذه التقنية من وجهة نظر التطبيقين) من مميزات هائلة، منها علي سبيل المثال:

- تستخدم لسرعة اتخاذ القرار علي المدي القريب والبعيد أيضا.
- تتميز بالأهمية التطبيقية العالية.
- يمكن تطبيقها لحل العديد من المشاكل المجتمعية و الاقتصادية و البيئية.
- تدعم القياسات وتطوير الخرائط ومراقبة التغيرات و النمذجة.
- تدعم الجانب التطبيقي لتمثيل البيانات و ادارتها و تحليلها بصورة مبسطة.
- لها مميزات اقتصادية ملموسة.
- يسهل دمجها مع التقنيات الأخرى.

أيضا هناك عدة أسباب ساعدت علي انتشار الاعتماد علي نظم المعلومات الجغرافية مثل:

- توافر عدة أنواع من البيانات المكانية علي الانترنت.
- انخفاض أسعار أجهزة و برمجيات نظم المعلومات الجغرافية مع توسع هذا السوق.
- تزايد الاهتمام لدي صناع القرار بأهمية البعد المكاني في التخطيط و الادارة.
- سهولة التعامل مع نظم المعلومات الجغرافية باستخدام كمبيوتر شخصي بسيط.
- سهولة و سرعة الحصول علي البيانات المكانية اعتمادا علي تقنيات الرصد علي الأقمار الصناعية مثل تقنية GPS.

١٦-٧ تطبيقات علم نظم المعلومات الجغرافية

تهدف جميع العلوم الانسانية الي وضع حلول للمشاكل التي تواجهنا، وان اختلفت الأسس العلمية والتقنيات المستخدمة باختلاف نوعية و طبيعة المشاكل ذاتها. فإذا أخذنا المعيار المكاني (أو الجغرافي) في الاعتبار فأن أهداف حل أي مشكلة تتمثل في:

١. التوزيع الفعال و المنطقي للموارد بناءا علي معايير محددة، مثل توزيع منشئات البنية التحتية في تطبيقات الخدمات.
٢. مراقبة و فهم التوزيع المكاني للعناصر، مثل التغير في نوعية التربة في بقعة مكانية.
٣. فهم طبيعة التغيرات التي يحدثها المكان ذاته، مثل أنماط اراء الناخبين.
٤. فهم العلاقة بين المتغيرات الطبيعية و البشرية، مثل العلاقة بين عمليات تآكل (أو نحر) الشواطئ وعمليات الهجرة البشرية من المدن الساحلية.
٥. دراسة التأثير البشري و البيئي للقرارات و الاستراتيجيات.

ولتحقيق هذه الأهداف والوصول الي حلول علمية باستخدام علم نظم المعلومات الجغرافية GIS Science فأن هذا يتطلب خمسة عمليات متكاملة وتشمل:

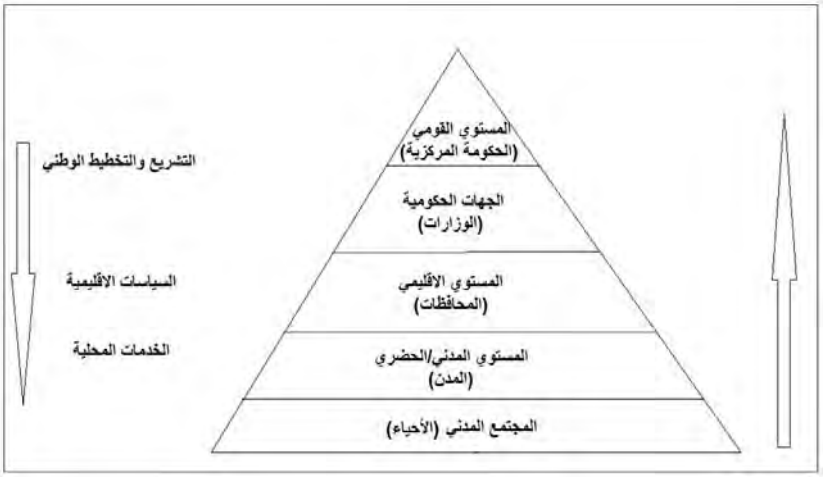
- تجميع البيانات و القياسات measuring
- التمثيل (الخرائطي) للبيانات mapping
- تحديث البيانات (متابعة مراقبة الظاهرة) monitoring
- تحليل و نمذجة المتغيرات modeling
- الادارة المتكاملة ووضع الحلول managing

بصفة عامة يمكن تقسيم تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية الي ثلاثة أقسام: تطبيقات تقليدية، تطبيقات نامية، و تطبيقات حديثة. مع ظهور نظم المعلومات الجغرافية فقد شملت تطبيقاتها التقليدية تلك التطبيقات الحكومية و العسكرية و التعليمية وتطبيقات الخدمات بكافة أنواعها. وفي منتصف التسعينات من القرن العشرين الميلادي بدأت تطبيقات نامية في الظهور، فبدأ استخدام نظم المعلومات الجغرافية في البنوك والخدمات التجارية والخدمات العقارية و شبكات المواصلات و الثقل وأيضا تحليل الأسواق. أما في بدايات القرن الحادي و العشرين الميلادي فأن تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية قد توسعت ودخلت مجالات جديدة مثل التطبيقات الأمنية والمخابراتية و مكافحة الإرهاب. واليوم أصبح تطبيق نظم المعلومات الجغرافية و تكاملها مع نظم المعلومات الأخرى أحد أهم أسباب النجاح و التطور في المؤسسات الكبرى. وفي الأجزاء التالية سنتعرض لبعض تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في المجالات الحكومية والتجارية و النقل و البيئة كمجرد أمثلة لتطبيقات هذا العلم.

١٦-٧-١ تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في الخدمات الحكومية

كانت المؤسسات الحكومية ومجال الخدمات العامة من أولي التطبيقات التي استخدمت واستفادت من نظم المعلومات الجغرافية، فعلي سبيل المثال وكما سبق الذكر في الفصل الأول فأن أول ظهور لنظم المعلومات الجغرافية في كندا، في الستينات من القرن العشرين الميلادي، كان في مؤسسة حكومية. ومنذ تلك البداية وحتى الآن فمازال المستخدمون الحكوميون يمثلون الكتلة الأكبر بين مستخدمي نظم المعلومات الجغرافية. ومع أن أول تطبيق كان علي مستوي وطني أو قومي، فأن التطبيقات الحكومية لنظم المعلومات الجغرافية يتم استخدامها الآن علي كافة المستويات سواء علي مستوي دولة أو مستوي محافظة أو مستوي مدينة أو حتى مستوي حي داخل مدينة. ومع ربط هذه

المستويات معا فأن نظم المعلومات الجغرافية تصبح أداه فعالة في عمليات اتخاذ القرار ووضع الخطط التنموية مع الأخذ في الاعتبار كافة المتطلبات المحلية و الوطنية.



شكل (١٦-٧) استخدام نظم المعلومات الجغرافية في عدة مستويات لعملية اتخاذ القرار

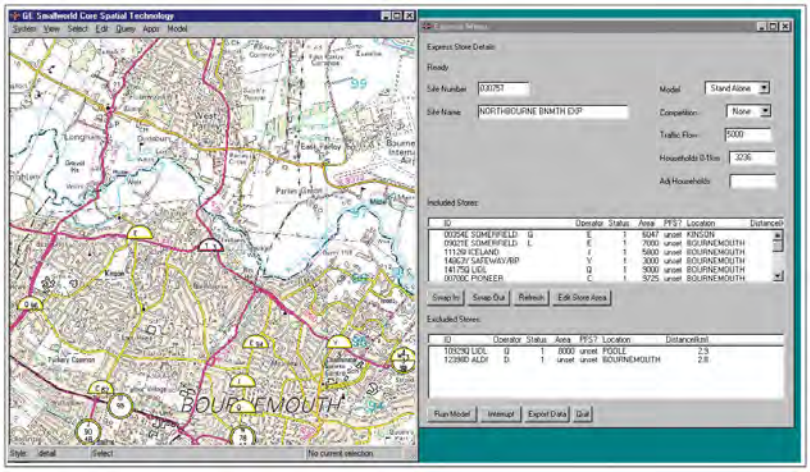
أصبحت الجهات والمؤسسات الحكومية أكثر وعيا في قضية الاستخدام الأمثل للموارد المتاحة، ومن ثم زاد الاعتماد علي نظم المعلومات الجغرافية - علي المستوي الوطني - التي تسمح ببناء قواعد بيانات مكانية للموارد و البنية التحتية وتخطيط شبكات النقل وزيادة جودة الخدمات الحكومية المقدمة وتنمية الأراضي مما ينعكس علي زيادة الدخل من خلال زيادة النشاطات الاقتصادية. بالمثل فأن الجهات الحكومية علي المستوي المحلي صارت تعتمد علي نظم المعلومات الجغرافية في إدارة و تحديد أنسب مواقع إنشاء الخدمات العامة بحيث تفي الغرض المثالي منها من حيث تغطية كافة احتياجات المواطنين بتوزيع عادل. ومن أمثلة التطبيقات المحلية لنظم المعلومات الجغرافية مراقبة مخاطر الصحة العامة، إدارة خدمات الإسكان العام، مراقبة الجريمة، إدارة شبكات النقل العام، إدارة الخدمات الأمنية وخدمات الطوارئ.

يعد تقدير الضرائب العقارية من الأمثلة التقليدية للتطبيقات الحكومية لنظم المعلومات الجغرافية في العديد من الدول. فهذا المجال يعتمد علي معلومات مكانية في المقام الأول وخاصة في تقدير قيمة الأرض والمباني المقامة عليها بالاعتماد علي أحد ثلاثة طرق وهي قيمة العقار أو الدخل الذي يوفره العقار إذا تم تأجيره أو حالة سوق العقارات في المدينة من حيث العرض و الطلب، وتعد الطريقة الأخيرة هي الأوسع انتشارا لتقدير الضريبة العقارية لمبني معين بناءا علي سعر السوق لمبني مماثل له من حيث الموقع والحجم و الجودة. وهنا يتم الاعتماد علي نظم المعلومات الجغرافية في جمع و تخزين و معالجة و تحليل هذه البيانات العقارية للمدينة بهدف تقدير قيمة الضرائب العقارية. أيضا توفر نظم المعلومات الجغرافية إمكانية نمذجة (تطوير نماذج) لهذه العملية التقديرية بناءا علي العوامل المحددة السابق تعريفها.

شكل (١٦-٨) مثال لاستخدام نظم المعلومات الجغرافية في مجال تقدير الضرائب العقارية

١٦-٧-٢ تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في الخدمات التجارية

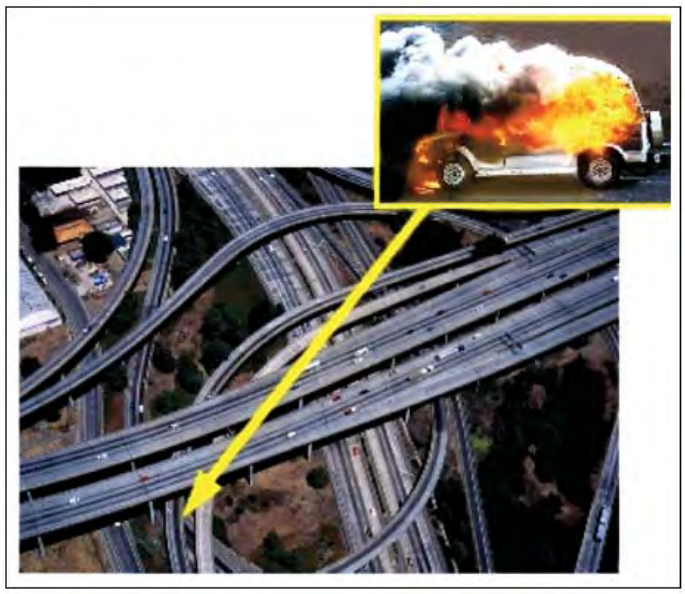
يعد التحليل الجغرافي للسوق أو تحليل منطقة السوق من أهم أعمال تخطيط و إدارة الخدمات التجارية. فهذا التحليل المكاني أو الجغرافي يهدف للإجابة علي سؤال "أين؟"، بمعني ما هي حدود النفوذ المكاني (الانتشار الجغرافي) لخدمة تجارية محددة؟ أو أين يمكن إقامة خدمة تجارية جديدة في منطقة معينة؟ أو أين يمكن تنفيذ خطوط توزيع جديدة للمنتج؟ أو دراسة السلوك الاجتماعي و الاقتصادي للعملاء في بقعة جغرافية محددة. وفي كل هذه العمليات التخطيطية التجارية فأن نظم المعلومات الجغرافية تقدم حلا علميا لا يمكن الاستغناء عته لإجابة مثل هذه الأسئلة المكانية. إن علم نظم المعلومات الجغرافية لا يهدف فقط لتوقيع البيانات علي الخرائط في صورة رقمية، إنما يتعدي ذلك الهدف بكثير فالأهم هو "التحليل المكاني" للبيانات. وبالطبع فأن برامج نظم المعلومات الجغرافية (software) تقدم بعض أدوات التحليل الجغرافي التجاري، إلا أن هناك برامج متخصصة لهذا النوع من التطبيقات والتي يمكن دمجها داخل أي برنامج نظم معلومات جغرافية تجاري.



شكل (١٦-٩) مثال لاستخدام نظم المعلومات الجغرافية لتحديد موقع إنشاء خدمة تجارية جديدة

١٦-٧-٣ تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في النقل و المواصلات

تتطلب خدمات النقل و المواصلات الاعتماد علي المعلومات المكانية فهي في الأساس تهدف لنقل الناس و البضائع من مكان إلى مكان. ومن أهم مهام المؤسسات الحكومية للنقل و المواصلات تحديد مواقع الخدمات الجديدة (من طرق و سكك حديدية) وأيضا المحافظة علي كفاءة شبكة المواصلات. كما أن الجهات الأهلية أو الخاصة العاملة في مجال النقل تعتمد أيضا في عملها علي تحديد أفضل مسارات النقل لها سواء كان النقل بريا أو بحريا. وكل هذه التطبيقات تحتاج لنظم المعلومات الجغرافية من خلال جزأين: الجزء الثابت static الذي يتعامل مع البنية التحتية ذاتها، والجزء المتحرك dynamic الذي يتعامل مع حركة الركاب و البضائع. قديما كانت تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية تستخدم فقط في الجزء الثابت من حيث دراسة و تحليل و إدارة الشبكة التحتية للنقل و المواصلات (طرق و سكك حديدية ..الخ). أما حديثا ومع التكامل بيت نظم المعلومات الجغرافية و تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع GPS أصبح مراقبة حركة وسائل النقل و المواصلات ممكنا لحظة بلحظة مما نتج عنه استخدام نظم المعلومات الجغرافية كأداة ديناميكية لإدارة الثقل و المواصلات. ومن التطبيقات الحديثة لنظم المعلومات الجغرافية إمكانية تحديد موقع الحدث لحظيا بمجرد الاتصال بمركز الطوارئ (مع توافر إمكانية تحديد موقع الشخص المتصل من خلال هاتفه المحمول أو الجوال المزود بتقنية GPS) وفي نفس اللحظة يمكن لمركز الطوارئ توقيع مكان المتصل علي الخرائط الرقمية وتحديد موقعه بدقة وإبلاغ الموقع للجهة المنوط بها التعامل مع هذا الحدث (الدفاع المدني أو الشرطة أو المرور أو الإسعاف) للتعامل السريع مع الحدث. أيضا فأن الكثير من التطبيقات في مجال النقل و المواصلات تتطلب عملية "الأمثلية optimization" أي تحديد أمثل حل يفي بأهداف محددة. فعلي سبيل المثال يمكن لنظم المعلومات الجغرافية أن تحدد "أمثل" طريق لحافلة معينة مطلوب منها توزيع بعض البضائع لعدة مواقع مختلفة داخل مدينة، مما سينتج عنه توفير الوقت و تقليل تكلفة التوزيع.



شكل (١٦-١٠) تكامل نظم المعلومات الجغرافية مع GPS لتحديد موقع حدث لحظيا

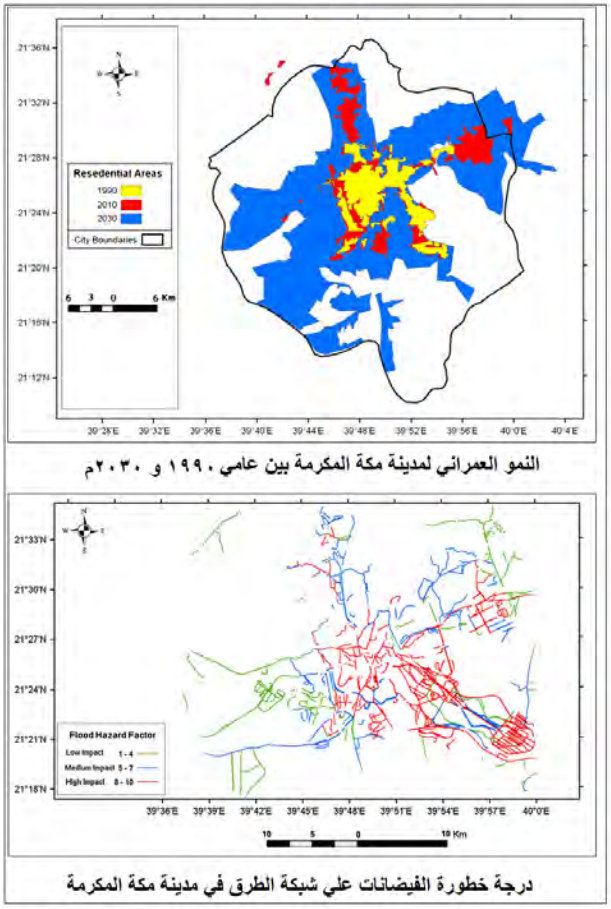
يمكن استخدام نظم المعلومات الجغرافية في مجال النقل و المواصلات علي عدة مستويات مثل:
مستوي التشغيل:
- مراقبة حركة المركبات بهدف رفع كفاءة التشغيل.
- تحديد المسارات المثلي لتقليل التكلفة.

المستوي التكتيكي:
- تصميم و تقويم مسارات الحركة للخدمات مثل مركبات المدارس و مركبا جمع القمامة و مركبات توزيع البريد.
- مراقبة و تقويم حالة شبكة النقل (مثل حالة رصف الشوارع وحالة خطوط السكك الحديدية) بهدف إدارة أعمال صيانتها.
- التحليل المكاني لمواقع الحوادث.

المستوي الاستراتيجي:
- تصميم مواقع إنشاء الطرق الجديدة ومواقع الخدمات المصاحبة لها.

١٦-٧-٤ تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في مجال البيئة

تعد التطبيقات البيئية من أولي وأهم أنواع مجالات استخدامات نظم المعلومات الجغرافية منذ ابتكارها، ففي معظم دول العالم فأن الأراضي والموارد الطبيعية محدودة مما يتطلب إدارتها بكفاءة عالية. وهنا تقدم نظم المعلومات الجغرافية أداة تقنية لمراقبة ومتابعة التغيرات في استخدامات الأراضي و متابعة وتحليل و نمذجة النمو العمراني. فعلي سبيل المثال فأن نظم المعلومات الجغرافية تقدم لنا قياسات دقيقة ومتابعة عبر الزمن للتناقص في الغابات الاستوائية في حوض الأمازون بأمريكا الجنوبية من خلال الاعتماد علي صور الأقمار الصناعية. أيضا فأن متابعة النمو العمراني للمدن وآثاره البيئية يعد نموذج آخر لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في المجالات البيئية. كما تستخدم نظم المعلومات الجغرافية بيئيا لمراقبة و نمذجة عمليات تآكل التربة و التصحر وحركة المياه الجوفية ومراقبة أثار الكوارث الطبيعية مثل السيول و الانزلاقات الأرضية. وفي المجال البيئي أصبح منهج "التحليل المتعدد المعايير Multi-Criteria Analysis" داخل نظم المعلومات الجغرافية من أكثر التطبيقات انتشارا في عدد كبير من التطبيقات علي المستوي العالمي بهدف تطوير نماذج ملائمة suitability model لتحديد أفضل مواقع إنشاء خدمة معينة بحيث يلبي هذا الموقع عددا من المعايير أو الشروط الواجب توافرها. فعلي سبيل المثال فأن نظم المعلومات الجغرافية تمكننا من تحديد أفضل مواقع إنشاء سدود الحصاد المائي في منطقة معينة بناءا علي عدد من المعايير الهندسية و الجيولوجية و الهيدرولوجية و المناخية و البيئية. أيضا فأن نظم المعلومات الجغرافية تقدم لنا منهجا علميا دقيقا للتوقع المستقبلي لظاهرة معينة بحيث يمكن وضع الخطط المناسبة لمواجهة هذه التحديات المستقبلية. فمثلا يمكن التنبؤ بمخاطر السيول التي من المتوقع حدوثها (من حيث الحجم و الانتشار المكاني) مع التوسع العمراني المستقبلي لمدينة معينة.



النمو العمراني لمدينة مكة المكرمة بين عامي ١٩٩٠ و ٢٠٣٠م

درجة خطورة الفيضانات علي شبكة الطرق في مدينة مكة المكرمة

شكل (١٦-١١) أمثلة للتطبيقات البيئية لنظم المعلومات الجغرافية

الفصل السابع عشر

التمثيل الجغرافي و طبيعة البيانات المكانية

يستعرض هذا الفصل الأسس الرئيسية لتمثيل المكان أو العالم الحقيقي و أيضا يلقي الضوء على طبيعة البيانات المكانية ذاتها وخصائصها بالإضافة لدقة تمثيل العالم الحقيقي.

١٧-١ مقدمة

يحيا الإنسان علي الأرض في جزء بسيط نسبيا من سطحها، فاليابسة لا تمثل إلا ثلث سطح الكوكب والمساحة التي تحتلها المدن و التجمعات البشرية لا تمثل إلا مقدارا بسيطا جدا من هذه اليابسة. ومع ذلك فأن الحصول علي معلومات عن سطح الأرض يعد بالغ الأهمية في عدد كبير من النشاطات البشرية. عرف الإنسان تمثيل المكان من خلال عدة وسائل مثل: التمثيل داخل المخ البشري من خلال حفظ المعلومات عما يحيط بنا من أماكن يمكننا رؤيتها، والتمثيل بالصور الفوتوغرافية، والتمثيل بالكلام وبالكتابة النصية، والتمثيل بعمل القياسات والأرصاد، و التمثيل الخرائطي.

حديثا أصبح تمثيل المكان من خلال تطوير نموذج رقمي لسطح الأرض، وهذا من أهم أوجه البحث العلمي و التخطيط، فمن خلاله يتعرف الإنسان علي الأماكن ومعالمها وتفاصيلها. لكن العالم الحقيقي بالغ التعقيد وليس من السهل تمثيله، ولذلك فلا بد من اتخاذ قرارات أو اختيارات لما سنقوم بتمثيله أو بمعني آخر المستوي المطلوب لتفاصيل سطح الأرض ولأي فترة زمنية وهذا من أهم مهام أخصائيو نظم المعلومات الجغرافية.

١٧-٢ التمثيل الرقمي

صارت التقنيات الرقمية من أساسيات الحياة البشرية الآن، فنحن نتعامل حاليا مع كل وسائل الاتصال بصورة رقمية مثل أجهزة التلفزيون و الراديو و التليفونات و الفاكس والكتب والمطبوعات الالكترونية والانترنت ...الخ. وأصبح اقتناء جهاز كمبيوتر شخصي مطلبا أساسيا من متطلبات الحياة الحديثة. وكلمة "رقمي digital" مشتقة من كلمة "الأرقام digits" وان كان هذا التعبير غير دقيق! فالأرقام العددية أو الحسابية تتكون من عشرة وحدات من الصفر إلي تسعة، بينما في مجال الكمبيوتر فأن التمثيل لا يتم إلا باستخدام وحدتين فقط وهما الصفر و الواحد. فكافة المعلومات يتم تمثيلها "رقميا" من خلال اشتقاقات متعددة من تجميع الصفر و الواحد فقط. ولكل حرف أبجدي أو رقم يوجد كود محدد لاشتقاقات الصفر و الواحد و طريقة جمعهم في "بايت byte" وهي المعلومة المكونة من ٨ وحدات أساسية. فعلي سبيل المثال فأن الرقم ٢ يتم تمثيله رقميا (باستخدام ٨ خانات من الصفر و الواحد) بصورة: ٠٠١١٠٠٠٠ أما الرقم ٥ فيتم تمثيله بصورة: ٠٠١١٠١٠١ وهكذا. وبالطبع فقد تم استنباط عدد من الطرق أو الصيغ القياسية standard formats لتمثيل المعلومات بصورة رقمية، فمثلا هناك صيغة ASCII لتمثيل النصوص وصيغ مثل GIF, TIFF, JPEG لتمثيل الصور و صيغ مثل MPEG لتمثيل الأفلام وصيغ مثل MP3, MIDI لتمثيل الأصوات. وبالطبع فنحن لا يمكن أن نتعامل مع الصورة الحقيقية للتمثيل الرقمي (مشتقات الصفر

و الواحد) ولكن البرامج المتخصصة تعيد "ترجمة" هذا التمثيل الرقمي إلي شكله الحقيقي سواء نص أو صورة أو فيلم.

للتمثيل المكاني (أو الجغرافي) الرقمي مميزات هائلة عند مقارنته بالطرق التقليدية لتمثيل المكان سواء الخرائط الورقية أو التقارير المكتوبة. فالمعلومات الرقمية من السهل نسخها و نقلها بسرعة الضوء وأيضا حفظها في أماكن لا تشكل حيزا كبيرا، كما أنها لا تتعرض للتلف مثل الخرائط الورقية. لكن أهم مميزات التمثيل المكاني الرقمي تكمن في سهولة المعالجة و التحليل، وفي هذا الإطار تقدم لنا نظم المعلومات الجغرافية إمكانات هائلة كان من الصعوبة تحقيقها بالطرق التقليدية، وذلك من خلال إجراء القياسات بدقة وسرعة، و تركيب و دمج عدة نماذج رقمية، وتغيير مقياس الرسم ، و التكبير و التصغير بسهولة و يسر، وكل هذا بتكلفة قليلة.

١٧-٣ التمثيل الجغرافي

التمثيل الجغرافي هو تمثيل جزء سطح الأرض بمقاييس متعددة تتراوح ما بين التمثيل المعماري لغرفة و تمثيل كامل الأرض. ويقول الأثريون أن الإنسان عرف رسم المكان علي جدران الكهوف كوسيلة لنقل المعلومات الجغرافية حتى قبل أن تتطور اللغة لتصبح وسيلة ناطقة لنقل المعلومات بين أفراد الجماعة البشرية، ومن هنا ظهرت "الخرائط" بشكل بدائي. ثم صارت الخريطة المرسومة يدويا طريقة فعالة لنقل المعلومات الجغرافية بين مجموعات صغيرة من البشر. إلا أن الخرائط و النصوص المكتوبة قد تتلف أو تدمر إن تعرضت للماء أو النار، وكم فقدت البشرية من معلومات قيمة للغاية بسبب هذين العنصرين مثل ما حدث لحريق مكتبة الإسكندرية القديمة في القرن السابع الميلادي. ومع اختراع الطباعة في القرن الخامس عشر الميلادي أصبحت المطبوعات و الخرائط أوسع انتشارا وأصبح الإنسان أكثر اعتمادا عليها. ومع أن تكلفة طباع الخرائط لم تكن بسيطة في البداية، إلا أن ظهور المكتبات العامة في القرن التاسع عشر الميلادي ساعد علي وصول الخرائط وما تحتويه من معلومات مكانية لقطاع واسع من المهتمين. والآن أصبحت شبكة الانترنت أكثر الطرق فعالية لنقل و نشر المعلومات الجغرافية والمكانية بين الناس في كافة أنحاء العالم.

تعد معظم تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية - في حقيقة الأمر - هي نفسها تطبيقات التمثيل الجغرافي. لكن من المهم جدا في أي تطبيق لنظم المعلومات الجغرافية أن نحدد (١) ما نريد تمثيله what، وأيضا (٢) كيف نريد تمثيله how ، (٣) الدقة المطلوبة لهذا التمثيل accuracy. فالعالم الحقيقي بالغ التعقيد بدرجة تجعل تمثيله رقميا من الممكن أن يتم بعدة طرق، وهناك العديد من الاختيارات أو القرارات لتحديد ما يجب أن يتم تمثيله و ما يمكن ألا يتم تمثيله من الظاهرات.

١٧-٤ خصائص التمثيل الجغرافي

إن طبيعة البيانات الجغرافية هي حقائق تدل علي العالم الحقيقي، وغالبا تتكون من ثلاثة عناصر: الموقع و الزمن و الوصف. فالموقع المكاني أو الجغرافي place هو المرجع الذي يدل علي المكان علي سطح الأرض، بينما في بعض الأحيان نحتاج أيضا لتحديد الزمن time الدال علي حدوث الظاهرة قيد التمثيل حيث أن بعض الظاهرات تتغير مع الزمن. أما الوصف attribute فيشمل كافة المعلومات غير المكانية التي تصاحب الظاهرة وتدل علي خصائصها. فعلي سبيل

المثال فأن الجملة "تبلغ درجة الحرارة في ظهر يوم ٢ ديسمبر عند دائرة عرض ٣٤ درجة و خط طول ٤٥ درجة تبلغ ١٨ درجة مئوية" تربط بين المكان (دائرة عرض ٣٤ درجة و خط طول ٤٥ درجة) و الزمن (ظهر يوم ٢ ديسمبر) والوصف (درجة الحرارة ١٨ درجة مئوية).

تعد معظم عناصر سطح الأرض ثابتة أو مستقرة لحد ما static، أي أن تغيرها يكون بطئ جدا وفي غالب التطبيقات يمكن إهمال تأثيره. فعلي سبيل المثال فأن تغير منسوب سطح البحر (الناتج عن حركة الأرض وظاهرة المد و الجزر) يكون بطئ جدا وفي فترة زمنية قد تمتد لعشرات السنين، مما يجعل بإمكاننا إهمال هذا التغير البسيط جدا في معظم التطبيقات. بينما علي الجانب الآخر فأن تغير درجات الحرارة يكون بصفة يومية أو ساعية مما يجعل التغيرات الزمنية ضرورية للغاية في تمثيل العناصر المناخية كعناصر ديناميكية متحركة أو متغيرة dynamic ، إلا أن المتوسطات السنوية لدرجات الحرارة من الممكن تمثيلها كعنصر ثابت.

يتكون نطاق العناصر غير المكانية attributes في المعلومات الجغرافية من أنواع و طبيعة متعددة للغاية، فبعض العناصر تكون طبيعية أو بيئية والبعض الآخر يكون عناصر اجتماعية أو اقتصادية. من الممكن أن تكون العناصر غير المكانية دالة علي موقع محدد يميزه عن المواقع الأخرى، مثل اسم الشارع أو الرمز البريدي أو رقم القطعة. بينما هناك عناصر غير مكانية قد تقيس عنصر محدد في هذا المكان مثل الارتفاع أو درجة الحرارة، كما توجد عناصر غير مكانية أخري قد تحدد عنصر داخل مجموعات معينة مثل نوع استخدامات الأراضي في هذا الموقع.

تشمل أنواع البيانات غير المكانية عدة أنواع منها: (١) بيانات اسمية nominal وهي التي تحدد العنصر المكاني و تفرق بينه وبين أماكن أخري، مثل رقم المنزل و اسم الشارع أو رقم القطعة ...الخ، (٢) بيانات رتبيه ordinal مثل نوع التربة في مجموعات التربة المحددة، (٣) بيانات فترة interval مثل فترات درجات الحرارة التي تحدد إن كان الطقس حارا أو معتدلا أو باردا، (٤) بيانات نسبية ratio مثل أوزان الأشخاص التي يمكن منها معرفة نسبة وزن شخص مقارنة بوزن شخص آخر. وبالطبع فأننا في نظم المعلومات الجغرافية قد نتعامل مع نوعيات خاصة من البيانات التي يكون لها طبيعة حسابية مختلفة، فعلي سبيل المثال فأن انحرافات الخطوط (مثل تلك المقاسة بالبوصلة المغناطيسية) تتراوح بين الصفر و ٣٥٩ درجة مما يعني أن الرقم التالي لرقم الانحراف ٣٥٩ يكون هو الصفر أو اتجاه الشمال.

يعاني التمثيل الجغرافي للبيانات من مشكلة أساسية تتمثل في أن العالم الحقيقي معقد للغاية مما لا يمكن تمثيل جميع تفاصيله بالكامل. ففي أي مشهد جغرافي كلما نظرنا لمنطقة صغيرة كلما وجدنا كم أكبر من التفاصيل، فعلي سبيل المثال فأن خط الشاطئ علي الخريطة يبدو كخط واحد متعرج، لكنه في الحقيقة يتكون من عدد كبير جدا من التفاصيل و الانحناءات والعناصر المكونة له. وهنا لا بد لنا أن نحدد - قبل بدء عملية التمثيل الجغرافي - المستوي المطلوب من التفاصيل التي نريد التعامل معها، أو إهمال بعض العناصر غير المكانية أو تبسيط simplification الظاهرات المكانية بطريقة معينة. وهذه الاختيارات أو البدائل في عملية التمثيل الجغرافي ليست حديثة، فقد كانت نفس المشاكل تواجه طرق التمثيل الجغرافي التقليدية مثل رسم الخرائط الورقية وما زالت تواجه التمثيل الجغرافي الرقمي في علم نظم المعلومات الجغرافية. وسنلقي الضوء في الأجزاء التالية علي بعض هذه الخيارات.

١٧-٤-١ الأهداف المنفصلة والمجالات المتصلة

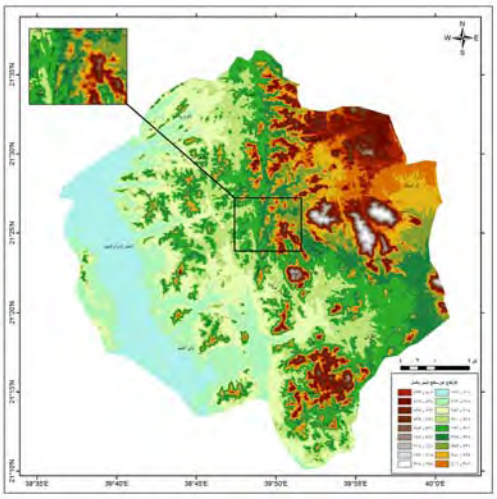
يري الإنسان العالم الجغرافي من خلال وجهتي نظر مختلفتين وهما الأهداف المنفصلة discrete objects و المجالات المتصلة continuous fields. في مفهوم أو نظرية الأهداف المنفصلة فأن العالم فارغ بصفة عامة فيما عدا مجموعات من الظاهرات التي لها حدود معرفة تماما، بمعني أن العالم محدد بوجود المباني و الطرق و السيارات ومثيلاتها من الأهداف أو الظاهرات المحددة بشكل تام و بحدود ثابتة. ومن أهم ما يميز هذه النظرية أن الأهداف المنفصلة يمكن تمييزها وعدها بسهولة، فمن السهل القول أن هناك ٢٨٤ جبل في اسكتلندا وأن هناك ١٠ آلاف بحيرة في ولاية مينيسوتا الأمريكية. وهذه النظرية تناسب الأهداف المصنعة، فمن السهل معرفة عدد السيارات المصنعة في عام محدد. كما أن الكائنات الحية تتعامل بسهولة مع هذه النظرية مثل سهولة معرفة عدد سكان مدينة معينة أو عدد الطائرات التي تملكها شركة معينة. لكن علي الجانب الآخر فهناك معوقات كثيرة لهذا الأسلوب أو هذه النظرية، فمثلا ما هو تعريف الجبل وكيف يختلف عن تل؟ وان كان للجبل قمتين فهل يعد جبلا واحدا أم أثنين؟

تمثل الأهداف المنفصلة بعدة وسائل طبقا لنوع الظاهرة الجغرافية ذاتها، فالظاهرات التي تحتل مساحة area (أي لها طول و عرض) تسمي بالظاهرات ثنائية الأبعاد two-dimensional وعادة يتم تمثيلها رقميا بمضلع polygon. أما الظاهرات التي لها بعد واحد فقط (طول) فيطلق عليها اسم الظاهرات أحادية البعد one-dimensional وتمثل بخط line (مثل الطرق والأنهار و السكك الحديدية). بينما هناك ظاهرات يمكن أن نطلق عليها اسم ظاهرات صفرية البعد zero-dimensional ويتم تمثيلها بنقطة point. أما في العالم الحقيقي فأن كل الظاهرات لها ثلاثة أبعاد three-dimensional ومحاولة تمثيلها بعدد أقل من الأبعاد ما هو إلا "تقريب approximation". فالمبني - مثلا - له ٣ أبعاد (طول و عرض و ارتفاع) بينما نحن نمثله علي أنه ثنائي الأبعاد فقط، وفي بعض الأحيان يمكن حل هذه المشكلة من خلال تحديد ارتفاع المنزل (أو عدد أدواره) كمعلومة غير مكانية في قاعدة البيانات.

أما النظرية الثانية في وجهة نظرنا للعالم الحقيقي فهي نظرية المجالات المتصلة، وفيها فأن الظاهرات تتكون من مجالات متصلة حتى و إن كان لها قيم محددة عند كل نقطة. فعلي سبيل المثال فأن تضاريس سطح الأرض يمكن اعتبارها مجالا واحدا متصلا ولكل نقطة في هذا المجال قيمة (ارتفاع) محدد. وفي هذه النظرية فأن المجالات المتصلة تتميز بقيمة التغير و مدي نعومة smooth أو معدل تغير كل مجال، فمثلا تغير التضاريس يكون ناعما أو بسيطا في الأراضي المنبسطة و يكون حادا و متغيرا بسرعة في المناطق الجبلية. ومن الأمثلة الأخرى للمجالات المتصلة الكثافة السكانية و استخدامات الأراضي وأنواع التربة ... الخ. أيضا فأن المجالات المتصلة لا تكون فقط في المساحات إنما قد تكون للخطوط، فمثلا فأن الكثافة المرورية علي طريق تعد مجالا متصلا.

من أهم النقاط التقنية في نظرية الأهداف المتصلة كيفية تحديد عدد فئات المجال نفسه، فكلما كان عدد الفئات كبيرا كلما أعطي ذلك معلومات تفصيلية أكثر عن طبيعة المجال المتصل. في الشكل التالي نري تضاريس سطح الأرض في مدينة مكة المكرمة، وفيه نري قيم الارتفاعات قد تم تمثيلها من خلال ١٤ فئة مما جعل التمثيل الجغرافي يوضح طبيعة التضاريس بدقة و جودة مما يسمح لنا

بالتفرقة بين المناطق المنبسطة و الجبلية وفئات كلا منهما. أما النقطة الثانية فتتمثل في أن نظرية الأهداف المتصلة تسمح لنا وبسهولة من عد الظاهرات المتشابهة، فكيف يمكن تطبيق ذلك في نظرية المجالات المتصلة؟ لحل هذه المشكلة فأننا نتخيل وضع شبكة grid علي الخريطة ويمكننا تحديد قيمة المجال (الارتفاع في مثال التضاريس) عند كل مربع من مربعات هذه الشبكة. أما حجم أو أبعاد كل مربع من مربعات هذه الشبكة (ما يطلق عليه اسم البكسل pixel) فيعتمد علي الدقة المنشود الوصول إليها، فكلما كان البكسل صغير الحجم كلما كانت نتائج التمثيل - و التحليل أيضا - أكثر دقة و تفصيلا.

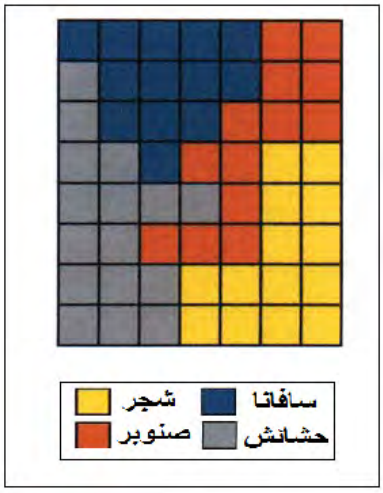


شكل (١٧-١) تضاريس مدينة مكة المكرمة: مثال للمجالات المتصلة

١٧-٤-٢ البيانات الخطية و البيانات الشبكية

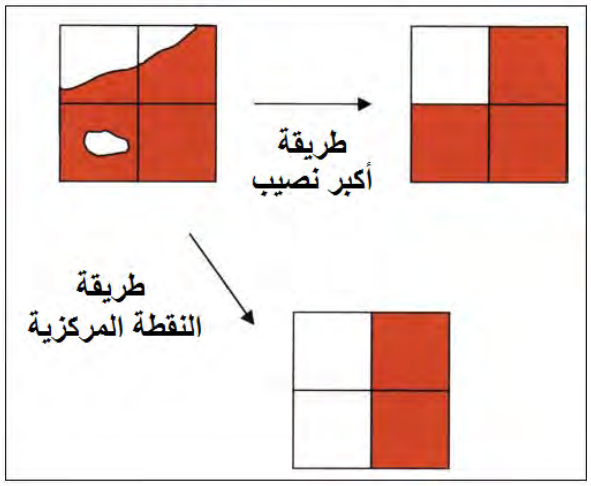
مثلت نظريتي الأهداف المنفصلة و المجالات المتصلة منهجين علميين نظريين لفهم العالم الجغرافي، إلا أنهما لا يقدمان حلولا للتمثيل الجغرافي أو المكاني رقميا. فعلي سبيل المثال فأن مفهوم المجالات المتصلة يحتوي ضمنيا علي كم لا نهائي من البيانات إذا تم تحديد قيمة المجال عند "كل" نقطة. ومن هنا فقد تم ابتكار طريقتين لتمثيل الواقع الجغرافي علي الخريطة الرقمية وهما ما يعرفان باسم طريقة البيانات الخطية vector data وطريقة البيانات الشبكية raster data. وهناك ارتباط قوي للغاية بين نظرية الأهداف المنفصلة و طريقة البيانات الخطية، وكذلك بين نظرية المجالات المتصلة و طريقة البيانات الشبكية.

يعتمد التمثيل الشبكي علي تقسيم المكان - أو العالم - إلي عدد من المربعات أو الخلايا cells بحيث يكون لكل خلية (أو بكسل) قيمة محددة للظاهرة المطلوب تمثيلها أو معلومة غير مكانية attribute. ومن أشهر أنواع البيانات الشبكية تلك البيانات القادمة من تقنية الاستشعار عن بعد remote sensing حيث يقوم القمر الصناعي بتسجيل البيانات بهذا الأسلوب الشبكي. وبالطبع فأن درجة الوضوح المكاني spatial resolution (قيمة طول الخلية أو البكسل المناظر علي سطح الأرض) تختلف من قمر صناعي إلي آخر، فنجد مرئيات فضائية images بوضوح مكاني ٠.٥، ١، ٢.٥، ٥، ١٠، ٣٠ متر.



شكل (١٧-٢) مثال للتمثيل الشبكي raster

تجدر الإشارة إلي أنه في طريقة التمثيل الشبكي فأن تفاصيل الظاهرة داخل البكسل الواحد ستختفي، حيث أن كل بكسل أو خليه ستأخذ قيمة ثابتة محددة، بمعني أنه لا يمكن التفرقة بين قيمة المعلومة غير المكانية attribute لأجزاء الخلية ذاتها. وهنا لا بد من إيجاد وسيلة أو طريقة لكيفية تحديد قيمة واحدة للبكسل في حالة أنها تحمل أكثر من قيمة. وفي هذا الإطار فهناك طريقة "أكبر نصيب largest share" حيث تكون قيمة الخلية مساوية لقيمة الجزء الأكبر من مكوناتها. أيضا توجد طريقة "النقطة المركزية central point" وفيها تأخذ الخلية نفس قيمة نقطة مركزها. وتعد طريقة "أكبر نصيب" هي الأوسع انتشارا، إلا أن طريقة "النقطة المركزية" تستخدم في بعض الحالات مثل استنباط خلايا التضاريس من مجموعة بيانات مقاسه للارتفاعات في بقعة معينة.

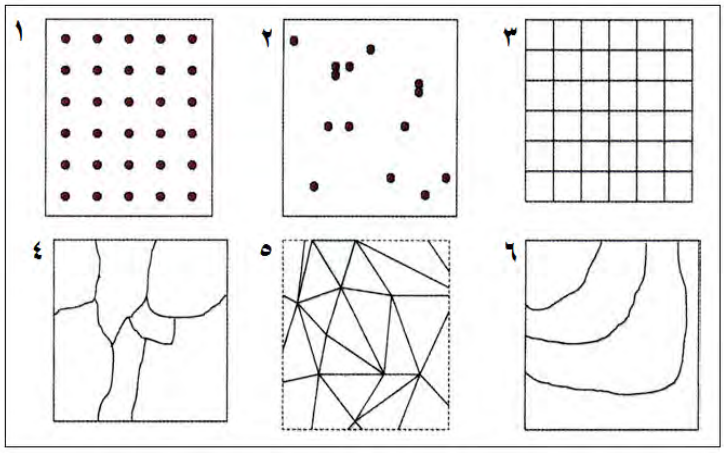


شكل (١٧-٣) طرق التمثيل الشبكي

تعتمد طريقة البيانات الخطية أو طريقة التمثيل الاتجاهي vector data علي توقيع النقاط points، بينما الخطوط lines ما هي إلا توصيل مجموعة من النقاط معا، والمضلعات polygons هي توصيل مجموعة من الخطوط (كلما زادت كثافة النقاط أكبر صارت الخطوط أقرب للمنحنيات curves منها للخطوط المستقيمة وصارت المضلعات أكثر دقة في التمثيل). وفي هذا النوع من التمثيل لا نحتاج إلا لمعرفة مواقع النقاط التي تتكون من رؤوس المضلع vertices ومن ثم فأن التمثيل سيكون أسهل وأكثر كفاءة من طريقة البيانات الشبكية. وتظهر هذه الخاصية بصفة أكثر وضوحا عند تمثيل الأهداف المتصلة التي - غالبا - يمكن تحديد مواقعها المكانية بدقة. لكن وعلي الجانب الآخر فأن بعض الظاهرات الجغرافية لا يمكن تحديد حدودها بدقة عالية، مما يجعل التمثيل الشبكي أحيانا يكون مناسبا لعدد من الظاهرات المكانية. وفي هذه الحالات (تمثيل مجال متصل) هناك عدة بدائل أو اختيارات في نظم المعلومات الجغرافية:

١. معرفة قيمة العنصر المتغير عند رؤوس شبكة من المربعات محددة علي فترات ثابتة، مثل معرفة المنسوب (الارتفاع) عند أركان شبكة في حالة نماذج الارتفاعات الرقمية Digital Elevation Model (DEM).
٢. معرفة قيمة العنصر المتغير عند نقاط متباعدة، مثل معرفة قيمة درجة الحرارة عند محطات القياس المناخية.
٣. معرفة قيمة العنصر المتغير لخلية محددة الشكل، مثل معرفة قيمة الانعكاس في مرئيات الاستشعار عن بعد.
٤. معرفة قيمة العنصر المتغير لخلية متغيرة الشكل، مثل معرفة نوع المزروعات عند كل حوض في مزرعة.
٥. معرفة التغير الخطي للعنصر المتغير عند مثلثات غير منتظمة الشكل Triangulated Irregular Network (TIN).

وتجدر الإشارة إلي أن البديلين ١ و ٣ ما هما إلا طرق تمثيل شبكي، بينما البدائل الأربعة الأخرى تعد من طرق التمثيل الخطي أو الاتجاهي (وان كان يمكن تحويلها إلي تمثيل شبكي في برامج نظم المعلومات الجغرافية).



شكل (١٧-٤) طرق تمثيل المجالات المتصلة

والجدول التالي يعرض مقارنة سريعة لكلا طريقتي التمثيل الرقمي الخطي و الشبكي في نظم المعلومات الجغرافية.

مميزات التمثيل الخطي vector و التمثيل الشبكي raster

البند	التمثيل الشبكي	التمثيل الخطي
حجم البيانات	يعتمد علي حجم الخلية أو البكسل	يعتمد علي كثافة النقاط
مصدر البيانات	مرئيات الاستشعار عن بعد	بيانات بيئية و اجتماعية وهندسية
التطبيقات	تطبيقات الموارد و البيئية	تطبيقات اجتماعية و اقتصادية و إدارية وهندسية
البرامج software	برامج التحليل الشبكي raster GIS	برامج التحليل الخطي vector GIS و الخرائط الرقمية
الوضوح	ثابت	متغير

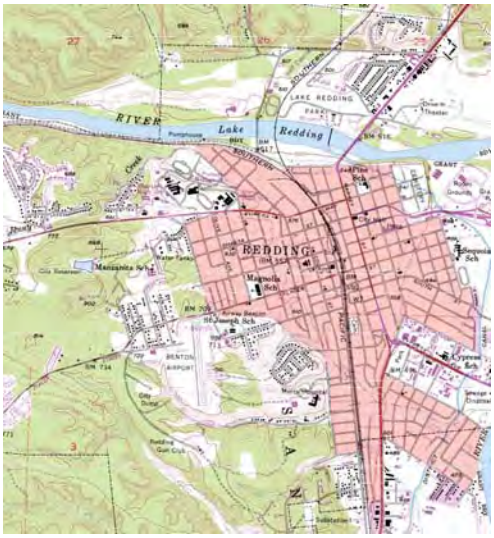
١٧-٥ الخرائط الورقية

منذ القدم كانت الخريطة الورقية تعد وسيلة جيدة و فعالة لحفظ و لنقل البيانات الجغرافية، وبالطبع فأن الخريطة الورقية هي تمثيلا تناظريا analog وليس رقميا digital للواقع المكاني. وأهم ما يميز الخريطة الورقية هو نسبة التمثيل أو مقياس الرسم الذي من خلاله يمكن من خلاله تمثيل العالم الحقيقي علي قطعة صغيرة من الورق. ومقياس الرسم بصورة مبسطة هو النسبة بين طول أو مسافة علي الخريطة و الطول أو المسافة الحقيقية المناظرة علي سطح الأرض. فالخريطة ذات مقياس الرسم ١ : ٥٠٠٠ تدل علي أن كل المعالم الحقيقية علي الأرض قد تم تصغيرها علي الخريطة إلي جزء من ٥٠٠٠ من حجمها الحقيقي. لكن يجب أن نلاحظ أن هذا التعريف غير دقيق تماما حيث أن مقياس رسم الخريطة يكون ثابتا بينما وحيث أن سطح الأرض مجسما (وليس مسطحا) فأن نسبة التصغير الحقيقية لن تكون ثابتة.

من المهم معرفة ماذا يعني مقياس رسم خريطة رقمية (وليست مطبوعة) فالبعض لا يعي مفهوم أو فكرة أن التمثيل الرقمي ليس له مقياس رسم محدد. فكلمة مقياس رسم الخريطة الرقمية تدل فقط علي مقياس رسم الخريطة الورقية التي تم الاعتماد عليها في إنشاء هذه الخريطة الرقمية. بينما إن كانت الخريطة الرقمية قد تم تطويرها بناءا علي قياسات أو أرصاد (وليس من خريطة ورقية) فأنها هنا لا تعبر عن مقياس رسم محدد، حيث أن برامج نظم المعلومات الجغرافية تستطيع طباعة هذه الخريطة بعدة مقاييس رسم.

توجد علاقة وثيقة وقوية بين محتوي الخريطة الورقية و طريقتي التمثيل الجغرافي الرقمي سواء الخطي أو الشبكي. فعلي سبيل المثال فأن هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية توزع ملفين رقميين من خرائطها الطبوغرافية، ملف منهم خطي vector بينما الآخر شبكي raster وكلاهما يمثلان وسيلتين لجمع محتويات الخريطة الورقية الأصلية. في الملف الشبكي (صيغة DRG) يتم عمل مسح ضوئي scan للخريطة الورقية بكثافة عالية جدا (بكسل صغير جدا) بحيث يكون التمثيل

الشبكي قريب جدا لأصل الخريطة. ولكل درجة لون يلتقطها جهاز الماسح الضوئي scanner يتم بناء قاعدة معلومات رقمية توضح أنواع ومسميات الظاهرات الجغرافية الموجودة علي الخريطة الأصلية. أما الملف الثاني (صيغة DLG) يتم رسم كل ظاهرات الخريطة الأصلية سواء بنقاط أو خطوط أو مضلعات. وفي قاعدة البيانات غير المكانية attribute يتم وضع عمود لبيان ما يمثله كل رمز من الرموز المستخدمة في التمثيل.



شكل (١٧-٥) نموذج للخرائط الممسوحة ضوئيا

لا يمكن النظر لقاعدة البيانات الرقمية digital database علي أنها مجرد نسخة رقمية من الخريطة المطبوعة و لا علي أنها فقط خريطة رقمية digital map، كما لا يمكن اعتبار نظم المعلومات الجغرافية علي أنها فقط مجمع يحتوي الخرائط الرقمية. فمفهوم التمثيل الجغرافي الرقمي من الممكن ان يحتوي معلومات من الصعب إظهارها علي الخرائط الورقية. فعلي سبيل المثال فالتمثيل الرقمي قد يحتوي علي التغيرات الزمنية للظاهرات المكانية، بينما الخريطة المطبوعة تكون ثابتة static لزمن محدد. أيضا فالتمثيل الجغرافي الرقمي يكون ثلاثي الأبعاد، بينما الخريطة المطبوعة بصفة عامة تكون ثنائية الأبعاد. كما يمكن للتمثيل الرقمي تمثيل سطح الأرض الحقيقي أو المنحني، بينما الخريطة هي مسقط أفقي لسطح الأرض وغالبا ما ينتج عن هذا الإسقاط بعض التشوه distortion.

١٧-٦ التعميم

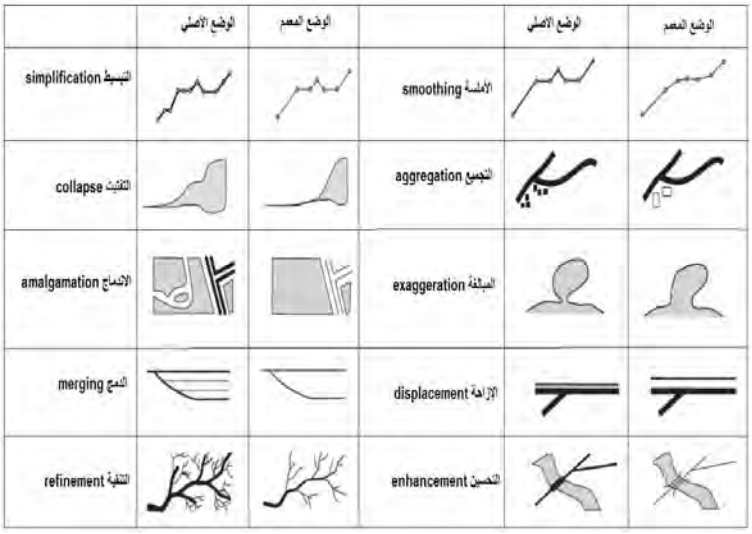
لا يمكننا تمثيل العالم الجغرافي بالغ التعقيد و بكل تفاصيله، ولذلك أبتكر الإنسان عدة وسائل لتبسيط نظرتنا للواقع الجغرافي. فمثلا بدلا من وصف كل نقطة فمن الممكن أن نكتفي بوصف منطقة والعناصر الجغرافية الرئيسية الموجودة بها. كما يمكننا أن نتعرف علي معالم "عينة" من النقاط ونفترض أن هذه العينة تمثل - لحد ما - العالم بأسره. وبناءا علي هذا المنطق فتوجد درجة من درجات التعميم generalization في كل البيانات الجغرافية أو المكانية. لكن الكارتوجرافيون (صانعي الخرائط) يتبنون وجهة نظر أخري، وتتلخص في أن لكل مقياس رسم من مقاييس الخرائط

مواصفات standards محددة تصف كيف يتم إنشاء هذه الخريطة. فالخرائط ذات مقياس الرسم ١ : ٢٥،٠٠٠ لها مواصفات قياسية تختلف عن مواصفات الخرائط ذات مقياس الرسم ١ : ١٠،٠٠٠. أي أن مواصفات الخريطة هي التي تحدد دقة تمثيل المعالم و الظاهرات التي تحتويها هذه الخريطة. فعلي سبيل المثال فأن مواصفات خريطة الغطاء النباتي من مقياس الرسم ١: ١٠،٠٠٠ تنص علي أنه لا يمكن تمثيل نوع من الغطاء النباتي إن كانت مساحته أقل من ١ هكتار. وفي هذه الحالة فسنفقد هذه المعلومات الموجودة علي الأرض والتي لن يمكن تمثيلها علي هذا النوع من الخرائط. ومن ثم فيمكننا القول أن الخريطة ذات مقياس الرسم المحدد تكون دقيقة تماما طبقا لمواصفاتها، حتى و إن كانت لا تمثل تمثيلا دقيقا بصفة عامة لكل تفاصيل سطح الأرض.

يحدد مستوي التفاصيل أحد أهم خصائص قاعدة بيانات نظم المعلومات الجغرافية GIS dataset، حيث أنه يحدد درجة التقريب بين العالم الحقيقي وقاعدة البيانات. فمن الطبيعي أن نحذف بعض التفاصيل بالنظر إلي حجم البيانات وسرعة المعالجة و حجم التخزين المتاح في أجهزة الكمبيوتر. وهناك عدة طرق للتعميم تشمل:

١. التبسيط simplification: مثل إزالة بعض النقاط الخارجية من مضلع بهدف جعل شكله أبسط.
٢. الأملسة smoothing: بتحويل الشكل المعقد إلي شكل أملس.
٣. التجميع aggregation: بتبديل مجموعة كبيرة من الأهداف أو الرموز بمجموعة أصغر عددا.
٤. الاندماج amalgamation: بتبديل مجموعة من الأهداف بهدف واحد فقط.
٥. الدمج merging: بإحلال مجموعة من الخطوط بعدد أقل من الخطوط.
٦. التفتيت collapse: بإحلال مضلع ببعض الخطوط و النقاط بدلا منه.
٧. التنقية refinement: بإحلال نمط معقد من الأهداف بنمط آخر أبسط مازال يحافظ علي الوضع العام للنمط الأصلي.
٨. المبالغة exaggeration: بتضخيم هدف معين للمحافظة علي خصائصه في حالة أن الهدف لن يظهر بوضعه الأصلي.
٩. التحسين enhancement: بتغيير الحجم أو الشكل الأصلي للرموز.
١٠. الإزاحة displacement: بتحريك الأهداف من مواقعها الحقيقية للحفاظ علي تميزها و سهولة التعرف عليها.

وهذه الطرق من طرق التعميم يمكن التعرف علي خصائصها بسهولة مبسطة من الشكل التالي.



شكل (١٧-٦) طرق التعميم

١٧-٧ طبيعة البيانات الجغرافية

يعد فهم طبيعة البيانات الجغرافية أو المكانية من أهم مبادئ عمل نظم المعلومات الجغرافية لتمثيل هذه البيانات بحيث تكون معبرة عن العالم الحقيقي. إن هناك ٧ خصائص لطبيعة البيانات الجغرافية (تناولنا منهم ٣ في الجزء السابق) وتشمل:

١. تبني نظم المعلومات الجغرافية تمثيلا لأماكن أو مواقع فريدة unique غير متماثلة،
٢. طبيعة التمثيل ذاته تكون اختيارية أو انتقائية selective وليست كاملة تماما،
٣. في بناء التمثيل نري العالم إما أهدافا منفصلة أو مجالات متصلة.

أما الخصائص الثلاثة الأخرى (سنتناولهم بالتفصيل في هذا الجزء) فتشمل:

٤. فهم تأثير التقارب proximity يعد مفتاحا رئيسيا لفهم التغيرات المكانية وبالتالي تمثيلها رقميا،
٥. يعتمد التمثيل الجغرافي الرقمي علي المقياس و مستوي التفاصيل المطلوب،
٦. القياسات التي نجريها في الواقع تكون مترابطة أو معتمدة علي بعضها co-vary ومن المهم فهم طبيعة هذا الترابط.

وهناك خاصية سابعة سنتناولها بالشرح في فصل منفصل قادم وهي:

٧. حيث أن كل تمثيل - تقريبا - يكون غير كامل incomplete فأنه بالطبع سيكون غير دقيق un-certain تماما.

٨-١٧ الارتباط المكاني

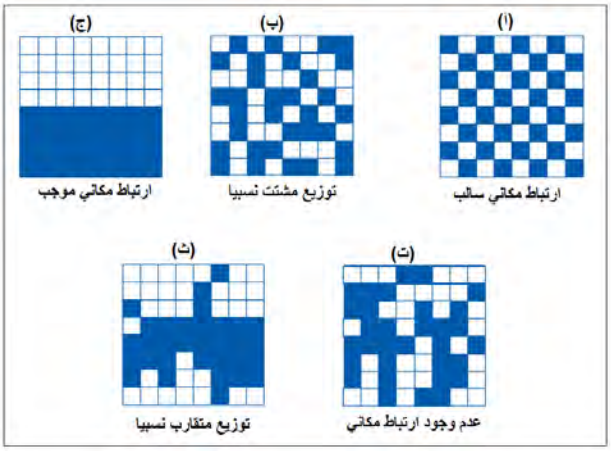
عند تحليل سلسلة زمنية time series من البيانات فان الارتباط autocorrelation بين مفردات هذه المجموعة من البيانات يكون ارتباطا أحادي البعد one-dimensional، فالتغير بين قيم البيانات يكون معتمدا فقط علي الزمن. فمثلا أسعار قطع الأراضي في مدينة ما ستتغير فقط من وقت إلي آخر (صعودا أو حتى هبوطا). ومن ثم فأن تحليل مجموعة البيانات هذه يكون مباشرا أو صريحا straightforward حيث أن التغيرات ذاتها تكون زمنية بطبيعتها. لكن البيانات الجغرافية قد تختلف زمنيا، إنما تختلف في الأساس اختلافا مكانيا، وبالتالي فأن الارتباط بينها يكون ارتباطا مكانيا spatial autocorrelation في الغالب ثنائي الأبعاد two dimensional (وقد يكون أيضا ثلاثي الأبعاد three dimensional). فمن السهولة معرفة الفروق المكانية بين منطقة حوض الأمازون و منطقة دلتا نهر النيل، وذلك بناءا علي معرفة الموقع المكاني (خطوط الطول و دوائر العرض) لكلاهما علي سطح الأرض وبالتالي معرفة تأثيرات البيئية في كل موقع. وبصفة عامة فأن التغيرات المكانية أو الجغرافية قد تكون بسيطة و ملحوظة كما في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في مجال الخدمات العامة، وقد تكون معقدة وتستغرق فترة زمنية طويلة كما في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في دراسة التصحر والتغيرات المناخية.

من أهداف التمثيل الجغرافي الرقمي أن يمدنا بقدرة تحليلية علي التنبؤ بالتغيرات المستقبلية أيضا. وبالتالي فنجن نحتاج لمعرفة كيف يمكن لعنصرين أن يترابطا مكانيا أو كيف يكون تأثير كلا منهما علي الآخر. فعلي سبيل المثال فأن المخططين يهتمون بمعرفة كيف سيؤثر إنشاء طريق عام أو خط مترو جديد داخل مدينة علي أسعار الأراضي بها. ومن هنا فأن دراسة أنماط التوزيع المكاني لعنصر أو ظاهرة مكانية سيؤثر علي عنصر مكاني آخر بناءا علي مدي الارتباط والتأثير المكاني لكلاهما.

إن بناء تمثيلا جيدا للواقع الجغرافي أو المكاني في نظم المعلومات الجغرافية يعتمد علي معرفتنا بطبيعة التغيرات المكانية، وطبيعة الارتباط المكاني بين العناصر و الظاهرات الجغرافية. فهذه العناصر هي التي تحدد لنا مستوي التفاصيل المنشود لنظام معلومات جغرافي معين، وتحدد أيضا كيفية اختيار العينات samples، وكيفية عمل التعميم generalization من هذه العينة المقاسة.

يقيس الارتباط المكاني درجة التماثل بين كلا من البيانات المكانية (المواقع) والبيانات غير المكانية attributes بين مجموعة من الأهداف. فان كان هناك تماثل بين المواقع و العناصر غير المكانية فيكون هناك نموذج لارتباط مكاني موجب positive spatial autocorrelation بين هذه الأهداف. أما في حالة وجود التماثل بين المواقع فقط (أهداف قريبة من بعضها مكانيا) ووجود اختلاف بين العناصر غير المكانية للأهداف فهذا نموذج الارتباط المكاني السلبي negative spatial autocorrelation. أما الارتباط المكاني الصفري zero spatial autocorrelation فيحدث عندما تكون العناصر غير المكانية لا تعتمد علي الموقع. ونري في الشكل التالي عدة نماذج أو أنماط للارتباط المكاني لشكل مكون من ٦٤ أو بكسل خليه حيث كل خليه قد تأخذ أحد احتمالين فقط (أبيض أو أزرق في الشكل). ففي الشكل (أ) نري حالة الارتباط المكاني السلبي بين الخلايا المتجاورة، بينما الشكل (ج) يوضح حالة الارتباط المكاني الموجب حيث نري كلا نوعي الخلايا ظاهرين بتماثل و تناغم منتظم. والأشكال الثلاثة الأخرى توضح أنماطا

متوسطة من الارتباط المكاني ما بين الارتباط الموجب و الارتباط السالب، فالشكل (ت) يوضح عدم وجود ارتباط مكاني أو بمعني آخر وجود استقلال مكاني spatial independence بينما الشكل (ب) يمثل حالة التوزيع المشتت dispersed نسبيا والشكل (ث) يوضح حالة التوزيع المتقارب clustered نسبيا.



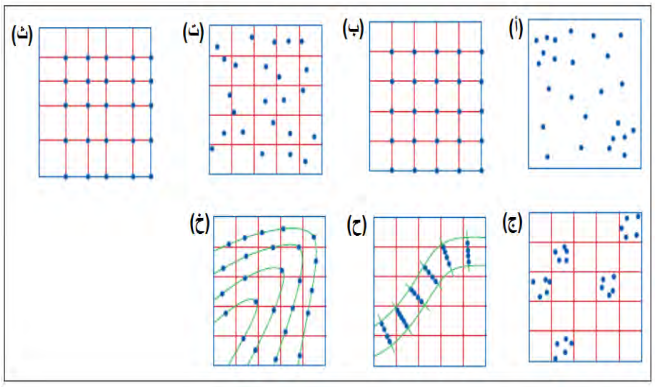
شكل (١٧-٧) أنماط الارتباط المكاني

١٧-٩ اختيار العينة المكانية

من الصعب تمثيل العالم الحقيقية بكافة تفاصيله و مفرداته، ولذلك فنحن نقوم باختصار أو تلخيص الواقع من خلال "عينة sample" مختارة يمكنها أن تمثل طبيعة البيانات الجغرافية. ويمكن أن يكون إطار العينة محددا بعنصر واحد تسعي لدراسته أو محددا بحدود منطقة مكانية. فيمكننا أن نري عملية اختيار العينة sampling كأنها عملية اختيار مجموعة من النقاط من مجال متصل، أو عملية اختيار بعض الأهداف وإهمال البعض الآخر. بل أن عملية التمثيل الجغرافي برمتها ما هي إلا عملية اختيار للعينات بأسلوب علمي لكي يمكن تمثيل العالم الحقيقي. وإذا نظرنا بتمعن إلي عملية الاستشعار عن بعد فهي في حقيقتها عملية اختيار عينة، فكل خليه في المرئية الفضائية تحمل قيم الانعكاس "المتوسط" للأهداف الموجودة بالفعل داخل الخلية أو البكسل.

يؤكد علم الإحصاء (وخاصة التقليدي) علي أهمية مبدأ "العشوائية randomness" في تصميم أساليب أخذ العينات، ويمثل الشكل التالي (أ) الاختيار العشوائي للعينات. لكن هذا المبدأ قد لا يكون فعالا وقد يعطي اختيارا مركزا للعينات في منطقة دون منطقة أخري، وخاصة في حالة كون حجم العينة قليل مقارنة بحجم المجتمع التي تؤخذ منه هذه العينة. وهنا فأن أسلوب العينة المنتظمة systematic (الشكل ب) قد يحل هذه المشكلة باختيار نقطة عينة كل فترة مكانية interval محددة. إلا أن هذا الأسلوب أيضا قد يواجه مشكلة في بعض الحالات، فكمثال في حالة أخذ عينة كل ١ كيلومتر في مدينة بغرض دراسة دخل السكان، فمن الممكن أن يكون معظم المنازل المختارة من فئة محدودي الدخل مما يجعل العينة غير معبرة عن الحالة الاقتصادية لكل سكان المدينة. وهذا يجعلنا نلجأ لطرق أخري تجمع بين كلا أسلوبي العشوائية و الانتظام، ففي الشكل ت يمكن اختيار نقطة العينة عشوائيا داخل كل خليه من خلايا، بينما في الشكل ث يمكن تغيير حجم الخلية أو البكسل

ثم إتباع الطريقة المنتظمة. وأحيانا نلجأ لحصر قياساتنا الميدانية بطريقة معينة (شكل ج) خاصة في حالة كون المنطقة المكانية كبيرة مما يجعل التكلفة الاقتصادية لجمع العينات عالية. فمثلا يمكن جمع عينات عن الآراء السياسية و الانتخابية للسكان عند مراكز التسوق بدلا من مسح كامل المدينة. وتصلح هذه الطرق من طرق اختيار العينات في حالة عدم معرفتنا بالتركيب المكاني spatial structure للظاهرة المراد تمثيلها، أو في حالة أن الظاهرة تمتد في جميع الاتجاهات الجغرافية. إلا أن بعض الحالات و بعض الظاهرات المكانية يكون لها تركيب مكاني معلوم مسبقا، وبالتالي فنحن في حاجة لابتكار طرق أخذ العينات طبقا لتطبيقات محددة. فعلي سبيل المثال يمكن أخذ العينات علي مسار محدد profile لتمثيل تغير التربة في هذا الاتجاه المحدد سلفا (شكل ح)، أو أخذ العينات علي خطوط الكنتور (شكل خ).



شكل (١٧-٨) طرق اختيار العينة

وتجدر الإشارة إلي أن حجم العينة قد يكون كبيرا في حالة أن الظاهرة المكانية قيد الدراسة تكون موزعة بصورة غير متجانسة مكانيا علي منطقة جغرافية كبيرة. وفي مثل هذه الحالات من الأفضل أن يتم تقسيم هذه المنطقة إلي مناطق أصغر، واختيار أسلوب مناسب لأخذ العينة في كل منطقة بناءا علي معلوماتنا المسبقة عن الظاهرة وتغيراتها المكانية. بمعني أن فترة العينة interval قد تتغير من جزء إلي آخر من منطقة الدراسة. ونخلص بذلك إلي أن اختيار العينة من أهم خصائص بناء نظام جغرافي فعال لدراسة ظاهرة (أو ظاهرات) مكانية معينة لكي يكون النظام معبرا بكفاءة عن العالم الحقيقي. أيضا يجب الأخذ في الاعتبار عدة عوامل أخري عند اختيار العينات ومنها علي سبيل المثال توافر المواد اللازمة لأخذ العينة (والقياسات إن وجدت) وأيضا تكلفة أخذ العينة و سهولة الوصول إلي كافة أرجاء منطقة الدراسة.

١٧-١٠ تأثير البُعد أو مسافة التأثير

يعتمد التمثيل الاختياري (من خلال العينة) علي معرفة تأثير الظاهرة قيد الدراسة ما بين كل نقطتين من نقاط أخذ العينة ذاتها، وهذا أحد خصائص البيانات الجغرافية. وهنا فنحن بحاجة لعملية استنباط interpolation وأيضا عملية وزن weight للقياسات المتجاورة. تعتمد نظرية المجالات المتصلة علي أن المجال يتغير بصورة بسيطة كلما تحركنا من نقطة لأخرى. فعلي سبيل المثال فأن

تأثير التلوث الكيمائي سيقل أو ينخفض بصورة مطردة كلما بعدنا عن مصدر التلوث ذاته، وأيضا سينخفض التلوث الضوضائي الصادر من الطائرات بصورة خطية كلما ابتعدنا عن مدرج المطار.

إن طبيعة البيانات الجغرافية تختلف من نوع إلي آخر، وبالتالي فهناك عدة طرق لتقدير تأثير الُبعد أو المسافة التي يضمحل عندها التأثير distance decay لكل ظاهرة جغرافية أو في كل تطبيق من تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية. ويقدم الشكل التالي عدة أنواع افتراضية في صور رياضية، حيث الرمز b يمثل العنصر الذي يؤثر علي معدل تغير وزن w (أو أهمية) للظاهرة. فكلما زادت قيمة b دل ذلك علي أن التأثير أو التغير يكون سريعا، والعكس صحيح. وفي معظم التطبيقات فأن اختيار معادلة التأثير يعتمد علي الخبرة المسبقة للظاهرة قيد الدراسة. وتعد معادلة مسافة الخط المستقيم linear distance أبسط الصور الرياضية لتقدير مسافة اضمحلال التأثير كالتالي:

$$w = a - b\,d \qquad (17\text{-}1)$$

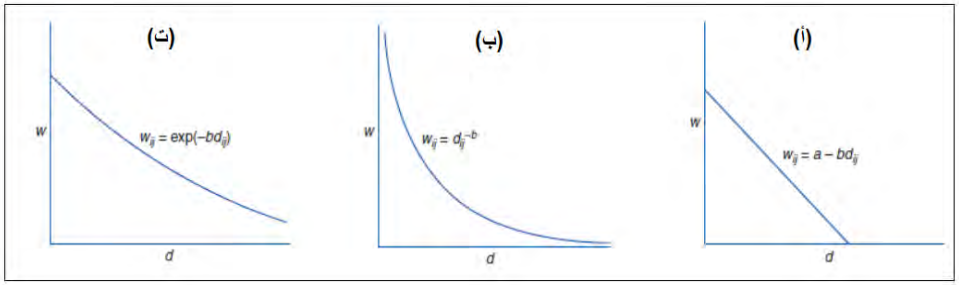
وتستخدم هذه المعادلة مثلا في تقدير مسافة اضمحلال (أو تلاشي) تأثير الضوضاء الصادرة من مدرج طائرات في مطار معين.

أما معادلة مسافة الأس السالب negative power distance (شكل ب) فقد تم استخدامها في تقدير تغير الكثافة السكانية اعتمادا علي المسافة من مناطق الإحصاء ذاتها، وتأخذ الصورة الرياضية:

$$w = d^{-b} \qquad (17\text{-}2)$$

كما استخدمت معادلة مسافة التوافق الأسى السالب negative exponential statistical fit في دراسات الجغرافيا البشرية خاصة في حساب تأثير تفضيل مركز تجاري بناءا علي مسافة العد منه، وتأخذ الصورة الرياضية:

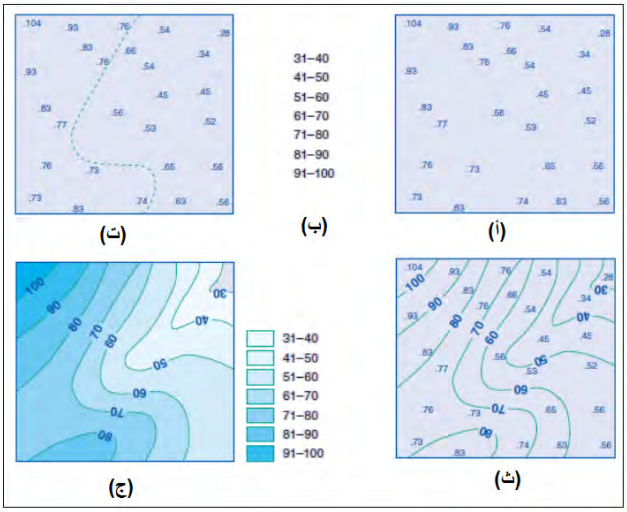
$$w = e^{-b\,d} \qquad (17\text{-}3)$$



شكل (١٧-٩) بعض طرق حساب مسافة التأثير

هذه الطرق (أو المعادلات) لتقدير مسافة اضمحلال التأثير طرق مثالية تفترض أن تأثير الظاهرة يتغير بانتظام في جميع الاتجاهات، وهذا قد يكون صحيحا في كثير من التطبيقات. فمثلا يعتمد

الكارتوجرافيون علي هذا المبدأ في استنباط خرائط خطوط التساوي سواء الخطية isoline أو المساحية isopleths. فكما يوضح شكل التالي (بصورة مبسطة) فأن خطوات إنشاء خرائط التساوي تبدأ بتوقيع أماكن نقاط العينة مع تحديد العنصر غير المكاني attribute عند كل نقطة (أ) ثم تحديد فترات الاستنباط المطلوبة (ب) ثم استنباط قيم العناصر غير المكانية للفئات المحددة (ت)، ثم توقيع حدود كل فئة علي الخريطة (ث)، وأخيرا استخدام الألوان لبيان النمط العام للتغير الحادث (ج). لكن وعلي الجانب الآخر فهناك عدة تطبيقات لا يكون فيها تغير الظاهرة منتظما، حيث يوجد تغير مفاجئ abrupt في مواقع محددة. فعلي سبيل المثال فأن التضاريس و الجيولوجيا تتغير بصورة مفاجئة (وليست منتظمة) عند الجرف و الصدع علي التوالي. وكمثال آخر فأن مبيعات متجر معين لا تعتمد فقط علي المسافة من موقع المتجر، إنما علي عدد آخر من العوامل مثل شبكة المواصلات والطرق لهذا الموقع، وأيضا العوامل الاقتصادية-الاجتماعية لرواد المتجر، والعروض الشرائية المقدمة من هذا المتجر مقارنة بالمتاجر القريبة الأخرى.

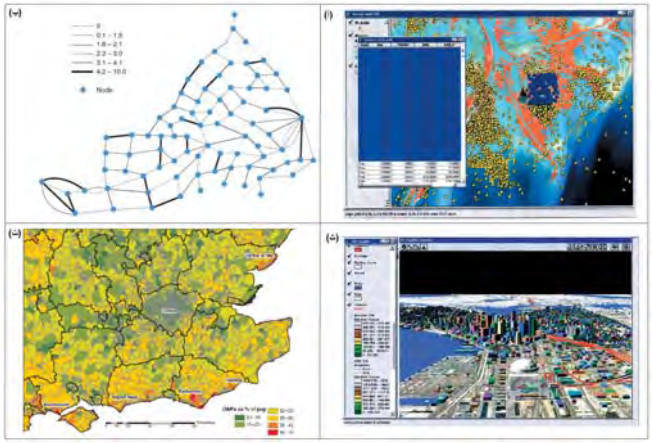


شكل (١٧-١٠) خطوات إنشاء خرائط خطوط التساوي

١٧-١١ قياس تأثير المسافة كارتباط مكاني

إن فهم طبيعة البيانات الجغرافية يساعدنا في اختيار طريقة جيدة لاختيار العينات واستنباط القيم بين نقاطها المقاسة بهدف بناء تمثيل جيد للعالم الحقيقي. لكن في الكثير من التطبيقات لا يكون لدينا فهم جيد للتغيرات المكانية و طبيعتها و الارتباط المكاني بينها البعض، ولذلك فأن تحليل الارتباط المكاني يعد هاما للغاية كأحد التحليلات المكانية للبيانات الجغرافية. وكما سبق الذكر فأن طرق قياس الارتباط المكاني تعتمد علي نوعية الظاهرة ذاتها إن كانت أهدافا منفصلة أو مجالات متصلة. ففي حالة كون الظاهرة مجالا متصلا فان الارتباط المكاني يقيس مدي نعومتها بناءا علي قيم نقاط العينة، بينما في حالة الظاهرات ذات الأهداف المنفصلة فأن الارتباط المكاني يقيس تتوزع قيم البيانات غير المكانية attribute في الأهداف بالتمييز بين حالات التركز و التباعد و العشوائية. والشكل ٤-٥ يوضح هذه الحالات الأربعة، ففي الشكل (أ) نري أهداف من نوع النقاط تمثل آبار المياه (بيانات نقطية point data) في منطقة مساحتها ٣٠ كيلومتر مربع، مع معرفة قيم عمق

المياه الجوفية عند كل نقطة، ومن الشكل نستخلص وجود ارتباط مكاني قوي. أما الشكل (ب) فيمثل عدد حوادث المرور علي الطرق (بيانات خطية line data) في جنوب مدينة أونتاريو الكندية. ويدل الارتباط المكاني الضعيف علي وجود عوامل محلية (مثل سوء حالة الطرق عند التقاطعات) هي التي تؤثر علي هذه الإحصاءات. أما الشكل (ت) فيمثل نمط الحالة الاقتصادية-الاجتماعية (بيانات مساحية area data) في جنوب شرق انجلترا ويجيب علي السؤال إن كان هناك عاملا مشتركا -علي المستوي الإقليمي- في التركيب الأسري. بينما يمثل الشكل (ث) فيمثل ارتفاعات المباني (بيانات حجميه volume data) في قلب مدينة سياتل الأمريكية.



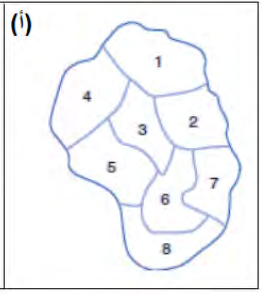
شكل (١٧-١١) أمثلة لتطبيقات دراسة الارتباط المكاني

مع أن طرق قياس أو حساب الارتباط المكاني سيتم تناولها بالتفصيل في فصل قادم، إلا أننا سنحاول أن نلقي الضوء وبصورة مبسطة علي كيفية حساب التماثل بين المناطق المتجاورة. لنأخذ مثالا لعدد من المساحات المتجاورة كما في الشكل التالي (أ). هنا نبدأ بتكوين مصفوفة matrix سنطلق عليها اسم مصفوفة الوزن w حيث سيقيس كل عنصر فيها "تماثل الموقع" بين كل نطاق. وتكون قيمة العنصر في مصفوفة الوزن w_{ij} (حيث i يشير للصف و j يشير للعمود) اما القيمة ١ في حالة التجاور أو القيمة صفر في حالة عدم التجاور. فمثلا النطاق ١ (في الشكل أ) متجاور مع كلا من النطاقات ٢، ٣، ٤ ومن ثم فأن قيمة عناصر مصفوفة الوزن عند الصف الأول (المقابل للنطاق ١) ستكون ١ عند الأعمدة ٢، ٣، ٤ بينما ستكون صفر عند باقي الأعمدة (الشكل ب).

(ب)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	1	1	0	0	0	0
2	1	0	1	0	0	1	1	0
3	1	1	0	1	1	1	0	0
4	1	0	1	0	1	0	0	0
5	0	0	1	1	0	1	0	1
6	0	1	1	0	1	0	1	1
7	0	1	0	0	0	1	0	1
8	0	0	0	0	1	1	1	0

(أ)



شكل (١٧-١٢) مثال لموزايك من النطاقات

وبهذه الطريقة المبسطة فأن مصفوفة الوزن ستمثل مدي التماثل في الموقع (التجاور) بين نطاقات منطقة ممثلة كهدف متصل. وفي الخطوة التالية سنقوم - وبنفس الطريقة - بتكوين مصفوفة ثانية تمثل مدي التشابه بين العناصر غير المكانية attribute لهذه النطاقات أو المساحات، ولنسميها c_{ij}. وبضرب كلا المصفوفتين (أي بضرب كل صف من المصفوفة الأولي في العمود المقابل له في المصفوفة الثانية وجمع قيم حاصل الضرب معا) ينتج لنا معيار للارتباط المكاني:

$$\sum_i \sum_j c_{ij} w_{ij} \qquad (17\text{-}4)$$

وهناك عدة طرق رياضية أكثر تفصيلا لحساب و قياس الارتباط المكاني مثل معامل موران Moran Index علي سبيل المثال.

١٧-١٢ التبعية بين الظاهرات المكانية

يعطينا الارتباط المكاني فكرة جيدة عن العلاقة الداخلية بين مفردات ظاهرة واحدة في الفراغ، لكن هناك عنصر آخر مهم أيضا من خصائص البيانات الجغرافية ألا وهو التبعية dependence أو الاعتماد بين عدة ظاهرات في نفس الموقع المكاني.

في علم الإحصاء فأن تخليل الانحدار regression يقيس مدي اعتماد عنصر (ولنسميه العنصر التابع dependent) علي عنصر آخر (ولنسميه العنصر المستقل independent).وكمثال فأن سعر قطعة أرض في مدينة تعتمد عي عدد من العوامل مثل مساحة الأرض وبعدها عن الخدمات مثل المدارس و مجمعات التسوق و محطات المواصلات ...الخ. وبصورة رياضية فأن:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \ldots\ldots X_k) \qquad (17\text{-}5)$$

حيث: Y هو العنصر التابع، والعناصر $X_1, X_2, X_3, \ldots\ldots X_k$ (من ١ إلي k) هي العناصر المستقلة، بينما *f* تمثل الدالة الرياضية التي تربط بينهم. لكن هناك نقطتين هامتين يجب أخذهما في الاعتبار هنا وهما : (١) أننا قد لا نستطيع معرفة جميع العناصر المستقلة التي قد تؤثر علي العنصر التابع نفسه، (٢) أن قياساتنا لن تكون دقيقة بالكامل. ولذلك فغالبا ما نضيف عنصر جديد الي المعادلة السابقة لتصبح:

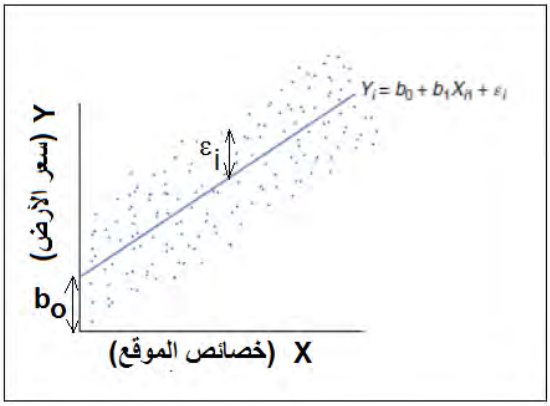
$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \ldots\ldots X_k) + \varepsilon \qquad (17\text{-}6)$$

حيث ε يمثل الخطأ.

فإذا اعتبرنا حالة الخط المستقيم كدالة تمثل العلاقة بين العنصر التابع و العناصر المستقلة:

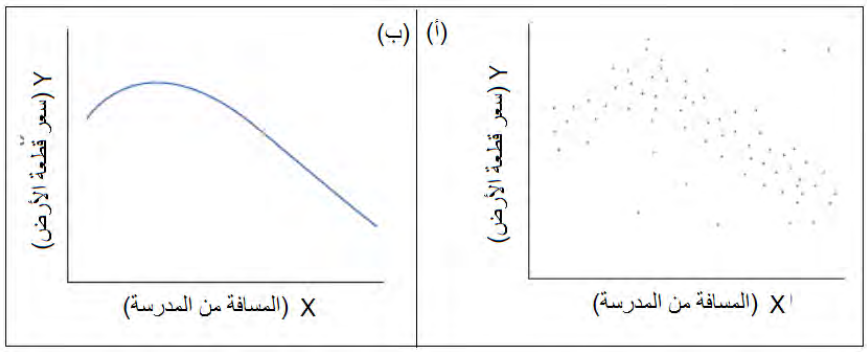
$$Y = b_o + b_1 X_1 + b_2 X_2, + b_3 X_3, \ldots\ldots + b_k X_k + \varepsilon \qquad (17\text{-}7)$$

ويكون هدف تحليل الانحدار هو حساب قيم المتغيرات b_k ..... b_1, b_2, b_3 وهي التي نسميها عناصر الانحدار regression parameters ، حيث b_o يسمي العنصر الثابت أو العنصر القاطع intercept (الشكل ٤-٧). وفي هذا المثال فأن الاتجاه العام الصاعد يدل علي أنه كلما زادت خصائص الموقع كلما أرتفع سعر قطعة الأرض.



شكل (١٧-١٣) الانحدار الخطي

في بعض الحالات إذا حاولنا دراسة تأثير عنصر واحد فقط من العناصر المستقلة (وليكن مثلا المسافة من المدرسة في المثال الحالي) علي العنصر التابع (سعر قطعة الأرض) فقد نجد العلاقة بينهما ضعيفة وليست علاقة الخط المستقيم التصاعدي كما في الحالة السابقة. فبالنظر للشكل التالي (أ) نجد النقاط التي تمثل القياسات تأخذ شكلا مبعثرا وليس متقاربا، وهنا لا يمكننا تحديد العلاقة المباشرة بين العنصر التابع و العنصر المستقل. وتجدر الإشارة لوجود عدد من الاختبارات (أو المعاملات) الإحصائية التي تقدم لنا حكما علي جودة وكفاءة معادلة الانحدار التي نحصل عليها (مثل المعامل المسمي R^2). أيضا هناك بعض الحالات أو الظاهرات التي ترتبط فيما بينهم بنوع آخر من الدوال الرياضية بخلاف معادلة الخط المستقيم. ففي الشكل (ب) نري أن العلاقة بين سعر قطعة الأرض والبعد عن المدرسة ليست خطا مستقيما صاعدا، إنما هي علاقة غير مستقيمة وهابطة. بمعني أن كلما زادت المسافة من المدرسة كلما أنخفض سعر قطعة الأرض.

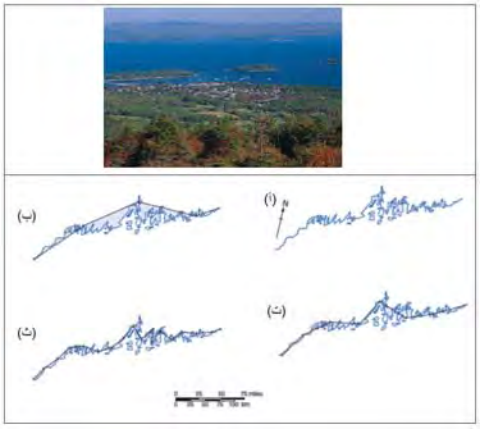


شكل (١٧-١٤) الانحدار غير الخطي

١٧-١٢ التغيرات الفجائية في البيانات الجغرافية

توجد الكثير من الظاهرات التي لا تكون مجالا متصلا بصورة ملساء smooth بل يوجد بها التغيرات المفاجئة الحادة. فعلي سبيل المثال فأن تضاريس منطقة جبلية تتغير بصورة حادة مما يجعل من غير المناسب أن نعتمد علي الاستنباط أو الانحدار لتمثيل العلاقة بين قيعان الأودية و قمم الجبال في هذه المناطق. أيضا قد نجد في المدن تغيرات مفاجئة في نمط العمران في جزء من المدينة (ناطحات سحاب و أبراج عالية) مما يجعل تمثيل الكثافة السكانية للمدينة يقفز بشدة في بعض المواقع الجغرافية. وفي مثل هذه الحالات فأن الطرق الرياضية التقليدية لن تكون مناسبة لتعميم هذه الظاهرات.

سنتعرض لمثال بسيط يوضح هذه المشكلة في التمثيل الجغرافي، فالشكل التالي (أ) يمثل تعرجات خط الشاطئ في جزء من مدينة ماين الفرنسية، والسؤال الآن هو كم يبلغ طول هذا الشاطئ؟ لنبدأ في الشكل (ب) بقياس المسافة بفترة تبلغ ١٠٠ كيلومتر، وسنجد أن عدد القياسات (أو الأرصاد) تبلغ ٣.٤ فترة، مما يجعل طول الشاطئ يبلغ ٣٤٠ كيلومتر. الآن سنغير فترة قياس المسافة لتصبح ٥٠ كيلومتر (الشكل ت)، وسنجد أن عدد القياسات سيكون تقريبا ٧.١ مما يجعل طول الشاطئ يساوي ٣٥٥ كيلومتر. أما إذا جعلنا فترة القياس كل ٢٥ كيلومتر (الشكل ث) فأن عدد القياسات سيكون تقريبا ١٦.٦ وبالتالي سيكون طول الشاطئ ٤١٥ كيلومتر. وهكذا كلما قللنا فترة القياس حصلنا علي تفاصيل أكثر و من ثم نتج لدينا طول جديد للشاطئ. ومهما قمنا بتقليل فترة القياس لن تتفق النتائج مع بعضها البعض، حتى وان بلغت فترة القياس السنتيمتر الواحد! فنتيجة القياس هنا ستعتمد علي مستوي التفاصيل المنشود. وهنا نقول أن التعقيد في خط الشاطئ وتعرجاته الشديدة لا يمكن تمثيله بدقة بخط مستقيم (أحادي البعد) وأيضا - وفي نفس الوقت - لا يمكن تمثيله بمساحة (ثنائية الأبعاد). بل يمكننا القول أن هذه الظاهرة لها "بعد كسري fractional dimension" ما بين ١ (الخط) و ٢ (المساحة). وهذه النظرية المسماة "الهندسة الكسرية fractional geometry" تم ابتكارها علي يد الجغرافي لويس ريتشارد سون Lewis Richardson في الأربعينات من القرن العشرين الميلادي، كطريقة جديدة لتلخيص و تمثيل مثل هذه الظاهرات الجغرافية. وسنتعرض لاحقا لتطبيق هذه النظرية في قياسات أطوال الخطوط باستخدام نظم المعلومات الجغرافية.



شكل (١٧-١٥) مثال لتغير التمثيل بتغير مستوي التفاصيل

وفي نهاية هذا الجزء يجب التأكيد علي أن أحد أهداف نظم المعلومات الجغرافية يتمثل في إنشاء علاقة بين البيانات الجغرافية والنظريات العلمية سواء الجغرافية أو الرياضية أو الإحصائية بهدف الوصول إلي تمثيل جيد للواقع الحقيقي. أي أن نظم المعلومات الجغرافية تعتمد علي "الاستقراء induction" أو التفكير في القياسات والأرصاد جنبا إلي جنب مع "الاستنباط deduction" أو التفكير في النظريات و المبادئ العلمية، ولا يمكن فصل أحدهما عن الآخر لتطوير التمثيل الجغرافي الجيد.

١٧-١٣ دقة و جودة تمثيل العالم الحقيقي

يأتي عدم اليقين uncertainty (أو عدم الدقة التامة) في التمثيل الجغرافي من الحقيقة التي أوردناها سابقا وهي أن أي تمثيل يكون غير كامل incomplete، ومن ثم أي نظام معلومات جغرافي قد يتعرض لأخطاء في القياس أو عدم الحداثة أو التعميم الشديد. ومن ثم فقد ظهر مصطلح "عدم اليقين " ليعبر عن تفاعل عدة عوامل مؤثرة علي البيانات الجغرافية مثل الخطأ errors وعدم الدقة inaccuracy و الالتباس ambiguity و الغموض vagueness. ويمكن تعريف عدم اليقين علي أنه مقياس لعدم فهم المستخدم للفروق بين العالم الحقيقي وقاعدة البيانات الجغرافية، أو بين الظاهرة الحقيقية و البيانات الممثلة لها. وبالتالي فأن مصطلح عدم اليقين يتم استخدامه في علم نظم المعلومات الجغرافية ليعبر عن كل العوامل التي تصف عدم كمال التمثيل الجغرافي الرقمي، أو يتم استخدامه ليعبر عن مؤشر للدقة العامة في نظام المعلومات الجغرافي.
من الممكن تخيل أن عدم اليقين في نظم المعلومات الجغرافية يتكون من ثلاثة مرشحات أو مصافي وهي الإدراك و القياس و التحليل، وكلا منهم يؤثر أو يشوه بطريقة أو بآخري مستوي تعقيد العالم الحقيقي والطريقة التي يمكن أن نراه بعد تمثيله

شكل (١٧-١٦) مفهوم عدم اليقين في نظم المعلومات الجغرافية

١٧-١٤ عدم اليقين في إدراك الظاهرات المكانية

تختلف البيانات الجغرافية عن أي نوع آخر من البيانات بطريقة كبيرة كما رأينا حتى الآن في الفصول السابقة. فبعض الظاهرات الجغرافية لها امتداد مكاني extend من الصعب تحديده بدقة، فمقلا ما هو الامتداد المكاني لتأثيرات البطالة؟ أو ما هو الامتداد المكاني لتجمع عدد من حالات

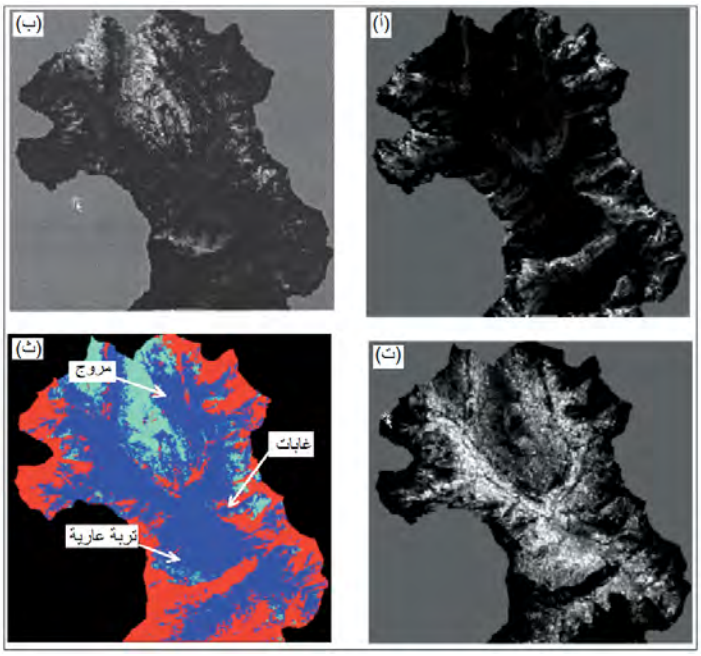
الإصابة بمرض ما؟. أيضا توجد بعض الظاهرات التي من الصعب تحديد آثارها بدقة، فمثلا كيف يمكن تحديد جميع الآثار البيئية لتسرب الزيت من ناقلة نفط؟ أو كيف يمكن دراسة العلاقة بين المؤهلات البشرية للأفراد ومعدل البطالة؟. وبالتالي فهناك عدة حالات لا يمكننا فيها تحديد وحدات طبيعية natural units لاستخدامها في التحليل الجغرافي أو المكاني.

يأتي أول عناصر عدم اليقين في الإدراك (وهو الغموض vagueness) من عدم قدرتنا علي تحديد امتداد عنصر مكاني بدقة.فعلي سبيل المثال ففي الصور الجوية aerial photographs لا يمكننا التفرقة التامة بين العناصر المكانية الممثلة علي الصورة. في مثل هذه الحالة فنحن نقوم بخطوتين قد يحتملان عدم اليقين في كلا منهما: (١) تعيين حدود مكانية للظاهرة، (٢) إعطاء الظاهرة قيمة البيانات غير المكانية attribute. وبالتأكيد فأن عدم اليقين في هاتين الخطوتين سيؤثر علي التحليل الإحصائي للبيانات وأيضا علي طريقة التمثيل الرقمي لهذه الظاهرات.

في بعض الحالات يوجد التباس ambiguity في تعريف بعض البيانات غير المكانية للظاهرات الجغرافية حيث تختلف التعريفات اللغوية الشائعة لنفس المصطلح من منطقة إلي أخري. فعلي سبيل المثال فأن كلمة "سمسار أراضي" في أمريكا هي realtor بينما هي في انجلترا estate-agent. وأيضا فأن أسماء المواقع المكانية أو المدن قد تتغير مع مرور الزمن، مما قد يسبب مشكلة في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية التاريخية historical GIS. وقد يحدث الالتباس أيضا من المؤشرات التي قد نستخدمها للدلالة علي تأثير ظاهرة جغرافية معينة، فالمؤشرات indicators قد تكون مباشرة أو غير مباشرة. فعلي سبيل المثال فأن قيمة دخل الأسرة هو مؤشر مباشر علي مستوي الإنفاق ومن ثم مستوي الخدمات في بقعة معينة، بينما يمكن استخدام "معدل امتلاك أكثر من سيارة" كمؤشر غير مباشر في حالة عدم الوصول لقيم الدخل في حد ذاتها. وبناءا علي كيفية فهمنا و تقييمنا لهذه المعدلات فقد يحدث الالتباس ومن ثم عدم اليقين. أما في الظاهرات الطبيعية فقد يحدث الالتباس أيضا من اختلاف تعريف أنواع نفس الظاهرات المكانية. فعلي سبيل المثال فهناك ستة جهات حكومية في أمريكا تنتج خرائط استخدامات الأراضي، ولكل جهة منهم تصنيف مختلف لأنواع وأقسام الأراضي الرطبة wetland ومن ثم فقد يحدث التباس عند استخدام خرائط من أكثر من جهة من هذه الجهات في إنشاء نظم معلومات جغرافية.

تتمثل أحد طرق التغلب علي مشاكل عدم اليقين في ما يعرف باسم "التفسير المرجح". فعلي سبيل المثال فأن تحديد نوع المحصول في أحد الحقول الظاهرة علي مرئية فضائية قد يحتمل نوعين من المحاصيل، لكننا سنعتمد علي اختيار التحديد الأكثر احتمالا. فعندما نقول أن هذا الحقل قد يكون حقل قمح بنسبة ٨٠% وقد يكون حقل شعير بنسبة ٢٠%، فالاحتمال الأكثر قبولا هو القمح. وبهذا الأسلوب فنحن نتجه لاستخدام معني جديد وهو ما يسمي المنطق الضبابي fuzzy logic خلافا للأسلوب التقليدي المعروف باسم المنطق الثابت أو المحدد. ففي المنطق الضبابي نتخيل أن لدينا مقياس لعدم اليقين يتراوح بين الصفر و الواحد، فكلما كنا متيقنين تماما كان هذا المقياس يقترب من ١ (مثلا ٠.٩٩) وكلما زاد عد اليقين أو الشك كلما أقترب المقياس من الصفر. وبمعني آخر فأن المنطق الضبابي يدل علي وجود "درجة نسبية" لمدي انتماء عنصر لمجموعة محددة. ومن أهم مميزات أسلوب المنطق الضبابي أنه يتيح لنا التعامل مع مجموعات البيانات التي لا يمكن بدقة تحديدها أو الفصل بين حدودها. وهناك العديد من تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية التي تستفيد من المنطق الضبابي مثل استخدامات الأراضي، أنواع التربة، أنواع غطاءات الأرض، أنواع

النباتات .. الخ. ويقدم الشكل التالي مثالا لتطبيق المنطق الضبابي في تصنيف المجموعات، وقد تم التطبيق علي مرئية فضائية مع الأخذ في الاعتبار آراء خبراء تفسير المرئيات كمدخلات input للعملية. ففي الشكل (أ) تم عمل مجموعات المنطق الضبابي للتربة العارية، حيث نجد القيم الكبيرة للمقياس (الداكنة في الشكل) في المناطق المفصلية حيث تمنع التجمعات الجليدية من ظهور النباتات. وفي الشكل (ب) تم عمل مجموعات الغابات حيث تظهر القيم الكبيرة للمقياس في مناطق الميول البسيطة والمتوسطة حيث تكون التربة ثابتة و جيدة التصريف. أما الشكل (ت) فيوضح مجموعات المروج حيث القيم العالية للمقياس في الميول الناعمة عند المناسيب العالية حيث المياه الزائدة ودرجات الحرارة المنخفضة التي تمنع نمو الأشجار. وفي الشكل (ث) تم استنباط خريطة التوزيع المكاني بناءا علي الأشكال الثلاثة السابقة.

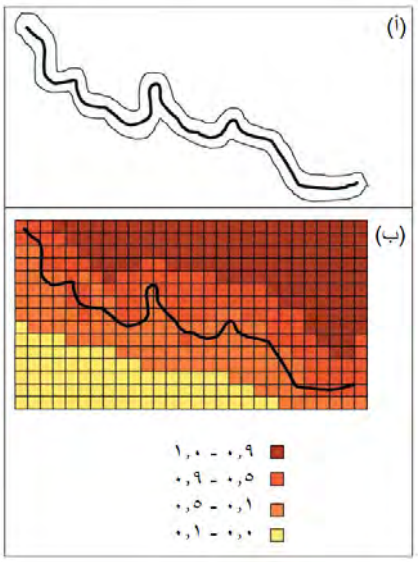


شكل (١٧-١٧) مثال لتطبيق المنطق الضبابي

١٧-١٥ عدم اليقين في قياس و تمثيل الظاهرات المكانية

يتمثل المرشح الثاني الذي يؤثر علي الفرق بين العالم الحقيقي والتمثيل الجغرافي في عدم اليقين الذي من الممكن حدوثه في عمليات القياس و التمثيل لظاهرات الواقع الحقيقي. ويظهر هذا التأثير في كلا طريقتي التمثيل سواء طريقة البيانات الخطية vector أو طريقة البيانات الشبكية raster. ففي البيانات الخطية (تمثيل الأهداف المنفصلة) فيوجد عدم يقين في كيفية استخراج الظاهرات الحقيقية. يوضح هذا الشكل التالي حيث نري خط الشاطئ ممثلا علي خريطة بمقياس رسم ١: ٢،٠٠٠،٠٠٠. وبالطبع فأن مقياس رسم هذه الخريطة يمثل تعميما كبيرا للظاهرة الجغرافية، حيث يكون خط الشاطئ ممثلا بمجموعة من الخطوط المستقيمة بحيث لا يمكن استخراج الواقع الحقيقي لخط الشاطئ خاصة في مناطق التعرجات الشديدة. وفي مثل هذه الحالة من الممكن أن نغير طريقة التمثيل من الخط إلي المساحة، بحيث يمكننا رسم مساحة قد تحتوي خط الشاطئ الحقيقي (الشكل أ).

أيضا من الممكن أن نغير طريقة التمثيل ذاتها من التمثيل الخطي إلي التمثيل الشبكي باستخدام طريقة المنطق الضبابي حيث يكون المقياس معبرا عن احتمالية أن تكون الخلية pixel عبارة عن أرض (الشكل ب).



شكل (١٧-١٨) مثال لعدم اليقين في تمثيل الظاهرات المكانية

بالمثل فهناك درجة من عدم اليقين في البيانات الشبكية raster أيضا، فالحدود بين المجموعات المختلفة ليست حدودا قاطعة. فعلي سبيل المثال في مرئيات الاستشعار عن بعد لا يمكن بدقة عالية تحديد نوع الخلية (البكسل) التي تقع بين مجموعتين مختلفتين من مجموعات استخدام الأراضي. وهذا - أحيانا - يدعونا لاستخدام مصطلح mixel (وليس pixel) أي خلية متعددة، وهي الخلية التي قد يوجد بها نوعين من مكونات المجموعة. وبالطبع فأن عدد هذه الخلايا المشتركة سوف يتناقص كلما زادت قدرة التوضيح المكاني resolution للمرئية الفضائية ذاتها. لكن تجدر الإشارة إلي أنه مهما زادت قدرة التوضيح المكاني فسيوجد عددا -مهما كان صغيرا - من هذه الخلايا المشتركة، مع أن المرئيات ذات قدرة التوضيح المكاني العالية (البكسل الأصغر من ١٠×١٠ متر) تكون أيضا كثيرة النطاقات (من ٧ إلي ٢٥٦ نطاق band).

يمدنا علم الإحصاء بطرق كثيرة لوصف الأخطاء في كلا من القياسات measurements والأرصاد observations، وبالطبع فأن هذه الطرق الإحصائية من الممكن تطبيقها في نظم المعلومات الجغرافية عندما نفكر في البيانات الجغرافية (سواء البيانات المكانية أو البيانات غير المكانية) علي أنها مجموعة من القياسات. فنموذج الارتفاعات الرقمية ما هو إلا مجموعة من قياسات الارتفاعات لنقاط علي سطح الأرض، وخريطة استخدامات الأراضي ما هي إلا (بصورة أو بآخري) مجموعة من الأرصاد لمظاهر سطح الأرض حيث أننا نحدد نوع معين من الاستخدامات لكل موقع. لنأخذ مثال لعدد ٥ من أنواع استخدامات الأراضي في منطقة محددة (لنسميهم A, B, C, D, E علي سبيل المثال). من الممكن أن نرصد في الموقع قطعة أرض يكون لها استخدام من النوع A لكن قد نسجله بالخطأ في قاعدة البيانات الرقمية علي أنه من النوع C

مثلا. ومن ثم فيكون هناك عدم يقين uncertainty في التمثيل الجغرافي الرقمي. الجدول التالي يمثل ما نطلق عليه اسم "مصفوفة التشويش confusion matrix" وهي أسلوب مطبق في تحليل تصنيف المرئيات الفضائية، حيث لكل قطعة تصنيف حقيقي ناتج من الدراسة الميدانية (أكثر دقة لكن أكثر تكلفة أيضا) و تصنيف آخر ناتج من تحليل المرئية أو الصورة الجوية. في هذه المصفوفة فأن السطور تمثل أنواع استخدامات الأراضي الممثلة في قاعدة البيانات الرقمية، بينما الأعمدة تمثل أنواع استخدامات الأراضي كما تم تسجيلها في الطبيعة. أما الأرقام التي تظهر في قطر المصفوفة (المظلل) فتمثل عدد التوافق (في نوع الاستخدام) ما بين الدراسة الميدانية و قاعدة البيانات في هذه المنطقة الجغرافية التي تحتوي ٣٠٤ قطعة أرض.

النوع	A	B	C	D	E	المجموع
A	٨٠	٤	٠	١٥	٧	١٠٦
B	٢	١٧	٠	٩	٢	٣٠
C	١٢	٥	٩	٤	٨	٣٨
D	٧	٨	٠	٦٥	٠	٨٠
E	٣	٢	١	٦	٣٨	٥٠
المجموع	١٠٤	٣٦	١٠	٩٩	٥٥	٣٠٤

فإذا أخذنا مثال للسطر A في المصفوفة فهو يدل علي ١٠٦ قطعة أرض تم تسجيلها في قاعدة البيانات علي أنها من هذا النوع من استخدامات الأراضي، ومن هذه القطه يوجد ٨٠ قطعة فقط متوافقين تماما مع نتائج الدراسة الحقلية (أي أنهم فعلا من النوع A)، بينما يوجد ٤ و ٠ و ١٥ و ٧ قطع تم تسجيلهم - في قاعدة البيانات - علي أنهم من الأنواع B و C و D و E بالترتيب. أي أن هناك ٨٠ قطعة (الرقم علي قطر المصفوفة) يمثلوا عدد القطع الصحيحة في التصنيف (بنسبة = ١٠٦/٨٠= ٧٥.٥%) بينما مجموع باقي الصف (٤+٠+١٥+٧=٢٨) يمثل عدد القطع التي لها تمثيل خطأ (بنسبة = ١٠٦/٢٨=٢٦.٤%).

الآن سننظر للمصفوفة (أو الجدول) ككل وليس عنصر بعنصر، ونجد أن مجموع عناصر القطر (٢٠٩) عند قسمته علي المجموع الكلي لقطع الأراضي (٣٠٤) يمثل ما نطلق عليه مصطلح "نسبة التصنيف الصحيح Percent of Correctly Classified" أو اختصارا PCC ، وهو في هذا المثال = ٢٠٩ / ٣٠٤ = ٦٨.٨%. لكن هذا المؤشر غير دقيق من وجهة النظر الإحصائية، وسنستعيض عنه بمؤشر إحصائي أدق وهو ما يعرف باسم "مؤشر كابا kappa index" ويتم حسابه بالمعادلة التالية:

$$k = \left(\sum_{i=1}^{n} c_{ij} - \sum_{i=1}^{n} c_{i.} c_{.i} / c_{..} \right) \Big/ \left(c_{..} - \sum_{i=1}^{n} c_{i.} c_{.i} / c_{..} \right) \qquad (17\text{-}8)$$

حيث: c_{ii} يمثل العنصر في الصف i والعمود j، ورمز النقطة (أو dot) يمثل المجموع أي أن $c_{i.}$ يمثل مجموع كل الأعمدة في الصف i، بينما الرمز $c_{..}$ يمثل المجموع الكلي، و n تمثل عدد الفئات. وبتطبيق المعادلة (٦-١) علي المثال السابق نجد أن قيمة مؤشر كابا = ٥٨.٣% وهي قيمة أدق من مؤشر نسبة التصنيف الصحيح PCC.

يمكننا الآن التوصل لنتيجة أن مصفوفة التشويش تعد طريقة فعالة للحكم علي أخطاء القياسات والأرصاد، لكن لتكوينها يلزمنا معلومات حقلية دقيقة. وبالطبع فمن وجهة النظر الاقتصادية فلا يمكننا إجراء الدراسة الحقلية علي كل قطع الأراضي في بقعة جغرافية معينة، لكننا نستعيض عن ذلك بإجراء الدراسة الحقلية في عينة عشوائية من قطع الأراضي في هذه البقعة.

تجدر الإشارة لوجود تطبيقات أكثر تعقيدا من مثال استخدامات الأراضي الذي كان يعتمد علي تحديد دقة المضلعات per-polygon accuracy assessment (مضلع بمضلع أو قطعة بقطعة). فمثلا في تصنيف أنواع الغطاء النباتي قد نواجه مشكلة أن كل قطعة بها أكثر من نوع (وليس نوع واحد) من أنواع الغطاءات. ففي هذه الحالة لا يمكن بدقة كبيرة تحديد الحدود المكانية لكل نوع ويكون لدينا مصدر آخر من عدم الدقة وهو خطأ الحدود boundary misallocation بالإضافة لخطأ نوع التصنيف class misallocation ذاته. وغالبا في مثل هذه الحالات نلجأ لطريقة التحليل المعتمدة علي خلية بخلية (بكسل ثم الآخر) per-pixel accuracy assessment بدلا من التحليل مضلع بمضلع.

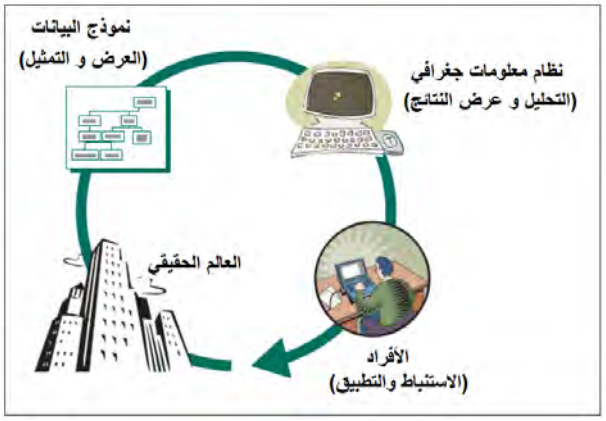
الفصل الثامن عشر

البيانات وقواعد المعلومات الجغرافية

يقدم هذا الفصل المفاهيم الاساسية لنمذجة و تجميع البيانات المكانية (أو الجغرافية) وأيضا طرق انشاء و صيانة قواعد البيانات الجغرافية بالإضافة لطرق توزيع المعلومات الجغرافية.

١٨-١ نمذجة البيانات الجغرافية

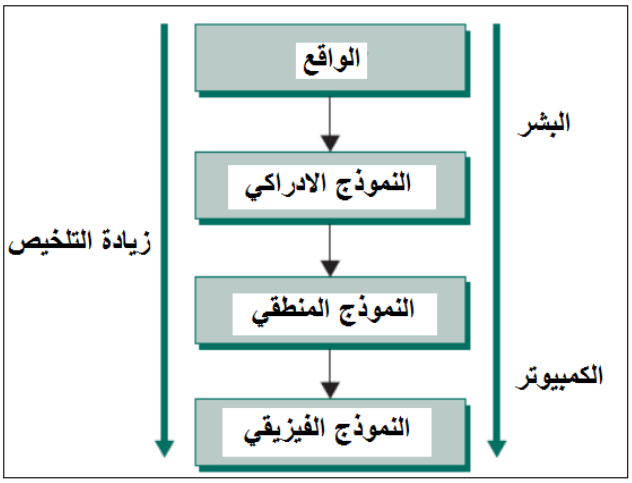
نمذجة البيانات الجغرافية هي عملية تخليص و تمثيل البيانات داخل نظام المعلومات الجغرافي اعتمادا علي نموذج محدد. ويعد نموذج البيانات data model بمثابة القلب في النظام، حيث أنه يمثل مجموعة من العمليات لتمثيل الأهداف و العمليات التي تحدث في العالم الحقيقي تمثيلا رقميا في الكمبيوتر. إن الأفراد (المستخدمين) يتعاملون مع نظام المعلومات الجغرافي لتأدية مهام مثل عمل الخرائط وتحليل أنسب موقع والاستفسار عن البيانات. وكل هذه المهام تعتمد علي الكيفية التي بها تمثيل العالم الحقيقي تمثيلا رقميا، ومن ثم اختيار نموذج البيانات المناسب يعد أمرا هاما للغاية في بناء نظام المعلومات الجغرافي. لكن وكما سبق الذكر فأن العالم الحقيقي معقد بدرجة كبيرة بينما الكمبيوتر يتطلب أرقاما محددة، ومن ثم فهناك اختيارات صعبة يجب عملها في تحديد ما سيتم تمثيله رقميا وكيفية تمثيله أيضا. وعلي مستوي أخر فأن استخدامات نظم المعلومات الجغرافية متعددة وكذلك الظواهر الجغرافية في حد ذاتها. وبناءا عليه فلا يوجد "نموذج بيانات" واحد يصلح لجميع التطبيقات.



شكل (١٨-١) دور نموذج البيانات داخل نظام المعلومات الجغرافي

عندما نقوم بتمثيل العالم الحقيقي فهناك أربعة مستويات من تلخيص أو تبسيط البيانات (أو التعميم generalization) كما في الشكل التالي. أولا: الواقع reality وهو المكون من ظاهرات العالم الحقيقي (مثل المباني و الشوارع والأفراد ...الخ) سواء الظاهرات التي تناسب الهدف المنشود أم لا. أما النموذج الإدراكي conceptual model فهو نموذج بشري لتحديد و اختيار الأهداف التي نراها مناسبة للهدف من التمثيل. ثم يأتي النموذج المنطقي logical model فهو تطبيق ما تم اختياره من أهداف و ظاهرات من خلال رسوم و قوائم مجدولة. وفي النهائية يأتي النموذج

الفيزيقي أو الطبيعي physical model الذي يتكون من قواعد البيانات الرقمية في نظام معلومات جغرافي (لاحظ هنا أن كلمة "الفيزيقي" مجرد اصطلاح حيث أن هذا النموذج ما هو إلا نموذج رقمي داخل الكمبيوتر وليس شيئا ملموسا). وعلي مستوي عدم اليقين فأن كلا من النموذجين الإدراكي و المنطقي يقعان خلف المصفاة الأولي بينما يكون النموذج الفيزيقي خلف المصفاة أو المرشح الثاني.



شكل (١٨-٢) درجات تلخيص الواقع في نماذج البيانات

في عملية نمذجة البيانات يتم التعامل مع هذه المستويات الأربعة، فنحن نبدأ بتحديد الأهداف الرئيسية المطلوب تمثيلها داخل نظام المعلومات الجغرافية. تلي تلك المرحلة عملية إعداد قائمة بوصف هذه الأهداف أو الظاهرات المختارة والعلاقات بينهم، ثم يأتي تطبيق هذه المعلومات في إطار التمثيل الرقمي علي الكمبيوتر. وكما رأينا سابقا فأن الأهداف المنفصلة أو المجالات المتصلة يكونان النموذجين الإدراكيين لتمثيل الواقع الحقيقي، بينما البيانات الخطية vector و البيانات الشبكية raster هما النموذجين المنطقيين المستخدمين في نظم لمعلومات الجغرافية.

١٨-٢ نماذج بيانات نظم المعلومات الجغرافية

تم ابتكار و تطبيق عدد من نماذج البيانات في نظم المعلومات الجغرافية خلال النصف الثاني من القرن العشرين الميلادي (الجدول التالي). وفي قلب كل برنامج نظم معلومات جغرافية يوجد واحد أو أكثر من هذه النماذج لتمثيل ظاهرات العالم الحقيقي. وتعتمد البرامج علي تجميع الظاهرات المتشابهة من الناحية الهندسية في مجموعات classes أو طبقات layers مما يسمح بتخزين أكثر كفاءة للبيانات وأيضا بسرعة في عمليات التعديل و التحليل.

نموذج البيانات	أمثلة للاستخدام
التصميم بالكمبيوتر	رسومات التصميمات الهندسية
الكارتوجرافيا الرقمية	الخرائط البسيطة
الصور	تحليل المرئيات
النموذج الشبكي	التحليل المكاني و النمذجة البيئية
النموذج الخطي	تطبيقات متعددة خاصة في تحليل الموارد
الشبكات	تحليل الشبكات مثل شبكات النقل و الخدمات
شبكات المثلثات غير المنتظمة	تمثيل وتحليل السطوح و التضاريس
الأهداف	تطبيقات متعددة لكافة نماذج البيانات

١٨-٢-١ نماذج التصميم بالكمبيوتر و الرسومات و الصور

اعتمدت نظم المعلومات الجغرافية في بادئ ظهورها علي نماذج بيانات بسيطة تأتي من ملفات التصميم بالكمبيوتر Computer-Aided Design (CAD) والتي تستخدم النقطة و الخط و المضلع لتمثيل الظاهرات المكانية. ولم ينتشر هذا النموذج (CAD model) من نماذج البيانات كثيرا في نظم المعلومات الجغرافية حيث أنه (بصورة عامة) يعتمد علي إحداثيات نسبية local coordinates بدلا من الإحداثيات الحقيقية للأرض. كما أن هذا النموذج يركز علي التمثيل المكاني للأهداف ولا يمكنه تخزين تفاصيل العلاقات بين الأهداف (مثل الشبكات و الطبولوجيا) والتي يحتاجها التحليل المكاني.

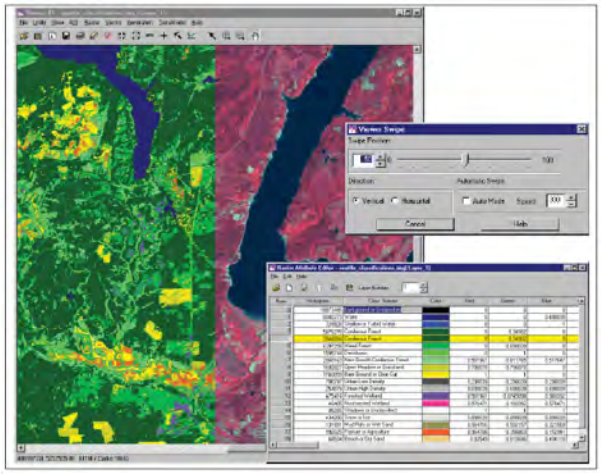
في الستينات من القرن العشرين الميلادي تم الاعتماد علي "ترقيم digitization" الخرائط الورقية لتحويلها إلي خرائط موضوعية thematic maps في صورة رقمية. وأيضا كانت الظواهر المكانية تمثل في صورة النقاط و الخطوط و المضلعات (نموذج الكارتوجرافيا الرقمية computer cartography model)، لكن بدون بيانات غير مكانية attributes أو العمل علي العلاقات بين الأهداف. وفي نفس هذه المرحلة الزمنية تم ابتكار أسلوب المسح الضوئي scanning للصور الجوية (والمرئيات الفضائية لاحقا) ليتم بذلك تمثيل البيانات فيما يعرف باسم نموذج الصور Image model.

١٨-٢-٢ نموذج البيانات الشبكية

يستخدم نموذج البيانات الشبكية raster model مصفوفة من الخلايا أو البكسل لتمثيل ظاهرات العالم الحقيقي. وتحمل الخلية الواحدة القيمة غير المكانية attribute بناءا علي عدة أساليب للترميز (أو التكويد encoding) فقد تكون هذه القيمة رقما صحيحا integer أو رقما بكسور عشرية float. وفي بعض النظم يمكن للخلية الواحدة أن تحمل أكثر من قيمة للبيانات غير المكانية multiple attribute.

يتم تمثيل البيانات الشبكية في صورة مصفوفة من قيم الخلايا، مع وجود ملف metadata (وصف البيانات) يضم معلومات مثل الإحداثيات الجغرافية للركن العلوي من اليسار للشبكة، حجم

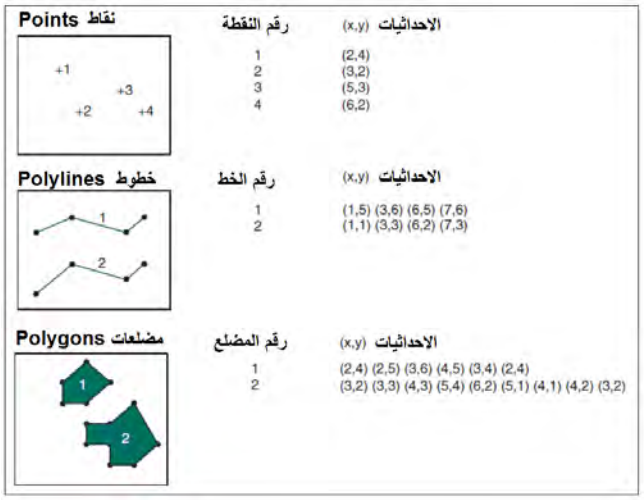
الخلية، عدد الصفوف، عدد الأعمدة، و المسقط projection. أما بيانات النموذج الشبكي في حد ذاتها (وبسبب كبر حجمها) فيتم وضعها في ملفات مضغوطة comprised files لتقليل حجم الذاكرة و حجم التخزين المطلوب علي القرص الصلب للكمبيوتر.



شكل (١٨-٣) مثال لنموذج البيانات الشبكية

١٨-٢-٣ نموذج البيانات الخطية

يمثل نموذج البيانات الشبكية أفضل طرق تمثيل ظاهرات المجالات المتصلة، بينما يستخدم نموذج البيانات الخطية vector model لتمثيل الظاهرات من نوع الأهداف المنفصلة. ويتميز نموذج البيانات الخطية بالدقة المكانية العالية لتمثيل الظاهرات و الأهداف، وكفاءة تخزين البيانات، وجودة المنتج الكارتوجرافي، وتوافر أدوات عديدة للتراكب overlay و التحليل. في هذا النموذج يتم - بداية - تصنيف معالم العالم الحقيقي في مستوي ثنائي الأبعاد فقط (2-dimension) إلي: نقطة أو خط أو مضلع. يتم تسجيل النقاط points (مثل الآبار والمباني) بواسطة زوج من الإحداثيات الأفقية x, y. أما الخطوط polylines (مثل الطرق والصدوع) فيتم تسجيلها بمجموعة من الإحداثيات الزوجية. وفي الصورة العامة الأكثر شيوعا فتسجل المضلعات polygons (مثل مناطق التربة و استخدامات الأراضي) بمجموعة من الخطوط المتصلة المغلقة. وتجدر الإشارة إلي أنه في بعض الحالات يمكن تمثيل المضلع مكونا من عدد من المنحنيات curves (وليس الخطوط المستقيمة). أما الإحداثيات التي تحدد طبيعة موقع كل هدف فقد تكون إحداثيات ثنائية (x,y أو خط الطول و دائرة العرض)، أو إحداثيات ثلاثية (x,y,z حيث z يمثل الارتفاع)، أو إحداثيات رباعية (x,y,z,t حيث t يمثل الزمن).



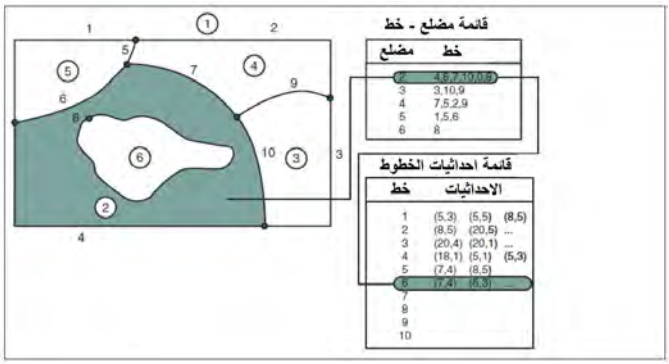
شكل (١٨-٤) مثال لنموذج البيانات الخطية

يتكون النموذج الخطي من جزأين: التركيب الهندسي، والتركيب البنائي أو التركيب الطبولوجي. الطبولوجيا topology هي علم ورياضيات العلاقات الهندسية بين الأهداف، والعلاقات الطبولوجية ليست علاقات رقمية أو كميات يمكن قياسها وهي لا تتغير مع تغير الحيز المكاني للأهداف. فعلي سبيل المثال عندما تتمدد الخريطة الورقية فأن الزوايا و المسافات ستتغير، لكن العلاقات الطبولوجية (مثل التجاور) ستبقي ثابتة. ويستخدم التركيب الطبولوجي أو التركيب البنائي في عمليات تحقيق validation هندسة البيانات الخطية وأيضا في تحليل الشبكات. فكما هو معروف فأن مصادر البيانات تتعدد بدرجة كبيرة (ترقيم الخرائط الورقية و القياس الميداني والصور الجوية و المرئيات الفضائية و ملفات التصميم بالكمبيوتر ...الخ) وهنا فأن فحص البناء الطبولوجي لقواعد البيانات يعد طريقة لتحقيقها و تقدير درجة جودتها قبل استخدامها في التحليل. ومن أمثلة الاختبارات الطبولوجية:

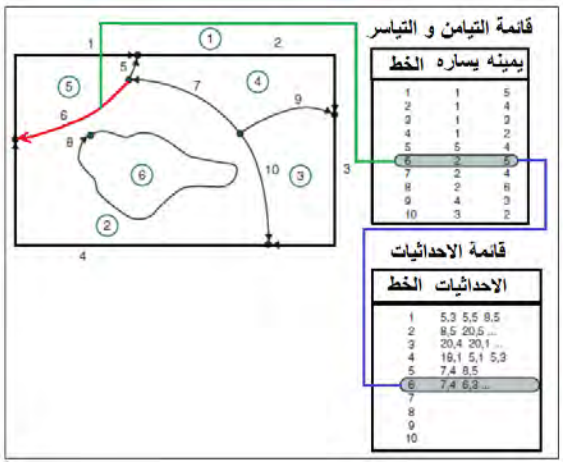
- تقاطع الخطوط intersection: فمثلا الطرق تتقاطع في البيانات ثنائية الأبعاد(x,y) ، بينما لا تتقاطع عند استخدام البيانات ثلاثية الأبعاد (x,y,z).
- التراكب overlay: هل تتقاطع المضلعات المتجاورة؟ فعلي سبيل المثال في تطبيقات الملكيات من غير المناسب أن يكون هناك تراكب (تداخل) بين كل قطعة أرض و القطع المجاورة لها أو أن يكون هناك فواصل بين القطع.
- الخطوط المزدوجة duplicate: هل توجد نسخ مزدوجة من مضلع أو جزء من شبكة؟ فمن المهم اكتشاف و حذف أية نسخ مزدوجة من نفس المظهر أو المعلم الجغرافي.
- ترابط الشبكات connectivity: هل جميع أجزاء شبكة معينة مترابطة معا؟ مثلا في شبكات المياه من المفترض ألا يوجد فواصل بين خطوط الشبكة.

الشكل التالي يوضح لنا بصورة أكثر تفصيلا التركيب البنائي أو الطبولوجي في حالة البيانات الخطية من نوع المضلعات. ففي هذا الشكل نري ٦ مضلعات (بما فيها المضلع الخارجي رقم ١). وكل مضلع مكون من عدد من الخطوط كما توضح قائمة "مضلع-خط"، فمثلا المضلع رقم ٢

يتكون من الخطوط أرقام ٤، ٦، ٧، ١٠، ٨. ونلاحظ وجود الرقم صفر قبل الخط رقم ٨ للدلالة علي أن هذا الخط يمثل "جزيرة" داخل المضلع المنشود. وفي الجدول الثاني توجد قيم إحداثيات كل خط من الخطوط، فمثلا الخط رقم ٥ يبدأ من الاحداثي (٧،٤) ثم الاحداثي (٨،٥) .... الخ. ومن الممكن أن يظهر الخط في أكثر من مضلع (مثلا الخط ٦ موجود في كلا المضلعين ٢ و ٥) إلا أن إحداثيات الخط يتم تخزينها مرة واحدة فقط دون تكرار. ومن ثم فأن مميزات البناء الطبولوجي أنه يقلل من عدد الإحداثيات التي يتم تخزينها في قاعدة البيانات مقارنة بالحالة العادية للمضلعات التي ليس لها بناء طبولوجي. أيضا نري أن التركيب البنائي يوضح علاقات التجاور contiguity or adjacency بين المضلعات، مما يسمح لنا بتحديد المضلعات التي تقع علي يمين أو علي يسار كل مضلع. ففي الشكل التالي نجد أن المضلع رقم ٢ يقع علي يسار الخط رقم ٦ بينما الخط رقم ٥ يقع علي يمينه. وبمعني آخر فأن تحليلا بسيطا - لهذا البناء الطبولوجي - يدلنا علي أن المضلعين ٢ و ٥ متجاورين. وفي معظم البرامج الحديثة لنظم المعلومات الجغرافية يتم تخزين العلاقات الطبولوجية في ملف منفصل، لكنه مرتبط تماما مع ملفي البيانات المكانية و البيانات غير المكانية. ويتم تطبيق البناء الطبولوجي في العديد من استخدامات نظم المعلومات الجغرافية مثل الملكيات والخرائط التفصيلية و تخطيط المباني وإدارة الموارد الطبيعية و البيئية.



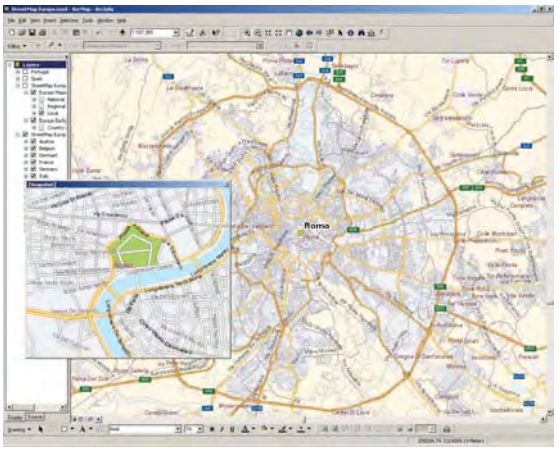
شكل (١٨-٥) مثال للبناء الطبولوجي في حالة المضلعات - الخطوط



شكل (١٨-٦) مثال للبناء الطبولوجي لتجاور الخطوط

١٨-٢-٤ نموذج بيانات الشبكات

يعد نموذج الشبكة network model نوعا خاصا من نموذج البيانات الطبولوجية، وهو مستخدم بكثيرة في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية مثل شبكات المياه و الكهرباء و الغاز و الطرق والسكك الحديدية. ويوجد نوعين من الشبكات وهما الشبكة الإشعاعية أو شبكة الشجرة radial or tree والشبكة الحلقية looped. في النوع الأول نجد السريان له اتجاهين إما صاعدا upstream أو هابطا downstream، ومن أمثلة هذا النوع شبكات التصريف المائي. أما في النوع الثاني من الشبكات فمن الممكن أن نجد عدد من التقاطعات intersections، ومن أمثلة هذه الشبكات علي سبيل المثال شبكات توزيع المياه. وفي برامج نظم المعلومات الجغرافية يتم تمثيل الشبكة من خلال النقاط و الخطوط، والتركيب البنائي (الطبولوجي) هو الذي يحدد كيفية اتصال الخطوط مع بعضها البعض. ويمثل الشكل التالي مثال لشبكة الشوارع مكونة من عدد من العقد nodes (أي النقاط) التي تمثل تقاطعات الشوارع، وعدد من الخطوط التي تمثل أنواع الشوارع، بالإضافة للعلاقات الطبولوجية فيما بينهم.

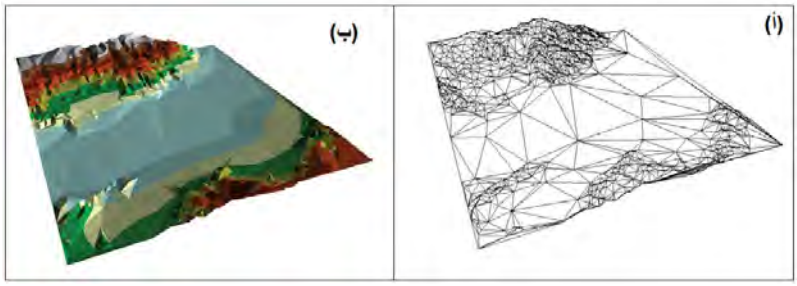


شكل (١٨-٧) مثال لنموذج بيانات الشبكة

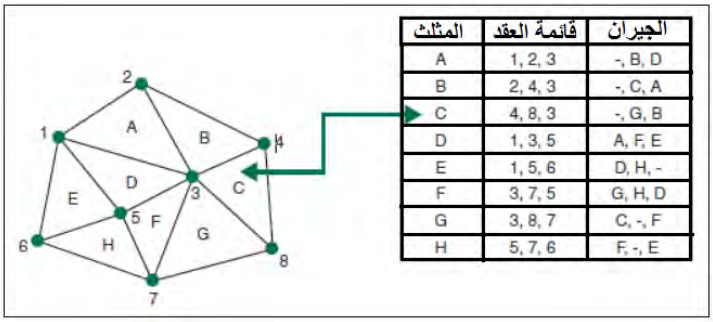
١٨-٢-٥ نموذج بيانات شبكات المثلثات غير المنتظمة

نموذج شبكات المثلثات غير المنتظمة Triangulated Irregular Network (أو اختصارا TIN) هو أحد النماذج التي تعتمد علي تمثيل البيانات ثلاثية الأبعاد (x,y,z) بخلاف النماذج السابقة التي تمثل البيانات إما أحادية أو ثنائية الأبعاد. يتكون نموذج TIN من عدد من النقاط (لكل نقطة إحداثيات x,y,z) تشكل فيما بينهم عدد من المثلثات غير المتقاطعة والمختلفة في المساحات. ومن أهم مميزات TIN أن عدد هذه المثلثات يعتمد علي عدد النقاط المعلومة وكثافة توزيعها، فكلما زاد عدد النقاط زاد عدد المثلثات مما يسمح بتمثيل السطح بدقة أكبر. ونموذج الشبكات غير المنتظمة هو نموذج طبولوجي بطبيعته يقوم بإدارة البيانات عن العلاقات بين النقاط أو العقد التي تمثل كل مثلث وعلاقته بالمثلثات المجاورة له. ومن خلال بيانات TIN يمكن حساب الميول slopes واتجاهات الأوجه aspects ومدي الرؤية بين النقاط line of sight. ويتم استخدام

نموذج شبكات المثلثات غير المنتظمة في عدد من تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية مثل تصميم الطرق و دراسات الصرف المائي وتنمية الأراضي والدراسات البيئية للمخاطر الطبيعية.



شكل (١٨-٨) مثال لنموذج بيانات شبكات المثلثات غير المنتظمة



المثلث	قائمة العقد	الجيران
A	1, 2, 3	-, B, D
B	2, 4, 3	-, C, A
C	4, 8, 3	-, G, B
D	1, 3, 5	A, F, E
E	1, 5, 6	D, H, -
F	3, 7, 5	G, H, D
G	3, 8, 7	C, -, F
H	5, 7, 6	F, -, E

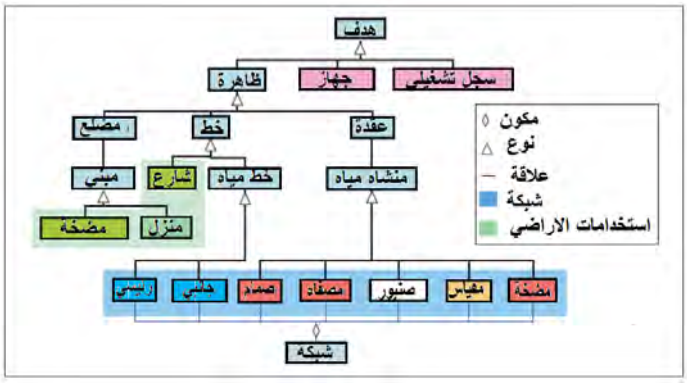
شكل (١٨-٩) مثال للتركيب الطبولوجي في شبكات المثلثات غير المنتظمة

١٨-٢-٦ نموذج بيانات الأهداف

تركز كل نماذج البيانات السابقة علي النظرة الهندسية للظواهر الممثلة داخل النموذج، سواء النقاط أو الخطوط أو المضلعات أو البيانات الشبكية أو شبكات المثلثات غير المنتظمة. فهذه النماذج تفصل ما بين الخصائص الهندسية والخصائص الطبولوجية للبيانات (كلا منهم في قواعد بيانات منفصلة) مما يجعل عمليات التحليل التي تقوم بها البرامج عمليات معقدة و تستغرق وقتا طويلا بالإضافة لإمكانية حدوث الأخطاء. ومن هنا جاءت الحاجة لتطوير نموذج بيانات تكاملي في نظم المعلومات الجغرافية. ويعتمد نموذج بيانات الأهداف object model في جوهره علي تجميع الأهداف المكانية والعلاقات بينها، فكل هدف ما هو إلا مجموعة متكاملة من الظاهرات المكانية وخصائصها و الطرق التي تحدد سلوكها. وبمعني آخر فأن كل الأهداف المكانية المتشابهة يتم تجميعها داخل "فئة class" حيث يكون كل هدف داخل هذه الفئة عبارة عن "شاهد instance". وفي معظم البرامج فأن كل فئة يتم تخزينها في قاعدة بيانات أو جدول بيانات غير مكانية attribute table حيث يكون كل سطر عبارة عن هدف وكل عمود عبارة عن خاصية من خصائص هذا الهدف.

لكل هدف جغرافي علاقات مع الأهداف المشابهة في نفس الفئة، وأحيانا يكون له علاقات من أهداف أخري خارج هذه الفئة. ويمكن بصورة عامة تقسيم العلاقات إلي ثلاثة أنواع: علاقات

طبولوجية topological (مثل حالة العقد و تقاطعات الخطوط داخل الشبكة)، علاقات جغرافية geographic (مثل التراكب و التداخل و التجاور)، وعلاقات عامةgeneral (مثل ربط جدول قطع الأراضي مع جدول أسماء الملاك ليمكن تحديد اسم المالك لكل قطعة أرض). والشكل التالي يقدم مثالا لنموذج بيانات الأهداف في شبكة توزيع المياه داخل مدينة.



شكل (١٨-١٠) مثال لنموذج بيانات الأهداف في شبكة المياه

١٨-٣ نمذجة البيانات الجغرافية

تعتمد جودة التحليل المكاني علي جودة قواعد البيانات الجغرافية ذاتها التي تعتمد بدورها علي جودة و كفاءة نموذج البيانات المستخدم. تبدأ نمذجة البيانات data modeling بتحديد أهداف المشروع بوضوح من خلال الفهم الكامل لمتطلبات المستخدمين. ثم تأتي مرحلة تحديد الأهداف (الظاهرات) الجغرافية والعلاقات بينهم ثم تطوير النموذج المنطقي ولاحقا بناء النموذج الفيزيقي. وكل هذه الخطوات تعد بمثابة مقدمة لبناء قواعد البيانات ثم استخدامها عمليا فيما بعد.

في نمذجة البيانات الجغرافية لا توجد خطوة أهم من فهم طبيعة النمذجة في حد ذاتها، وذلك من خلال تجميع متطلبات مستخدمي نظام المعلومات الجغرافية. وهنا يجب قضاء وقت أطول لاستطلاع آراء هؤلاء المستخدمين بوضوح كامل، ومن الأفضل تدوين كل هذه الآراء في قائمة محددة واضحة. وفي مرحلة بناء النموذج المنطقي يجب تحديد الظاهرات و العلاقات التي سيتم نمذجتها، سواء البيانات المكانية أو البيانات غير المكانية المطلوبة. وفي الخطوة التالية يتم تحويل هذا النموذج المنطقي إلي نموذج فيزيقي من خلال بناء قواعد البيانات. ويجب الانتباه إلي ضرورة اختيار نموذج البيانات المناسب للمشروع، طبقا لفهم مميزات و عيوب و تطبيقات كل نوع من أنواع نماذج البيانات السابق شرحها. فعلي سبيل المثال فأن نموذج بيانات الأهداف هو الأنسب في تطبيقات الخدمات، بينما يمكن الاكتفاء بنموذج بيانات بسيط في التطبيقات التقليدية مثل الخرائط الرقمية. وكما سبق الشرح فأن نموذج البيانات الخطية vector يعد مناسبا للأهداف المنفصلة، بينما يعد نموذج البيانات الشبكية raster الأنسب للظاهرات من نوع المجالات المتصلة. وبصفة عامة فأن نمذجة البيانات الجغرافية تعد علماً و فناً في نفس الوقت، فهي علم يتطلب فهما منطقيا لخصائص الظاهرات المكانية في العالم الحقيقي، وهي فنا يعتمد علي رؤية واختيارات أخصائي نظم المعلومات الجغرافية.

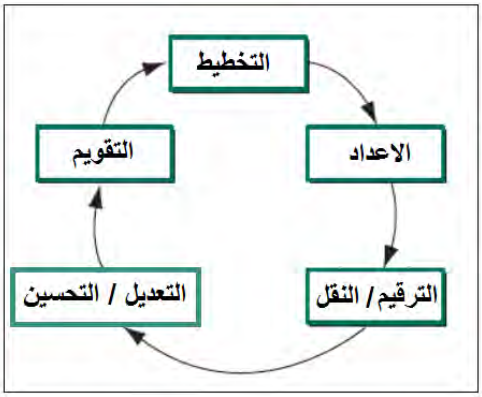
١٨-٤ تجميع بيانات نظم المعلومات الجغرافية

يحتوي نظام المعلومات الجغرافي علي عدة أنواع من البيانات المكانية التي تأتي من عدة مصادر. ومن الممكن تقسين عملية تجميع البيانات data collection إلي جزأين أو عمليتين: (١) الحصول علي البيانات data capture، (٢) نقل البيانات data transfer. وفي هذا الإطار فمن المهم تقسيم طرق تجميع كلا من البيانات الخطية و الشبكية إلي نوعين: طرق أساسية (بيانات رقمية للاستخدام المباشر في نظم المعلومات الجغرافية) و طرق ثانوية (بيانات رقمية و غير رقمية) كما في الجدول التالي.

	بيانات شبكية	بيانات خطية
طرق أساسية	المرئيات الفضائية للاستشعار عن بعد	قياسات النظام العالمي لتحديد المواقع GPS
	صور جوية رقمية	قياسات المساحة الأرضية
طرق ثانوية	خرائط أو صور جوية ممسوحة ضوئيا	الخرائط الطبوغرافية
	نماذج ارتفاعات رقمية من الخرائط الكنتورية	قواعد بيانات العناوين

تعد مرحلة تجميع البيانات في مشروع نظام معلومات جغرافي هي المرحلة التي تستغرق وقتا طويلا و أيضا تكلفة عالية. عادة فأن تكلفة تجميع البيانات تتراوح من ١٥% إلي ٥٠% بصفة عامة (لكن قد تصل أحيانا إلي ٨٠%) من التكلفة الكلية للمشروع. كما تجدر الإشارة إلي أن عملية تحديث البيانات باستمرار (للمشروعات التي تستغرق فترة زمنية طويلة) تعد عملية هامة وقد تكون مكلفة اقتصاديا أيضا.

تتكون عملية تجميع البيانات من عدة مراحل متصلة تشمل التخطيط planning والإعداد preparation والترقيم/النقل digitizing/transfer والتعديل/التحسين editing/improvement ثم التقويم evaluation. يبدأ التخطيط بإعداد قائمة بمتطلبات المستخدمين الموارد المطلوبة (أجهزة و برامج و أفراد) وتطوير خطة العمل. ويشمل الإعداد عدة مهام مثل الحصول علي البيانات وتجهيزها (مثل المسح الضوئي للخرائط الورقية) وتقويم جودتها. أما مرحلة الترقيم/النقل فهي أكثر المراحل جهدا وغالبا ما تستغرق وقتا طويلا. وفي مرحلة التعديل/التحسين يتم اكتشاف الأخطاء في المراحل السابقة و تصحيحها. ثم تأتي مرحلة التقويم أخيرا وتهدف لتحديد مدي نجاح عملية تجميع البيانات ككل علي كلا المستويين النوعي و الكمي. وغالبا فان مراحل تجميع البيانات تكون تكرارية، وعامة ما يكون هناك مرحلة تجريبية صغيرة في البداية قبل التنفيذ الفعلي لتجميع كافة بيانات المشروع.



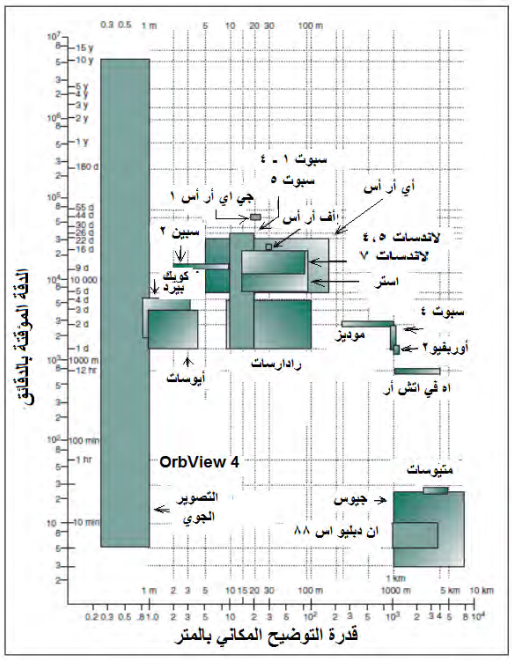
شكل (١٨-١١) مراحل تجميع البيانات

١٨-٥ الطرق الأساسية لتجميع البيانات

الطرق الأساسية هي الطرق التي تتيح القياس المباشر للأهداف المكانية. أو بمعني آخر هي الطرق التي ينتج عنها قياسات رقمية يتم إدخالها مباشرة لنظام المعلومات الجغرافي أو علي الأقل تخزينها في ملفات رقمية قبل إدخالها للنظام. وهناك طرق أساسية لكلا نوعي البيانات الخطية vector و الشبكية raster.

١٨-٥-١ الحصول على البيانات الشبكية

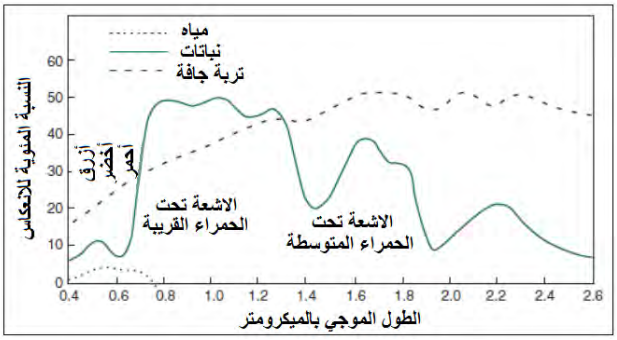
يعد الاستشعار عن بعد remote sensing أشهر طرق الحصول علي البيانات الشبكية و أكثرها انتشارا في الوقت الحالي. وبصورة عامة فأن الاستشعار عن بعد هو عملية الحصول علي معلومات عن الخصائص الطبيعية و الكيمائية و الحيوية للأهداف دون تلامس مباشر معها. ويتم الحصول علي هذه البيانات من خلال قياس كمية الضوء الكهرومغناطيسي المنعكس أو المنبعث من هذه الأهداف. وتوجد العديد من أنواع المجسات أو المستشعرات sensors التي يمكنها عمل القياسات في نطاق واسع من الضوء الكهرومغناطيسي (من مجال الضوء المرئي إلي مجال الأشعة القصيرة أو الميكروويف). وبصفة عامة فأن أجهزة الاستشعار (أو المستشعرات) يمكن تقسيمها إلي نوعين: مستشعرات سالبة passive تعتمد فقط علي استقبال الأشعة المنعكسة أو المنبعثة من الأرض، و مستشعرات موجبة active تقوم بإطلاق أشعة ثم تستقبلها مرة أخري عند انعكاسها من سطح الأرض. أما المنصات platforms التي تحمل أجهزة الاستشعار فهي أساسا الأقمار الصناعية و الطائرات، و أحيانا تستخدم الطائرات المروحية (الهليكوبتر) و البالون أو المنطاد. والشكل التالي يقدم بعض خصائص أقمار الاستشعار عن بعد المستخدمة حاليا.



شكل (١٨-١٢) خصائص بعض الأقمار الصناعية للاستشعار عن بعد

من وجهة نظر نظم المعلومات الجغرافية فأن قدرة الوضوح resolution من أهم عناصر الاستشعار عن بعد. وتوجد ثلاثة أنواع من قدرة الوضوح: قدرة الوضوح المكانية spatial resolution، قدرة الوضوح الطيفية spectral resolution، وقدرة الوضوح المؤقتة temporal resolution. تعبر قدرة الوضوح المكانية عن حجم الخلية أو البكسل وهي التي تمثل أصغر هدف يمكن تمييزه بوضوح. وتتراوح قدرة الوضوح المكانية للأقمار الصناعية المدنية بين ٠.٥ متر إلي ١ كيلومتر، بينما عادة يتراوح حجم المرئية الواحدة بين ٦×٦ إلي ٢٠٠×٢٠٠ كيلومتر. تشير قدرة الوضوح الطيفية إلي الجزء من الضوء الكهرومغناطيسي الذي يستطيع المستشعر قياسه. فكل جزء من الأشعة يمكن لجهاز الاستشعار استقباله يتم تسجيله في نطاق band محدد، ولذلك فأن عدد النطاقات هام للغاية في عملية الاستشعار عن بعد حيث أن كل هدف أو معلم أرضي يمتص ويعكس كل نطاق بصورة مختلفة عن النطاق الآخر (أي أن لكل هدف أو ظاهرة أرضية بصمة طيفية spectral signature مختلفة في كل نطاق من نطاقات الأشعة الكهرومغناطيسية). والشكل التالي يمثل مثالا لنسبة الانعكاس لثلاثة أنواع من الظاهرات المكانية في عدد من نطاقات الضوء الكهرومغناطيسي. وتستطيع الأقمار الصناعية الحديثة قياس وتسجيل عدد كبير من النطاقات قد تصل إلي العشرات. أما دقة الوضوح المؤقتة (أو الدورة الواحدة) فهي تعبر عن الفترة الزمنية التي يمر بها القمر الصناعي مرتين علي نفس البقعة المكانية علي الأرض، أي الفترة الزمنية بين كل مرئيتين متتاليتين لنفس المنطقة. فعلي سبيل المثال فأن القمر الفرنسي سبوت-٥ يكمل دورة كاملة حول الأرض (أي يزور نفس المنطقة الأرضية مرة أخري) كل ٢٦ يوم. ويحمل هذا القمر الصناعي عدة مستشعرات أحدهما للضوء المرئي (مرئيات غير ملونة panchromatic) ودقة وضوحه المكانية تبلغ ٢.٥×٢.٥ متر، والآخر متعدد النطاقات multi-spectral (النطاقات الأزرق و الأحمر و الأخضر و الأشعة تحت الحمراء المنعكسة) تبلغ دقته المكانية ١٠×١٠ متر، بينما يوجد أيضا مستشعر للأشعة تحت الحمراء القصيرة shortwave

near infrared بدقة مكانية ٢٠×٢٠ متر. وتبلغ مساحة المرئية الواحدة للقمر سبوت-٥ ٦٠×٦٠ كيلومتر. ومن أهم مميزات هذا القمر الصناعي قدرته علي التصوير المزدوج stereo images التي يمكن منه عمل القياسات ثلاثية الأبعاد و تطوير نماذج الارتفاعات الرقمية.



شكل (١٨-١٣) البصمة الطيفية لبعض الظاهرات المكانية

يعد التصوير الجوي مصدرا هاما للحصول علي البيانات المكانية، وهو يشبه إلي حد كبير عملية الاستشعار عن بعد بالأقمار الصناعية (كلاهما ينتج صورة image في النهاية) إلا أن معظم الصور الجوية تكون باستخدام الأفلام وليس التصوير الرقمي. وعادة فأن الكاميرا توضع في طائرة تطير علي ارتفاع يتراوح بين ٣٠٠٠ و ٩٠٠٠ متر، وتكون الصور إما غير ملونة أو ملونة في النطاق المرئي من الضوء الكهرومغناطيسي (وان كان أحيانا يتم التصوير بالأشعة تحت الحمراء). وللدقة المكانية العالية للتصوير الجوي فأنه يعد مناسبا بقوة لتطبيقات المساحة و الخرائط التفصيلية. وفي حالة التصوير مع وجود منطقة تداخل overlap بين كل صورتين متتاليتين (أي الصور المزدوجة) فيمكن استخدام هذه الصور الجوية في عمل الخرائط الكنتورية و نماذج الارتفاعات الرقمية.

لمرئيات الاستشعار عن بعد (وأيضا الصور الجوية) عدة مميزات في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية. فللمرئيات الفضائية والصور الجوية نطاق تغطية كبير وغالبا عالمي مما يجعلهما مناسبين لمشروعات المناطق الجغرافية الكبيرة أو الشاسعة. أيضا فأن التصوير المتكرر علي فترات زمنية متغيرة يكون هاما في متابعة التغيرات الزمنية للظاهرات الجغرافية. وبالطبع فأن الاستشعار عن بعد و التصوير الجوي يمدوننا بمعلومات دقيقة عن ظاهرات وأهداف المناطق الجغرافية التي يصعب الوصول إليها بالطرق الأرضية (مثل الصحاري والغابات).

١٨-٥-٢ الحصول على البيانات الخطية

تعد المساحة الأرضية والمساحة بالجي بي أس GPS من أهم طرق الحصول علي البيانات الخطية vector في نظم المعلومات الجغرافية. تعتمد المساحة الأرضية علي مبدأ تحديد الموقع ثلاثي الأبعاد (x,y,z) لأي نقطة أو موقع من خلال قياس الزوايا و المسافات لنقاط معلومة الإحداثيات. وعادة يكون العمل المساحي عملا نسبياً relative، بمعني أن إحداثيات النقاط الجديدة تكون منسوبة لإحداثيات النقاط المرجعية المعلومة (يطلق عليها اسم نقاط الثوابت الأرضية). تقليديا يتم

استخدام أجهزة الثيودليت و الميزان في العمل المساحي الأرضي، وحديثا فأن الاعتماد أصبح علي الأجهزة الالكترونية المسماة بأجهزة المحطة الشاملة أو المحطة المتكاملة total station التي قد تصل دقتها إلي ١ ملليمتر. ومن أهم مميزات جهاز المحطة الشاملة أنه يخزن القياسات في الذاكرة الالكترونية الداخلية، ثم يتم نقلها مباشرة للكمبيوتر من خلال كابل. وعادة يكون هناك شخصين في العمل المساحي الأرضي أحدهما يدير الجهاز ذاته بينما الآخر يحمل العاكس reflector prism الذي يعكس الأشعة مرة أحري للجهاز ليمكن حساب المسافات الكترونيا.

تعد المساحة الأرضية مكلفة اقتصاديا لأنها تستغرق وقتا طويلا في العمل الميداني أو الحقلي، إلا أنها تقدم مستويات دقة عالية جدا. ومن ثم فأن المسح الأرضي مازال هو الأنسب للحصول علي البيانات عالية الدقة مثل تطبيقات تحديد الملكيات وتحديد شبكات الخدمات (مثل شبكات المياه و الصرف الصحي و الكهرباء) بالإضافة للمشروعات الهندسية. أيضا فمن أهم تطبيقات المساحة الأرضية تحديد مواقع النقاط المرجعية التي يتم من خلالها الإرجاع الجغرافي للمرئيات الفضائية و الصور الجوية.

شكل (١٨-١٤) مثال لجهاز المساحة الأرضية من نوع المحطة الشاملة

١٨-٦ الطرق الثانوية لتجميع البيانات

الطرق الثانوية لتجميع البيانات الجغرافية هي التي يتم استخدامها في إنشاء الملفات الشبكية و الخطية من الخرائط و الصور الجوية وباقي أنواع المستندات غير الرقمية. وفي هذه الطرق يتم استخدام المسح الضوئي scanning للحصول علي البيانات الشبكية بينما يتم استخدام الترقيم digitizing والمسح التصويري المزدوج stereo-photogrammetryللحصول علي البيانات الخطية.

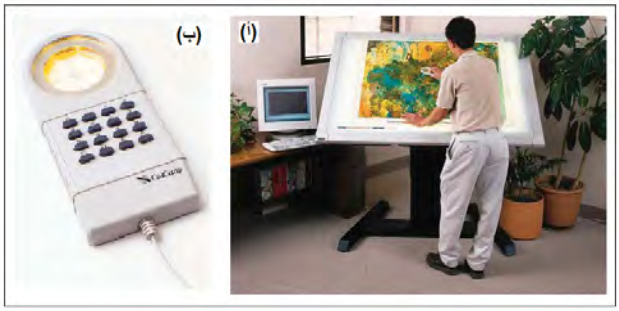
١٨-٦-١ الحصول على البيانات الشبكية بالمسح الضوئي

الماسح الضوئي scanner هو جهاز يسمح بتحويل المستندات الورقية إلي صورة رقمية image من خلال تسجيل كمية الضوء المنعكس الصادر منه. عادة تكون الصورة الناتجة ملونة، وتتراوح قدرة الوضوح resolution لأجهزة الماسحات الضوئية بين ٢٠٠ نقطة/بوصة (dot per inch or dpi) للأجهزة البسيطة إلي ٢٤٠٠ نقطة/بوصة للأجهزة المتقدمة. وطبقا لقدرة الوضوح فأن جهاز الماسح الضوئي قد يستغرق مدة تتراوح بين ٣٠ ثانية و عدة دقائق لإتمام عملية المسح الضوئي لخريطة.

شكل (١٨-١٥) مثال لجهاز الماسح الضوئي

١٨-٦-٢ الطرق الثانوية للحصول على البيانات الخطية

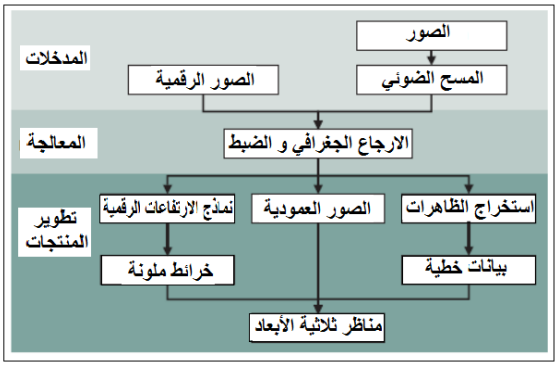
تعد طريقة الترقيم اليدوي manual digitizing أكثر الطرق انتشارا في نظم المعلومات الجغرافية للحصول علي البيانات الخطية. تأتي أجهزة المرقمات digitizers في عدة صور وأحجام تتراوح ما بين ٣٠×٦٠ سنتيمتر إلي ١١٢×١٥٢ سنتيمتر. تعتمد فكرة عمل هذه الأجهزة علي إمكانية تتبع حركة الفارة أو الماوس أثناء حركته علي طاولة الترقيم (المثبت عليها الخريطة الورقية) ونقل هذه الحركة إلي الكمبيوتر. وتتراوح دقة المرقمات بين ٠.٠٠٠٤ بوصة (٠.٠١ ملليمتر) إلي ٠.٠١ بوصة (٠.٢٥ ملليمتر). ومع طاولة الترقيم يوجد ماوس خاص بالمرقم يسمح بالتحديد الدقيق للنقاط علي الخريطة. ويعد الترقيم اليدوي أسهل و أرخص طرق الحصول علي البيانات الخطية من الخرائط الورقية.



شكل (١٨-١٦) مثال لجهاز المرقم

يستخدم المسح الضوئي كمقدمة لعملية تحويل البيانات الشبكية إلي بيانات خطية (عملية vectorization)، ويعد الترقيم من الشاشة on-screen digitizing أسهل أساليب هذه العملية. في هذا الأسلوب يتم استخدام صورة الخريطة الناتجة من جهاز الماسح الضوئي كخلفية علي شاشة الكمبيوتر (بعد إتمام الإرجاع الجغرافي لها) ثم يستخدم الماوس لرسم كل معلم أو ظاهرة علي هذه الصورة، وتخزين الناتج في ملف بيانات شبكية (نقاط أو خطوط أو مضلعات). كما توجد برامج مخصصة software لعمل الترقيم الآلي أو الأوتوماتيكي بسرعة أكبر كبيرة مقارنة بالترقيم اليدوي. لكن تجدر الإشارة إلي أن هذه البرامج غير دقيقة تماما مما يتطلب قيام المستخدم بنفسه بعمليات تعديل لاكتشاف و تنقية أخطاء الترقيم الآلي.

المساحة الجوية أو المساحة التصويرية photogrammetry هي علم و تقنية عمل القياسات الدقيقة من الصور الجوية. وتقليديا يتم عمل القياسات ثنائية الأبعاد (x,y) من الصور الجوية العادية، لكن من الممكن عمل القياسات ثلاثية الأبعاد (x,y,z) من الصور الجوية المزدوجة التي يكون بها منطقة تداخل بين كل صورتين متتاليتين. وهذا النوع من الصور الجوية يسمح بقياس الارتفاعات و تطوير الخرائط الكنتورية و المجسمات ثلاثية الأبعاد و نماذج الارتفاعات الرقمية. ولإتمام الإرجاع الجغرافي للصور الجوية يتم الاعتماد علي نقاط الثوابت الأرضية معلومة الإحداثيات (سواء باستخدام المساحة الأرضية أو تقنية الجي بي أس). ويتم استخدام أجهزة الراسمات المزدوجة stereo-plotters للقياس من الصور الجوية المزدوجة (المتداخلة) والحصول علي البيانات الخطية. وحاليا يستخدم علم و أجهزة المساحة التصويرية الرقمية digital photogrammetry للحصول علي البيانات الخطية في صورة رقمية من الصور الجوية واستخدامها في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية.



شكل (١٨-١٧) خطوات المساحة التصويرية الرقمية

١٨-٧ الحصول على البيانات من مصادر خارجية

من أهم القرارات عند إنشاء نظام معلومات جغرافي الإجابة علي السؤال: هل البيانات سيتم تجميعها أم سيتم الحصول عليها من مصدر خارجي؟. فالطرق السابقة كلها تركز علي بناء قواعد البيانات بطرق رئيسية أو ثانوية، لكن من الممكن - كطريق آخر - الحصول علي البيانات المطلوبة من مصدر خارجي و نقلها إلي نظام المعلومات الجغرافي فيما يعرف باسم عملية نقل البيانات data transfer.

توجد عدة جهات (علي المستوي العالمي) تقدم أنواع من البيانات الجغرافية في صورة رقمية مباشرة، مثل هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية USGS وهيئة المساحة العسكرية الأمريكية NGA ووكالة الفضاء الأمريكية NASA وهيئة حماية البيئة الأمريكية EPA ونماذج الارتفاعات الرقمية العالمية مثل SRTM, ASTER ، بالإضافة لمنتجات شركة ايزري. وكل هذه الأمثلة و غيرها يمكن الاستدلال عليها من شبكة الانترنت ومعرفة دقة كل منتج وهل هو مجاني أم لا.

في مرحلة تجميع البيانات لأي مشروع نظام معلومات جغرافي يجب دراسة الطرق المتاحة للحصول علي البيانات والمقارنة بينها علي ثلاثة مستويات: الدقة، والسرعة، و الثمن. فمن الممكن الحصول علي البيانات بدقة عالية لكنه سيكون مكلفا من جهة النظر الاقتصادية. أيضا فمن المتوقع أن تتناسب دقة البيانات مع دقة و أهداف وطبيعة المشروع ذاته. وعادة يتم تنفيذ مرحلة جمع البيانات في منطقة تجريبية صغيرة وتقويم كل خطوة من الخطوات قبل بدء العمل الفعلي للمنطقة الجغرافية المطلوبة بالكامل.

١٨-٨ انشاء و صيانة قواعد البيانات الجغرافية

تعد قاعدة البيانات database مجموعة متكاملة أو متحدة من البيانات عن موضوع محدد. أما قاعدة البيانات الجغرافية geo database فهي مجموعة من البيانات الجغرافية أو المكانية عن بقعة مكانية محددة و موضوع محدد. وتعد قاعدة البيانات الجغرافية من أهم مكونات نظام المعلومات الجغرافي بناءا علي عاملين: (١) تكلفة إنشاء و صيانة قاعدة البيانات الجغرافية، (٢) تأثير طبيعة قاعدة البيانات الجغرافية علي ما يمكن تطبيقه من تحليلات و نمذجة و اتخاذ القرار. ويتم تخزين قواعد البيانات الجغرافية إما في ملفات منفصلة أو في قاعدة بيانات واحدة يمكن إدارتها من خلال برامج إدارة قواعد البيانات (Data Base Management Systems (DBMS، والاختيار الأخير هو المطبق في الجهات والمؤسسات الكبرى حيث يمكن لعدد من المستخدمين استخدام نفس البيانات في نفس الوقت وأيضا للحصول علي مستويات عالية من الأمان.

حديثا أصبحت قواعد البيانات الجغرافية ضخمة الحجم و معقدة للغاية، فعلي سبيل المثال فأن قاعدة بيانات الصور الجوية التي تعطي الولايات المتحدة الأمريكية يصل حجمها إلي ٢٥ تيرابايت، كما يصل حجم قاعدة بيانات مرئيات القمر الصناعي لاندسات للعالم كله (بدقة وضوح مكاني ١٥ متر) إلي ٦.٥ تيرابايت (١ تيرابايت يساوي ١٠٠٠ جيجابايت).

١٨-٩ نظم إدارة البيانات

من الممكن تخزين قواعد البيانات البسيطة المستخدمة من خلال عدد قليل من المستخدمين علي ديسك أو اسطوانة مدمجة في صورة ملفات. لكن قواعد البيانات الضخمة التي يستخدمها العشرات أو المئات يل حتى الآلاف من المستخدمين تتطلب برنامج خاص لإدارتها. إن نظام إدارة البيانات DBMS هو برنامج كمبيوتر مصمم لتنظيم التخزين الكفء والفعال للبيانات و التعامل معها. وتشمل إمكانيات هذا البرنامج:

- وجود نموذج بيانات data model يسمح بتخزين عدة أنواع من بيانات العالم الحقيقي.
- أدوات لتحميل البيانات data load .
- فهرسة البيانات index لسهولة البحث.
- لغة استعلام query للحصول علي بيانات ذات شروط محددة.
- الحصول المشروط علي البيانات من خلال عدة مستويات من الأمان security.
- تحديث البيانات مشروط لمن يملك هذه الصلاحية من المستخدمين.
- عمل نسخ احتياطية من البيانات و استرجاعها backup and recovery.
- أدوات إدارة وصيانة البيانات.
- أدوات التطبيق من خلال واجهة مستخدم قياسية بسيطة للمستخدمين العاديين.
- واجهة برمجه للمستخدمين المبرمجين لإنشاء أدوات خاصة بهم.

بصفة عامة توجد ثلاثة أنواع من قواعد البيانات المستخدمة في نظم المعلومات الجغرافية: قواعد البيانات العلاقية relational DBMS، قواعد البيانات الهدفية object DBMS، وقواعد البيانات العلاقية-الهدفية object-relational DBMS.

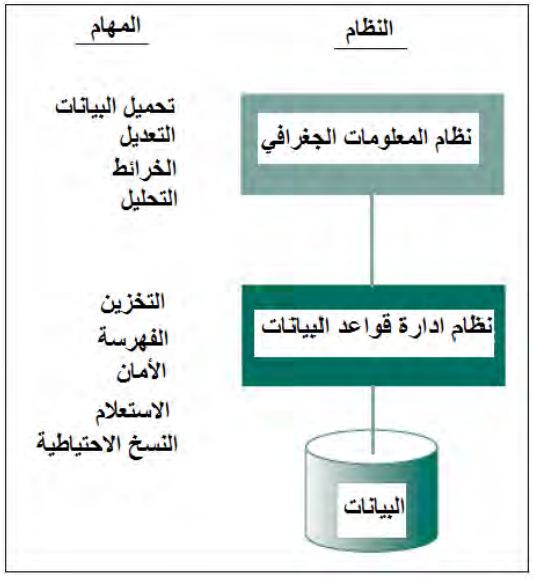
تتكون قواعد البيانات العلاقية من مجموعة من الجداول (كلا منهم عبارة عن مصفوفة) لسجلات البيانات غير المكانية attribute للأهداف قيد الدراسة. ولسهولة تركيب هذا النوع من قواعد البيانات فانه تقريبا يمثل ٩٥% من قواعد البيانات المستخدمة حاليا. أما قواعد البيانات الهدفية فأنها مصممة لمعالجة أحد أوجه النقص في قواعد البيانات العلاقية ألا وهو عدم القدرة علي تخزين السجل الكامل للهدف (حالة الهدف و سلوكه). فقواعد البيانات العلاقية مناسبة لتطبيقات الأعمال البسيطة مثل البنوك وإدارة الموارد البشرية والمخزون ...الخ، وبذلك فهي لا تستطيع تخزين عدة أنواع من البيانات الجغرافية عن نفس الهدف المكاني (مثل الصور الفوتوغرافية و ملفات الفيديو). لكن لم تنتشر قواعد البيانات الهدفية علي مستوي واسع في التطبيق العملي حيث لجأ مستخدمي قواعد البيانات العلاقية (البسيطة) إلي تزويد هذا النوع ببعض إمكانيات ومميزات قواعد البيانات الهدفية لينتجوا نوعا جديدا من قواعد البيانات العلاقية-الهدفية. وتتميز قواعد البيانات العلاقية-الهدفية المستخدمة في نظم المعلومات الجغرافية بعدة إمكانيات للتعامل مع طبيعة البيانات الجغرافية مثل:

- منظم الاستعلام query optimizer: وهو القادر علي الاستعلام عن خصائص جغرافية للأهداف، مثل الإجابة علي السؤال: ما هي المنازل التي تقع علي بعد ٣ كيلومترات من

السوق التجاري ويزيد دخل الأسرة فيها عن ١٠،٠٠٠ دولار؟. وهو السؤال الذي يحتوي علي معلومات مكانية (المسافة) ومعلومات غير مكانية (مستوي الدخل) في نفس الوقت.

- لغة استعلام query language: تستطيع التعامل مع أنواع الأهداف الجغرافية (نقاط، خطوط، مضلعات) وطبيعة خصائصها المكانية (مثل الاستعلام عن المضلعات المتجاورة). وهذه اللغات تسمي لغات الاستعلام التركيبية القياسية structured/standard query أو اختصارا SQL.
- خدمات الفهرسة indexing services: بحيث يمكن فهرسة البيانات الجغرافية في مستويات ثنائية الأبعاد (x,y) وثلاثية الأبعاد (x,y,z).
- إدارة التخزين storage management: يتطلب الحجم الكبير للبيانات الجغرافية نظام إدارة جيد من خلال تركيب ذو كفاءة عالية.

بصفة عامة يوجد نوعين من قواعد البيانات المستخدمة في معظم نظم المعلومات الجغرافية وهما نوع DB2 من شركة IBM، ونوع Spatial Oracle من شركة أوراكل. وتجدر الإشارة إلي نظام إدارة البيانات ليس نظام معلومات جغرافي في حد ذاته إلا أنه مكون أساسي من مكونات هذا النظام. فنظام إدارة البيانات هو المسئول عن اخزين و استرجاع و إدارة البيانات، لكنه لا يستطيع التعامل (التعديل و التحليل) مع البيانات الجغرافية ذاتها فهذا دور نظام المعلومات الجغرافي ذاته.



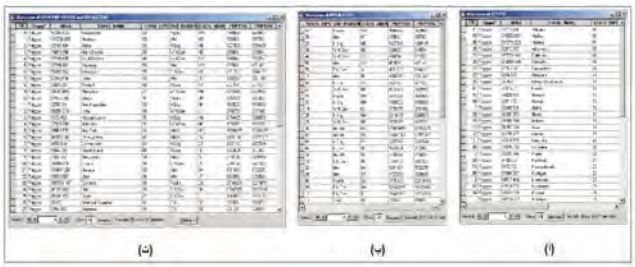
شكل (١٨-١٨) دور نظام المعلومات الجغرافي و نظام إدارة البيانات

١٨-١٠ تخزين البيانات في جداول قواعد البيانات

إن ابسط طرق تخزين البيانات الجغرافية هو التخزين في فئات classes أو طبقات layers أو فئات الأهداف feature classes، فالفئة هي عبارة عن مجموعة من البيانات عن مفردات ظاهرة جغرافية معينة (مثل مجموعة خطوط الأنابيب في شبكة مياه، أو مجموعة مضلعات أنواع التربة في وادي، أو مجموعة نقاط مناسيب في سطح تضاريسي). ويتم تخزين كل فئة في جدول

table في نظام إدارة البيانات، حيث كل جدول يتكون من مصفوفة من السطور و الأعمدة. تمثل الصفوف في الجدول الأهداف (المفردات) لمجموعة الظاهرات المكانية، بينما تمثل الأعمدة خصائص كل هدف من هذه الأهداف (الشكل أ). وتتميز قواعد البيانات الجغرافية عن غيرها من قواعد البيانات بوجود عمود هندسي يمثل النوع الهندسي (غالبا يسمي عمود الشكل shape column) للهدف. ولزيادة كفاءة التخزين والأداء فأن إحداثيات كل هدف يتم تخزينها في صورة ثنائية binary (وليس صورة نصية text) في ملف مضغوط في قاعدة البيانات.

يتم ربط الجداول معا join من خلال عمود أساسي (يسمي عمود المفتاح key) حيث تكون قيمة هذا العمود واحدة لنفس الهدف في أكثر من جدول. فعلي سبيل المثال فالجدول في الشكل أ يمثل البيانات الأساسية للولايات الأمريكية، بينما الجدول في الشكل ب يمثل أعداد السكان. وفي كلا الجدولين يوجد عمود المفتاح STATE_FIPS الذي يمكننا من ربط بيانات نفس الولاية في كلا الجدولين. أما الشكل ت فهو جدول متكامل إذا تخيلنا أن كلا الجدولين قد ضمهما معا.

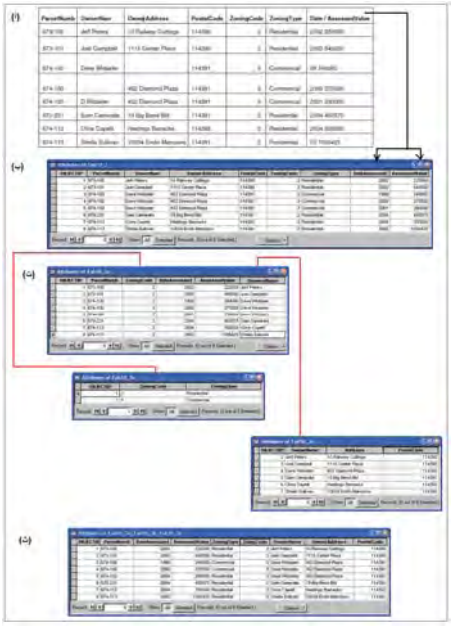


شكل (١٨-١٩) نموذج لجداول قواعد البيانات الجغرافية

في السبعينات من القرن العشرين الميلادي قدم Ted Codd من شركة IBM خمسة قواعد لتركيب قواعد البيانات العلاقية لزيادة كفاءتها وتشمل:

١. توجد قيمة واحدة فقط في الخلية التي يتقاطع عندها العمود من السطر.
٢. كل قيم العمود الواحد تتعلق بموضوع واحد.
٣. كل سطر متفرد (أي لا يوجد ازدواج في السجلات).
٤. ترتيب السطور غير مؤثر.
٥. ترتيب الأعمدة غير مؤثر.

والشكل التالي يقدم مثالا توضيحيا لتطبيق هذه المبادئ الخمسة في قواعد البيانات الجغرافية، ففي الشكل (أ) يمثل الجدول قاعدة بيانات تقدير الضرائب، وفي الشكل (ب) تم تمثيل هذه القاعدة في قاعدة بيانات نظام معلومات جغرافي حيث تم تقسمه العمود الأخير في الجدول الأصلي إلي عمودين منفصلين تطبيقا للمبدأ الأول من المبادئ الخمسة، مع إضافة عمود المفتاح OBJECTID، وفي الشكل (ت) تم تجزئة قاعدة البيانات إلي ثلاثة جداول منفصلة لتتناسب مع تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في مجال تقدير الضرائب مع وجود عمود مفتاح مشترك لربط البيانات بين الجداول الثلاثة، وعند تطبيق عملية الربط join بين الجداول الثلاثة نحصل علي الجدول المجمع في الشكل (ث).



شكل (١٨-٢٠) نموذج لقواعد البيانات الجغرافية في مجال تقدير الضرائب

١٨-١١ لغة الاستعلام SQL

تعد لغة الاستعلام التركيبية القياسيةStructured/standard Query Language (أو اختصارا SQL) هي اللغة القياسية المطبقة في معظم برامج نظم المعلومات الجغرافية. وعادة فأن استعلامات SQL يتم تنفيذها compilation من خلال واجهة مستخدم رسومية حيث تكون عمليات التنفيذ مخفية وتظهر نتيجة الاستعلام مباشرة للمستخدم. وتتكون أوامر أو جمل statements لغة SQL من ثلاثة أنواع: لغة تحديد البيانات data definition language (DDL)، لغة إدارة البيانات data manipulation language (DML)، و لغة التحكم في البيانات data control language (DCL). وعلي سبيل المثال فالشكل التالي يمثل استعلام SQL للبحث عن قطع الأراضي من النوع السكني و التي تزيد قيمة الضريبة لها عن ٣٠٠٠ دولار. وبالطبع هناك كتب متخصصة في تعلم لغة SQL للمستخدمين.

```
SELECT Tab10_3a.ParcelNumb, Tab10_3c.Address,
   Tab10_3a.AssessedValue
FROM (Tab10_3b INNER JOIN Tab10_3a ON
   Tab10_3b.ZoningCode =
   Tab10_3a.ZoningCode) INNER JOIN Tab10_3c
   ON Tab10_3a.OwnersName =
   Tab10_3c.OwnerName
WHERE (((Tab10_3a.AssessedValue)>300000) AND
   ((Tab10_3b.ZoningType)="Residential"));
```

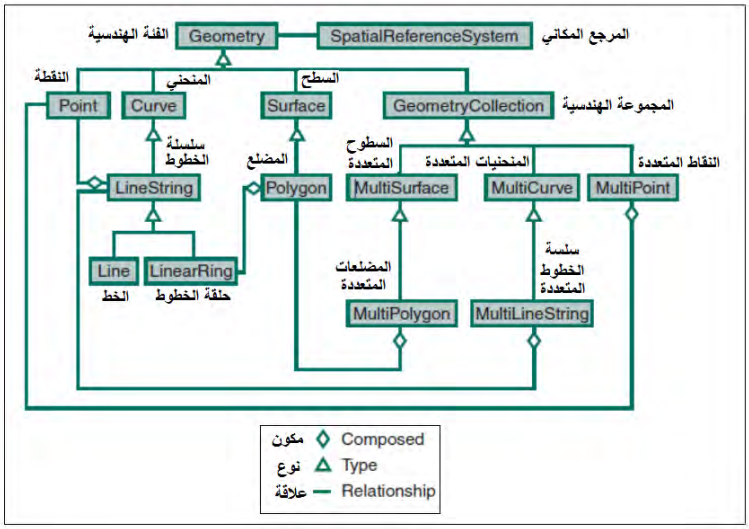
شكل (١٨-٢١) مثال للاستعلام باستخدام لغة SQL

١٨-١٢ أنواع ووظائف قواعد البيانات الجغرافية

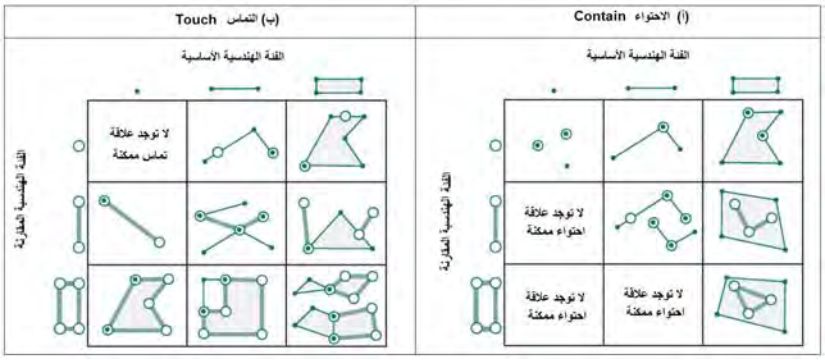
توجد عدة محاولات لتحديد أنواع ووظائف البيانات الجغرافية في صورة قياسية لتمثيل و استخدام هذه البيانات في قواعد البيانات. ومن أهم هذه المواصفات القياسية تلك التي طورتها المنظمة الدولية للمعايير القياسية ISO واللجنة الدولية للمعلومات المكانية OGC، وهو ما سنتعرض له في هذا الجزء.

تم تحديد أنواع ووظائف البيانات الجغرافية المستخدمة في قواعد البيانات في الصورة الهرمية الهندسية الممثلة في الجزء السابق. فالفئة الهندسية geometry class هي الأساس، ويوجد معها مرجع مكاني spatial reference (نظام إحداثيات و نظام إسقاط). وتشمل الأنواع الفرعية أو الثانوية للفئة الهندسية كلا من: النقطة point، المنحني curve، السطح surface، والمجموعة الهندسية geometry collection. أما الفئات الأخرى (المربعات) و العلاقات (الخطوط) في الشكل فتمثل كيفية إنشاء فئة هندسية لنوع محدد من الفئات الأخرى، فمثلا سلسلة الخطوط line string هي مجموعة من النقاط.

بناءا علي هذه المعايير القياسية فهناك تسعة طرق لاختبار العلاقات المكانية بين هذه الأهداف الهندسية، وكل طريقة تعتمد علي اثنين من المدخلات input لعمل تقويم أو اختبار إن كانت العلاقة حقيقية أم لا. وعلي سبيل المثال فالشكل التالي يوضح مثاليين للعلاقات المكانية الممكنة بين النقاط و الخطوط و المضلعات. ففي الشكل (أ) نري حالة الاحتواء contain بين النقاط، فهناك دوائر الدوائر الكبيرة التي تحتوي داخلها دوائر صغيرة. أما الشكل (ب) فيوضح حالة التلامس touch بين الخطوط والمضلعات، فنري الخطين يلامسان المضلع حيث أنهما يقطعان حدوده.



شكل (١٨-٢٢) التركيب الهيكلي الهرمي للفئات الهندسية



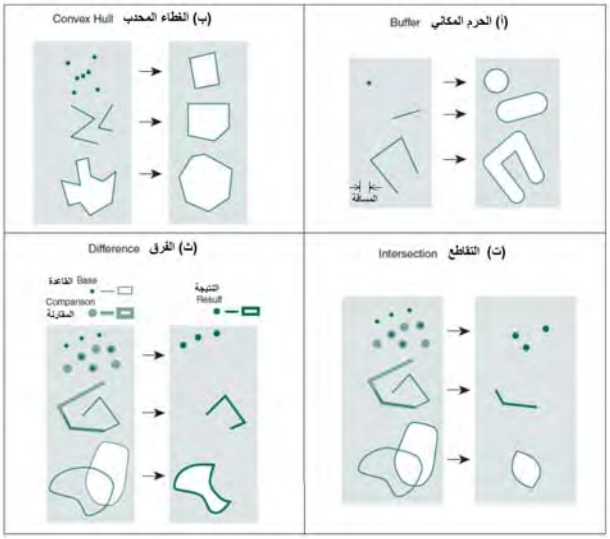
شكل (١٨-٢٣) مثال للعلاقات المكانية الممكنة بين فئتين هندسيتين

كما تشمل المعاملات المنطقية (أو المعاملات غير الجبرية) Boolean operators لاختبار العلاقات المكانية أيضا:

- التساوي equal: هل الفئة الهندسية واحدة؟
- الفصل disjoin: هل الفئات الهندسية تتقاسم نقطة مشتركة؟
- التقاطع intersect: هل الفئات الهندسية تتقاطع؟
- التلامس touch:هل الفئات الهندسية تتقاطع في حدودها؟
- العبور cross:هل الفئات متداخلة؟
- الداخل within: هل فئة داخل فئة أخري؟
- الاحتواء contain: هل فئة تقع بالكامل داخل فئة أخري؟
- التداخل overlap: هل تتداخل فئتين؟
- الاتصال relate: هل التقاطعات بين الحدود الداخلية أم خارج الفئة؟

هناك سبعة طرق تدعم التحليل المكاني للعلاقات الهندسية (المنطقية) للفئات الهندسية وتشمل:

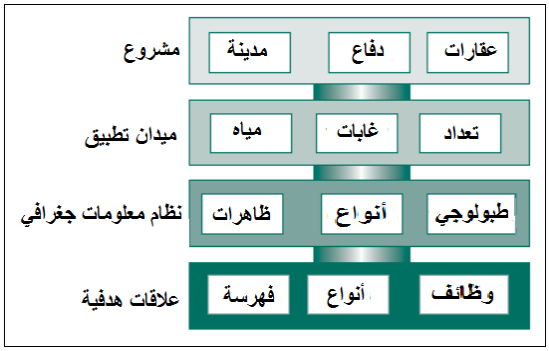
- المسافة distance: قياس أقصر مسافة بين أي نقطتين في فئتين.
- الحرم المكاني buffer: تحديد فئة تمثل جميع النقاط التي لها مسافة أقل من أو تساوي المسافة التي يحددها المستخدم.
- التقاطع intersection: تحدد فئة تضم كل النقاط المشتركة فقط من كلا الفئتين الأساسيتين.
- الاتحاد union: تحدد فئة تضم كل النقاط من كلا الفئتين الأساسيتين.
- الفرق difference: تحدد فئة تضم النقاط المختلفة بين كلا الفئتين الأساسيتين.
- الفرق التماثلي systematic difference: تحدد فئة تضم النقاط الموجودة في احدي (وليس كلا) الفئتين الأساسيتين.
- الغطاء المحدب convex hull: تحدد فئة تمثل غطاء محدب لفئة أخري (أي أصغر مضلع يمكنه تغليف أو تطويق فئة أخري بدون وجود أية أجزاء مقعرة).



شكل (١٨-٢٤) مثال لبعض طرق التحليل المكاني

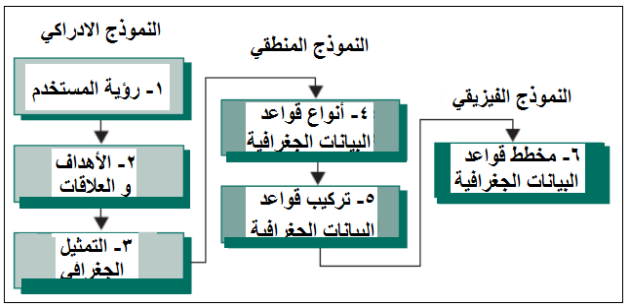
١٨-١٣ تصميم قواعد البيانات الجغرافية

إن كل نظام معلومات جغرافي و كل نظام إدارة قواعد البيانات لديه نموذج بيانات أساسي يحدد أنواع الأهداف و العلاقات التي يمكن استخدامها في أي تطبيق. ويكون برنامج إدارة قواعد البيانات هو الذي يحدد و يقوم بتطبيق نموذج أنواع البيانات ووسائل الوصول إليها مثل استخدام لغة الاستعلام SQL، حيث يسمح هذا البرنامج بالتعامل مع أنواع الظاهرات البسيطة (النقاط و الخطوط و المضلعات) وأيضا العلاقات المكانية. ثم يأتي نظام المعلومات الجغرافي ليبني فوق هذه الأهداف البسيطة ليطور منها أهدافا وعلاقات متقدمة و معقدة مثل شبكات المثلثات غير المنتظمة TIN والبناء الطبولوجي. ويتم دمج أنواع نظم المعلومات الجغرافية مع نماذج البيانات لميادين التطبيق، التي تحدد فئات و مجالات التطبيق (مثل شبكات المياه وخرائط الملكيات ..الخ). وأخيرا تقوم المشروعات الخاصة بإنشاء النموذج الفيزيقي للبيانات. فعلي سبيل المثال ستقوم إدارة تخطيط المدينة بإنشاء قاعدة بيانات لخطوط الصرف الصحي مستخدمة نموذج البيانات الأساسي لهذه الشبكة (أي كقالب template) لبناء كلا من نظام المعلومات الجغرافي و نظام إدارة قواعد البيانات.



شكل (١٨-٢٥) أربعة مستويات لنماذج البيانات في مشروعات نظم المعلومات الجغرافية

يشمل تصميم قواعد البيانات الجغرافية تطوير ثلاثة نماذج: النموذج الإدراكي conceptual والنموذج المنطقي logical و النموذج الفيزيقي أو الطبيعي physical، وذلك من خلال ستة خطوات عملية كما في الشكل التالي.



شكل (١٨-٢٦) مراحل تصميم قواعد البيانات الجغرافية

يبدأ النموذج الإدراكي بنموذج رؤية المستخدم user's view وهو الذي يحدد طبيعة وظائف المؤسسة أو الجهة التي ستتعامل مع قاعدة البيانات الجغرافية وأيضا تحديد نوعية البيانات التي تتطلبها هذه الوظائف، مع تقسيم البيانات إلي مجموعات لتسهيل عمليات إدارة البيانات. ويمكن جمع هذه المعلومات إما في تقارير أو رسومات بيانية. ثم تأتي الخطوة الثانية لتحديد الأهداف و العلاقات objects and relationships وتهدف لتحديد أنواع الأهداف (الفئات) والعلاقات بينهم وأيضا الوظائف المنشودة. أما الخطوة الثالثة فتتكون من اختيار طريقة التمثيل الجغرافي (الأهداف المنفصلة أو المجالات المتصلة) المناسبة للتطبيق قيد الدراسة.

يهدف النموذج المنطقي لعمل ملائمة بين أنواع الأهداف و طرق تمثيل البيانات (أي أنواع قواعد البيانات) المستخدمة في نظم المعلومات الجغرافية. ثم تأتي بعد ذلك خطوة تركيب أو تكوين قاعدة البيانات مثل تحديد العلاقات الطبولوجية و تحديد نوع نظم الإحداثيات و نزع المسقط المستخدم. وفي الخطوة الأخيرة يتم بناء النموذج الفيزيقي للبيانات من خلال تكوين مخطط أو نموذج تطبيقي schema لقاعدة البيانات في صورتها النهائية المطلوبة.

١٨-١٤ نظم المعلومات الجغرافية التوزيعية

قديما كانت أسعار أجهزة الكمبيوتر مكلفة جدا مما كان يضطر الجهات و المؤسسات لجعل خدمات الكمبيوتر في صورة مركزية (إدارة ومكاتب محددة) وجعل المستخدمين يأتون لهذا المكان ليتعاملوا مع البيانات. وتغير هذا الوضع الآن مع رخص أسعار أجهزة الكمبيوتر، ومن ثم أصبحت هناك إمكانية أن يكون كل جزء من مكونات نظم المعلومات الجغرافية متواجدين في عدة أماكن منفصلة، ومن هنا ظهر مصطلح نظم المعلومات الجغرافية التوزيعية distributed GIS. وقد سبق الذكر في الفصل السابع أن هناك عدة هيئات لنظم المعلومات الجغرافية، وهي تعد أمثلة لهذا المفهوم الجديد في علم نظم المعلومات الجغرافية. فهناك العديد من الشركات المنتجة لبرامج نظم المعلومات الجغرافية تطور برامج خاصة تسمح بالعمل علي الأجهزة المحمولة يدويا (مثل الألواح الكفية PDA و أجهزة الجي بي أس). وهذه الأنواع من الأجهزة صارت واسعة الاستخدام لجمع

المعلومات الميدانية أو الحقلية ثم إرسالها upload للمكتب أو الكمبيوتر الرئيسي (الشكل ١١-١). أيضا تتيح مثل هذه البرامج ما يعرف باسم نظم المعلومات الجغرافية للخادم Server GIS أو نظم المعلومات الجغرافية علي الانترنت Internet GIS، والتي تتيح للمستخدمين الولوج لقاعدة البيانات الجغرافية من بعد.

شكل (١٨-٢٧) تجميع البيانات ميدانيا في نظم المعلومات الجغرافية التوزيعية

١٨-١٥ توزيع البيانات

منذ انتشارها في بداية التسعينات من القرن العشرين الميلادي أصبح لشبكة الانترنت العديد من التأثيرات الهائلة علي الوصول لبيانات نظم المعلومات الجغرافية، مما نتج عنه قدرة المستخدمين علي مشاركة قواعد البيانات. يمكن القول أن الانترنت قد أنهت ذلك العصر الذي لم تكن فيه المعلومات الجغرافية متوافرة إلا من خلال الخرائط الورقية. والآن أصبحت هناك مواقع علي الانترنت يصل حجم المعلومات المكانية بها إلي البيتابايت betabyte (حيث يمكن تخزين محتويات مليون ونصف مليون اسطوانة مدمجة CD).فعلي سبيل المثال فأن موقع نظم بيانات و معلومات أرصاد الأرض EOSDIS الممول من وكالة الفضاء الأمريكية ناسا يقوم بتوزيع بيانات و صور أقمار صناعية تصل إلي ما يزيد عن التيرابايت يوميا.

يعد نوع "بيانات مستوي الهدف object-level metadata" أو اختصارا OLM من أهم أنواع فهرسة البيانات التوزيعية، فيمكن تخيله كما لو كان "أرشيف مكتبة" يمكن المستخدم من سرعة البحث عن كتاب معين. وفي نظم المعلومات الجغرافية التوزيعية distributed GIS يعمل نموذج OLM علي إتمام البحث بسرعة عالية بالإضافة للتأكد من وجود قاعدة البيانات التي تفي بمتطلبات المستخدم، فمثلا تحديد مستوي الوضوح المكاني spatial resolution لقاعدة البيانات وهل هي مناسبة للاستعلام المحدد من قبل المستخدم أم لا. كما يؤدي نموذج OLM وظيفة ثالثة ألا

وهي إمداد المستخدم ببعض البيانات التقنية الهامة، مثل صيغة البيانات التي تم العثور عليها و اسم برنامج الكمبيوتر الذي يصلح للتعامل معها. وبالطبع فأن إنشاء نموذج "بيانات مستوي الهدف OLM" لقواعد البيانات الجغرافية يتطلب مستوي عالي من الخبرة التقنية، كما يتطلب التقيد بمواصفات قياسية تلتزم بها جميع الشركات المنتجة للبرامج. والمواصفات القياسية الواسعة الانتشار هي تلك التي طورتها اللجنة الأمريكية للبيانات الجغرافية الرقمية CSDGM التي تم نشرها لأول مرة في عام ١٩٩٣م (١٤١٢ هـ). وعلي سبيل المثال فأن برنامج Arc GIS يستخدم صيغتين لنماذج OLM إحداهما باستخدام لغة XLM واسعة الانتشار، والأخرى باستخدام صيغة خاصة بشركة ايزري ذاتها.

تختلف قواعد البيانات الجغرافية في طبيعتها عن أيه أنواع أخري من البيانات، ومن ثم فأن البحث في قواعد البيانات الجغرافية يعتمد علي أولا علي طبيعة البيانات ثم لاحقا علي خاصيتين: الموقع و الزمن. فعند البحث في قواعد البيانات الجغرافية الرقمية الضخمة فأن البداية تكون بتحديد "مجال coverage" لقاعدة البيانات، ثم لاحقا يتم البحث داخل هذه المجموعة من البيانات عن البيانات التي تفي بمعايير الموقع و التاريخ المحددين من قبل المستخدم. ومن هنا ظهر مصطلح "المكتبة الجغرافية geo-library" ليصف المكتبات الرقمية التي يمكن البحث داخلها عن أية بيانات مكانية عن موقع جغرافي محدد.

أيضا يوجد نوع آخر من أنواع الفهرسة في نظم المعلومات الجغرافية التوزيعية وهو المعروف باسم بيانات مستوي المجموعة collection-level metadata أو اختصارا CLM. هذه الطريقة تعتمد علي وصف "مجموعة" من قواعد البيانات وليس قاعدة بيانات واحدة مثل الطريقة السابقة، مما يجعل عملية البحث تتم بصورة أسرع و أكفأ.

١٨-١٦ نظم المعلومات الجغرافية المحمولة

أصبحت أجهزة الكمبيوتر جزءا هاما من حياتنا اليومية، وهناك من لا يستطيع تخيل الحياة بدون جهاز كمبيوتر!. ومع بداية الثمانينات من القرن العشرين الميلادي ظهر الكمبيوتر المحمول ليفتح آفاقا جديدة لم تكن معروفة من قبل. ثم ظهرت شبكات البيانات اللاسلكية (مثل الواي فاي WiFi) لتتيح تبادل البيانات بين الأجهزة والدخول علي شبكة الانترنت بصورة لاسلكية. وأتسع مجال الأجهزة المحمولة بصورة كبيرة ليشمل أجهزة اللوح الكفي PDA والتابلت tablet وأجهزة التليفون المحمول (الموبايل أو الجوال) .... وغيرها الكثير. ومن المتوقع انتشار ما يعرف باسم الكمبيوتر الملبوس wearable computer في السنوات القليلة القادمة، حيث ستكون أجزاء الكمبيوتر مدمجة في ملابس المستخدم (مثل ساعة اليد و الحزام و النظارة ...الخ) ليكون هذا الجهاز مع المستخدم أينما كان التالي.

شكل (١٨-٢٨) الكمبيوتر الملبوس: الجيل الجديد من الكمبيوتر

مع انتشار تطبيقات تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع (الجي بي أس) ظهرت نوعية جديدة من أجهزة الاستقبال مخصصة لتجميع البيانات في إطار نظم المعلومات الجغرافية. وتتميز هذه المجموعة الجديدة من الأجهزة بعدة خصائص تناسب هذا التطبيق أو الاستخدام الحديث. فمن حيث الدقة كانت الأجهزة الملاحية التقليدية (المحمولة يدويا) تتراوح دقتها في حدود عدة أمتار قليلة، بينما كانت الأجهزة الجيوديسية تصل في دقتها الي عدة ملليمترات. وعلي الجانب الآخر فقد كانت أسعار الأجهزة الهندسية مرتفعة بدرجة تجعلها غير مناسبة لمشروعات نظم المعلومات الجغرافية. من هنا فقد تميزت المجموعة الجديدة من الأجهزة بوصولها الي دقة متوسطة (عدة ديسيمترات) مع أسعار متوسطة أيضا تجعلها اختيارا مناسبا لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية. أما ثاني مميزات هذه النوعية من أجهزة الجي بي أس فتمثل في ظهور إصدارات جديدة من برامج نظم المعلومات الجغرافية مخصصة للتثبيت و العمل علي هذه الأجهزة (مثل برنامج ArcPAD من شركة ايزري). ومن ثم فقد أصبح تسجيل البيانات غير المكانية attribute data متاحا أثناء العمل الميداني مع تحديد مواقع أو إحداثيات المظاهر المكانية المرصودة. كما توافرت إمكانيات لتصدير ملفات البيانات الميدانية إلي صيغ تتعامل مباشرة مع برامج نظم المعلومات الجغرافية الشهيرة (مثل صيغة shapefiles). أيضا تتميز بعض هذه الأجهزة بوجود وسائل نقل بيانات متعددة (من خلال البلوتوث أو الواي فاي) لتوفر نقل البيانات بين الأجهزة و الحاسبات بصورة سريعة دون الحاجة لكابلات نقل البيانات التقليدية. كما يمكن لهذه النوعية من الأجهزة أن تتواصل مع شبكات بث تصحيحات الجي بي أس (نظم الازدياد) من خلال شريحة تليفون محمول تمكنها من الولوج لشبكة الانترنت مباشرة في الموقع. ومع وجود كاميرا رقمية مدمجة داخل جهاز الجي بي أس أصبح تسجيل صور المعالم المرصودة ميدانيا في نفس الوقت أسهل وأسرع.

ويمكن تقسيم هذه الأجهزة إلي فئتين رئيسيتين من حيث دقة إحداثيات المواقع المرصودة:

- أجهزة تصل دقتها إلي ما دون مستوي المتر الواحد وتعتمد في طريقة عملها علي أسلوب خط القاعدة المتبع في القياسات المساحية الدقيقة حيث يوجد جهاز ثابت static يحتل

نقطة معلومة الإحداثيات بينما يتحرك الجهاز الثاني rover لرصد النقاط أو المعالم الجديدة. ويقوم الجهاز الثابت بحساب أخطاء إشارات الأقمار الصناعية عند النقطة المعلومة ليستفيد منها الجهاز المتحرك (إما لحظيا من خلال بث التصحيحات أو لاحقا في المكتب في خطوة الحساب data processing) للوصول إلي دقة ديسيمترات في إحداثيات النقاط الجديدة.

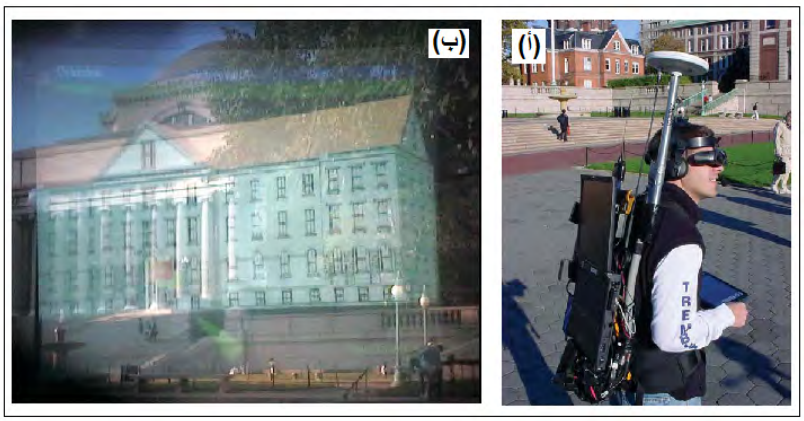
- أجهزة نعمل بمفردها stand alone بحيث لا يكون هناك إلا جهاز واحد فقط يمكنه الوصول إلي دقة ٢-٥ متر، مع الاحتفاظ بكافة المميزات الأخرى لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية.

-

شكل (١٨-٢٩) نماذج لأجهزة الجي بي أس المخصصة لنظم المعلومات الجغرافية

ظهر مصطلح الحقيقية التخيلية أو الواقع التخيلي Virtual Reality (أو اختصارا VR) ليدل علي تطبيق خاص من تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في السنوات الماضية. هذا التطبيق يسمح بإمداد المستخدم بمحتويات قاعدة بيانات بصورة مجسمة أو ثلاثية الأبعاد، من خلال نظارات خاصة أو بإسقاط هذه المعلومات علي حائط بجانب المستخدم، مما يسمح للمستخدم بالانتقال (التخيلي) إلي بيئة أخري أو واقع آخر تمثله هذه البيانات. فعلي سبيل المثال يمثل الشكل التالي نموذج ثلاثي الأبعاد قام بتطويره معمل الواقع الافتراضي بجامعة كاليفورنيا الأمريكية، وهو يمثل كاتدرائية سانتا ماريا في مدينة روما الايطالية (والتي دمرت في عام ٤٤٠ ميلادي). ثم تلا ذلك ابتكار تقنية جديدة في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية تحت مسمي الحقيقية المدمجة أو الواقع المدمج Augmented Reality (أو اختصارا AR) حيث يتم دمج معلومات من قاعدة بيانات مع حواس المستخدم ذاته. ففي هذا النوع من التطبيقات يمكن للمستخدم أن يتخطى ما يراه في العالم الحقيقي لكي يري معلومات مصورة من عالم آخر (مثل معلومات تاريخية أو معلومات مستقبلية تخيلية). فالشكل التالي يمثل نموذجا للواقع المدمج AR حيث يوجد جهاز جي بي أس لتحديد المواقع ونظام معلومات جغرافي يحتوي معلومات تفصيلية عن البيئة أو الواقع التخيلي. وفي هذا المثال فأن المستخدم يسير في موقع محدد (أ) بينما يري بصورة تخيلية ما كان يحتويه هذا المكان في فترة تاريخية سابقة (ب).

شكل (١٨-٣٠) مثال للواقع التخيلي أو الحقيقية التخيلية VR



شكل (١٨-٣١) مثال للواقع المدمج أو الحقيقة المدمجة AR

من الأنواع الأخرى لنظم المعلومات الجغرافية المحمولة ما يعرف باسم الخدمات المعتمدة علي الموقع Location-Based Services (أو اختصارا LBS). ويُعرف نظام الخدمات المعتمدة علي الموقع بأنه خدمة معلوماتية تقدم من خلال جهاز قادر علي تحديد الموقع وقادر أيضا علي تعديل هذه المعلومات المعروضة. وتعد أبسط أنواع هذه الأجهزة هي التي تحتوي جهاز جي بي أس لتحديد المواقع مع جهاز كمبيوتر محمول للوصول إلي قاعدة بيانات الخدمة، ويكون غالبا مجهز بكارت PCMCIA للاتصال بالانترنت لحظيا. ومن أهم التطبيقات التي أدت لظهور هذا النوع من الخدمات تلك التطبيقات المستخدمة في عمليات الإنقاذ والطوارئ (الإسعاف و الدفاع المدني و المرور) حيث يمكن تحديد موقع المتصل بالخدمة ومن ثم معرفة موقعه بدقة وتوقيعه علي نظام معلومات جغرافي (في المركز الرئيسي للجهة) وبالتالي تحديد أقرب مركز طوارئ لهذا المكان مما يسمح بسرعة إرسال الخدمة المطلوبة لهذا المستخدم. وفي هذا التطبيق أيضا أمكن وضع جهاز جي بي أس في كل سيارة من سيارات الطوارئ و الإنقاذ بحيث يمكن للمركز الرئيسي تحديد أقرب سيارة لموقع المتصل و توجيها إليه بسرعة. وكمثال آخر فتوجد خدمات تقدمها شركات الاتصالات المحمولة بحيث يمكنها إرسال معلومات للشخص المتصل (مثل أقرب مطعم أو محطة قطار أو بنك ...الخ) بناءا علي تحديد موقعه.

١٨-١٧ برامج نظم المعلومات الجغرافية

بصفة عامة فان البرامج يتم توزيعها بعدة صور: (١) البرامج التجارية الجاهزة software وهي التي توزع علي اسطوانات الفيديو المدمجة DVD ويتكون كلا منها من مجموعة برامج - وليس برنامجا واحدا - وبرنامج بسيط للتحميل install وملفات للمساعدة help وبعض البيانات للتدريب، (٢) البرامج المتقاسمة shareware وهي التي يتم بيعها بعد فترة تجربة أولية للمستخدم، (٣)البرامج الخفيفة liteware وهي برامج متقاسمة لكن بقدرات محددة، (٤) البرامج المجانية freeware وهي برامج مجانية لكن مع قيود علي الاستخدام، (٥) برامج عامة public-domain software وهي برامج مجانية بدون أية قيود، (٦) برامج مفتوحة المصدر open-source software وهي برامج مجانية مع إتاحة مصدر البرنامج الأصلي source code للمستخدم لكي يمكنه تعديلها و تطويرها. وبالطبع فان شبكة الانترنت أصبحت حاليا الوسيط أو وسيلة النقل الأساسية لتوزيع البرامج.

١٨-١٧-١ تطور برامج نظم المعلومات الجغرافية

في الفترة الأولي لظهور نظم المعلومات الجغرافية كان البرنامج الواحد مكونا ببساطة من مجموعة من البرامج الفرعية routines التي يمكن لمستخدم ذو خبرة في البرمجة استخدامها لبناء برنامج تنفيذي. أيضا كانت هذه البرامج تختلف بشدة في إمكانياتها الفنية ومتطلبات تشغيلها. ومع نمو سوق برامج نظم المعلومات الجغرافية في السبعينات و الثمانينات من القرن العشرين الميلادي زاد الطلب علي برامج ذات إمكانيات اعلي و لها واجهة تنفيذية قياسية مختلفة عن طريقة كتابة الأوامر command line من خلال لوحة المفاتيح. ومن هنا بدا تطبيق واجهة المستخدم بالرسومات graphical user interface وذلك من خلال إنشاء القوائم menus والأيقونات icons. أيضا بدأت البرامج تحتوي إمكانية البرمجة programming لكي يستطيع المستخدم إنشاء تطبيقات لاستخدامات خاصة specific-purposes لا تتوافر بالبرنامج الأساسي (وذلك من خلال لغات البرمجة مثل الجافا Java أو الفيجوال باسيك Visual Basic).

مع انتشار الاعتماد علي نظم المعلومات الجغرافية بدأ ظهور برامج مخصصة لتطبيقات محددة لتفي بمتطلبات هذا القطاع الواسع من المستخدمين المختلفين، فبدأ ظهور برامج معلومات التخطيط (Automated Planning Information Systems)، وبرامج للخرائط الرقمية (Automated Mapping/Facility Management Systems)، وبرامج معلومات الأراضي والملكيات (Land Information Systems)، وبرامج معلومات الخدمات (Location-based Services Systems).

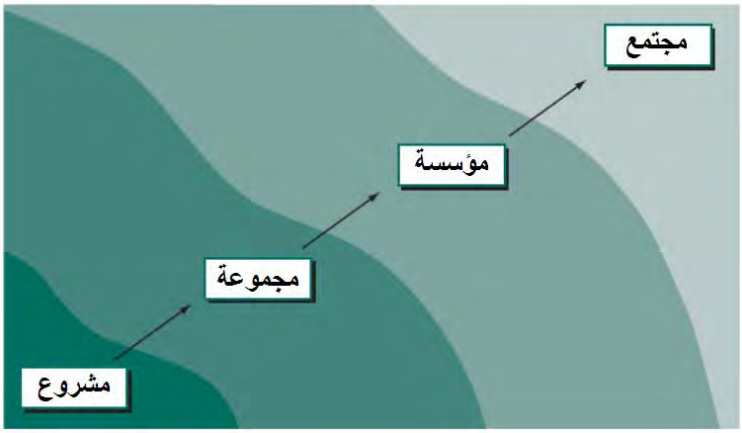
في السنوات القليلة الماضية بدا ظهور طريقة جديدة لتعامل البرامج مع مستخدميها وذلك من خلال شبكة الانترنت، وهو ما يعرف باسم بخدمات نظم المعلومات الجغرافية علي الانترنت web-services. وتسمح هذه الطريقة الجديدة للمستخدمين بتطبيق أو تشغيل برنامج نظم معلومات جغرافية من خلال الانترنت وأيضا باستخدام قواعد البيانات المتاحة من خلال هذه الخدمة. فعلي سبيل المثال يمكن لمدير احدي الشركات الذي يريد تحديد انسب مكان لاختيار موقع فرع جديد للشركة أن يتعامل من خلال خدمات الانترنت مع قواعد بيانات السكان (المتاحة علي الانترنت) و

أيضا مع أدوات نظم المعلومات الجغرافية الخاصة باختيار المواقع ليؤدي الوظيفة المطلوبة، وذلك دون أن تكون هذه الأدوات أو البرامج و قواعد البيانات موجودة بالفعل علي الكمبيوتر الخاص به.

١٨-١٧-٢ أساليب بناء برامج نظم المعلومات الجغرافية

أنواع تطبيقات برامج نظم المعلومات الجغرافية

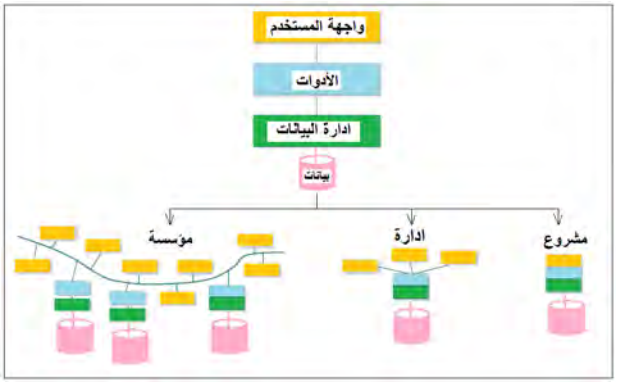
مع بدء دخول برامج نظم المعلومات الجغرافية في التطبيق داخل الجهات كانت النظرة الأساسية لاستخدام البرنامج هي كونه برنامج لمشروع محدد Project GIS حيث يتم جمع المعلومات و تخزينها وتحليلها لمشروع معين مهما طالت فترته الزمنية. وحتى في الجهات أو المؤسسات الكبيرة كان يتم استخدام البرنامج لعدة مشروعات بطريقة تعتمد علي هذه الفكرة الأولية، بمعني أن لكل مشروع قاعدة بيانات خاصة به بل وحتى أفراد مخصصين لكل مشروع. ومع انتشار الاعتماد علي برامج نظم المعلومات الجغرافية وبهدف خفض التكلفة الاقتصادية والتشجيع علي مشاركة البيانات بدأ النظر لبرامج نظم المعلومات الجغرافية علي أنها يمكن استخدامها لعدة مشروعات داخل نفس الإدارة، ومن ثم ظهرت برامج الإدارة Departmental GIS. وتعتمد هذه النوعية من البرامج علي إمكانيات جديدة خاصة في مشاركة و إدارة قواعد البيانات. ثم كانت المرحلة الثالثة عندما زاد اعتماد المؤسسات الكبيرة علي برامج نظم المعلومات الجغرافية في عدد كبير من التطبيقات داخل نفس المؤسسة فظهرت البرامج المؤسسية Enterprise GIS. وتتيح هذه النوعية من البرامج مشاركة البيانات بين عدد من أقسام المؤسسة، وأيضا تقلل من تكلفة تحديث البرامج والبيانات، كما تتيح إدارة مركزية للموارد. أما المرحلة الرابعة فكانت في ظهور البرامج المجتمعية Societal GIS حيث يمكن لمئات - بل وحتى آلاف - من المستخدمين التعامل مع نظم المعلومات الجغرافية من خلال شبكات الكمبيوتر. فكمثال هناك نظام معلومات جغرافي لدولة قطر يضم ١٦ مؤسسة حكومية متصلين معا فيما يعرف باسم نظام معلومات جغرافي لدولة كاملة Nationwide GIS (مع الأخذ بالاعتبار صغر مساحة دولة قطر).



شكل (١٨-٣٢) أنواع تطبيقات برامج نظم المعلومات الجغرافية

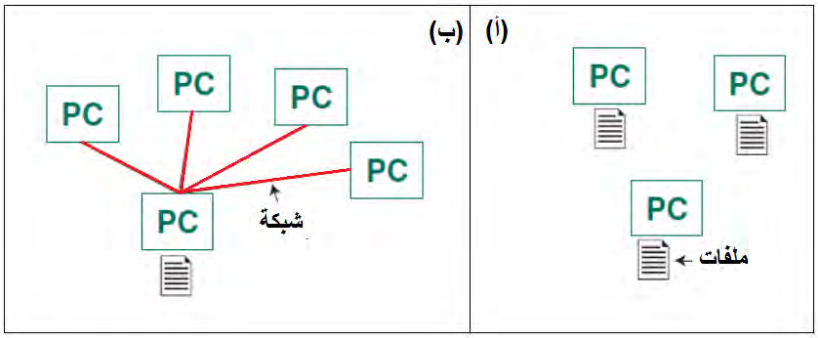
١٨-١٧-٣ البناء الثلاثي لبرامج نظم المعلومات الجغرافية

من وجهة نظر برامج المعلومات فأن برنامج نظم المعلومات الجغرافية يتكون أساسا من ثلاثة مكونات وهي واجهة المستخدم user interface و الأدوات tools و نظام إدارة البيانات data management system. تتكون واجهة المستخدم من مجموعة القوائم و الأيقونات وشرائط الأدوات التي تسمح للمستخدم بصورة رسومية بسيطة من التعامل مع أدوات البرنامج ذاته. أما الأدوات فهي التي تحدد إمكانيات برنامج نظم المعلومات الجغرافية في معالجة و تحليل البيانات. ثم يأتي نظام إدارة البيانات الذي يتحكم في طرق تخزين و معالجة وإدارة ملفات أو قواعد البيانات. وهذا التركيب البنائي لبرامج نظم المعلومات الجغرافية معروف باسم البناء ثلاثي العجلات three-tire architecture.



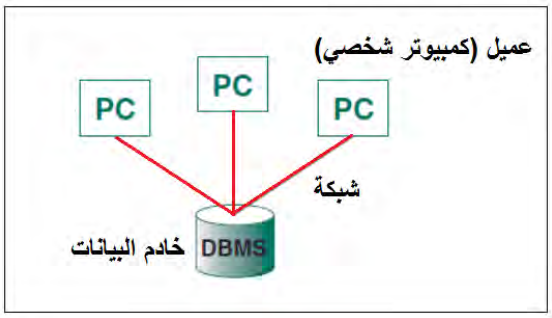
شكل (١٨-٣٣) البناء التقليدي الثلاثي لبرنامج نظم معلومات جغرافية

ويتم تطبيق هذا البناء التركيبي لبرامج نظم المعلومات الجغرافية في أربعة صور أو هيئات مختلفة: كمبيوتر شخصي desktop، و خادم لعميل client-server، كمبيوتر مركزي centralized desktop، و خادم مركزي centralized server. في الهيئة أو الصورة الأولي (شكل أ) تكون المكونات الثلاثة للتركيب البنائي للبرنامج موجودة في كمبيوتر واحد (غالبا كمبيوتر شخصي PC). ومن الممكن أيضا أن تكون ملفات البيانات مخزنة علي خادم كمبيوتر مركزي مع وجود أكثر من مستخدم متصلين معا من خلال شبكة (شكل ب). وهاتين الصورتين يتم استخدامهما في البرامج المخصصة لمشروع محدد Project GIS.



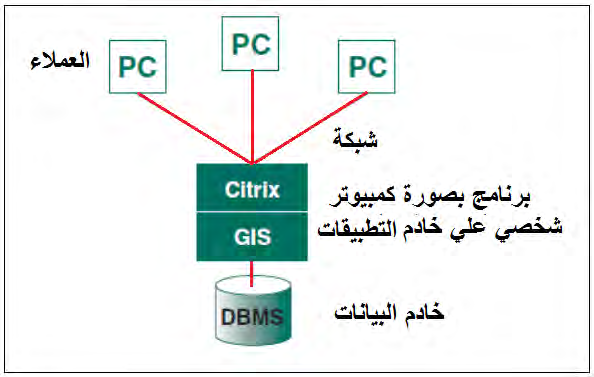
شكل (١٨-٣٤) هيئة كمبيوتر شخصي لبرامج نظم المعلومات الجغرافية

يتم تطبيق الهيئة الثانية (خادم لعميل) في برامج الإدارات Departmental GIS حيث يوجد أكثر من مجموعة من مجموعات المستخدمين، وهنا يمكن لكل مستخدم في كل مجموعة أن يتعامل من خلال الكمبيوترات الشخصية والبرامج المحملة عليها، إلا أن ملفات البيانات ذاتها تكون مخزنة علي خادم مركزي متصل بالشبكة. وجاء اسم هذه الصورة "خادم لعميل" حيث أن كل مستخدم "عميل" يطلب من الخادم الحصول علي بيانات معينة أو يطلب أداء وظيفة معينة وعلي الخادم تنفيذ طلبات هؤلاء العملاء.

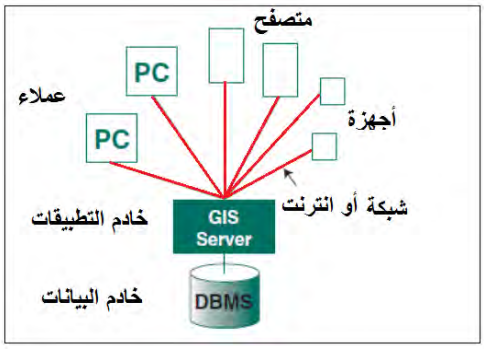


شكل (١٨-٣٥) هيئة خادم لعميل لبرامج نظم المعلومات الجغرافية

في هيئة الكمبيوتر المركزي يتم استضافة كلا من واجهة المستخدم و الأدوات في خادم مركزي يسمي خادم التطبيقات application server، وغالبا يكون ذلك في صورة برنامج نم معلومات جغرافية من نوع الكمبيوتر الشخصي Desktop GIS. لم يكون هناك برنامج آخر (مثل Citrix أو Window Terminal Server) محمل علي خادم التطبيقات ويهدف إلي أن يكون برنامج نظم المعلومات الجغرافية متاحا لجميع المستخدمين (العملاء) المتصلين بهذا الخادم من خلال إما شبكة لمنطقة صغيرة Local Area Network (LAN) أو شبكة لمنطقة كبيرة Wide Area Network (WAN). أيضا تكون ملفات و قواعد البيانات مخزنة علي خادم آخر يسمي خادم البيانات Data Server حيث يوجد برنامج معالجة و إدارة البيانات Data Base Management System (DBMS). أما هيئة الخادم المركزي ففيها يمكن أيضا السماح بدخول بعض الأجهزة أو متصفحات الانترنت علي خادم التطبيقات من خلال الشبكة المحلية أو شبكة الانترنت ذاتها. وهاتين الهيئتين أو الصورتين هي الأكثر شيوعا في برامج نظم المعلومات الجغرافية للمؤسسات Enterprise GIS.



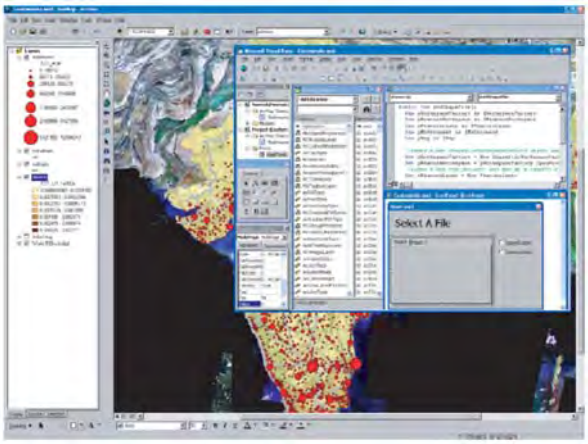
شكل (١٨-٣٦) هيئة كمبيوتر مركزي لبرامج نظم المعلومات الجغرافية



شكل (١٨-٣٧) هيئة خادم مركزي لبرامج نظم المعلومات الجغرافية

١٨-١٧-٤ التخصيص في برامج نظم المعلومات الجغرافية

التخصيص customization هي عملية تعديل برنامج نظم معلومات جغرافي، مثل إضافة تطبيقات أو وظائف جديدة علي سبيل المثال. وبدأت هذه العملية في الظهور مع بداية التسعينات من القرن العشرين الميلادي حيث بدأت شركات البرامج تضم بعض إمكانيات التخصيص ليستخدمها العملاء من المطورين. وحاليا أصبحت عملية التخصيص موجودة في جميع البرامج خاصة باستخدام لغات البرمجة الشهيرة مثل الجافا و الفيجوال باسيك والبايثون Python التي يمكن للمستخدم تطبيقها في كتابة برامج تضيف إمكانيات أو وظائف جديدة لبرنامج نظم المعلومات الجغرافية. والشكل التالي يعرض نموذج لنافذة البرمجة باستخدام الفيجوال باسيك داخل برنامج Arc GIS الشهير من هيئة الكمبيوتر الشخصيDesktop GIS . أما برامج نظم المعلومات الجغرافية من الهيئة المعتمدة علي الخوادم server-based GIS فالأشهر هو استخدام لغة الجافا أو لغة السي C.



شكل (١٨-٣٨) إمكانيات التخصيص في برنامج نظم المعلومات الجغرافية Arc GIS

١٨-١٧-٥ منتجي برامج نظم المعلومات الجغرافية

من أمثلة الشركات المنتجة لبرامج نظم المعلومات الجغرافية ما يلي:

ايزري ESRI: تأسست في عام ١٩٦٩م (١٣٨٨ هـ) علي يد كلا من Jack and Luara Dangermond في ولاية كاليفورنيا الأمريكية. وهذه الشركة تخدم أكثر من مليون عميل علي مستوي العالم ويزيد دخلها السنوي علي نصف المليار دولار. وتركز ايزري علي إنتاج برامج نظم المعلومات الجغرافية بصفة أساسية، إلا أنها أيضا تعمل في مجال تقديم الخدمات الاستشارية لعملائها. وتنتج ايزري عائلة متكاملة من البرامج تحت اسم Arc GIS والتي يمكن استخدامها في الأجهزة المحمولة يدويا والكمبيوترات الشخصية و الخوادم.

انترجراف Intergraph: تأسست أيضا في نفس العام ١٩٦٩م كشركة خاصة - في ولاية ألاباما الأمريكية - تركز علي برامج الرسومات بالكمبيوتر. وتتكون انترجراف من أربعة أقسام أحدهما (قسم الحلول المكانية Geospatial Solutions) هو المختص ببرامج نظم المعلومات الجغرافية. وتنتج انترجراف برنامج جيوميديا GeoMedia و الذي يمكن تطبيقه علي الكمبيوترات الشخصية و الخوادم أيضا.

أوتوديسك Autodesk: اشتهرت شركة أوتوديسك علي مستوي العالم ببرنامجها الشهير AutoCAD للتصميم الهندسي باستخدام الكمبيوتر، والذي يزيد عدد مستخدميه علي الأربعة ملايين. وللشركة ثلاثة منتجات لنظم المعلومات الجغرافية أحدهم Auto Map 3D يعمل علي الكمبيوتر الشخصي، والثاني Map Guide مخصص للانترنت، والثالث OnSite يعمل علي الأجهزة المحمولة يدويا.

جي اي للطاقة GE Energy: تختلف هذه الشركة البريطانية عن سابقيها في أن برامجها تركز علي مجال تطبيقات تصميم و إدارة و تشغيل شبكات الخدمات العامة خاصة شبكات الكهرباء والغاز. وتنتج هذه الشركة برنامج Small world الممكن تطبيقه علي الكمبيوترات الشخصية و الخوادم.

وهناك جهات أخري تنتج برامج تضم إمكانيات نظم المعلومات الجغرافية و الاستشعار عن بعد معا، مثل شركة PCI Geomatics وجامعة كلارك المطورة لبرنامج IDRISI وشركة Leica Geosystems المطورة لبرنامج Erdas Imagine.

١٨-١٨ أنواع برامج نظم المعلومات الجغرافية

يوجد ما يقارب المائة برنامج تجاري تدعي أن بها إمكانيات للخرائط و نظم المعلومات الجغرافية. ويمكن بصفة عامة تقسيم أنواع البرامج إلي أربعة أنواع: برامج مكتبية، برامج للخادم، برامج تطويرية، وبرامج محمولة يدويا، بالإضافة لبرامج أخري.

البرامج المكتبية

تعد برامج نظم المعلومات الجغرافية المخصصة للكمبيوتر الشخصي Desktop GIS النوع الرئيسي من أنواع البرامج التي تعمل - غالبا - تحت نظم التشغيل ويندوز. فهذه النوعية من البرامج تقدم للمستخدم أدوات إنتاجية شخصية في نطاق واسع من التطبيقات و التخصصات، وخاصة مع رخص سعر أجهزة الكمبيوتر الشخصية PC. وتغطي هذه البرامج نطاق واسع من الاختيارات و الإمكانيات تتراوح ما بين برامج بسيطة لعرض المعلومات الجغرافية (مثل برامج Arc Reader, GeoMedia Viewer) إلي برامج بإمكانيات متوسطة (مثل برامج AutoCAD Map 3D, Arc View, GeoMedia) إلي البرامج ذات الإمكانيات العالية للمحترفين (مثل برامج Arc Info, MapInfo Professional, GeoMedia Professional). أما عن أسعار برامج الكمبيوتر الشخصي فهي تتراوح بين ١٠٠-٢٠٠٠ دولار للبرامج المتوسطة الإمكانيات و ٧٠٠٠-٢٠,٠٠٠ دولار للبرامج الاحترافية.

برامج الخادم

من المتوقع أن يزداد الاعتماد في السنوات القادمة علي برامج الخادم Server GIS لنظم المعلومات الجغرافية. وتعتمد هذه النوعية علي وجود البرنامج محملا علي كمبيوتر مركزي يمكنه خدمه عدد كبير من العملاء المتصلين علي الشبكة. ومن أهم مميزات هذه البرامج تكلفتها الاقتصادية القليلة مع التمتع بالإمكانيات التقنية الهائلة لأجهزة الكمبيوتر الخادم. ومن أمثلة برامج الخادم: ArcGIS Server, GeoMedia Webmap, MapInfo MapXtreme. وتتراوح أسعار برامج نظم المعلومات الجغرافية للخوادم بين ٥٠٠٠-٢٥،٠٠٠ دولار.

البرامج التطويرية

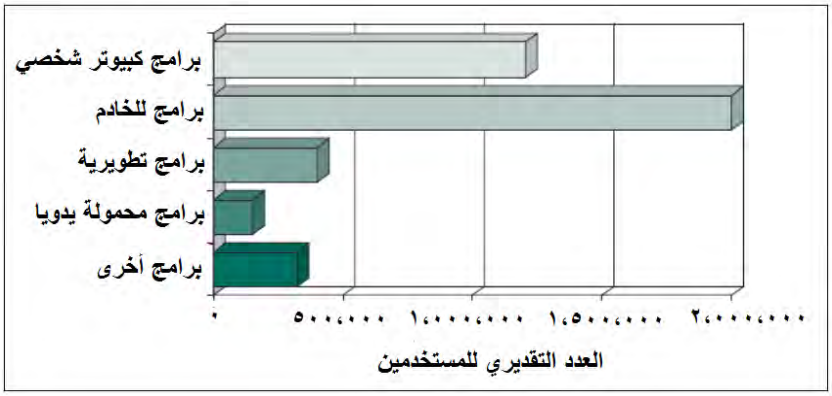
تتمتع هذه النوعية من برامج نظم المعلومات الجغرافية Developer GIS بأنها تقدم أدوات تطويرية للمستخدمين المحترفين (ذوي الخبرة في البرمجة) لتمكنهم من تطوير تطبيقات أو أدوات جديدة. ومن أمثلة هذه البرامج ArcGIS Engine, GeoObjects, Blue Marble Geographics. وغالبا فأن سعر منتج التطوير في برامج نظم المعلومات الجغرافية يتراوح بين ١٠٠٠-٥٠٠٠ دولار.

البرامج المحمولة يدويا

حديثا تم تطوير برامج نظم معلومات جغرافية يمكنها العمل مع الأجهزة المحمولة يدويا Hand-Held GIS وخاصة لخلق التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية و تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع GPS وأيضا أجهزة الجوالات (الموبايل) الذكية smart phones. وبالرغم من صغر حجم هذه الأجهزة المحمولة يدويا فأن إمكانيتها التقنية كبيرة مما يسمح لها بالتعامل مع حجم كبير من البيانات. ومن أمثلة هذه النوعية من البرامج Arc Pad, Autodesk OnSite, Intelliwhere. وتتراوح أسعار البرامج المحمولة يدويا بين ٤٠٠-٦٠٠ دولار.

برامج أخرى

توجد أيضا نوعيات أخرى من البرامج التي تقدم "إمكانيات" لنظم المعلومات الجغرافية. فمثلا توجد برامج من الممكن أن نطلق عليها اسم البرامج الشبكية raster-based GIS والتي تعتمد في الأساس علي توفير إمكانيات تقنية عالية لتحليل الملفات الشبكية raster، وان كانت لا تخلو من بعض إمكانيات التعامل مع الملفات الخطية vector أيضا. ومن أمثلة هذه البرامج Erdas Imagine, Idrisi. وتتراوح أسعار هذه النوعية من البرامج بين ٥٠٠-١٠،٠٠٠ دولار. أيضا توجد نوعية أخرى من البرامج تسمي برامج التصميم المعتمد علي الكمبيوتر Computer-Aided Design (CAD) وهي واسعة الانتشار بين المهندسين و المخططين. ويمكن النظر لهذه البرامج علي أنها بصورة أو بآخري برامج لنظم المعلومات الجغرافية، مع أن إمكانياتها في تحليل البيانات قد تكون بسيطة. ومن أمثلة هذه البرامج AutoCAD Map 3D, GeoGraphics. وتتراوح أسعار هذه النوعية من البرامج بين ٣٠٠٠-٥٠٠٠ دولار.



شكل (١٨-٣٩) أنواع برامج نظم المعلومات الجغرافية

١٨-١٩ نظم المعلومات الجغرافية الديناميكية

تم في التسعينات من القرن العشرين الميلادي تطوير نظم تقنية تهدف إلي "عمل الخرائط المحمولة mobile mapping systems" أو اختصارا MMS. وتتميز هذه الطرق بالاعتماد علي عدة تقنيات لتجميع البيانات المكانية (مثل المسح الجوي الأرضي terrestrial photogrammetry و الرادار و الليزر والجي بي أس) بصورة سريعة و دقيقة ورخيصة اقتصاديا أيضا حيث أنها تقلل من تكلفة العمل الحقلي. وتتكون مثل هذه التقنيات الحديثة من سيارة مركبا عليها مجموعة من أجهزة القياس و التسجيل مثل الكاميرات الفوتوغرافية الرقمية أو كاميرات الفيديو الرقمية وأجهزة الجي بي أس و أجهزة الليزر، بحيث يتم تجميع قياسات هذه الأجهزة بأسلوب تكاملي لحظي باستخدام جهاز كمبيوتر محمول. وبهذا الأسلوب التكاملي يمكن قياس الإحداثيات ثلاثية الأبعاد لكل المعالم المكانية التي يتم تصويرها (فوتوغرافيا أو فيديو) علي طول مسار السيارة، وتوقيع هذه القياسات لحظيا علي الخرائط علي الكمبيوتر لتطوير خريطة رقمية في نفس وقت العمل الميداني. وتصل دقة بعض نظم الخرائط المحمولة إلي عدة سنتيمترات في المستوي الأفقي. ويشتهر تطبيق

هذه التقنية في إنشاء و تحديث خرائط شبكات الطرق وكذلك في أعمال صيانة و إدارة شبكات المواصلات من طرق و سكك حديدية.

شكل (١٨-٤٠) نماذج لنظم الخرائط المحمولة

الفصل التاسع عشر

الخرائط و التحليل و النمذجة في نظم المعلومات الجغرافية

يتعرض هذا الفصل لأسس الكارتوجرافيا و تطوير الخرائط وأيضا أدوات التحليل المكاني و النمذجة المكانية في نظم المعلومات الجغرافية بالإضافة لموضوع ادارة نظم المعلومات الجغرافية.

١٩-١ الكارتوجرافيا و انتاج الخرائط

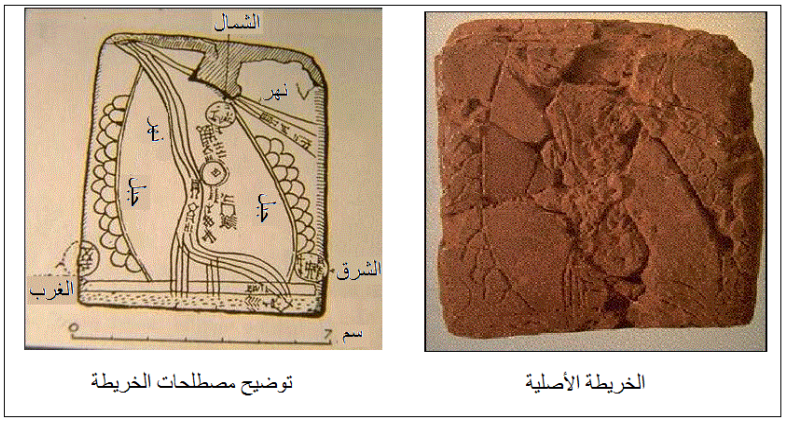
١٩-١-١ مقدمة

تمثل منتجات نظم المعلومات الجغرافية الثمرة الرئيسية في الكثير من المشروعات، مما يجعلها هامة للغاية للمديرين و المهندسين و العلماء. إن الخرائط مازالت تمثل وسيلة فعالة للغاية لتلخيص و نشر نتائج عمليات نظم المعلومات الجغرافية لدي قطاع واسع من الجمهور. وتجدر الإشارة إلي أن جزء كبير من مستخدمي نظم المعلومات الجغرافية مازالوا يعتمدون علي الخرائط بصورة أو بآخري.

تعد الخرائط جسرا يربط بين العالم الداخلي لعقل الإنسان والعالم الخارجي والبيئة المحيطة به، كما أنها من أقدم وسائل الاتصال ونقل المعلومات بين جماعات البشر. يقول المؤرخون أن الإنسان قد عرف الخرائط حتى قبل أن يعرف الكتابة، فقد درج الإنسان منذ قديم الأزل أن"يرسم" طريقا الي هدفا أو موقعا جغرافيا معينا ليسهل عليه الوصول إلى هذا المكان أو الهدف. وقد كانت الجماعات البشرية في العصر البدائي تتجول في مناطق شاسعة بهدف الحصول علي الطعام و الماء مما جعل معرفة الاتجاهات و المسافات و "رسمها" في غاية الأهمية لهم. وقد أكتشف الإنسان القديم أن "الرسم" يمكنه من توثيق و نقل الكثير من المعلومات وخاصة المكانية بطريقة أكثر سهولة و دقة من "الكلام". وقد وجد الأثريون العديد مما يمكن أن نطلق عليه "خرائط" للحضارات البدائية أو حضارات ما قبل التاريخ، مما جعل البعض يرجع عمر الخرائط لحوالي ٨٠٠٠ عام. ومع أن البعض يعيد التاريخ المعروف للخرائط إلي الخرائط البابلية، إلا أنه قد تم العثور في عام ١٩٦٣م (١٣٨٢ هـ) علي ما يمكن أن نطلق عليه "رسم خرائطي" علي الجدران بطول تسعة أقدام في أنقرة بتركيا و يعود تقريبا لعام ٦٢٠٠ قبل الميلاد، ووجد أن هذا "الرسم" يصف قلعة هيوك في الأناضول وأمكن التعرف علي حوالي ثمانين مبني داخل القلعة والجبال البركانية المحيطة بها. وتوجد هذه اللوحة الجدارية في متحف جامعة هارفارد الأمريكية.

تعود أقدم الخرائط المعروفة إلى الحضارة البابلية في العراق (حوالي ٢٥٠٠ عام قبل الميلاد) حيث أنشأت الخرائط كأساس لتقدير الضرائب وكانت ترسم علي لوحات من الصلصال المحروق. وتوجد في متحف آثار جامعة هارفارد الأمريكية أقدم خريطة بابلية معروفة باسم "خريطة جاسور" التي تم اكتشافها في مدينة جاسور شمال بابل في عام ١٩٣٠م وهي عبارة عن لوح من الصلصال مساحته ٧.٦ × ٦.٨ سنتيمتر موضحا عليها جزء من نهر و ما يحيط به من مرتفعات و تلال.

شكل (١٩-١) أقدم "رسم خرائطي" يعود لعام ٦٢٠٠ قبل الميلاد



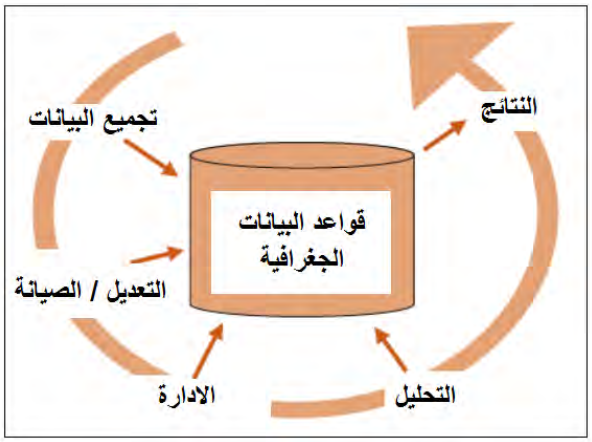
شكل (١٩-٢) خريطة جاسور لعام ٢٥٠٠ قبل الميلاد

إن إعداد و صناعة الخريطة علما في حد ذاته ويسمي علم الكارتوجرافيا Cartography له أسسه و مبادئه و نظرياته. كلمة الكارتوجرافيا مكونة من مقطعين: كارتو بمعني خريطة و جرافيا بمعني رسم، أي أن الكارتوجرافيا هي علم و فن و تقنية إعداد الخرائط. يدرس علم الكارتوجرافيا طرق معالجة البيانات المكانية التي تم قياسها في الطبيعة و كيفية تمثيلها تمثلا هندسيا سليما علي الخريطة (سواء كانت ورقية أو رقمية). ينقسم هذا الهدف إلي جزأين: أولا كيفية التعامل مع الخصائص الهندسية لهذه القياسات المساحية (من حيث وحداتها و أنواعها ونظم القياسات المختلفة) وطرق تحويلها إلي رسم مصغر (مقياس رسم الخريطة)، ثانيا الأساليب الإحصائية لتقسيم البيانات المطلوب إظهارها علي الخريطة. أي أن راسم الخريطة mapmaker لا بد أن يلم بأساسيات علم المساحة و علم الإحصاء.

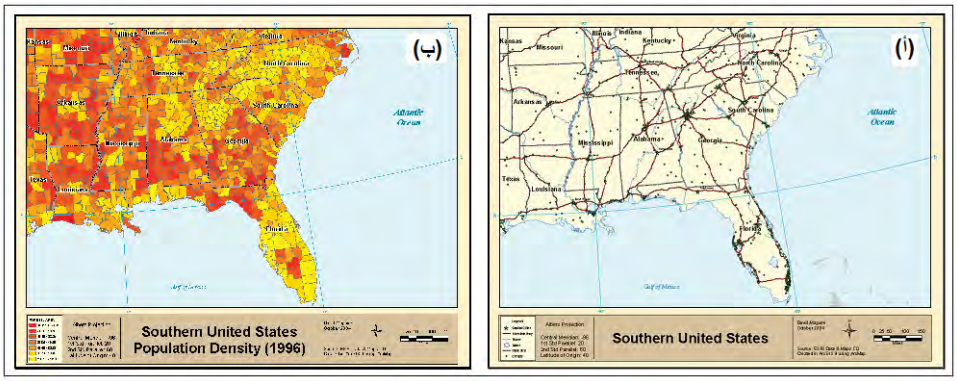
١٩-١-٢ الخرائط و الكارتوجرافيا

توجد عدة تعريفات للخريطة - سواء كانت ورقية أو رقمية - ومنها التعريف التالي المعتمد علي نظم المعلومات الجغرافية: الخريطة هي الناتج النهائي لعدة خطوات من مراحل معالجة البيانات داخل نظام المعلومات الجغرافي بداية من تجميع البيانات ومعالجتها و صيانتها وصولا إلي مرحلة

إدارة البيانات و تحليلها للوصول إلي الخريطة.وهناك نوعين أساسين من الخرائط: الخرائط المرجعية reference maps التي تمثل معلومات جغرافية عامة مثل الخرائط الجغرافية و الخرائط الطبوغرافية و الخرائط التفصيلية، والخرائط الموضوعية thematic maps التي تمثل موضوعا جغرافيا محددا مثل التعداد السكاني أو التربة. ففي الشكل (أ) نري خريطة طبوغرافية للولايات الجنوبية في أمريكا، بينما يمثل الشكل (ب) التوزيع السكاني لهذه الولايات.



شكل (١٩-٣) عمليات نظم المعلومات الجغرافية لإنتاج الخريطة



شكل (١٩-٤) مثال لأنواع الخرائط

تؤدي الخرائط وظيفتين رئيسيتين، فهي وسيلة فعالة لحفظ وأيضا نشر المعلومات الجغرافية. فقديما كنا نقول أن "الصورة تغني عن ألف كلمة"، والآن يمكننا أن نقول أن "الخريطة تغني عن ألف بايت byte ". فالخريطة من الممكن أن تمثل معلومات خام raw data في صورة رقمية، ومن الممكن أيضا أن تمثل نتائج عمليات التحليل المكاني لظاهرة محددة. أيضا فالخريطة تقدم علاقات مكانية عن الظاهرات الممثلة علي نفس الخريطة أو علاقات مكانية بين عدة مواقع جغرافية. وتتطلب عملية اتخاذ القرار توافر الخرائط الدقيقة و الحديثة عن منطقة الدراسة.

غيرت نظم المعلومات الجغرافية الطريقة التقليدية لإنشاء و استخدام الخرائط، ويمكننا القول أن الكارتوجرافيا الرقمية digital cartography قد حررت صانع الخريطة من عدة قيود كانت موجودة في إنتاج الخرائط الورقية، ومنها:

١. تعتمد الخريطة الورقية علي مقياس رسم محدد fixed scale، لكن إمكانيات التكبير و التصغير zoom in/zoom out الموجودة في برامج نظم المعلومات الجغرافية تتيح رؤية و طباعة الخريطة في عدة مقاييس رسم.
٢. تغطي الخريطة الورقية امتداد جغرافي محدد fixed extend، بينما تتيح نظم المعلومات الجغرافية التعامل (في مشهد واحد) مع عدة خرائط متجاورة تغطي منطقة جغرافية كبيرة.
٣. تمثل معظم الخرائط الورقية نظرة ثابتة static view للعالم، بينما تستطيع طرق التمثيل في نظم المعلومات الجغرافية استنباط رؤية ديناميكية dynamic view للواقع الجغرافي.
٤. الخرائط الورقية مستوية أو ثنائية الأبعاد، بينما تستطيع نظم المعلومات الجغرافية التعامل مع البيانات ثلاثية الأبعاد 3D وتمثيلها كمجسم أو سطح.
٥. تعطي الخرائط الورقية نظرة للعالم كما لو كان كاملا، بينما مفهوم الطبقات layers في نظم المعلومات الجغرافية تتيح إظهار أو إخفاء طبقة (أو طبقات) معينة لفحص البيانات بتمعن.

١٩-١-٣ أسس تصميم الخرائط

تعد عملية تصميم الخريطة عملية فنية خلاقة يحاول من خلالها الكارتوجرافي أو صانع الخريطة إيصال المعلومات بصورة سهلة و بسيطة تناسب الهدف من الخريطة ذاتها. فالأهداف الرئيسية للخريطة تشمل مشاركة المعلومات وإبراز الأنماط والعمليات وتمثيل النتائج، بينما تشمل الأهداف الثانوية تطوير صورة سهلة الفهم واضحة وجميلة أيضا دون الإخلال بالأهداف الرئيسية. ومن ثم فأن عملية تصميم الخريطة ليست عملية بسيطة، لكنها تحتاج المقارنة المتزامنة بين المتغيرات و الطرق المختلفة للوصول لأفضل تصميم. ولا يوجد تعريف محدد للتصميم الأفضل للخريطة، لكن بصفة عامة توجد سبعة عناصر تتحكم في عملية تصميم الخريطة وتشمل:

١. الهدف من الخريطة: هو أهم معامل يتحكم في نوعية البيانات التي ستظهر علي الخريطة وكيفية تمثيلها. فالخرائط المرجعية تعد خرائط عامة متعددة الاستخدامات بينما الخريطة الموضوعية يكون لها هدف واحد فقط.
٢. الواقع: غالبا فأن ظاهرات الواقع المطلوب تمثيلها تؤثر علي تصميم الخريطة ذاتها، فعلي سبيل المثال فأن اتجاه امتداد المنطقة الجغرافية سيحدد توجيه الخريطة (طوليا أو عرضيا).
٣. البيانات المتاحة: طبيعة البيانات المتاحة (خطية vector أو شبكية raster) يؤثر أيضا علي تصميم الخريطة وخاصة في تصميم مفتاح الخريطة.
٤. مقياس الرسم: يؤثر مقياس رسم الخريطة علي كمية البيانات الممكن تمثيلها (نتحدث هنا عن الخريطة عند طباعتها، وليس علي الخريطة داخل GIS فهي لا تعتمد علي المقياس كما سبق الذكر).

٥. الجمهور: لكل فئة من الجمهور المستخدم للخرائط متطلبات مختلفة في البيانات المراد إظهارها علي الخريطة، فعلي سبيل المثال فالمديرين يريدون رؤية خلاصة النتائج بينما المستخدمين المتخصصين يطلبون معلومات أكثر تفصيلا.
٦. شروط الاستخدام: البيئة التي سيتم فيها استخدام الخريطة قد تفرض قيودا معينة، فالخرائط المستخدمة في الهواء الطلق تتطلب مواصفات معينة عن الخرائط المفترض استخدامها داخل الغرف والمعامل المغلقة.
٧. القيود الفنية: هل سيتم التعامل مع الخريطة رقميا أم سيتم طباعتها ورقيا سيؤثر أيضا علي تصميم الخريطة، فمثلا خرائط الانترنت التي تظهر علي الأجهزة المحمولة ستكون أبسط من تلك التي سيتم التعامل معها علي شاشات الكمبيوترات الشخصية (ذات قدرة التوضيح resolution الأعلى).

مكونات الخريطة

تشمل المكونات الرئيسية للخريطة عدة عناصر يجب الانتباه لأهمية كلا منهم وعلاقاتهم النسبية:

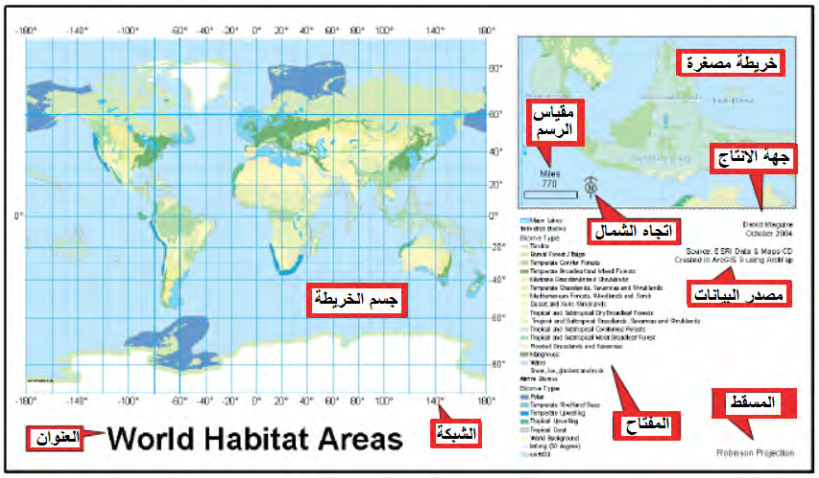
- جسم الخريطة body : أهم عناصر الخريطة، وقد يكون جسما واحدا أو قد يكون أكثر من جزء في الخرائط المقارنة (يسمي أيضا المحتوي الجغرافي للخريطة).
- الخريطة المصغرة inset/overview map : خريطة من الممكن استخدامها لتوضح جزء من جسم الخريطة الأصلية بصورة أكثر تفصيلا أي بمقياس رسم أكبر (وتسمي inset map) أو لتوضح الموقع العام لمنطقة جسم الخريطة (وتسمي overview map).
- العنوان title : عنوان الخريطة يحددها أو يعرفها، وأيضا يوضح للمستخدم محتوياتها.
- مفتاح الخريطة legend : قائمة بالرموز المستخدمة في الخريطة و دلالة كل رمز منهم.
- مقياس الرسم scale : مؤشر لحجم الأهداف و المسافات بينهم، من خلال النسبة بين الوحدة علي الخريطة ونظيرتها الحقيقية علي الأرض. فمثلا المقياس ١ : ١٠٠٠ يدل علي أن كل وحدة واحدة علي الخريطة تمثل ألف وحدة علي الطبيعة. وقد يكون مقياس الرسم كتابيا scale text أو خطيا scale bar.

مقياس رسم الخريطة	ما يمثله ١ سنتيمتر في الطبيعة
١ : ٢٠،٠٠٠	٢٠٠ متر
١ : ٢٥،٠٠٠	٢٥٠ متر
١ : ٥٠،٠٠٠	٥٠٠ متر
١ : ١٠٠،٠٠٠	١ كيلومتر
١ : ٢٥٠،٠٠٠	٢.٥ كيلومتر
١ : ٥٠٠،٠٠٠	٥ كيلومتر
١ : ١،٠٠٠،٠٠٠	١٠ كيلومتر

- مؤشر الاتجاه direction indicator : لتحديد اتجاه الخريطة، وقد يتم استخدام شبكة الإحداثيات (شبكة من خطوط الطول و دوائر العرض graticule، أو شبكة من

الإحداثيات المتعامدة grid) للدلالة علي اتجاه الخريطة أو قد يتم رسم مؤشر لاتجاه الشمال north arrow.

- معلومات الخريطة metadata : تشمل عدة أنواع من المعلومات مثل مسقط الخريطة projection، تاريخ الإنتاج، جهة الإنتاج، البيانات المصدر التي تم الاعتماد عليها في إنتاج الخريطة.



شكل (١٩-٥) المكونات الرئيسية للخريطة

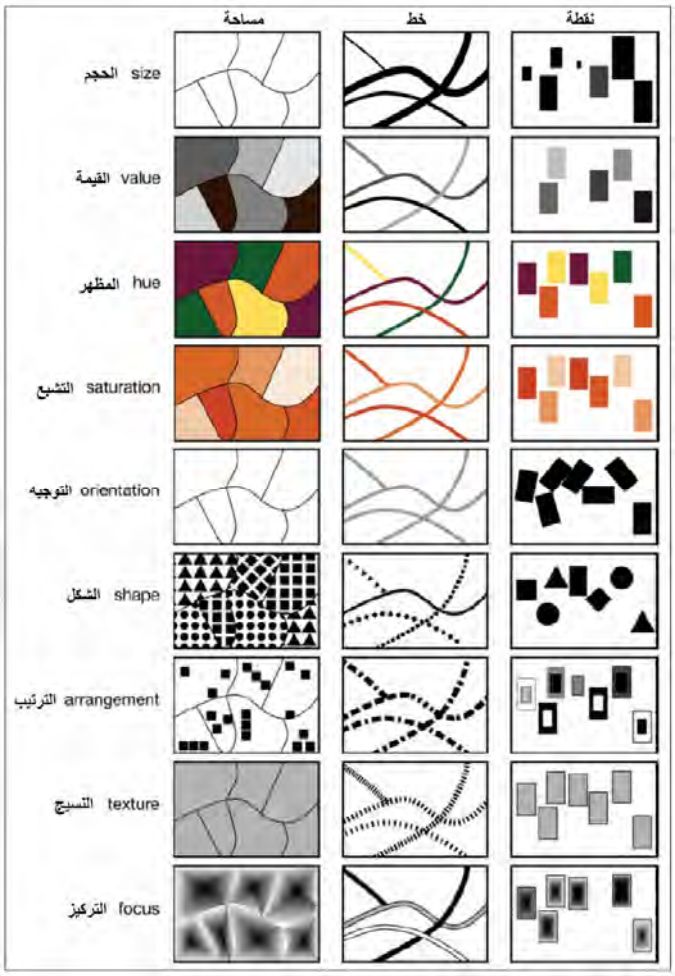
يتطلب التصميم الجيد للخريطة أن تتوازن جميع عناصرها (حجما و شكلا و مظهرا) بحيث تعطي الخريطة رؤية بصرية متوازنة لقارئ أو مستخدم الخريطة.

رموز الخريطة

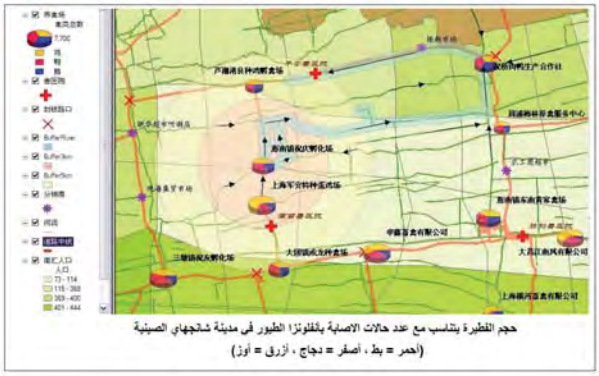
يتم تصنيف و تمثيل البيانات علي الخرائط باستخدام مجموعة من الرموز الرسومية graphic طبقا لقواعد و أسس متفقا عليها. ويعد اختيار أنواع وأشكال الرموز symbolization هاما للغاية في تحديد مدي الاستفادة من الخريطة. وتنقسم رموز الخرائط إلي ثلاثة أنواع رئيسية وهي الرموز النقطية و الخطية و المساحية، ومن الممكن تغيير خصائص كل نوع من هذه الأنواع بعدة طرق لتمثيل عدة أنواع من الظاهرات المكانية. فعلي سبيل المثال يمكن تغيير حجم و توجيه الرموز النقطية و الخطية للتمييز بين قيم الظاهرات (مثلا سمك الخط يدل علي عرض الطريق في الطبيعة في حالة الرموز النوعية qualitative symbols). والشكل ١٢-٧ يوضح مثالا لتغيير حجم الرمز (الفطيرة pie) للدلالة علي قيمة الظاهرة في حالة الرموز الكمية quantitative symbols. أيضا يتم استخدام المظهر (عند استخدام الألوان) للتمييز بين أنواع المجموعات مثل أنواع استخدامات الأراضي أو أنواع التربة. وفي حالة وجود عدد كبير من أنواع الظاهرات المطلوب تمثيلها علي الخريطة يمكن استخدام عدة ألوان مع عدة أنواع من النسيج لاستنباط عدد كبير من الرموز.

في حالة الرموز الكمية المساحية لتمثيل قيمة ظاهرة موزعة مساحيا (خرائط الكوربليث)، فهناك ٤ طرق لتقسيم قيم الظاهرة إلي فئات أو مجموعات ثم تمثيلها رمزيا:

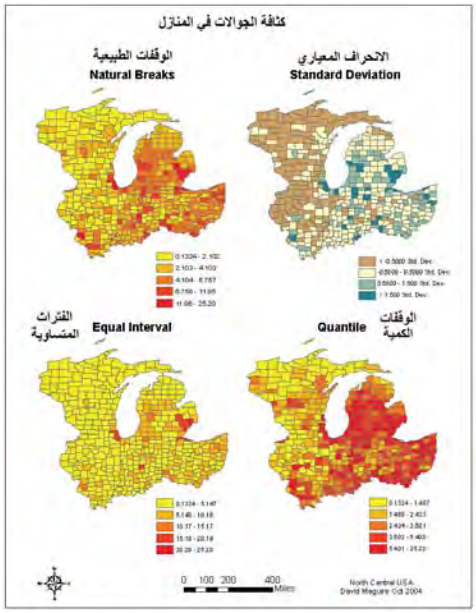
- الوقفات الطبيعية natural breaks: تقسم القيم إلي مجموعات طبقا للمجموعات التي يسهل ملاحظتها بصورة طبيعية بالنظر إلي البيانات.
- الوقفات الكمية quantile breaks: تقسم البيانات إلي مجموعات بكل مجموعة عدد محدد من الأرصاد.
- الوقفات متساوية الفترة equal-interval breaks: تقسم البيانات إلي فئات متساوية في القيمة.
- التقسيم بناءا علي الانحراف المعياري standard-deviation classification: ويظهر المسافة من الرصدة إلي المتوسط.



شكل (١٩-٦) خصائص رموز الخريطة



شكل (١٩-٧) مثال لتغيير حجم الرمز في حالة الرموز الكمية



شكل (١٩-٨) طرق تقسيم البيانات في خرائط الكوربليث

١٩-١-٤ مجموعات الخرائط ونظم المعلومات الجغرافية

أثرت نظم المعلومات الجغرافية تأثيرا هائلا في مجال إنتاج الخرائط الرقمية وطباعتها ورقيا سواء من حيث الدقة أو السرعة أو الجودة. لكن أحد أهم هذه الايجابيات يأتي في مجال مجموعات الخرائط map series للجهات المسئولة عن إنتاج الخرائط (مثل خرائط الأطالس). هنا تتيح نظم المعلومات الجغرافية تصميم "قالب خريطة map template" يحتوي عناصر أو مكونات الخريطة بصورة قياسية ثابتة، ثم يمكن استخدام هذا القالب القياسي لإنتاج وطباعة مجموعة من الخرائط لمنطقة جغرافية بحيث تكون كل الخرائط لها نفس الشكل و التصميم وتختلف فقط في المحتوي الجغرافي لكلا منها. ويعتمد هذا التطبيق علي تطوير قاعدة بيانات جغرافية للظاهرات المكانية المنشودة للمنطقة بكاملها (مجموعة من الطبقات) من حيث تجميع البيانات و تعديلها و

معالجتها و إدارتها و تحديثها. وبناءا علي كم التفاصيل المكانية المتوافرة في قاعدة البيانات الرقمية فمن الممكن تطوير مجموعات من الخرائط في عدة مقاييس رسم لكامل المنطقة (مدينة أو ولاية أو دولة).

١٩-٢ التصور الجغرافي

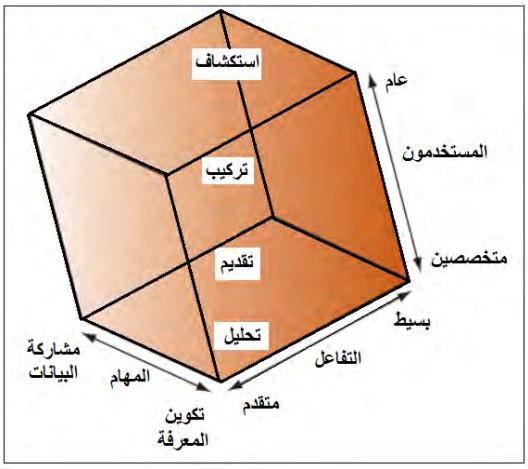
١٩-٢-١ مقدمة

يعد التصور (أو التمثيل المرئي) الجغرافي geo-visualization أحد أهم مميزات نظم المعلومات الجغرافية من حيث تقديم المعلومات مرئية بصريا للمستخدم. فنظم المعلومات الجغرافية تمتلك وسائل أغني وأقوي وأكثر كفاءة في تمثيل المعلومات والتوزيعات عند مقارنتها بالخرائط الورقية. تتطلب عملية اتخاذ القرار (بالاعتماد علي نظم المعلومات الجغرافية) إيصال رسالة تمثيل البيانات الضخمة المتاحة في صورة بسيطة و سهلة الفهم للمديرين و التنفيذيين. وُتعرف عملية التصور الجغرافي علي أنها عملية ابتكار و استخدام طرق التمثيل البصري لتسهيل فهم واستيعاب المعلومات الجغرافية وتكوين المعرفة عن البيئة البشرية و البيئية المحيطة. ومن ثم فأن التصور الجغرافي هو مجال بحثي يستخدم أساليب التمثيل المستنبطة من عدة علوم تشمل علوم الكمبيوتر و الكارتوجرافيا وتحليل المرئيات بالإضافة لعلم نظم المعلومات الجغرافية. ويهدف هذا المجال لتطوير نظريات و طرق و تحليلات مناسبة لتمثيل المعلومات المكانية، أي أنه يتخطي الطرق التقليدية لتصميم الخرائط إلي مرحلة تطبيقية جديدة لإيصال المعلومات الجغرافية لقطاع واسع من المستخدمين في التطبيقات العلمية و الاجتماعية.

١٩-٢-٢ التصور الجغرافي و الاستعلام المكاني

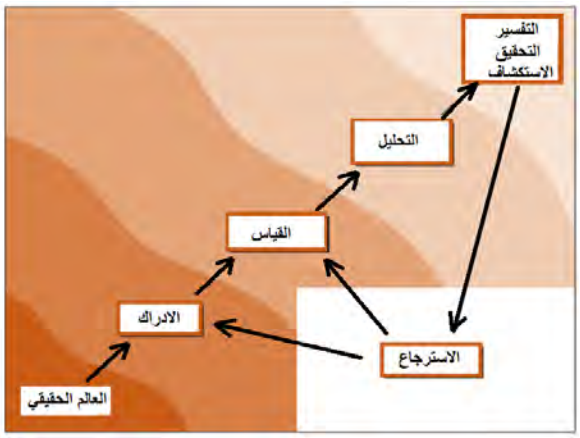
يعتمد التصور الجغرافي الجيد علي فهم طرق الإدراك البشري للأشكال وطبيعة تفكير الإنسان عن المكان و الزمان ومن ثم كيف يمكن تمثيل البيئة المكانية تمثيلا أفضل باستخدام الكمبيوتر و البيانات الرقمية. وفي هذا الإطار فهناك أربعة أهداف للتصور الجغرافي:

- الاستكشاف exploration : تحديد هل يمكن أن تكون الرسالة العامة لقاعدة البيانات حساسة لتضمين أو استثناء عنصر معين من البيانات.
- التركيب الاصطناعي synthesis : تقديم قاعدة بيانات - أو أكثر - معقدة ومليئة بالتفاصيل بصورة يسهل فهمها للمستخدم.
- التقديم presentation : تقديم الرسالة العامة لقاعدة البيانات بطريقة سهلة و ذكية تجعل المستخدم يفهم الإطار العام لجودة التمثيل.
- التحليل analysis : تقديم وسيلة أو وسط مناسب يدعم طرق و تقنيات التحليل المكاني.
- يهدف التصور الجغرافي إلي جعل المستخدمين يستكشفون و يركبون و يقدمون و يحللون بياناتهم الخاصة، حتى و إن اختلفوا في المهام (من مشاركة البيانات وحتى تكوين المعرفة) أو اختلفوا في الخبرات أو اختلفوا في درجات التفاعل.



شكل (١٩-٩) وظائف التصور الجغرافي

يمكن أخذ التصور الجغرافي في الاعتبار وعلاقته بمفهوم عدم اليقين ليتكون لدينا الآن شكلا جديدا لهذا النموذج، بحيث لا يكون التحليل الجغرافي هو نقطة النهاية بل سيكون بمثابة نقطة بداية جديدة لعملية الاسترجاع feedback وإمكانية فحص بدائل أخري للتمثيل.



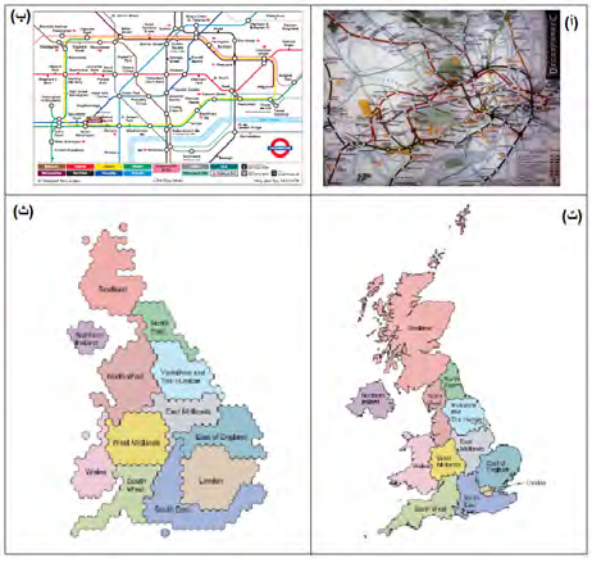
شكل (١٩-١٠) التحليل ليس نقطة النهاية في نمذجة العالم الحقيقي

يكون أبسط طرق تقويم وإعادة تشكيل نموذجا تمثيليا للعالم الحقيقي من خلال الاستعلام المكاني spatial query للإجابة علي عدة أسئلة مثل: أين؟ ماذا يوجد في مكان محدد؟ ما العلاقة المكانية بين ....؟ ما هو المماثل لـ ....؟ أين يقع الحدث .... ؟ ماذا تغير منذ .... ؟ ما هو النمط المكاني لـ ... ؟ وكل برامج نظم المعلومات الجغرافية تتيح شرائط أدوات و أيقونات لتنفيذ عمليات الاستعلام المكاني. أيضا تتيح مواقع خدمات نظم المعلومات الجغرافية علي الانترنت هذه الوظائف حيث أن الاستعلام المكاني يعد من أهم وظائف نظم المعلومات الجغرافية. وربما تبدو عملية الاستعلام المكاني عملية بسيطة، إلا أنها معقدة بطبيعتها خاصة في التطبيقات التي تعتمد علي تحديث البيانات بصورة مستمرة (مثل خدمات المرور).

١٩-٢-٣ التصور الجغرافي و تحويل صور البيانات

تحويل صور البيانات transformation هي عملية تغيير صورة تمثيل البيانات غير المكانية attribute للمساعدة في عمليات التحليل المكاني لخصائص الظاهرات الجغرافية. فعلي سبيل المثال فأن خطوط الشواطئ يتم قياسها (من الخريطة الممسوحة ضوئيا) كمجموعة متتالية من الخطوط المرقمة، لكن تصورها جغرافيا قد يكون في صورة خط واحد يعبر عن الاتجاه العام للشاطئ. أيضا وكمثال آخر فأن الحقول الزراعية يتم قياسها في صورة مضلعات محددة، بينما يمكن تصورها جغرافيا في هيئة مضلعات تعبر عن فئات متجانسة من المحاصيل. أما الأهداف ثلاثية الأبعاد مثل نقاط الارتفاعات المقاسة فيمكن تصورها جغرافيا في صورة نموذج ارتفاعات رقمي. وهذه العمليات من تحويل صور البيانات تهدف لجعل تصورها أو تمثيلها بصريا أسهل في الفهم و التحليل.

الكارتوجرام cartograms هي نوعية خاصة من الخرائط التي لا تحافظ علي الصحة الأفقية ويتم وضع تشوه متعمد للمسافات أو المساحات عليها لأهداف خاصة. وأهم أهداف عمل الكارتوجرام هو إظهار أنماط ربما لا يمكن ملاحظتها في حالة الخرائط العادية لكي تكون الخريطة سهلة القراءة و التفسير. فعلي سبيل المثال فالشكل (أ) يمثل الصورة الحقيقية لمترو الأنفاق في مدينة لندن في عام ١٩٩٣م، وهي ليست خريطة سهلة الفهم لركاب المترو خاصة من الأجانب. ويمثل الشكل (ب) كارتوجرام لشبكة المترو في صورة أكثر بساطة وأسهل فهما. أما الشكل (ت) فيمثل خريطة أقاليم المملكة المتحدة، بينما نري بعض التضخيم exaggeration في الكارتوجرام المناظر (الشكل ث) الذي يمثل الأقاليم متساوية السكان. ويمكننا تخيل هذا الكارتوجرام كما لو كان إسقاط من نوع خاص حيث يتم رسم كل إقليم نسبة لعدد سكانه، لكن بحيث أن الشكل العام لحدود الإقليم ما يزال بقدر الإمكان يشبه شكله الجغرافي الحقيقي. توجد بعض الطرق نصف الآلية semi-automatic لإنشاء الكارتوجرام، إلا أن معظمها يحتاج للتدخل البشري للتعديل النهائي.



شكل (١٩-١١) أمثلة لتطبيقات الكارتوجرام في التصور الجغرافي

١٩-٣ التصور الجغرافي و نظم المعلومات الجغرافية للجمهور

تعد نظم المعلومات الجغرافية من أهم أدوات اتخاذ القرار في العديد من عمليات التنمية. لكن من الأفضل أن يجمع متخذي القرار أراء الجمهور في أية مشروعات تنموية ليتم أخذها في الاعتبار قبل و أثناء تنفيذ هذه المشروعات. ومن هنا ظهر مصطلح جديد يمكن أن نطلق عليه اسم نظم المعلومات الجغرافية للجمهور Public-Participation GIS أو اختصارا PPGIS. وعلي المستوي التقني فأن هذا الأسلوب الجديد يهدف أيضا لتشجيع الجمهور العام علي استخدام نظم المعلومات الجغرافية وإبداء أرائهم ومقترحاتهم لمتخذ القرار في عمليات التنمية المجتمعية. وبالطبع فأن هذا الأسلوب يتطلب إنشاء أكثر من تمثيل لتبسيط عدة أنواع من البيانات غير المكانية attribute للجمهور غير المتخصص لكي يستطيع أن يكون صورة جيدة عن العالم الحقيقي في البيئة المحلية. وتتطلب نظم المعلومات الجغرافية للجمهور برامج من نوع خاص تسمح بعرض بيئة متحركة و تفاعلية interactive and dynamic مع المستخدم، وهنا يلعب التصور الجغرافي دورا مؤثرا.

أيضا يتم تطبيق أساليب التمثيل الجغرافي في طرق الواقع الافتراضي VR بعدة صور لكي تمكن المستخدمين من التعامل مع عدة مناظر من البيانات المكانية بصورة افتراضية. هنا يتم توظيف التمثيل الجغرافي لإنشاء بيئة افتراضية ثلاثية الأبعاد للظاهرات الطبيعية و الصناعية، مع إعطاء المستخدم أدوات للتكبير zoom in و التصغير zoom out و الحركة pan داخل كل نموذج.

يمكن الاستفادة من التصور الجغرافي في تمثيل البيانات ثلاثية الأبعاد 3D لإعطاء صورة أفضل و أسهل في الفهم للظاهرات المجسمة. فعلي سبيل المثال فالشكل (أ) يمثل قياسات الارتفاعات الحقيقية للمنطقة المحيطة بالإستاد الرياضي في مدينة ساوثهامبتون البريطانية باستخدام تقنية المسح الجوي الليزري (المعروف باسم LiDAR). وفي الشكل (ب) تم إسقاط هذه النماذج ثلاثية الأبعاد علي صورة جوية للمدينة بحيث يمكن ملاحظة ارتفاعات الظاهرات المكانية.

شكل (١٩-١٢) التصور الجغرافي و تمثيل الواقع الافتراضي

شكل (١٩-١٣) التصور الجغرافي و التمثيل ثلاثي الأبعاد

١٩-٤ الاستعلام و القياس و التحويل

١٩-٤-١ مقدمة: ما هو التحليل المكاني؟

التحليل المكاني هو العملية التي من خلالها يتم تحويل البيانات الخام إلي معلومات مفيدة تستخدم للدراسات العلمية أو لاتخاذ القرار. وبمعني آخر فالتحليل المكاني هو جوهر نظم المعلومات الجغرافية، حيث أنه يضم جميع عمليات إدارة و معالجة البيانات واكتشاف الأنماط وفجوات البيانات التي لا تظهر بصريا بسهولة بهدف اتخاذ القرار. والمصطلح الشائع الاستخدام هو التحليل "المكاني spatial" وليس التحليل "الجغرافي" حيث أن هذا التحليل يعتمد علي تحليل البيانات في أي حيز مكاني space سواء كان هذا المكان هو الحيز الجغرافي للأرض، أو الحيز الفضائي لأي كوكب، أو حتى الحيز الدماغي لمخ الإنسان. ويعد التحليل المكاني سابقا علي وجود نظم المعلومات الجغرافية ذاتها، فقديما كان هناك "الكارتوجرافيا التحليلية analytical cartography" حيث يتم استخدام طرق تحليل الخرائط الورقية - من خلال القياسات المستنتجة بأجهزة بسيطة - بهدف استنباط معلومات هامة منها.

تتعدد طرق و أساليب التحليل المكاني بشدة، فقد تكون طرق بسيطة للغاية وقد تكون طرق رياضية و إحصائية معقدة للغاية. لكن هذه العملية لا تعتمد فقط علي قوة ومواصفات الكمبيوتر و البرامج المستخدمة، إنما أيضا تحتاج لمستخدم ذكي. فمن الممكن أن نتخيل أن عين و مخ الإنسان يقومان بعمل تحليل بصري بمجرد النظر للخريطة للورقية بهدف استنباط معلومات مفيدة من الخريطة. فإذا استخدمنا الكمبيوتر و البرامج لتحل محل العين البشرية فمازال دور العقل البشري هاما للغاية في إكمال التحليل المكاني الجيد. وهذه نقطة هامة جدا يجب الانتباه إليها:

Effective spatial analysis requires an intelligent user, not just a powerful computer

يختلف التحليل المكاني عن أي نوع آخر من التحليل في أنه يعتمد علي مكان محدد، ومن ثم فمن الممكن تعريف التحليل المكاني علي أنه مجموعة من الطرق التي ستختلف نتائجها باختلاف مكان الأهداف والظاهرات قيد الدراسة. وبالطبع فأن نظم المعلومات الجغرافية تعد منصة مثالية للتحليل

المكاني حيث أن كل مفردات قواعد البيانات الجغرافية مرجعة جغرافيا أي لها مواقع مكانية محددة. وتوجد ستة أساليب عامة لطرق التحليل المكاني وتشمل:

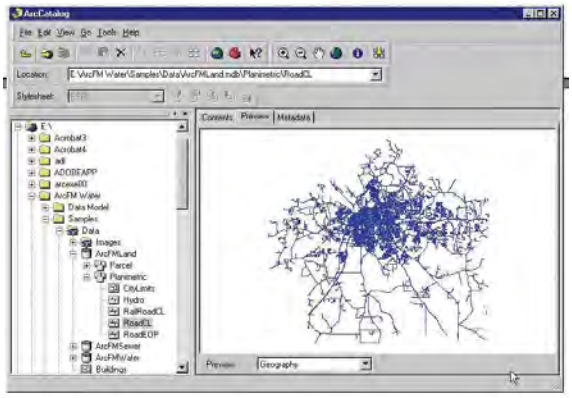
١. الاستعلام query : من أبسط طرق التحليل المكاني حيث يستطيع نظام المعلومات الجغرافي الإجابة علي أسئلة بسيطة من قبل المستخدم مثل: ما عدد المنازل الموجودة في نطاق كيلومتر واحد من هذه النقطة؟ ما هي أقرب مدينة شمالا من مدينة لوس أنجلوس؟. وفي هذه الطريقة لا تحدث أية تغييرات علي قاعدة البيانات الجغرافية ولا يتم إضافة أية بيانات جديدة للنظام.
٢. القياسات measurements : عمل قياسات للحصول علي قيم رقمية بسيطة تصف طبيعة البيانات الجغرافية، مثل القياسات البسيطة كالطول و المساحة والاتجاه.
٣. التحويلات transformations : طرق بسيطة للتحليل المكاني يتم فيها تغيير مجموعة البيانات مثل دمج مجموعتين أو مقارنتهم. ومن أمثلة التحويلات تحويل البيانات الخطية vector إلي بيانات شبكية raster والعكس أيضا.
٤. التلخيص الوصفي descriptive summary : الوصول لملخص مجموعة بيانات من خلال رقم أو رقمين (مثل المتوسط و الانحراف المعياري)، وهو المقابل لفرع الإحصاء الوصفي في علم الإحصاء.
٥. التحديد الأمثل optimization : طرق قياسية تصمم لاختيار الموقع المثالي للأهداف بناءا علي معايير أو شروط محددة.
٦. الاختبار الافتراضي hypothesis testing : الاختبارات التي تركز علي منطقية اعتبار نتائج عينة تمثل نتيجة عامة لمجتمع كامل من البيانات.

١٩-٤-٢ الاستعلام

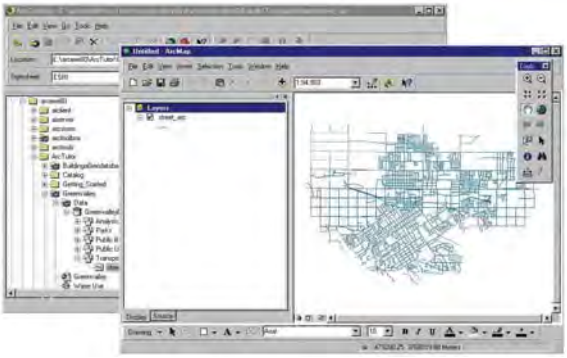
يتيح أي نظام معلومات جغرافي مثالي للمستخدم إمكانية استجواب interrogation النظام عن أيا من محتوياته، ليحصل علي أجوبة فورية. وقد يكون هذا الاستجواب بالتحديد علي الشاشة أو بكتابة السؤال أو من خلال الاختيار في قائمة من شرائط أدوات البرنامج أو (حديثا) من خلال توجيه السؤال شفويا للنظام (في تطبيقات الملاحة بالسيارات حيث لا يمكن الكتابة أثناء القيادة). يتيح أبسط أنواع الاستعلام التفاعل بين المستخدم ومجموعة المشاهدات views التي تقدمها نظم المعلومات الجغرافية. فمشاهدة الكتالوج catalogue view تعرض محتويات قاعدة البيانات المخزنة علي القرص الصلب للكمبيوتر أو علي الاسطوانة المدمجة أو الذاكرة المحمولة (الفلاش ميموري). وعادة يكون الكتالوج في صورة هرمية لعرض محتويات كل مجلد والمجلدات الفرعية به، من خلال صورة تفاعلية مع المستخدم. ومعظم البرامج تتيح للمستخدم معرفة خصائص أي ملف من قاعدة البيانات (مثل نوع المسقط ونوع نظام الإحداثيات) بمجرد الضغط علي اسم الملف واختيار أمر "خصائص properties".

أما مشاهدة الخريطة map view فتعرض محتويات مجموعة البيانات بصورة بصرية وتفتح إمكانيات أكثر للاستعلام، فمثلا بمجرد الإشارة (أو المرور) بالماوس لأي نقطة علي الخريطة يتم عرض إحداثيات هذا الموقع. أما في حالة البيانات الشبكية فيمكن عرض الإحداثيات أو عرض رقم الصف و رقم العمود للخلية.

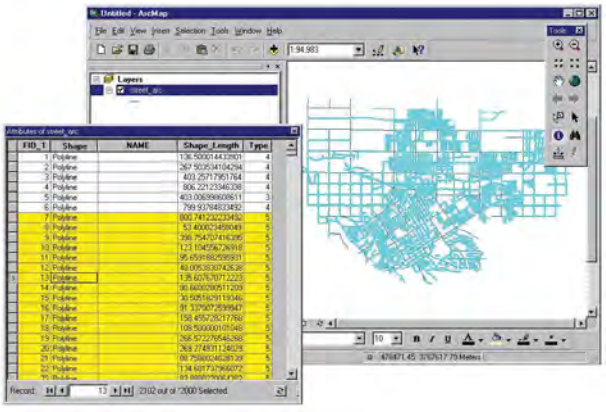
أما مشاهدة الجدول table view فتعرض مصفوفة من الصفوف التي تمثل الأهداف و الأعمدة التي تمثل البيانات غير المكانية، وهو ما يسمي بجدول البيانات غير المكانية attribute table. وبعض برامج نظم المعلومات الجغرافية تعرض مشاهدات أخري مثل الهستوجرام histogram والذي يعرض نوع من البيانات غير المكانية في صورة أعمدة، والتوقيع المشتت scatter plot الذي يوقع قيم نوعين من البيانات غير المكانية في صورة x,y وهذا ما يسمح للمستخدم من اكتشاف أي ارتباط بين هذين النوعين من البيانات.



شكل (١٩-١٤) مثال لمشاهدة الكتالوج في برنامج ArcGIS



شكل (١٩-١٥) مثال لمشاهدة الخريطة في برنامج ArcGIS



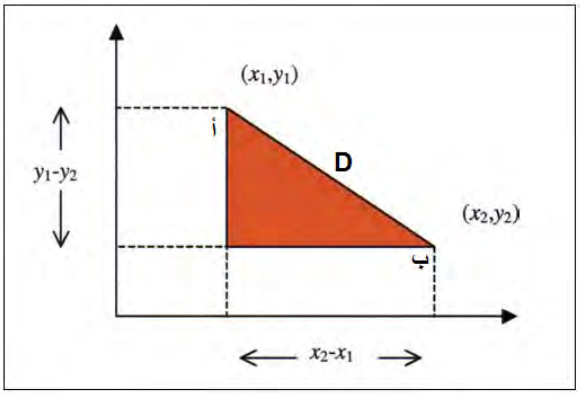
شكل (١٩-١٦) مثال لمشاهدة الجدول في برنامج ArcGIS

تعرض معظم برامج نظم المعلومات الجغرافية أكثر من مشاهدة في نفس الوقت مما يتيح للمستخدم فحص البيانات بصورة تفاعلية أكثر كفاءة. فعلي سبيل المثال يمكن عرض مشاهدة الخريطة و مشاهدة الجدول معا بحيث أن تحديد أهداف معينة في قاعدة البيانات يؤدي لتحديد (تظليل) نفس هذه الأهداف في مشاهدة الخريطة. أما استخدام لغة الاستعلام التركيبية القياسية SQL فهو الأسلوب الأكثر قوة في تطبيق الاستعلام في قاعدة البيانات غير المكانية وقواعد البيانات العلاقية.

١٩-٤-٣ القياسات

من المهم لمستخدم نظم المعلومات الجغرافية أن يقوم بعمل القياسات (مثل مساحة قطعة أرض، أو طول شارع، أو المسافة بين نقطتين) للحصول علي معلومات هامة للمظاهر الجغرافية. وكانت مثل هذه القياسات صعبة و تستغرق وقتا طويلا و تتعرض للأخطاء في مرحلة الخرائط الورقية. ثم أبتكر الإنسان بعض الأجهزة البسيطة لمساعدته في عمل هذه القياسات (مثل جهاز البلانيمتر لقياس المساحات من الخرائط). ثم أتت نظم المعلومات الجغرافية لتجعل هذه القياسات تتم بصورة مبسطة و كفاءة و دقة عالية. وتتم هذه العمليات من خلال برامج فرعية تقوم بتطبيق العلاقات الرياضية بسرعة ودقة، فحساب المسافة المستوية (ولنسميها D) بين نقطتين معلومتين الإحداثيات (نقطة أ: x1,y1 ، ونقطة ب: x2,y2) يتم من خلال المعادلة:

$$D = \sqrt{(x2 - x1)^2 + (y2 - y1)^2} \qquad (19\text{-}1)$$



شكل (١٩-١٧) حساب المسافة المستوية بين نقطتين

لكن - وكما سبق الذكر - فأن الأرض لا يمكن اعتبارها أو افتراضها مستوي إلا في المسافات القصيرة جدا فقط. ومن ثم فعند حساب المسافات الكبيرة فيتم استخدام معادلة رياضية أخري لحساب المسافات علي مسطح كروي (معادلة الدائرة العظمي great circle). ففي الشكل التالي نري تأثير كروية الأرض علي حساب المسافة، فالخط الأحمر يمثل المسافة المستقيمة المباشرة بين مدينتي لوس أنجلوس الأمريكية و لندن البريطانية وطوله ٩٨٠٧ كيلومتر، بينما الخط الأسود يمثل أقصر مسافة علي الكرة (دائرة عظمي) بينهما وطوله ٨٨٠٠ كيلومتر. بل أنه أيضا في بعض التطبيقات - التي تتطلب دقة عالية - يجب الأخذ في الاعتبار أن الأرض ليست كرة كاملة الاستدارة

إنما هي اليبسويد، وهنا يتم استخدام نوع ثالث من معادلات حساب المسافة. تجدر الإشارة أيضا إلي أن المسافة بين نقطتين في حالة تمثيل كلاهما بأبعاد ثلاثية (x,y,z) لن تكون مساوية للمسافة الأفقية بينهما في حالة تمثيل كلاهما بالأبعاد الأفقية فقط (x,y). وهذا الفرق بين كلتا المسافتين قد يكون كبيرا في حالة وجود فرق ارتفاع كبير بينهما، وغالبا فأن برامج نظم المعلومات الجغرافية تقوم بحساب كلتا المسافتين (في حالة قواعد البيانات ثلاثية الأبعاد) وتترك الحكم للمستخدم ذاته. وكذلك سيكون الحال عند حساب مساحات الأشكال طبقا لنوع قواعد البيانات الجغرافية (ثنائية أو ثلاثية الأبعاد). لكن بصفة عامة فأنه في تطبيقات حساب الملكيات فأن المساحة المعتمدة لقطعة أرض هي مساحتها الأفقية وليست مساحتها السطحية المجسمة.

من القياسات التي يتم الاعتماد عليها في فحص و تحليل الظاهرات الجغرافية المكانية تحديد الشكل shape. وفي هذا الإطار يتم الاعتماد علي معادلة حساب مؤشر الشكل أو مؤشر الاندماج compactness factor باستخدام المعادلة التالية:

شكل (١٩-١٨) تأثير كروية الأرض في حساب المسافات

$$s = P / 3.54\sqrt{A} \qquad (19\text{-}2)$$

حيث: s = معامل الاندماج، P = محيط الشكل، A = مساحة الشكل. فشكل الدائرة يعطي معامل اندماج يساوي ١ بينما الأشكال المنتفخة و الملتوية تعطي قيم أكبر.

تعد نماذج الارتفاعات الرقمية Digital Elevation Models (أو اختصارا DEM) أفضل أنواع تمثيل التضاريس في نظم المعلومات الجغرافية. DEM هو تمثيل شبكي raster يكون فيه قيمة الخلية أو البكسل مساوية لقيمة ارتفاع سطح الأرض أو المنسوب، وبالتالي فهو يمثل تضاريس سطح الأرض من خلال مجال متصل من قيم الارتفاعات. ونماذج الارتفاعات الرقمية هامة للغاية في العديد من تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية مثل التنبؤ بآثار ظاهرة الاحتباس الحراري وتقدير تأثيرات ارتفاع سطح البحر علي المدن الشاطئية. أما من حيث القياسات فأن نماذج الارتفاعات الرقمية يتم استخدامها في حساب الميول slopes والأوجه aspects. توجد عدة طرق رياضية

لحساب الميول و الأوجه، واحدي هذه الطرق المعتمدة علي النقاط الثمانية المحيطة بالنقطة الأصلية (طريقة المتجاورات الثمانية eight neighbors) تتم كالتالي:

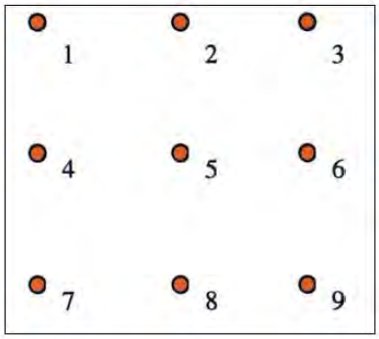
$$b = (z3 + 2z6 + z9 - z1 - 2z4 - z7) / 8D \quad (19\text{-}3)$$

$$c = (z1 + 2z2 + z3 - z1 - 2z8 - z9) / 8D \quad (19\text{-}4)$$

$$\tan(slope) = \sqrt{b^2 + c^2} \quad (19\text{-}5)$$

$$\tan(aspect) = b / c \quad (19\text{-}6)$$

حيث: D تمثل مسافة الخلية أو عرض البكسل، z تمثل قيمة الارتفاع عند كل خلية من الخلايا الثمانية التي تحيط بالخلية الأصلية (الخلية ٥ في الشكل التالي)، slope هو الميل، aspect هو الوجه.



شكل (١٩-١٩) مثال لحساب الميل و الوجه بطريقة المتجاورات الثمانية

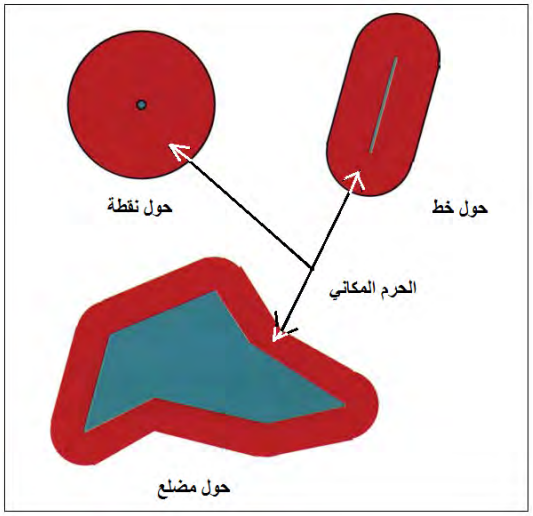
١٩-٤-٤ التحويلات

تستخدم التحويلات transformations لتحويل أهداف و قواعد بيانات نظم المعلومات الجغرافية إلي منتجات مفيدة وذلك من خلال تطبيق قواعد بسيطة. وهذه التحويلات مفيدة للغاية لأنها قد تظهر معلومات لا يمكن بسهولة ملاحظتها في البيانات الأصلية.

الحرم المكاني

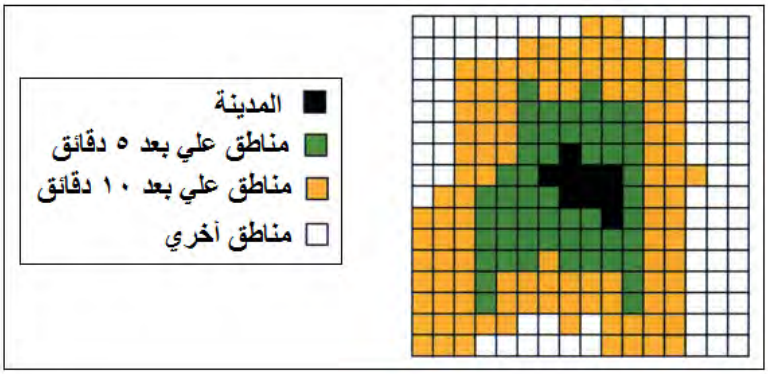
هذه العملية تقوم بتحديد حرم أو حزام مكاني buffer حول الأهداف (نقاط أو خطوط أو مضلعات) بقيمة أو مسافة يحددها المستخدم. وللحرم المكاني عدة استخدامات مثل تحديد مسافة معينة حول الطريق لمنع إقامة أية منشئات فيها (حرم الطريق)، تحديد مسافة معينة حول المجاري المائية لمنع

إقامة أية منشئات قد تتعرض للخطر في حالات الجريان السطحي و السيول، تحديد مسافة معينة حول موقع متجر جديد لمعرفة عدد المنازل و عدد السكان الذين سيخدمهم هذا المتجر عند إنشاؤه.



شكل (١٩-٢٠) الحرم المكاني للبيانات الخطية

يمكن تنفيذ وظيفة الحرم المكاني علي البيانات الخطية و البيانات الشبكية، حيث ستكون النتيجة عبارة عن مضلع في حالة البيانات الخطية و ستكون النتيجة في حالة البيانات الشبكية تصنيف كل خلية إن كانت تقع داخل الحرم أم خارجه. وأحيانا يكون الحرم المكاني مفيد للغاية للبيانات الشبكية، فعلي سبيل المثال فالشكل التالي يوضح مدينة وكل خلية في هذه الشبكة تمثل قيمة الزمن المستغرق للوصول إليها. وبتطبيق وظيفة الحرم المكاني يمكن تحديد المناطق المحيطة بالمدينة التي يمكن الوصول إليها في مدة ٥ دقائق، والمناطق التي يمكن الوصول إليها في مدة ١٠ دقائق (أي أننا استخدمنا الحرم المكاني بناءا علي الزمن و ليس بناءا علي المسافة من هذه المدينة).

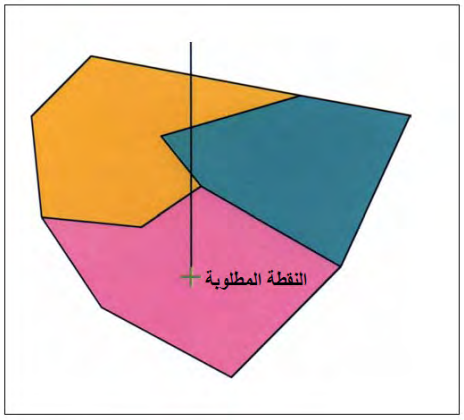


شكل (١٩-٢١) مثال للحرم المكاني للبيانات الشبكية

نقطة في مضلع

تهدف هذه الوظيفة - في أبسط صورها - لتحديد عما إذا كانت نقطة معينة تقع داخل أو خارج حدود مضلع محدد. وفي صورة أكبر من الممكن تحديد مضلع (من مجموعة مضلعات) تقع داخله كل نقطة (من مجموعة نقاط)، وفي حالة وجود عدة مضلعات متداخلة فمن الممكن للنقطة أن تقع داخل مضلع واحد أو أكثر من مضلع أو لا تقع داخل أي مضلع. وتستخدم هذه الوظيفة في الإجابة عن عدد من الأسئلة مثل: تمثل النقاط مواقع الإصابة بمرض معين بينما تمثل المضلعات حدود المدن، والسؤال هو ما عدد الإصابات بهذا المرض في كل مدينة من هذه المدن؟.

رياضيا يتم تنفيذ هذه الوظيفة من خلال رسم خط موازيا لاتجاه المحور y يصل إلي موقع النقطة المطلوبة، ثم يتم تحديد عدد نقاط التقاطع بين هذا الخط و كل مضلع من المضلعات. فإذا كان عدد التقاطعات مع مضلع عددا زوجيا فهذا يدل علي أن النقطة تقع خارج هذا المضلع ، وان كان عدد التقاطعات مع مضلع عددا فرديا فهذا يدل علي أن النقطة تقع داخل هذا المضلع.

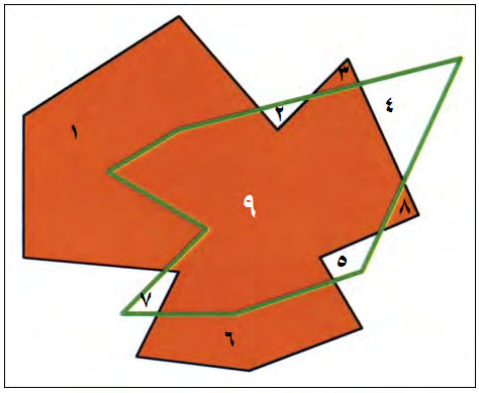


شكل (١٩-٢٢) طريقة تحديد موقع النقطة داخل مضلع

تداخل المضلعات

تمثل وظيفة تداخل المضلعات polygon overlay احدي وظائف فحص تداخل الأهداف المطلوبة في تحليلات نظم المعلومات الجغرافية سواء للبيانات الخطية أو للبيانات الشبكية. ففي البيانات الخطية يتم استخدام هذه الوظيفة لمعرفة إن كان مضلعين متداخلين أم لا، وأيضا تحديد منطقة التداخل. يمثل الشكل التالي مساحتين إحداهما تمثل تصنيف غطاءات الأراضي طبقا للاستخدام و الأخرى تمثل تصنيف الأراضي طبقا للمالك، وتستخدم وظيفة تداخل المضلعات للإجابة عن: ما هو نوع غطاء الأرض لقطعة أرض المالك المحدد؟ ما إجمالي مساحات الأراضي التي يملكها هذا المالك وتقع داخل نوع محدد من الغطاءات؟. وكما نري في الشكل فأن تداخل هذين المضلعين ينتج عته ٩ مضلعات صغيرة، أربعة منهم (أرقام ١، ٣، ٦، ٨) يملكان خصائص المضلع الرئيسي الأول فقط، بينما هناك أربعة مضلعات (أرقام ٢، ٤، ٥، ٧) يملكان خصائص المضلع الرئيسي الثاني فقط، وهناك مضلع واحد فقط (رقم ٩) يملك خصائص كلا المضلعين الرئيسين، وهذا هو الذي يمثل منطقة التداخل المطلوبة. أما في حالة البيانات الشبكية فيتم إنشاء

مجموعة بيانات dataset جديدة تحتوي تقسيم المنطقة إلي أجزاء (مساحات) صغيرة، حيث ستحمل كل مساحة في هذه المجموعة الجديدة نوعين من البيانات غير المكانية attribute من كلا من الشبكتين الأصليتين. ثم يتم تحديد المساحات الصغيرة التي تحمل كلا النوعين المطلوبين من البيانات غير المكانية، ومن ثم تحديد منطقة التداخل وتمثيلها في مجموعة البيانات الجديدة للإجابة عن أسئلة التداخل.



شكل (١٩-٢٣) تداخل المضلعات

الاستنباط المكاني

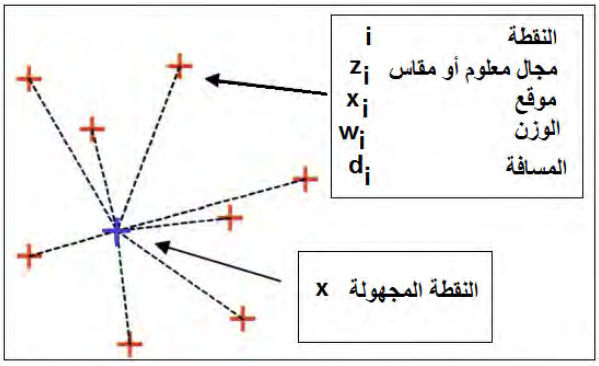
الاستنباط المكاني spatial interpolation هو العملية التي من خلالها يمكن تقدير قيمة مجال متصل عند موقع (أو نقطة) محددة لا توجد لها قياسات لهذا المجال. فعلي سبيل المثال تقدير قيمة درجة الحرارة عند موقع بالقرب من مجموعة محطات أرصاد مناخية، أو تقدير قيمة الارتفاع عند نقطة محددة بناءا علي نموذج ارتفاعات رقمية. وتوجد عدة طرق رياضية و إحصائية لعمل الاستنباط المكاني، و سنتعرض هنا لطريقتين منهما فقط:

طريقة مقلوب المسافة الموزونة:

تعد طريقة مقلوب المسافة الموزونة Inverse-Distance Weighting (أو اختصارا IDW) من أكثر طرق الاستنباط المكاني المطبقة في برامج نظم المعلومات الجغرافية. والنموذج الرياضي لهذه الطريقة يتكون من:

$$z(x) = \sum_i w_i z_i \Big/ \sum_i w_i \qquad (19\text{-}7)$$

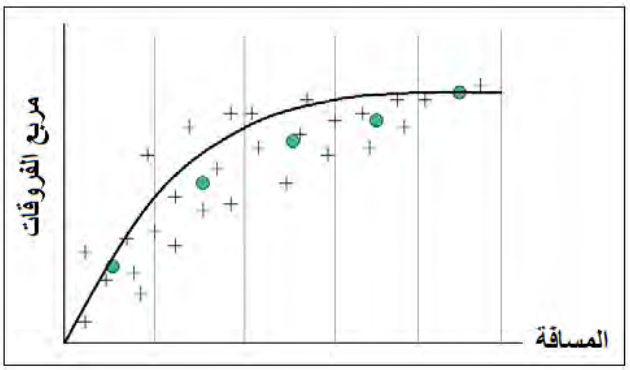
حيث: x النقطة المجهولة المطلوب عندها الحساب، z(x) قيمة المجال عند هذه النقطة المجهولة، i تمثل النقاط المعلومة التي يبلغ عددها n، z_i قيمة المجال (القياسات)عند كل نقطة معلومة، w_i قيمة الوزن عند كل نقطة معلومة ويتم حسابه علي أنه مقلوب المسافة بين النقطة المجهولة وكل نقطة من النقاط المعلومة مما يتيح وزنا أكبر للنقاط القريبة من الموقع المطلوب الحساب عنده.



شكل (١٩-٢٤) طريقة مقلوب المسافة الموزونة للاستنباط المكاني

طريقة Kriging:

طريقة تعتمد أولا علي تحديد الخصائص الإحصائية للمجال المقاس، ثم تطبيق هذه الخصائص في حساب قيمة المجال عند النقطة (أو النقاط) المجهولة. وبصورة مبسطة يمكننا أن نبدأ بنقطة معينة x ونقارن قيمة المجال عندها مع قيم المجال عند النقاط القريبة منها. فإذا كان المجال ناعما smooth فلن يكون الفرق بين قيمته عند النقطة x (أي القيمة $z(x)$) وقيمته عند النقطة القريبة (أي القيمة $z(x_i)$) فرقا كبيرا، وهنا سنعتمد علي قيمة مربع الفرق $(z(x) - z(x_i))^2$ وسنبدأ في توقيع هذه الفروقات علي شكل بياني يسمي "شكل التغيرات" variogram ثم يتم استنباط نموذج رياضي يتوافق مع هذه الفروقات (أي معادلة رياضية دالة في المسافة). ولإتمام الاستنباط المكاني يتم تطبيق النموذج الرياضي الذي تم الحصول عليه لتقدير قيمة المجال عند النقطة المجهولة المطلوبة.



شكل (١٩-٢٥) مثال لشكل التغيرات في طريقة Kriging للاستنباط المكاني

١٩-٥ التلخيص الوصفي و التصميم و الاستنتاج

١٩-٥-١ مقدمة: المزيد من التحليل المكاني؟

مع ابتكار الكمبيوتر وتوافر قواعد البيانات الضخمة تطورت طرق التحليل المكاني إلي أبعد من تلك الطرق البسيطة التي ناقشناها في الفصل السابق. وظهر مصطلح "التنقيب في البيانات data mining"ليدل علي فحص البيانات بصورة أكثر عمقا لمحاولة اكتشاف وجود أية قيم شاذة أو وجود أنماط معينة في التوزيع. فعلي سبيل المثال يتم تطبيق "التنقيب في البيانات" في التطبيقات التجارية لاكتشاف حالات الاشتباه في سرقة كروت الائتمان credit cards. فمع كل عملية استخدام لكارت الائتمان يمكن معرفة مكان استخدامه، ويبدأ الشك عند حدوث عدة عمليات شراء بمبالغ كبيرة في فترة زمنية قصيرة وفي مكان بعيد عن موقع إقامة صاحب الكارت الأصلي. وهنا قد يكون هذا التغير المفاجئ غير المعتاد anomalies في نمط البيانات الرقمية دليلا علي وجود مشكلة (سرقة كارت الائتمان في هذه الحالة). فأسلوب التنقيب في البيانات يهدف لاكتشاف الأنماط و التغيرات المفاجئة في قواعد البيانات الرقمية التي قد تعطي معلومات هامة للغاية. وتجدر الإشارة إلي أن هذا الأسلوب كان وراء اكتشاف ثقب الأوزون فوق القطب الجنوبي.

١٩-٥-٢ التخليص الوصفي

المراكز

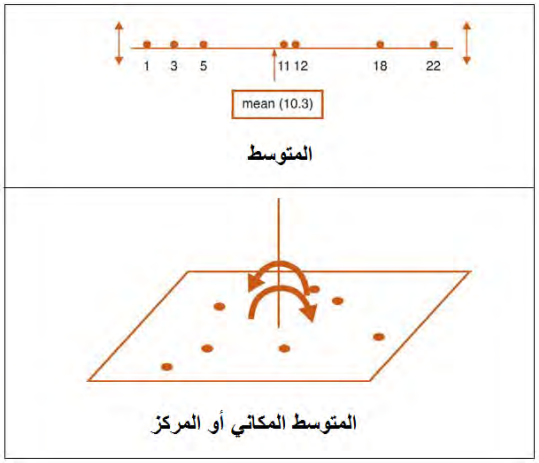
إذا أردنا أن نلخص - بصورة رقمية - حالة الطقس في منطقة فسنستخدم قيمة المتوسط average or mean، فالمتوسط هو أحد مؤشرات قياس ما يسمي بالنزعة المركزية central tendency والتي تهدف لتلخيص مجموعة من البيانات في صورة رقم واحد. ومن المؤشرات الأخرى للنزعة المركزية الوسيط median وهو القيمة التي تتوسط مجموعة من الأرقام بعد ترتيبها تنازليا أو تصاعديا، أو هو القيمة التي تقسم مجموعة من الأرقام إلي قسمين بحيث يكون عدد القيم الأكبر منها مساويا عدد القيم الأصغر منها. أيضا يمكن استخدام مؤشر المنوال mode وهو القيمة التي تتكرر أكثر من غيرها من القيم، أو هو القيمة الأكثر شيوعا أو الأكثر تكرارا بين مجموعة الأرقام.

للبيانات المكانية يوجد مقابل مكاني (أي ثنائي الأبعاد) لمؤشر المتوسط، وهو أحد مؤشرات المراكز centers التي تهدف لتلخيص مجموعة من المواقع (لمجموعة من النقاط) لتحديد مركزها المكاني. يعد المتوسط المكاني centroid or mean center هو النقطة المكانية التي تتوازن عندها مجموعة المواقع (النقاط) في مستوي ثنائي الأبعاد كما أن المتوسط هو نقطة توازن مجموعة القيم. ويتم حساب إحداثيات نقطة المتوسط المكاني الموزون (في حالة أخذ أوزان في الاعتبار) بمثل طريقة حساب المتوسط العددي الموزون، إلا أنه سيكون هناك معادلة لكل إحداثي (x,y) لهذه النقطة المركزية:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^{n} x_i w_i / w_i \qquad (19\text{-}8)$$

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^{n} y_i w_i / w_i \qquad (19\text{-}9)$$

حيث: x_i الاحداثي السيني للنقطة رقم i ، y_i الاحداثي الصادي للنقطة رقم i ، w_i الوزن للنقطة رقم i ، n عدد النقاط.



شكل (١٩-٢٦) المتوسط المكاني أو المركز

التشتت

إن المتوسط بمفرده لا يقدم صورة دقيقة عن مجموعة بيانات من حيث طبيعة توزيعها وتغير قيمها. يقصد بالتشتت في أي مجموعة من القيم dispersion التباعد بين مفرداتها أو التفاوت أو الاختلاف بينها. ويكون التشتت صغيرا إذا كان التفاوت بين قيم الظاهرة قليلا أي متى كانت القيم قريبة من بعضها البعض، ويكون التشتت كبيرا متى كانت القيم بعيدة عن بعضها أو متفاوتة في قيمها بدرجة كبيرة. و تهتم مقاييس التشتت و التباين بالتعرف علي مقدار انتشار البيانات أو القيم. ومن أهم و أشهر مؤشرات قياس التباين قيمة الانحراف المعياري standard deviation والذي يتم حسابه بالمعادلة التالية:

$$s = \sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 / n} \qquad (19\text{-}10)$$

وفي حالة أخذ الأوزان في الاعتبار تصبح معادلة الانحراف المعياري كالتالي:

$$s = \sqrt{\sum_i w_i (x_i - \bar{x})^2 / \sum_i w_i} \qquad (19\text{-}11)$$

للبيانات المكانية ثنائية الأبعاد فأن مفهوم الانحراف المعياري يتحول إلي مفهوم المسافة المتوسطة من المركز mean distance from the centroid (أو المسافة المعيارية standard

distance). فالمسافة المعيارية مؤشر لقياس مدي تباعد أو تركز مفردات الظاهرة مكانيا. وغالبا يتم استخدام قيمة المسافة المعيارية لرسم دائرة تسمي الدائرة المعيارية standard circle والتي يمكن من خلالها معرفة مدي تركز أو انتشار البعد المكاني للظاهرة، ويكون مركز هذه الدائرة هو موقع (إحداثيات) المركز المتوسط. وكلما كبرت قيمة المسافة المعيارية و كبر حجم الدائرة المعيارية كلما دل ذلك علي زيادة الانتشار و التشتت المكاني لتوزيع الظاهرة، و العكس صحيح أيضا.

شكل (١٩-٢٧) المسافة المعيارية و الدائرة المعيارية

١٩-٥-٣ قياس الأنماط: البيانات المكانية للنقاط

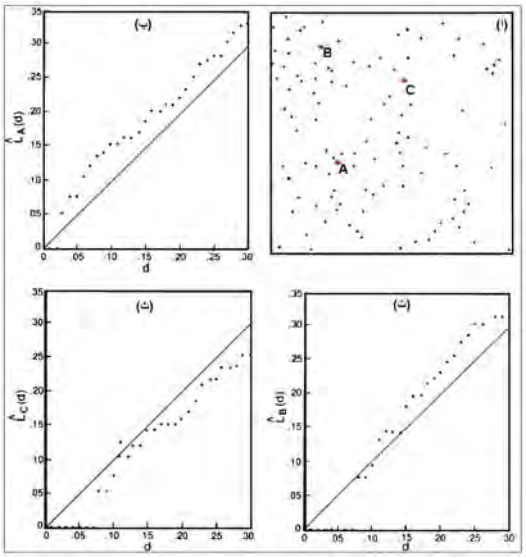
عند فحص مواقع بعض الظاهرات (الممثلة بواسطة نقاط) من المهم اكتشاف إن كان هناك "نمط pattern" معين لتوزيع هذه النقاط. وبمعني آخر هل وجود نقطة من هذه النقاط كان سببا في وجود نقطة أخرى؟. وبصفة عامة فأن الأنماط تنقسم إلي ثلاثة أنواع:

- النمط العشوائي random : مواقع النقاط مستقلة عن بعضها البعض، وكل المواقع لها نفس الاحتمالية المتساوية.
- النمط المركز أو المجمع clustered : بعض المواقع لها احتمالية أكبر من غيرها، فوجود نقطة قد يجذب نقاط أخري بجوارها.
- النمط المتباعد أو المنتظم dispersed : وجود نقطة قد يقلل من احتمالية وجود نقاط أخري في محيطها.

توجد عدة طرق و أساليب لقياس الأنماط، وسيتم التركيز في هذا الجزء علي حالة فحص مواقع النقاط (البيانات المكانية فقط) دون أخذ البيانات غير المكانية attribute في الاعتبار. ومن هذه الطرق ما يعرف باسم دالة k، وهي الدالة function التي تهدف لتحديد مدي التجمع clustering ,والتشتت dispersion بين مواقع مجموعة من النقاط. ويتم حساب الدالة k(d) بقسمة العدد المتوقع للنقاط في حدود مسافة معينةd علي كثافة النقاط. وفي حالة النمط العشوائي فأن هذا الرقم سيكون πd^2 ومن ثم فأننا نقوم بتوقيع الدالة:

$$L(d) = \sqrt{k(d)/\Pi} \qquad (19\text{-}12)$$

الشكل التالي (أ) يوضح مواقع ثلاثة أشجار A, B, C في غابة، بينما الأشكال ب، ت، ث تمثل قيمة الدالة L(d) لكل شجرة من هذه الأشجار مقارنة بالمسافة d علي المحور الأفقي (أي أن كل شكل يمثل توزيع أشجار الغابة مقارنة بأحدي الشجرات الثلاثة قيد الدراسة). نلاحظ في الشكل (ب) وجود أشجار قليلة بالقرب من الشجرة A في المسافات القريبة، لكن تزداد أعداد الأشجار في المسافات الأكبر من ٣٠% من منطقة الدراسة، مما يدل علي وجود درجة من التركز أو التجمع. أما الشكل (ت) للشجرة B فلا يوجد أشجار قريبة لكن يوجد نوع من التركز للمسافات البعيدة. والشكل (ث) للشجرة C يوضح أعدادا بسيطة من الأشجار المتواجدة علي جميع المسافات.



شكل (١٩-٢٨) تحليل الأنماط باستخدام الدالة k

١٩-٥-٤ قياس الأنماط: البيانات غير المكانية للنقاط

يتغير مفهوم قياس الأنماط بدرجة كبيرة عند أخذ البيانات غير المكانية attribute في الاعتبار، فهنا سيكون السؤال عن هل القيم الكبيرة (للبيانات غير المكانية) متقاربة أو مركزة أم هي متباعدة و مشتتة. وفي هذا الإطار فأن معامل موران Moran Index يعد من أفضل مقاييس قياس الأنماط، فهو يستطيع التمييز بين: (أ) الأنماط ذات الارتباط المكاني الموجب حيث القيم الكبيرة تكون محاطة بقيم كبيرة أيضا وكذلك الحال للقيم الصغيرة، (ب) الأنماط العشوائية حيث القيم المتجاورة غير مرتبطة بعضها البعض، (ج) الأنماط المشتتة أو المتباعدة حيث القيم الكبيرة تكون محاطة بقيم صغيرة و العكس صحيح

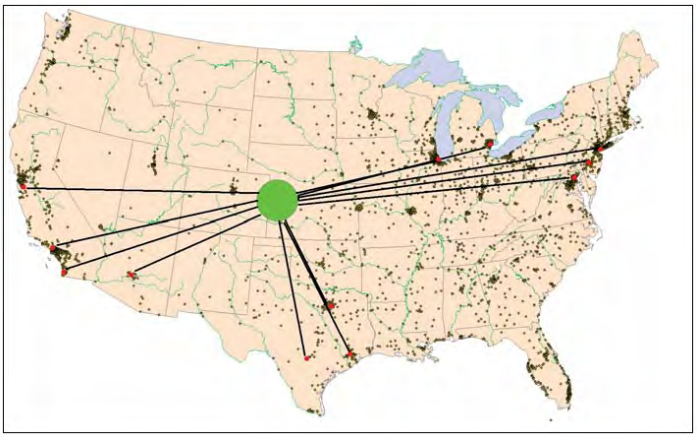
١٩-٦ الموقع الأمثل

يتم استخدام التحليل المكاني (خاصة قياس الأنماط) في مجالات أخري تختلف عن مجرد اكتشاف تخليل الأنماط واكتشاف الشاذات أو التغيرات المفاجئة، إنما تتعدي ذلك إلي محاولة الوصول لإنشاء تصميم أفضل. ومثل هذه الأهداف للتحليل المكاني تشمل تقليل زمن السفر بين نقطتين، تقليل تكلفة

إنشاء مواقع جديدة، تعظيم جدوى الاستفادة. وفي نظم المعلومات الجغرافية يتم تطبيق طرق و أساليب التصميم بهدف دعم اتخاذ القرار، ولذلك تسمي هذه الطرق بنظم دعم القرار المكاني spatial-decision support systems (أو اختصارا SDSS). وتطبق طرق SDSS لتوفير الاسترجاع feedback (أي آراء الجمهور) عن تنفيذ مقترحات متعددة، ومن ثم تقويم كل مقترح منهم. وتنقسم طرق التصميم إلي عدة مجموعات تشمل إيجاد أفضل موقع لنقطة، إيجاد أفضل مسار في شبكة، إيجاد أفضل مسار يمر بعدد من المجالات المختلفة.

١٩-٦ -١ أفضل موقع لنقطة

يطلق علي تطبيقات إيجاد أفضل optimum موقع لنقطة مصطلح مشاكل "الموقع-التوزيع location-allocation" حيث أنها تتطلب اتخاذ قرارين: (١) أين يمكن وضع النقطة الجديدة، (٢) كيف يمكن توزيع الخدمة مركزيا. فعلي سبيل المثال في إنشاء سوبر ماركت جديد فالسؤال هو ما هو أفضل موقع للإنشاء، و أيضا كيف يمكن التنبؤ باختيارات العملاء من كل خيارات التسوق المتاحة في هذه المنطقة. والقرار الثاني يتم بناءا علي نماذج معروفة باسم نماذج التفاعل المكاني وهي مطبقة كثيرا في تطبيقات بحوث الأسواق. والشكل التالي يوضح مثالا لتطبيقات اختيار أفضل موقع، حيث يتم البحث عن أفضل مكان لإنشاء خدمة مركزية جديدة لخدمة عملاء متفرقين (في أكبر ١٢ مدينة بالولايات المتحدة الأمريكية). ومن الممكن اعتبار أن وظيفة المركز المتوسط الموزون تعد من أبسط طرق اختيار الموقع المثالي في بعض التطبيقات. أيضا توجد نماذج رياضية أخري لحل المشكلة من خلال اختيار موقع النقطة الذي يقلل إجمالي المسافات المستقيمة minimum aggregate travel (أو اختصارا MAT).



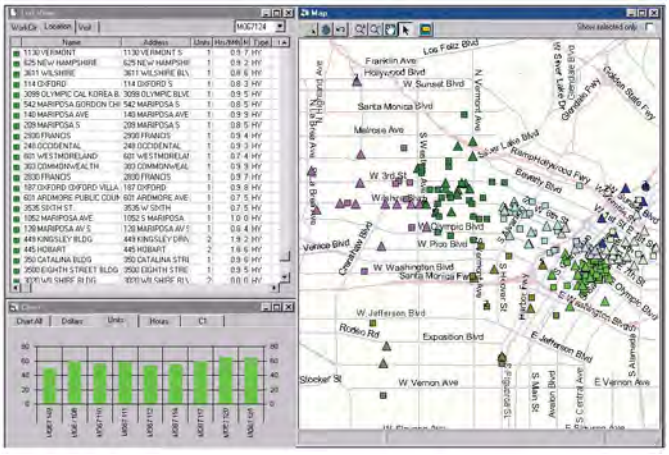
شكل (١٩-٢٩) مثال لاختيار أفضل موقع لنقطة

١٩-٦ -٢ أفضل مسار

من تطبيقات التصميم بالاعتماد علي نظم المعلومات الجغرافية إيجاد أفضل مسار، فعلي سبيل المثال تصميم أفضل مسار لسيارات خدمة معينة (سيارات المدارس وسيارات توزيع البريد). وفي هذه التطبيقات توجد نقطة بداية و نقطة نهاية، وقد توجد عدة نقاط للتوقف علي المسار. وتعتمد هذه

التطبيقات علي مفهوم أقصر مسار shortest path يجعل المسافات المقطوعة أقل ما يمكن، وأحيانا يتم الاعتماد علي إيجاد المسار الذي يقلل زمن الرحلة. وهنا تكون البيانات غير المكانية attribute للشبكة ذات دور مؤثر، مثل طول الطريق و السرعة المسموح بها، عدد الحارات بالشارع، هل الطريق اتجاه واحد أم اتجاهين، عدد التقاطعات أو إشارات المرور علي الطريق....الخ. الآن أصبح تطبيق إيجاد أقصر مسار من التطبيقات الشائعة لدي عملاء نظم المعلومات الجغرافية، وتوجد مواقع علي الانترنت (مثل www.mapquest.com) تقدم هذه الخدمة، كما أن هذه الخدمة أصبحت متاحة في تطبيقات الملاحة باستخدام التليفون المحمول أيضا.

من أبسط طرق إيجاد أفضل مسار ما يعرف بمشكلة رجل المبيعات المسافر traveling-salesman problem (أو اختصارا TSP). في هذا السيناريو يوجد نقطة بداية و عدد من المواقع الواجب زيارتها حيث المسافة معلومة بين كل موقعين، والمطلوب إيجاد أفضل مسار يقلل المسافة الإجمالية المقطوعة. وتوجد عدة طرق رياضية لحل هذه المشكلة. والشكل التالي يقدم مثالا لتطبيقات إيجاد أفضل مسار لأحدي شركات صيانة المصاعد الأمريكية (Schindler's GIS) حيث يتم يوميا إعداد مسار بتحركات كل فني من فنيين الشركة لزيارة عدد من المواقع التي تتطلب صيانة المصاعد بها.



شكل (١٩-٣٠) مثال لاختيار أفضل مسار

١٩-٦ - ٤ الاختبارات الإحصائية

يعد الاستنتاج inferential من أهم أدوات علم الإحصاء، فهو يستخدم المعلومات المستنتجة من العينة للوصول إلي توصيات عامة عن المجتمع الكبير الذي تمثله هذه العينة. فعلي سبيل المثال إذا أخذنا عينة عشوائية مكونة من ١٠٠٠ شخص وتم سؤالهم عن الشخص الذي سيرشحونه في الانتخابات القادمة، وأفاد ٤٥% منهم أنهم سيختارون المرشح "أ". فيقول لنا علم الإحصاء أن ٤٥% من الناخبين سيختارون هذا المرشح، لكن أيضا يفيدنا علم الإحصاء بأن هناك "هامش خطأ margin of error" أو تقدير لكيف سيكون الاختيار بالنسبة لمجتمع الناخبين كله وليس للعينة المختارة. وغالبا يعبر عن هامش الخطأ بمصطلح "حدود الثقة confidence limits"، أي نقول أنه بنسبة ثقة ٩٥% سيكون المجتمع مماثل للعينة. وفي أحد طرق التحليل الإحصائي (توزيع ذو

الحدين) فأن حدود الثقة التي نسبتها ٩٥% تساوي ٣%، بمعني أنه يمكننا أن نقول أن نسبة من سيصوتون للمرشح "أ" ستكون بين ٤٢% و ٤٨% من حجم مجتمع الناخبين.

بالمثل فأن معظم الاختبارات التي يتم تطبيقها علي البيانات المكانية (خاصة اختبارات تحليل الأنماط) يكون لكل منها حدود ثقة معينة، وغالبا فأن هذا يكون ضمن النتائج التي توفرها معظم برامج نظم المعلومات الجغرافية. كما أنه توجد برامج إحصائية مخصصة لاختبار البيانات المكانية (مثل برنامج GeoDa من موقع www.csiss.org).

١٩-٧ النمذجة المكانية

١٩-٧-١ مقدمة

بداية يجب الإشارة إلي أن النمذجة المكانية تختلف تماما عن نماذج البيانات data model التي تعرضنا لها في الفصل الثامن، فتلك النماذج تهتم بكيفية تمثيل البيانات داخل نظم المعلومات الجغرافية، أي بمعني آخر فهي نماذج توضح كيف "يبدو" العالم. أما مصطلح النمذجة المكانية spatial modeling فيدل علي كيفية بناء نماذج تبين لنا كيف "يعمل" العالم وتساعد في حل المشكلات الحقيقية التي نواجهها. والنماذج المكانية قد تشمل نماذج العمليات الاجتماعية مثل حركة السيارات علي الطرق السريعة، وقد تشمل عمليات التصميم للبحث عن أفضل البدائل مثل إيجاد أفضل موقع لمنشأة جديدة، وقد تشمل إجراء عمليات حسابية لمؤشرات التنبؤ المستقبلي مثل نمذجة تغيرات المياه الجوفية في منطقة محددة. وفي هذا الإطار فأن جوهر النمذجة المكانية يكمن في إدارة البيانات الجغرافية من خلال عدة مراحل. ففي بعض الأحيان قد تتكون النمذجة من تحليل بسيط للمدخلات والحصول علي نتائج، وفي أحيان أخري قد تشمل عملية النمذجة حلقة loop من الخطوات لمحاكاة النمذجة و تقدير تأثير عدة عوامل علي العملية. وبالطبع فأن النمذجة المكانية تتم في عادة بيئة رقمية باستخدام الكمبيوتر و البرامج، ومن ثم فالبعض يستخدم مصطلح "الحسابات الجغرافية geo-computation" لوصف تطبيقات النماذج الحسابية علي المشكلات الجغرافية.

تعتمد النمذجة المكانية علي مستوي التفاصيل المتاح في قاعدة البيانات المستخدمة، وهو ما يطلق عليه درجة الوضوح المكاني spatial resolution كما سبق التعرض إليه في الفصول السابقة. وأيضا تعتمد عملية النمذجة علي درجة الوضوح المؤقتة temporal resolution وهي التي تدل علي أقصر فترة زمنية تم عندها رصد تغيرات الظاهرات الجغرافية، فبعض النماذج المكانية تكون ديناميكية لنمذجة التغيرات الزمنية لظاهرة للتنبؤ بتغيراتها المستقبلية. وكلا درجتي الوضوح (المكانية و المؤقتة) تتحكمان أيضا في التكلفة الاقتصادية لعملية النمذجة، فهما يحددان حجم و سعر البيانات المطلوبة قبل بدء النمذجة input (فمثلا البيانات ذات الوضوح المكاني العالي high-resolution ستكون أغلي تكلفة من تلك ذات الوضوح المكاني المنخفض) وأيضا الوقت و المواصفات الفنية المطلوبين لأجهزة الكمبيوتر المستخدمة في النمذجة.

يتم بناء النماذج لعدة أسباب، فالنموذج قد يستخدم لعملية اتخاذ القرار التي يريد المستخدم فيها إيجاد حل لمشكلة مكانية بناءا علي أفضل السيناريوهات الممكنة. ثانيا فيمكن للنموذج أن يقدم للمستخدم التجريب و التعامل مع نموذج يحاكي العالم الحقيقي، وهذا عندما تكون تكلفة عمل التجارب الحقيقية

عالية أو عندما يكون الحصول علي النتائج من النموذج أسرع. أيضا فالنماذج تعطي للمستخدم إمكانية فحص و تحليل الظاهرات الديناميكية، فكلما تغير المدخلات أمكن للمستخدم معرفة كيف ستتغير النتائج. وهذه النقطة الأخيرة هامة للغاية و كثيرا ما يتم استخدامها في عمل المحاكاة وعرض نتائج النمذجة للجمهور وللعامة غير المتخصصين. فالشكل التالي يعرض "اللوحة الحية live table" وهي لوحة يتم إسقاط شاشة الكمبيوتر عليها، وتوضح في هذا المثال مواقع مصادر التلوث في منطقة محددة، وهذه اللوحة مرتبطة بكمبيوتر موجود عليه برنامج نموذج هيدرولوجي بحيث أن المستخدم يستطيع أن يحرك احدي النقاط الممثلة لمصدر تلوث (علي اللوحة) فيعمل برنامج الكمبيوتر لتعديل نموذج التلوث ويعيد إسقاط النتائج علي اللوحة مرة أخري بصورة ديناميكية. وفي هذا المثال يتم استخدام النماذج المكانية لعمل المحاكاة الدينامكية لظاهرة و إمداد متخذي القرار بتمثيل مرئي ممتاز لكافة البدائل المستقبلية التي يمكن اتخذها.

شكل (١٩-٣١) مثال لعرض نتائج نموذج مكاني ديناميكي للجمهور

ويختلف التحليل عن النمذجة، فطرق التحليل التي تم التعرض لها في الفصلين السابقين تتميز بأنها (أ) أساليب ثابتة static أي لنقطة زمنية محددة، (ب) يفيد البحث عن الأنماط والتغيرات المفاجئة في تكوين رؤى و فرضيات جديدة، (ج) يفيد التنقيب في البيانات في اكتشاف ما لا يمكن رؤيته بسهولة. أما النماذج المكانية فتتميز بأنها (١) تتكون من مراحل متعددة ربما لتمثيل الظاهرات زمنيا، (٢) تعتمد علي الرؤى و الفرضيات، (٣) تهدف لتجربة السياسات و السيناريوهات المختلفة.

١٩-٧ -٢ أنواع النماذج

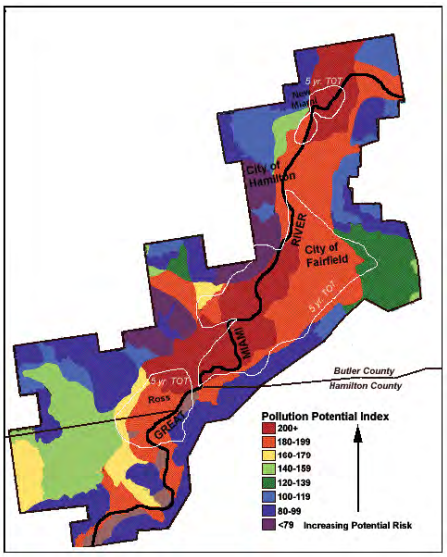
النماذج الثابتة و المؤشرات

يعبر النموذج المكاني الثابت عن نقطة محددة في الزمن، وعادة ما يتكون من عدد من المدخلات للوصول إلي نتيجة واحدة. وبمعني آخر فلا يوجد مراحل زمنية متعددة و لا حلقات تكرارية في النموذج الثابت، وتكون النتائج هامة للغاية كمؤشرات مستقبلية. فعلي سبيل المثال تقدم المعادلة

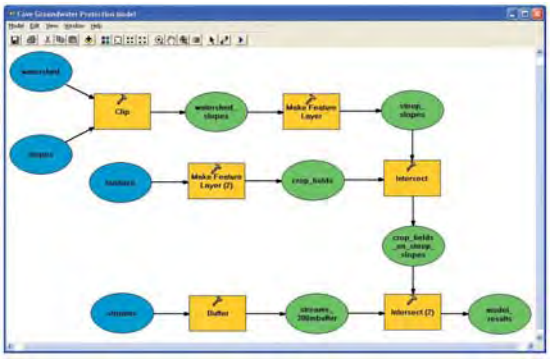
التالية (المعادلة العالمية لتأكل التربة USLE) نموذج لخسارة التربة soil loss عند نقطة محددة بناءا علي خمسة متغيرات كمدخلات:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \qquad (19\text{-}13)$$

حيث: A يمثل معدل التعرية أو التآكل المستقبلي، R معامل المطر، K معامل تعرية التربة، LS معامل تغير الميل، C معامل إدارة المحاصيل، P معامل الإدارة الزراعية. وتقدم المعادلة مثالا لنموذج مكاني حيث أن كل عامل من المدخلات (المتغيرات) يعتمد علي المكان، أي ستتغير قيمته من موقع إلي آخر. فإذا نظرنا بتمعن للمعادلة نجد أن أفضل تطبيق لها يجب أن يتم داخل نظام معلومات جغرافي، فمثلا المعامل LS يتطلب الحسابات من نموذج ارتفاعات رقمية. كما أن عرض المدخلات و النتائج أيضا من خلال تمثيل رقمي سيكون هو الخيار الأفضل بدلا من العرض في صورة جداول إحصائية أو خرائط ورقية. أيضا من الشائع أن يتم دمج بيانات النموذج مع أنواع أخري من البيانات لإجراء تحليلات أخري، ومن ثم فأن هذا يتطلب نظام معلومات جغرافي (سيكون أفضل بالطبع من استخدام برامج الحسابات مثل الإكسل لتطوير النتائج). وعادة يتم استخدام النماذج المكانية الثابتة في النمذجة البيئية، فعلي سبيل المثال فنموذج DRASTIC يقوم بحساب معامل تأثر (أو نقص) المياه الجوفية groundwater vulnerability model اعتمادا علي عدة مدخلات. ومن أهم مميزات برامج نظم المعلومات الجغرافية أنها تتيح برامج خاصة لبناء النماذج، مثل برنامج "بناء النماذج Model Builder" المتوافر في برنامج ArcGIS من شركة ايزري. فبعد بناء النموذج يتم تطبيقه علي عدد من المدخلات (عدة مناطق) بصورة آلية.



شكل (١٩-٣٢) نموذج معدل تأثر المياه الجوفية: مثال للنماذج المكانية الثابتة

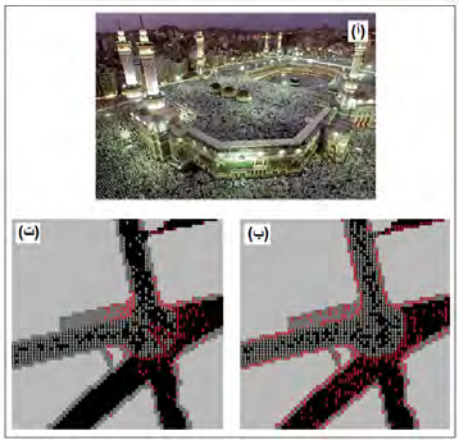


شكل (١٩-٣٣) نموذج لبرنامج بناء النماذج في برنامج ArcGIS

النماذج الفردية و الإجمالية

تعتمد النماذج الفردية علي نمذجة ظاهرة واحدة، بينما النماذج الإجمالية تعتمد علي نمذجة عدد من الظاهرات في إطار متكامل. وبصفة عامة فان نمذجة النظم الفيزيقية أو الطبيعية تتطلب أسلوب النمذجة الإجمالية حيث يجب نمذجة جميع الظاهرات التي تؤثر كلا منها علي الأخرى، بينما النماذج الفردية غالبا ما تكون مناسبة للتطبيقات البشرية.

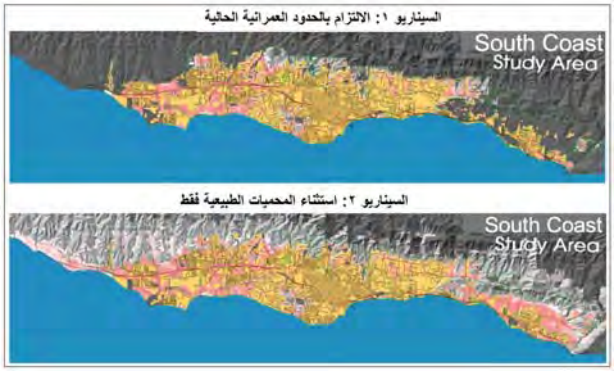
يطلق علي النماذج الفردية مصطلح نماذج خدمة العميل agent-based models (أو اختصارا ABM) وأيضا تسمي بنماذج العميل المستقلautonomous agent models. ومع تزايد المواصفات الفنية للكمبيوترات الشخصية وتوافر لغات وإمكانيات البرمجة، أصبح من السهولة تطبيق نماذج ABM بصورة فردية لمستخدم واحد. ومن أمثلة تطبيقات النماذج الفردية تلك النماذج التي تهدف للتحكم في حركة الحشود الضخمة، مثل موسم الحج في مدينة مكة المكرمة (الشكل أ) ومهرجان Notting Hill الذي يعقد سنويا في غرب مدينة لندن. والشكل (ب) يعرض نموذج محاكاة لحركة الجمهور في ذلك المهرجان والذي بعد دراسته أمكن وضع تصميم للحواجز التي تهدف لتنظيم حركة المشاة و تفتيت الموجة البشرية الهائلة إلي فئات أصغر يسهل التحكم في حركتها (الشكل ج).



شكل (١٩-٣٤) نماذج لتطبيقات النماذج المكانية الفردية

النماذج الخلوية

في هذا النوع من النماذج المكانية يتم التعامل مع سطح الأرض من خلال الخلايا، ولذلك سميت بالنماذج الخلوية cellular models. وهنا تكون كل خلية cell في الشبكة raster تحمل داخلها عدد من الحالات الممكنة والتي تتغير مع الزمن بناءا علي تطبيق عدد من القواعد الانتقالية. وعادة ما تكون هذه القواعد مرتبطة بحالة الخلايا المجاورة والتي من خلالها يمكن التنبؤ بحالة الخلية قيد الدراسة. ومن أشهر تطبيقات النماذج الخلوية دراسات محاكاة النمو العمراني. فحالة كل خلية (قطعة أرض) تعتمد علي عدة عوامل مثل الميل و طرق المواصلات وموقعها بالنسبة للمخططات الجديدة، والأهم هنا هو موقعها بالنسبة للمناطق التنموية الأخرى. وبدراسة حالة الخلايا المجاورة يمكن التنبؤ بحالة الخلية - قيد الدراسة - وتحديد هل ستبقي هذه الخلية ضمن نوع الخلايا الساكنة أم أنها ستنتقل إلي حالة الخلايا النشطة (أي هل ستبقي كما هي أم هي مرشحة لتكون ضمن مناطق النمو العمراني المستقبلي). وبالطبع فأن أي نموذج يجب معايرته و اختباره علي بيانات حقيقية لتحديد أفضل قيم عناصره والتأكد من كونه يصلح للتطبيق بكفاءة.



شكل (١٩-٣٥) مثال لتطبيقات النماذج الخلوية في التنبؤ بالنمو العمراني (مدينة سانتا باربرا بولاية كاليفورنيا الأمريكية)

النمذجة الكارتوجرافية وجبر الخرائط

تتكون عملية النمذجة من عدد من خطوات أو مراحل إدارة البيانات في إطار واحد لهدف محدد. وقد تتكون هذه المراحل من عدد متغير من أساليب التحليل المكاني التي توفرها نظم المعلومات الجغرافية. في الفصل الرابع عشر تم تقسيم هذه الأساليب إلي ستة أنواع بناءا علي الأهداف الإدراكية لكل أسلوب منهم. لكن هذا التقسيم ليس هو الوحيد لتصنيف العدد الكبير من أساليب التحليل المكاني المتاحة في نظم المعلومات الجغرافية. فهناك تقسيم آخر قدمه Dana Tomlin وأسماه "النمذجة الكارتوجرافية cartographic modeling أو جبر الخرائط map algebra"، حيث قام بتقسيم طرق إدارة البيانات الشبكية raster إلي ٤ أقسام رئيسية:

١. عمليات محلية local operations : تقوم بفحص كل خلية داخل طبقة وتقارن قيمتها بقيمة نفس الخلية في طبقة أو طبقات أخري.
٢. عمليات بؤرية focal operations : تقوم بمقارنة قيمة كل خلية داخل طبقة بقيمة الخلايا المجاورة (غالبا ٨) في نفس الطبقة.

٣. عمليات شاملة global operations : تقوم بعمل نتائج تصلح للطبقة كلها، مثل حساب قيمة المتوسط.
٤. عمليات شرائحية zonal operations : تقوم بحساب نتائج لشرائح (أو مناطق محددة) في الطبقة بحيث أن كل خلايا الشريحة ستأخذ نفس القيمة.

وهذا التقسيم يسهل عملية البرمجة لإعداد النماذج المكانية، بشرط أن تكون مدخلات و مخرجات النموذج في صورة شبكية. فعلي سبيل المثال فمعادلة جبر الخرائط: A = B + C تدل علي أن قيمة كل خلية في الشبكة A ستكون مجموع قيمتي الخلايا المناظرة في كلا الشبكتين B و C (أي سيتم تنفيذ المعادلة خلية بخلية). ومن أمثلة أدوات برامج نظم المعلومات الجغرافية المبنية علي النمذجة الكارتوجرافية أو جبر الخرائط أداة الآلة الحاسبة الشبكية raster calculator المتاحة في برنامج ArcGIS. كما توجد برامج متخصصة في التحليل المكاني الشبكي مثل برنامج PC Raster المطور بواسطة احدي الجامعات الهولندية (www.pcraster.geog.uu.nl).

١٩-٧-٣ تقنيات النمذجة

يمكن تعريف النموذج علي أنه مجموعة متتالية من العمليات، ومعظم برامج نظم المعلومات الجغرافية تتيح أدوات النمذجة للمستخدم. والنموذج قد يتم التعبير عنه في صورة اسكريبت script (أي نص مكتوب للأوامر المتتابعة) أو في صورة بصرية مثل خرائط التدفق flowcharts. في البداية كانت إمكانيات البرمجة المتاحة في برامج نظم المعلومات الجغرافية مرهقة و شاقة لأنها كانت تتطلب أن يتعلم المستخدم لغة برمجة محددة تعتمد علي البرنامج المستخدم (مثل لغة Arc Macro Language أو اختصارا AML من شركة ايزري). أما الآن فأصبحت البرمجة تعتمد علي استخدام اللغات العامة في كتابة الاسكريبت، مثل لغات visual basic, Perl, and Python. ومن ثم فأصبح الاسكريبت يتم تطبيقه لتنفيذ عمليات نظم معلومات جغرافية تتطلب مدخلات من المستخدم ثم تعرض النتائج. أيضا ومع انتشار منصات التطبيقات القياسية بين البرامج (مثل Microsoft .Net) أصبح من الممكن أن يشتمل اسكريبت معين استدعاء برنامج آخر، فمثلا يمكن استدعاء وظيفة معينة من برنامج الإكسل ليتم تنفيذها في خطوة محددة من خطوات الاسكريبت.

إن برامج نظم المعلومات الجغرافية غير مصممة في الأساس لتكون منصة لتطوير البرامج، ومهما كانت إمكانيات البرمجة التي تتيحها هذه البرامج فإنها قد تعجز في أحيان كثيرة عن البرمجة، خاصة في حالة التعامل مع قواعد بيانات ضخمة أو الحاجة لعمل خطوات تكرارية في الحسابات iterations. وفي مثل هذه التطبيقات يكون من الأفضل إعداد البرامج باستخدام لغات البرمجة المتخصصة ذات الإمكانيات التقنية العالية (مثل لغة C علي سبيل المثال) واستدعاء هذه البرامج ليتم تنفيذها داخل برنامج نظم المعلومات الجغرافية للاستفادة من إمكانيات النظم في عرض النتائج بصريا.

تجدر الإشارة لقيام بعض الجهات و الشركات العاملة في مجال نظم المعلومات الجغرافية بتكوين مكتبات للبرامج (اسكريبت) التي يصممها المستخدمين ويريدون مشاركتها مع الآخرين. فعلي سبيل

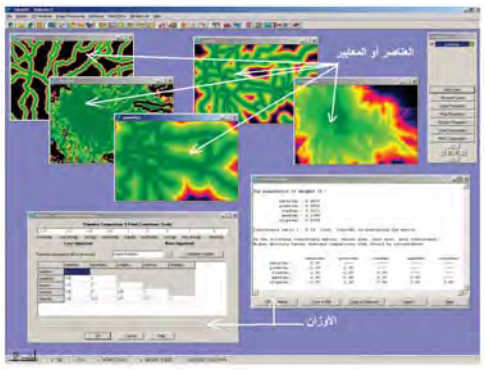
المثال يوجد لدي شركة ايزري موقع Arc Scripts الذي يضم بضعة آلاف من الاسكريبت المصممة للعمل داخل برنامج Arc GIS لتقوم بتنفيذ عدد كبير من التطبيقات البرمجية.

١٩-٧ - ٤ الطرق متعددة المعايير

في بعض تطبيقات اتخاذ القرار تكون هناك عدة عوامل تؤثر معا علي الظاهرة قيد الدراسة ويجب أخذها جميعا في الاعتبار. فعلي سبيل المثال عند دراسة ظاهرة نقص المياه الجوفية في بقعة محددة فان الدراسة ستعتمد علي ميول الأرض والمسافات من المجاري المائية و استخدامات الأراضي في هذه المنطقة. ولكل عنصر من هذه العناصر معايير تحدد درجة تأثيره علي المياه الجوفية، فمثلا كلما زادت المسافة من المجاري المائية كلما قل تواجد المياه الجوفية. فإذا أردنا ترجمة هذه المعايير في صورة رياضية فسيكون هناك عدد من العناصر سنرمز لها بالرموز x_1 إلي x_n، وسنرمز لتأثير كل عنصر منهم بدالة f(x)، وحيث أن وزن كل عنصر سيكون متغيرا فسنرمز للأوزان بالرمز wi، ومن ثم يمكننا تكوين المعادلة للتعبير عن تأثُّير هذه العناصر مجتمعة:

$$l = \sum_{i=1}^{n} w_i f(x_i) \qquad (19\text{-}14)$$

وفي هذه المعادلة يجب تحديد الدالة $f(x_i)$ والوزن x_i لكل عنصر من العناصر، فمثلا دالة عنصر الميل ستكون دالة متناقصة بمعني أنه كلما قل الميل كلما قل تأثير هذا العنصر. ويتم دراسة تأثير كل عنصر أولا، ثم يتم دمج كل هذه التأثيرات معا مع إعطاء الوزن المناسب لكل عنصر. وهذا الأسلوب في النمذجة يسمي بأسلوب اتخاذ القرار بناءا علي معايير متعددة multi-criteria decision making (أو اختصارا MCDM). ومن الممكن أن يتم أخذ آراء الجمهور والاعتماد عليها في تحديد الوزن المناسب لكل عنصر في حالة نظم المعلومات الجغرافية للجمهور PP GIS بحيث تكون عملية اتخاذ القرار عملية تشاركية بين التنفيذيين و الجمهور. كما أن هذا الأسلوب يسمح بدمج تأثير عدد من العناصر الهندسية و البيئية و الاقتصادية و الاجتماعية قبل اتخاذ القرار الأفضل في المشروعات التنموية. ومعظم برامج نظم المعلومات الجغرافية تتيح إمكانيات النمذجة بالمعايير المتعددة، إلا أن برنامج الإدريسي IDRIS من جامعة كلارك يعد من أفضل البرامج في هذا المجال (www.clarklabs.org).



شكل (١٩-٣٦) مثال لتطبيقات اتخاذ القرار بناءا علي معايير متعددة

١٩-٧-٥ الدقة و الفعالية: اختبار النماذج

عادة ما تتكون النماذج المكانية من تركيبات معقدة وتكون نتائجها توقعية للمستقبل، لكن هل يمكن اختبار هذه النماذج؟. للأسف فالكثيرون يثقون في نتائج النماذج المكانية بصورة مطلقة طالما أنها ناتجة باستخدام الكمبيوتر. عادة فان العلماء يخابرون نتائج نماذجهم بمقارنتها بالحقائق الفعلية، لمن في حالة النماذج المكانية المستقبلية فلا توجد حقائق فعلية. ومن ثم فيجب اللجوء لطرق أخري لاختبار دقة و جودة النماذج المكانية.

من طرق اختبار جودة النماذج المكانية ما يعرف باسم طريقة الفعالية المتقاطعة cross-validation، وهي الطريقة التي تعتمد علي تقسيم البيانات المتاحة إلي جزأين الأول يستخدم في بناء ومعايرة النموذج calibration والثاني يستخدم في التحقق من فعالية نتائجه validation. ويمكن تطبيق هذه الطريقة بتقسيم البيانات إما إلي جزأين زمنيين (كلا منهما يغطي فترة زمنية مختلفة) أو جزأين مكانيين (كلا منهما يغطي منطقة مكانية مختلفة). لكن يجب اخذ الحيطة في حالة أن الظاهرة قيد الدراسة تتغير مع مرور الزمن أو تتغير بتغير موقعها المكاني.

أيضا يمكن اختبار النماذج المكانية للعالم الحقيقي من خلال التجربة، من خلال التأكد أن كل مركب من مركبات النموذج يعكس الحقيقة فعلا. فمثلا في النماذج الخلوية يجب اختبار أن الحالة الانتقالية للخلايا تتغير فعلا في الحقيقية كما تبدو نتائجها المستنبطة من النموذج المكاني للنمو العمراني.

إن أي نموذج مكاني لن يمثل العالم الحقيقي المعقد بصورة مثالية، ويجب النظر للنموذج من خلال الاعتبارات التالية:

- يمكن للنموذج المكاني أن يعكس الواقع في الحالات "المثالية"، أي أنه يعد مبدأ لمقارنة الحقيقة.
- لا يمكن تقويم النموذج بناءا علي مدي قربه من الحقيقية، إنما علي مدي تقليله لعدم اليقين uncertainty عن المستقبل. أي أن النتائج المستقبلية للنموذج يجب أن يصاحبها مقاييس منطقية لعدم اليقين.
- النموذج هو وسيلة لبناء المعرفة اعتمادا علي عدد من المصادر ويقدم توصيات تعتمد علي المعلومات التي تم بناؤه منها.
- غالبا فأن النمذجة المكانية تقدم أفضل إطار تحليلي علمي "متاح" لمتخذي القرار في الوقت الراهن.

١٩-٨ ادارة نظام معلومات جغرافي

١٩-٨-١ مقدمة: النظرة العامة

أصبح إنشاء نظام معلومات جغرافي عملا روتينيا وان كان ليس بسيطا، لكن إدارة هذا النظام عملا هاما أيضا لضمان نجاحه. النجاح يتضمن مشاركة الخبرات و المعرفة مع الأفراد و الجهات الأخرى والاستمرار في الحصول علي نتائج طيبة واتخاذ قرارات بصفة دائمة.

عادة يكون السؤال الأول قبل البدء في أية خطوات وهو: هل هناك حاجة لإنشاء نظام معلومات جغرافي؟ وغالبا تكون الإجابة جاهزة عندما نري كيف استفادت المؤسسات المشابهة (في نفس نطاق العمل) من GIS. لكن بصفة عامة يوجد مطلبين و ثلاثة أسباب لإنشاء نظام معلومات جغرافي:

- خفض التكلفة cost reduction : تحل نظم المعلومات الجغرافية محل العمليات التقليدية مثل إنشاء الخرائط وجمع معلومات العملاء و إدارة الموارد، وذلك بكفاءة أعلي.
- تفادي التكلفة cost avoiding : فعلي سبيل المثال تستطيع نظم المعلومات الجغرافية اختيار أفضل المواقع للمنشئات مما يجنب الإنشاء في مواقع خطرة بيئيا، واختيار أنسب مسار لحركة المركبات.
- زيادة الدخل increase revenue : مثل تطوير و بيع الخرائط، وتوفير الاستشارات الفنية (في مجالات العقارات و الموارد الطبيعية مثلا).
- الحصول علي منتجات جديدة getting new products : مثل تطوير و بيع المرئيات الفضائية المسقط عليها بيانات مجسمة ثلاثية الأبعاد ، و تطوير و بيع خطط الإخلاء عند وقوع كوارث بيئية.
- الحصول علي فوائد غير ملموسة getting non-tangible benefits : مثل تقديم خدمات أفضل للعملاء، اتخاذ قرارات أفضل، استخدام المعلومات في كل إدارات المؤسسة بصورة أكثر كفاءة.

والشكل التالي يقدم مثالا لنظام المعلومات الجغرافي لإدارة الأراضي في مدينة سيول بكوريا الجنوبية، وهو المنشأ منذ عام ١٩٩٨م. ويقدم هذا النظام للجمهور إمكانية عرض بيانات الأراضي من خلال الانترنت، وإمكانية تقدير سعر أي قطعة أرض، بالإضافة لإجراء أية معاملات علي الأراضي بصورة آلية دون الحاجة للذهاب للمكاتب الحكومية المتخصصة. وتستخدم الحكومة هذا النظام كنظام اتخاذ القرار في عمليات التنمية بالمدينة (في إطار الحكومة الالكترونية e-government).

شكل (١٩-٣٧) نظام إدارة الأراضي في مدينة سيول الكورية

يقدم Roger Tomlinson (وهو من رواد نظم المعلومات الجغرافية علي مستوي العالم) ١٠ خطوات أو مراحل عملية للتخطيط لإنشاء نظام معلومات جغرافي يلبي متطلبات العميل، وتشمل:

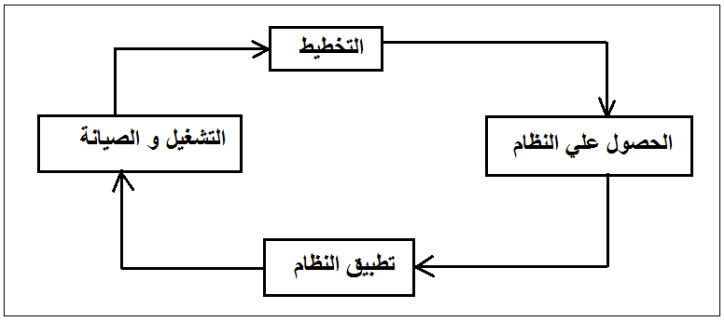
١. تحديد الهدف الاستراتيجي: فهذا الهدف هو الذي ينير الطريق أمام باقي مراحل إنشاء النظام، فالنظام الذي يجب إنشاؤه يجب أن يكون ملائما لهدف المؤسسة بصورة عامة.
٢. تخطيط التخطيط: عملية تخطيط إنشاء نظام المعلومات الجغرافية عملية ليست سهلة و تستغرق الوقت و الموارد أيضا، ومن ثم فهناك حاجة لأخذ موافقات وملاحظات المديرين التنفيذيين في المؤسسة.
٣. عمل ورشة عمل علمية: يهدف هذا اللقاء لمناقشة كافة الجوانب العلمية والعملية بين فريق التخطيط لإنشاء GIS وباقي أقسام المؤسسة.
٤. تحديد منتجات المعلومات: تحديد المنتجات التي يسعي GIS لتطويرها وما يمكن الحصول عليه من هذا النظام.
٥. تحديد متطلبات النظام: تحديد المطلوب من أجهزة و برامج و بيانات وفترات زمنية أيضا.
٦. إنشاء تصميم للبيانات: تحديد مصادر البيانات المطلوبة وهل ستكون من المعروض في الانترنت أم سيتم شراء قواعد بيانات تجارية أم سيتم إنشاء قواعد البيانات المطلوبة.
٧. اختيار نموذج البيانات المنطقي: تتيح نماذج البيانات الهدفية إمكانيات جيدة في نظم المعلومات الجغرافية و يجب أخذها في الاعتبار، مع أن نماذج البيانات العلاقية مازالت شائعة.
٨. توفير متطلبات النظام: توفير كافة متطلبات النظام والأخذ في الاعتبار القدرة علي تحديثهم باستمرار.
٩. تحليل المكاسب و الأخطار: إجراء تحليل للتكلفة و المكاسب وأيضا الأخطار المتوقعة.
١٠. وضع خطة التنفيذ: تصميم الخطة التفصيلية لتطبيق نظام المعلومات الجغرافي في المؤسسة.

١٩-٨-٢ عملية تطوير نظام معلومات جغرافي قابل للاستدامة

مشروعات نظم المعلومات الجغرافية مثلها مثل مشروعات تقنيات المعلومات (information technology أو IT) يمكن تقسيمها إلي أربعة مراحل زمنية تشمل:

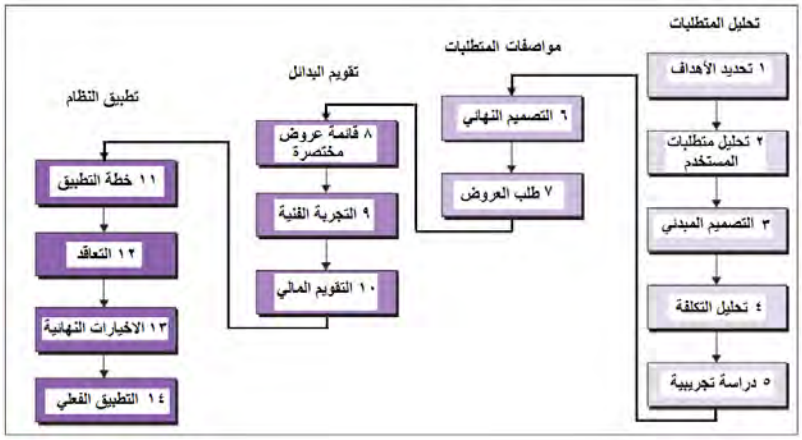
- التخطيط: التحليل الاستراتيجي و جمع المتطلبات.
- الحصول علي النظام: اختيار وشراء نظام.
- تطبيق النظام: تجميع كافة المكونات وتطوير الحلول الفعلية.
- التشغيل و الصيانة: الاستمرارية في عمل النظام.

وقد تكون هذه المراحل تكرارية، فمثلا للمشروعات التي تستمر فترة زمنية طويلة فتحدث تطورات تقنية تستوجب التطوير و الإحلال بصورة مستمرة.



شكل (١٩-٣٨) مراحل مشروع نظام المعلومات الجغرافية

يعرض الشكل التالي نموذجا عاما للحصول علي نظام معلومات جغرافي قابل للاستدامة sustainable GIS (خاصة للمؤسسات الكبيرة)، و النموذج مكون من أربعة مراحل تشمل أربعة عشرة خطوة.



شكل (١٩-٣٩) نموذج عام لعملية الحصول علي نظام معلومات جغرافي

المرحلة الأولي: تحليل المتطلبات

١. تحديد الأهداف: يتم تحديد أهداف النظام طبقا لأهداف المؤسسة وخطتها الإستراتيجية، وتحديد كيف سيؤثر نظام المعلومات الجغرافي في تنمية المؤسسة.
٢. تحليل متطلبات المستخدم: يحدد هذا التحليل كيف سيتم تصميم و تقويم نظام المعلومات الجغرافي، ويركز التحليل علي نوعية البيانات المستخدمة حاليا ومن يستخدمها وكيف يستخدمها. ويتم التحليل من خلال إجراء القابلات مع منسوبي المؤسسة وعمل ورش العمل، ويتم وضع نتائج التحليل في صورة خريطة تدفق تحدد مصادر البيانات الحالية وتكلفتها وعمليات معالجتها، ومن ثم يمكن عمل تصور لما سيؤدي نظام المعلومات الجغرافي عند تطبيقه.
٣. التصميم المبدئي: تحديد مواصفات عامة للنظام وتصميم مبدئي للنماذج وعمل مسح للنظم المعروضة في الأسواق. وتشمل هذه الخطوة تحديد مواصفات قواعد البيانات من حيث

حجم وأنواع البيانات المطلوبة، وأيضا نموذج البيانات الأنسب (نموذج خطي أم شبكي)، بالإضافة لعمل مسح للبرامج التجارية المتاحة في الأسواق وإمكانيات كلا منهم. أيضا يتم - في هذه الخطوة - اتخاذ القرار إن كان سيتم شراء البيانات مباشرة أم سيتم بناؤها.

٤. تحليل التكلفة: عمل تحليل اقتصادي لتكلفة النظام والفوائد المتوقعة من وراءه، وهل سيكون الناتج النهائي مربحا اقتصاديا أم من الأفضل الاستمرار بطريقة العمل الحالية المتبعة في المؤسسة. والجدول التالي يقدم مثالا لهذا التحليل.

المجموعة	التكلفة	الفوائد
الاقتصادية أو الملموسة	- معدات - برامج - تدريب - موظفين جدد - مكان أكبر - تجميع أو شراء البيانات	- خفض التكلفة - مخرجات أكثر - زيادة الدخل - فتح أسواق جديدة - تطوير منتجات جديدة
المؤسسية أو غير الملموسة	- تسريح العمال غير الأكفاء - تخفيض عدد العمال	- قرارات أفضل - تحسين العلاقات مع العملاء - تدفق معلومات أكثر كفاءة - مناخ عمل أفضل

٥. دراسة تجريبية: عمل دراسة لنظام معلومات جغرافي كامل وان كان مصغرا بهدف اختبار كل مكونات المشروع و كفاءتها، مثل اختبار مكونات التصميم ومتطلبات المستخدمين واختبار عينات من البيانات واختبار بسيط للمنتجات المطورة.

المرحلة الثانية: مواصفات المتطلبات

١. التصميم النهائي: يتم في هذه الخطوة تحديد العناصر النهائية المطلوبة لمشروع نظام المعلومات الجغرافية من تصميم و أجهزة و موارد مالية ...الخ، وبالتالي إعداد وثيقة طلب العروض Request for Proposals لطرحها علي الشركات المتخصصة.
٢. طلب العروض: تشمل وثيقة طلب العروض العناصر المالية والتجارية و القانونية والفترات الزمنية للتنفيذ. ثم يتم طرح هذه الوثيقة للشركات المتخصصة في نظم المعلومات الجغرافية لكي يقدموا عروضهم (الفنية و المالية) التي تلاءم متطلبات المؤسسة.

المرحلة الثالثة: تقويم البدائل

١. قائمة عروض مختصرة: في حالة تقدم عدد من الشركات بعروض للمؤسسة يتم تقويم كل عرض وإعطاء وزن لكل عنصر من عناصر العرض. ومن الأفضل أن يقوم أكثر من متخصص بعملية تقويم العروض ثم يتم عمل مقارنة بين نتائج كلا منهم للوصول إلي أفضل تقويم، بحيث ينتج في النهاية عمل قائمة مختصرة تضم أفضل العروض (من ٢ إلي ٤).

٢. التجربة الفنية : يتم عمل تقويم لكل عرض من العروض النهائية، بحيث تقدم كل شركة نموذجا مبدئيا لنظام المعلومات الجغرافية المطلوب ويتم اختبار كل نموذج مقارنة بمتطلبات المؤسسة طبقا للتصميم النهائي المطلوب للنظام.
٣. التقويم المالي: يتم مقارنة العروض التي اجتازت خطوة التجربة الفنية من وجهة النظر المالية لكل مكون من مكوناتها. وفي نهاية هذه الخطوة يتم عمل ترتيب لعروض الشركات من وجهتي النظر الفنية و المالية.

المرحلة الرابعة: تطبيق النظام

١. خطة التطبيق: تطوير خطة تطبيق النظام من حيث الأولويات و الفترات الزمنية للتوريد (الأجهزة و البرامج) والاختبار و التدريب والدفع.
٢. التعاقد: عمل العقد النهائي الذي يحدد كل مكونات المشروع (الفنية و المالية و القانونية) بدقة مع تحديد الاختصاصات و الشروط بين المؤسسة و الشركة الموردة للنظام.
٣. الاختبارات النهائية: للتأكد من أن البنود التي تم توريدها للمؤسسة مطابقة تماما للمواصفات المطلوبة.
٤. التطبيق الفعلي: قد يستغرق الحصول علي نظام GIS عدة أشهر أو ربما أطول، وتشمل هذه المرحلة الأخيرة تدريب موظفي المؤسسة وتجميع البيانات وصيانة النظام ومراقبة الأداء.

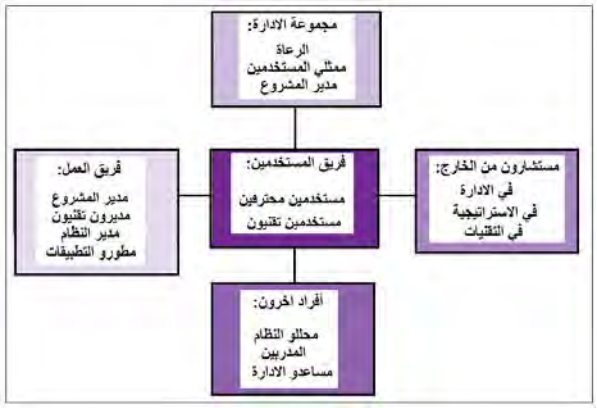
علي المستوي الإداري هناك عدة نقاط يجب علي مدير مشروع نظم المعلومات الجغرافية أخذها في الاعتبار وتشمل:

- التخطيط الجيد هو الأساس في كل مرحلة من مراحل المشروع.
- الحصول علي الدعم (من الخبراء والمتخصصين) باستمرار من أساسيات النجاح.
- التواصل مع المستخدمين من البداية هام جدا لمعرفة آرائهم و متطلباتهم.
- المراقبة الدائمة للأداء (الأفراد و الأجهزة و البيانات) هامة لتخطي العقبات الممكن حدوثها.
- عدم السعي وراء الخفض غير المسئول في التكلفة (شراء أجهزة أرخص و توظيف أفراد أقل خبرة).
- التأكد من جودة وأمان البيانات بصورة مستمرة طوال مراحل المشروع.
- حث أفراد المؤسسة علي الاستفادة من نظام المعلومات الجغرافية علي جميع المستويات.
- التخطيط الزمني الدقيق لمراحل المشروع يعود بفوائد اقتصادية جيدة.
- توفير الاعتمادات المالية المطلوبة في موعدها لتفادي أية مشكلات في تنفيذ المشروع.

١٩-٨-٣ فريق العمل في نظام معلومات جغرافي قابل للاستدامة

"إن لم يعمل كل فرد من أفراد فريق العمل بكفاءة علي المستوي الفردي وعلي المستوي الجماعي فلن يتم الحصول علي مميزات نظام المعلومات الجغرافي" هذه قاعدة رئيسية يجب وضعها في الاعتبار.

يختلف عدد أفرا فريق العمل ودور كلا منهم باختلاف المشروعات، لكن عادة ما يكون هناك "مجلس إدارة" يختار المسئول التنفيذي (المدير) الذي يشرف علي المشروع. أما الأعمال اليومية فتتم من خلال ثلاثة مجموعات: فريق العمل، مستخدمي النظام، مجموعة الاستشارات الخارجية. ويشكل فريق عمل نظم المعلومات الجغرافية GIS team الأفراد المتخصصين الذين لديهم خبرات تقنية مناسبة ومعرفة جيدة بطبيعة عمل المؤسسة، ويقود هذا الفريق مدير نظم المعلومات الجغرافية GIS manager. يتكون مستخدمي النظام GIS users في المؤسسة من قسمين: مستخدمين محترفين ومستخدمين تقنيين. فالمحترفون (مثل المهندسين والمخططين والعلماء) لديهم خبرات عالية كلا في تخصصه، وربما ليس لديهم معرفة كبيرة بنظم المعلومات الجغرافية لكنهم عادة مستعدين للتعلم. أما المستخدمين التقنيين فربما يتم توظيفهم في المشروع داخل المؤسسة للقيام بعمليات مثل تجميع البيانات وإنتاج الخرائط. أما الفريق الثالث فهو الذي تلجأ إليه المؤسسات الكبرى لطلب الدعم و الاستشارات من خارج المؤسسة ذاتها. وهؤلاء قد يكونون خبراء في الإدارة أو خبراء إستراتيجيون أو خبراء تقنيون. وقد يتم النظر لهذا الفريق الثالث علي أنه "غير ضروري ومكلف"، إلا أنه في الحقيقة يعد إضافة كبيرة لمشروع نظم المعلومات الجغرافية خاصة في حالة أن المعرفة الداخلية للمؤسسة أو مواردها محدودة.



شكل (١٩-٤٠) فريق العمل لمشروع نظام معلومات جغرافي بمؤسسة كبري

١٩-٩ نظم المعلومات الجغرافية و الادارة و الاقتصاد المعرفي

١٩-٩-١ الإدارة ونجاح نظم المعلومات الجغرافية

لدي الكثير من الناس فأن الإدارة تتضمن عمل روتيني لضمان أن التعليمات و الخطوات العملية يتم تطبيقها وأهداف الإنتاج يتم تحقيقها. لكن حاليا فان المديرون مطالبون بتوقع الفرص وأيضا المخاطر المستقبلية، واتخاذ ما يلزم من قرارات لتغيير العالم المحلي. فعلي المدير ان يتابع باستمرار التغيرات في أهداف المؤسسة التي يعمل (أو تعمل) بها، بل و المساعدة في تحقيق هذه التغيرات. فالإدارة هامة للغاية في نجاح أي مشروع، فلم تنجح شركة مايكروسوفت لأنها تنتج برامج جيدة بل لأنها إدارة جيدة وأفراد أذكياء. وفي عالمنا الحديث فأن العلوم و التقنيات الحديثة ليست كافية للنجاح. وهناك عدد من النقاط التي يجب أخذها في الاعتبار، وتشمل:

- يسبب الأفراد مشاكل أكبر من التي تسببها التقنيات.
- تتغير التقنيات وأيضا توقعات المستخدمين بسرعة.
- عدم اليقين متواجد معنا بصورة دائمة مهما اختلفت درجاته.
- عدم الاعتماد علي أن منتجات مؤسسة معينة لا يوجد مثيل أي منافس لها.
- لعملاء أي نظام فكرة ثابتة عما يريدونه، لكن هذا يتغير مع الزمن.
- لمشروعات نظم المعلومات الجغرافية تأثيرات مبهرة (حتى وان كانت غير مباشرة) ويجب استثمارها.
- يجب ملاحظة الفروق بين الثقافات المحلية و الإقليمية عند تطبيق نظم المعلومات الجغرافية، فعلي سبيل المثال عندما أطلقت مايكروسوفت نظام التشغيل ويندوز ٩٥ كانت هناك بعض الأخطاء الحدودية بين الهند و باكستان في خريطة المناطق الزمنية، مما أدي لسحب ٢٠٠،٠٠٠ نسخة من البرنامج مما كلف الشركة ملايين الدولارات!.

تعتمد الإدارة الجيدة لمشروع نظام معلومات جغرافي علي بذل جهد أكبر والذكاء والقدرة علي تقبل انتقادات الآخرين. فالجزء التقني في مشروعات نظم المعلومات الجغرافية (اقتناء أحدث البرامج و المعدات والبيانات) ليس كافيا للنجاح. فمن العوامل الهامة الأخرى الأخذ في الاعتبار الأوجه الإنسانية والمؤسسية للوصول إلي أفضل النتائج. فيجب العمل علي نشر الوعي بفوائد التقنيات الحديثة علي مستوي الأفراد ومستوي المؤسسة ككل حتى يكون هناك تقبل عام للمشروع.

١٩-٩-٢ مهارات العاملين في نظم المعلومات الجغرافية

تختلف مهارات العاملين في مجال نظم المعلومات الجغرافية بدرجة كبيرة، وفي دراسة للوظائف المتاحة في هذا المجال وجد أن ٤٠% تتعلق بوظائف محللين نظم GIS analysts و ٢٥% للفنيين و ٢٢% للمديرين و ١٠% للمبرمجين.

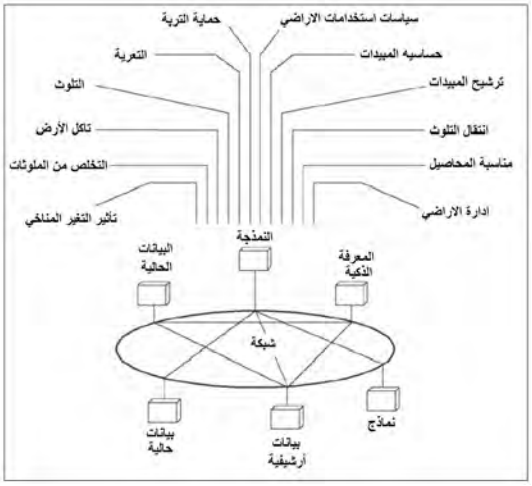
توجد عدة أنواع من مقررات التعليم و التدريب المتاحة في مجال نظم المعلومات الجغرافية وتشمل:

- مقررات تدريبية لبرنامج software ، وعادة ما تقدمها الشركات المنتجة للبرامج ذاتها.
- مقررات تطوير البرامج وغالبا ما تكون ضمن مقررات أقسام علوم الحاسب بالجامعات.
- التعليم الجامعي ويشمل درجات البكالوريوس في أقسام الجغرافيا والبيئة و الجيوماتكس و المساحة.
- التعليم بعد الجامعي ويشمل درجتي الماجستير و الدكتوراه.
- مقررات قصيرة للمحترفين وعادة ما تكون من متطلبات رخص العمل أو متطلبات الترقية في العمل.

١٩-٩-٣ نظم المعلومات الجغرافية والتنمية المستدامة

تعرف التنمية المستدامة sustainable development (في أحد تعريفاتها) علي أنها التنمية التي تسعي لإيجاد حياة صحية متلائمة مع الطبيعة تراعي المتطلبات البيئية للأجيال الحالية و المستقبلية. ومن ثم فأن التنمية المستدامة تتضمن تطبيق النمذجة لمحاكاة التأثيرات المتوسطة و

البعيدة المدى لعمليات التنمية باستخدام عدة مصادر للبيانات المكانية. وهنا فأن نظم المعلومات الجغرافية ستلعب دورا بالغ الأهمية في التنمية المستدامة لما لها من إمكانيات في التعامل مع عدة أنواع من البيانات في مراحل الجمع و التحليل و النمذجة. وبالفعل فقد استخدمت نظم المعلومات الجغرافية بكثافة في العقدين الماضيين في مجالات تقليل المخاطر الناجمة عن الكوارث الطبيعية (مثل السيول و الانزلاقات الأرضية) ودراسة الآثار الناجمة عن المخاطر الطبيعية (مثل ظاهرة الاحتباس الحراري و ظاهرة ارتفاع منسوب سطح البحر) وكذلك تطبيقات تحديد الآثار البيئية للمشروعات الجديدة، بالإضافة لمشروعات التخطيط الحضري و الإقليمي.

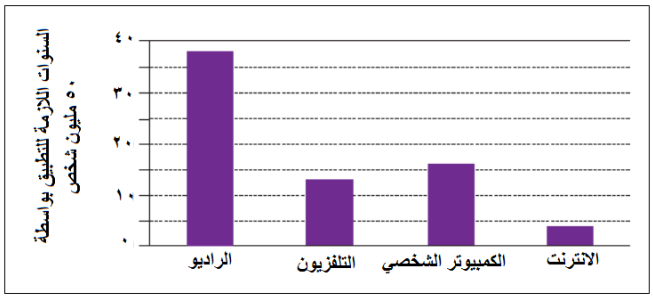


شكل (٩١-٤١) نظم المعلومات الجغرافية و دعم التخطيط و التنمية المستدامة

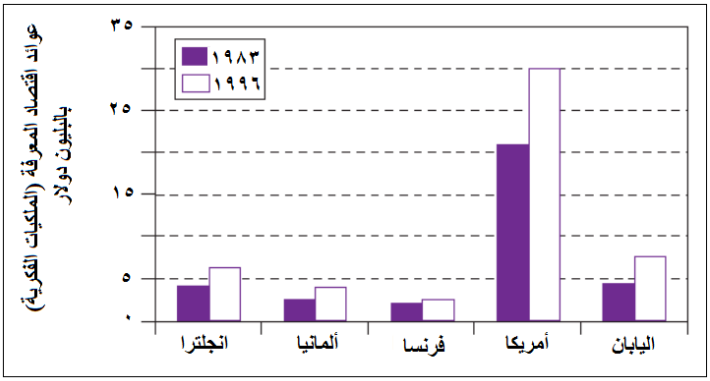
١٩-٩-٤ اقتصاد المعرفة و نظم المعلومات الجغرافية

اقتصاد المعرفة knowledge economy هو استخدام الاقتصاد لجعل الأشياء تعمل بكفاءة أعلي، وأيضا لابتكار واستخدام أنواع جديدة من المعرفة، ومن ثم فأن الابتكارات المستمرة تعد أهم قواعد اقتصاد المعرفة. ويمكن تعريف الابتكارات innovations علي أنها الاستثمار الناجح للأفكار الجديدة، وغالبا ما يتضمن تقنيات جديدة أو تطبيقات تقنية جديدة. وللمستهلكين فأن الابتكارات تعني جودة أعلي وقيمة أفضل وخدمات أكثر كفاءة ومعايير أعلي للحياة. والشركات و المؤسسات التي تعتمد علي الابتكارات ستضمن فوائد أعلي لملاكها والمستثمرين بها، وتضمن لموظفيها بيئة عمل أفضل ومهارات أحسن وعائد أعلي.

في عالمنا الحاضر أصبح الناس أكثر تقبلا للابتكارات وتطبيقها بسرعة أكبر، فالشكل التالي يوضح عدد السنوات التي استغرقتها الابتكارات الجديدة ليقتنيها ٥٠ مليون شخص في أمريكا، ومنه نلاحظ أن تقبل الابتكارات الحديثة صار سيتم بسرعة كبيرة حاليا. كما أن العوائد الاقتصادية من ترخيص و بيع منتجات ابتكاريه جديدة قد زادت بسرعة في السنوات الأخيرة.



شكل (١٩-٤٢) سرعة تقبل الابتكارات الجديدة



شكل (١٩-٤٣) عوائد اقتصاد المعرفة

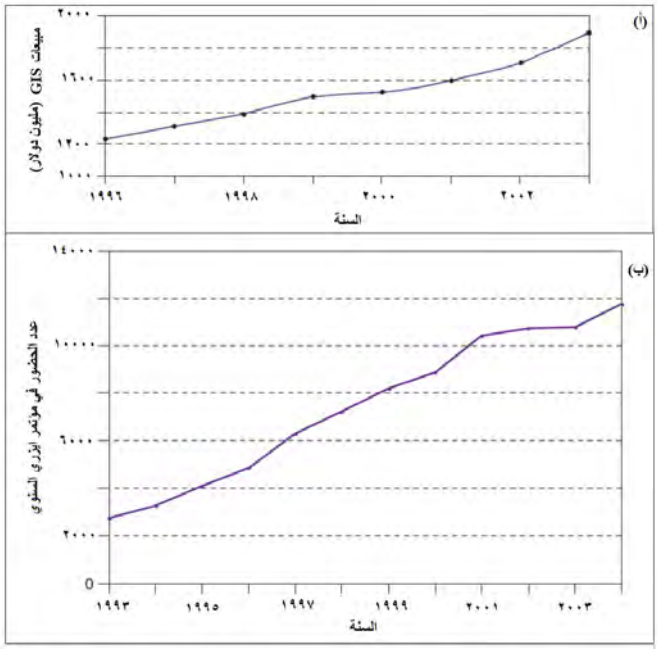
تعد المعلومات من أهم أسباب الوصول للقرار السليم، ومعلومات جيدة تعني في معظم الأحيان قرارات جيدة أيضا. لكن في بعض الحالات فأن متخذي القرار يعانون من وجود كم هائل من المعلومات المتداخلة (خاصة غير المتعلقة بالموضوع). وتلعب نظم المعلومات الجغرافية دورا بارزا في اقتصاد المعرفة، فبرامج نظم المعلومات الجغرافية تتابع في إصداراتها السنوية مما يفتح دائما الباب أمام تطبيقات ومجالات جديدة لهذه النظم. وفي المشروعات الكبيرة فأن نظم المعلومات الجغرافية تقدم عدة فوائد للمديرين وتشمل:

- تقديم معلومات واقعية عن مواقع الموارد المتاحة سواء الطبيعية أو البشرية.
- تقديم حسابات واقعية، مثل التلوث في حدود خمسة كيلومترات من نقطة محددة، أفضل المسارات علي شبكة معينة ...الخ.
- إمكانيات اختيار و تمثيل المعلومات لتسهيل عملية اتخاذ القرار.
- البحث عن الانتظام أو العشوائية في أنماط التوزيعات الجغرافية والارتباط بينهم، فمثلا هل الإنفاق علي سلع معينة يرتبط بالمسافة بين المنزل و المتجر؟.
- تطوير القيمة المضافة من خلال ربط معلومات من عدة مصادر، مما يوسع من الفرص الممكنة للتطبيقات.
- التنبؤ بالأحداث المستقبلية المرتبطة بالموقع المكاني.

مع الانتشار الهائل لاستخدام شبكة الانترنت علي المستوي العالمي فقد أضاف ذلك عدة مميزات لسوق تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية ومنها:

- سهولة استخدام أدوات المعلومات المكانية المتوافرة علي الشبكة.
- إمكانية الحصول علي و تطبيق عينة من المعلومات المكانية للتحقق من جدواها في تطبيق أو مشروع معين.
- القدرة علي الاختيار (برامج و بيانات) بين عدد كبير من البدائل.
- القدرة علي تحويل البيانات الجغرافية الضخمة بتكلفة بسيطة.
- سرعة الحصول علي البيانات المكانية.
- دفع تكلفة الحصول علي البيانات بسرعة أيضا (من خلال بطاقات الائتمان).

إن نظم المعلومات الجغرافية أصبحت سوقا هاما في حد ذاته سواء علي المستوي الاقتصادي أو علي مستوي الاهتمام المتزايد بها عالميا. فالشكل (أ) يقدم مثالا لنمو أرباح سوق نظم المعلومات الجغرافية علي المستوي العالمي، بينما يعرض الشكل (ب) النمو المتسارع في عدد الحاضرين للمؤتمر السنوي الذي تقيمه شركة ايزري. وهذا علي الجانب التجاري للمؤسسات الخاصة، بينما علي مستوي الجهات الحكومية فالأرقام ستكون أكبر بكثير. فعلي سبيل المثال فأن ميزانية هيئة المساحة العسكرية الأمريكية فقط تتخطي حاجز المليار دولار. ويقدر المحللون أن معدل نمو سوق نظم المعلومات الجغرافية في الولايات المتحدة الأمريكية يبلغ ١٠.٩% سنويا في الفترة ٢٠١٢-٢٠١٦، بينما يبلغ ٩.٦% علي المستوي العالمي.



شكل (١٩-٤٤) أمثلة لنمو سوق نظم المعلومات الجغرافية

الباب الخامس

تطبيقات عملية فى برامج العلوم المكانية

GPS, RS, GIS Tutorials

الفصل العشرون

تدريب عملي لبرنامج GPS

يهدف هذا الفصل لتقديم فكرة عامة (وليست تفصيلية) عن تشغيل برامج حسابات النظام العالمي لتحديد المواقع، من خلال تقديم شرح تعليمي مبسط (ليس لأية أغراض تجارية) للخطوط العريضة لاستخدام أحد هذه البرامج ألا وهو برنامج Leica LGO.

٢٠-١ اختيار أنسب أوقات الرصد

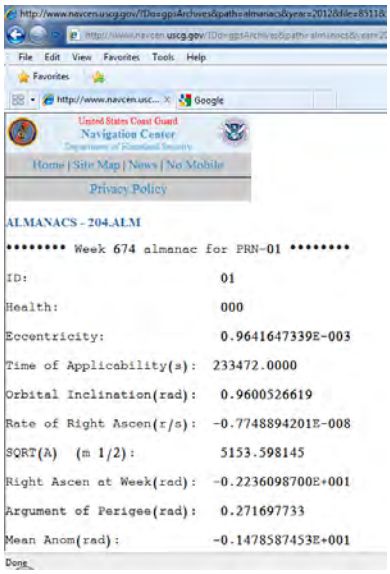
تحتوي ملفات إشارات الأقمار الصناعية علي ما يعرف باسم بيانات المدار Almanac وهي بيانات تحدد طبيعة مدار كل قمر من الأقمار الصناعية. لكن من المعلوم أن مدارات الأقمار الصناعية تتعرض لبعض التأثيرات (مثل تأثير طبقات الغلاف الجوي العليا) مما يجعلها لا تتفق مع المدار المصمم لها. من هنا فأن وحدة المراقبة و التحكم في منظومة الجي بي أس تتولي مراقبة مدارات الأقمار الصناعية و تصحيحها كل فترة. وبذلك فأن بيانات المدار Almanac في إشارات الأقمار الصناعية (ملفات الأرصاد الحقلية) تكون صالحة لتحديد المدارات لمدة ٣ شهور قادمة فقط. فان كان لدينا ملف أرصاد حديث فأن برنامج LGO (أو أي برنامج جي بي أس آخر) يستطيع استخلاص بيانات المدار منه ومن ثم التنبؤ بمدارات الأقمار الصناعية لمدة ٣ شهور قادمة. أما إن لم يكن لدينا ملفات أرصاد جي بي أس حديثة فتوجد بعض المواقع علي شبكة الانترنت تعرض ملفات خاصة حديثة لمدارات الأقمار الصناعية. ومن هذه المواقع – علي سبيل المثال – موقع هيئة حرس السواحل الأمريكية، والتي تعرض ملفات المدارات Almanac يوما بيوم.

الرابط التالي يمكن منه تحميل ملفات مدارات الأقمار الصناعية لعام ٢٠١٢م من موقع حرس السواحل الأمريكي:

http://www.navcen.uscg.gov/?Do=gpsArchives&path=ALMANACS/YUMA&year=2012

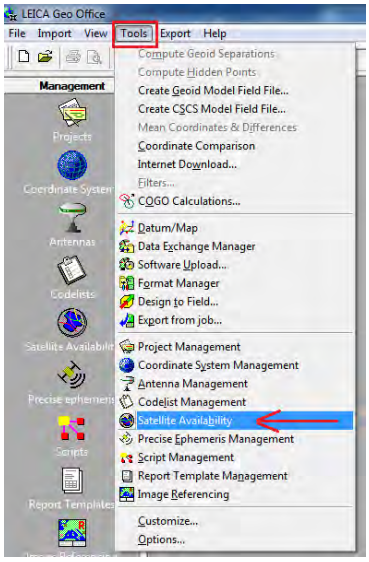
نجد أسماء الملفات بترتيب الأيام في عام ٢٠١٢، فالملف 001.alm يعبر عن أول يوم (١ يناير) في عام ٢٠١٢ والملف 204.alm يعبر عن اليوم ٢٠٤ (٢٣ يوليه) من هذا العام:

فإذا أخذنا مثلا ملف يوم ٢٠٤ فنجده – عند الضغط عليه - كالتالي:

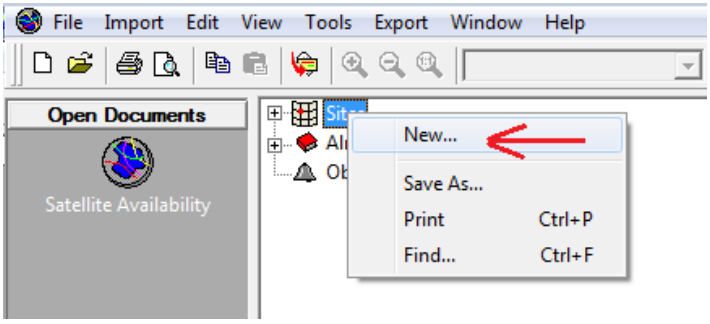


نقوم بنسخ محتويات الملف (ما عدا شعار هيئة حرس السواحل) في ملف نصي Text File علي أن نقوم بتغيير امتداد الملف من txt إلي alm.

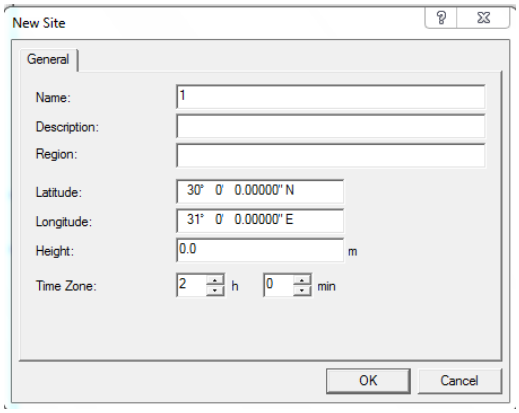
بعد تحميل ملف المدارات من الانترنت نبدأ في استخدام أمر اتاحية الأقمار الصناعية Satellite Availability من قائمة أدوات Tools في برنامج LGO:



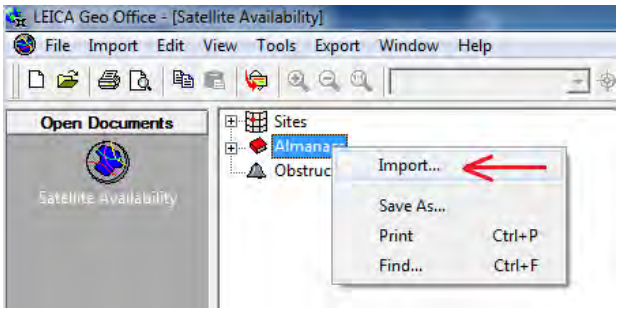
نضغط بالماوس الأيمن علي أمر مواقع Sites ثم نختار موقع جديد New:



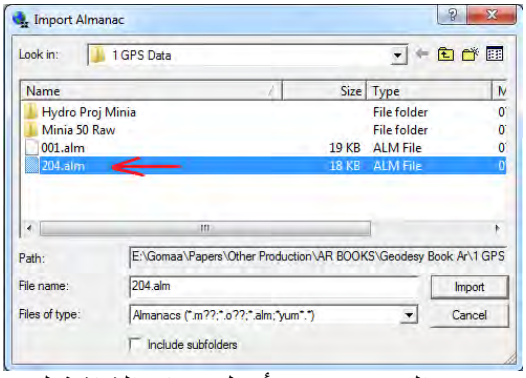
نـدخل اسـم للموقـع الجديـد و إحداثياتـه التقريبيـة (دائـرة العـرض Latitude و خـط الطـول Longitude) ثم نضغط Ok:



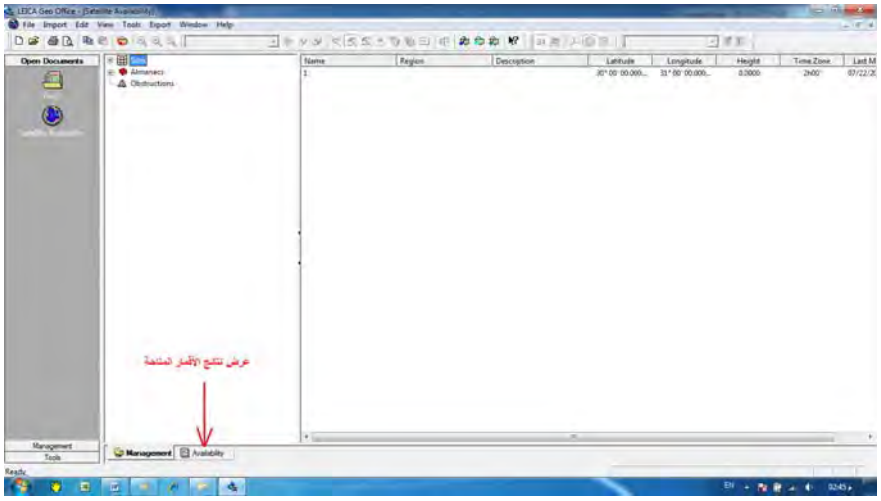
نضغط بالماوس الأيمن علي أمر ملفات المدار Almanacs ثم نختار استيراد Import:



نختار ملف المدارات الذي تم تحميله من الموقع السابق (بعد أن غيرنا امتداده إلي alm) ثم نضغط Import:



نضغط علي أيقونة Availability الموجودة في أسفل يسار الشاشة لعرض نتائج الأقمار المتاحة:



تنقسم شاشة النتائج إلي **جزأين طوليين**: علي يسار الشاشة توجد عناصر التحكم بينما يتم عرض النتائج علي يمين الشاشة. الجزء العلوي الأيسر به عناصر العرض المطلوب مثل اليوم المطلوب Date و بداية الوقت المطلوب Start و مدة الوقت المطلوب Duration وأيضا نوع البيانات GPS/GLONASS. كل هذه العناصر يمكن تغييرها بسهولة بمجرد الضغط بالماوس علي أيا

منهم. الجزء الأوسط الأيسر به أنواع النتائج التي يمكن للبرنامج عرضها مثل PDOP, GDOP, HDOP, VDOP ويمكن اختيار النوع المطلوب بالضغط بالماوس علي الدائرة الصغيرة الموجدة بجوار اسمه. وبجرد اختيار أي نوع ستتغير الشاشة اليمني (النتائج) مباشرة. الجزء الأسفل الأيسر به أرقام الأقمار الصناعية المتاحة للرصد في اليوم المحدد عند هذا الموقع المحدد. إذا ضغطنا الماوس علي المربع الصغير أمام رقم أي قمر صناعي (نزيل علامة الصح) فأن هذا القمر سيختفي تأثيره من شاشة النتائج. أي أننا – بهذه الطريقة – يمكننا معرفة تأثير كل قمر من الأقمار الصناعية علي الأرصاد المتوقعة (قبل الرصد الفعلي) واستخدام هذه المعلومة لاحقا في الحسابات.

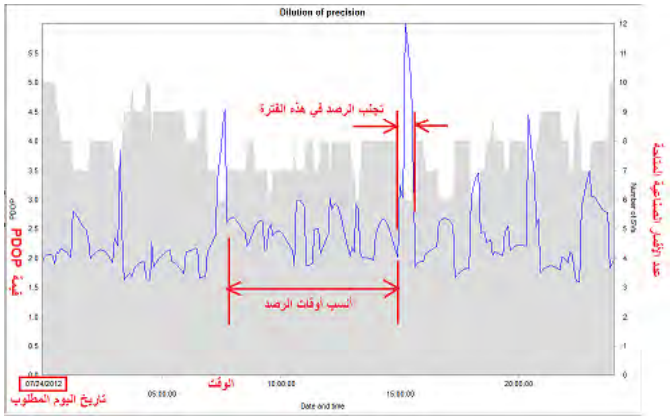
أما الجزء الأيمن من الشاشة (النتائج) فيتكون من:

- المحور السيني (الأفقي) للوقت الذي تم تحديده لعرض الأقمار الصناعية
- المحور الصادي (الرأسي) علي يمين الشاشة يحدد عدد الأقمار الصناعية وهو مرسوم باللون الرصاصي.
- المحور الصادي (الرأسي) علي يسار الشاشة يحدد قيمة PDOP (في هذا المثال) وهو مرسوم كخط مستمر باللون الأزرق الفاتح.

في المثال الحالي (أنظر الشكل) نستطيع أن نستنتج الآتي:

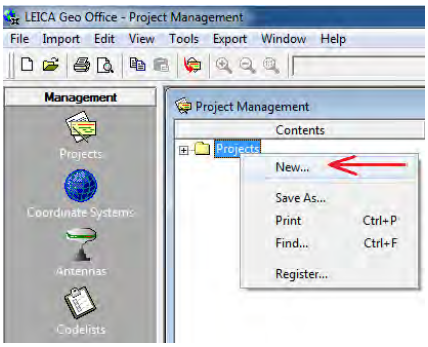
- يوجد علي الأقل عدد ٦ أقمار صناعية طوال ٢٤ ساعة في اليوم المحدد
- يتراوح عدد الأقمار المتاحة – في هذا الموقع المحدد – بين ٦ و ١٠ أقمار
- توجد ١٠ أقمار في أول ساعة تقريبا من اليوم ثم تقل إلي ٩ .... وهكذا، وتعود مرة أخري إلي الرقم ١٠ مع نهاية اليوم
- تبدأ قيمة PDOP (الخط الأزرق) عند الساعة صفر لتساوي ٢ وتزداد حتى تصل إلي ٤ عند الساعة تقريبا ٤ ثم تعود إلي ما يقارب ٢ حتى الساعة ٦ ثم تقفز إلي ٤.٥ عند الساعة تقريبا ٨ ..... وهكذا
- إذن لو كان لدينا مشروع للرصد الثابت Static في هذا اليوم فمن الأفضل إجراء الرصد الحقلي بين الساعة ٨ صباحا و ٣ ظهرا، فهذه الفترة – كما في الشكل – يكون فيها PDOP في حدود ١.٥ – ٣ وهي قيم ممتازة للرصد الثابت.

- للعمل المساحي أو الجيوديسي الذي يتطلب دقة كبيرة أو متوسطة فيجب بقدر الإمكان تجنب الرصد (سواء الثابت أو المتحرك) في الفترة من الساعة ٣ إلي ٤ ظهرا لأن قيمة PDOP تقفز إلي حوالي ٥.٥ وهي أكبر قيمة في هذا اليوم المحدد لهذا الموقع المحدد.
- الفترة السابقة بها عدد أقمار يبلغ ٦ فقط وقيمة PDOP هي الأكبر طوال اليوم. نلاحظ من الشكل أن هناك بعض الفترات الأخرى بها ٦ أقمار صناعية فقط إلا أن قيمة PDOP لها لا ترتفع لهذا الحد (مثلا الفترة ٤-٥ ظهرا في الشكل). كما قلنا أن PDOP هو تأثير توزيع الأقمار الصناعية حتى إن كان عددها واحد، فيمكن وجود ٦ أقمار موزعين توزيعا جيدا بالنسبة لموقع الرصد ويعطوا قيمة PDOP متوسطة ويمكن وجود ٦ أقمار لكن توزيعهم غير جيد فيعطوا قيمة PDOP كبيرة. فليس عدد الأقمار هو المهم إنما طريقة توزيعهم، وهذه أحد مميزات الخطوة الحالية لاختيار أنسب أوقات الرصد مسبقا.

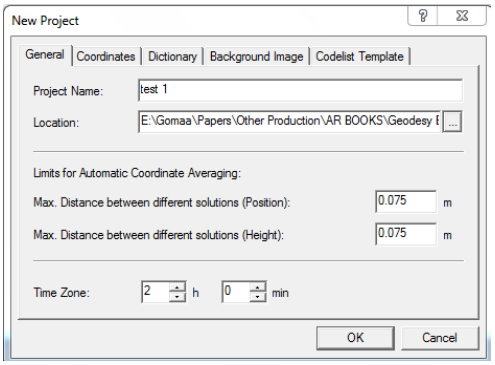


٢٠-٢ حسابات خطوط القواعد

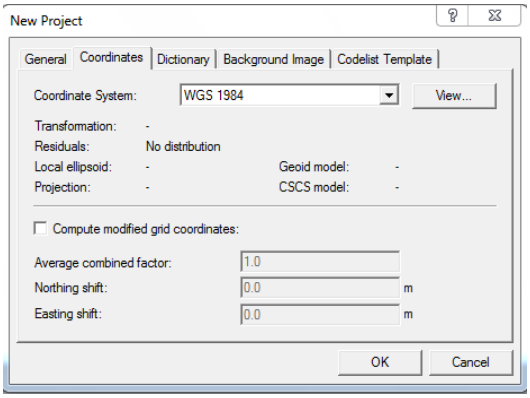
من القائمة الرئيسية لبرنامج LGO نضغط أيقونة مشروعات Projects ثم نختار أمر مشروع جديد New:



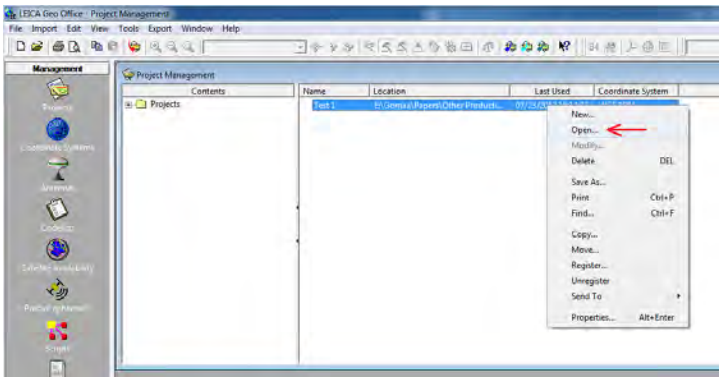
نحدد اسم للمشروع الجديد Project Name و مسار المجلد Location الذي سيتم إنشاؤه بداخله:



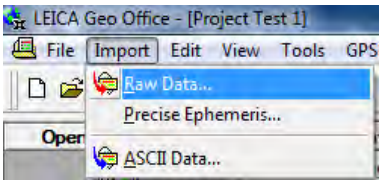
إذا ضغطنا أيقونة الإحداثيات Coordinates (أعلي الشاشة) نجد أن نظام الإحداثيات لهذا المشروع سيكون WGS 1984 وسنتركه كما هو دون تغيير ونضغط OK:



أصبح لدينا المشروع الجديد ولفتحه: (١) نضغط بالماوس الأيمن علي أسم المشروع ثم نختار أمر Open، أو (٢) نضغط عليه ضغطتين متتاليتين (دوبل كليك) مباشرة:

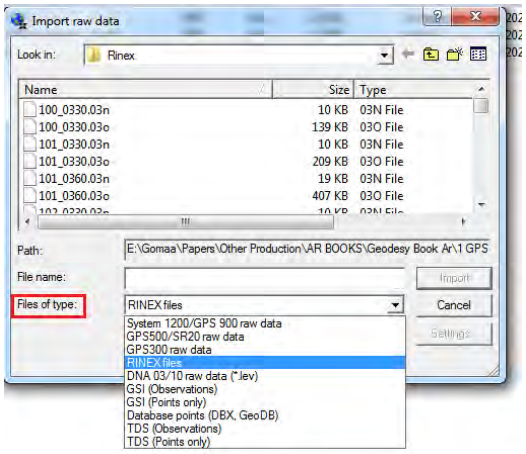


في الخطوة التالية نبدأ في استيراد البيانات (ملفات الأرصاد الأساسية) من خلال الضغط علي أيقونة Import من شريط الأدوات الرئيسي للبرنامج ثم اختيار أمر البيانات الأصلية Raw Data:

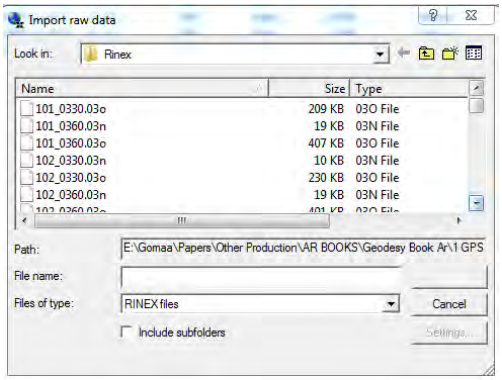


بفتح السهم الصغير بجوار كلمة نوع الملفات Files of Type نجد عدة خيارات يتيحها برنامج LGO: ملفات أجهزة ليكا موديل ١٢٠٠، ملفات أجهزة ليكا موديل ٥٠٠، ملفات أجهزة ليكا موديل ٣٠٠ (لاحظ أن برنامج LGO هو من شركة ليكا وبالتالي يستطيع قراءة ملفات أجهزة ليكا مباشرة لجميع موديلاتها)، ملفات RINEX ..... الخ.

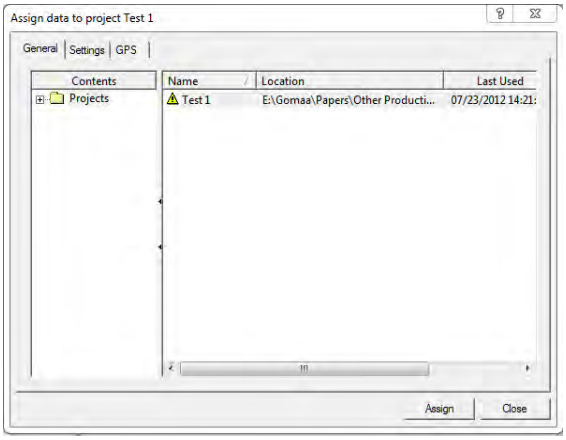
كلمة RINEX هي اختصار جملة Receiver Independent Exchange Format أي صيغة تبادل الملفات دون الاعتماد علي نوع الجهاز، وهي صيغة قياسية standard للتعامل مع ملفات أرصاد الجي بي أس الناتجة من أي جهاز استقبال. هذه الصيغة هي التي تمكن أي برنامج حسابات من التعامل مع ملفات أجهزة من شركة أخري غير تلك الشركة المنتجة لهذا البرنامج. نحتاج لهذه الصيغة – خاصة – عندما يكون لدينا نوعين من أجهزة الجي بي أس (مثلا ليكا و ترمبل) تم استخدامهم في نفس المشروع، فنقوم باستخدام برنامج شركة ترمبل لكي يصدر export ملفات أجهزة ترمبل إلي صيغة RINEX وبالتالي يستطيع برنامج شركة ليكا LGO من قراءة و استخدام هذه الملفات.



نختار ملفات البيانات التي سيتم استيرادها:



نختار المشروع المطلوب (في حالة وجود أكثر من مشروع) ثم نضغط أيقونة Assign لكي يتم تسجيل الملفات في مكونات هذا المشروع:

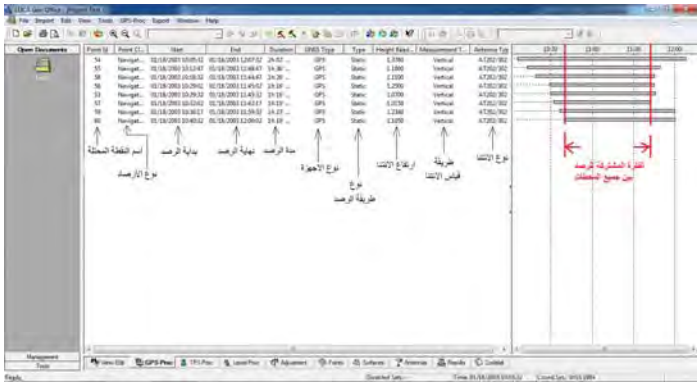


في شاشة حسابات الجي بي أس GPS-Proc (شريط الأدوات السفلي بالنافذة) نجد عرض لمعلومات الملفات الأصلية التي تم تحميلها. تنقسم الشاشة إلي جزأين: في الجزء الأيسر عرض لتفاصيل معلومات كل نقطة مرصودة، بينما الجزء الأيمن تمثيل بياني لوقت الرصد في كل نقطة من النقاط المرصودة.

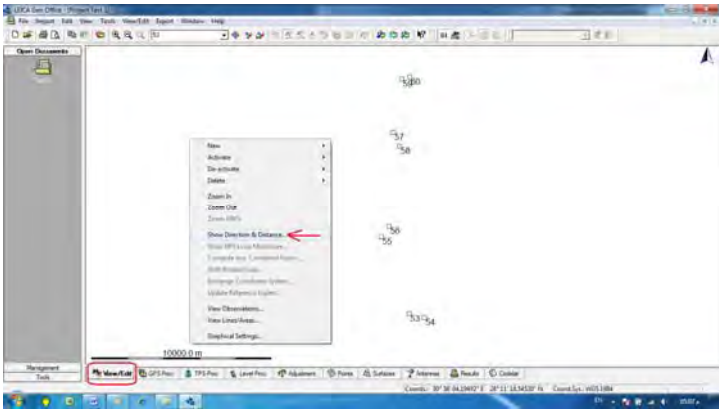
من المهم مراجعة هذه البيانات بدقة قبل البدء في حسابات خطوط القواعد. فعلي سبيل المثل فأن فترة الرصد Duration لكل نقطة تبين أن الجهاز كان يعمل متصلا دون أية مشاكل طوال فترة الرصد. أيضا فأن نوع طريقة الرصد Static - في المثال الحالي – تبين أن جميع الأجهزة كانت تعمل في الرصد الثابت، فأحيانا يخطأ المستخدم في اختيار نوع طريقة الرصد في بداية العمل الحقلي ويختار مثلا الرصد المتحرك Kinematic فنستطيع اكتشاف هذا الخطأ في الشاشة الحالية.

من المعلوم أن قياس ارتفاع الأنتنا أصبح أكثر مصادر الأخطاء البشرية في أرصاد الجي بي أس، فهذه التقنية تكاد تكون آلية بنسبة كبيرة جدا إلا في جزئيتين يقوم المستخدم بعملهم بنفسه وقد يخطأ في أيا منهما: ضبط تسامت الجهاز علي النقطة المحتلة و قياس ارتفاع الأنتنا. من الأفضل لمستخدم الجي بي أس أن يقوم بتسجيل ارتفاع الأنتنا – عند كل نقطة – في كشف خارجي بالإضافة لقيامه بادخالها للجهاز أثناء عملية ضبط الجهاز في الموقع وبدء الرصد. فربما يقوم بإدخال قيمة خطأ في الجهاز، ففي هذه الحالة يمكنه الآن (في الشاشة الحالية) من مراجعة قيمة هذا الارتفاع وتصحيحه إن كان به خطأ قبل البدء في الحسابات.

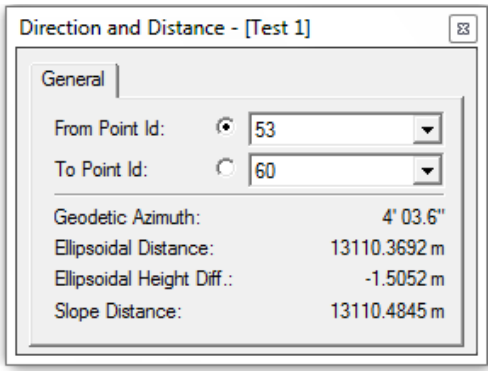
أيضا يمكننا الجزء الأيمن من الشاشة أن نعرف قيمة فترة الرصد المشتركة بين جميع الأجهزة (جميع النقاط) التي تشترك في فترة الرصد session الحالية. فكما نري في الشكل التالي أن بعض الأجهزة لها أرصاد Duration أكثر من ساعتين بينما البعض الآخر له أرصاد ساعة و ١٩ دقيقة فقط. كما نري أن الجزء المشترك بين جميع الأجهزة هو في الفترة من ١٠:٤٥ إلي ١١:٤٥ تقريبا.



إذا ضغطنا أيقونة View/Edit من شريط الأدوات الأسفل فنري مواقع المحطات وإحداثياتها التقريبية. فإذا ضغطنا بالماوس الأيمن تظهر نافذة نختار منها أمر Show Direction & Distance:



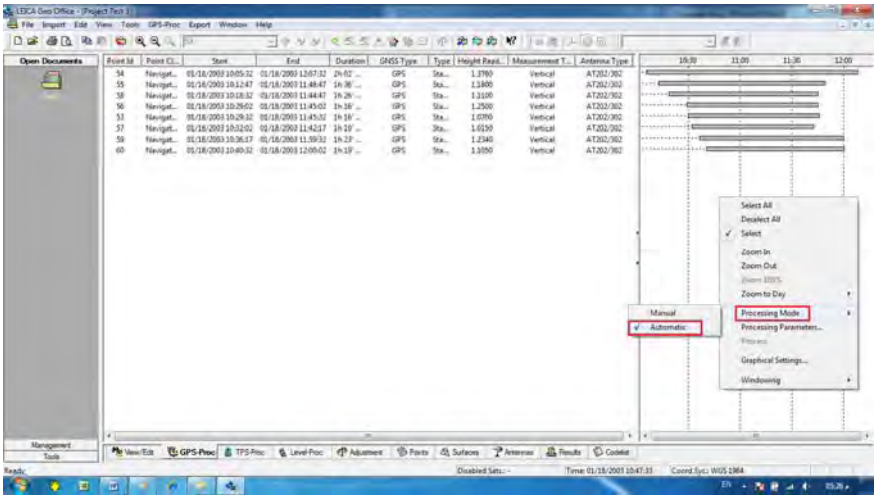
لكي نعرف المسافة و الانحراف بين أي نقطتين في الشبكة الحالية نختار أول نقطة (رقم ٥٣ في المثال الحالي) أمام أمر From Point ونختار آخر نقطة (رقم ٦٠) أمام أمر To Point فيعرض البرنامج لنا المسافة المائلة Slope Distance و فرق الارتفاع Ellipsoidal Height Diff والانحراف الجيوديسي Geodetic Azimuth والمسافة علي الاليبسويد Ellipsoidal Distance بين هاتين النقطتين:



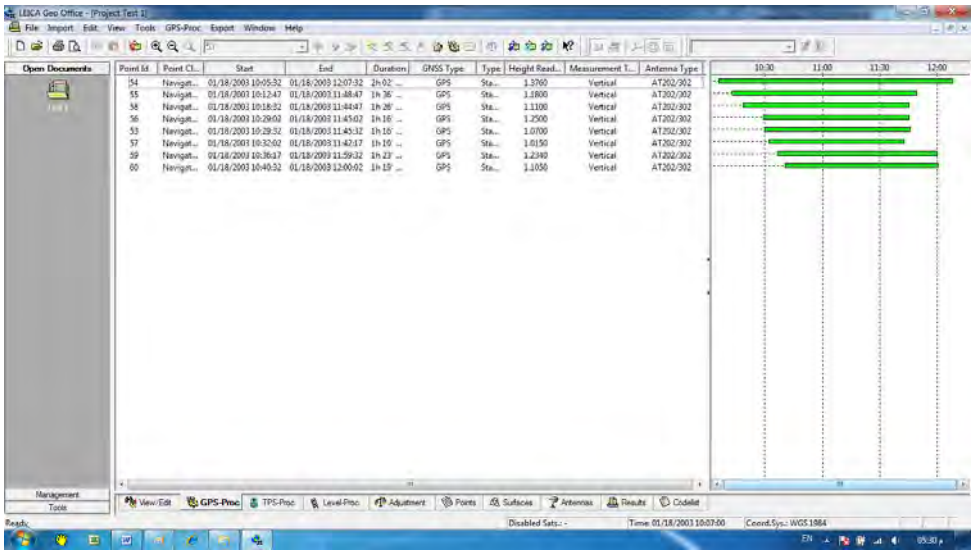
أي أن الشبكة الحالية تمتد مسافة ١٣١١٠ متر بين أول و آخر نقطتين بها. وكل هذه الخطوات بهدف فحص الشبكة و معلوماتها قبل البدء في الحسابات الفعلية.

٢٠-٢-١ الحسابات بعناصر البرنامج نفسه

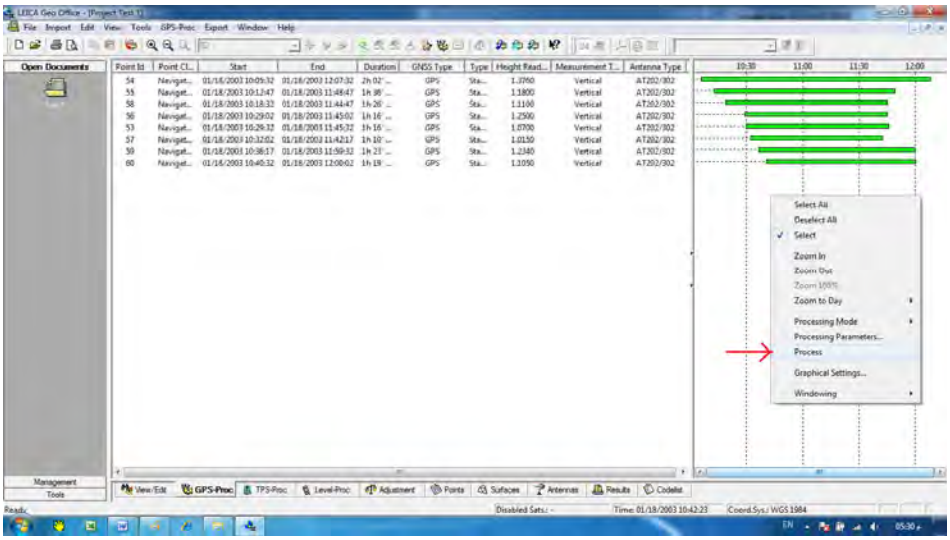
لبدء الحسابات بالطريقة الآلية (عناصر الحساب التي يحددها البرنامج بنفسه) نضغط بالماوس الأيمن في يمين الشاشة ومن النافذة نختار أمر طريقة الحسابات Processing Mode ومنها نختار الطريقة الآلية Automatic:



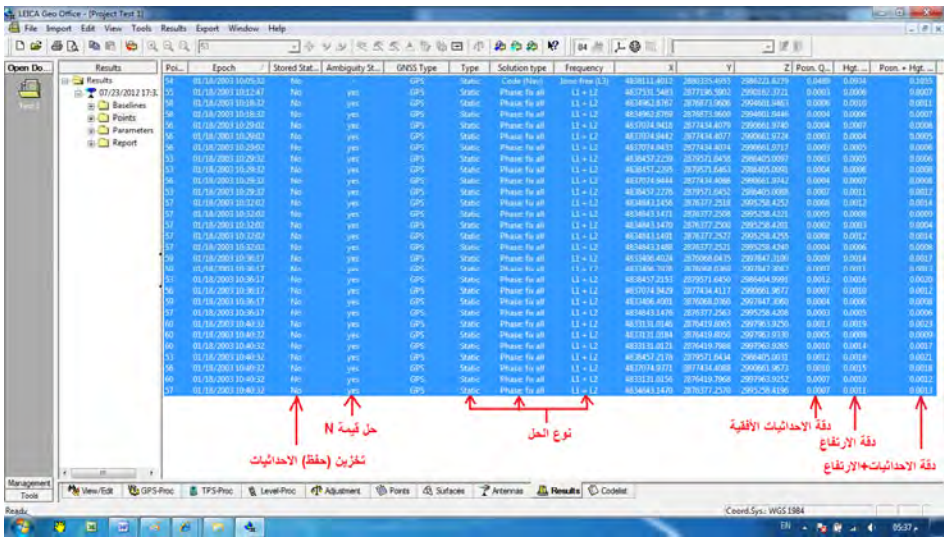
نضغط بالماوس علي كل خط أرصاد (كل نقطة مرصودة) في يمين الشاشة ليتم اختيارها و تتحول إلي اللون الأخضر:



ثم نضغط بالماوس الأيمن و من النافذة نختار أمر بدء الحسابات Process:



بعد عدة ثواني (طبقا لعدد نقاط الشبكة الحالية) يبدأ ظهور نتائج الحل، وتكون أول شاشات النتائج هي شاشة إحداثيات النقاط:

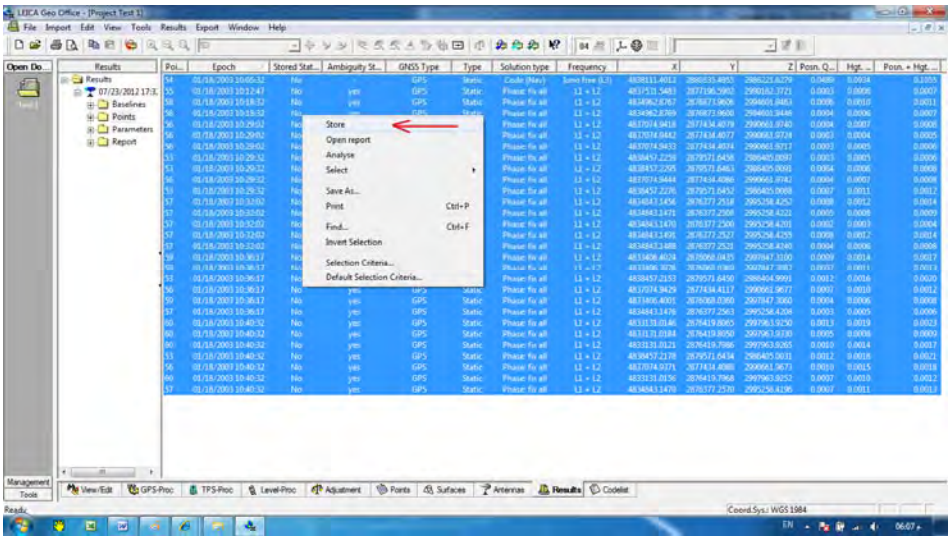


<u>من المهم فحص هذه النتائج بدقة و تمعن:</u>

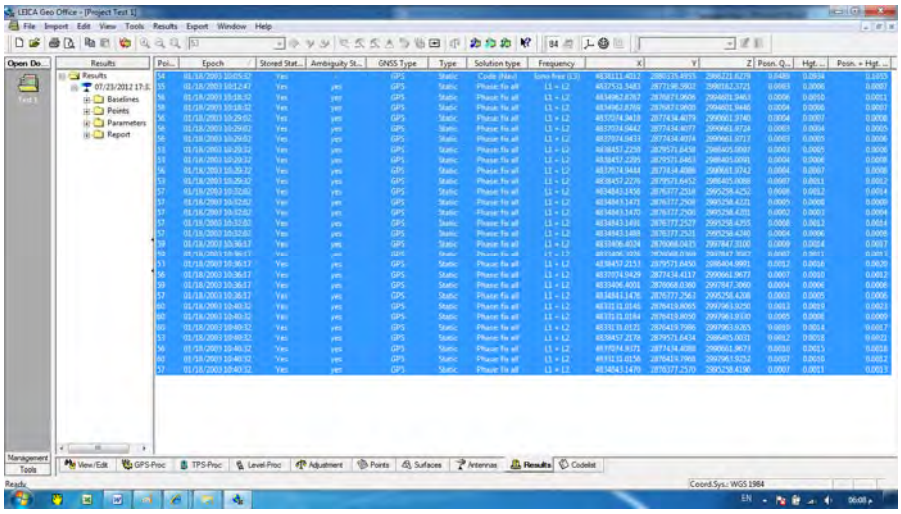
- عمود أو خانة Ambiguity Status تحدد لنا هل تم الوصول لقيمة ثابتة Fixed لفرق طور الإشارة Ambiguity عند كل نقطة أم لا. كما سبق الذكر فأن هذا الخطأ N هو أهم مصادر الأخطاء لأرصاد الجي بي أس الثابتة للمسافات القصيرة (أقل من ٥٠ كيلومتر) وإذا تم الوصول لقيمة ثابتة Fixed N فهذا مؤشر علي الدقة العالية لخط القاعدة. في المثال الحالي نجد أن جميع النقاط قد تم حل قيمة N لها ماعدا أول نقطة (رقم ٥٤).

- عمود نوع الحل Solution Type يبين لنا نوع الحل عند كل نقطة من نقاط الشبكة. نجد أن كل النقاط لها حل Phase Fix All أي تم تثبيت N في أرصاد طور الإشارة، ماعدا النقطة الأولي – رقم ٥٤ – والتي لها حل Iono-Free علي أرصاد Code. والسبب في ذلك أن البرنامج لكي يستطيع حساب خطوط القواعد جب أن يعرف إحداثيات نقطة واحدة من نقاط الشبكة وذلك عن طريق تثبيت إحداثيات أي نقطة (أول نقطة هنا) الناتجة من أرصاد الشفرة أي إحداثياتها التقريبية الملاحية.
- نلاحظ أن لكل نقطة من نقاط الشبكة (ماعدا أول نقطة رقم ٥٤) لها أكثر من سطر في النتائج، أي لها أكثر من قيمة من قيم الإحداثيات. حيث أن كل نقطة مربوطة مع أكثر من نقطة أخري في أكثر من خط وبالتالي سينتج لها قيم إحداثيات من كل خط قاعدة من هذه الخطوط.
- عمود أو خانة Position Quality يعطي قيمة دقة الإحداثيات الأفقية عند كل نقطة. نلاحظ أن الدقة تقريبا ١ ملليمتر أو أقل لكل النقاط ماعدا أول نقطة رقم ٥٤ (إحداثياتها تقريبية).
- عمود أو خانة Height Quality يعطي قيمة دقة الإحداثيات الرأسية أو الارتفاع عند كل نقطة.
- عمود أو خانة Position + Height Quality يعطي قيمة دقة الإحداثيات الأفقية و الرأسية (ثلاثية الأبعاد) عند كل نقطة. نلاحظ أن الدقة لجميع النقاط (ماعدا ٥٤) تقريبا في حدود عدة ملليمترات مما يدل علي جودة الأرصاد الأصلية وعدم وجود أي مشاكل بها.

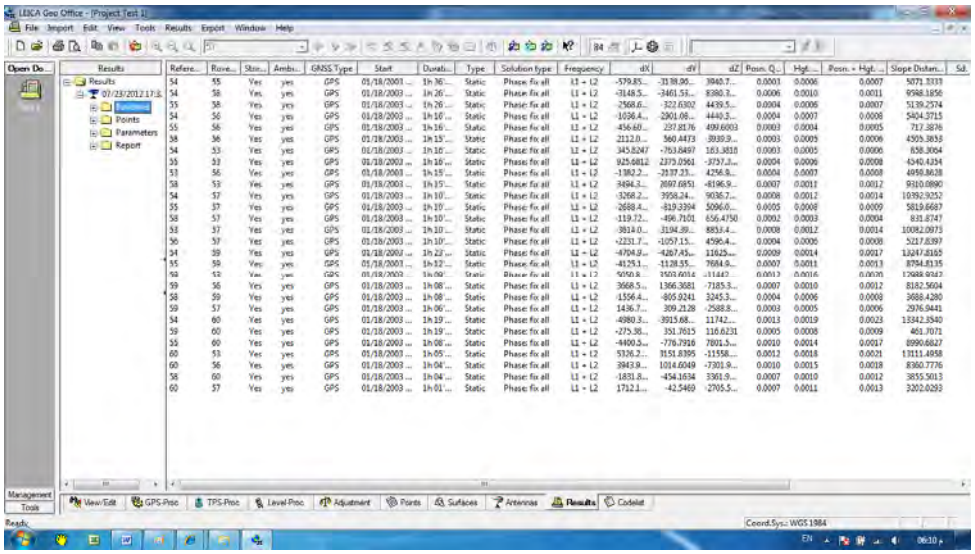
الخطوة التالية هي حفظ هذه النتائج. طالما أن عمود Ambiguity يدل علي دقة الحلول كلها (yes تعني أنه تم الوصول لقيمة N ثابتة) فسنحفظ الحلول كلها. أما في حالة أن أحد النقاط ظهرت أمامها كلمة No في هذا العمود فيجب أن نضغط عليها بالماوس (نزيل التظليل الأزرق من هذا الخط) حتى لا يتم حفظها. نضغط بالماوس الأيمن ومن النافذة نختار أمر حفظ Store:



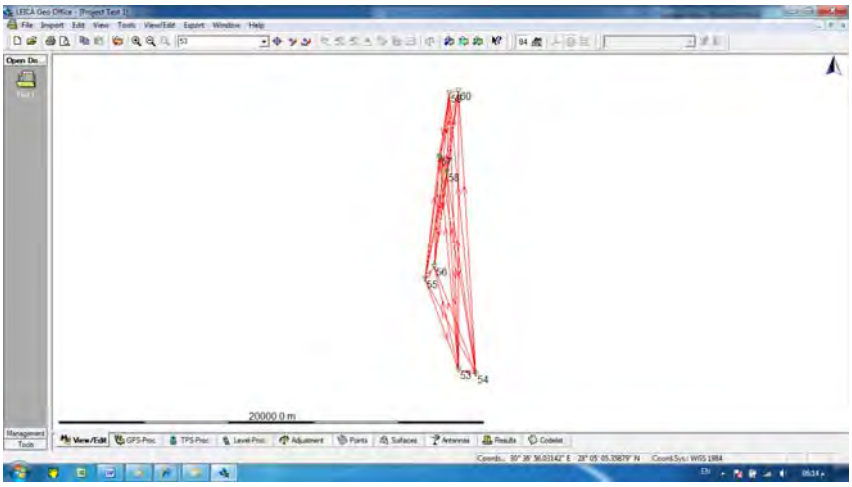
فنجد أن عمود Stored Status قد تغير كله إلي كلمة Yes أي تم الحفظ:



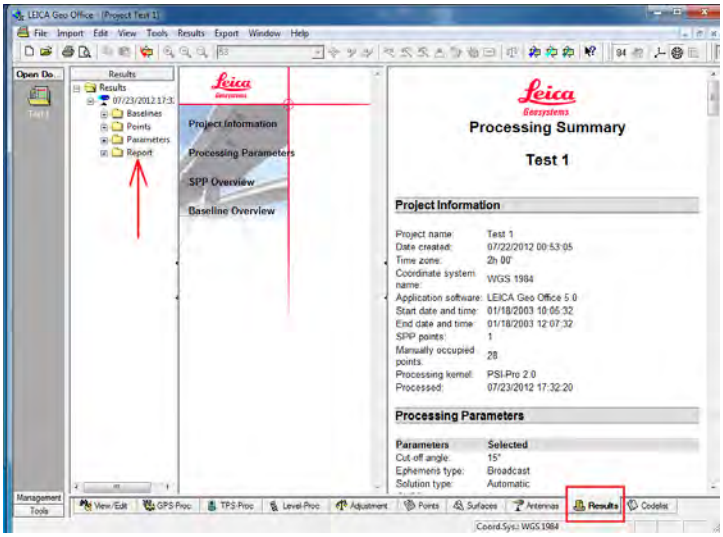
لروية نتائج خطوط القواعد (وليس نتائج النقاط) نضغط أمر Baselines في الجزء الأيسر من الشاشة. نلاحظ أن عمود نوع الحل Solution Type يحتوي كله (لجميع الخطوط) علي نوع Phase Fix All أي الحل الثابت لأرصاد الطور (أدق و أفضل الحلول المتاحة لخطوط القواعد القصيرة).



لرؤية رسم لشبكة خطوط القواعد التي تم التوصل اليها نضغط أيقونة View/Edit من شريط الأدوات السفلي للبرنامج:



يمكن في أي وقت فحص نتائج الحسابات من خلال الضغط علي أيقونة النتائج Results في شريط الأدوات السفلي للبرنامج، ثم الضغط علي أيقونة تقرير Report من الجزء الأيسر لعرض التقرير الكامل لحسابات خطوط القواعد.



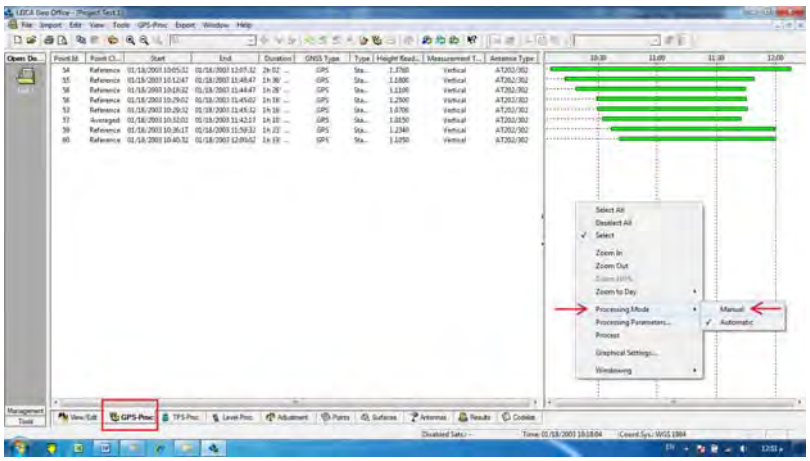
برنامج LGO لا يحتاج لأمر Save حيث أنه يخزن النتائج أولا بأول (من أهم مميزات البرنامج من وجهة نظر بعض المستخدمين)، فيمكن غلق البرنامج ونحن متأكدون أن ما توصلنا إليه من نتائج قد تم تخزينها آليا.

٢٠-٢-٢ الحسابات بعناصر منتقاة

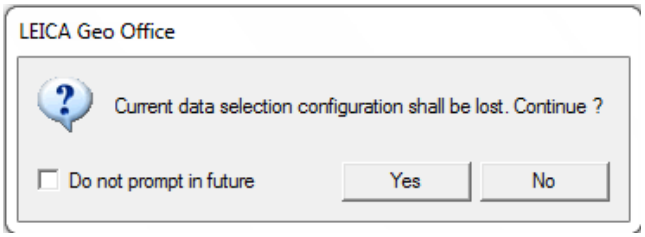
في الجزء السابق قمنا باستخدام خطوة الحساب الآلي لإجراء حسابات خطوط القواعد، وهي خطوة يقوم البرنامج بتنفيذها باستخدام قيم معينة لعناصر الحساب Default Processing Parameters. هذه الخطوة أو الطريقة تصلح لمستخدم الجي بي أس المبتدئ حيث تمكنه من الحصول علي النتائج بسرعة. لكن علي المستخدم المتقدم أن يفحص معاملات عناصر الحساب

ويحدد بنفسه إن كانت تتطلب أية تغييرات أم لا، فأحيانا يكون المشروع بهدف إنشاء شبكة جيوديسية عالية الدقة تصلح كأساس لشبكات تفصيلية أخري للرفع المساحي في منطقة العمل. وفي مثل هذه الحالة نريد أن نتأكد أن عناصر الحساب المستخدمة فعلا ستسمح لنا بالحصول علي دقة عالية في خطوط القواعد (**أهم خطوات** الجي بي أس لأن كل الخطوات اللاحقة ستعتمد علي نتائج خطوط القواعد). من هنا فيجب تعلم إجراء الحسابات يدويا ، أي باستخدام قيم مختلفة لعناصر و طريقة إجراء حسابات خطوط القواعد.

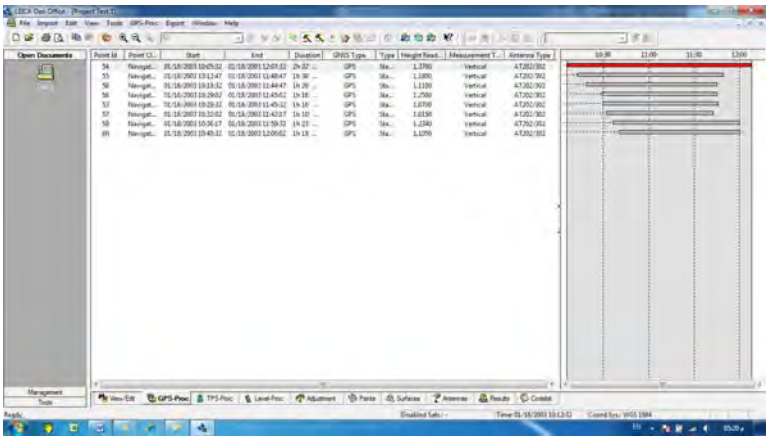
نضغط أيقونة الحسابات GPS-Proc من شريط الأدوات السفلي للعودة لشاشة حسابات خطوط القواعد ثم نضغط الماوس الأيمن (في الجزء الأيمن من الشاشة تحت الخطوط) ومن النافذة نختار أمر طريقة الحساب Processing Mode ثم نختار الطريقة اليدوية Manual



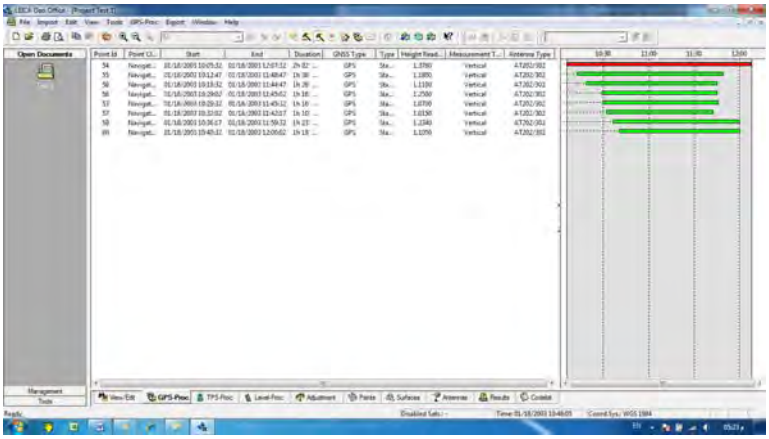
تظهر رسالة تحذيرية أن طريقة اختيار الخطوط الحالية سيتم إلغاؤها، نضغط Yes:



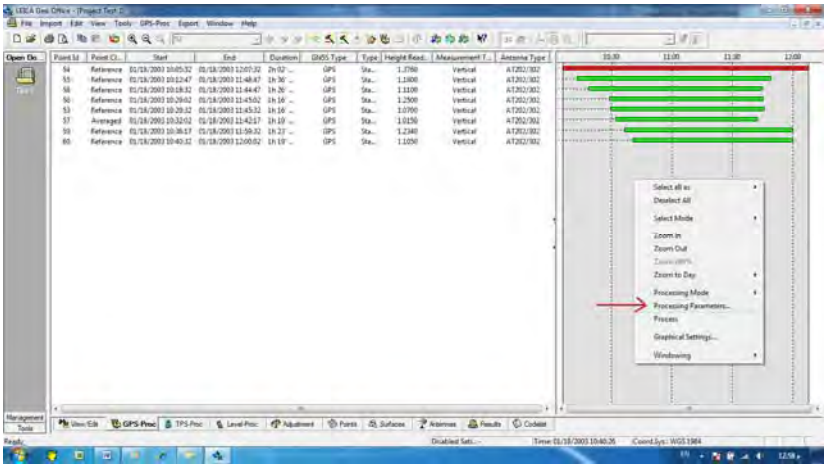
لحساب خطوط القواعد Base Lines في هذه الشبكة فمطلوب أن نختار أحد نقاط الشبكة (أي نقطة) لنعتبرها نقطة مرجعية Reference بينما باقي النقاط سيتم اعتبارها نقطة غير مرجعية Rover. يتم ذلك باستخدام أيقونتي Reference و أيقونة Rover من شريط الأدوات العلوي بالبرنامج. نبدأ بالضغط علي أيقونة ثم نضغط بالماوس علي ملف أول نقطة (رقم ٥٤) في الجزء الأيمن من الشاشة فيتغير لون أرصاد هذه النقطة إلي اللون الأحمر (أي أنها أصبحت نقطة مرجعية الآن):



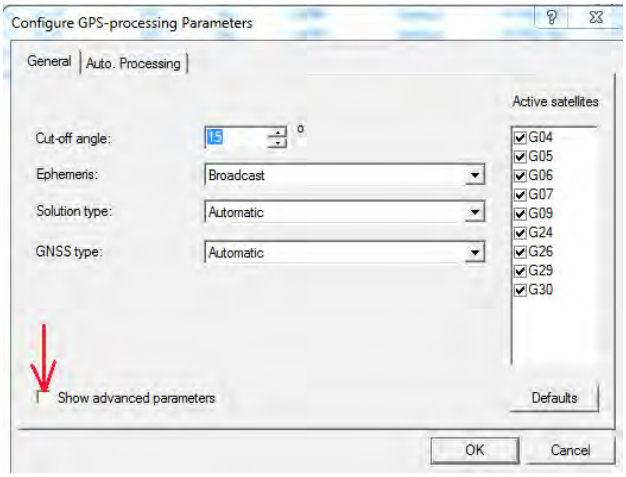
ثم نضغط علي أيقونة ونضغط بالماوس علي ملفات باقي النقاط في الجزء الأيمن من الشاشة فيتغير لون أرصاد هذه النقاط إلي اللون الأخضر:



بالضغط بالماوس الأيمن ومن النافذة نختار أمر عناصر الحسابات Processing Parameters :

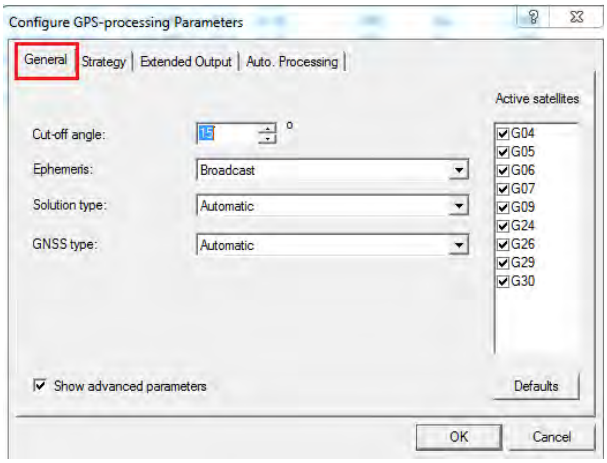


لعرض جميع عناصر الحسابات نضع علامة صح أمام لأمر عرض العناصر المتقدمة Show advanced parameters:



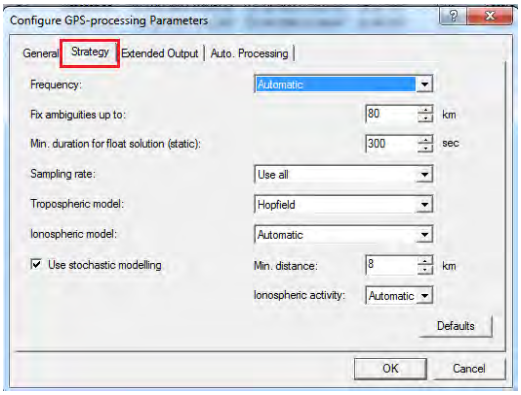
المجموعة الأولي: العناصر العامة General وتحتوي:

- قيمة زاوية القطع أو زاوية القناع Cut-off angle: الزاوية الرأسية المقاسة من خط الأفق عند موقع الرصد والتي لا يتم تسجيل إشارات الأقمار الصناعية إن كانت زاوية الإشارة أقل من قيمة زاوية القناع. أهمية هذه الزاوية أنها تمنع تسجيل إشارات الأقمار الصناعية التي تكون شبه أفقية بالنسبة لموقع الراصد حيث أن هذه الإشارات ستكون قد مرت في مسافة كبيرة من طبقات الغلاف الجوي مما يجعل خطأ طبقتي الأيونوسفير و التروبوسفير كبير في هذه الإشارات وبالتالي فمن الأفضل عدم استخدام هذه الأرصاد في الحساب. القيمة المتعارف عليها لزاوية القناع هي ألا تقل عن ١٥°.
- نوع مدارات الأقمار الصناعية Ephemeris: يوجد لدينا اختيارين إذا ضغطنا السهم الأسود الصغير: (١) المدارات كما تم بثها من الأقمار الصناعية ذاتها Broadcast ، (٢) المدارات الدقيقة Precise (والتي يمكن الحصول عليها من موقع المنظمة العالمية IGS كما سيأتي شرحه لاحقا).
- نوع الحل Solution Type: يوجد لدينا عدة اختيارات إذا ضغطنا السهم الأسود الصغير: الحل الآلي Automatic، الحل الثابت باستخدام أرصاد الطور Phase all fix، الحل الثابت باستخدام أرصاد الطور في الجي بي أس مع الحل غير الثابت لأرصاد تقنية الجلوناس Phase: GPS fix, GLONASS float، الحل بأرصاد الشفرة Code، الحل غير الثابت Float. الحل الآلي هو الأفضل لأن البرنامج – في هذه الحالة – يحاول حساب جميع الحلول الأخرى ثم يختار أفضل أو أدق نتائجها.
- نوع تقنية الأقمار الصناعية GNSS: في حالة أن جهاز الاستقبال لديه القدرة علي استقبال إشارات أقمار الجي بي أس وأيضا أقمار الجلوناس فيمكن هنا اختيار إن كانت أرصاد كلاهما ستستخدم في الحسابات أم نستخدم أرصاد الجي بي أس فقط.



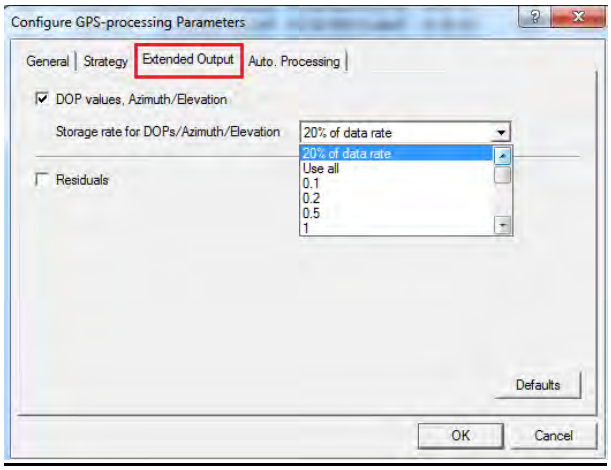
المجموعة الثانية: عناصر إستراتجية الحسابات Strategy وتحتوي:

- تـردد الأقمـار الـصناعية Frequency: تـشمل الخيـارات التـالي: الاختيـار الآلـي Automatic، اختيار تردد L1 فقط للأجهزة أحادية التردد، اختيار تردد L2 فقط، اختيار كلا من L1+L2، اختيار الترددين مع حذف تأثير طبقة الأيونوسفير حسابيا Iono-free (برنامج LGO يسمي هذا الخيار باسم L3). الاختيار الآلي هو الأفضل هنا لان البرنامج يحاول الحساب بكافة الخيارات الأخرى و يختار أدقهم.
- أقصي مسافة لتثبيت خطأ الطور Fix ambiguity up to: معظم المراجع الدولية تنص علي أن قيمة خطأ الطور يمكن حسابها بدقة – أي تثبيتها – في خطوط القواعد القصيرة حتى ٧٠-٨٠ كيلومتر.
- أقل فترة زمنية للحل غير الثابت Minimum duration for float static solution: في حالة عدم الوصول للحل الثابت في أرصاد الشبكات فيمكن محاولة الوصول لحل غير ثابت float بشرط توافر أرصاد لمدة لا تقل عن ٥ دقائق (٣٠٠ ثانية).
- معدل البيانات Sampling rate: الفترة الزمنية بين رصدتين متتاليتين من نفس القمر الصناعي. للأرصاد الثابتة static يفضل أن يكون هذا المعدل ١٥ ثانية لكن للأرصاد المتحركة فنستخدم معدلات أقل من هذا. أول اختيارات البرنامج – هنا - هو خيار Use all أي استخدام كل البيانات المتاحة.
- نموذج حساب خطأ التروبوسفير Tropospheric model: يسمح برنامج LGO بعدة نماذج لحساب قيمة تأثير طبقة التروبوسفير علي أرصاد الجي بي أس (مثل نماذج Hopfiled, Sasstamionen, Essan) وكلها نماذج عالمية موثوق بها.
- نموذج حساب خطأ الأيونوسفير Ionospheric model: يسمح برنامج LGO بعدة نماذج لحساب قيمة تأثير طبقة الأيونوسفير علي أرصاد الجي بي أس وكلها نماذج عالمية موثوق بها.
- نشاط الأيونوسفير Ionospheric Activity: إن كانت لدينا معلومات عن طبيعة نشاط الأيونوسفير في وقت الرصد (من مواقع محطات الأرصاد العالمية) فيمكن تحديد طبيعة هذا النشاط (إن كان بسيطا Low أو متوسطا Medium أو عاليا High)، وإلا فنترك الخيار الآلي Automatic.



المجموعة الثالثة: عناصر النتائج الإضافية Extended Output وتحتوي:

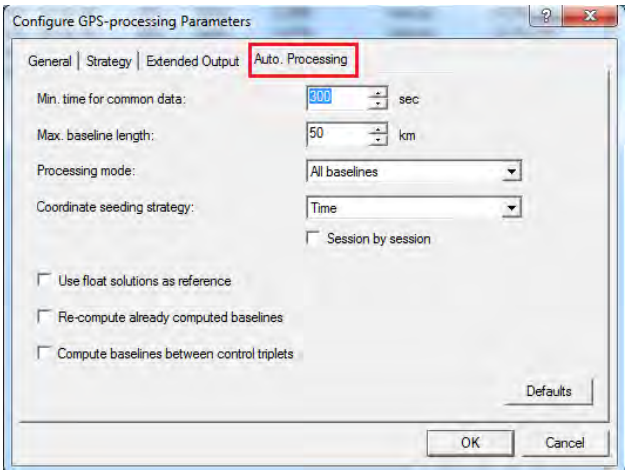
- كتابة قيم معامل الدقة و انحراف وارتفاع الأقمار الصناعية في تقرير النتائج DOP values, Azimuth/Elevation: إذا وضعنا علامة صح أمام هذا الأمر فسيقوم البرنامج بحساب هذه القيم و عرضها في تقرير النتائج (إذا أردنا فحصها الدقيق لاحقا). وفي هذه الحالة نحدد للبرنامج الفترة – بالثواني - التي نريد عندها حساب هذه القيم.
- كتابة قيم الأخطاء المتبقية للأرصاد في تقرير النتائج Residuals: إذا وضعنا علامة صح أمام هذا الأمر فسيقوم البرنامج بحساب هذه القيم و عرضها في تقرير النتائج (إذا أردنا فحصها الدقيق لاحقا).



المجموعة الرابعة: عناصر الحساب الآلي Auto Processing وتحتوي:

هذه العناصر تحتوي القيم التي يطبقها البرنامج عند إجراء الحسابات بالصورة الآلية Automatic، ومع ذلك يتيح البرنامج للمستخدم أن يقوم بتغيير أيا من هذه القيم:

- أقل وقت للأرصاد المشتركة بين النقاط Minimum time for common data: أي يجب توافر بيانات مشتركة زمنيا بين النقاط المرصودة لمدة لا تقل عن ٣٠٠ ثانية (٥ دقائق) حتى يمكن حساب خطوط القواعد بين هذه النقاط.
- أقصي طول لخط القاعدة Maximum baseline length: القيمة المقترحة من البرنامج هي ٥٠ كيلومتر.
- طريقة الحسابات Processing Mode: إما حساب جميع الخطوط بين النقاط المرصودة All Baselines أو حساب الخطوط المستقلة فقط Independent Baselines (أرجع لخصائص ضبط أقل المربعات لتفاصيل أكثر)، الخيار الأول هو الأفضل.
- طريقة تغير الأرصاد Coordinate seeding strategy: إذا اخترنا المسافة Distance فأن البرنامج سيبدأ في حساب أول خط قاعدة بين أول نقطة (النقطة المرجعية) وأقرب نقطة لها، ثم خط القاعدة الثاني لثاني أقرب نقطة .... وهكذا. أما إذا اخترنا الوقت Time فأن البرنامج سيبدأ في حساب أول خط قاعدة بين أول نقطة (النقطة المرجعية) والنقطة التي لها أطول وقت رصد مشترك مع النقطة المرجعية، ثم خط القاعدة الثاني لثاني نقطة لها ثاني أطول وقت رصد مشترك .... وهكذا.



الخلاصة أن برنامج LGO (مثله مثل أي برنامج حسابات جي بي أس) يتيح للمستخدم المتقدم أن يغير أيا من عناصر الحسابات بشرط أن يكون ذا خبرة تمكنه من اختيار و استخدام عناصر أكثر دقة في تنفيذ عملية حسابات خطوط القواعد. أما المستخدم المبتدئ فعلية الاعتماد علي عناصر الحسابات الآلية التي حددها البرنامج.

٢٠-٢-٣ الحسابات بمدارات دقيقة

٢٠-٢-٣-١ الحصول على ملفات المدارات الدقيقة

تتأثر الأقمار الصناعية في الفضاء بعدة مصادر للأخطاء خاصة تأثير الغلاف الجوي مما يجعل مداراتها الفعلية لا تنطبق مع المدارات المصممة لها. ومن ثم فأن بيانات المدار المرسلة داخل إشارات الأقمار الصناعية لمستخدمي الجي بي أس Broadcast Ephemeris لا تكون بدقة

عالية خاصة للتطبيقات الجيوديسية. في عام ٢٠٠٢م تم تأسيس المنظمة العالمية للجي بي أس International GPS Service (اختصارا IGS) ليكون من بين أهدافها إعادة حساب القيم الدقيقة لمدارات أقمار الجي بي أس – من خلال تحليل أرصاد حوالي ٤٠٠ محطة استقبال أرضية – ونشر هذه المدارات الدقيقة Precise Ephemeris or Price Orbits للمستخدمين حول العالم مجانا (/http://igscb.jpl.nasa.gov). امتد نشاط هذه المنظمة ليشمل أيضا حساب مدارات أقمار الجلوناس وبالتالي تغير أسمها إلي المنظمة العالمية لتقنيات تحديد المواقع International GNSS Service (مازال الاختصار كما هو IGS).

امتدادات ملفات المدارات المتاحة في IGS:

- الامتداد z: ملف مضغوط (يمكن إزالة الضغط عنه ببرامج الضغط المعروفة مثل winzip or winrare).
- الامتداد sp3: مدارات الأقمار الصناعية
- الامتداد erp: عناصر دوران الأرض
- الامتداد sum: ملف تقرير
- الامتداد clk or cls: تصحيحات ساعات الأقمار الصناعية

مصطلحات بدايات أسماء ملفات المدارات المتاحة في IGS:

- النوع igu في بداية اسم الملف: المدار السريع جدا
- النوع igr في بداية اسم الملف: المدار السريع
- النوع igs في بداية اسم الملف: المدار الدقيق أو النهائي

فمثلا الملف igswwwwd.sp3.z هو:

- ملف مضغوط (الامتداد z)
- ملف مدارات أقمار صناعية (الامتداد sp3)
- ملف مدارات نهائية أو دقيقة (igs في بداية اسم الملف)
- wwww: ٤ أرقام تدل علي رقم الأسبوع في تقويم الجي بي أس.
- d : رقم واحد يدل علي رقم اليوم في الأسبوع (يوم الأحد = ٠ إلي يوم السبت = ٦).

فمثلا الملف igs12345.sp3.z هو:

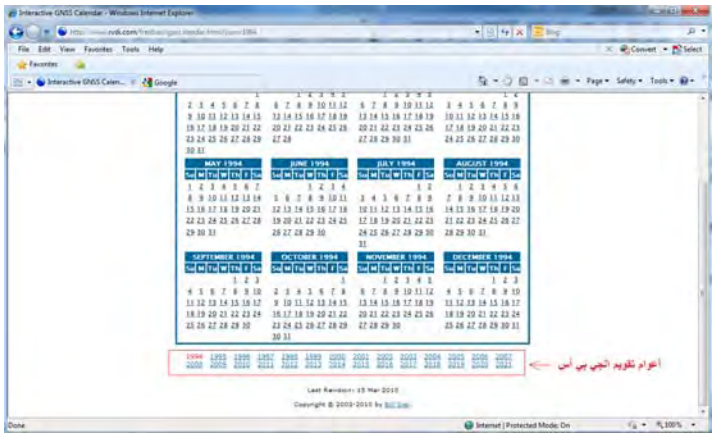
1234: الأسبوع رقم ١٢٣٤ في تقويم الجي بي أس.
5 : اليوم الخامس في هذا الأسبوع (يوم الجمعة).

بدأ تقويم الجي بي أس في يوم ٥ يناير ١٩٨٠م ليكون بداية الأسبوع الأول في التقويم. يبدأ كل أسبوع جديد في الساعة ١٢ منصف الليل – بتوقيت جرينتش – من بداية يوم الأحد. إذن لتحميل أي ملف من ملفات المدارات الدقيقة يجب أن نعرف – مسبقا – رقم الأسبوع و رقم اليوم في تقويم الجي بي أس المناظر ليوم الرصد العملي الذي قمنا به في مشروعنا. توجد عدة مواقع لمعرفة تقويم الجي بي أس منهم موقع هيئة المساحة الأمريكية في الرابط:

http://www.ngs.noaa.gov/CORS/Gpscal.shtml

أو التقويم التفاعلي في الرابط (أسهل في الاستخدام):
http://www.rvdi.com/freebies/gpscalendar.html

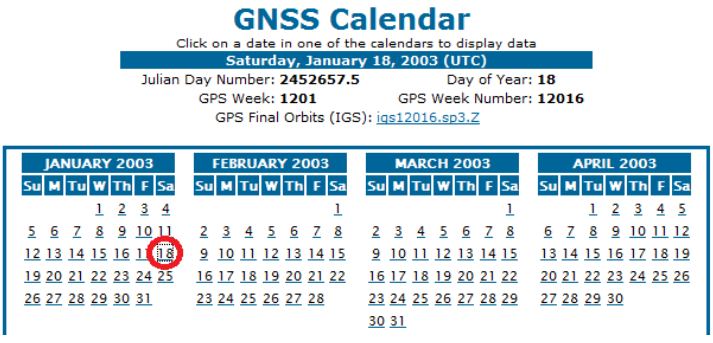
والرابط الأخير يقدم تقويما كاملا للأعوام من ١٩٩٤م إلي ٢٠٢١م:



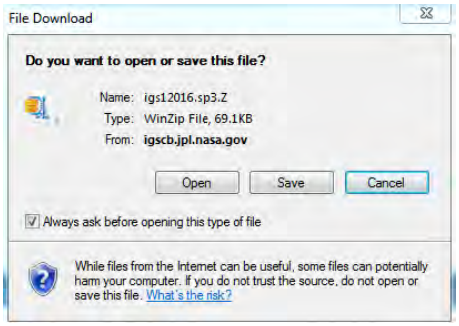
سنأخذ مثالا لتحديد أسبوع و يوم الجي بي أس لتاريخ الرصد ١٨ يناير ٢٠٠٣م (وهو يوم الرصد الفعلي للشبكة الموجودة في المثال المشروح في هذا الفصل).

في أسفل الصفحة نضغط عام ٢٠٠٣ ليظهر تقويم هذا العام كاملا، وبه نضغط علي يوم ١٨ في شهر يناير. في أعلي الصفحة سنجد بيانات هذا اليوم كالآتي:

- رقم الأسبوع في الجي بي أس = ١٢٠١
- رقم اليوم في الجي بي أس = ٦
- تقويم الجي بي أس = ١٢٠١٦
- أسم ملف المدار الدقيق لهذا اليوم = igs12016.sp3.z



نلاحظ هنا أن اسم ملف المدارات الدقيقة لهذا اليوم عبارة عن رابط مباشر، أي يمكن الضغط عليه بالماوس ليتم مباشرة تحميل الملف المطلوب:

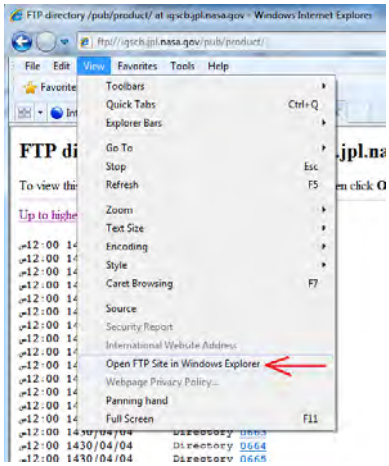


طريقة أخري لتحميل الملف المطلوب:

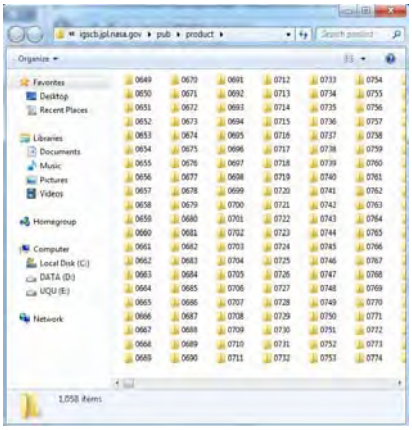
ندخل موقع تحميل الملفات الرئيسي لوكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) في الرابط:

ftp://igscb.jpl.nasa.gov/pub/product/

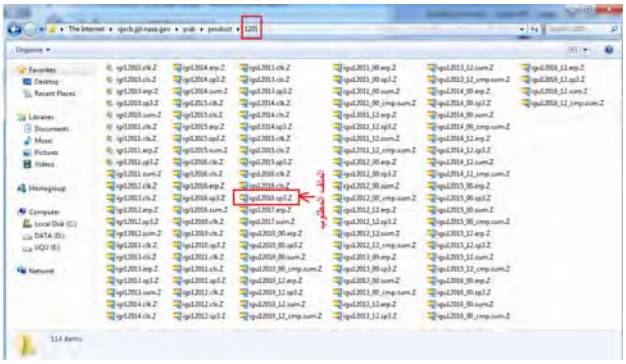
من شريط أدوات برنامج explorer نضغط أمر View ثم نختار أمر فتح الموقع في نافذة ويندوز Open FTP site in windows explorer:



فيتم فتح نافذة ويندوز عادية لجميع محتويات (ملفات) موقع ناسا حيث يمكننا نسخ أي ملف إلي الكمبيوتر بسهولة:



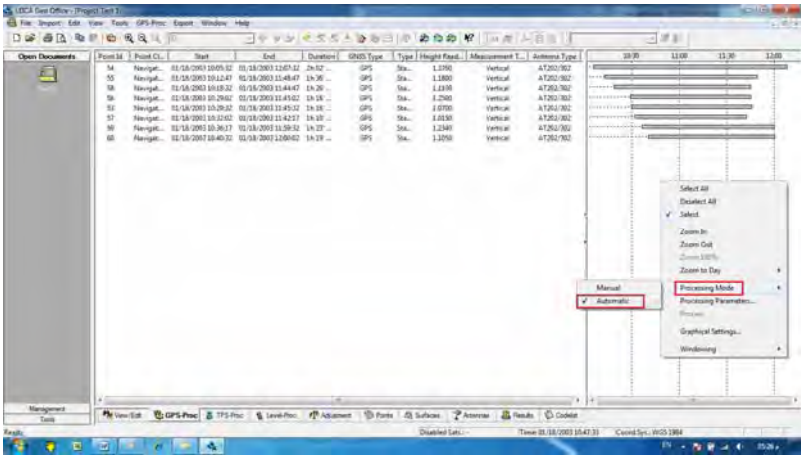
نـدخل مجلـد ١٢٠١ (مجلـد الأسـبوع المطلـوب للمثـال الحـالي) ومـن داخلـه نبحـث عـن الملـف igs12016.sp3.z:



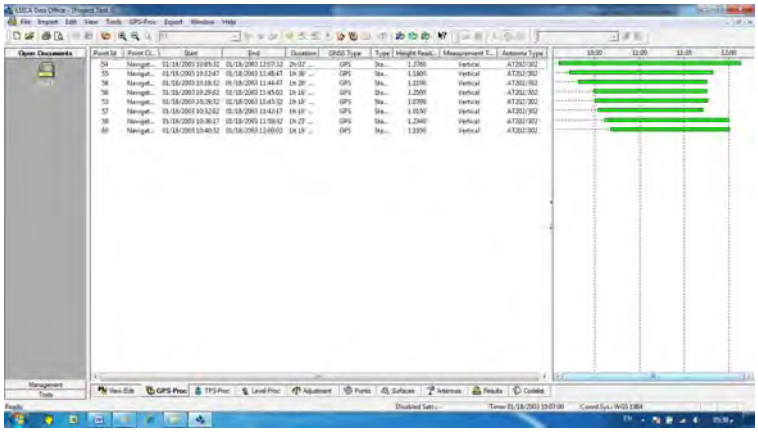
نـضغط بالمـاوس الأيمـن علـي هـذا الملـف و نختـار أمـر نـسخ copy ثـم فـي مجلـد البيانـات (علـي الكمبيوتر) نضغط أمر لصق paste ليتم نسخ الملف.

٢٠-٢-٣-٢ الحساب باستخدام ملفات المدارات الدقيقة

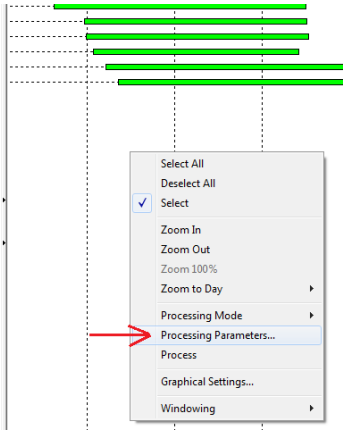
نعود لطريقة الحسابات الآلية نضغط بالماوس الأيمن في يمين الشاشة ومن النافذة نختار أمر طريقة الحسابات Processing Mode ومنها نختار الطريقة الآلية Automatic:



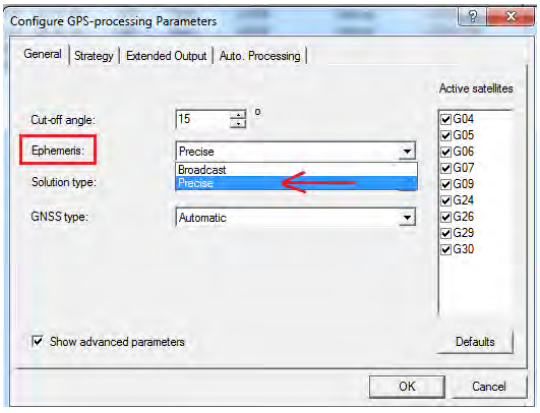
نضغط بالماوس علي كل خط أرصاد (كل نقطة مرصودة) في يمين الشاشة ليتم اختيارها و تتحول إلي اللون الأخضر:



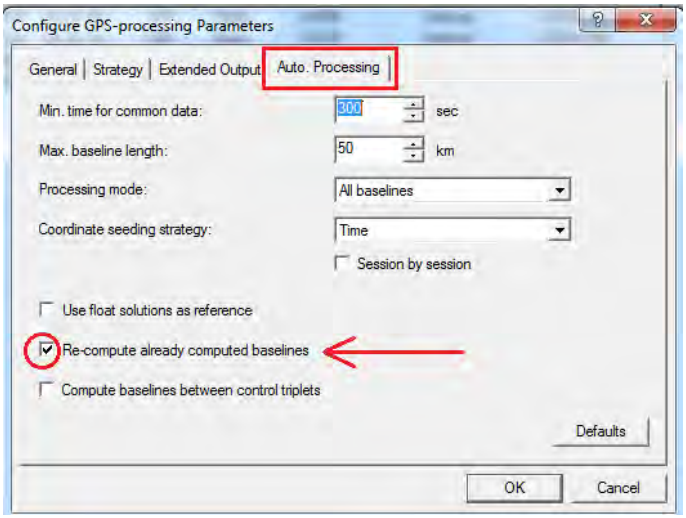
نضغط بالماوس الأيمن ونختار من القائمة أمر عناصر الحساب Processing Parameters :



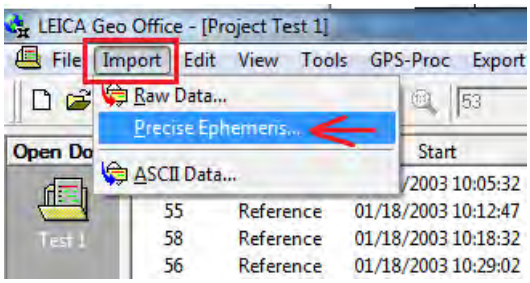
في سطر المدارات Ephemeris نختار المدارات الدقيقة Precise:



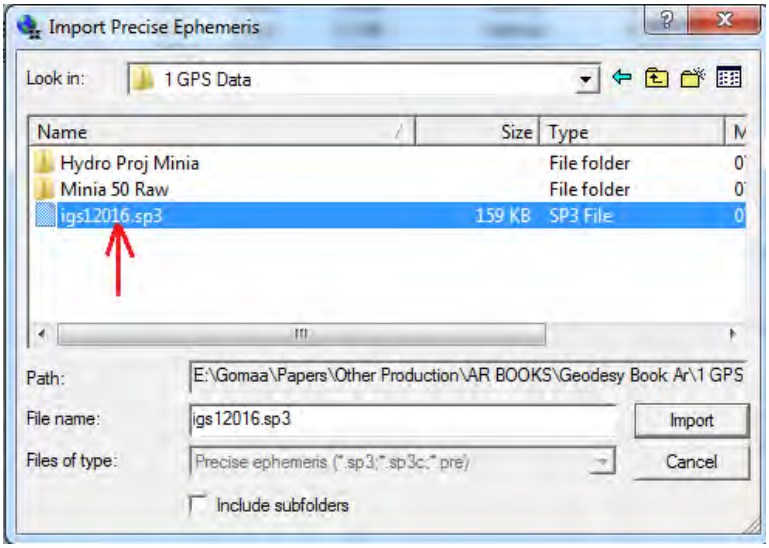
وفي أيقونة Auto Processing (أعلي النافذة) نضغط علامة صح في المربع أمام أمر: إعادة حسابات الخطوط المحسوبة Re-Compute already computed baselines حتى يقوم البرنامج بإعادة الحسابات مرة أخري بعد التغييرات التي أجريناها:



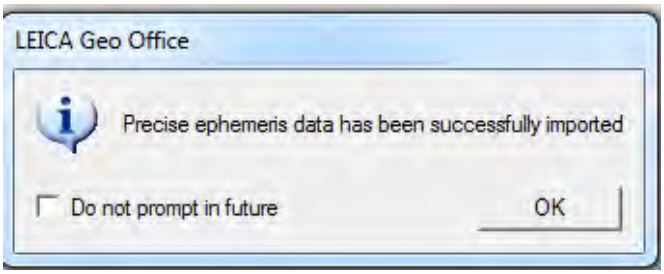
لتحميل ملف المدارات الدقيقة إلي المشروع الحالي نضغط أيقونة استيراد Import ثم نختار Precise Ephemeris :



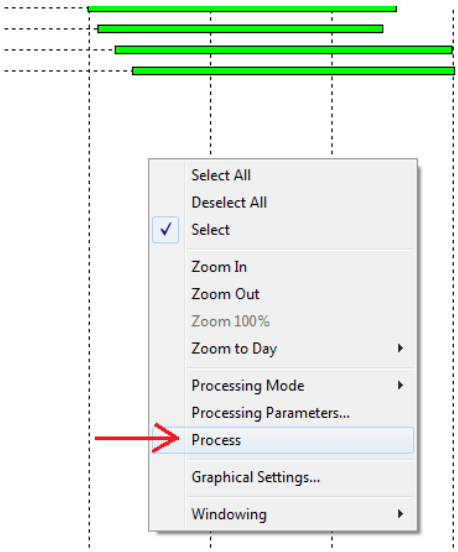
نختار الملف المطلوب (بعد إزالة الضغط عنه) ثم نضغط Import:



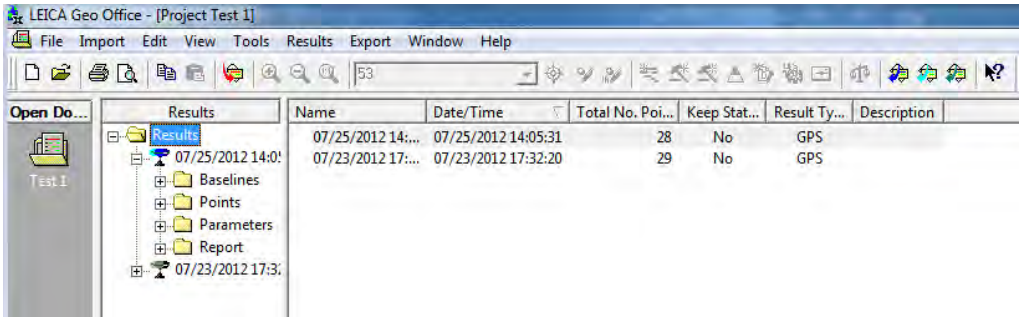
تظهر رسالة أن التحميل تم بنجاح، نضغط OK:



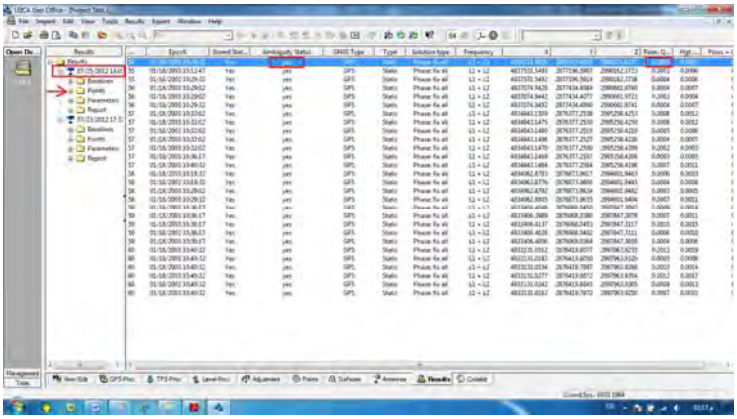
ثم نضغط بالماوس الأيمن و من النافذة نختار أمر بدء الحسابات Process:



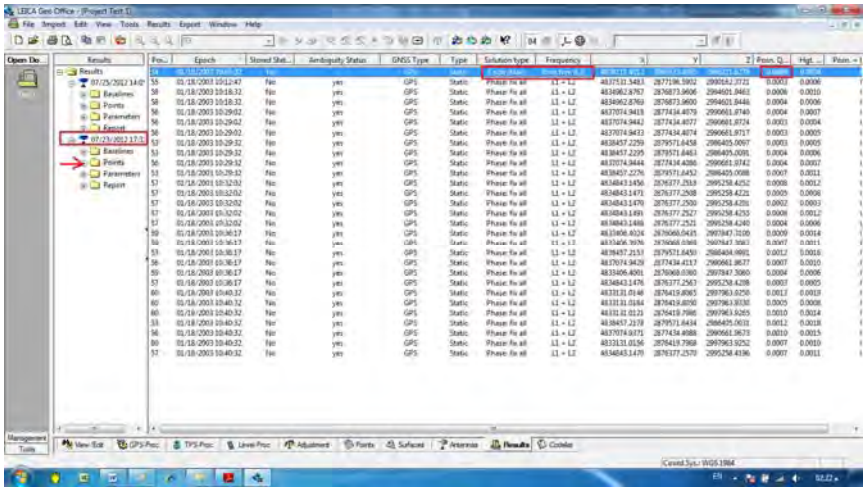
في صفحة النتائج Results (من شريط الأدوات السفلي) سنجد النتائج الجديدة في السطر الأعلى و أيضا النتائج القديمة (باستخدام المدارات غير الدقيقة) في السطر الأسفل:



علي سبيل المثال – لنري تأثير المدارات الدقيقة – اذا فتحنا النتائج الجديدة وفي صفحة النقاط Points نجد النقطة رقم ٥٤ قد أمكن حل قيمة خطأ الغموض N لها بحيث أصبح نوع الحل لهذه النقطة حل ثابت Static Phase Fix All وأصبح انحرافها المعياري = ٠.٠٠٠٣ متر:



أما في النتائج القديمة (بالمدارات غير الدقيقة) فلم يتمكن برنامج LGO من حل قيمة الغموض N عند هذه النقطة و كان نوع الحل عندئذ Code Iono-Free وكان انحرافها المعياري = ٠.٠٤٨٩ متر:

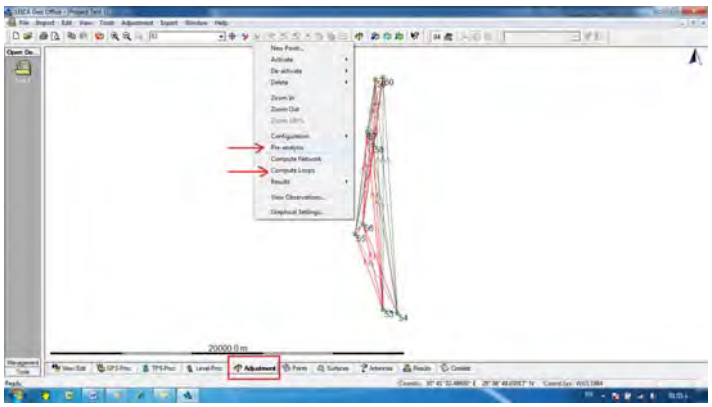


للمدارات الدقيقة عدة مميزات: (١) زيادة دقة مدارات الأقمار الصناعية والتي تعتمد عليها حسابات مواقع النقاط المرصودة، (٢) زيادة دقة خطوط القواعد Baselines المحسوبة ومن ثم الوصول لنتائج أدق في إحداثيات النقاط، (٣) أنها ملفات مجانية يمكن تحميلها بسهولة وبدون أي مقابل. لذلك يجب علي مستخدمي الجي بي أس التعامل مع هذه المدارات الدقيقة في كافة المشروعات خاصة التطبيقات الهندسية والمساحية و الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية.

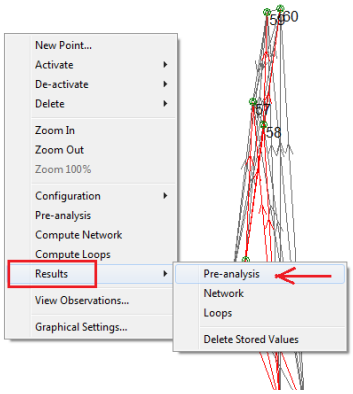
٢٠-٣ ضبط الشبكات

٢٠-٣-١ الضبط الحر للشبكات

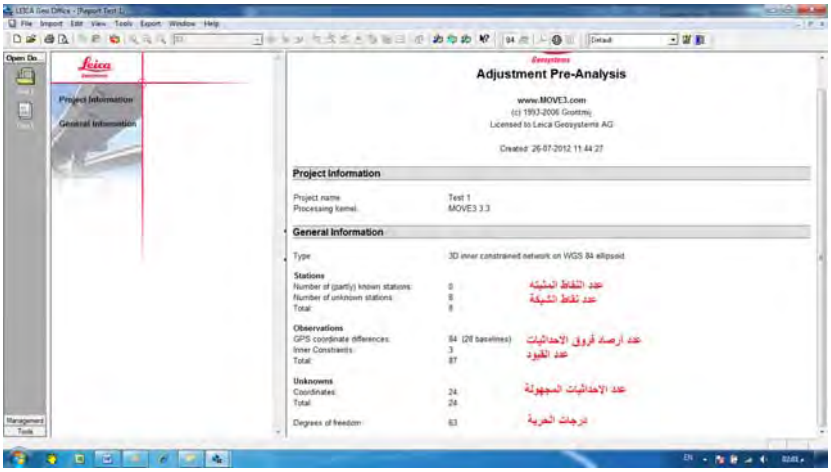
تسمح عملية الضبط الحر للشبكة Free-Network Adjustment بتقييم دقة أرصاد الشبكة ذاتها قبل تثبيت إحداثيات نقاط تحكم معلومة. هنا سيقوم برنامج LGO بتثبيت إحداثيات نقطة واحدة فقط من نقاط الشبكة (بإحداثياتها الناتجة من الأرصاد ذاتها) ليعالج العيوب المرجعية Datum defects للشبكة ويصل لحل لها. يقدم برنامج LGO خطوتي تحليل مبدئي قبل إجراء عملية الضبط وهما: التحليل المبدئي Pre-Analysis وتحليل الحلقات Compute Loops (من قائمة الضبط Adjustment في شريط الأدوات السفلي):



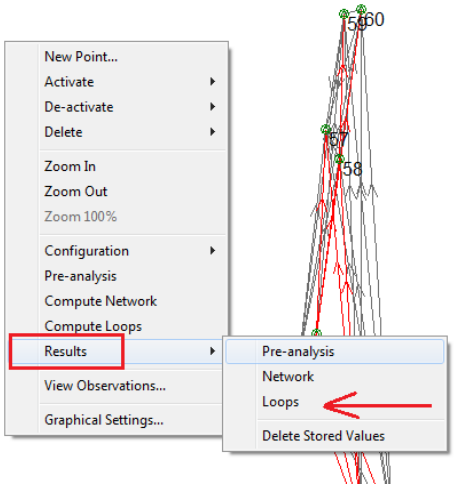
بتنفيذ خطوة التحليل المبدئي Pre-Analysis على المثال الحالي، ثم نضغط الماوس الأيمن ونختار النتائج Results ومنها نختار نتائج التحليل المبدئي:



تعرض نتائج هذه الخطوة الخصائص العامة للشبكة من حيث عدد أرصادها و عدد القيم المجهولة و عدد درجات الحرية:



في الخطوة الثانية نضغط أمر تحليل الحلقات Compute Loops ، ثم نضغط الماوس الأيمن ونختار النتائج Results ومنها نختار نتائج تحليل الحلقات:



تعرض نتائج هذه الخطوة الخصائص العامة لحلقات (مثلثات) الشبكة، ولكل حلقة (مثلث) يعطي البرنامج قيمة خطأ القفل بالمتر وقيمة محيط الحلقة بالكيلومتر و قيمة خطأ القفل النسبي بوحدات أجزاء المليون ppm وأيضا كنسبة:

GPS Baseline Loops

Loop 1 — حلقة رقم ١

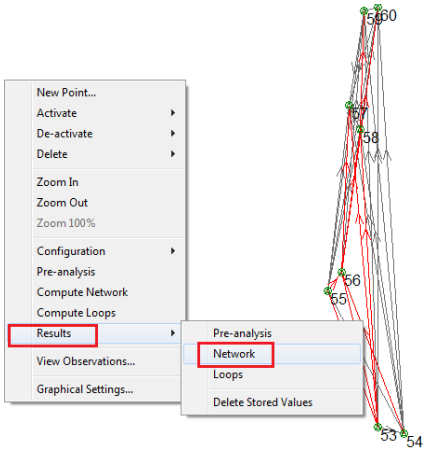
	From	To	dX[m]	dY[m]	dZ[m]
خطوط الحلقة	55	54	579.8519	3138.9049	-3940.7443
	54	60	-4980.3850	-3915.6879	11742.2955
	60	55	4400.5350	776.7905	-7801.5539
	X:	0.0019 m	W-Test:	0.09	
	Y:	0.0075 m		0.56	
	Z:	-0.0027 m		-0.16	
خطأ قفل الاحداثيات	Easting:	0.0055 m	W-Test:	0.35	
	Northing:	-0.0049 m		-0.29	
	Height:	0.0035 m		0.19	
	Closing error:	0.0081 m	(0.3 ppm)	Ratio:(1:3364472)	
	Length:	27404.3662 m			

خطأ القفل النسبي للحلقة

Loop 2

يجب فحص نتائج الحلقات بتمعن لاكتشاف وجود أية أخطاء كبيرة نسبية في بعض الحلقات.

في الخطوة الثالثة نضغط أمر ضبط الشبكة Compute Network ، ثم نضغط الماوس الأيمن ونختار النتائج Results ومنها نختار نتائج الشبكة Network:



يعطي الجزء الأول من تقرير ضبط الشبكة الخصائص العامة و معاملات عملية الضبط التي تم تنفيذها:

General Information:

Adjustment			
Type:	Inner constrained		نوع الضبط
Dimension:	3D		الأبعاد
Coordinate system:	WGS 1984		المجسم المستخدم
Height mode:	Ellipsoidal		نوع الارتفاعات
Number of iterations:	1		عدد مرات التكرار
Maximum coord correction in last iteration:	0.0000 m	✓	(tolerance is met)
Stations			
Number of (partly) known stations:	0		عدد النقاط المثبتة
Number of unknown stations:	8		عدد النقاط المجهولة
Total:	8		
Observations			
GPS coordinate differences:	84 (28 baselines)		عدد الأرصاد
Inner constraints:	3		عدد القيود
Total:	87		
Unknowns			

Coordinates:	24		عدد القيم المجهولة
Total:	24		
Degrees of freedom:	63		درجات الحرية
Testing			معاملات الاختبارات الإحصائية المنفذة
Alfa (multi dimensional):	0.5795		
Alfa 0 (one dimensional):	5.0 %		
Beta:	80.0 %		
Sigma a-priori (GPS):	10.0		
Critical value W-test:	1.96		
Critical value T-test (2-dimensional):	2.42		
Critical value T-test (3-dimensional):	1.89		
Critical value F-test:	0.95		القيمة الحرجة لاختبار F
F-test:	0.09 قيمة اختبار الشبكة	✔	(accepted) هل الاختبار تم نجاحه ؟

نلاحظ أن نوع الضبط هو Inner Constrained أو القيود الداخلية وهو أسم مرادف آخر لعملية الضبط بالطريقة الحرة Free-Network، أي أن القيود الثلاثة التي تم تنفيذها علي الشبكة (٣ إحداثيات لنقطة من نقاط الشبكة) هي بقيم ناتجة من داخل الشبكة ذاتها. أيضا نلاحظ في السطر الأخير أن نتيجة الاختبار الإحصائي F (الذي يطبقه برنامج LGO بديلا عن اختيار مربع كاي للحكم علي معيار التباين) قد أثبت نجاحه.

أما الجزء الثاني من تقرير ضبط الشبكة فيعطي قيم الإحداثيات الناتجة من الضبط (ليست نهائية بالطبع) وكذلك قيم التصحيح و قيم الانحراف المعياري لكل نقطة من نقاط الشبكة:

Adjustment Results

Coordinates					
Station النقطة		Coordinate الإحداثيات	Corr التصحيح	Sd الانحراف المعياري	
53	Latitude	28° 06' 03.45852" N	0.0003 m	0.0005 m	
	Longitude	30° 45' 31.23396" E	-0.0001 m	0.0004 m	
	Height	54.1630 m	0.0004 m	0.0009 m	
54	Latitude	28° 05' 56.77251" N	0.0010 m	0.0004 m	
	Longitude	30° 46' 01.75867" E	0.0000 m	0.0003 m	
	Height	50.2983 m	0.0001 m	0.0009 m	

55	Latitude	28° 08' 21.87988" N	-0.0003 m	0.0003 m	
	Longitude	30° 44' 33.78907" E	-0.0003 m	0.0003 m	
	Height	52.4406 m	0.0019 m	0.0007 m	
56	Latitude	28° 08' 40.34034" N	-0.0003 m	0.0003 m	
	Longitude	30° 44' 49.83392" E	-0.0002 m	0.0003 m	
	Height	49.2469 m	0.0006 m	0.0007 m	
57	Latitude	28° 11' 29.66937" N	-0.0009 m	0.0003 m	
	Longitude	30° 44' 58.35668" E	0.0000 m	0.0003 m	
	Height	51.6760 m	-0.0001 m	0.0007 m	
58	Latitude	28° 11' 05.39750" N	-0.0007 m	0.0003 m	
	Longitude	30° 45' 11.76255" E	0.0001 m	0.0003 m	
	Height	56.1225 m	0.0003 m	0.0007 m	
59	Latitude	28° 13' 05.16526" N	-0.0006 m	0.0004 m	
	Longitude	30° 45' 15.55091" E	0.0007 m	0.0003 m	
	Height	47.7975 m	0.0016 m	0.0008 m	
60	Latitude	28° 13' 09.37517" N	0.0016 m	0.0006 m	
	Longitude	30° 45' 31.80151" E	-0.0001 m	0.0005 m	
	Height	52.9237 m	-0.0048 m	0.0012 m	

نلاحظ أن قيم الانحراف المعياري لإحداثيات النقاط تتراوح بين ٠.٣ و ١.٢ ملليمتر مما يدل علي جودة أرصاد الشبكة و دقة نتائجها.

أما الجزء الثالث من تقرير ضبط الشبكة فيعطي قيم التصحيحات Residuals لكل رصدة من أرصاد الشبكة وكذلك قيم الانحراف المعياري للأرصاد المصححة:

Observations and Residuals

	Station	Target	Adj obs	Resid	Resid (ENH)	Sd
DX	54	60	-4980.3818 m	-0.0032 m	0.0060 m	0.0014 m
DY			-3915.6930 m	0.0051 m	-0.0057 m	0.0009 m
DZ			11742.3021 m	-0.0065 m	-0.0032 m	0.0010 m
DX	54	59	-4704.9977 m	0.0013 m	0.0029 m	0.0012 m
DY			-4267.4547 m	0.0042 m	-0.0017 m	0.0008 m
DZ			11625.6816 m	-0.0001 m	0.0028 m	0.0008 m
DX	54	58	-3148.5221 m	-0.0008 m	-0.0011 m	0.0010 m
DY			-3461.5320 m	-0.0018 m	-0.0008 m	0.0007 m
DZ			8380.3201 m	-0.0017 m	-0.0022 m	0.0007 m
DX	54	57	-3268.2518 m	-0.0019 m	0.0005 m	0.0010 m
DY			-3958.2420 m	-0.0006 m	0.0024 m	0.0007 m
DZ			9036.7954 m	0.0018 m	-0.0009 m	0.0007 m
DX	54	56	-1036.4574 m	-0.0010 m	0.0002 m	0.0010 m
DY			-2901.0868 m	-0.0004 m	0.0013 m	0.0007 m
DZ			4440.3452 m	0.0009 m	-0.0005 m	0.0006 m

أما الجزء الرابع من تقرير ضبط الشبكة فيعطي قيم أطوال خطوط القواعد و تصحيحاتها وكذلك قيم الانحراف المعياري لها:

GPS Baseline Vector Residuals

	Station	Target	Adj vector [m]	Resid [m]	Resid [ppm]
DV	54	60	13342.3578	0.0089	0.7
DV	54	59	13247.8166	0.0044	0.3
DV	54	58	9598.1852	0.0026	0.3
DV	54	57	10392.9217	0.0026	0.3
DV	54	56	5404.3699	0.0014	0.3
DV	54	55	5071.3333	0.0016	0.3
DV	56	60	8360.7739	0.0057	0.7
DV	56	59	8182.5551	0.0020	0.2
DV	56	58	4505.3655	0.0006	0.1
DV	56	57	5217.8385	0.0010	0.2
DV	55	60	8990.6811	0.0061	0.7

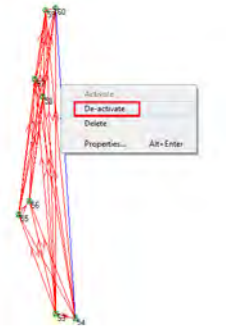
أما الجزء الخامس من تقرير ضبط الشبكة فيعطي نتائج الاختبارات الإحصائية علي الأرصاد الأصلية:

Testing and Estimated Errors

Observation Tests

	Station	Target	MDB	Red	BNR	W-Test	T-Test
DX	54	60	0.0114 m	92	0.8	-1.57	4.68 ⚠
DY			0.0068 m	89	0.9	3.37 ⚠	
DZ			0.0099 m	94	0.7	-2.54 ⚠	
DX	54	59	0.0082 m	90	0.9	-0.98	1.80
DY			0.0051 m	88	1.0	2.28 ⚠	
DZ			0.0067 m	91	0.9	-0.97	
DX	54	58	0.0056 m	83	1.2	0.62	0.66
DY			0.0037 m	85	1.2	-0.79	
DZ			0.0042 m	82	1.3	-0.73	
DX	54	57	0.0069 m	89	1.0	-0.65	0.63
DY			0.0045 m	89	1.0	-0.28	
DZ			0.0053 m	89	1.0	1.21	

يطبق برنامج LGO الاختبار الإحصائي W (بدلا من اختبار تاو) بهدف اكتشاف الأرصاد الشاذة أو الأرصاد الواقعة خارج الحدود outliers. كل رصدة تفشل في تخطي هذا الاختبار (أي أنها قد تكون رصدة شاذة outlier) يضع البرنامج أمامها مثلث تحذيري باللون الأصفر. وكما سبق الذكر (أنظر ٨-٧-٢) أن هذه الأرصاد يجب حذفها وإعادة عملية الضبط مرة أخري حتى لا تؤثر هذه الأرصاد علي باقي أرصاد الشبكة. فإذا ظهرت أكثر من رصدة محتملة كرصده شاذة فنقوم بحذف الرصدة صاحبة أكبر قيمة من قيم اختبار W فقط ثم نعيد ضبط الشبكة مرة أخري. تتم هذه الخطوة في نافذة الضبط Adjustment فنختار الرصدة المطلوبة ونضغط عليها الماوس الأيمن ومن النافذة نختار أمر تعطيل De-Actuate (أي لن يتم استخدامها في الضبط)، ثم ننفذ أمر الضبط Compute Network مرة أخري:



وتستمر هذه العملية التكرارية حتى نصل للحالة التي لا يوجد بها أي أرصاد فشلت في اجتياز الاختبار الإحصائي W، فتكون هذه هي النتائج النهائية لعملية الضبط الحر للشبكة:

Adjustment Results:

Coordinates				
Station النقطة		Coordinate الإحداثيات	Corr التصحيح	Sd الانحراف المعياري
53	Latitude	28° 06' 03.45850" N	0.0000 m	0.0000 m
	Longitude	30° 45' 31.23397" E	0.0000 m	0.0000 m
	Height	54.1635 m	-0.0001 m	0.0001 m
54	Latitude	28° 05' 56.77247" N	0.0001 m	0.0001 m
	Longitude	30° 46' 01.75868" E	0.0000 m	0.0000 m
	Height	50.2981 m	-0.0004 m	0.0001 m
55	Latitude	28° 08' 21.87988" N	0.0000 m	0.0000 m
	Longitude	30° 44' 33.78909" E	0.0000 m	0.0000 m
	Height	52.4396 m	0.0001 m	0.0001 m
56	Latitude	28° 08' 40.34034" N	0.0000 m	0.0000 m
	Longitude	30° 44' 49.83393" E	0.0000 m	0.0000 m
	Height	49.2471 m	0.0001 m	0.0001 m
57	Latitude	28° 11' 29.66939" N	0.0000 m	0.0000 m
	Longitude	30° 44' 58.35668" E	0.0000 m	0.0000 m
	Height	51.6769 m	0.0001 m	0.0001 m
58	Latitude	28° 11' 05.39752" N	0.0000 m	0.0000 m
	Longitude	30° 45' 11.76255" E	0.0000 m	0.0000 m
	Height	56.1231 m	0.0001 m	0.0001 m
59	Latitude	28° 13' 05.16527" N	0.0000 m	0.0001 m
	Longitude	30° 45' 15.55089" E	0.0000 m	0.0000 m
	Height	47.7968 m	0.0001 m	0.0001 m
60	Latitude	28° 13' 09.37520" N	0.0000 m	0.0001 m
	Longitude	30° 45' 31.80148" E	0.0000 m	0.0001 m
	Height	52.9233 m	0.0001 m	0.0001 m

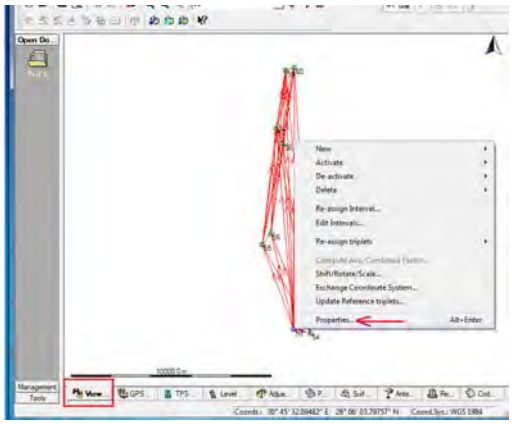
نلاحظ أن الانحراف المعياري للإحداثيات قد أنخفض (أي زادت الدقة) إلي تقريبا ٠.١ ملليمتر لجميع نقاط الشبكة.

٢٠-٣-٢ الضبط النهائي للشبكات

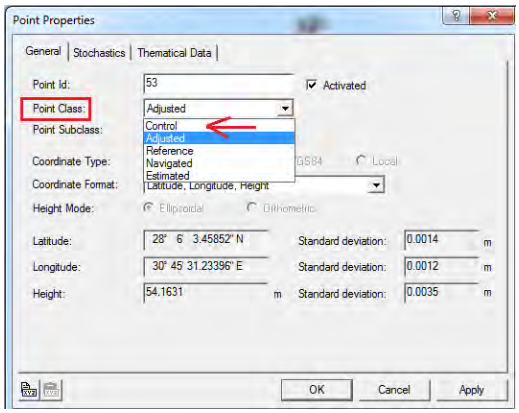
بعد ضمان الوصول لأدق الأرصاد و النتائج في الضبط الحر (أو الضبط بالقيود الداخلية) للشبكة الجيوديسية يتم الآن ضبطها النهائي. في الضبط النهائي يكون لدينا معلومات مسبقة عن الإحداثيات الحقيقية المضبوطة لأحدي نقاط الشبكة بأن تكون واحدة من النقاط هي نقطة ثوابت أرضية للشبكة القومية للدولة أو أن نقوم بربط الشبكة الجديدة علي الشبكة القومية أو المرجع الوطني للدولة. في المثال الحالي قمنا (في خطوة أخري لا مجال لعرضها هنا) بربط نقطة ٥٣ من نقاط الشبكة الحالية علي الشبكة القومية المصرية للجي بي أس وأمكن حساب قيمة الإحداثيات النهائية لهذه النقطة.

الآن سنغير حالة النقطة ٥٣ في الشبكة من "نقطة مضبوطة Adjusted Point" إلي "نقطة تحكم Control Point" وسندخل إحداثياتها الحقيقية بدلا من تلك الإحداثيات الناتجة من الضبط الحر للشبكة:

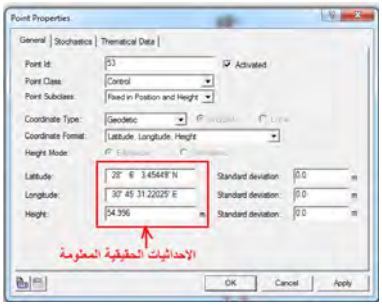
من نافذة العرض View/Edit (في شريط الأدوات السفلي) نضغط بالماوس الأيمن علي النقطة ٥٣ ومن القائمة نختار أمر خصائص Properties:



في السهم الصغير الأسود بجوار أمر نوع النقطة Point Class نختار Control (بدلا من Adjusted الحالي):

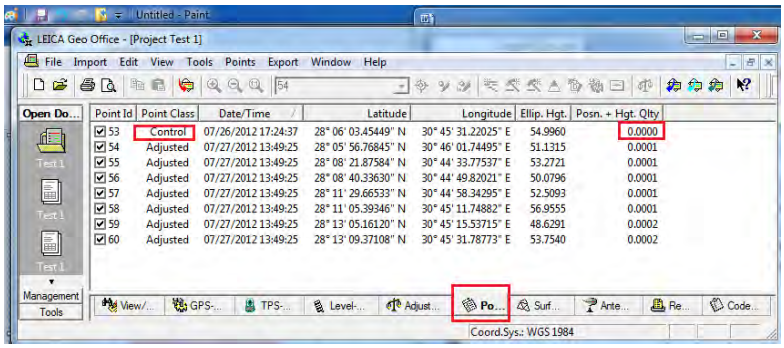


ثم نكتب الإحداثيات الحقيقية المعلومة لهذه النقطة ونجعل قيم الانحراف المعياري لإحداثيات هذه النقطة = صفر (حتى لا تأخذ أية تصحيحات residuals أثناء عملية الضبط النهائي) و نضغط Ok:



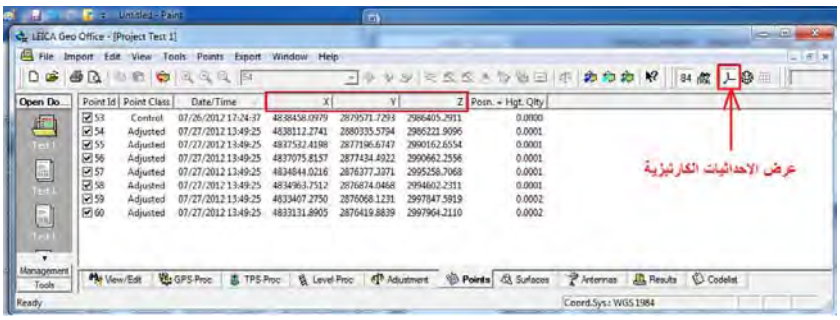
نعيد الضبط مرة أخري بأمر Compute Network.

في نتائج ضبط الشبكة سنجد أن نوع الضبط أصبح الآن: Minimally constrained أي الضبط بأقل عدد من القيود الخارجية (وليس الداخلية) حيث أننا قمنا بتثبيت قيمة الإحداثيات الحقيقية الثلاثة لنقطة واحدة فقط (نفس عدد العيوب المرجعية المطلوب حلها). وهنا سنجد أن قيمة الإحداثيات النهائية لجميع نقاط الشبكة قد تغيرت بنفس قيم تغيير إحداثيات النقطة ٥٣، أي أن الشبكة كلها قد تعرضت لإزاحة shift فقط. والآن ستكون الإحداثيات الجديدة لنقاط الشبكة هي الإحداثيات النهائية المضبوطة لها:



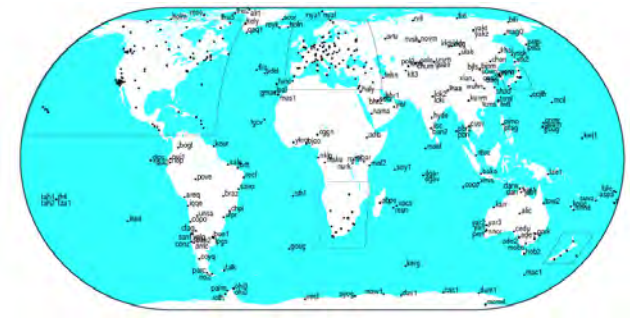
Point Id	Point Class	Date/Time	Latitude	Longitude	Ellip. Hgt.	Posn. + Hgt. Qlty
53	Control	07/26/2012 17:24:37	28° 06' 03.45449" N	30° 45' 31.22025" E	54.9960	0.0000
54	Adjusted	07/27/2012 13:49:25	28° 05' 56.76845" N	30° 46' 01.74495" E	51.1315	0.0001
55	Adjusted	07/27/2012 13:49:25	28° 08' 21.87584" N	30° 44' 33.77537" E	53.2721	0.0001
56	Adjusted	07/27/2012 13:49:25	28° 08' 40.33630" N	30° 44' 49.82021" E	50.0796	0.0001
57	Adjusted	07/27/2012 13:49:25	28° 11' 29.66533" N	30° 44' 58.34295" E	52.5093	0.0001
58	Adjusted	07/27/2012 13:49:25	28° 11' 05.39346" N	30° 45' 11.74882" E	56.9555	0.0001
59	Adjusted	07/27/2012 13:49:25	28° 13' 05.16120" N	30° 45' 15.53715" E	48.6291	0.0002
60	Adjusted	07/27/2012 13:49:25	28° 13' 09.37108" N	30° 45' 31.78773" E	53.7540	0.0002

يمكن عرض الإحداثيات الكارتيزية X,Y,Z لنقاط الشبكة (بدلا من الإحداثيات الجغرافية) من خلال الضغط علي أيقونة في شريط الأدوات العلوي:



٢٠-٣-٣ الربط على الشبكة العالمية

كما سبق الذكر فأن المنظمة العالمية لتقنيات الملاحة IGS تشرف علي إدارة حوالي ٣٥٠ محطة جي بي أس وجلوناس موزعين حول العالم وكل محطة تعمل باستمرار ٢٤ ساعة يوميا وتتيح ملفاتها الأصلية الخام raw data لكل مستخدمي الجي بي أس مجانا:



أحيانا تواجهنا حالة عملية في أحد المشروعات الجيوديسية حيث يكون من الصعب (أو سيأخذ وقتا طويلا و تكلفة مادية) العثور علي نقطة ثوابت أرضية محلية للربط عليها. في مثل هذه الحالات فأن شبكة IGS تقدم بديلا فنيا و اقتصاديا مناسبا. فمن موقع منظمة IGS علي الانترنت يمكننا تحميل download ملف أرصاد نقطة (أو أكثر) من نقاط الشبكة العالمية لنفس يوم الرصد الحقلي في مشروعنا وكما لو أننا قمنا بإرسال جهاز جي بي أس ليحتل هذه النقطة أثناء رصد مشروعنا. وبمعرفة الإحداثيات المضبوطة لهذه النقطة العالمية يمكننا استخدامها كنقطة مرجعية ثابتة للشبكة وبالتالي يمكننا الحصول علي إحداثيات دقيقة لكل نقاط الشبكة المرصودة. والجزء التالي يقدم يستعرض تفاصيل إتمام هذه العملية.

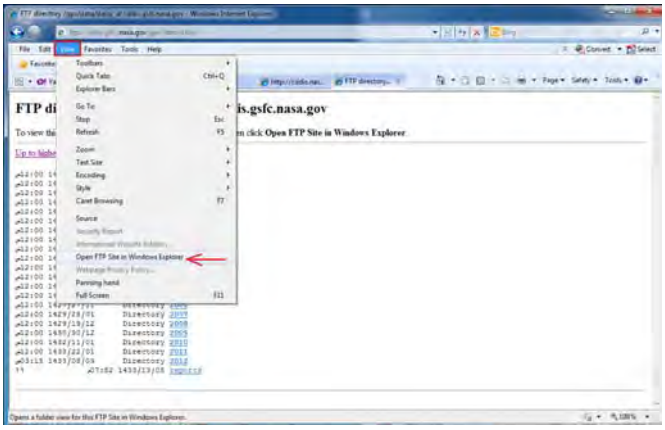
يتكون اسم ملف البيانات لأي محطة IGS من النموذج ssssddd#.yyt.Z حيث:

ssss اسم المحطة مكونا من ٤ خانات
ddd رقم يوم الرصد في السنة day-of-year
يساوي صفر في حالة ملف واحد يحتوي كل البيانات لهذا اليوم
yy خانتين للسنة
t نوع الملف:
يساوي o لملفات الأرصاد
يساوي n لملفات الملاحة
يساوي m لملفات الأرصاد المناخية
يساوي s لملخص البيانات و جودتها.

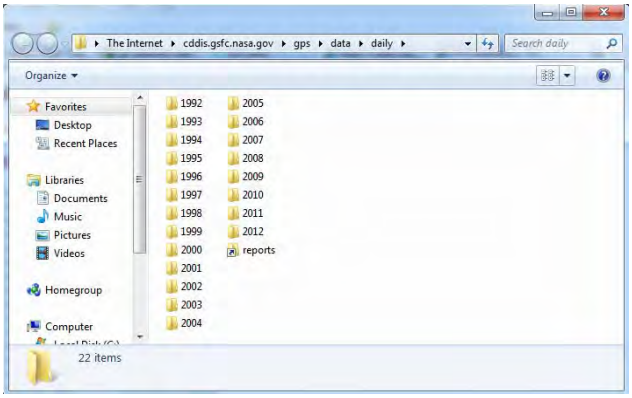
أولا:

لبدء تحميل ملفات النقاط العالمية: ندخل الرابط التالي لمحتويات كل أرصاد محطات IGS:
ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/data/daily/

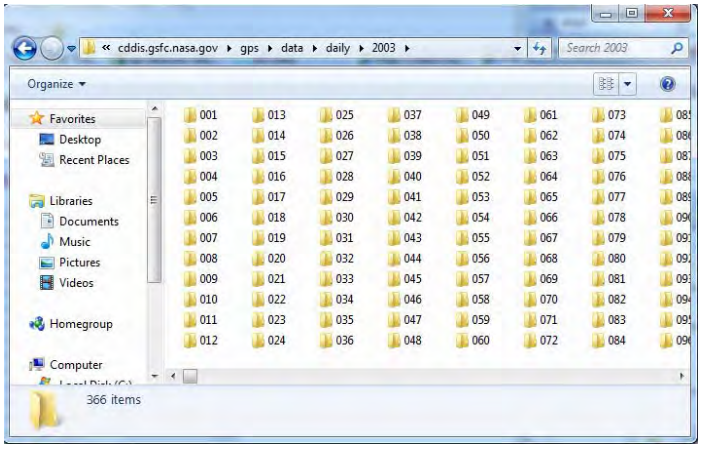
يمكن عرض محتويات هذا الرابط في صورة مجلد بالضغط علي أيقونة View واختيار أمر Open FTP Site in Windows Explorer:



تكون المجلدات مرتبة بالسنوات:



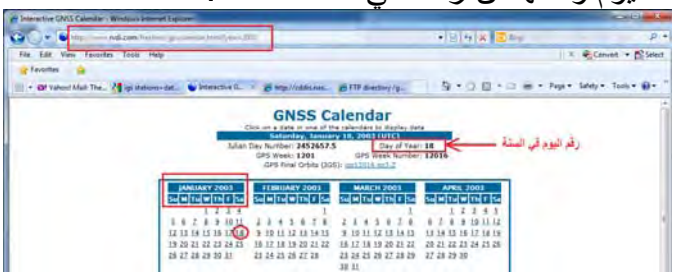
في المثال الحالي سندخل مجلد عام ٢٠٠٣ لأن أرصاد الشبكة الحالية تمت في هذا العام. نجد المجلدات الفرعية مرتبة بترتيب اليوم في السنة أي من يوم رقم ٠٠١ إلي يوم رقم ٣٦٥:



اليوم الذي تمت به أرصاد الشبكة الحالية كان يوم ١٨ يناير من هذا العام ٢٠٠٣، لنعرف ترتيب هذا اليوم في السنة سنعود لاستخدام موقع تقويم الجي بي أس مرة أخري (كما فعلنا في معرفة رقم الأسبوع عند تحميل بيانات المدارات الدقيقة):

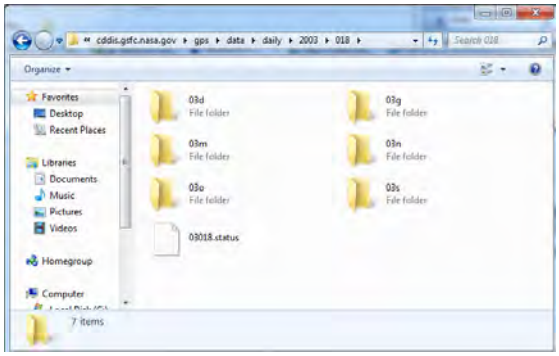
http://www.rvdi.com/freebies/gpscalendar.html

نضغط علي عام ٢٠٠٣ في أسفل الصفحة ثم نضغط علي يوم ١٨ يناير في التقويم، فنجد في أعلي الصفحة معلومات هذا اليوم و منها أن رقمه في السنة = ١٨:

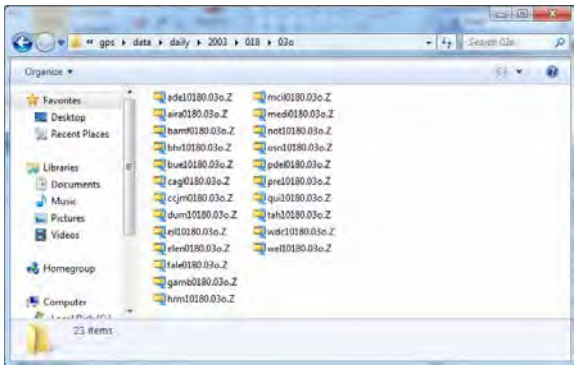


نعود لمجلد بيانات عام ٢٠٠٣ وندخل المجلد الفرعي ٠١٨، فنجد ٦ مجلدات كل منهم يبدأ برقم ٠٣ (يدل علي عام ٢٠٠٣) ثم حرف واحد يدل علي نوع الملفات:

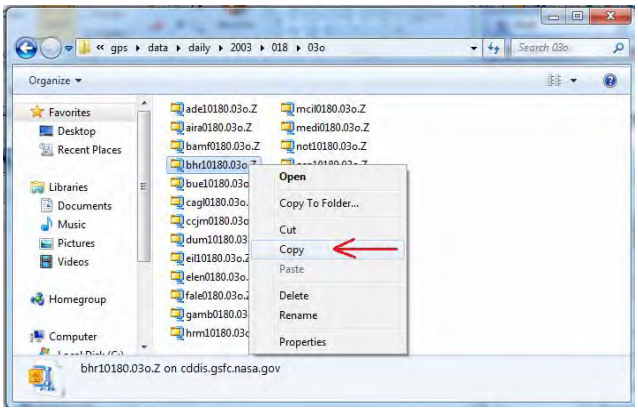
يساوي o لملفات الأرصاد
يساوي n لملفات الملاحة
يساوي m لملفات الأرصاد المناخية
يساوي s لملخص البيانات و جودتها.



ندخل مجلد 03o (لملفات الأرصاد) فنجد ملفات محطات IGS التي لها أرصاد في هذا اليوم حيث يبدأ أي ملف بأربعة خانات تحدد اسم المحطة:



سنختار مثلا محطة البحرين bhr1 (الملف bgr10180.03o.Z) ونضغط عليه بالماوس الأيمن ونختار copy:



وفي مجلد بيانات المشروع علي الكمبيوتر نختار أمر past لنحصل علي نسخة من هذا الملف المضغوط (حجمه حوالي ٩٧٣ كيلوبايت). ثم نستخدم برنامج winzip – مثلا - لإزالة الضغط عنه لينتج ملف بنفس الاسم bhr10180.03o لكن حجمه سيكون حوالي ٢.٦٧ ميجابايت.

ثانيا:

للحصول علي إحداثيات هذه النقطة من نقاط IGS ندخل رابط جميع نقاط الشبكة العالمية في:

http://igscb.jpl.nasa.gov/network/list.html

نضغط أيقونة اسم النقطة المطلوبة bhr1 لندخل صفحة النقطة في:

http://igscb.jpl.nasa.gov/network/site/bhr1.html

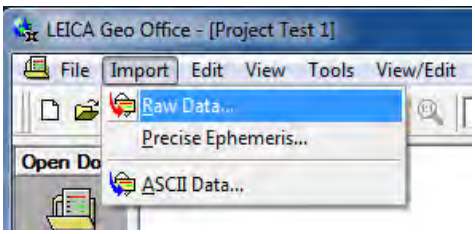
فنجد أسم ملف بيانات النقطة فنضغط عليه ونخزن هذا الملف:

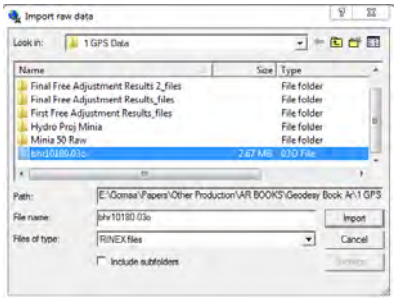
ثم نفتحه (بأي برنامج للملفات النصية text file) فنجد به إحداثيات النقطة:

Site Location Information:
City or Town : Manama
State or Province :
Country : Bahrain
Tectonic Plate : Arabian
Approximate Position (ITRF)
X coordinate (m) : 3633910.757
Y coordinate (m) : 4425277.729
Z coordinate (m) : 2799862.795
Latitude (N is +) : +261232.90
Longitude (E is +) : +0503629.32
Elevation (m, ellips.) : -13.9

ثالثا:

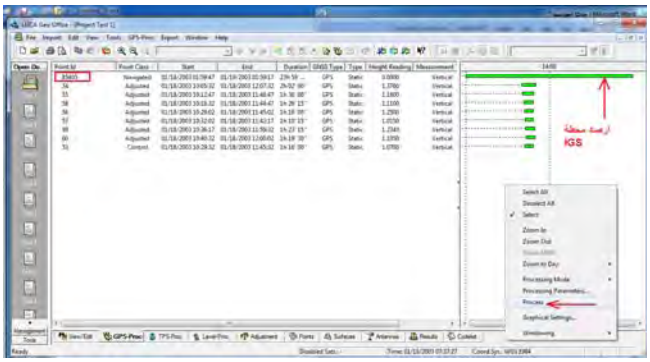
الآن سنعود لمشروع الجي بي أس في برنامج LGO ونقوم باستيراد ملف أرصاد محطة IGS وإضافته للمشروع:



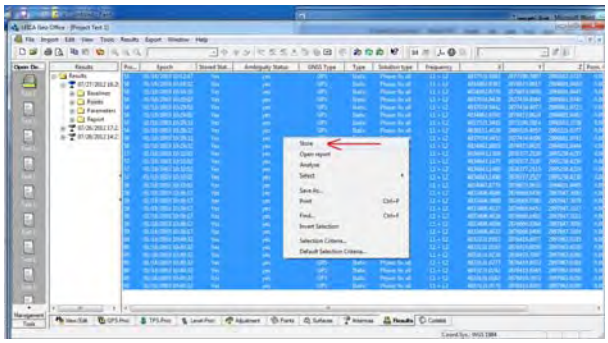


بنفس أسلوب حسابات الشبكة نكرر الخطوات المعتادة:

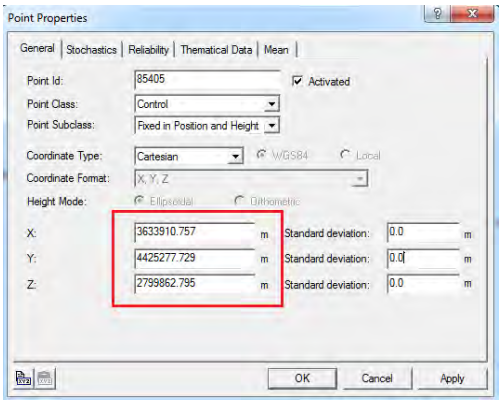
في شاشة GPS-Process نختار ملف النقطة الجديدة ثم نضغط أمر حساب Process لبدء حسابات خطوط القواعد:



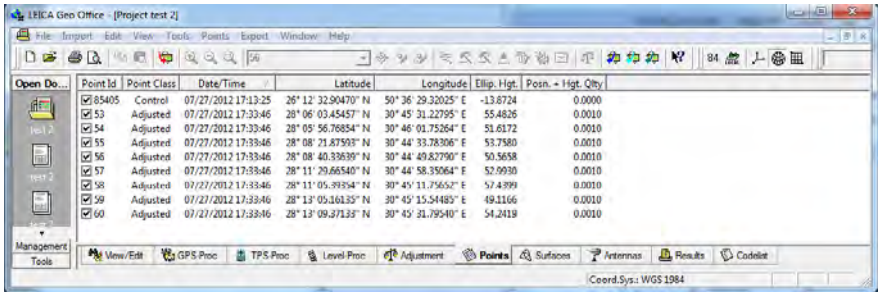
بعد ظهور النتائج نضغط الماوس الأيمن ونختار حفظ store:



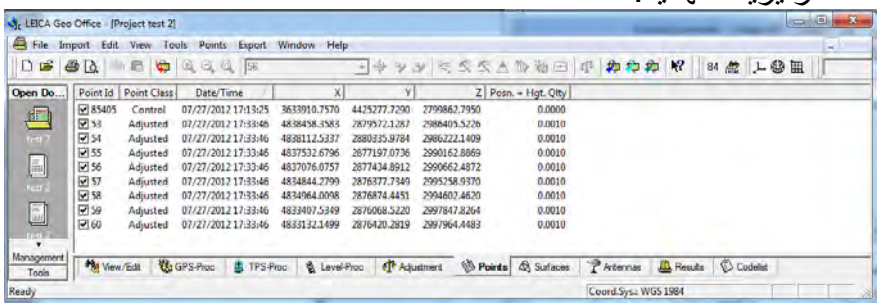
قبل بدء الضبط نغير حالة النقطة إلي Control وندخل إحداثياتها المعلومة ونجعل قيم الانحراف المعياري لها تساوي صفر:



نجري خطوات الضبط المعتادة كما في المرة السابقة (مع اكتشاف الأرصاد الشاذة outliers وحذفها وإعادة الضبط) إلي أن نصل للحالة النهائية التي لا تحتوي أية أرصاد خارج الحدود ومن ثم النتائج النهائية (الإحداثيات الجغرافية) لنقاط الشبكة اعتمادا علي محطة IGS العالمية:



أو الإحداثيات الكارتيزية النهائية:



٢٠-٤ تحويل الإحداثيات للمرجع المحلي

تتمثل ثالث خطوات حسابات الشبكات الجيوديسية (الجي بي أس) في تحويل الإحداثيات النهائية الدقيقة من المرجع الجيوديسي العالمي WGS84 إلي المرجع الجيوديسي الوطني و نظام الإحداثيات المستخدمة في خرائط الدولة. في هذه الخطوة سنقوم بإجراء عمليتين: تحويل المرجع Datum Transformation و إسقاط الخرائط Map Projection. تتطلب العملية الأولي تعريف عناصر التحويل Transformation Parameters بين المرجع العالمي و المرجع الوطني، بينما تتطلب العملية الثانية تحديد عناصر المسقط Projection Parameters لنظام الإحداثيات الوطنية. سنكمل خطوات الشبكة في المثال الحالي لحساب قيم الإحداثيات الوطنية لنقاط الشبكة علي المرجع الجيوديسي المصري.

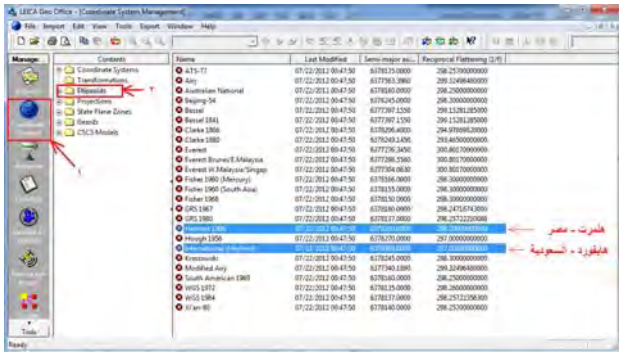
٢٠-٤-١ تحديد المرجع الوطني

يتكون تعريف مرجع وطني و نظام إسقاط جديد في برنامج LGO من ٤ خطوات كالتالي:

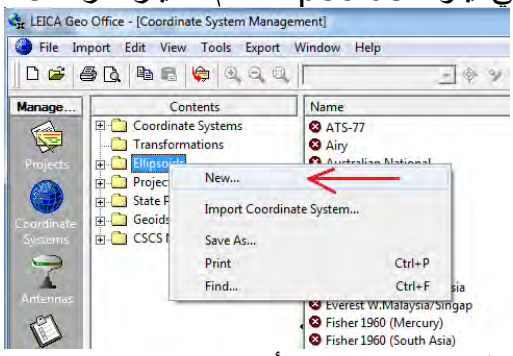
(أ) تحديد الاليبسويد:

تحتوي قاعدة بيانات برنامج LGO علي عدة أنواع من الاليبسويد المستخدمة في العالم ومنها اليبسويد هلمرت ١٩٠٦ Helmert 1906 المستخدم في الخرائط المصرية (وأيضا اليبسويد هايفورد العالمي International or Hayford 1924 المستخدم في الخرائط السعودية).

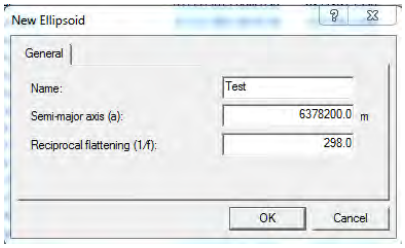
من القائمة الرئيسية اليمني في برنامج LGO نضغط أيقونة نظم الإحداثيات Coordinate Systems فيتم عرض النظم المتوفرة. من القائمة الفرعية نضغط Ellipsoids فنري كل أنواع الاليبسويد:



أما في حالة أننا لم نجد الاليبسويد الوطني موجودا في هذه القائمة فيمكننا إنشاء اليبسويد جديد بالضغط بالماوس الأيمن علي أيقونة Ellipsoids ثم اختيار أمر New:

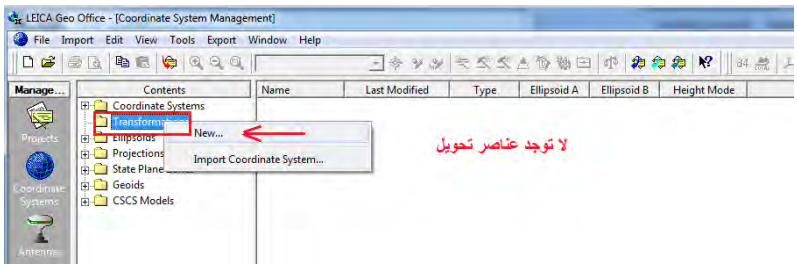


ثم ندخل اسم الاليبسويد و قيمة نصف محوره الأكبر semi-major axis و قيمة مقلوب التفلطح 1/f ثم نضغط Ok:



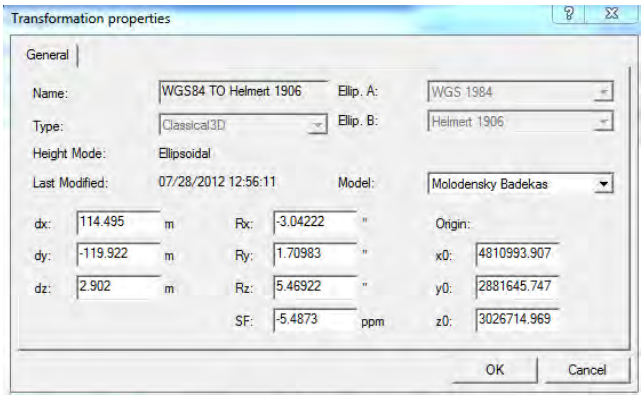
(ب) تحديد عناصر التحويل:

من القائمة الرئيسية اليمني في برنامج LGO نضغط أيقونة نظم الإحداثيات Coordinate Systems ومن القائمة الفرعية نضغط Transformations فلا نجد أية عناصر تحويل. نضغط بالماوس الأيمن علي Transformations ثم نختار New لإنشاء عناصر تحويل جديدة:



سنستخدم هنا - علي سبيل المثال - قيم عناصر التحويل التي تم حسابها للمنطقة من القاهرة إلي أسيوط (المحسوبة بواسطة المؤلف):

Name	اسم لعناصر التحويل
Ellip A	الاليبسويد الأول (للتحويل منه) وهنا سيكون WGS84
Ellip B	الاليبسويد الثاني (للتحويل إليه) وهنا سيكون Helmert 1906
Type	نوع التحويل فان كان ثلاثي الأبعاد 3D فيتطلب معرفة ٧ عناصر تحويل (وهو الأدق) و إن كان ثنائي الأبعاد 2D فيتطلب ٤ عناصر فقط.
Model	النموذج الرياضي للتحويل وهو إما Bursa-Wolf أو Molodenskii-Badekas (الثاني يتطلب ١٠ عناصر تحويل)
dx, dy, dz	قيم عناصر الإزاحة بالمتر
Rx, Ry, Rz	قيم عناصر الدوران بالثانية
SF	قيمة معامل القياس scale factor بوحدات الجزء من مليون ppm

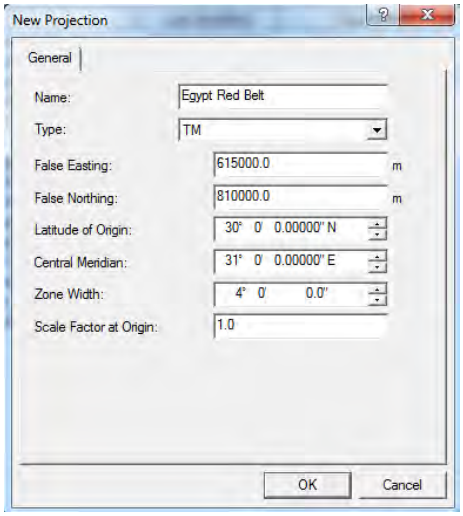


ثم نضغط OK.

(ج) تحديد عناصر الإسقاط:

من القائمة الرئيسية اليمني في برنامج LGO نضغط أيقونة نظم الإحداثيات Coordinate Systems ومن القائمة الفرعية نضغط Projections فنجد بعض عناصر الإسقاط المشهورة عالميا. نضغط بالماوس الأيمن علي Projections ثم نختار New لإنشاء عناصر إسقاط جديدة. هنا سنستخدم قيم إسقاط الحزام الأحمر في مصر (صفحة ٣٦) كالتالي:

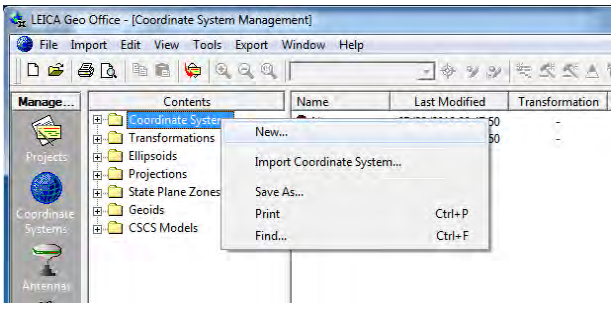
Name	اسم لهذا المسقط
Type	نوع الإسقاط، وهنا سنفتح السهم الأسود الصغير ونختار نوع ميريكاتور المستعرض TM (وليس UTM العالمي) وهو المستخدم في مصر.
False Easting	الإحداثيات الزائفة الشرقية
False Northing	الإحداثيات الزائفة الشمالية
Latitude of Origin	دائرة العرض الأساسية
Central Meridian	خط الطول المركزي
Zone Width	عرض الشريحة
Scale Factor at Origin	معامل القياس عند خط الطول المركزي



ثم نضغط OK.

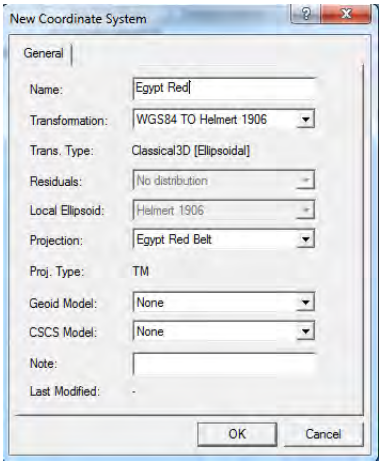
(د) تحديد نظام إحداثيات:

من القائمة الرئيسية اليمني في برنامج LGO نضغط أيقونة نظم الإحداثيات Coordinate Systems ومن القائمة الفرعية نضغط Coordinate Systems فلا نجد إلا نظام WGS1984 العالمي. نضغط بالماوس الأيمن علي Coordinate Systems ثم نختار New لإنشاء نظام إحداثيات جديد.

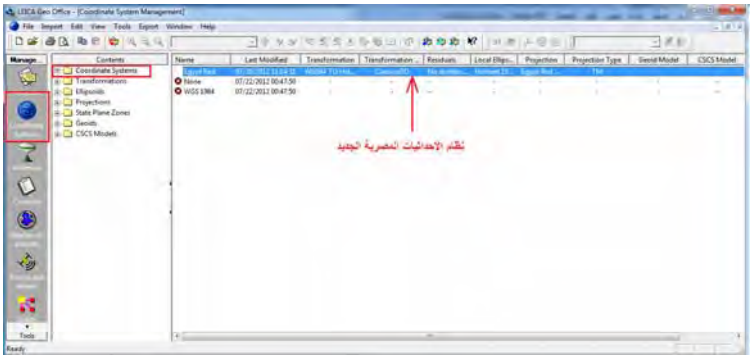


نعطي اسم لهذا النظام الجديد أما خانة Name. نفتح السهم الصغير بجوار خانة عناصر التحويل Transformations ونختار العناصر التي قمنا بانشاؤها في الخطوة ب WGS84 TO

Helmert 1906. ثم نفتح السهم الصغير أمام خانة الإسقاط Projections ونختار عناصر الإسقاط التي قمنا بانشاؤها في الخطوة ج Egypt Red Belt، ثم نضغط OK:



الآن سيظهر لنا نظام الإحداثيات الجديد في قائمة النظم المتاحة للاستخدام:

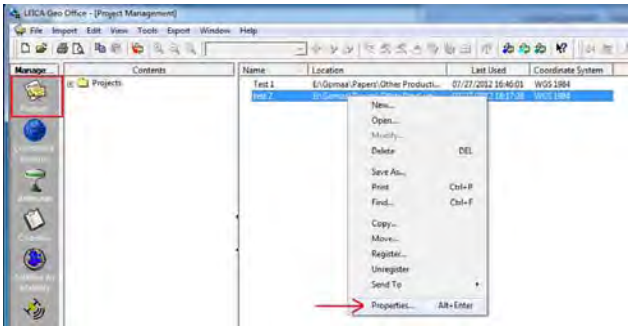


بمثل الخطوات السابقة يمكننا إنشاء نظام إحداثيات وطني لأي دولة أخري بعد معرفة قيم العناصر المطلوبة (عناصر التحويل بين المراجع بالإضافة لعناصر نظام الإسقاط ذاته).

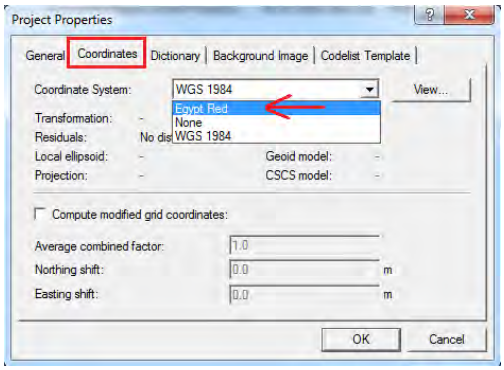
٢٠-٤-٢ تحويل الإحداثيات

لتحويل إحداثيات كل النقاط الموجودة في مشروع في برنامج LGO لا يلزمنا إلا تغيير نظام إحداثيات المشروع قبل فتحه.

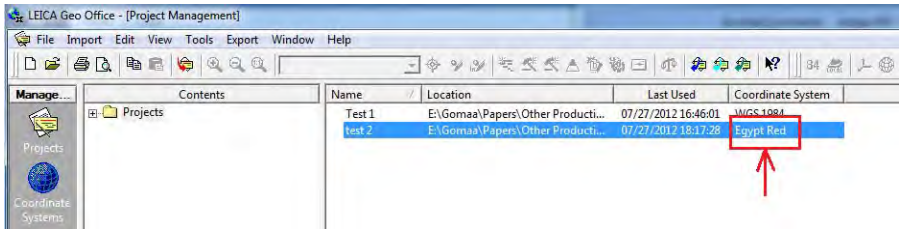
من القائمة الرئيسية للبرنامج نضغط أيقونة المشروعات Projects فنجد أسماء المشروعات الحالية. فمثلا المشروع test2 المبني علي نظام إحداثيات WGS 1984 العالمي (حسابات الشبكة الجيوديسية المربوطة علي محطة IGS في الجزء السابق). نضغط بالماوس الأيمن علي اسم هذا المشروع ونختار أمر خصائص Properties :



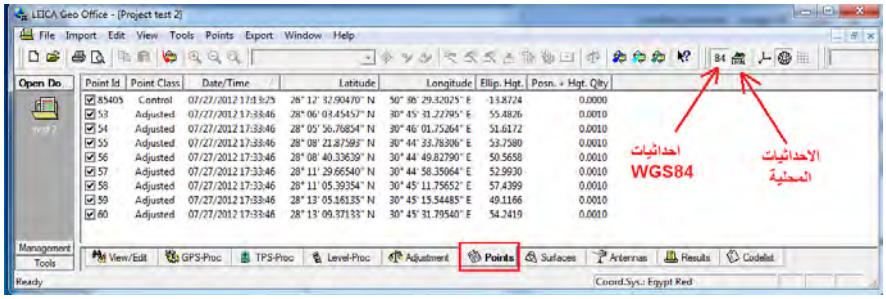
نضغط أيقونة الإحداثيات Coordinates (من السطر العلوي) ثم نفتح السهم الصغير بجوار خانة نظام الإحداثيات Coordinate System ونختار نظام الإحداثيات المصري الذي قمنا بانشاؤه في الخطوة السابقة ثم نضغط Ok:



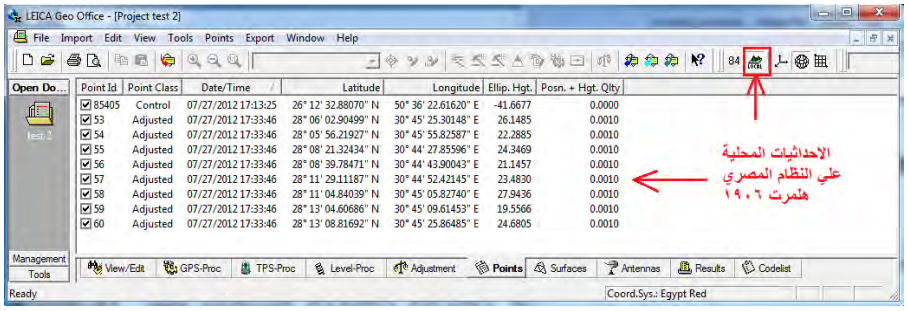
نلاحظ أن نظام الإحداثيات لهذا المشروع قد تغير الآن وأصبح Egypt Red (بدلا من WGS1984):



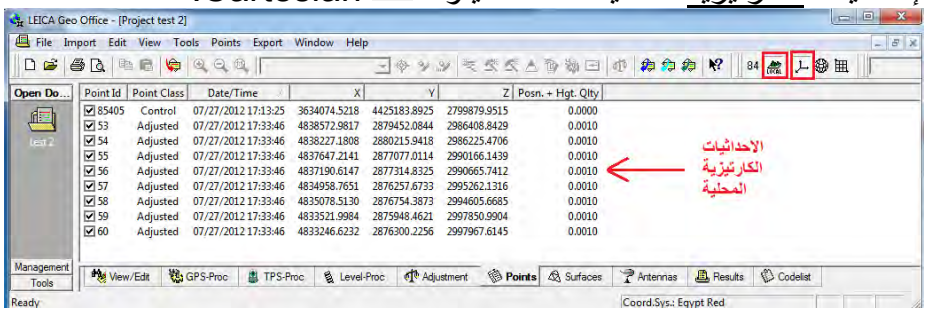
الآن سنفتح هذا المشروع (بالضغط عليه ضغطتين متتاليتين دوبل كليك). بالضغط علي أيقونة نقاط Points في شريط الأدوات السفلي تظهر لنا قائمة بإحداثيات نقاط الشبكة. نلاحظ في شريط الأدوات العلوي أن أيقونة 84 هي المفعلة الآن، بمعني أن الإحداثيات الظاهرة علي الشاشة هي إحداثيات النقاط علي المرجع العالمي WGS84. أيضا سنجد أيقونة Local قد أصبحت نشطة الآن لأول مرة (لم تكن نشطة من قبل) وهي الأيقونة الخاصة بإظهار الإحداثيات المحلية أو الوطنية. تم تنشيط هذه الأيقونة بعد أن قمنا بتغيير نوع نظام إحداثيات المشروع:



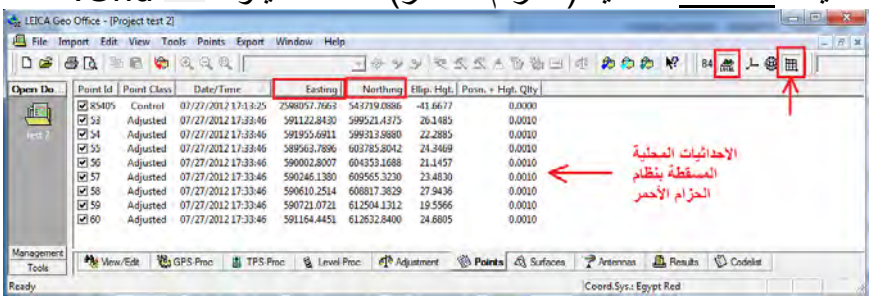
الآن سنضغط أيقونة الإحداثيات المحلية LOCAL ليتم عرض الإحداثيات الجغرافية الوطنية لنقاط الشبكة:



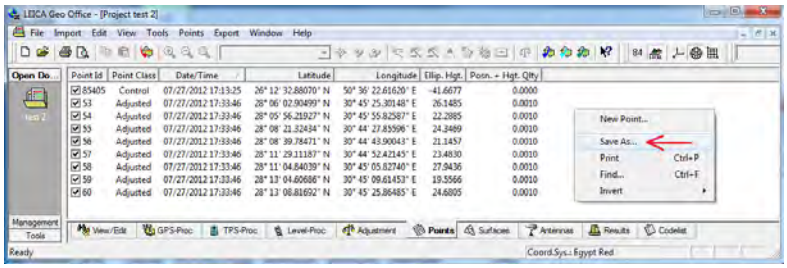
إذا أردنا الإحداثيات الكارتيزية المحلية فنضغط أيقونة Cartesian:



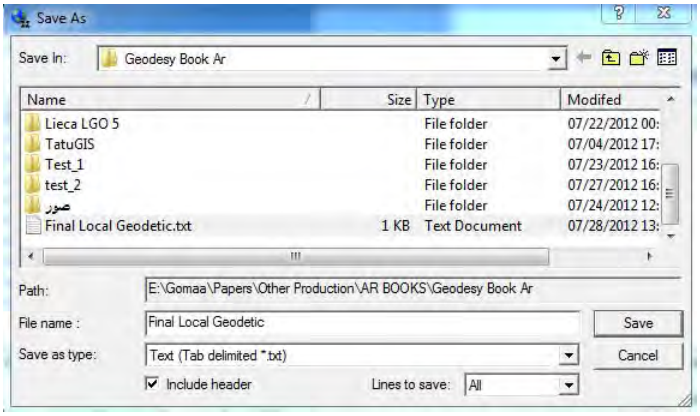
إذا أردنا الإحداثيات المسقطة المحلية (الحزام الأحمر) فنضغط أيقونة Grid:



لحفظ (أو تصدير) الإحداثيات المعروضة علي الشاشة نضغط بالماوس الأيمن ثم نختار Save As:



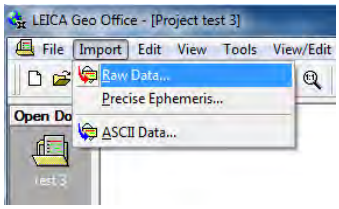
نكتب اسم الملف و نختار نوعه (مثلا ملف نصي text) :



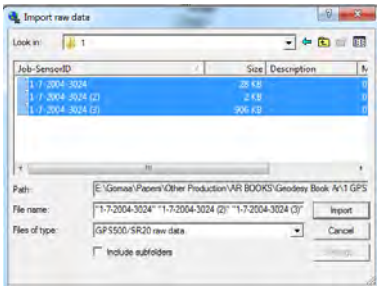
٢٠-٥ حسابات الرفع التفصيلي

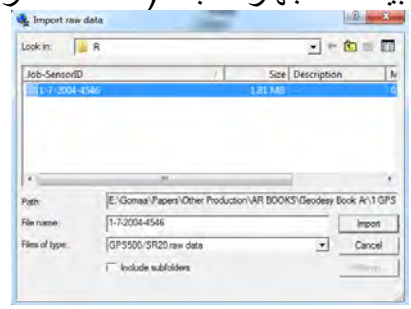
بعد الانتهاء من إنشاء شبكة الثوابت الأرضية (شبكة التحكم Control Network) للمشروع المساحي وضبطها في الصورة النهائية يبدأ الرفع المساحي التفصيلي للمشروع. في المثال التالي كان المشروع عبارة عن عمل قطاعات للرفع الطبوغرافي لمنطقة الدراسة بهدف إنشاء خرائط كنتورية، وذلك باستخدام عدة أجهزة جي بي أس بحيث يقوم كل جهاز برفع قطاع طولي لمسافة ٢ كيلومتر تقريبا، وعلي هذا القطاع يتم تحديد نقطة كل ٥٠ متر. أستخدمت في هذا المشروع طريقة الوقوف و الحركة Stop-and-Go بحيث يبدأ الجهاز المتحرك Rover GPS عند بداية القطاع ويرصد إشارات الأقمار الصناعية في الوضع الثابت Static لمدة ٢ دقيقة ثم يبدأ في التحرك لمسافة ٥٠ متر ثم يقف ليرصد ثاني نقطة في القطاع من الوضع الثابت لمدة ٢ دقيقة ثم يتحرك .... وهكذا (الجهاز مازال يعمل أثناء الحركة). وفي نفس وقت الرفع التفصيلي المطلوب كان هناك جهاز جي بي أس يحتل احدي نقاط الشبكة في الوضع الثابت Static ليتم استخدامها كنقطة مرجعية (نقطة ربط) لكل أرصاد الأجهزة المتحركة Rover في هذا اليوم.

لا تختلف خطوات حسابات الرفع كثيرا عن خطوات حسابات الشبكة، فنبدأ بإنشاء مشروع جديد في برنامج LGO ويكون نظام إحداثياته هو WGS 1984. ثم نبدأ في استيراد البيانات Import Raw Data إلي المشروع الجديد:

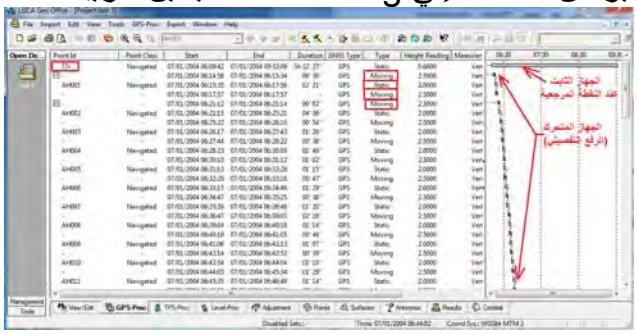


نقوم باستيراد بيانات الجهاز الثابت (المحطة المرجعية) ثم نقوم باستيراد بيانات الجهاز المتحرك.

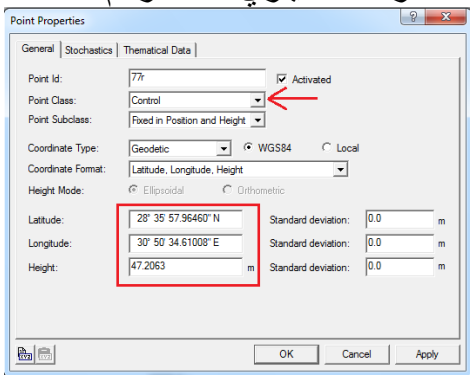




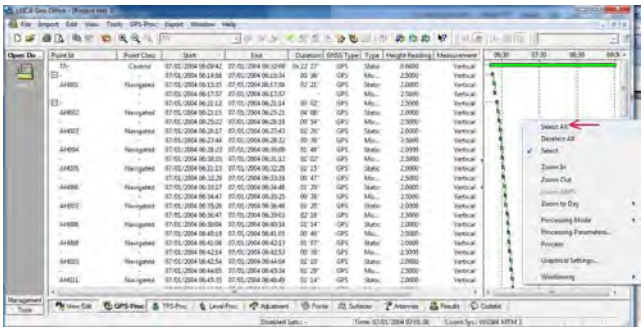
من نافذة العرض View/Edit (في شريط الأدوات السفلي) نجد برنامج LGO قد تعرف علي نوع بيانات كل جهاز فالجهاز عند النقطة 77r له أرصاد ثابتة مستمرة Static بينما الجهاز الثاني Rover له أرصاد تتغير من static إلي moving كل دقيقتين تقريبا:



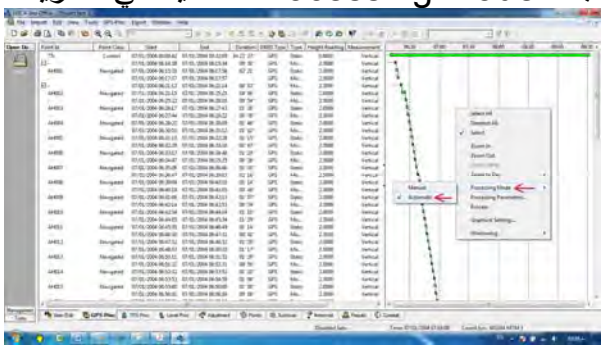
لبدء أولي خطوات الحسابات التفصيلية نحدد قيمة الإحداثيات الدقيقة لنقطة الربط المرجعية (الناتجة من الضبط النهائي للشبكة الجيوديسية للمشروع). نضغط علي النقطة بالماوس الأيمن ونختار خصائص Properties ثم نغير حالتها Point Class إلي نقطة تحكم Control ونكتب قيم إحداثياتها الحقيقية ونجعل قيم الانحراف المعياري = صفر ثم نضغط OK:



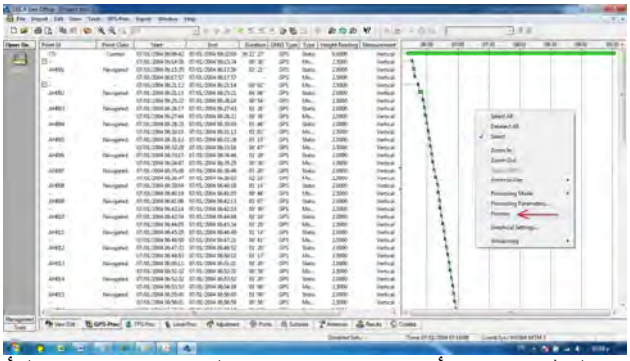
في نافذة الحسابات GPS-Process (أسفل الشاشة) نضغط الماوس الأيمن ونختار Select All:



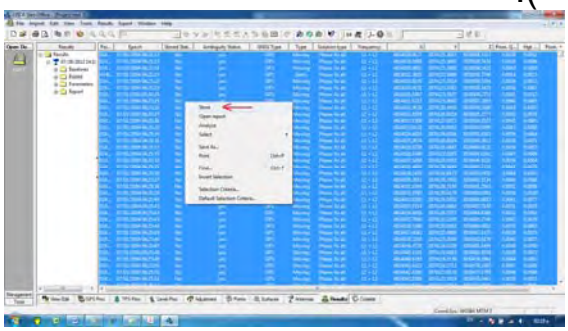
نتأكد من أم طريقة الحسابات Processing Mode الحالية هي الطريقة الآلية Automatic :



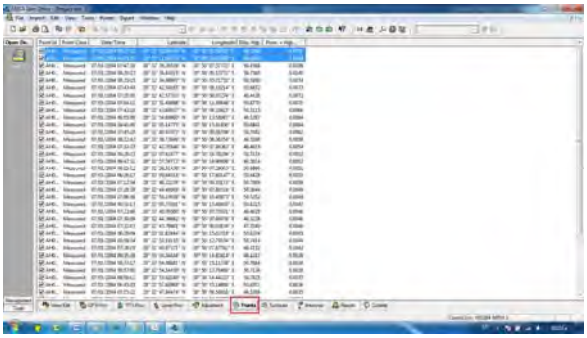
ثم نبدأ الحسابات من أمر Process:



عند ظهور النتائج نضغط الماوس الأيمن و نختار حفظ Store (لاحظ أن قيمة خطأ الغموض Ambiguity قد تم حلها لكل أرصاد الرفع التفصيلي حيث كان الجهاز يقف ساكنا static لمدة دقيقتين تقريبا علي كل نقطة):

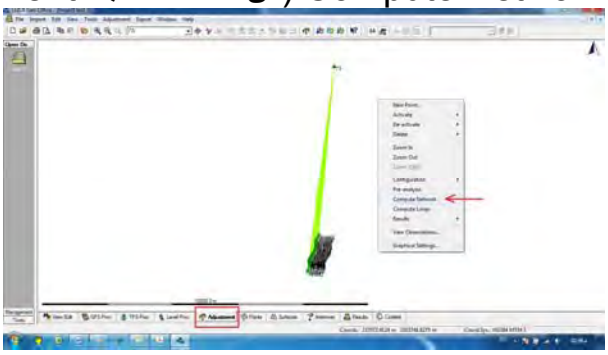


بالانتقال إلي شاشة النقاط Points نجد أن هناك نقطتين لم يتم حساب إحداثيات دقيقة لهما (نوع الإحداثيات هو الإحداثيات الملاحية Navigated) وقيم الانحراف المعياري (العمود الأخير) لهما كبيرة. بينما باقي نقاط الرفع التفصيلي كلهم من نوع الإحداثيات المقاسة Measured وانحرافهم المعياري عدة ملليمترات فقط:



فنقوم بحذف هاتين النقطتين و الإبقاء علي نتائج باقي نقاط الرفع التفصيلي.

نقوم بتنفيذ أمر الضبط Compute Network (من شاشة الضبط Adjustment):



بالعودة لشاشة النقاط Points نجد أن قيم الانحراف المعياري لنقاط الرفع التفصيلي تتراوح بين ٠.٠٢٨ متر و ٠.٠٧٤ متر مما يدل علي جودة أرصاد الرفع التفصيلي للمشروع طبقا لأهدافه (إنشاء خرائط كنتورية).

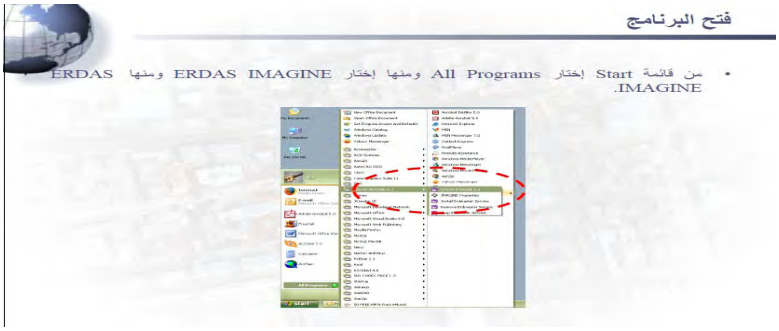
إذا أردنا الحصول علي الإحداثيات الوطنية (المحلية) لنقاط الرفع التفصيلي فنتبع نفس الخطوات السابقة بتغيير نظام إحداثيات المشروع من WGS84 إلي النظام المصري المحلي Egypt Red الذي قمنا بانشاؤه في الجزء السابق.

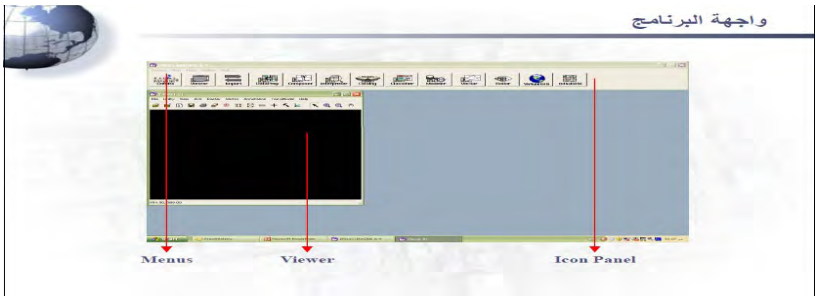
الفصل الحادي والعشرون

تدريب عملي لبرنامج RS

يهدف هذا الفصل لتقديم فكرة عامة (وليست تفصيلية) عن تشغيل برامج استشعار عن بعد، من خلال تقديم شرح تعليمي مبسط (ليس لأية أغراض تجارية) للخطوط العريضة لاستخدام أحد هذه البرامج ألا وهو برنامج Erdas Imagine. وتجدر الاشارة الي أن هذه المادة التدريبية المعروضة في هذا الفصل هي للأستاذ الدكتور وسام الدين محمد، وهي متاحة في عدد من مواقع الانترنت مجانا.

٢١-١ عرض البيانات

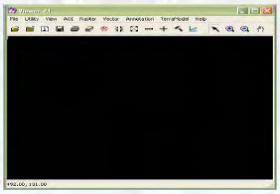




الـ Viewer

- يستخدم Viewer لعرض البيانات (المرئيات/ الصور).
- يمكن إستدعاء الـ Viewer من خلال النقر على الأيقونة المبينة:

- يظهر الـ Viewer المبين في الشكل التالي:

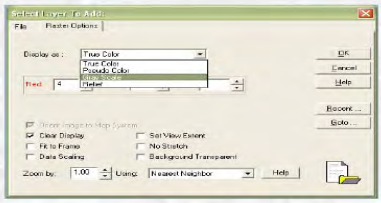


عرض صورة في نمط التدرج الرمادي Gray Scale

- لعرض صورة في نمط التدرج الرمادي يتبع المستخدم الخطوات التالية:
- فتح Viewer
- من قائمة File في نافذة Viewer يختار المستخدم Open ومنها Raster Layer.
- تظهر نافذة Select Layer to Add المبينة في الشكل التالي

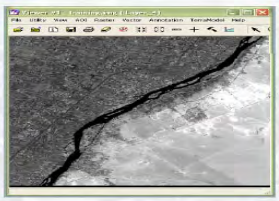
عرض صورة في نمط التدرج الرمادي Gray Scale

- في التبويب File إختار الملف الذي يحتوي على الصورة المطلوب فتحها.
- إنتقل إلى التبويب Raster Options.
- من القائمة المعنونة Display as إختار Gray scale.



- في القائمة المعنونة Layer أختار رقم النطاق المطلوب عرضه.
- أنقر المفتاح Ok لتظهر الصورة في الـ Viewer.

عرض صورة في نمط التدرج الرمادي Gray Scale



- ما هو النطاق Band المعروض في الـ Viewer؟
- إذا كان المجس المستخدم في جمع هذه البيانات هو Landsat ETM+ ما هي المنطقة الطيفية التي يغطيها هذا النطاق، وما هي المعلومات الممكن قراءتها عبر هذا النطاق؟
- ما هو معنى اللون المستخدم لعرض كل صورة؟

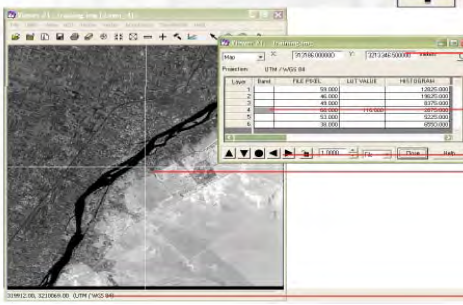
المهارات الأساسية لإستخدام الـ Viewer

المؤشر – للخروج من أي وظيفة	التكبير لمركز الصورة
التكبير التفاعلي Zoom In	حفض أي تغيرات على الصورة
التصغير التفاعلي Zoom Out	الطباعة
تحريك الخريطة – Pan	فتح الصورة – البيانات
التكبير للحجم الأمثل Zoom Reset	إغلاق الطبقة الأعلى من البيانات
التصغير لمركز الصورة	مسح كافة محتويات الـ Viewer

يمكن الحصول على المزيد من الأدوات الأساسية من خلال النقر اليمين على الصورة.

الوظيفة Inquire Cursor

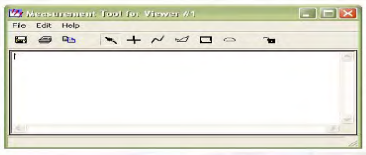
- هذه الوظيفة تساعد المستخدم على التعرف على قيمة البكسل في كل نطاق بتحديد موضعه الجغرافي تفاعلياً أو بتحرير إحداثيات الموقع في الخانات المخصصة.
- لإستدعاء هذه الوظيفة ينقر المستخدم على الأيقونة



- تظهر النافذة الموضحة فيما يلي

القياسات Measurements

- المعني بالقياسات هو تحديد الأطوال و المساحات على الصورة المستعدلة جغرافيا Georeferenced.
- لإستدعاء هذه الوظيفة ينقر المستخدم على الأيقونة



- تظهر النافذة المبينة في الشكل المقابل
- لضبط الوحدات المستخدمة في القياس
- من قائمة edit يختار المستخدم set units
- تظهر نتائج القياس في النافذة

أداة Profile

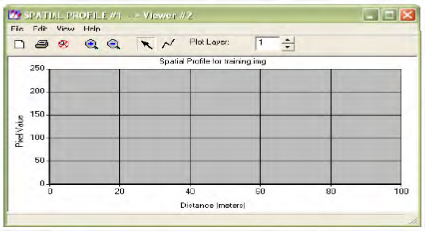
- تستخدم هذه الأداة لتحديد أنواع المقاطع المختلفة ويمكن إستدعاءها من خلال النقر على الأيقونة

- تظهر النافذة المبينة فيما يلي و هي تسأل المستخدم عن نوع المقطع المطلوب

- لتنفيذ مقطع يبين التغير في الإنعكاس الطيفي مع المسافة يختار المستخدم Spatial ثم ينقر المفتاح ok.

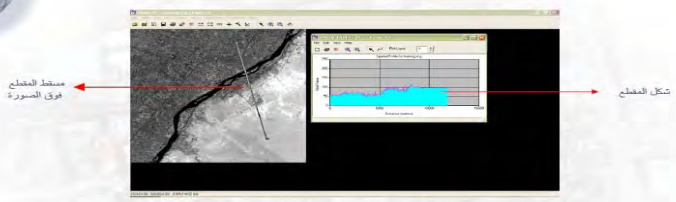
المقطع الخطي Spatial Profile

- بالنقر على مفتاح Ok تظهر النافذة المبينة



- في حالة وجود أكثر من Band يجب على المستخدم تحديد النطاق المطلوب دراسة تغير الإنعكاس الطيفي فيه من خلال تحديد رقم النطاق في Plot Layer.
- ينقر المستخدم على أداة رسم المسار المبينة ثم يقوم برسم المسار المطلوب دراسة التغير فيه فوق الصورة.

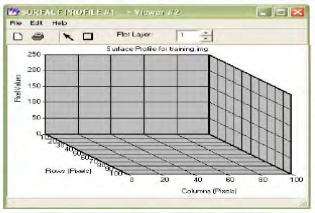
المقطع الخطي Spatial Profile



- النافذة المبينة هي النافذة التي يظهر فيها المقطع حيث يبين المحور الأفقي المسافة مقاسة من بداية رسم مسقط المقطع فوق الصورة وحتى نهايته، أما المحور الرأسي فيبين قيمة البكسل في النطاق المحدد في Plot Layer.

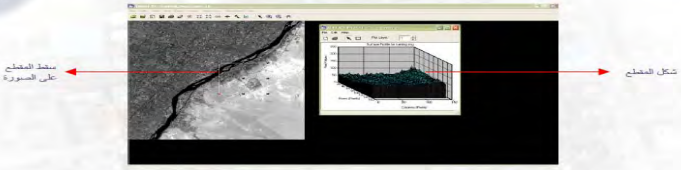
المقطع المساحي Surface Profile

- يمكن للمستخدم أن يختار Surface Profile لإنتاج نموذج ثلاثي الأبعاد مبسط يعبر عن الإنعكاس الأرضي في مساحة من الأرض.
- عند إختيار Surface Profile تظهر النافذة المبينة



- بنفس الطريقة ينقر المستخدم على الأيقونة ثم يرسم المساحة المطلوب دراستها فوق الصورة.

المسقط المساحي Surface Profile



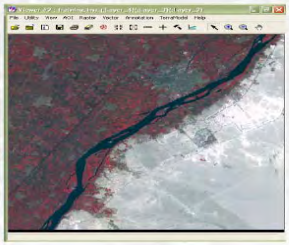
- تبين النافذة شكل المقطع ثلاثي الأبعاد، حيث تشير أرضية المقطع إلى موقع البكسل بالعمود Column والصف Row، أما المحور الرأسي فيشير إلى قيمة البكسل.

عرض صورة في نمط متعدد النطاقات Multispectral

- لعرض صورة في نمط التدرج الرمادي يتبع المستخدم الخطوات التالية:
- فتح Viewer
- من قائمة File في نافذة Viewer يختار المستخدم Open ومنها Raster Layer.
- تظهر نافذة Select Layer to Add إختر الصورة المطلوب فتحها، بالإنتقال إلى تبويب Raster Options تظهر النافذة التالية

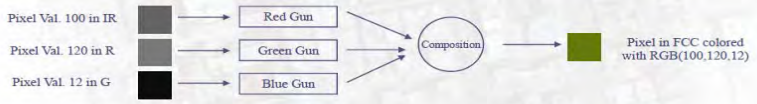
عرض صورة في نمط متعدد النطاقات Multispectral

- إختار النمط True Color لعرض الصورة.
- حدد النطاق المطلوب عرض كنطاق أحمر في Red وكذلك Green و Blue.
- أنقر المفتاح Ok لتظهر الصورة.



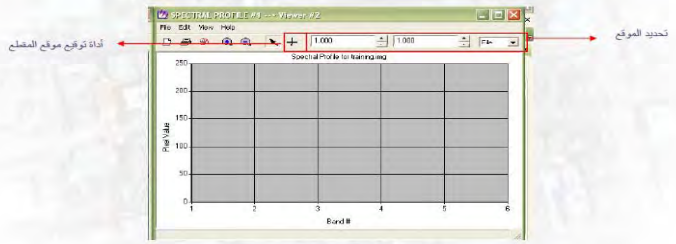
التركيب اللوني الزائف False Color Composite

- تستطيع للعين البشرية تمييز عدد كبير من الألوان.
- كل هذه الألوان تعتبر تركيب من ثلاثة ألوان (الأحمر – الأزرق – الأخضر) بدرجات مختلفة.
- يمكن للكومبيوتر محاكاة تركيب الألوان بواسطة خلط هذه الألوان الثلاثة.
- يمكن إستغلال هذه الخاصية من خلال تعيين نطاق طاقة لكل لون، عندئذ تكون قيمة البكسل (المميزة لشدة الطاقة المنعكسة عن سطح الأرض) هي نسبة اللون.
- يطلق على الصورة التي يستخدم لتركيبها نطاقات غير النطاقات الطبيعية المقابلة أسم False Color Composite.

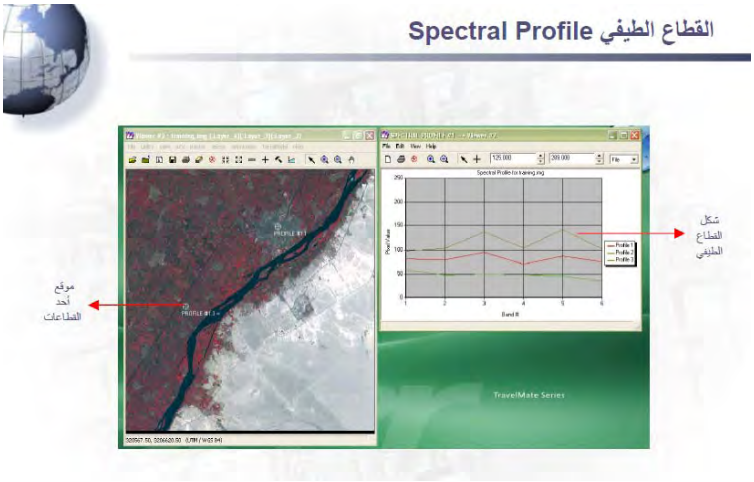


القطاع الطيفي Spectral Profile

- بإستخدام أداة Profile يمكن التعرف على البصمة الطيفية المنبعثة من بكسل بعينة وذلك بإختيار Spectral
- تنبيه: هذه الإختيار يلزمه وجود صورة متعددة النطاقات على الأقل في الـ Viewer.
- عند إختيار هذه الأداة تظهر النافذة التالية:



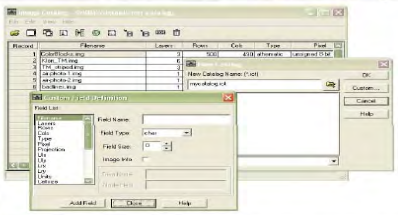
- بتوقيع المستخدم للمحل المطلوب دراسته تظهر النافذة التالية



٢١-٢ تنظيم البيانات من خلال Image Catalog

تخصيص واجهة الـ Catalog

- يمكن من خلال النقر على المفتاح Custom تغيير أو تخصيص الطريقة التي يظهر بها الكاتالوج. عند النقر على هذا المفتاح تظهر النافذة التالية:



- بالنقر على أي حقل من الحقول تتبين حالته.
- يمكن إضافة حقل جديد من خلال النقر على المفتاح Add Field.

تخصيص واجهة الـ Catalog

- كذلك يمكن تغيير طريقة عرض حقول الكاتالوج عبر قائمة Edit ومنها Catalog Layout لتظهر النافذة المقابلة.
  - المفاتيح Up – Down – Top – Bottom لتغيير ترتيب الحقول بالنسبة لبعضهم البعض.
  - المفتاح Show والمفتاح Hide للتبديل بين إظهار الحقول وإخفاءها.
  - المفتاح Reset Fields لإعادة كافة الحقول إلى الوضعية الإفتراضية لها.

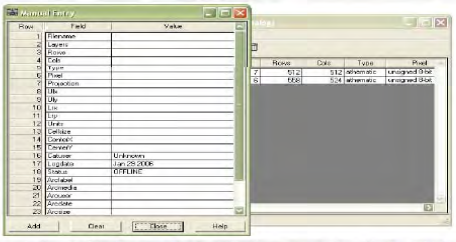
إضافة بيانات إلى الـ Catalog

- من قائمة Edit يمكن للمستخدم أن يقوم بإضافة البيانات إلى الكاتالوج من خلال إختيار Edit ومنها Catalog Image لتظهر النافذة التالية:

- يمكن إضافة أي بيانات إلى الكاتالوج عبر إختيار أسم الصورة ثم إختيار الصورة والنقر على Add.
- يمكن إضافة جميع البيانات الموجودة على مجلد عبر إختيار أحد الصور ثم النقر على Add All.

إضافة بيانات إلى الـ Catalog يدوياً

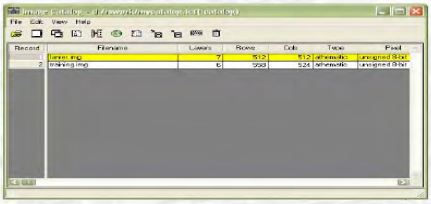
- يمكن إضافة البيانات إلى الـ Catalog يدوياً عبر قائمة Edit ثم إختيار Manual Entry لتظهر النافذة المبينة فيما يلي:



- من خلال هذه النافذة يمكن للمستخدم تحرير البيانات المطلوب خلال الأماكن المخصصة لذلك.

حذف بيان من الـ Catalog

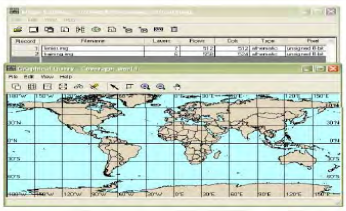
- يحدد المستخدم البيان المطلوب حذفه من خلال النقر على دليل السجل الذي يحتويها



- من قائمة Edit يختار المستخدم Delete Image.

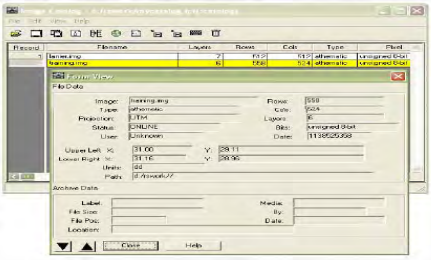
البحث عن البيانات بإستخدام الـ Image Catalog

- من أهم وظائف الـ Image Catalog القدرة عن البحث عن مكان تغطيه أحد الصور الموجودة في الـ Catalog.
- يمكن البحث بإستخدام أداة الـ Graphical Query والتي يمكن الوصول إليها عبر قائمة View ومنها Graphical Query Viewer.



تصفح البيانات بإستخدام الـ Form

- يمكن تصفح البيانات الخاصة بكل صورة من خلال الـ Form.
- يمكن تنفيذ هذا الإجراء عبر قائمة View وإختيار Form View لتظهر النافذة المبينة



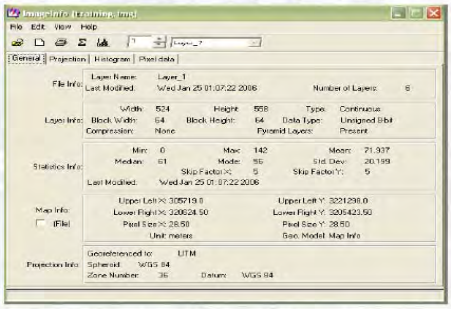
إستكشاف البيانات من الـ Catalog

- يمكن فتح الصورة عبر View وإختيار View Image لتظهر الصورة في الـ View

- ينمن التعرف على البيانات الوصفية للصورة عبر View و إختيار Image Info.

نافذة معلومات الصورة Image Info

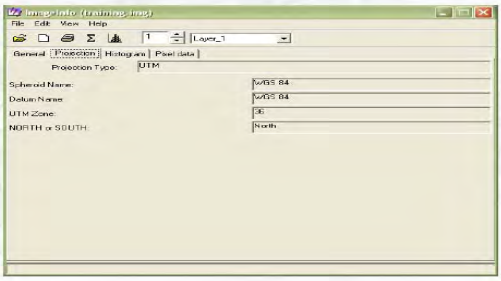
- النافذة Image Info تضم مجموعة مهمة من البيانات اللازمة لتحليل الصور معروضة خلال تبويبات



- التبويب General يعرض المعلومات الخاصة بالمسقط و المعلومات الإحصائية الأساسية.

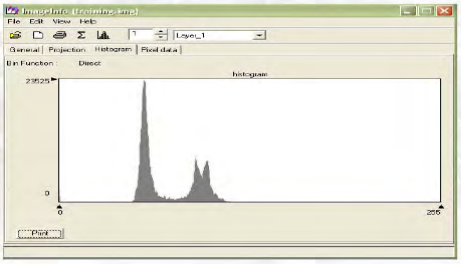
نافذة معلومات الصورة Image Info

- التبويب Projection المسئول عن عرض بيانات المسقط



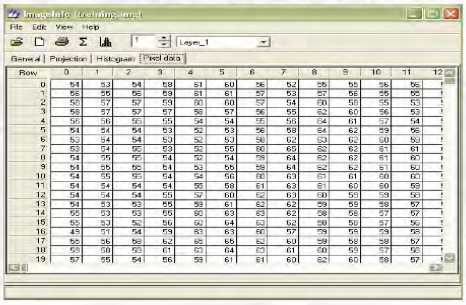
نافذة معلومات الصورة Image Info

- التبويب Histogram ليبين التوزيع التكراري للبيانات في كل نطاق



نافذة معلومات الصورة Image Info

- التبويب Pixel Data يسمح بعرض البيانات في كل نطاق بصورة الخام (أرقام)



٣-٢١ انتاج الخرائط باستخدام Map Composer

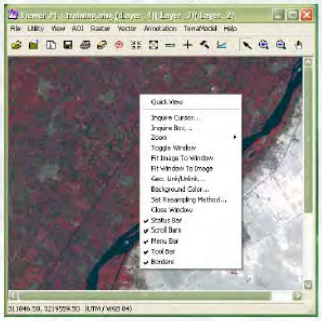
الـ Map Composer

- الـ Map Composer هو الأداة المسئولة عن تصميم وإنتاج الخريطة في البرنامج ERDAS IMAGINE.

- يمكن من خلال الـ Map Composer القيام بالمهام التالية:
  - إنتاج الخرائط من بيانات الإستشعار من بعد الخام.
  - إنتاج الخرائط من بيانات الإستشعار من بعد المصنفة Classified.
  - إضافة الشبكات الإحداثية إلى الخريطة.
  - إضافة سهم الشمال إلى الخريطة.
  - إضافة مقياس الرسم إلى الخريطة.
  - إضافة دليل الخريطة.
  - إضافة رسوم وأشكال توضيحية إلى الخريطة.

قبل تنفيذ الخريطة

- قبل تنفيذ الخريطة يجب على المستخدم تنفيذ بضع خطوات:
  - تصميم الخريطة على ورقة تماثل حجم الورقة التي سوف يتم طباعة الخريطة عليها.
  - فتح البيانات المطلوب فتحها في Viewer جديد.
  - وضع البيانات في أفضل حيز ممكن ويمكن أن يصل المستخدم لهذا الوضع عن طريق النقر اليمين على الـ Viewer وإختيار Fit Image to Window ثم Fit Window to Image.

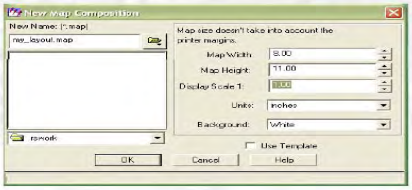


إنشاء خريطة جديدة

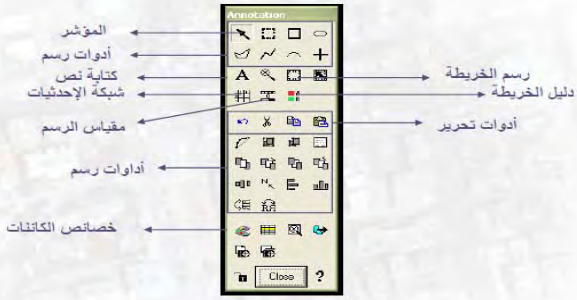
- من الـ Icon Panel إختار Map Composer.
- من القائمة المنسدلة إختار New Map Composer.
- تظهر نافذة معنونة بـ New Map Composition.

تحديد مواصفات الورقة

- على المستخدم تنفيذ الأجراءات:
  - في الخانة New Name حدد إسم الملف الذي سوف يحتوى الخريطة المنتجة.
  - حدد الوحدة المستخدمة في قياس الورقة في الخانة Units.
  - طول و عرض الخريطة بنفس الوحدة Map Width و Map Height.
  - لون الخلفية في Background.
  - نسبة الطول إلى العرض Display Scale.



أدوات الـ Composer



إضافة البيانات إلى الخريطة

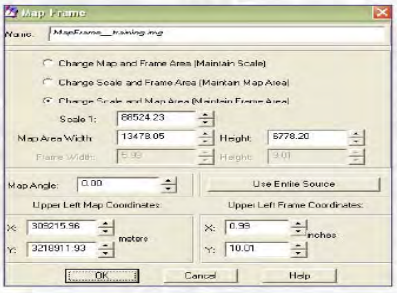
- في شريط الأدوات أنقر على أيقونة إنشاء إطار البيانات Create Map Frame.

- على سطح الورقة يقوم المستخدم برسم المكان الذي تشغله الخريطة.
- تظهر النافذة السبيئة في أسفل.

- بالنقر على المفتاح Viewer تظهر النافذة التالية

إضافة البيانات إلى الخريطة

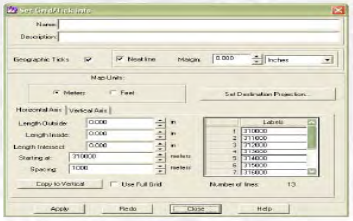
- قم بالنقر داخل الـ Viewer الذي يحتوي على البيانات.
- تظهر النافذة التالية:



إضافة شبكة الإحداثيات إلى الخريطة

- بالنقر على أيقونة Create Grid Tics المبينة أسفل

- تظهر النافذة المبينة أسفل



إضافة مقياس الرسم

- بالنقر على الأيقونة Create Scale Bar

- إرسم المكان الذي سوف يشغله مقياس الرسم على الخريطة.
- تظهر النافذة التالية:

- أنقر على الـ Viewer التي تحتوي بيانات الإستشعار من بعد الموجودة في الـ Composer.

إضافة سهم الشمال

- لإضافة سهم الشمال ينقر المستخدم على الأيقونة Create Symbol Annotation

- ثم قم بالنقر على المكان المطلوب وضع سهم الشمال فيه.
- إنتقي العلامة التي تظهر ثم أنقر على أيقونة الخصائص.

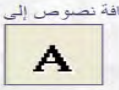
- تظهر نافذة الخصائص المبينة.

إضافة سهم الشمال

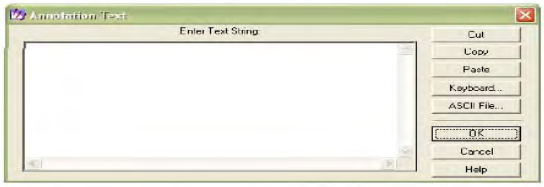
- ينقر المستخدم على المفتاح Symbol Style
- تظهر النافذة المبينة أسفل لينقر المستخدم على مفتاح الإستعراض
- يمكن للمستخدم إختيار أحد أسهم الشمال المقترحة أو النقر على Other لإختيار سهم آخر.

إضافة نصوص إلى الخريطة

- الرمز التالي هو المسئول عن إضافة نصوص إلى الخريطة

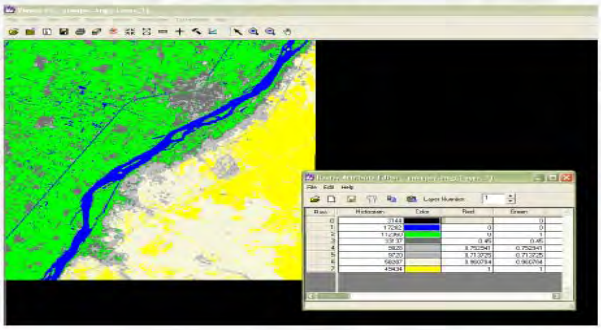


- لإضافة النص يقوم المستخدم بالنقر على هذا الرمز ثم النقر في المكان الذي يرغب في إضافة النص إليه على الخريطة تظهر النافذة التالية حيث يمكن للمستخدم أن يخصص النصوص التي يرغب فيها



إضافة دليل الخريطة للصور المصنفة

- الصور المصنفة هي خرائط موضوعية تم إنتاجها بإستخدام أساليب معينة سنتعرض لها فيما يلي
- الصورة المصنفة تتكون من مناطق ملونة، وكل لون يستخدم كدليل على التصنيف
- الصورة المعروضة في الـ View التالي تمثل صورة مصنفة



إضافة دليل الخريطة للصور المصنفة

- الرمز التالي هو الرمز المسئول عن إدراج دليل الخريطة

٤-٢١ تصنيف الصور Image Classification

مفهوم التصنيف Classification Concept

- التصنيف Classification : هو عملية الغرض منها تقسيم الصورة إلى عدد من الفئات Classes تمثل كل فئة منها ظاهرة محددة من سطح الأرض.

الخطوات اللازمة لإتمام عملية تصنيف الصورة

- تحديد الفئات المطلوبة من الصورة.
- تنفيذ التصنيف غير الموجه.
- تنفيذ التصنيف الموجه.
  - تحديد مناطق التدريب.
  - إنتاج وتقييم البصمات الطيفية.
  - تنفيذ التصنيف.
- تقييم كفاءة التصنيف.

تحديد الفئات المطلوبة

- يقصد بتحديد الفئات المطلوبة تحديد عدد محدد من ظواهر سطح الأرض المطلوب إشتقاقها من المرئية الفضائية.
- يوجد عدد من الأنظمة القياسية الموحدة عالميا لتسمية وتوصيف الفئات:
  - USGS Land Cover / Land Use Classification Scheme
  - CORINE Scheme
- أحيانا يحدث أن توجد بعض الظواهر المحلية الغير مدرجة في الأنظمة القياسية لذا يقوم الباحث بتحديد تسميات هذه الظواهر وتوصيفها بنفسه.
- يوجد عدد من الأنظمة المحلية المستخدمة للتوصيف:
  - Egyptian Land Cover Scheme for Coastal Arid and Semi Arid Areas.
- نظرا لعدم قبول الكثير من العلماء فكرة وجود تحديد شامل للفئات على مستوى الأرض فإن كثير من الباحثين يلجأ إلى تحديد الفئات المطلوبة في موضوع بحثه.

USGS Land Cover / Land Use Classification System

Level I	Level II
1 Urban or Built up Land	11 Residential
	12 Commercial and Service
	13 Industrial
	14 Transportation, communication and utilities.
	15 Industrial and commercial complexes
	16 Mixed urban & built up land
	17 Other urban and built up land
2 Agricultural land	21 Cropland & pasture
	22 Orchards, groves, vineyard, nurseries, and ornamental horticultural areas
	23 Confined feeding operations
	24 Other agricultural land

العوامل التي يتوقف عليها إختيار الفئات

- الطبيعية البيئية للمنطقة (دلتا – صحراوية – غابات – جبلية – ساحلية - .....).
- الدقة المساحية للمرئية المستخدمة.
- الدقة الطيفية للمرئية المستخدمة.
- الدقة الراديومترية للمرئية المستخدمة.

التصنيف غير الموجه Unsupervised Classification

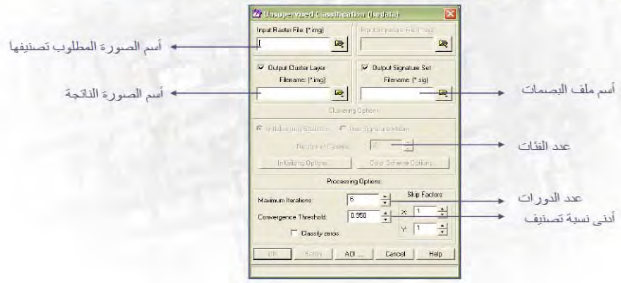
- التصنيف غير الموجه Unsupervised Classification هو عملية تصنيف للصورة تقوم على تقسيم الصورة إلى فئات بناء على إحصائيات الصورة Image Statistics.
- لا يشترط التصنيف غير الموجه معرفة الدارس بمنطقة الدراسة
- يستخدم في عملية التصنيف غير الموجه أسلوب يطلق عليه:

Iterative Self Organized Data Analysis Technique (ISODATA)

- يتطلب هذا الأسلوب من المستخدم عدد محدود من المدخلات هي:
  - أسم الصورة المطلوب تصنيفها.
  - عدد الفئات المطلوب تصنيف الصورة إليها.
  - عدد دورات تنفيذ عملية التصنيف.
  - مستوى دقة المطلوبة في البحث عن البيانات.
  - ملف البصمات الطيفية (إختياري).

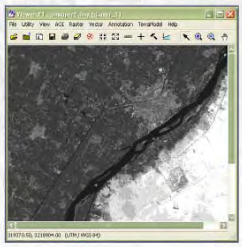
تنفيذ التصنيف غير الموجه

- يمكن الوصول إلى التصنيف غير الموجه من خلال أحد مكانين:
  - من قائمة Classification ومنها Unsupervised Classification.
  - من قائمة Data Preparation ومنها Unsupervised Classification.
- في حالة تنفيذ الخيار الأول تظهر النافذة المبينة فيما يلي:



عرض الصورة الناتجة

- قم بفتح نافذة Viewer جديدة.
- من قائمة File إختار Open ومنها Open Raster Layer.
- قم بإختيار الصورة المصنفة (الصورة الناتجة) في التبويب File.
- تأكد أن الإختيار Pseudo Color هو الخيار المختار في القائمة Display as.
- إختيار Ok.
- تظهر الصورة كما هو مبين في الشكل التالي.

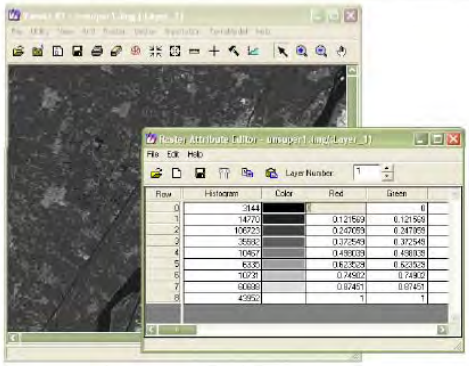


تخصيص دليل للصورة المصنفة

- بعد القيام بعملية التصنيف يكون من المناسب أن يقوم الدراس بتخصيص دليل Legend للصورة المصنفة.
- يتكون الدليل من تسمية لكل فئة ولون مخصص لها.
- لتنفيذ هذا يجب على المستخدم فتح الصورة بطريقة خاصة كما يلي:
  - قم بفتح نافذة Viewer جديدة.
  - من قائمة File إختار Open ومنها Open Raster Layer.
  - قم بإختيار الصورة اصلية في التبويب File.
  - قم بإختيار التركيب اللوني المناسب في التبويب Options.
  - في نفس الـ Viewer إختار قائمة File إختار Open ومنها Open Raster Layer.
  - قم بإختيار الصورة المصنفة (الصورة الناتجة) في التبويب File.
  - في التبويب Options تأكد أن الإختيار Pseudo Color هو الخيار المختار في القائمة Display as ثم قم بإزالة علامة صح من أمام الخيار Clear Display لتمكين الـ Viewer من عرض الصورتين فوق بعض.
  - أنقر Ok.

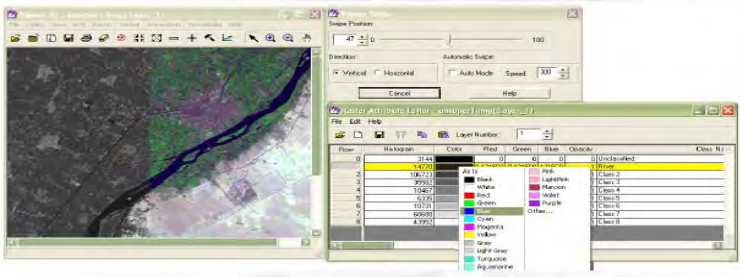
إنشاء دليل الخريطة

- من قائمة Raster إختار Attribute.
- تظهر النافذة المبينة فيما يلي.

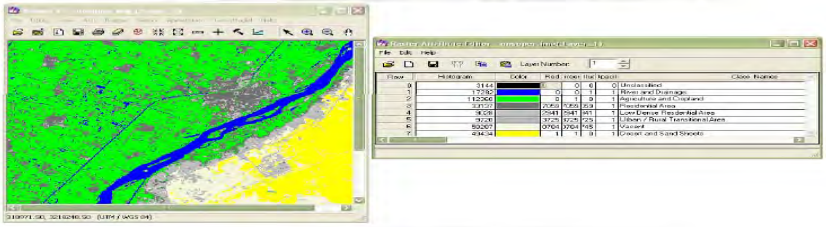


إنشاء دليل الخريطة

- يقوم المستخدم بالنقر على أي بكسل في الـ Viewer ليتم إختيار الفئة التي تنتمي إليها في نافذة Raster Attribute.
- في حالة عدم معرفة المستخدم لهذه الفئة يمكنه أن يستخدم الخيار Swipe من قائمة Utilities.
- في نافذة Raster Attribute يقوم المستخدم بتخصيص الأسم المناسب واللون المناسب.

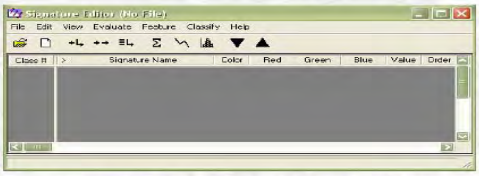


إنشاء دليل الخريطة



ملف البصمات الطيفية

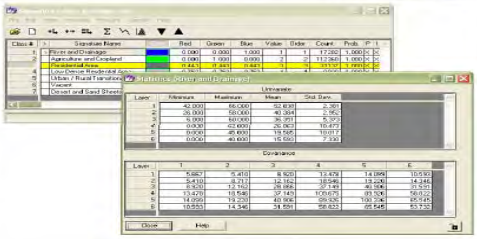
- هو الملف الذي يحفظ البصمة الطيفية لكل فئة من فئات التصنيف.
- ملف البصمات الطيفية إختياري في التصنيف غير الموجه لكنه إجباري في التصنيف الموجه.
- لفتح ملف بصمات طيفية من قائمة Classify يختار المستخدم Signature Editor
- تظهر النافذة المبينة في الشكل التالي:



- لتحميل ملف بصمات طيفية يختار المستخدم من قائمة File الخيار Open.
- الملفات التي تحمل البصمة الطيفية لها الإمتداد sig.*.

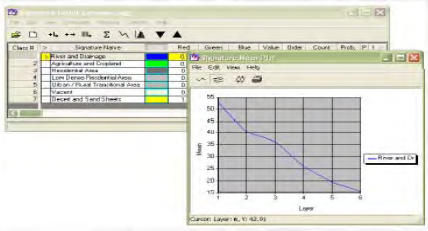
إحصائيات البصمة الطيفية

- تعطي لفظة إحصائيات مجموعة مؤشرات إحصائية تشتمل على: القيمة الصغرى – القيمة العظمى – المتوسط – الوسيط – المنوال – التشتت – الإنحراف المعياري.
- تعتبر الإحصائيات هي ما يميز فئة عن أخرى.
- للتعرف على إحصائيات البصمة الطيفية لفئة محددة ينقر المستخدم على السجل الذي يحتوي هذه البصمة ثم يختار Statistics من قائمة View.



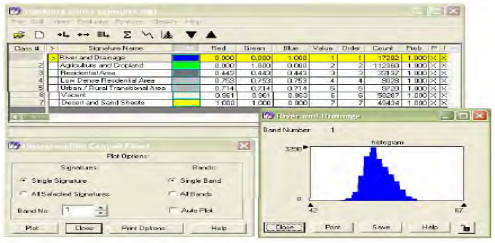
عرض منحنى البصمة الطيفية

- منحنى البصمة الطيفية أو منحنى المتوسطات Meanplot يبين القيمة المتوسطة للبكسلات الواقعة في فئة معينة في مختلف نطاقات الصورة.
- لعرض منحنى المتوسطات يختار المستخدم الفئة (أو الفئات) المطلوب عرض منحنى متوسطاتها ثم يختار Meanplot من قائمة View.



عرض المدرج التكراري للبصمة الطيفية

- المدرج التكراري Histogram هو منحنى بين توزيع قيم البكسلات في الفئة في نطاق محدد.
- للحصول على هذا المنحنى، يحدد المستخدم الفئة (أو الفئات) المطلوب عرض مدرجها التكراري، ثم يختار Histogram من قائمة Viewتظهر النافذة السيئة فيما يلي:



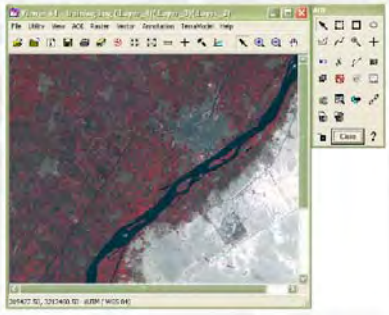
٥-٢١ التصنيف الموجه للصور Supervised Classification

ما هو التصنيف الموجه

- التصنيف الموجه – التصنيف المحكوم – Supervised Classification – Pattern Recognition.
- التصنيف الموجه: هو عملية يتم توجيه الكومبيوتر من خلالها إلى تصنيف الصورة، لا على أساس الإحصائيات الداخلية للصورة كما في حالة التصنيف غير الموجه – لكن على أساس مجموعة من البيانات المعبرة عن فئات التصنيف المختلفة يطلق عليها عينات التدريب Training Samples يتم تغذيتها للكومبيوتر سلفاً ويمكنه من خلالها التعرف على الفئات المختلفة داخل الصورة.
- يستلزم التصنيف الموجه **معرفة مسبقة** من لدى المستخدم بمنطقة داخل الصورة حتى يتمكن من تحديد عينات التدريب في الصورة.
- عينة التدريب Training Sample هي منطقة معروفة الموقع والشكل بحيث يمكن تحديدها على الخريطة، تحتوي على فئة أراضي متجانسة.
- يتم التحصل على هذه المعرفة المسبقة من خلال إحدى الطرق التالية:
  - الزيارات الميدانية وتحديد مواقع عينات التدريب.
  - إستخدام الخرائط .
  - صورة مصنفة من قبل.

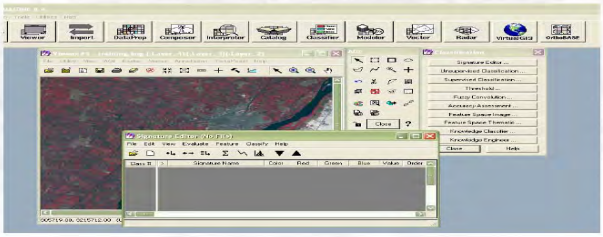
عينات التدريب Training Samples

- يتم تحديد موقع عينات التدريب بصورة دقيقة على الصورة من خلال رسم Area Of Interest (AOI) كيف؟
- يتم فتح الصورة في Viewer مع إختيار تركيب لوني زائف False Color Compositeمناسب.
- من قائمة AOI يختار المستخدم Tools.



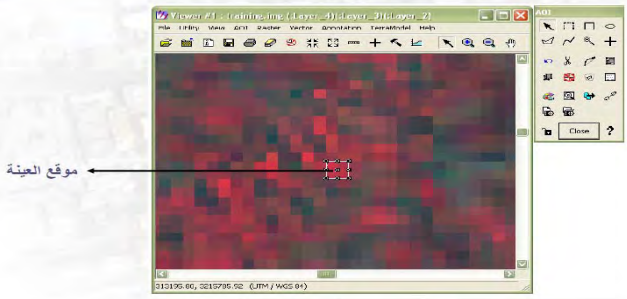
الـ Signature Editor

- الـ Signature Editor هو ذلك الجزء من برنامج Erdas Imagine الذي يقوم المستخدم من خلاله بـ البصمات الطيفية بإستخدام الـ AOI.
- من القائمة الرئيسية لـ Erdas Imagine يختار المستخدم Classifier ومنها Signature Editor.



إنشاء عينة تدريب Training Sample Creation

- بإستخدام في أداة من أدوات الـ AOI يقوم المستخدم بتحديد موقع عينة التدريب فوق الصورة في الـ Viewer.



إنشاء عينة تدريب Training Sample Creation

- بعد تحديد منطقة موقع وشكل الـ AOI على الصورة، يقوم المستخدم بالنقر على الأداة في نافذة الـ Signature Editor ليتم إشتقاق بصمة الفئة من عينة التدريب.

كيف يتم إشتقاق البصمة الطيفية

البصمة الطيفية للفئة = إحصائيات عينة التدريب =

القيمة الصغرى =	2
القيمة الكبرى =	3
المتوسط =	2.96
الإنحراف المعياري =	0.2

دمج البصمات الطيفية لنفس الفئة

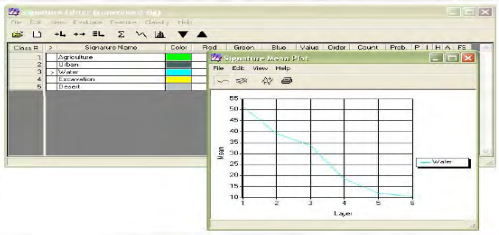
- من الممكن تحديد أكثر من عينة تدريب لفئة واحدة، عندئذ يمكن دمجهم من خلال إختيارهم من نافذة Signature Editor ثم النقر على الأيقونة لتظهر بصمة جديدة عندئذ يمكن للمستخدم إلغاء البصمات القديمة.

تقييم جودة عينات التدريب

- تستخدم أربعة طرق لتقييم جودة عينات التدريب وهي:
  - منحنى المتوسطات Mean Plot.
  - المدرج التكراري Histogram.
  - المنبه Alarm.
  - مصفوفة الإتساق Contingency Matrix.
  - تحليل الإنفصال Separability Analysis.
- تعتبر الطرق الثلاثة الأولى أدوات تعتمد على خبرة المستخدم، لذلك فهي تتسم بشئ من اللا موضوعية.
- الطريقتين الأخيرتين تعتمدان على مقياس رقمي موضوعي.

تقييم جودة عينات التدريب بإستخدام منحنى المتوسطات

- منحنى المتوسطات هو رسم بياني يبين متوسط قيم البكسلات المكونة للفئة في كل نطاقات الصورة.
- يمكن الحصول على منحنى المتوسطات من خلال الـ Signature Editor حيث يقوم المستخدم بتحديد الفئات المطلوب رسم منحنى متوسطاتها ثم من قائمة View يختار المستخدم Mean Plot لتظهر نافذه تعرض منحنى المتوسطات.
- تعتبر البصمات جيدة إذا كانت تظهر سلوك إحصائي مختلف بالنسبة لبعضها البعض.

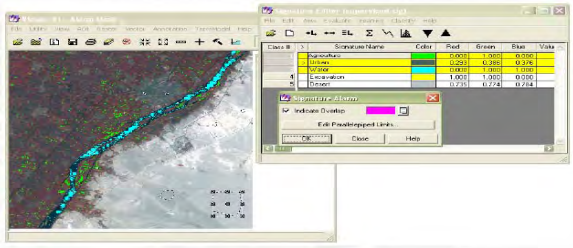


تقييم جودة عينات التدريب بإستخدام المدرج التكراري

- المدرج التكراري هو شكل بياني يبين التوزيع التكراري لقيم البكسلات في عينة التدريب في نطاق محدد.
- يمكن الحصول على المدرج التكراري للفئة من خلال تحديد الفئة في الـ Signature Editor ثم إختيار Histogram من قائمة View.
- تعتبر البصمة غير ملائمة إذا كان هناك ثمة تداخل كبير بينها وبين بصمة أخرى.

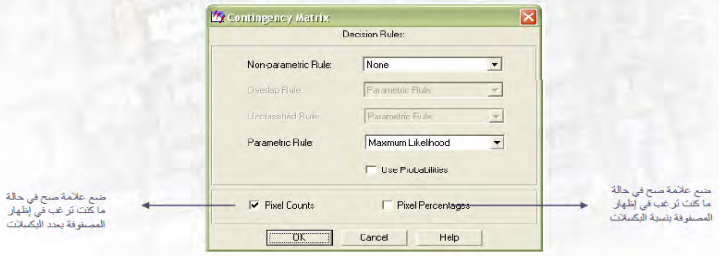
تقييم جودة عينات التدريب بإستخدام المنبه

- المنبه هو أداة تظهر جميع البكسلات المطابقة للبصمة الطيفية تمتم التطابق في جميع الصورة.
- من قائمة View يختار المستخدم Image Alarm تظهر نافذة لتحديد اللون المستخدم لتبيين المناطق المتداخلة بين فئات متعددة Indicate Overlap، بعد تحديد اللون يمكن للمستخدم النقر على ok لبدأ إظهار الفئات على الصورة.



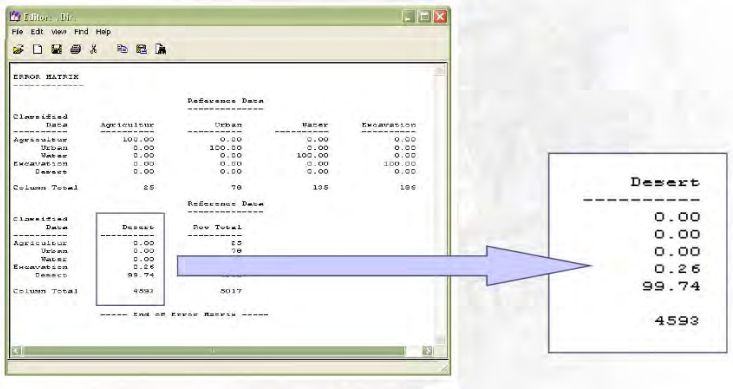
تقييم جودة عينات التدريب بإستخدام مصفوفة الإتساق

- من المنطقي في حالة بصمات متميزة وسليمة، عند تصنيف البكسلات الواقعة في مناطق عينات التدريب أن سيتم تصنيفها للفئات المفترضة، أما إذا تم تصنيفها في فئات أخرى فإن عينات التدريب غير جيدة ويجب عندئذ إعادة جمع عينات التدريب.
- مصفوفة الإتساق هي مصفوفة تبين عدد البكسلات في مناطق عينات التدريب التي تم تصنيفها في الفئة التي تنتمي إليها وتلك التي صنفت في فئات أخرى خاطئة.
- تعتبر عينة التدريب جيدة إذا صنف نحو 95% من عدد البكسلات الواقعة فيها أو أقل من ذلك في فئات أخرى.
- لإنتاج مصفوفة الإتساق من قائمة Evaluate يختار المستخدم Contingency لتظهر النافذة التالية:



تقرير مصفوفة الإتساق

- يتم إنتاج تقرير في التهيئة ASCII Text يحتوي على مصفوفة الإتساق.



تقييم جودة عينات التدريب بإستخدام مقاييس الإنفصال

- مقياس الإنفصال هو قيمة عددية تبين مدى تباعد الفئات عن بعضها البعض.
- مصفوفة مقاييس الإنفصال تبين مقدار تباعد كل فئة عن الأخرى في شكل خلايا المصفوفة، الفئات نفسها تبدو متطابقة.
- لإنجاز تحليل الإنفصال يقوم المستخدم بإختيار Separability من قائمة Evaluate لتظهر نافذة يختار المستخدم منها نوع مقياس الإنفصال من أربعة مقاييس محددة.
- كما يختار ما بين أن يخرج التحليل في صورة تقرير من النوع ASCII أو في صورة نافذة تحتوي على مصفوفة.

تقييم جودة عينات التدريب بإستخدام مقاييس الإنفصال

- في حالة إختيار المقياس Euclidian تعتبر البصمة جيدة في حال كانت قيمة تباعدها عن كل البصمات الأخرى تقترب من 220.
- في حالة إختيار المقياس Divergence تعتبر البصمة جيدة في حال كانت قيمة تباعدها عن كل البصمات الأخرى تقترب من 5000.
- في حالة إختيار المقياس Transformed Divergence تعتبر البصمة جيدة في حال كانت قيمة تباعدها عن كل البصمات الأخرى تقترب من 2000.
- في حالة إختيار المقياس Jefferies - Matusita تعتبر البصمة جيدة في حال كانت قيمة تباعدها عن كل البصمات الأخرى تقترب من 1414.
- أقل المقاييس جودة هو Euclidian وأفضلهم هو الـ Jefferies – Matusita.

٦-٢١ تصحيح الصور Image Rectification

التصحيح الهندسي Rectification والاستعدال الجغرافي Georeferencing

يستخدم في إطار العلوم المكانية مصطلحين لهما مدلولين متشابهين للوهلة الأولى هما:
- التصحيح الهندسي Rectification
- الاستعدال الجغرافي Georeferencing

أوجه التشابه
الخوارزميات الرقمية التي تؤدي إلى التصحيح الهندسي والاستعدال الجغرافية متطابقة
أوجه الاختلاف
تؤدي الخوارزميات الرقمية إلى التصحيح لهندسي للصورة إذا كان الهدف من العملية *تغيير أبعاد خلية الصورة Pixels أو أن الصورة موضوع العمل تحتوى على تشوهات*. أما إذا كانت الصورة *لا تحتوى على تشوهات* فإن هذه الخوارزميات تؤدي إلى نقل مواضع خلايا الصورة من موضع إلى موضع آخر وهو ما يمثل الاستعدال الجغرافي.

خطوات تصحيح الصورة

اختيار بيانات مرجعية مناسبة

صورة قمر صناعي	• مصححة • دقة مناسبة للصورة المطلوب تصحيحها
خريطة	• تاريخ قريب من تاريخ التصوير أو • تحتوي على ظواهر واضحة في الصورة • مقياس رسم مناسب للدقة المساحية للصورة
أجهزة تعيين الموقع العالمي GPS	• هامش خطأ تحديد الموقع • طريقة تحديد النقاط

تحديد نقاط التحكم الأرضية

تعريف
نقاط التحكم الأرضية Ground Control Points: هي نقاط معلومة الإحداثيات يستخدمها محلل الصور في تصحيح الصورة

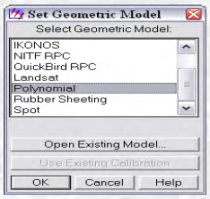
معايير اختيار نقاط التحكم الأرض
1. يجب أن تكون هذه النقاط واضحة في البيانات المرجعية والصورة المطلوب تصحيحها.
2. يجب أن لا تكون هذه النقاط قابلة للتغير بفعل الزمن كأن تكون رؤوس بحرية بل يشترط أن تكون نقاط ثابتة مع الزمن كأن تكون تقاطعات طرق.

ملحوظة: تستخدم المساحة الجيولوجية للولايات المتحدة USGS منذ عام 1999 علامات أرضية معلومة الإحداثيات مثبتة في الأرض ككتل خراسانية تظهر في الصور الفضائية ذات الدقة العالية مثل IKONOS وQBird لتيسير عمليات تصحيح الصور

توقيع نقاط التحكم الأرضي على الصورة

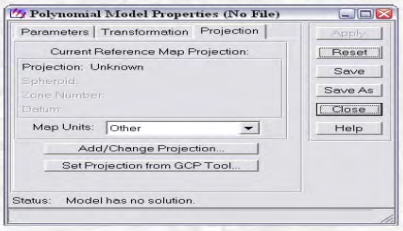
أولاً: حالة نقاط موقعة باستخدام أجهزة تحديد الموقع العالمي

1. افتح الصورة في Viewer
2. من قائمة Raster أختار Geometric Correction تظهر النافذة المبينة



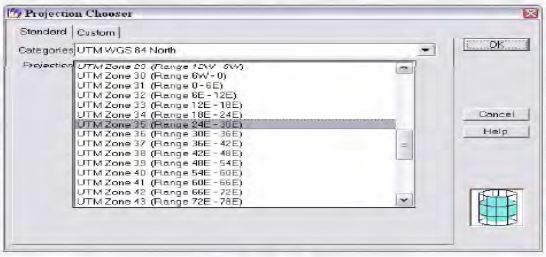
3 - أختار Polynomial ثم OK

4- من النافذة التي سوف تظهر أختار التبويب Projection لتحديد المسقط والنظام الإحداثي الذي سوف تستخدمه.



5- أنقر مفتاح Add/Change Projection.

6 – أختار التبويب Standard وذلك لتعيين أحد المسقط المعيارية المتعارف عليها.

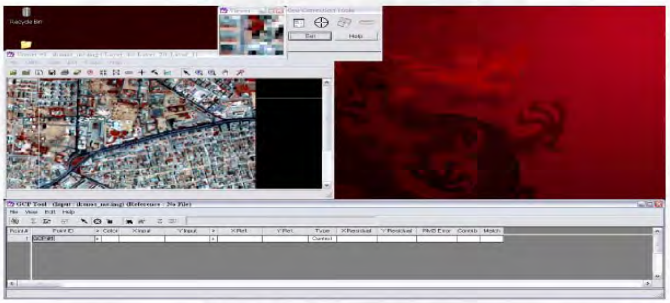


7 – من Categories أختار فئة المسقط المطلوب ثم أختار من Projection أسم المسقط ثم أنقر Ok.

8- يتم إرجاعك إلى النافذة السابقة أنقر فوق Close.
9- من النافذة التي سوف تظهر أختار Keyboard Only ثم أختار OK.

10 – في النافذة التي سوف تظهر أختار OK.

تصبح الشاشة كما في الشكل التالي

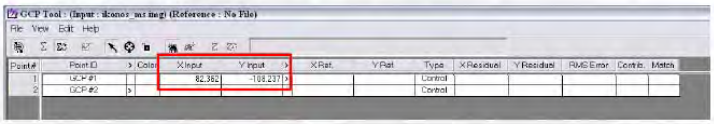


النافذة التي تحتوي الجدول في الأسفل هي التي سوف يتم فيها إدخال النقط.

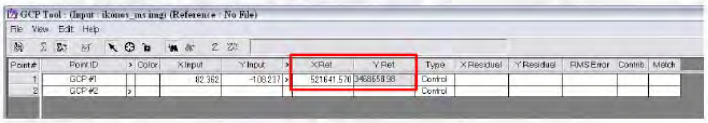
11 – أنقر فوق أداة Create GCP المبينة في نافذة جدول النقط ولها الشكل.

12 – أذهب إلى موضع النقطة فوق الصورة ثم قم بالنقر.
13 – تظهر النقطة فوق الصورة وإلى جانبها رقم النقطة.

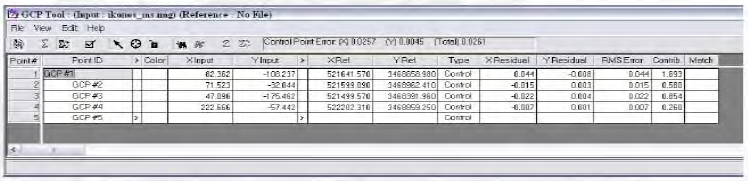
تظهر في الجدول إحداثيات النقطة كما هي في الصورة المطلوب تصحيحها (أي الإحداثيات الخاطئة أو القديمة).



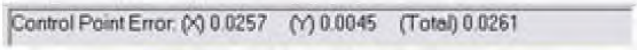
14 – تحت العمود X Ref و العمود Y Ref قم بكتابة إحداثيات النقطة كما تم تسجيلها باستخدام الـ GPS.



15- كرر الخطوات من 11 إلى 14 لكل نقطة من نقاط (بحد أدنى أربعة نقاط نظراً لأن نستخدم Polynomial من الدرجة الأولى. فهو يحتاج إلى ثلاثة نقاط على الأقل حتى يمكنه تنفيذ عملية التصحيح والنقطة الرابعة نحتاجها لتقييم التصحيح كما سنوضح لاحقا).



- بعد إدخال ثلاثة نقط يلاحظ الدارس ان كل نقطة يقوم الدارس بتعيين موضعها فوق الصورة يقوم البرنامج بتحديد الإحداثيات المصححة لها. ولا يجب أن يغتر الدارس بهذه الخاصية بل عليه مواصلة إدخال النقاط كما قام بتعيينها بواسطة الـ GPS
- يلاحظ الدارس أنه بعد إدخال أول ثلاثة نقط تظهر قسم تحت العمود X Residual و Y Residual هذه القيم تمثل مدى التباعد الأفقي والرأسي للإحداثيات التي يتنبأ بها البرنامج عن الإحداثيات التي يلقنها له المستخدم.
- القيمة المبينة تحت العمود RMS Error الخطأ المتوسط في توقيع النقطة.



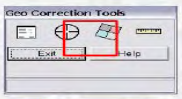
القيم المبينة في المستطيل في الجانب الأعلى من الجدول تمثل:

- متوسط الخطأ الإجمالي Control Point Error (Total)
- الخطأ الأفقي الإجمالي Ground Point Error (X)
- الخطأ الراسي الإجمالي Ground Point Error (Y)

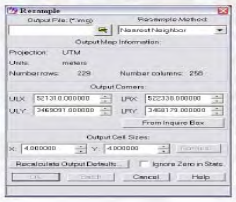
تعتبر عملية التصحيح مقبولة فنياً فقط إذا كان الخطأ الكلي الإجمالي دون الواحد الصحيح

تنفيذ التصحيح

من نافذة Geo Control Tool أختار مفتاح Display Resample Image Dialog



تظهر النافذة المبينة في الشكل التالي



تصحيح صورة بصورة Image to Image Rectification

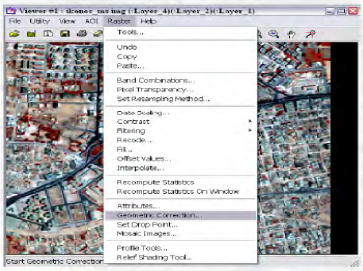
- تصحيح صورة بصورة هو عملية الهدف منها تعديل المسقط والنظام الإحداثي لصورة – يطلق عليها الصورة الموضوع Subject Image ليتوافق مع صورة أخرى – يطلق عليها الصورة الهدف Object Image.
- تعتمد الدقة الموضعية Location Accuracy للصورة الموضوع بعد تصحيحها على الدقة الموضعية للصورة الهدف.
- يستخدم هذا النوع من التصحيح عادة عند دراسة رصد التغير Change Detection بين مجموعة من الصور حيث تعتبر أقدم هذه الصور هي الصورة الهدف لجميع الصور الأخرى.

تصحيح صورة بصورة Image to Image Rectification

الخطوة الأولى قم بفتح الصورة الموضوع في Viewer والصورة الهدف في Viewer آخر مستقل.

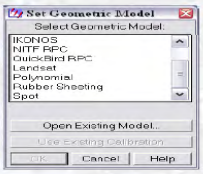
تصحيح صورة بصورة Image to Image Rectification

الخطوة الثانية من قائمة Raster في نافذة الـ Viewer التي تحتوي الصورة الموضوع نختار Geometric Correction.



تصحيح صورة بصورة Image to Image Rectification

الخطوة الثالثة تظهر نافذة Set Geometric Model أختار منها Polynomial ثم أنقر OK.



تصحيح صورة بصورة Image to Image Rectification

الخطوة الرابعة تظهر نافذة Polynomial Model Properties أختار التبويب Projection ثم أنقر المفتاح Set Projection from GCP Tool.

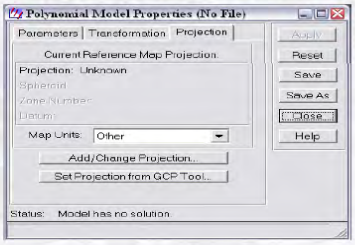


Image to Image Rectification تصحيح صورة بصورة

الخطوة الخامسة

تظهر نافذة GCP Tool Reference Setup تأكد من الاختيار هو Existing Viewer ثم أنقر OK.

Image to Image Rectification تصحيح صورة بصورة

الخطوة السادسة

تظهر نافذة Viewer Selection Instruction وهي تطلب من المستخدم أن ينقر داخل الـ Viewer الذي يحتوي على الصورة الهدف. أنقر داخل هذا الـ Viewer.

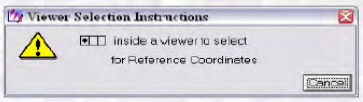


Image to Image Rectification تصحيح صورة بصورة

الخطوة السابعة

تظهر نافذة Reference Map Information لتعرض المسقط والشبكة الإحداثية المستخدمة مع الصورة الهدف، وهي بيانات غير قابلة للتبديل، أنقر المفتاح OK.

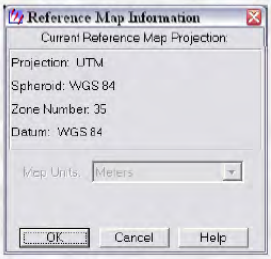
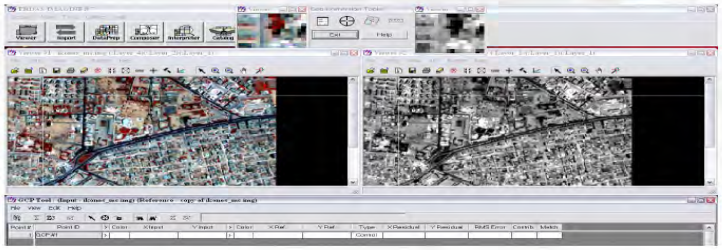


Image to Image Rectification تصحيح صورة بصورة

الخطوة الثامنة

بالنقر على المفتاح OK تصبح هيئة ERDAS كما هي مبينة في الشكل التالي. أنقر على سهم المؤشر في نافذة GCP Tool ثم اذهب إلى الصورة الموضوع وحرك مربع المؤشر ليصبح فوق نقطة واضحة في الصورتين وكذا أفعل مع الصورة الهدف.



تصحيح صورة بصورة Image to Image Rectification

الخطوة التاسعة

أنقر فوق أداة Create GCP في نافذة GCP Tool ثم اذهب إلى النقطة التي حددتها كنقطة تحكم أرضية في نافذة الصورة الموضوع ثم انقر فوق هذه النقطة لتظهر علامة نقطة التحكم الأرضية.

الخطوة العاشرة

أنقر فوق أداة Create GCP في نافذة GCP Tool ثم اذهب إلى النقطة المقابلة في نافذة الصورة الهدف ثم انقر فوق هذه النقطة لتظهر علامة نقطة التحكم الأرضية.

الخطوة الحادية عشرة

أنقر على سهم المؤشر في نافذة GCP Tool ثم اذهب إلى الصورة الموضوع وحرك مربع المؤشر ليصبح فوق نقطة واضحة في الصورتين وكذا أفعل مع الصورة الهدف.

الخطوة الثانية عشرة

كرر الخطوات التاسعة والعاشرة للنقطة الجديدة.

تصحيح صورة بصورة Image to Image Rectification

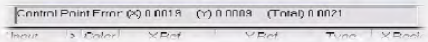
الخطوة الثالثة عشرة

قم بوضع ثلاثة أربعة نقاط على الأقل فوق الصورتين مستخدماً الخطوات السابقة.

لماذا أربعة نقاط على الأقل؟

الخطوة الرابعة عشرة

تيقن من قيمة إجمالي الخطأ في الهامش المقبول.

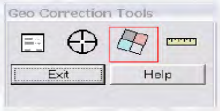


ما هي القيمة التي تعتبر هامش مقبول للخطأ عند التصحيح؟

تصحيح صورة بصورة Image to Image Rectification

الخطوة الخامسة عشرة

في نافذة geo Correction Tools أنقر فوق مفتاح Display Resample Image Dialog.



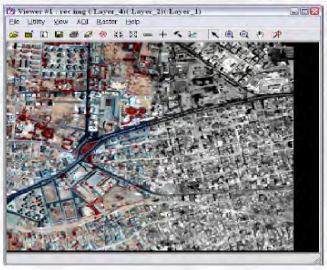
تصحيح صورة بصورة Image to Image Rectification

الخطوة السادسة عشرة

في نافذة Resample قم بتخصيص أسم الصورة الناتجة (أي الصورة المصححة) في خانة Output File ثم أنقر OK.

تصحيح صورة بصورة Image to Image Rectification

يمكنك الآن التأكد من أن الصورتين (الهدف والمصححة) قد أصبحتا متماثلتي المسقط والإحداثيات وذلك بفتحهما فوق بعض في Viewer واحد واستخدام الخاصية Swipe.



٧-٢١ التحسين الطيفي للصور Spectral Enhancement

تعريف التصحيح الطيفي

التصحيح الطيفي Spectral Enhancement أو التحويلات الطيفية Spectral Transforms هي عمليات تتعامل مع القيم الرقمية لنفس البكسل في نطاقات مختلفة بحيث تقوم بتحويلها إلى قيم جديدة بهدف إيضاح أو إظهار الخصائص الطيفية للنطاقات موضوع البحث.

أهم أنواع التصحيح الطيفي

- تحليل المركبات الأساسية Principal Component Analysis PCA
- الأدلة النباتية Vegetation Index

وهما ما سوف يمثلا موضوع هذه المحاضرة، لكن يجب التنبيه على أن هناك أنواع أخرى من التصحيح الطيفي لم تذكر هنا يمكن الرجوع إلى المراجع لمعرفتها.

تحليل المركبات الأساسية

تحليل المركبات الأساسية Principal Components Analysis PCA هو عبارة عن تحويل رياضي للبيانات المختزنة في نطاقين أو أكثر من فضاء الظواهر الأصلي إلى فضاء ظواهر جديد بحيث يتحقق يتم تقليل الارتباط بين البيانات وتقليل تكرار البيانات.

فضاء الظواهر Feature Space هي طريقة تمثيل إحصائي رسومي لتكرار البيانات في نطاقين أو أكبر الغرض من أستخدمها التقييم البصري للارتباط بين البيانات.

يشار إلى فضاء الظواهر أحياناً بالاسم الشكل المبعثر Scatter Plot أو Scatter gram.

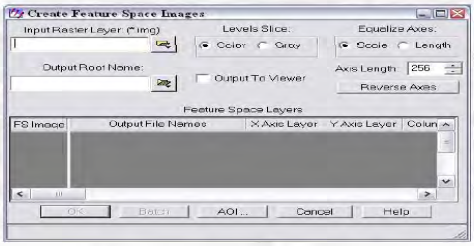
فضاء الظواهر

لإنشاء فضاء الظواهر تتبع الإجراءات التالية:

1. أختار قائمة Classification.

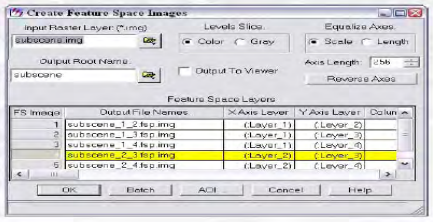
فضاء الظواهر

2 – من قائمة **Classification** أختار **Feature Space Image** تظهر النافذة التالية:



فضاء الظواهر

3 – حدد أسم الصورة المطلوب عمل فضاء ظواهر لكل (أو بعض) نطاقاتها في الخانة **Input Raster Layer** ثم حدد الاسم الذي سوف يكون الاسم الأساسي للصورة (أو الصور) التي تمثل فضاء الظواهر في الخانة **Output Root name.**



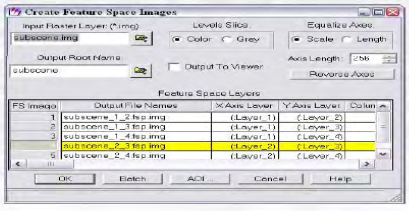
فضاء الظواهر

4 – قم بالنقر على أحد التراكيب المبنية في الجدول المعنون **Feature Space Layers** (في حالة ما لم تختار أي تركيب، يقوم البرنامج بحساب جميع التراكيب)

فضاء الظواهر

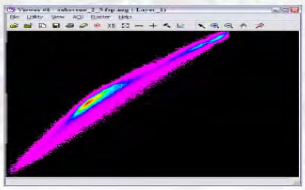
5 – إذا نقرت فوق المربع **Output to Viewer** فإن فضاء الظواهر للتركيب الذي اخترته سوف يتم إخراجه على الملف الذي حددت أسمه ويظهر في **Viewer** جديد، أما إذا تركته فسوف يخرج إلى الملف فحسب)

6- أنقر المفتاح **OK**.



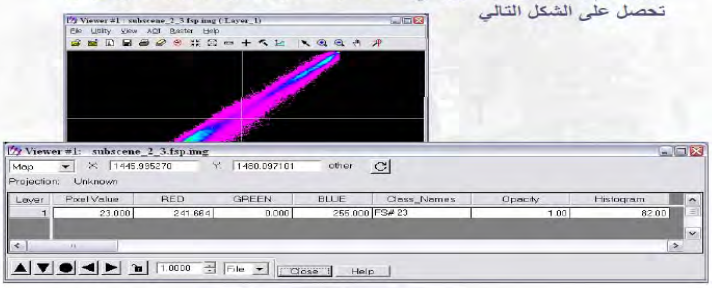
عرض وتفسير فضاء الظواهر

يتم عرض فضاء الظواهر في الـ Viewer كأي صورة
الشكل التالي فضاء الظواهر بين النطاقين الثاني والثالث في صورة من النوع Ikonos MS
المحور الأفقي (الحافة التحتية للصورة) يمثل النطاق الثاني والمحور الرأسي (الحافة اليسرى للصورة) يمثل النطاق الثالث.



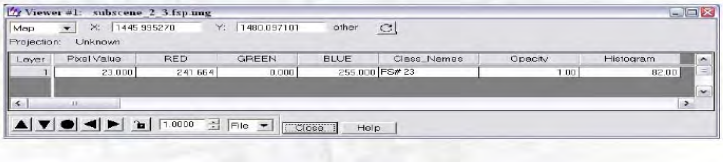
عرض وتفسير فضاء الظواهر

يمثل فضاء الظواهر علاقة الارتباط Correlation بين النطاقين موضوع الدراسة.
من قائمة Utility اختار Inquire Cursor ليظهر المؤشر على شكل علامة + كبيرة، قم بسحبة ورمية فوق أي نقطة من السحابة الملونة، من المفترض أن تحصل على الشكل التالي



عرض وتفسير فضاء الظواهر

حتى نتفهم معنى فضاء الظواهر، أنظر إلى نافذة الجدول، إن قيمة الـ Pixel Value 23 تتكرر في نفس البكسل بين النطاقين (أب أن قيمة البكسل في النطاق الثاني 23 والبكسل المناظر له في نفس مكانه في النطاق الثالث له نفس القيمة 23) تتكرر 82 مرة (القيمة المبينة في الحقل Histogram).



الأشكال المحتملة لفضاء الظواهر

الشكل الأول: خطي مثالي
المعنى: ارتباط تام، النطاقين متماثلين تماما، ويمكن الاستغناء عن أي منهما في عمليات التحليل بسبب تكرارهما.

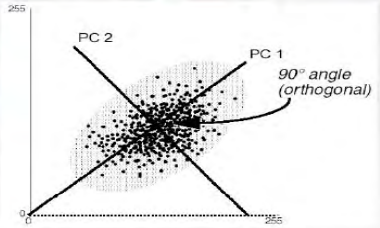
الشكل الثاني: خطي سحابي
المعنى: ارتباط كبير، النطاقين شبه متماثلين، ينصح باستخدام تحليل المركبات الأساسية وأستبدلهما بالمركبة الأساسية الناتجة عن التحليل

الشكل الثالث: سحابي مبعثر
المعنى: ارتباط ضئيل، النطاقين غير متماثلين، يمكن استخدام النطاقين في التحليلات، ولا ينصح بإجراء تحليل المركبات الأساسية

ملحوظة:
قد يحدث ارتباط سلبي فيكون محور الشكل (الخط المستقيم الأسود القطري) مائل 90 درجة على الاتجاه المستخدم في الأشكال السابقة. وتنطبق نفس التوصيفات على الأشكال التي تظهر ارتباط عكسي.

تحليل المركبات الأساسية

- تحليل المركبات الأساسية Principal component Analysis PCA هو تحويل رياضي Mathematical Transformation يهدف إلى تحويل القيم العددية للبكسل pixel's DN من فضاء ظواهر – حيث تظهر هذه القيم ارتباط كبير – إلى فضاء ظواهر آخر ينتفي فيه الارتباط بين النطاقات موضوع الدراسة.



تحليل المركبات الأساسية

- يستخدم تحليل المركبات الأساسية عندما تعاني الصورة من ارتباط كبير بين نطاقاتها، حيث يمكن للدارس أن يتعرف على هذا الارتباط من خلال فضاء الظواهر أو من خلال حساب مصفوفة الارتباط.
- يمكن تمييز ما إذا كانت نطاقات الصورة مرتبطة فيما بينها أم لا بملاحظة ما إذا كانت الصورة باهتة أو لا، حيث عادة ما تظهر الصور ذات الارتباط الكبير بين نطاقاتها باهتة.
- من الناحية التطبيقية يمكن استخدام تحليل المركبات الأساسية في عمليات دراسة رصد التغير Change Detection.

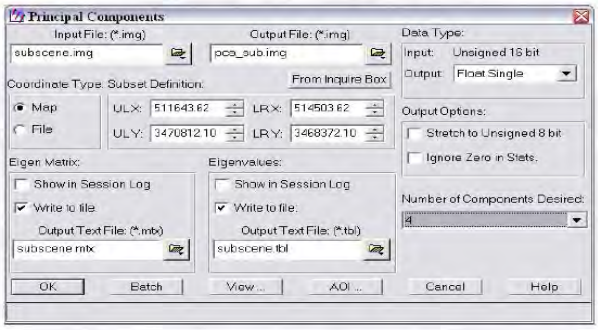
تنفيذ تحليل المركبات الأساسية

1. من القائمة الرئيسية للبرنامج Erdas Imagine أختار Interpreter ومنها أختار Spectral Enhancement لتظهر القائمة المبينة فيما يلي.

2- أنقر من هذه القائمة المفتاح Principal Component.

تنفيذ تحليل المركبات الأساسية

3 – بالنقر على المفتاح المذكور تظهر النافذة التالية:



تنفيذ تحليل المركبات الأساسية

4. في الخانة Input Image أكتب أسم الصورة المطلوب تحليلها.
5. في الخانة Output Image أكتب أسم الصورة التي سوف تنتج.
6. في الخانة Number of Components Desired أختار عدد النطاقات المطلوب أن يتم إنتاج الصورة النهائية فيها (لاحظ أن عدد النطاقات في الصورة النهائية لا يمكن أن يزيد على عدد النطاقات في الصورة المدخلة).
7. في الإطار Eigen Matrix أنقر فوق المربع Write to File ثم خصص ملف ليحتوي على الـ Eigen Matrix.
8. في الإطار Eigenvalues أنقر فوق المربع Write to File ثم خصص ملف ليحتوي على الـ Eigenvalues.
9. أنقر فوق المفتاح OK ليتم تنفيذ التحليل.

عرض صورة المركبات الأساسية

- النطاق الأول من صورة المركبات الأساسية هي الصورة الأوضح، بينما جميع النطاقات الأخرى تحتوي على الضوضاء بين النطاقات بدرجات مختلفة حيث يكون النطاق الأول ضوضاء خالصة.

تفسير الـ Eigen Matrix

- وظيفة الـ Eigen Matrix هي إظهار كيفية تكوين نطاقات صورة تحليل المركبات الرئيسية.

	PCA1	PCA2	PCA3	PCA4
Band 1	0.43081	-0.67804	-0.04339	0.59395
Band 2	0.58339	-0.28885	0.16558	-0.74081
Band 3	0.53477	0.58018	0.52859	0.31306
Band 4	0.43368	0.34671	-0.83144	0.0205

- وظيفة الـ Eigen Matrix هي إظهار كيفية تكوين نطاقات صورة تحليل المركبات الرئيسية من نطاقات الصورة الأصلية.
- المثال التالي يبين بنية المركبة الأساسية الأولى.

$$PCA1=0.43 * DN_{b1} + 0.58 * DN_{b2} + 0.53 * DN_{b3} + 0.43 * DN_{b4}$$

الأدلة الخضرية Vegetation Indices

- الأدلة الخضرية هي أحد طرق التحسين الطيفي.
- الأدلة الخضرية هي تحويل رياضي غير خطي Non Linear Transformation.

التحويل الرياضي يمكن التعبير عنه بالعلاقة:
$y=f(x)$
يكون التحويل الرياضي خطياً إذا كانت هناك دالة f' تحقق العلاقة:
$x=f'(y)$
أما إذا لم توجد مثل هذه الدالة أطلق على هذا التحويل غير خطي.

- تستخدم الأدلة الخضرية للتعرف على المعلومات الخاصة بكثافة وصحة النبات من خلال العلاقة بين البيانات الطيفية المختزنة في النطاقات الطيفية الحمراء والنطاقات الطيفية تحت الحمراء.

أهم أنواع الأدلة الخضري

- الدليل الخضرية Vegetation Index (VI) ويعطى بالعلاقة:

VI=IR-R

- دليل الفروق الخضرية الطبيعي Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ويعطى بالعلاقة:

NDVI=(IR-R)\(IR+R)

- دليل الفروق الخضرية الطبيعي المحول Transformed Normalized Difference Vegetation Index (TNDVI) ويعطى بالعلاقة:

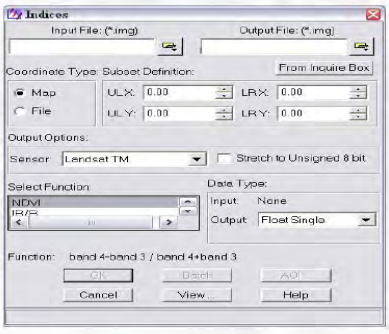
TNDVI=((IR-R)\(IR+R)+0.5)^0.5

حساب أحد الأدلة الخضرية

1 - من قائمة Interpreter أختار Spectral Enhancement لتظهر القائمة التالية:

2 – من هذه القائمة أختار Indices لتظهر النافذة التالية:

حساب أحد الأدلة الخضرية



حساب أحد الأدلة الخضرية

3 - عين أسم الصورة المطلوب حساب الدليل الخضري لها في الخانة Input File.

4 - عين أسم الصورة الناتجة في الخانة Output File.

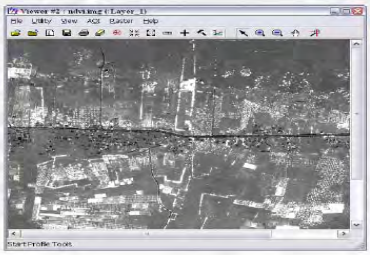
5 – من القائمة Sensor أختار نوع المجس الذي أنتج الصورة (في هذا المثال اخترت Landsat TM).

6 – من قائمة Select Function أختر الدليل المناسب (في هذا المثال اخترت NDVI).

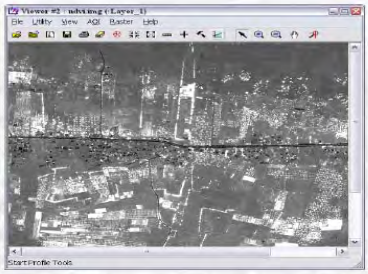
7 – أنقر المفتاح OK.

تفسير صورة الدليل الخضري

صور الأدلة عامة (والأدلة الخضرية خاصة) هي صور مكونة من نطاق واحد، فإنه عند عرضها باستخدام البرنامج ERDAS Imagine تظهر باللون الرمادي كما في الصورة المبينة.

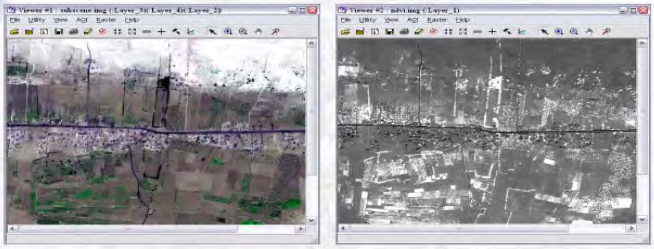


تفسير صورة الدليل الخضري



- في هذا النوع من الصور تظهر المناطق الأكثر اخضرارا (أي المغطاة بمادة تحتوي على كمية كبيرة من اليخضور Chlorophyll) باللون الأبيض، وكلما قل اليخضور أزداد قتامة البكسلات بينما تمثل البكسلات التامة السواد مناطق معدومة الغطاء النباتي.

تفسير صورة الدليل الخضري



- الصورة على اليمين هي صورة NDVI والصورة على اليسار هي الصورة الأصلية، المناطق المغطاة بالمحاصيل تظهر باللون الأبيض في الصورة اليمنى وتظهر باللون الأخضر في الصورة اليسرى

استخدامات الأدلة الخضرية

- التصحر Desertification
- تآكل الغابات Deforestation
- مراقبة المحاصيل Crops Monitoring
- إدارة المحميات الطبيعية Natural Parks Management

الفصل الثاني والعشرون

تدريب عملي لبرنامج GIS

يهدف هذا الفصل لتقديم فكرة عامة (وليست تفصيلية) عن تشغيل برامج نظم المعلومات الجغرافية، من خلال تقديم شرح تعليمي مبسط (ليس لأية أغراض تجارية) للخطوط العريضة لاستخدام أحد هذه البرامج ألا وهو برنامج ESRI Arc GIS.

٢٢-١ برنامج Arc GIS

تتعدد برامج نظم المعلومات الجغرافية GIS Software لتشمل عدد كبير من البرامج التجارية المتاحة في الأسواق. لكن ربما يعد برنامج Arc GIS من إنتاج شركة ESRI هو الأشهر خاصة في المنطقة العربية. كما أنتجت شركة AutoDesk صاحبة برنامج الرسم والتصميم الشهير AutoCAD برنامجها لنظم المعلومات الجغرافية المسمي AutoCAD Map 3D. كما تحتل برامج GeoMedia و Map Info مكانة متقدمة في برامج نظم المعلومات الجغرافية. أيضا في الفترة الأخيرة بدأ ظهور برامج نظم معلومات جغرافية مفتوحة المصدر Open Source وهي برامج غير تجارية يتعاون بعض مصممي البرامج و المتخصصين من عدة تخصصات علمية في تطويرها مع إتاحة برامج التشغيل الأساسية لها Source Codes لكافة المستخدمين بحيث يكون لديهم إمكانية تطوير البرنامج ذاته وإضافة أدوات جديدة له كلا حسب تخصصه و استخداماته. ومن هذه البرامج مفتوحة المصدر برنامج Map Window وبرنامج Quantum وبرنامج GRASS.

يأتي برنامج Arc GIS في ثلاثة مستويات تقنية من حيث الإمكانيات الفنية:

- المستوي الأساسي المعروف باسم Arc View
- المستوي القياسي المعروف باسم Arc Editor
- المستوي الأكثر تقدما والشامل لجميع الإمكانيات الفنية والمعروف باسم Arc Info.

النسخة الحالية من Arc GIS هي الإصدار العاشر، إلا أننا في هذا الفصل سنعتمد في الشرح علي الإصدار أو النسخة ٩.٣ لأنها الأكثر انتشارا حتى الآن. عند تثبيت البرنامج لأول مرة علي الكمبيوتر setup يجب أن يتم اختيار المستوي المتقدم Arc Info حتى يستطيع المستخدم التعامل مع كافة إمكانيات البرنامج.

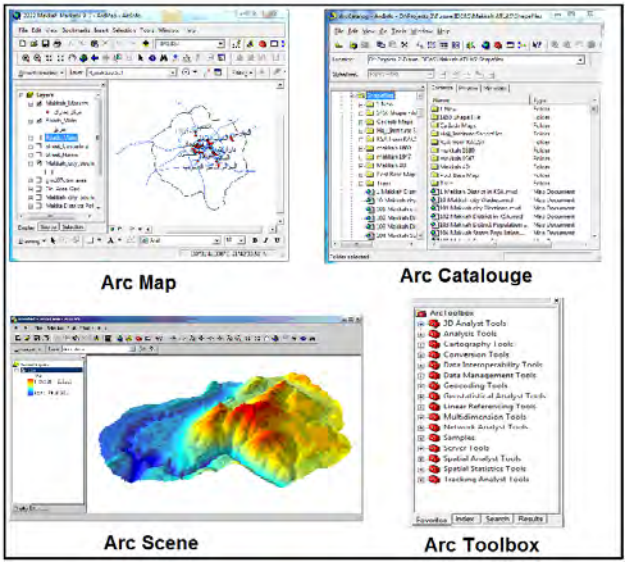
يتكون Arc GIS من عدد من البرامج تشمل:

١. برنامج Arc Map لتحرير البيانات والتحليل ورسم الخرائط.
٢. برنامج Arc Catalogue لإدارة الملفات من نسخ و حذف و إنشاء ... الخ وأيضا في البرمجة و النمذجة Modeling.
٣. برنامج Arc Toolbox الذي يضم أدوات تحليل و معالجة البيانات وعمل التحليلات الإحصائية و المكانية وأدوات تخصصية في كافة التخصصات مثل إسقاط الخرائط و نظم الإحداثيات و الهيدرولوجي و معالجة المرئيات.

٤. برنامج Arc Object للبرمجة programming وإعداد أدوات جديدة داخل Arc GIS باستخدام لغة Visual Basic Application (VBA).
٥. برنامج Arc Globe لعرض البيانات العالمية ثلاثية الأبعاد (الضخمة) علي المستوي العالمي.
٦. برنامج Arc Scene للعرض التفاعلي المتحرك للبيانات مثل الطيران التخيلي فوق منطقة معلوم لها أبعادها الثلاثية 3D Animation.

المكونات الثلاثة الأولي هي مكونات البرنامج الأساسية والتي سنستخدمها (فقط) في هذا الكتاب لإعداد الخرائط الرقمية.

كما توجد برامج أخري من شركة ESRI مثل:
١. برنامج Arc Reader وهو برنامج مجاني لعرض ملفات نظم المعلومات الجغرافية التي تم تطويرها ببرنامج Arc GIS.
٢. برنامج Arc IMS (تغير أسمه إلي ArcGIS Server) لتبادل ومشاركة بيانات نظم المعلومات الجغرافية علي الانترنت بين عدد من المستخدمين.
٣. برنامج Arc Publisher لعرض البيانات علي الانترنت حتى لمن ليس لديهم البرنامج الأصلي Arc GIS.
٤. برنامج Arc PAD للأجهزة المحمولة سواء الجوالات (الموبايل) أو أجهزة ipad.



شكل (٢٢-١) مكونات برنامج نظم المعلومات الجغرافية Arc GIS

في هذا الفصل سنعتمد علي أسلوب **"التعلم أثناء الممارسة" Learn by Practice** بمعني أننا سنبدأ في أمثلة عملية ننفذها خطوة بخطوة، وأثناء تنفيذ كل تمرين سيتعلم القارئ وظائف أيقونات البرنامج وأوامره المختلفة بحيث يمكنه بعد ذلك إعداد أي خريطة رقمية لأي منطقة بنفس الأسلوب.

يمكن لقارئ الكتاب أن يقوم بتنفيذ هذه التمارين بنفسه بعد أن يقوم بحفظ الخرائط المستخدمة في كل تمرين (من ملف pdf للكتاب الحالي) سواء:

(١) باستخدام أي برنامج من برامج اقتطاع الصور من شاشة الكمبيوتر (مثل برنامج screen hunter المجاني علي الانترنت) أو

(٢) باستخدام مفتاح prt sc في لوحة مفاتيح الكمبيوتر والذي يحفظ صورة من كل المعروض علي شاشة الكمبيوتر، ثم يمكن فتح برنامج "الرسام أو Paint" (أحد البرامج المساعدة من برامج نظام الويندوز نفسه) ولصق هذه الصورة ثم حفظها في ملف صور من أي امتداد مثل Gif, or Tiff, or Jpg.

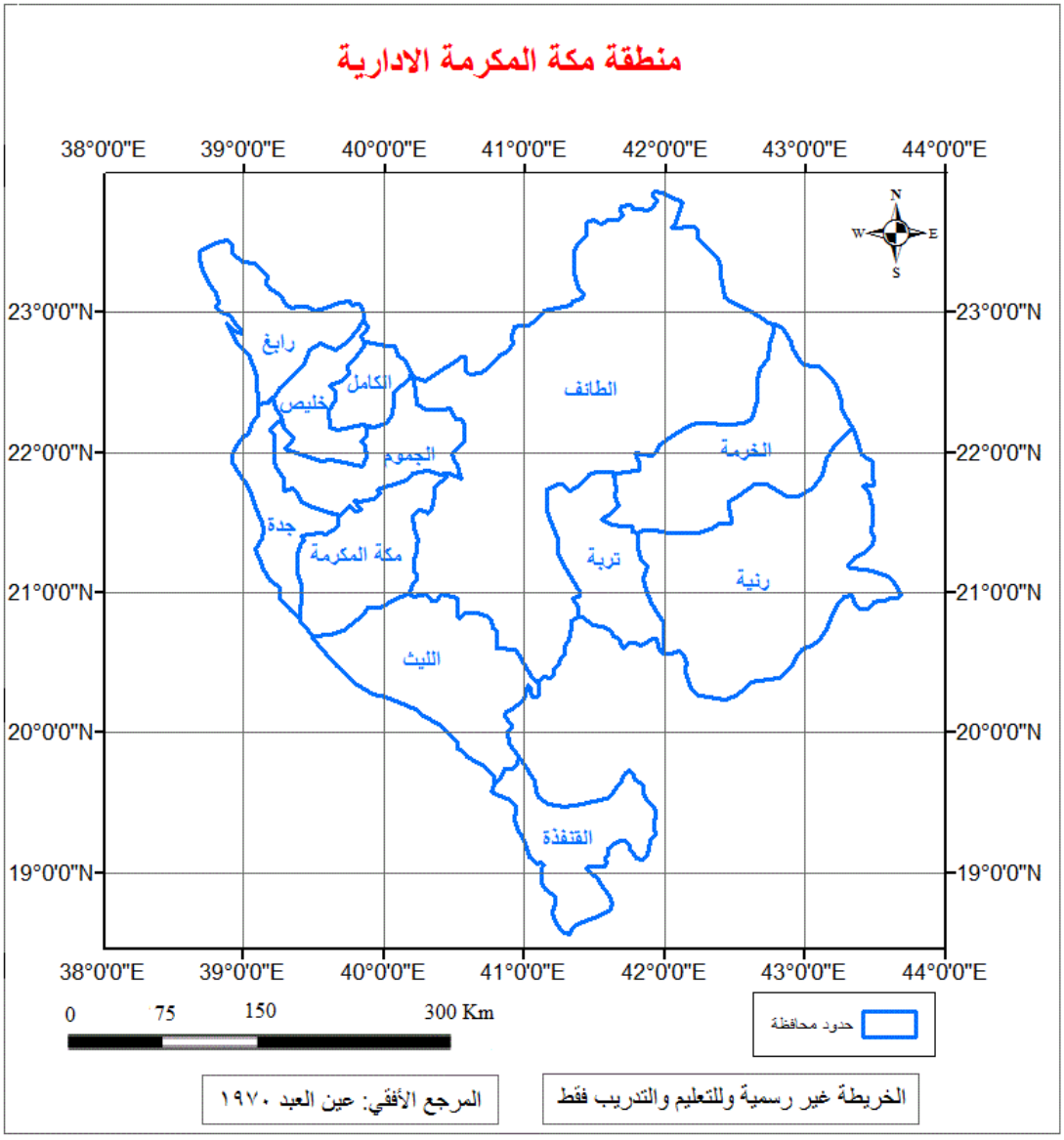
من أهم النقاط **الخطيرة** التي يجب علي المستخدم أن يعرفها عن برنامج Arc GIS أنه لا يدعم اللغة العربية بنسبة ١٠٠%، لذلك **هناك ٤ مواضع من الأفضل فيها عدم استخدام الأحرف العربية** علي الإطلاق (وإلا من الممكن أن يتعرض الملف لعدم إمكانية فتحه مرة أخري حتى لو بعد أسابيع أو شهور وبذلك نفقد كل ما به من معلومات !) وهي:

١. أسم المشروع
٢. أسم الطبقة
٣. أسم العمود في قاعدة البيانات
٤. أيضا من المستحسن: أسم المجلد الذي بداخله الملفات.

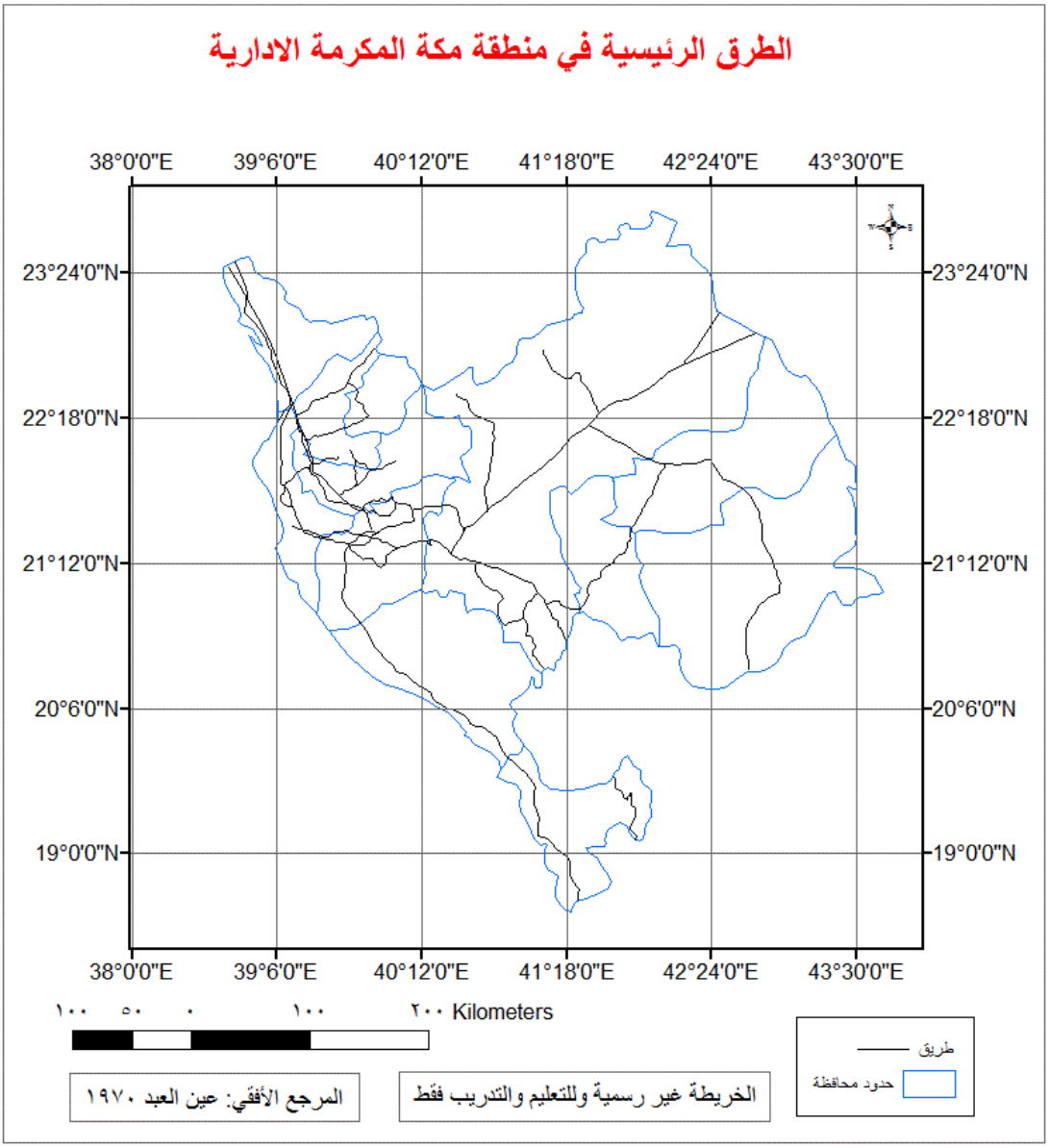
أما بخلاف هذه المواضع الأربعة فيمكن استخدام الأحرف العربية بأمان داخل برنامج Arc GIS فيمكننا – علي سبيل المثال - كتابة عنوان الخريطة بالأحرف العربية وكذلك أسماء المعالم الجغرافية بالخريطة ... الخ.

سنبدأ التمارين العملية باستخدام ثلاثة صور لخرائط و التي سنفترض أنها صور ممسوحة scanned لخرائط حقيقية من الخرائط الورقية المطبوعة. **الهدف** هو تحويل هذه الخرائط الورقية إلي خرائط رقمية، وسيتم ذلك من خلال عدد من الخطوات تشمل:

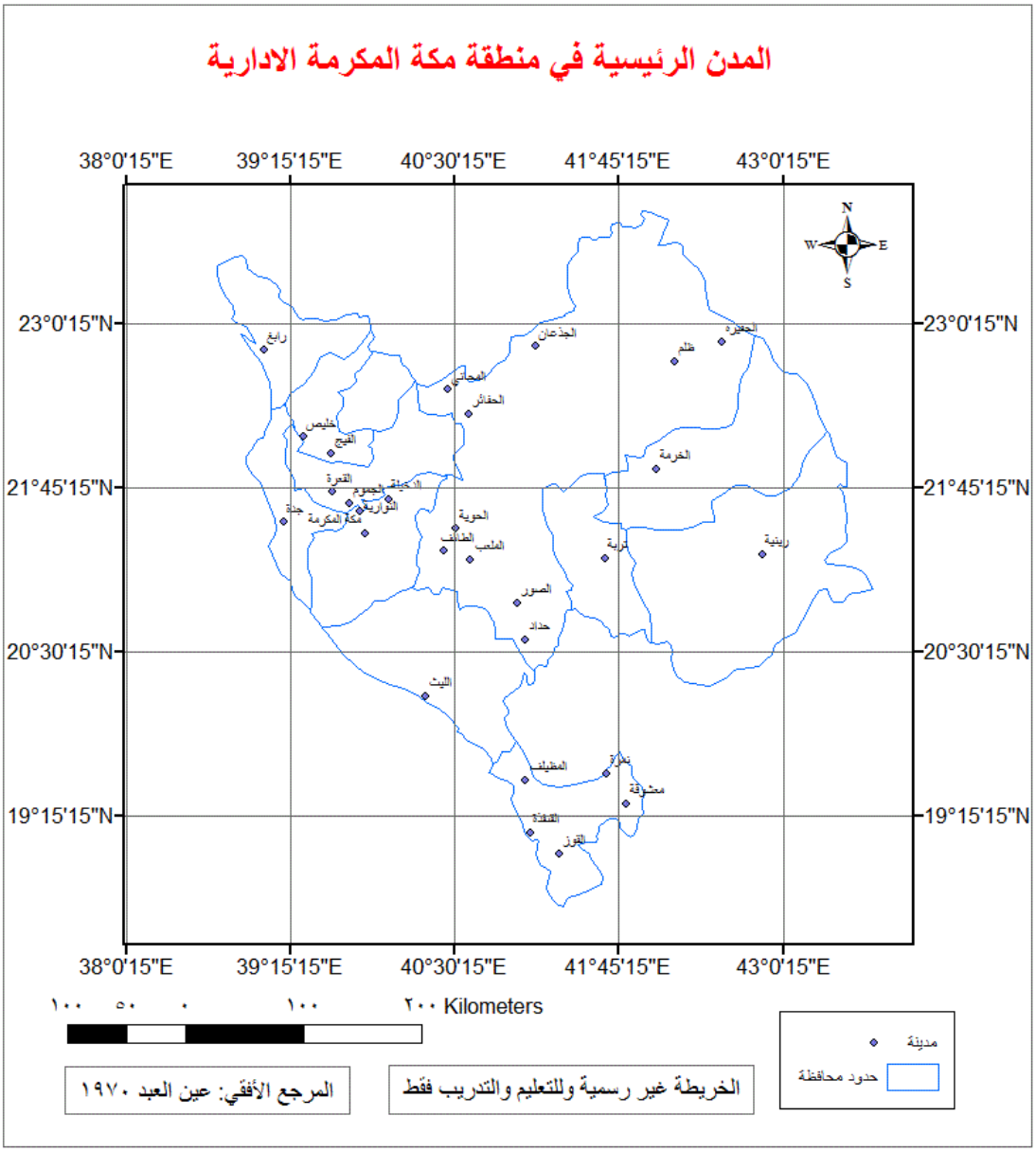
١. الإرجاع الجغرافي
٢. إنشاء الطبقات الرقمية
٣. الترقيم
٤. إنشاء قاعدة البيانات غير المكانية
٥. الإخراج النهائي للخريطة الرقمية



شكل (٢٢-٢) الخريطة التعليمية رقم ١



شكل (٢٢-٣) الخريطة التعليمية رقم ٢

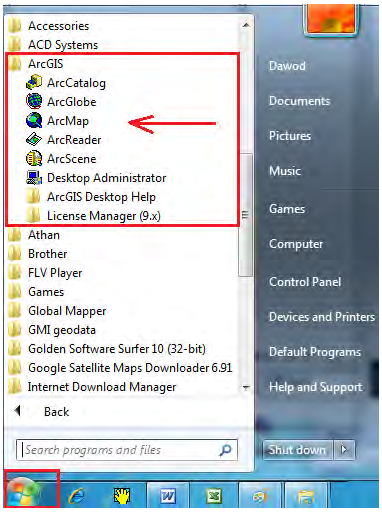


شكل (٢٢-٤) الخريطة التعليمية رقم ٣

٢٢-٢ الإرجاع الجغرافي

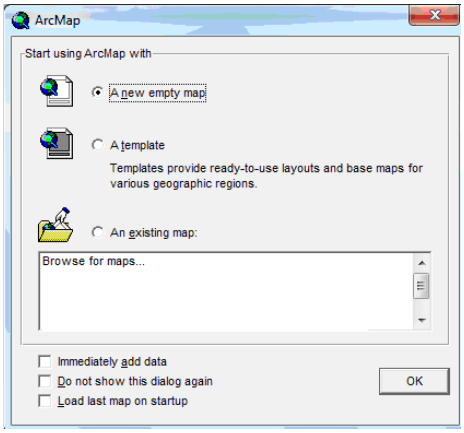
٢٢-٢-١ برنامج Arc Map

نبدأ تشغيل برنامج Arc Map من مجموعة Arc GIS في قائمة البرامج المثبتة علي الكمبيوتر:

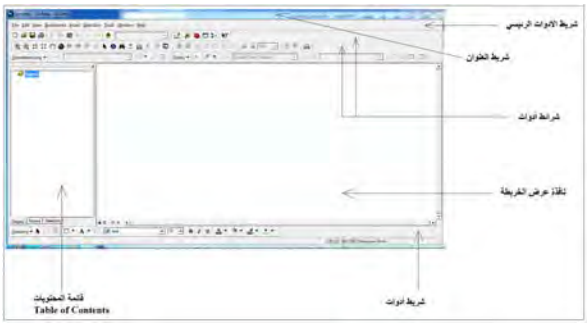


أول شاشات البرنامج بها ٣ اختيارات:

A new empty map: فتح خريطة (ملف) جديد.
A template: فتح نموذج ملفات محدد.
An existing map: فتح خريطة (ملف) موجود فعلا، أي خريطة أو ملف قديم.



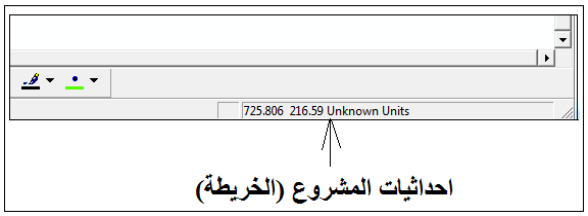
حيث أننا نبدأ أولي الخطوات (وليس لدينا ملفات قديمة) فسنأخذ أول اختيار A new empty map ثم نضغط OK.



تتكون شاشة Arc Map من:

- مجموعة من شرائط الأدوات ستختلف شكلها من مستخدم لآخر (لأن البرنامج به مجموعة كبيرة من الشرائط ولا يمكن فتحها جميعا معا، لذلك يقوم كل مستخدم بفتح شرائك الأدوات التي يحتاجها في هذه اللحظة أو هذه الخريطة)، بما فيها شريط العنوان بأعلى الشاشة.
- رأسيا تنقسم الشاشة (الجزء الأبيض) إلي جزأين:
  - قائمة المحتويات علي يسار الشاشة: بها يتم عرض أسماء و خصائص الطبقات أو الصور التي يتكون منها المشروع الحالي.
  - نافذة عرض الخريطة علي يمين الشاشة: بها يتم عرض المحتوي الجغرافي (المعالم المكانية) لكل ملف من الملفات الموجودة في قائمة المحتويات.

في شريط الأدوات الأخير بأسفل الشاشة توجد إحداثيات المشروع أو إحداثيات الخريطة الحالية، وبالطبع فهي الآن إحداثيات وهمية يبدأ بها البرنامج طالما أننا لم نحدد بعد الإحداثيات الحقيقية. نلاحظ أيضا أن البرنامج يكتب بجوار الإحداثيات كلمة Unknown Units أي أن وحدات الإحداثيات غير معلومة. إذا تحركنا بالماوس داخل نافذة عرض الخريطة سنجد أن قيم الإحداثيات (في شريط الأدوات) تتغير باستمرار، حيث أن البرنامج يعرض في هذا الشريط إحداثيات موقع الماوس علي الخريطة.



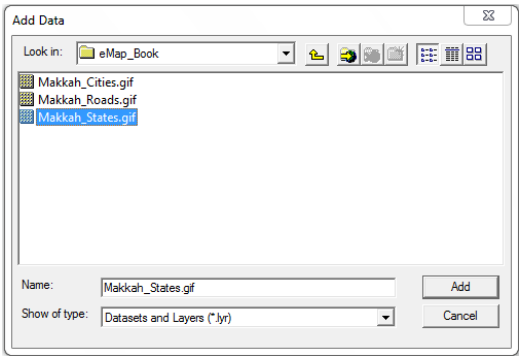
٢٢-٢-٢ إضافة بيانات إلي مشروع Arc Map

في أول خطوة سنضيف صورة الخريطة (الممسوحة ضوئيا) إلي المشروع الحالي من خلال أيقونة Add Data والتي تستخدم لإضافة البيانات (صور أو طبقات أو ملفات) إلي المشروع (من

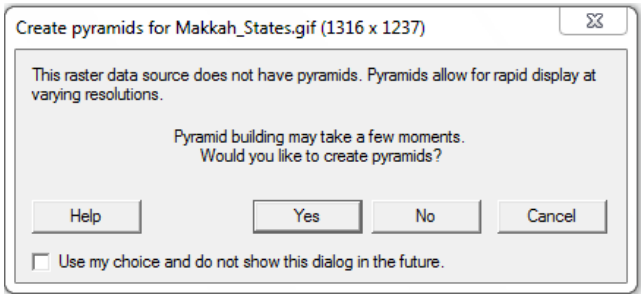
أهم خصائص برنامج Arc GIS أنه يعطي أسم الأيقونة بمجرد الوقوف عليها بالماوس مما يسهل للمستخدم المبتدئ للبرنامج معرفة وظيفة كل أيقونة (

):

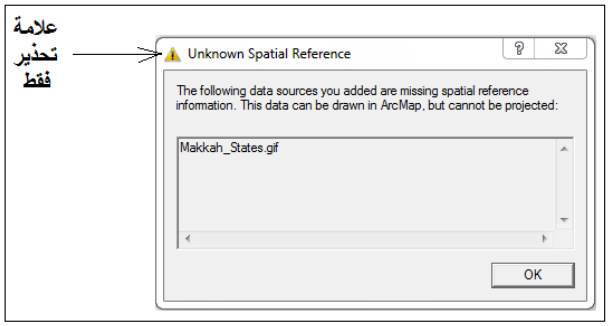
نذهب للمجلد الموجود به ملف الصورة المطلوبة (بنفس خطوات التجول داخل ملفات الويندوز) ونختار الصورة ثم نضغط Add :



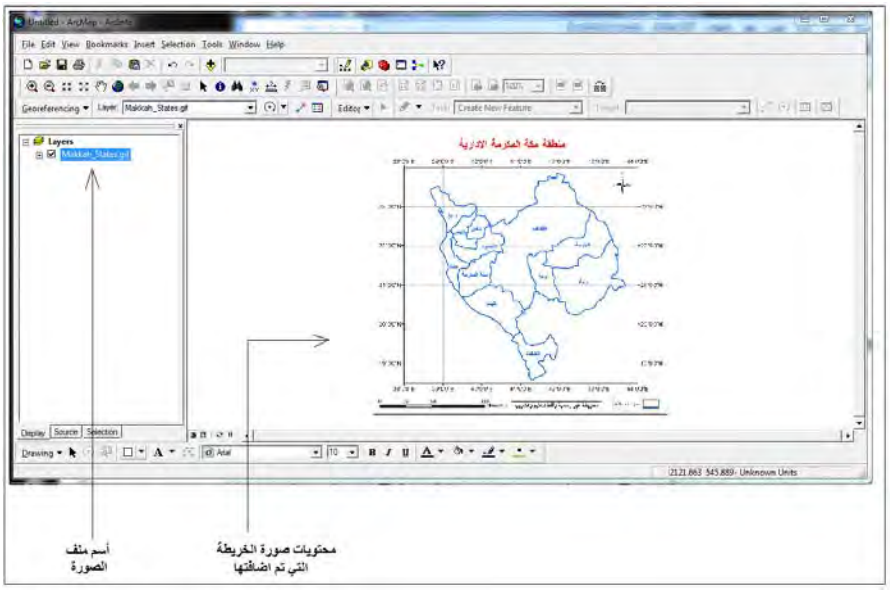
يسأل البرنامج إن كنا نريد تقسيم هذه الصورة إلي ٣ مستويات من الألوان (سيسأل البرنامج هذا السؤال لجميع أنواع الصور) - ودون الدخول في التفاصيل - نختار Yes:



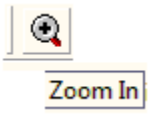
ستظهر نافذة تحذيرية (وليست نافذة خطأ) تقول أن الصورة المطلوب استدعائها ليس لها نظام إحداثيات محدد ! مؤقتا سنوافق علي ذلك و نختار OK:



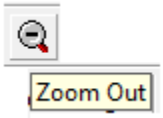
الآن سيظهر المحتوي الجغرافي (معالم) صورة الخريطة في نافذة العرض (يمين الشاشة) بينما سيظهر أسم ملف صورة الخريطة نفسها في نافذة قائمة المحتويات علي يسار الشاشة:



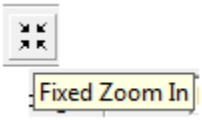
الآن نريد أن نستكشف تفاصيل هذه الصورة (فهي مجرد صورة خريطة وليست خريطة في حد ذاتها)، فنستخدم الأيقونات التالية - علي القارئ استخدام هذه الأيقونات بنفسه و التدريب عليها:



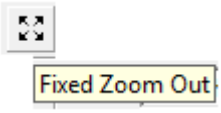
تكبير جزء (مستطيل) محدد من الخريطة نحدده بالماوس



تصغير جزء (مستطيل) محدد من الخريطة نحدده بالماوس

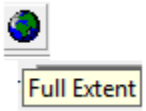


تكبير الخريطة بنسبة محددة (دون تدخل المستخدم لتحديد جزء معين)

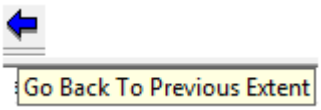


تصغير الخريطة بنسبة محددة

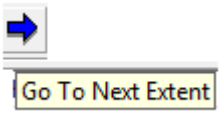
تحريك الخريطة في اتجاه معين (بالماوس)



عرض كامل الخريطة بكل معالمها

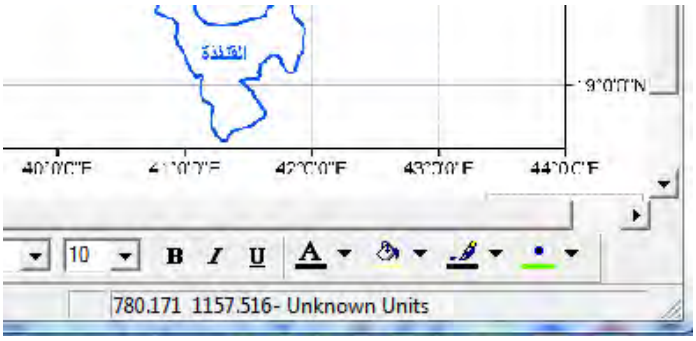


الرجوع للشاشة السابقة



التقدم للشاشة التالية

نلاحظ أن الإحداثيات الظاهرة في شريط الأدوات بأسفل الشاشة مازالت إحداثيات وهمية (أرقام غير منطقية) ومكتوب بجوارها Unknown Units أي وحدات مجهولة:



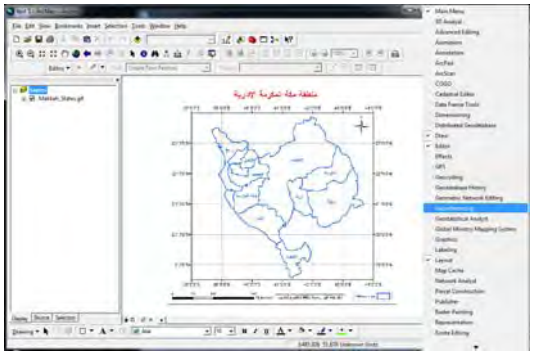
٢٢-٢-٣ خطوات الإرجاع الجغرافي لصورة

يدل ذلك علي أن البرنامج يتعامل الآن مع هذه الصورة دون أن يعرف المنطقة الجغرافية التي تمثلها (هذه الإحداثيات هي إحداثيات جهاز الماسح الضوئي scanner عند مسح الخريطة الأصلية ضوئيا). بناءا علي ذلك فأن أولي الخطوات المطلوبة الآن هي: تعريف برنامج Arc Map بحدود المنطقة الجغرافية للصورة بإحداثياتها الجغرافية الحقيقية، وهذه العملية هي ما يطلق عليها اسم "**الإرجاع الجغرافي Georeferencing**".

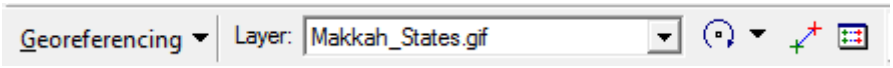
تتم عملية الإرجاع الجغرافي للصورة من خلال تحديد عدد ٤ نقاط (علي الأقل) علي الصورة وإدخال قيم الإحداثيات الجغرافية الحقيقية لهذه النقاط:

- الحد الأدنى لعدد نقاط الإرجاع الجغرافي يساوي ٤.
- من الأفضل أن يزيد عدد نقاط الإرجاع عن ٤ وكلما زاد هذا العدد كلما كانت عملية الإرجاع أدق و أفضل.
- يجب أن تكون نقاط الإرجاع الجغرافي موزعة توزيعا جيدا علي أنحاء الصورة، والأفضل – في حالة الاكتفاء بأربعة نقاط فقط - أن تكون هذه النقاط في الأركان الأربعة للصورة.

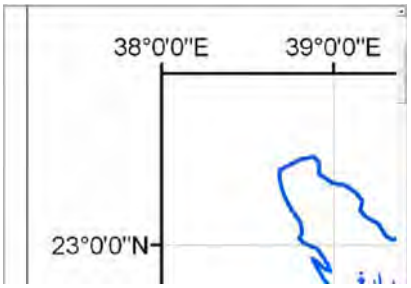
للبدء في عملية الإرجاع الجغرافي يجب أن يكون شريط الأدوات الخاص بالإرجاع نشطا في شاشة برنامج Arc Map. فان لم يكن موجودا – علي الشاشة - فيمكن تفعيله بالضغط بالماوس الأيمن علي أي جزء من أعلي الشاشة (الجزء الرمادي اللون) فتنسدل قائمة بها جميع شرائط أدوات Arc Map حيث تكون الشرائط النشطة أمامها علامة "صح". نبحث عن أسم شريط أدوات Georeferencing ونضغط بالماوس لتفعيله:



فيظهر لنا شريط الأدوات علي الشاشة:

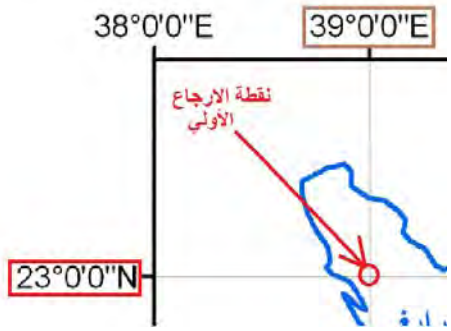


قبل أن نبدأ في تحديد نقطة الإرجاع الأولي نستخدم أيقونة التكبير لتكبير الجزء العلوي علي اليسار من صورة الخريطة:

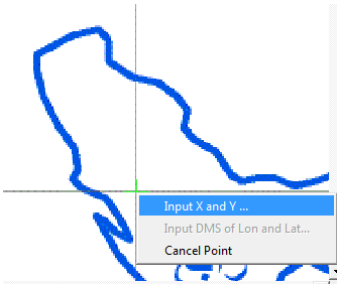


من شريط أدوات الإرجاع نختار أيقونة "إضافة نقطة تحكم Add control point" لتحديد موقع نقطة الإرجاع علي الصورة، ونلاحظ أن مؤشر الماوس قد تغير شكله الآن ليصبح مثل علامة + حتى يسهل علي المستخدم تحديد موقع نقطة الإرجاع بدقة.

بالنظر لصورة الخريطة (في المثال الحالي) نجد أن النقطة المعلوم لها الاحداثيين (خط الطول و دائرة العرض) هي تقاطع خط الطول ٣٩ شرقا مع دائرة العرض ٢٣ شمالا:



باستخدام الماوس الأيسر نحدد موقع نقطة الإرجاع (بكل دقة) ثم نضغط الماوس الأيمن فتفتح نافذة بها أمر Input X and Y لإدخال قيم الاحداثيين X,Y الحقيقيين لهذه النقطة:

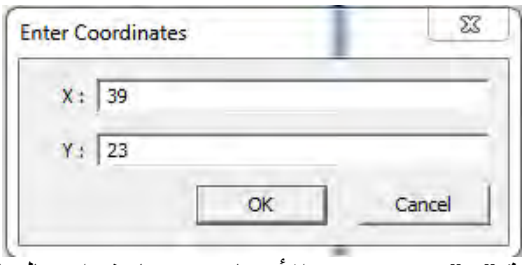


برنامج Arc Map يتعامل مع الإحداثيات باستخدام:

- **محور X في اتجاه الشرق**
- **محور Y في اتجاه الشمال**

أي أن في الإحداثيات الجغرافية: خط الطول سيكون هو المحور X ودائرة العرض ستكون هي المحور Y. بذلك فأن قيمة الاحداثي X لنقطة الإرجاع الأولي (أنظر صورة الخريطة) ستساوي ٣٩ وقيمة الاحداثي Y لها ستساوي ٢٣.

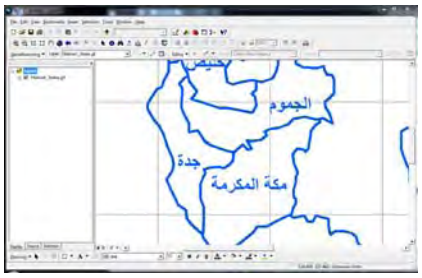
نضغط بالماوس علي أمر Add X and Y ثم نكتب قيم الإحداثيات الحقيقية لنقطة الإرجاع الأولي:



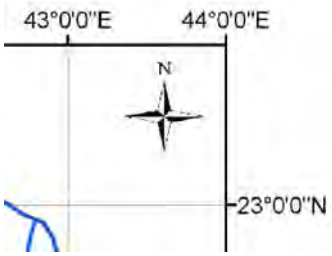
يجب الانتباه لوجود علامة "–" في بعض الأحيان في نافذة إدخال البيانات ويجب حذف هذه الإشارة أثناء كتابه قيم كلا من X , Y ، لأن عدم حذف هذه العلامة سيجعل قيم الإحداثيات خطأ بالطبع.

ثم نضغط OK.

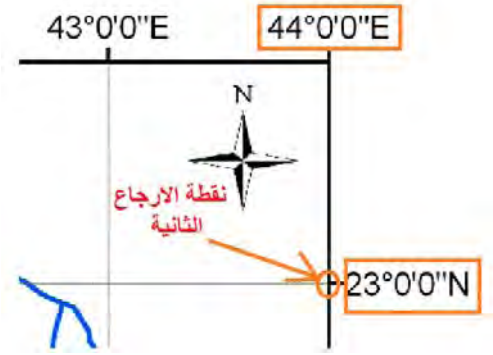
ربما نلاحظ أن الجزء (من الصورة) المعروض علي الشاشة قد تغير فجأة الآن، والسبب في ذلك أن برنامج Arc Map قد حرك الصورة قليلا لكي تقع نقطة الإرجاع الأولي في موقعها الذي قمنا بإدخاله.



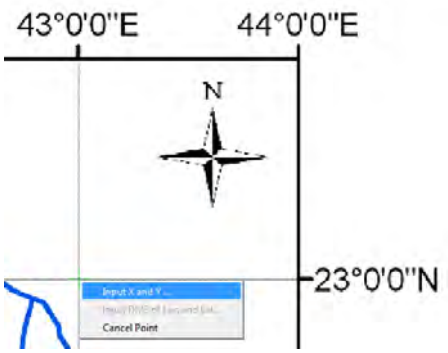
الآن نريد أن نكرر نفس الخطوات لنقطة الإرجاع الثانية والتي ستكون في أقصي يمين الجزء العلوي من الصورة. توجد عدة وسائل للوصول لهذا الجزء (باستخدام الأيقونات المختلفة من شريط أدوات Tools) لكن يمكن – علي سبيل المثال – استخدام أيقونة الامتداد الكلي Full Extent لعرض كامل الصورة ثم استخدام أيقونة التكبير لتكبير الجزء المطلوب من الصورة:



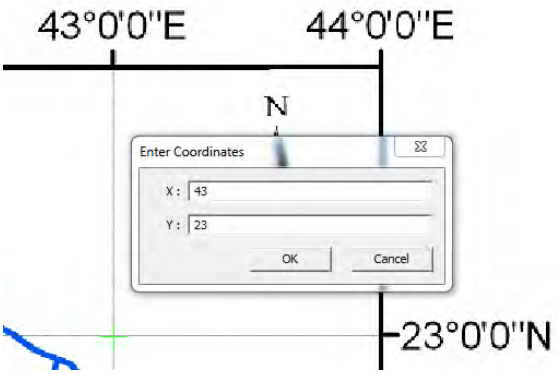
ونحدد موقع النقطة التي سنستخدمها كنقطة إرجاع (تقاطع خط طول ٤٤ شرقا مع دائرة عرض ٢٣ شمالا):



نكرر الآن نفس الخطوات كما تم في نقطة الإرجاع الأولي: باستخدام الماوس الأيسر نحدد موقع نقطة الإرجاع (بكل دقة) ثم نضغط الماوس الأيمن فتفتح نافذة بها أمر Input X and Y لإدخال قيم الاحداثيين X,Y الحقيقيين لهذه النقطة:

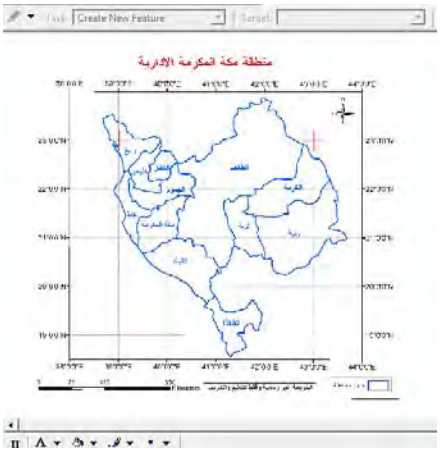


ثم ندخل قيم الإحداثيات الحقيقية (الجغرافية) لهذه النقطة:

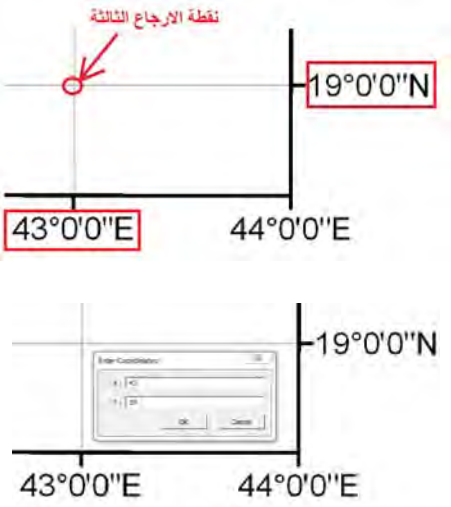


ثم نضغط OK.

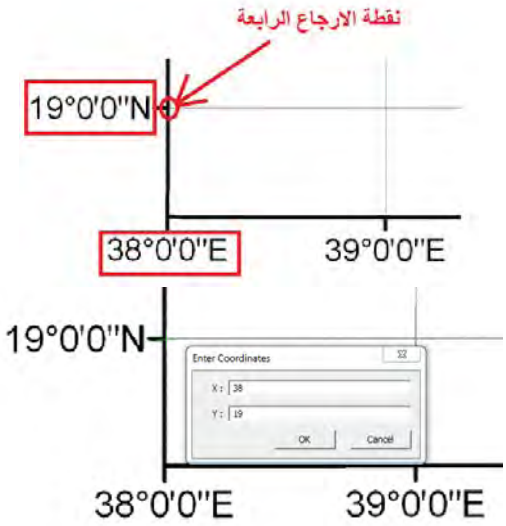
فإذا اختفت الصورة من الشاشة فنضغط أيقونة الامتداد الكلي لعرض كامل الصورة مرة أخري. نلاحظ أن هناك علامتين + باللون الأحمر موضوعين في مواقع نقطتي الإرجاع اللتين قمنا بتحديدهما حتى الآن:



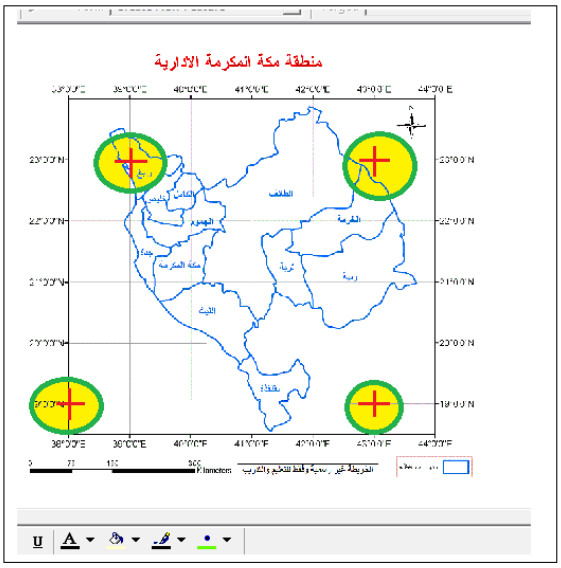
بنفس الطريقة نقوم بعمل نقطة الإرجاع الثالثة (أقصي يمين أسفل الصورة) ونقطة الإرجاع الرابعة (أقصي يسار أسفل الصورة) كما في الخطوات التالية:



يمكن ملاحظة أن الإحداثيات الظاهرة عند ضغط مفتاح F6 لنقطة الإرجاع الثالثة (وأيضا الرابعة) ستكون قريبة من الإحداثيات الحقيقية للنقطة، لأن البرنامج من خلال إحداثيات أول نقطتي إرجاع يكون قد حدد بالتقريب موقع الخريطة الجغرافي. لكن يجب إدخال قيم إحداثيات النقطة الحقيقية وبكل دقة.

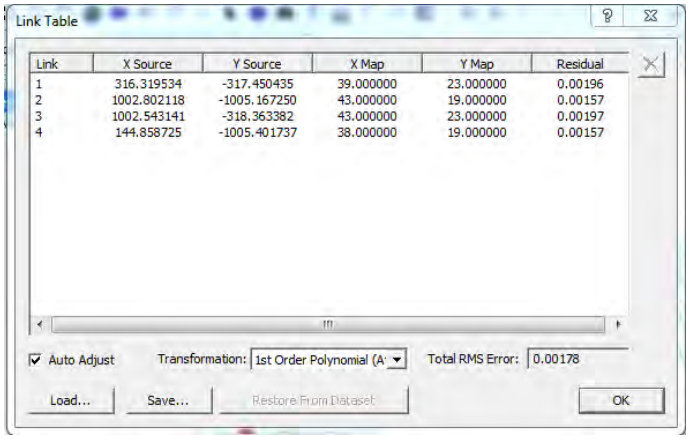


الآن نضغط أيقونة الامتداد الكلي فنجد ٤ علامات + حمراء في مواقع نقاط الإرجاع الجغرافي الأربعة، وهم موزعين علي أركان الصورة كما هو مطلوب حتى تكون عملية الإرجاع الجغرافي جيدة:



٤-٢-٢٢ حفظ و تقييم دقة الإرجاع الجغرافي لصورة

الآن علينا حفظ save ما قمنا به من خطوات الإرجاع الجغرافي، وسيتم ذلك باستخدام أيقونة View Link Table أو رؤية جدول الارتباط وهي الأيقونة في شريط أدوات الإرجاع الجغرافي. عند الضغط علي هذه الأيقونة تفتح لنا نافذة كالتالي:



في هذه النافذة (أو جدول الارتباط):

- عدد السطور = عدد نقاط الإرجاع الجغرافي الذي قمنا به (٤ نقاط في المثال الحالي)
- أول عمودين من اليسار وهما X Source, Y Source يحددان الإحداثيات X, Y علي الصورة الأصلية لكل نقطة من نقاط الإرجاع، أي الإحداثيات التي أتت من جهاز الماسح الضوئي scanner ذاته عندما قمنا بعملية المسح الضوئي للخريطة الأصلية.

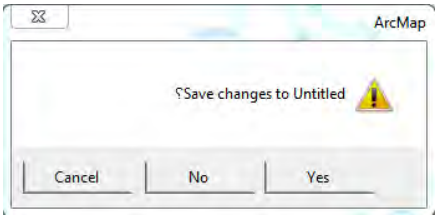
- ثاني عمودين وهما X Map, Y Map يحددان الإحداثيات الحقيقية (التي قمنا نحن بإدخالها) لكل نقطة من نقاط الإرجاع الجغرافي.
- يسمي هذا الجدول باسم جدول الارتباط Link Table لأنه يربط – عند كل نقطة – قيمة إحداثياتها علي الصورة و إحداثياتها الحقيقية (الجغرافية).
- العمود الأخير في الجدول Residuals يحدد قيمة الخطأ المتوقع عند كل نقطة من نقاط الإرجاع
- أسفل الجدول يوجد قيمة Total RMS Error أي قيمة الخطأ المتبقي الكلي المتوسط وهو مؤشر متوسط لجودة عملية الإرجاع الجغرافي

العنصر الأخير Total RMS Error هو أهم معلومة في جدول الارتباط. في المثال الحالي فأن هذه القيمة = ٠.٠٠١٧٨ فهل هي جيدة أم لا؟ لكن أولا ما هي وحدات هذه القيمة؟ هل هي بالمتر أم بالكيلومتر أم بالدرجات؟. إجابة هذا السؤال ترجع لتحديد الوحدات التي أدخلناها في عملية الإرجاع الجغرافي نفسها؟ فعندما أعطينا برنامج Arc Map الإحداثيات الحقيقية لنقطة الإرجاع الأولي = ٣٩ ، ٢٣ فهل هذه الإحداثيات بالمتر أم بالكيلومتر أم بالدرجات؟ كانت إحداثيات جغرافية (خط الطول ودائرة العرض) في المثال الحالي، أي أنها بالدرجات. إذن قيمة الخطأ سيحسبها البرنامج بنفس الوحدات أي بالدرجات. أي أن الخطأ المتبقي الكلي المتوسط Total RMS Error في المثال الحالي = ٠.٠٠١٧٨ درجة. السؤال الثاني: هل هذه القيمة جيدة أم لا؟ إذا عرفنا أن الدرجة = تقريبا ١٠٨ كيلومتر، فأن قيمة ٠.٠٠١٧٨ درجة = ٠.٠٠١٧٨ × ١٠٨ = ٠.١٩ كيلومتر. يمكننا اعتبارها قيمة جيدة (لاحظ أن الصورة التي نتعامل معها في المثال الحالي هي لمنطقة جغرافية حوالي ٢٠٠ × ٢٠٠ كيلومتر) مما يجعلنا نقول أن عملية الإرجاع الجغرافي التي قمنا بها تعتبر عملية دقيقة أو جيدة.

في نافذة جدول الارتباط نضغط أيقونة Save لحفظ بيانات الإرجاع الجغرافي، ونحدد اسم و مكان هذا الملف النصي text file (من الأفضل حفظ هذا الملف في نفس المجلد الموجود به الصورة الأصلية لسهولة الوصول إليه فيما بعد):

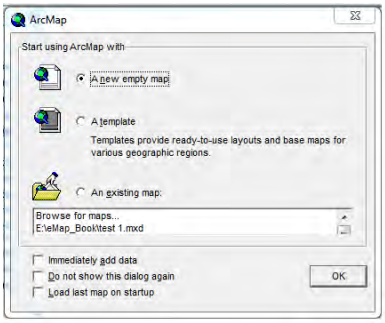
ثم نضغط save.

بذلك نكون انتهينا من إتمام الإرجاع الجغرافي لصورة الخريطة. نقوم الآن بغلق برنامج Arc Map وإذا سألنا البرنامج هل نريد حفظ هذا المشروع أم لا **سنختار NO في الوقت الحالي !!**

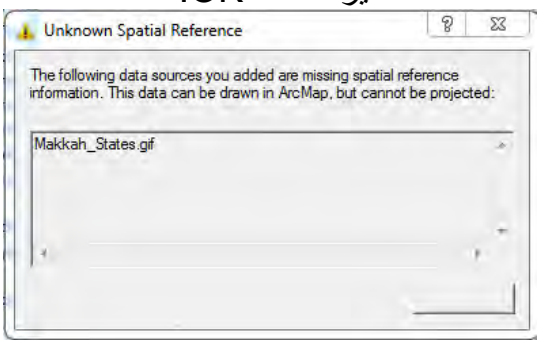


٢٢-٢-٥ تطوير نسخة مرجعة جغرافيا من الصورة الأصلية

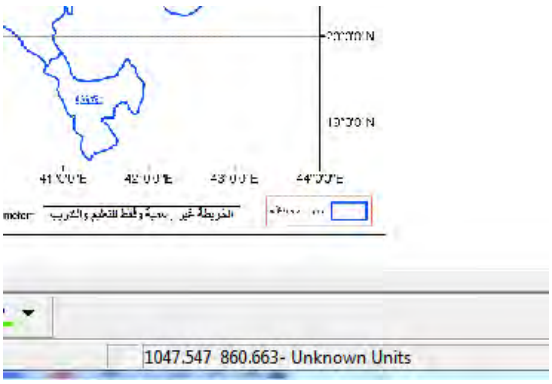
سنقوم الآن بإعادة فتح برنامج Arc Map مرة أخري من جديد، وسنختار أول أمر A new empty map لفتح مشروع جديد:



ثم نستخدم أيقونة إضافة البيانات Add data لإضافة صورة الخريطة الأولي كما فعلنا في بداية هذا التمرين، فإذا جاءت شاشة التحذير نضغط OK:

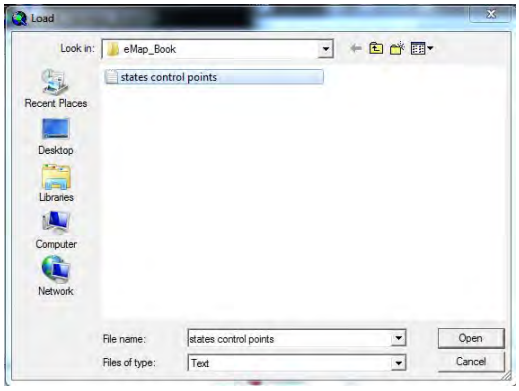


إذا دققنا النظر في شريط الأدوات الأسفل من شاشة البرنامج سنجد أن الإحداثيات مازالت إحداثيات وهمية وليست هي الإحداثيات الجغرافية الحقيقية لصورة الخريطة:



السبب أننا قمنا بإضافة صورة الخريطة (الأصلية) وهي في الأساس لم تكن مرجعة جغرافية. أما بيانات الإرجاع الجغرافي الذي قمنا به فقد حفظناها في ملف آخر. لاستدعاء هذا الملف (بيانات الإرجاع الجغرافي لهذه الصورة) نفتح جدول الارتباط باستخدام أيقونة في شريط أدوات الإرجاع الجغرافي:

ثم نضغط أيقونة Load الموجودة بأسفل يسار النافذة، ثم نختار الملف النصي الذي قمنا بحفظه سابقا:

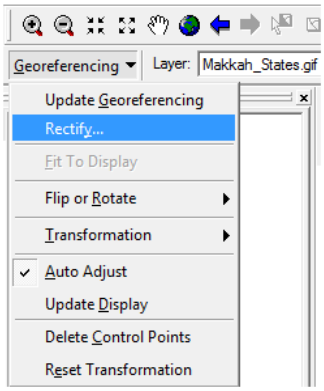


ونضغط open، فنجد أن صورة الخريطة قد اختفت من الشاشة الحالية بسبب أن برنامج Arc Map قد حركها إلى موقعها الجغرافي الصحيح بناءا على قيم الإحداثيات الجغرافية الحقيقية المخزنة في ملف الارتباط، فإذا ضغطنا أيقونة الامتداد الكلي سنجد:

١. علامات أو مواضع نقاط الإرجاع الجغرافي قد ظهرت كأربع علامات + حمراء على الصورة
٢. الإحداثيات في أسفل شاشة البرنامج قد تغيرت قيمها لتصبح الآن الإحداثيات الجغرافية الحقيقية (خط الطول ودائرة العرض) للصورة

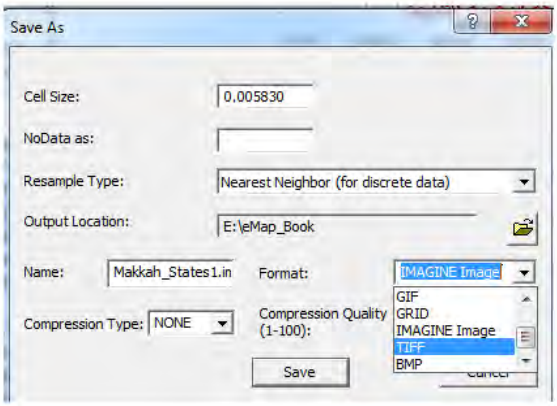
من هنا نستنتج أن في كل مرة سنضيف هذه الصورة إلي مشروع في برنامج Arc Map فأنها ستأتي بإحداثياتها الوهمية غير الحقيقية وأننا مضطرين لإضافة بيانات الإرجاع في خطوة منفصلة حتى نضع الصورة في موقعها الجغرافي الصحيح. أي أنها عملية مكونة من خطوتين في كل مرة.

أما إذا أردنا أن نجعل الصورة (صورة الخريطة) مرجعا جغرافيا ويستطيع برنامج Arc Map أن يغرف موقعها الجغرافي الصحيح من أول مرة فأننا سنستخدم أمر **" Rectify تقويم "** الموجود في شريط أدوات الإرجاع الجغرافي تحت كلمة Georeferencing:



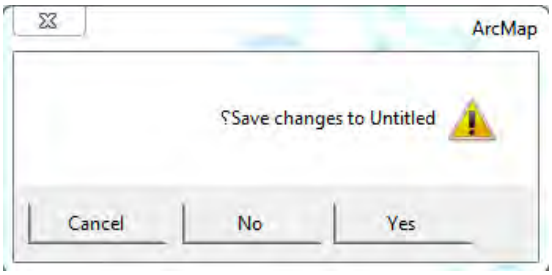
نضغط Rectify ثم في النافذة الجديدة:

- بجوار Name: نحدد أسم الصورة الجديدة (صورة الخريطة التي ستكون المرجعة جغرافيا)
- بجوار Format: نختار صيغة الصورة الجديدة، مثلا نختار صيغة TIFF
- نضغط Save

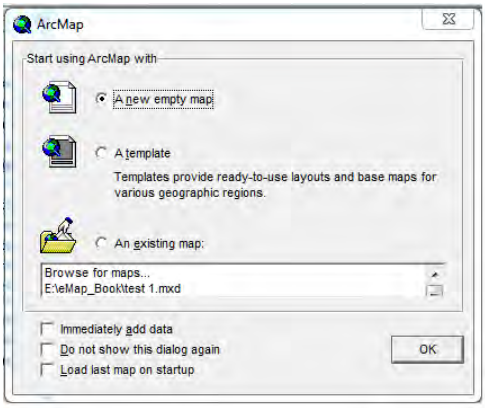


أي أن برنامج Arc Map قد قام بإنشاء صورة جديدة (نسخة طبق الأصل من الصورة الأصلية) لكنه خزن داخل نفس الصورة بيانات الموقع الجغرافي الصحيح (الإحداثيات الصحيحة) لهذه الصورة و المنطقة الجغرافية التي تمثلها.

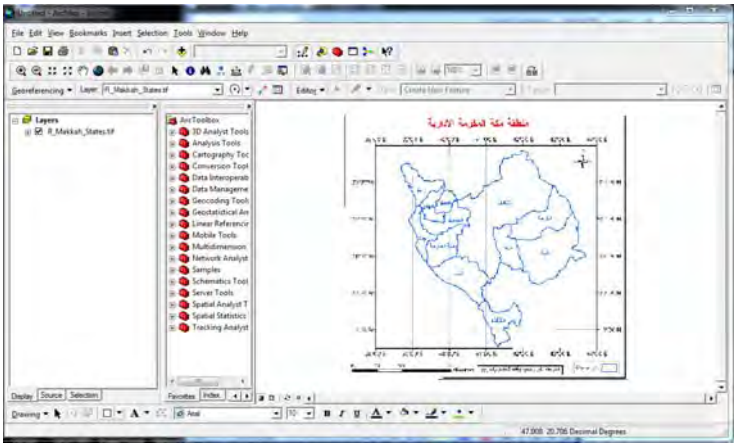
مرة أخري: نقوم بغلق برنامج Arc Map وإذا سألنا البرنامج هل نريد حفظ هذا المشروع أم لا **سنختار NO في الوقت الحالي !!**



ثم نقوم بإعادة فتح برنامج Arc Map مرة أخري من جديد، وسنختار أول أمر A new empty map لفتح مشروع جديد:



ثم نستخدم أيقونة إضافة البيانات Add data لإضافة الصورة المرجعة (وليس الصورة الأصلية) للخريطة:



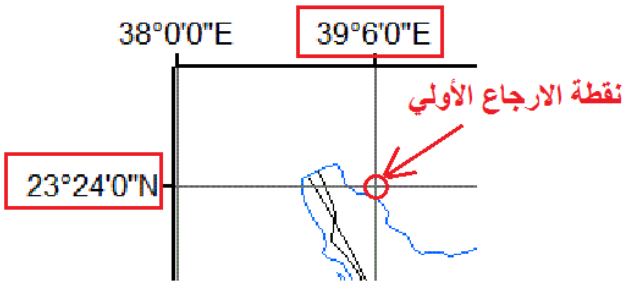
نلاحظ أن:

- الصورة المرجعة لا تختلف علي الإطلاق (من حيث محتواها الجغرافي) عن الصورة الأصلية فهي نسخة طبقة الأصل منها
- لا توجد علامات الإرجاع الأربعة (علامات + الحمراء) علي الصورة المرجعة.
- الإحداثيات في أسفل الشاشة هي إحداثيات جغرافية حقيقية

٦-٢-٢٢ ملاحظات أخري عن الإرجاع الجغرافي

أولا: التعامل مع الدرجات و الدقائق و الثواني في الإحداثيات الجغرافية:

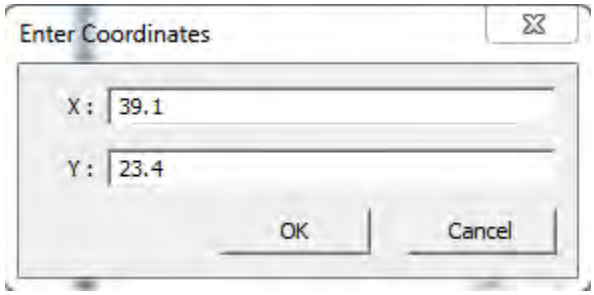
يمكن للقارئ أن يقوم بإتمام عملية الإرجاع الجغرافي للخريطتين التعليميتين الأخيرتين (شكل ٢٢-٣ و شكل ٢٢-٤) بنفس الخطوات التي قمنا بها حتى الآن. لكن بالنظر للخريطة ٢٢-٣ وعند ركنها الشمالي الغربي – علي سبيل المثال – فأن موقع نقطة الإرجاع الأولي هو تقاطع خط الطول "٠ '٦ ٣٩° شرقا مع دائرة العرض "٠ ٢٤ '٢٣ ° شمالا. أي أن قيمة خط الطول مكونة من جزأين: ٦ دقائق و ٣٩ درجة، وأيضا قيمة دائرة العرض مكونة من جزأين: ٢٤ دقيقة و ٢٣ درجة. كما رأينا في الخطوات السابقة أن برنامج Arc Map في عملية الإرجاع الجغرافي يقبل رقم واحد فقط الاحداثي X ورقم واحد الاحداثي Y. كيف نحل هذه المشكلة؟



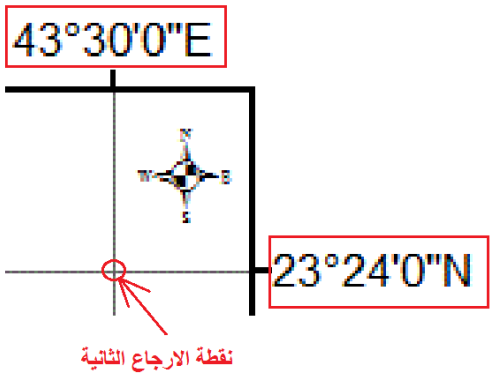
سبق الشرح – في الجزء النظري من الكتاب – أن الدرجة (سواء لخط الطول أو دائرة العرض) تتكون من ٦٠ دقيقة. إذن لتحويل قيمة إحداثي مكون من درجات و دقائق (رقمين) إلي إحداثي مكون من درجات و كسور الدرجات (رقم واحد) فأننا نقسم الدقائق علي ٦٠ ونضيفها للدرجات:

٣٩ ٦' °٣٩ شرقا = (٦ ÷ ٦٠) + ٣٩ = ٣٩.١ درجة
٢٣ ٢٤' °٢٣ شمالا = (٢٤ ÷ ٦٠) + ٢٣ = ٢٣.٤ درجة

إذن عند تحديد نقطة الإرجاع الجغرافي الأولي لهذه الصورة فأن إحداثياتها ستكون:

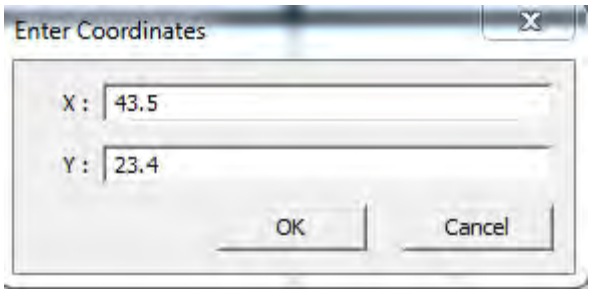


مثال آخر: نقطة الإرجاع الجغرافي الثانية (الركن الشمالي الشرقي للصورة) ستكون:

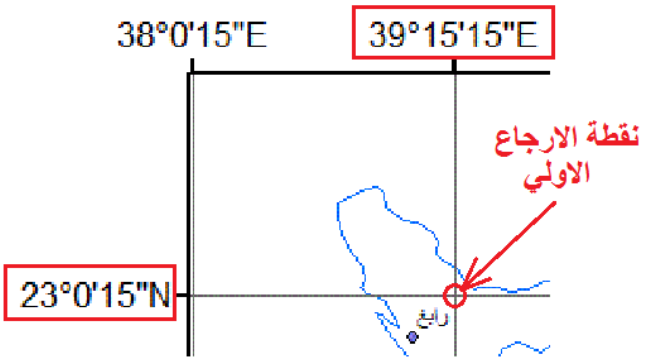


٣٠ ٤٣' °٤٣ شرقا = (٣٠ ÷ ٦٠) + ٤٣ = ٤٣.٥ درجة
٢٤ ٢٣' °٢٣ شمالا = (٢٤ ÷ ٦٠) + ٢٣ = ٢٣.٤ درجة

أي أن عند تحديد نقطة الإرجاع الجغرافي الثانية لهذه الصورة فأن إحداثياتها ستكون:

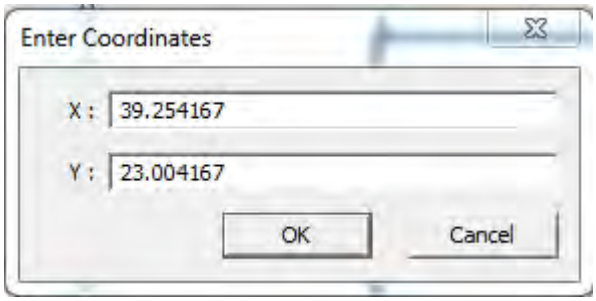


أما الخريطة التعليمية الثالثة (شكل ٢٢-٤) فأن إحداثياتها تتكون من درجات و دقائق و ثواني. سبق الشرح – في الجزء النظري من الكتاب – أن الدرجة (سواء لخط الطول أو دائرة العرض) تتكون من ٦٠ دقيقة، والدقيقة الواحدة تتكون من ٦٠ ثانية، أي أن الدرجة الواحدة بها ٦٠ × ٦٠ = ٣٦٠٠ ثانية. إذن لتحويل قيمة إحداثي مكون من درجات و دقائق وثواني (٣ أرقام) إلي إحداثي مكون من درجات و كسور الدرجات (رقم واحد) فأننا نقسم الدقائق علي ٦٠ ونضيفها للدرجات ونقسم الثواني علي ٣٦٠٠ و نضيفها للدرجات. إذا أخذنا مثال الركن الشمالي الغربي من هذه الخريطة (الثالثة) فسنجد أن موقع نقطة الإرجاع الأولي هو تقاطع خط الطول ١٥" ١٥' ٣٩° شرقا مع دائرة العرض ١٥" ٠' ٢٣° شمالا.



١٥" ١٥' ٣٩° شرقا = (١٥ ÷ ٣٦٠٠) + (١٥ ÷ ٦٠) + ٣٩ = ٣٩.٢٥٤١٦٧ درجة
١٥" ٠' ٢٣° شمالا = (١٥ ÷ ٣٦٠٠) + (٠ ÷ ٦٠) + ٢٣ = ٢٣.٠٠٤١٦٧ درجة

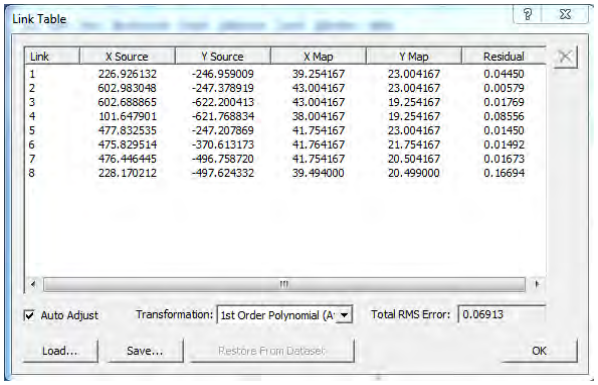
أي أن: عند تحديد نقطة الإرجاع الجغرافي الأولي لهذه الصورة فأن إحداثياتها ستكون:



ثانيا: تحديد النقاط السيئة الدقة في الإرجاع الجغرافي:

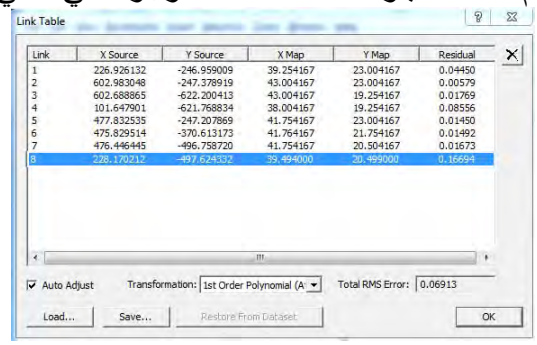
من شروط عملية الإرجاع الجغرافي أن العدد الأدنى للنقاط لا يقل عن ٤، لكن من الأفضل أن يزيد عن ٤ نقاط كلما كان ذلك ممكنا. عند التعامل مع الخرائط الممسوحة ضوئيا فأن صورة الخريطة سيكون بها عدد كبير من النقاط معلومة الإحداثيات طبقا لشبكة الإحداثيات الظاهرة علي الخريطة. فمثلا الخريطة التعليمية الثالثة (شكل ٢٢-٤) بها عدد ٥ خطوط طول و عدد ٤ دوائر عرض، أي يوجد علي هذه الخريطة عدد ٢٠ (٥×٤) نقطة معلومة الإحداثيات يمكن استخدامهم كنقاط إرجاع جغرافي.

نفترض أننا قمنا باستخدام عدد ٨ نقاط (من هذه النقاط العشرين) لإتمام عملية الإرجاع الجغرافي لهذه الصورة، فكانت النتيجة – جدول الارتباط - كالتالي:



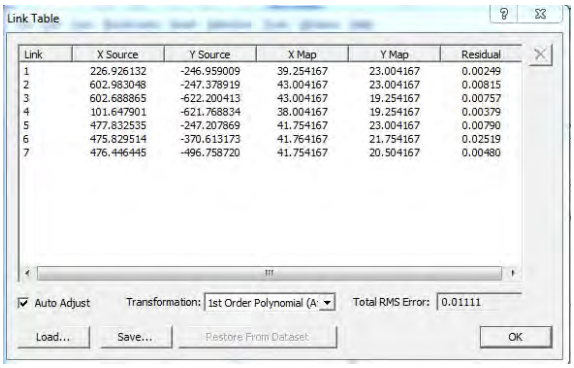
أي أن الخطأ المتوسط الكلي Total RMS Error = ٠.٠٦٩١٣ درجة ، أي أنه يساوي ٠.٠٦٩١٣ × ١٠٨ (ما يقابل الدرجة بالكيلومتر) = ٧.٥ كيلومتر تقريبا. ربما يري البعض أن قيمة هذا الخطأ كبيرة و تقلل من دقة و جودة عملية الإرجاع الجغرافي لهذه الصورة.

نبدأ في ملاحظة قيم العمود الأخير في جدول الارتباط Residual (الخطأ المتبقي) فنجد أن القيمة تختلف من نقطة لأخرى في الجدول. أي أن هناك نقاط لها دقة عالية (خطأ قليل) ونقاط أخري لها دقة منخفضة (خطأ كبير). بالملاحظة يمكن أن نستنتج أن الدقة رقم ٨ والتي لها خطأ Residual يبلغ ٠.٠١٦٦٩٤ هي أسوأ النقاط (أكبر قيمة خطأ). الآن نظلل هذه النقطة في جدول الارتباط (بالضغط عليها بالماوس) ثم نضغط أيقونة الحذف ✕ الموجودة في أعلي يمين جدول الارتباط:



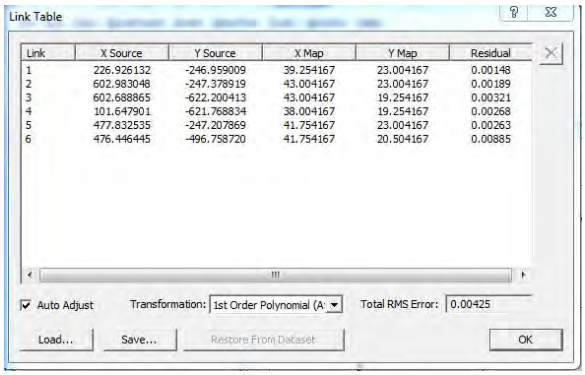
فنجد جدول الارتباط قد تغير:

- قل عدد النقاط ليصبح ٧ نقاط
- انخفضت قيمة الخطأ المتوسط الكلي لتصبح ٠.٠١١١١ درجة (أي ١.٢ كيلومتر)



الآن نري أن النقطة رقم ٦ في جدول الارتباط (الجديد) لها أكبر قيمة خطأ متبقي، وبنفس الطريقة نقوم بحذفها لتصبح النتيجة:

- قل عدد النقاط ليصبح ٦ نقاط
- انخفضت قيمة الخطأ المتوسط الكلي لتصبح ٠.٠٠٤٢٥ درجة (أي ٠.٥ كيلومتر)



وبذلك نخلص إلي أن كلما زاد عدد نقاط الإرجاع الجغرافي كلما كانت لدينا الفرصة لتحسين دقة الإرجاع للصورة (لأن لدينا نقاط أكثر من ٤ ويمكننا حذف النقاط قليلة الدقة منهم). هذا مبدأ مهم جدا خاصة للخرائط الممسوحة ضوئيا والتي تحتوي علي عدد كبير من النقاط معلومة الإحداثيات الحقيقية، وبالتالي فأن استخدام أكبر عدد ممكن من هذه النقاط في إتمام عملية الإرجاع الجغرافي سيزيد من دقة و جودة الإرجاع الجغرافي لصورة الخريطة، وهذا لن يكلفنا إلا بعض الجهد و الوقت فقط (مجرد عدة دقائق أخري لا غير). سنري في الأجزاء القادمة أن جودة و دقة الإرجاع الجغرافي ستؤثر بشدة في جودة و دقة الخرائط الرقمية التي سنقوم بتطويرها.

الملاحظة الأخيرة في عملية الإرجاع الجغرافي أن المرئيات الفضائية (بعكس الخرائط الممسوحة ضوئيا) لا يكون عليها شبكة إحداثيات. في هذه الحالة نقوم باستخدام أجهزة الجي بي أس لقياس

الإحداثيات الجغرافية الحقيقية (في الطبيعة) لبعض المعالم في المرئية، ثم نستخدم هذه الإحداثيات في إتمام عملية الإرجاع الجغرافي للمرئية.

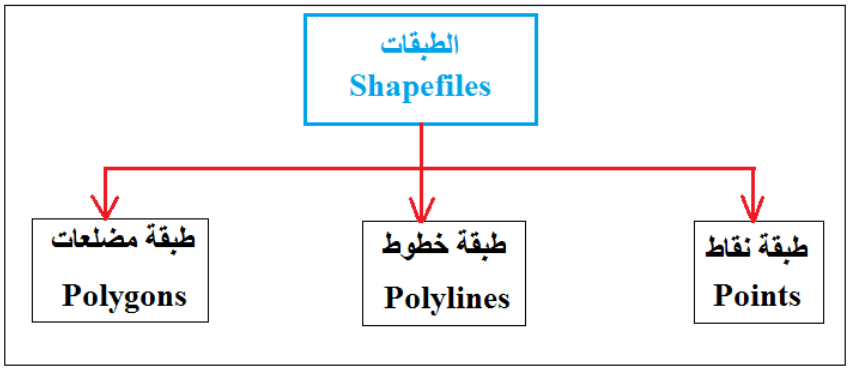
إذن في نهاية هذا التمرين الأول فأننا قد تعلمنا و تدربنا علي:

١- استدعاء (إضافة) صورة خريطة ممسوحة ضوئيا إلي البرنامج
٢- عمل الإرجاع الجغرافي لهذه الصورة لتحديد موقعها الجغرافي الحقيقي
٣- تقييم عملية الإرجاع الجغرافي و تحديد مدي جودتها (دقتها)
٤- حفظ بيانات الإرجاع الجغرافي في ملف نصي
٥- تقويم الصورة الأصلية و إنتاج نسخة جديدة منها تكون مرجعة جغرافيا

٢٢-٣ إنشاء الطبقات

٢٢-٣-١ برنامج Arc Catalogue

يتعامل برنامج Arc GIS مع عدد من أنواع الملفات لتخزين البيانات المكانية وغير المكانية، إلا أن ملفات الطبقات shapefile تعد أبسط و أسهل أنواع هذه الملفات، وبالتالي هي الأنسب للمستخدمين المبتدئين. الطبقة shapefile هي ملف يحتوي معلومات نوع محدد من الظواهر الجغرافية أو المكانية. في الجزء النظري – من هذا الكتاب – أشرنا إلي أن المعالم الجغرافية تمثل علي الخرائط المطبوعة بأحدي ثلاثة صور هي: النقاط و الخطوط و المضلعات. بذلك فأن الطبقات لا بد أن تكون أيضا بنفس هذه الخصائص، أي أن الطبقة إما أن تكون طبقة نقاط أو طبقة خطوط أو طبقة مضلعات. ولا يمكن لطبقة أن تحتوي معالم من غير نوع الطبقة ذاتها، بمعني أننا لا نستطيع رسم خطوط داخل طبقة نقاط و لا يمكننا رسم مضلعات داخل طبقة خطوط .. وهكذا.



شكل (٢٢-٥) أنواع الطبقات Shapefiles

من الممكن أن تحتوي طبقة نوعين من المعالم الجغرافية (لهما نفس نوع أو طريقة التمثيل)، فعلي سبيل المثال يمكن لطبقة نقاط أن تحتوي داخلها نقاط تعبر عن المدارس و نقاط أخري تعبر عن المستشفيات في نفس المنطقة الجغرافية. إلا أن هذا الوضع غير مستحب للمستخدم المبتدئ ومن

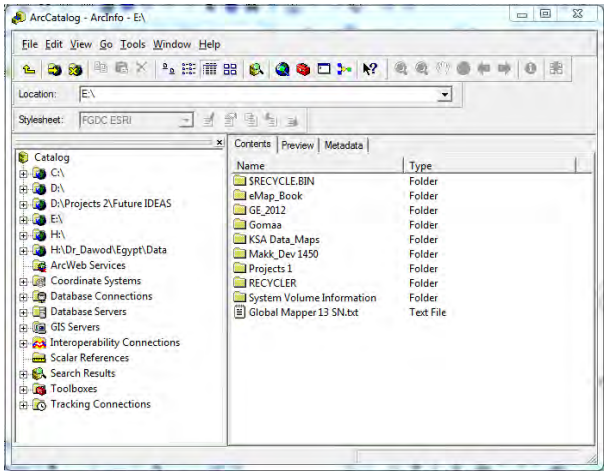
الأفضل أن يقوم المستخدم بعمل طبقة نقاط للمدارس و طبقة نقاط أخري للمستشفيات، وذلك حتى يسهل لهذا المستخدم المبتدئ التعامل مع كل نوع علي حدي.

إذن علينا في هذا التمرين الثاني أن نحدد – قبل التنفيذ الفعلي – أنواع الطبقات التي سنحتاج إنشاؤها. بالنظر للخريطة التعليمية الأولي (شكل ٢٢-٢) نجد أنها تمثل محافظات منطقة مكة المكرمة الإدارية، وكل محافظة علي الخريطة مكونة من مضلع (ليس خط و لا نقطة). إذن لتحويل هذه الخريطة المطبوعة إلي خريطة رقمية فسنحتاج طبقة من نوع المضلعات Polygon Shapefile. بينما الخريطة الثانية (شكل ٢٢-٣) تمثل طرق منطقة مكة المكرمة وكل طريق عبارة عن خط (ليس نقطة ولا مضلع). إذن لتحويل هذه الخريطة المطبوعة إلي خريطة رقمية فسنحتاج طبقة من نوع الخطوط Polyline Shapefile. أما الخريطة الثالثة (شكل ٢٢-٤) تمثل مدن منطقة مكة المكرمة وكل مدينة عبارة عن نقطة (ليست خط ولا مضلع). إذن لتحويل هذه الخريطة المطبوعة إلي خريطة رقمية فسنحتاج طبقة من نوع النقاط Point Shapefile.

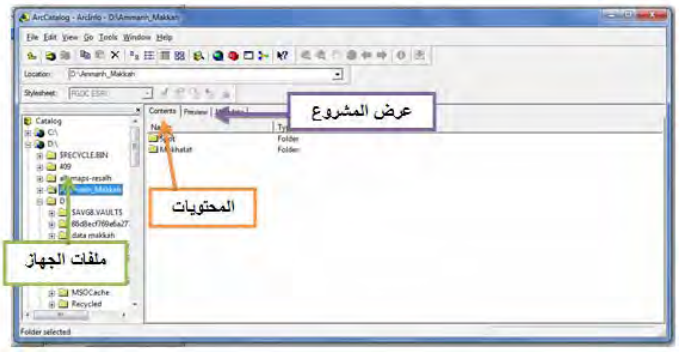
برنامج Arc Catalogue هو البرنامج داخل Arc GIS المسئول عن إدارة الملفات من إنشاء ملفات جديدة أو نسخ و حذف و تعديل خصائص ملفات موجودة بالفعل. لذلك في هذا التمرين سنبدأ في تشغيل Arc Catalogue. يمكن تشغيل برنامج Arc Catalogue بطريقتين: (١) من قائمة البرامج في الويندوز، (٢) من داخل برنامج Arc Map نفسه.

شكل (٢٢-٦) طرق تشغيل برنامج Arc Catalogue

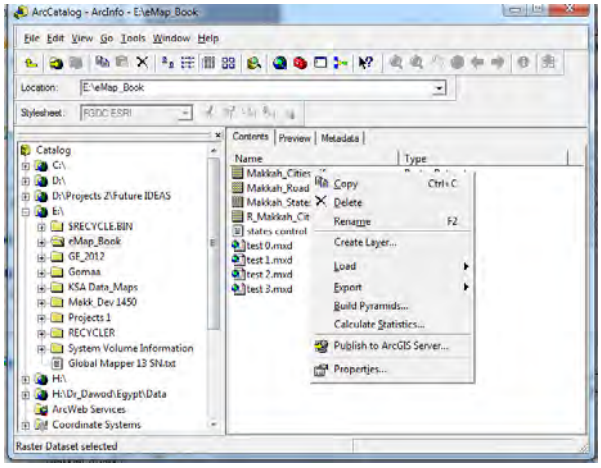
مثل برنامج Arc Map، فأن شاشة برنامج Arc Catalogue تتكون من عدد من شرائط الأدوات وتنقسم – رأسيا – إلي جزأين: الأيسر وهو قائمة المحتويات، والأيمن لعرض تفاصيل الملفات. فإذا أشرنا بالماوس إلي أي مجلد في قائمة المحتويات، فستظهر تفاصيل ما به من ملفات و مجلدات فرعية في الجزء الأيمن من الشاشة.



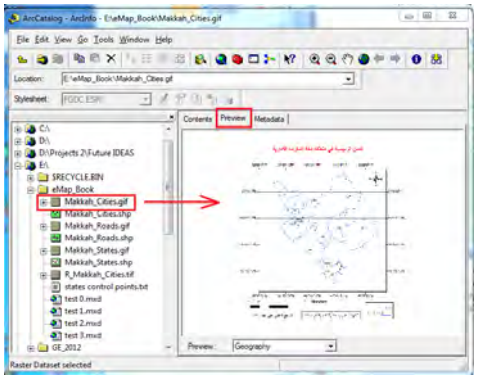
من الأفضل أن يجمع المستخدم جميع ملفات مشروع معين في مجلد واحد، نستخدم الجزء الأيمن للوصول إلي المجلد الموجود به صور الخرائط التعليمية الثلاثة.



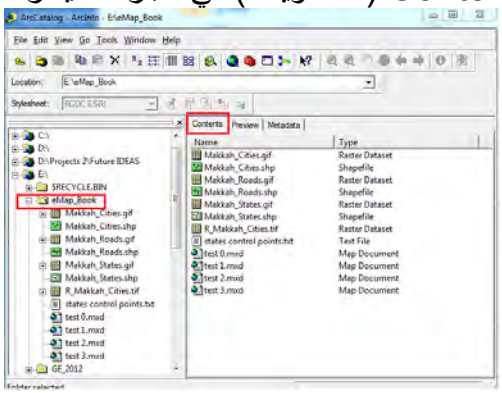
إذا ضغطنا الماوس الأيمن علي أسم أي صورة من الصور الموجودة داخل هذا المجلد نجد أمامنا قائمة من الخيارات: حذف Delete أو نسخ Copy أو إعادة تسمية Rename .. وهكذا. فكما سبق الذكر فأن برنامج Arc Catalogue هو المسئول عن إدارة الملفات.



أيقونة Preview (بأعلى الجزء الأيمن من الشاشة) تمكننا من عرض محتويات أي صورة أو طبقة. إذا وقفنا بالماوس علي أي صورة داخل المجلد ثم ضغطنا أيقونة Preview فيتم عرض الصورة داخل الجزء الأيمن من الشاشة:



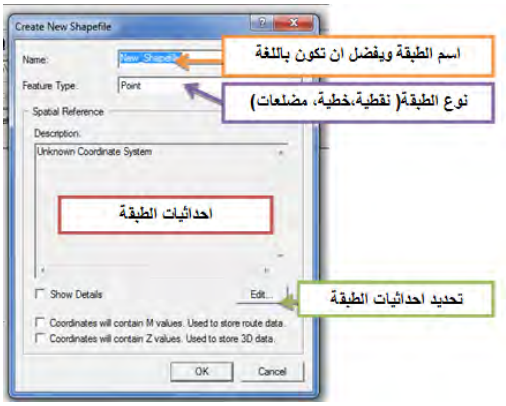
سنظل الآن في وضع العرض، أي إذا أشرنا بالماوس علي أي صورة (أو طبقة) في الجزء الأيسر من الشاشة – قائمة المحتويات – فسيتم مباشرة عرض الصورة في الجزء الأيمن. للخروج من وضع المعاينة والعودة مرة أخري لوضع المحتويات: نضغط بالماوس علي أسم المجلد (في الجزء الأيمن) ثم نضغط أيقونة Contents (المحتويات) في الجزء الأيسر:



٢٢-٣-٢ إنشاء طبقة جديدة

إذا ضغطنا الماوس الأيمن علي أي جزء (بعيدا عن الصور و الملفات) في الجزء الأيمن فأن النافذة الجديدة ستحتوي أمر New أي إنشاء ملف جديد، وبداخله نافذة فرعية جديدة لتحديد نوع الملف الجديد المطلوب إنشاؤه:

من النافذة الفرعية نختار أمر Shapefile لإنشاء طبقة جديدة (داخل هذا المجلد المعروض أسمه في الجزء الأيمن من الشاشة). توجد ٣ بيانات مطلوب تحديدهم لهذه الطبقة: اسم الطبقة Name ونوع الطبقة Feature Type و نظام إحداثيات الطبقة Coordinate System:



اسم الطبقة

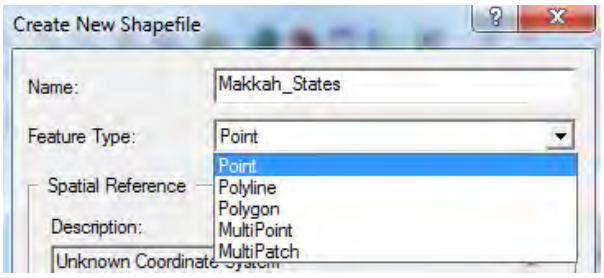
لاختيار أسم للطبقة الجديدة:

- لا يفضل استخدام الأحرف العربية.
- لا يزيد الاسم عن ١٣ خانة
- لا يشمل الاسم أي حروف خاصة (مثل النقطة و الشرطة و النجمة والمسافة ..... الخ)، فمثلا أسم Makkah-city يعد أسما خاطئا للطبقة، وكذلك اسم Makkah.city واسم Makkah+city أو أسم Makkah city
- من الحروف الخاصة يمكن فقط استخدام علامة underscore (علامة الشرطة في أسفل السطر وهي مفتاح – مع الضغط علي مفتاح shift من لوحة مفاتيح الكمبيوتر) في حالة أن اسم الطبقة يتكون من مقطعين، مثلا: Makkah_city

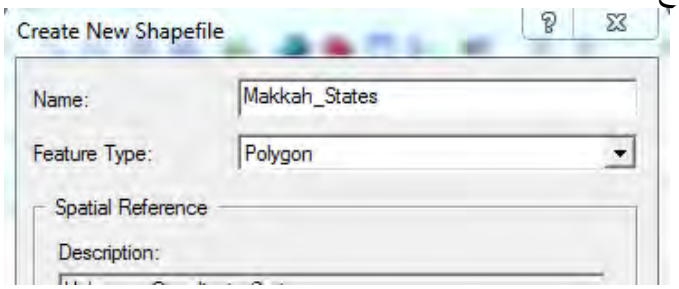
في المثال الحالي سننشأ طبقة (مناظرة للخريطة التعليمية الأولي) وسنختار أسمها = Makkah_States (يمكن للقارئ اختيار أي اسم يريده للطبقة) وسنقوم بكتابة هذا الاسم أمام كلمة Name في نافذة إنشاء الطبقة:

نوع الطبقة

توجد ٥ أنواع للطبقات في برنامج Arc GIS لكننا – في هذا الكتاب للمبتدئين – سنتعامل فقط مع أول ٣ أنواع عند فتح السهم الصغير الموجود أمام كلمة Feature Type:

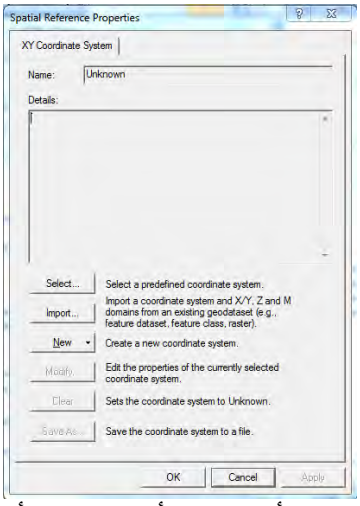


في التمرين الحالي (الخريطة التعليمية الأولي) ستكون الطبقة المطلوبة من نوع المضلعات Polygons لأننا – لاحقا – سنرسم داخل هذه الطبقة محافظات مكة المكرمة وستكون كل محافظة ممثلة كمضلع:



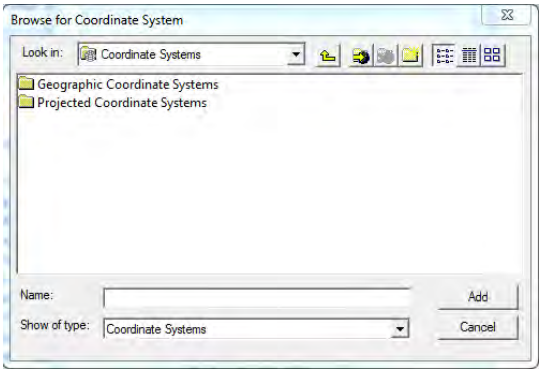
نظام إحداثيات الطبقة

الجزء الثالث من الخصائص المطلوب تحديدها للطبقة المراد إنشاؤها هو تحديد نظام إحداثيات لهذه الطبقة الجديدة. نبدأ هذه الخطوة بالضغط علي أيقونة Edit الموجودة بأسفل النافذة فنفتح نافذة جديدة:

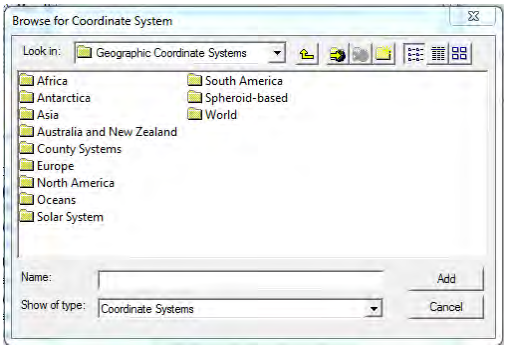


نختار أمر Select فنجد أمامنا خيارين أو نوعين أساسين من أنواع نظم الإحداثيات (أرجع للجزء النظري من الكتاب):

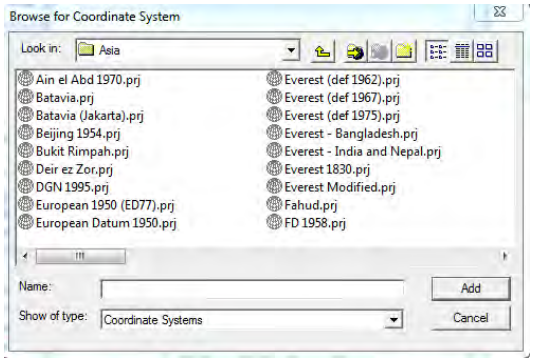
- Geographic Coordinates Systems نظم الإحداثيات الجغرافية (خط الطول و دائرة العرض)
- Projected Coordinate Systems نظم الإحداثيات المسقطة أو المترية



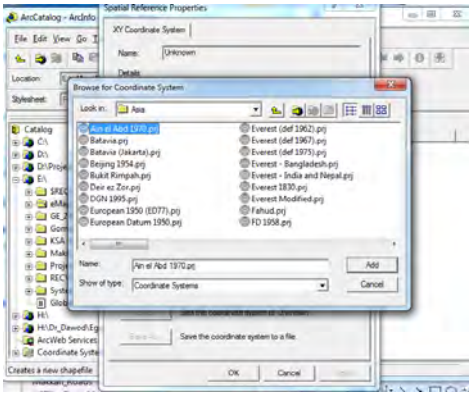
سيعتمد الاختيار هنا علي نوع نظام إحداثيات صورة الخريطة الممسوحة ضوئيا (الخريطة الأصلية) التي نريد تحويلها إلي خريطة رقمية. يجب أن يكون نظام إحداثيات الطبقة الجديدة هو نفس نظام إحداثيات صورة الخريطة الممسوحة ضوئيا. كما قلنا أن من أساسيات الخرائط المطبوعة وجود نوع الإحداثيات والمسقط الجيوديسي للخريطة مكتوبا في أسفلها. فإذا رجعنا للخريطة التعليمية الأولي (شكل ٢٢-٢) سنجد مكتوبا في أسفلها أن المرجع الجيوديسي الأفقي لها هو عين العبد ١٩٧٠. أي أن هذه الخريطة لها إحداثيات جغرافية (خط طول و دائرة عرض) باستخدام المرجع الجيوديسي السعودي المسمي عين العبد ١٩٧٠. من هنا فأن نظام إحداثيات الطبقة shapefile المطلوب إنشاؤها في هذا التمرين سيكون: (١) إحداثيات جغرافية، (٢) مرجع عين العبد ١٩٧٠. ألان سنختار أول أمر Geographic Coordinate Systems من النافذة، فنجد مجموعة من الاختيارات:



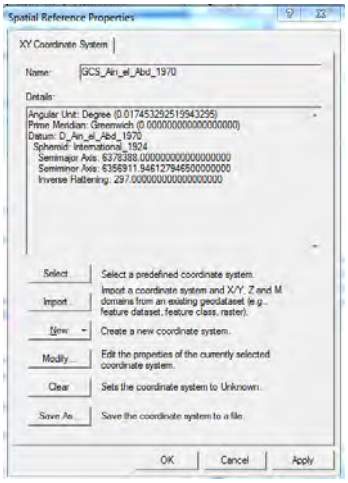
كل مجلد في النافذة الحالية يضم داخله مجموعة من المراجع الجيوديسية المستخدمة في جميع دول العالم وهي مرتبة علي أساس القارات. طالما أن المملكة العربية السعودية تقع في قارة آسيا فسندخل في مجاد Asia:



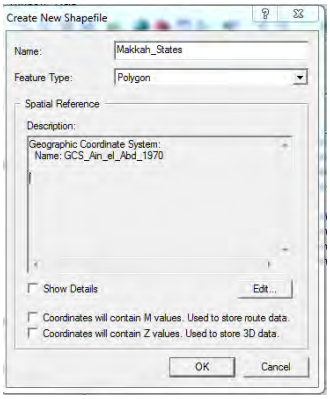
في النافذة الجديدة نجد أسماء جميع المراجع الجيوديسية لكل دول قارة آسيا مرتبة ترتيبا أبجديا ومن حسن الحظ أن مرجع Ain el Abd 1970 هو أولها في الترتيب، فنقوم باختيار بالماوس ثم نضغط Add:



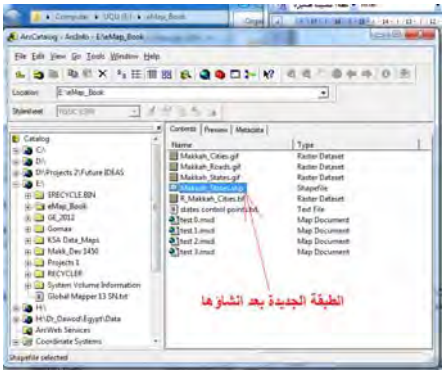
مباشرة سنعود للشاشة السابقة وسنجد أن بيانات مرجع عين العبد ١٩٧٠ قد ظهرت في النافذة فنقوم بالضغط علي أيقونة OK:



نجد أننا عدنا للشاشة الرئيسية لإنشاء الطبقة وقد تم الآن ظهور مرجع عين العبد ١٩٧٠ كنظام إحداثيات الطبقة الجديدة:

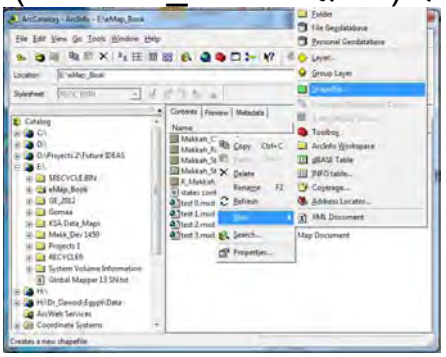


الآن وبعد أن انتهينا من الأجزاء الثلاثة لتحديد خصائص الطبقة الجديدة (الاسم و النوع و نظام الإحداثيات) نضغط OK لإتمام عملية إنشاء الطبقة الجديدة. سنجد هذه الطبقة قد تم إضافتها لمكونات المجلد الحالي:

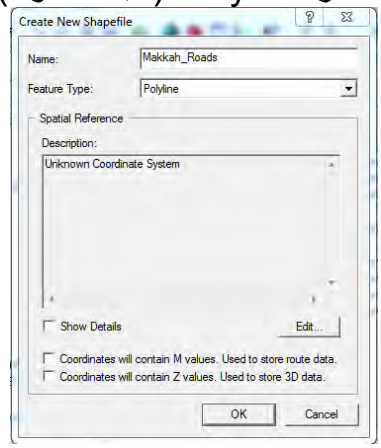


لاستكمال خطوات التمرين الثاني سنقوم بإنشاء طبقتين حديديتين (بنفس الخطوات) الأولي ستكون طبقة من نوع الخطوط Polyline Shapefile للخريطة التعليمية الثانية (طرق مكة المكرمة في الشكل ٢٢-٣) والثانية ستكون من نوع النقاط Points Shapefile للخريطة التعليمية الثالثة (مدن مكة المكرمة في الشكل ٢٢-٤). كلتا الطبقتين سيكون لهما نفس المرجع الجيوديسي: عين العبد ١٩٧٠.

مثلا: خطوات إنشاء الطبقة الثانية (لنسميها Makkah_Roads) ستكون كالآتي:

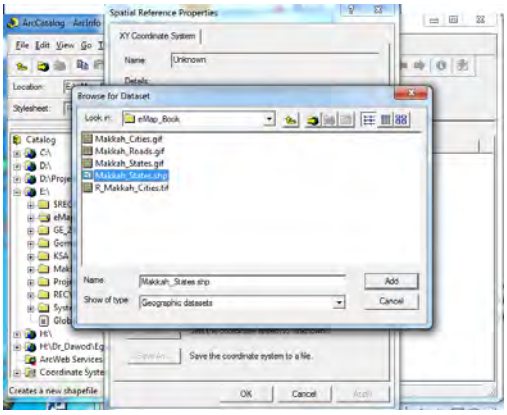


اسم الطبقة Name سنكتب: Makkah_Roads
نوع الطبقة Feature Type سنختار Polyline (طبقة خطوط)

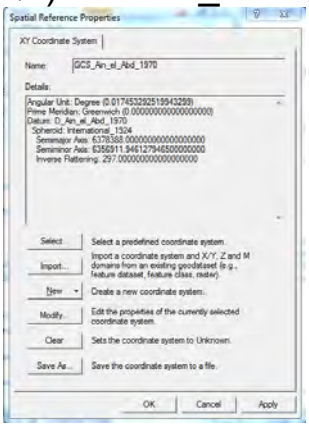


سنضغط أيقونة Edit لاختيار نظام الإحداثيات المطلوب للطبقة:

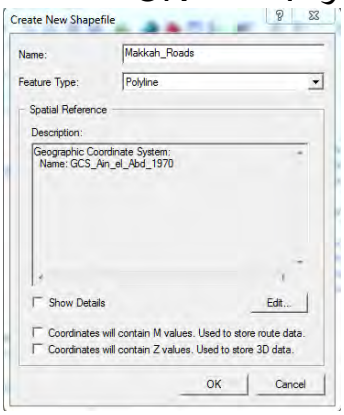
حيث أننا الآن لدينا طبقة موجودة بالفعل لها نفس نظام الإحداثيات المطلوب (الطبقة التي قمنا بانشاؤها لمضلعات أو محافظات مكة المكرمة) فبدلا من الضغط علي أيقونة Select وإتباع كل الخطوات السابقة حتى الوصول إلي مرجع عين العبد ١٩٧٠، فأننا الآن ستضغط أيقونة Import أو استدعاء:



أمامنا الآن جميع الملفات الموجودة داخل مجلد العمل (المجلد الذي وضعنا به الصور الثلاثة و الطبقة الأولي) فنختار ملف الطبقة Makkah_States (طبقة المحافظات) ثم نضغط Add:

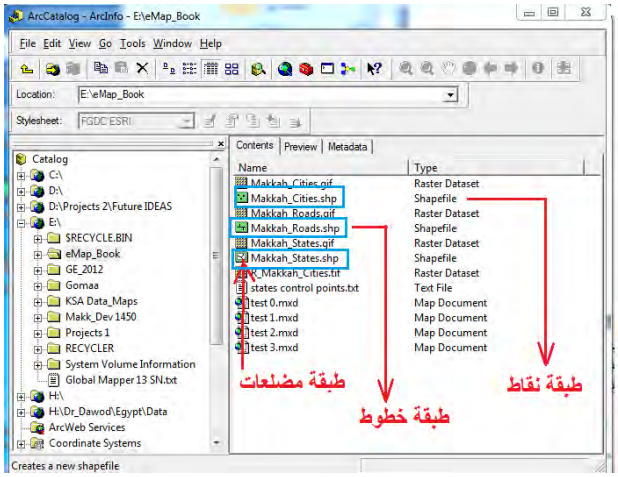


فنجد أن نظام الإحداثيات للطبقة الجديدة هو عين العبد ١٩٧٠ (نفس نظام إحداثيات الطبقة القديمة الموجودة فعلا) فهذه فائدة أمر Import في أنه يستدعي نظام إحداثيات طبقة موجودة ليجعله هو نظام إحداثيات الطبقة المطلوب إنشاؤها. نضغط OK



الآن نضغط OK لإتمام عملية إنشاء الطبقة الثانية.

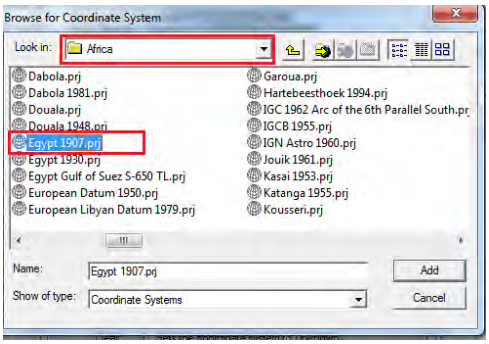
ثم نعيد نفس هذه الخطوات لإنشاء الطبقة الثالثة Makkah_Cities والتي ستكون طبقة نقاط Points Shapefile لمدن منطقة مكة المكرمة.



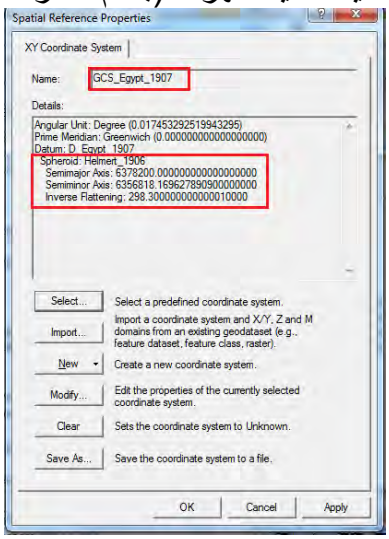
يمكن ملاحظة وجود أيقونة صغيرة بجوار أسم الطبقة في الجزء الأيمن من الشاشة، وهذه الأيقونة تدل علي نوع هذه الطبقة. تأخذ الأيقونة شكل لطبقات المضلعات، وشكل لطبقات الخطوط، و شكل لطبقات النقاط. بالتالي فيمكن بسهولة معرفة نوع الطبقة بمجرد التدقيق في شكل الأيقونة.

ملاحظات أخري:

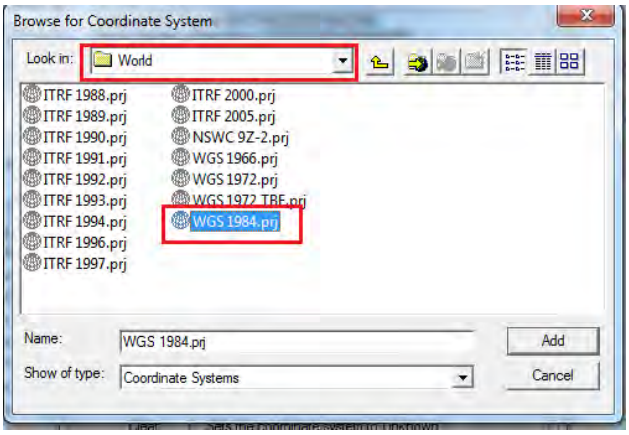
(١) في حالة الخرائط المصرية بنظام الإحداثيات الجغرافية فأن المرجع الجيوديسي المصري هلمرت ١٩٠٦ موجود داخل مجلد قارة أفريقيا لكن أسمه هو Egypt 1907 :



وعند الضغط علي Add نجد تفاصيل الفنية ظهرت (باسم هلمرت ١٩٠٦):

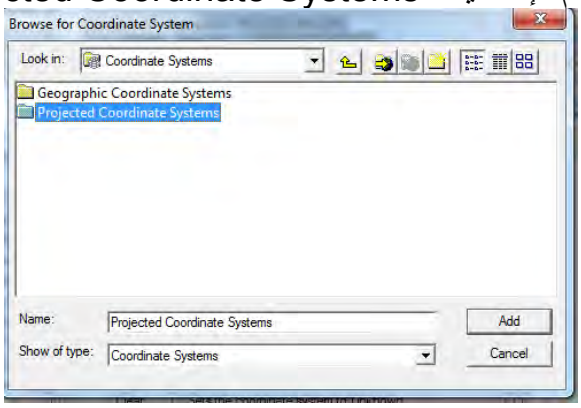


(٢) في حالة العمل مع أرصاد أو قياسات تمت بالجي بي أس فأن المرجع الجيوديسي (الإحداثيات الجغرافية) سيكون هو المرجع العالمي المعروف باسم WGS1984 وهو الموجود في مجلد World:

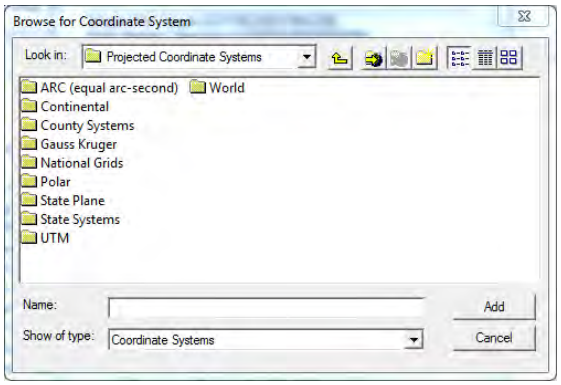


(٣) مع أننا في التمارين الحالية سنتعامل فقط مع الإحداثيات الجغرافية إلا أننا سنعرض – مجرد عرض دون تفاصيل - أيضا حالة الإحداثيات المسقطة أو الإحداثيات المترية:

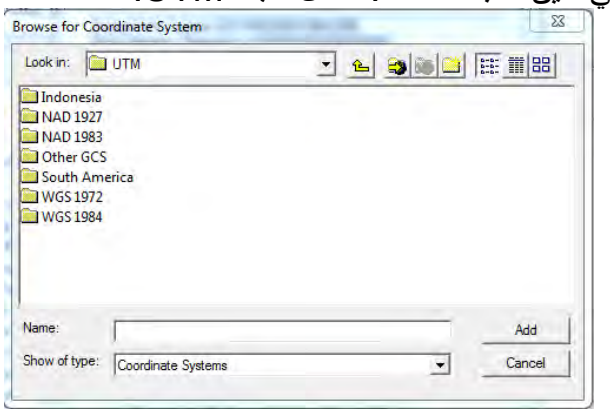
ندخل النوع الثاني من نظم الإحداثيات Projected Coordinate Systems:



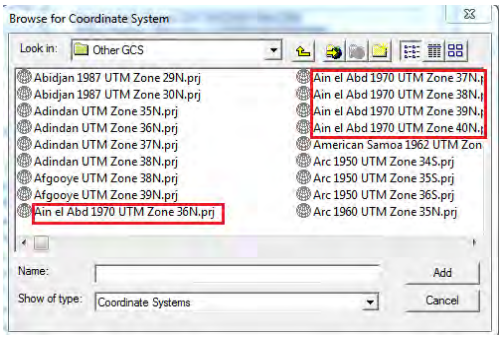
فنجد مجموعة كبيرة – أيضا – من نظم الإحداثيات المترية المستخدمة في كل دول العالم بأنواعها المختلفة:



(٤) في المملكة العربية السعودية فأن نظام الإحداثيات المترية – المعتمد – هو نظام UTM لكن باستخدام المرجع المحلي عين العبد ١٩٠٧. ندخل مجلد UTM:

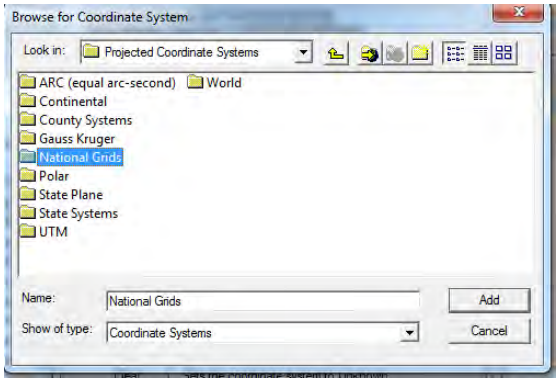


ثم ندخل مجلد Other GCS لعرض نظم الإحداثيات المحلية لدول العالم، فنجد نظام Ain el Abd 1970 UTM لكنه مقسم إلي ٥ نظم فرعية حيث توجد ٥ شرائح من شرائح UTM في المملكة العربية السعودية (الشرائح أرقام ٣٦، ٣٧، ٣٨، ٣٩، ٤٠):

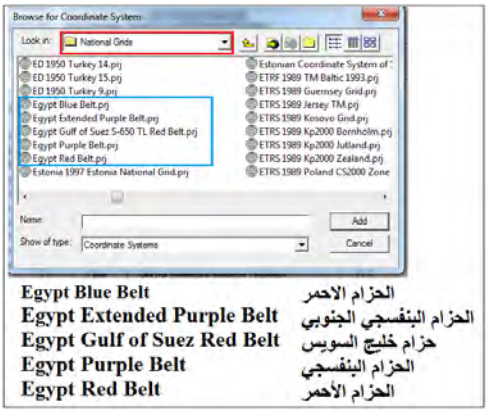


بناءا علي موقع المنطقة الجغرافية داخل المملكة يمكننا معرفة رقم شريحة UTM المناسبة.

(٥) أما في مصر فأن النظام المتري للإحداثيات هو نظام من نوع ميريكاتور المستعرض Transfers Mercator أو اختصارا TM وليس نظام ميريكاتور المستعرض العالمي المعروف باسم UTM. ندخل مجلد National Grids لعرض النظم المحلية (وليست العالمية) للإحداثيات:



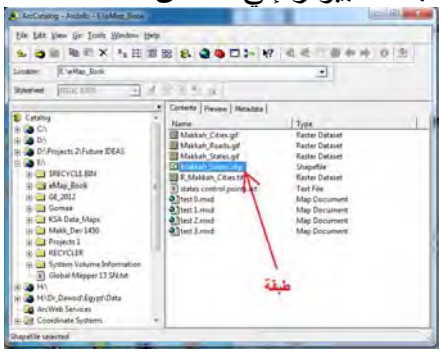
وبداخله نجد الشرائح المصرية:



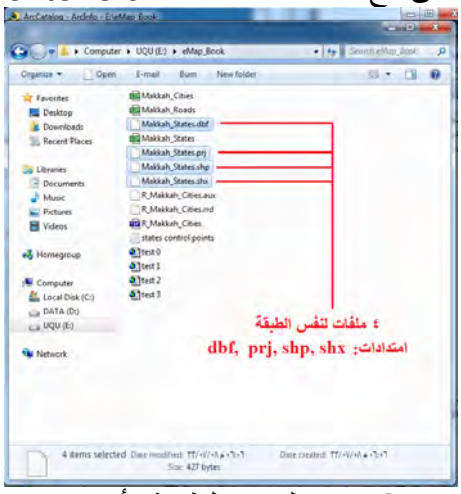
وبناءا علي موقع المنطقة الجغرافية نختار الشريحة المناسبة.

٢٢-٣-٣ نسخ طبقة

يتعامل (أو بمعني أدق يعرض) برنامج Arc Catalogue الطبقة كأنها ملف واحد فقط مما يجعل المستخدم المبتدئ يظن أن بإمكانه استخدام أمر "نسخ copy" من برنامج الويندوز لنسخ الطبقة من مجلد لآخر أو من القرص الصلب للكمبيوتر إلي الفلاش.



في حقيقة الأمر فأن الطبقة shapefile تتكون من مجموعة من الملفات (من ٤ إلي ٧ طبقا لخصائصها) كلهم بنفس الاسم لكن مع اختلاف الامتداد extension:



فعند استخدام برنامج Arc Catalogue لنسخ الطبقة فأنه يقوم بنسخ جميع ملفاتها إلي المكان المطلوب، بينما نسخ ملف shp فقط باستخدام أوامر الويندوز لن يكون سليما ولن يستطيع برنامج Arc Map فتح هذا الملف (هذه الطبقة) دون باقي ملفاتها.

٢٢-٤ الترقيم أو رسم مظاهر الخريطة

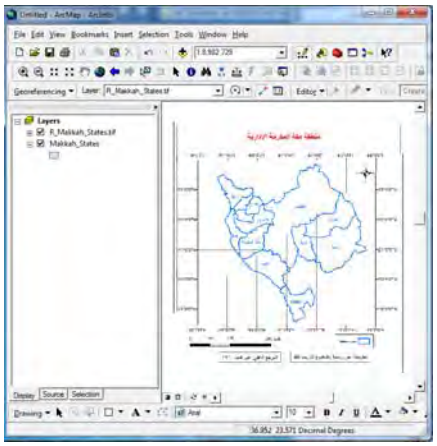
إن فكرة الترقيم من الشاشة on-screen digitizing تماثل ما يفعله الأطفال عند بدء تعلمهم الرسم وهم في الصغر. فالطفل يأتي بالصورة الأصلية ويضع فوقها ورقة شفاف ويبدأ رسم ما يظهر من الصورة علي ورقة الشفاف هذه حتى لا يؤثر علي الصورة الأصلية. هذا بالضبط ما سنقوم به في إنتاج الخرائط الرقمية! نحن لدينا صورة من الخريطة الأصلية (ممسوحة ضوئيا scanned) وقمنا بإنشاء ملف طبقة shapefile سيماثل ورقة الشفاف، وسنفتح كلاهما في مشروع واحد وبدلا من المرسمة (القلم الرصاص) سنستخدم الماوس لنرسم – في الطبقة – نسخة

طبق الأصل من معالم صورة الخريطة. لكن ربما يتبادر للذهن سؤال: لماذا نفعل ذلك؟ لماذا لا نتعامل مباشرة مع صورة الخريطة؟. الإجابة تكمن في كلمة **"صورة"**، فبرنامج Arc GIS (مثله مثل أي برنامج كمبيوتر) يتعامل مع مخرجات الماسح الضوئي علي أنها "صورة"، أي لا يمكن التمييز بين معالمها. فمثلا البرنامج لا يستطيع أن يميز أو يفرق بين مضلع و آخر في صورة الخريطة التعليمية الأولي (شكل ٢٢-٢) ولا يستطيع معرفة حدود محافظة معينة ولا يستطيع حساب مساحة هذه المحافظة. فبالنسبة للبرنامج هذه ليست "خريطة" إنما هي "صورة" الخريطة، أي مثلها مثل أي صورة فوتوغرافية. لذلك فنحن بحاجة إلي نسخة رقمية من هذه الصورة، نسخة يستطيع البرنامج أن يميز بين معلم و آخر ويستطيع التعامل مع كل معلم بها بأبعاده و مميزاته الجغرافية الحقيقية (مسافات و أبعاد و مساحات ... الخ).

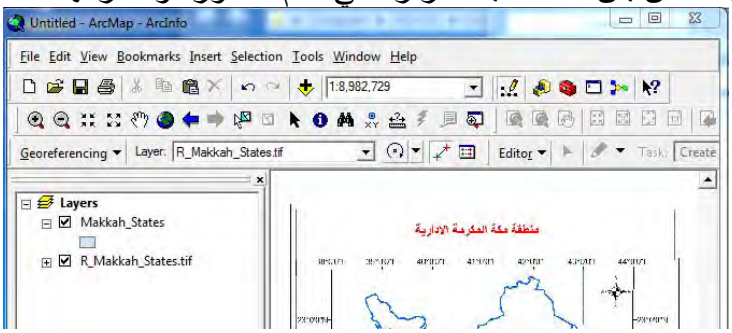
تجدر الإشارة لوجود أجهزة ماسحات ضوئية scanners عالية التقنية تستطيع أثناء عملية المسح الضوئي أن تميز بين معالم الخريطة المطبوعة (من خلال التمييز بين درجة الانعكاس الضوئي واختلافها من معلم لآخر) وبالتالي فأن هذا النوع من الأجهزة ينتج نسخة رقمية (وليست صورة) من الخريطة الأصلية المطبوعة. لكن المشكلة أن هذه الأجهزة غالية الثمن جدا ومن الصعب توافرها للمستخدم البسيط. من هنا فأننا نلجأ لأجهزة الماسح الضوئي البسيطة (الرخيصة السعر) مع أنها تنتج "صورة" للخريطة المطبوعة، ثم نقوم بأنفسنا برسم معالم هذه الصورة في ملف رقمي في الكمبيوتر من خلال عملية الترقيم digitizing، فبذلك نكون قد خفضنا بشدة من تكلفة الأجهزة المطلوبة في مقابل زيادة الوقت والجهد قليلا في إتمام عملية الترقيم ذاتها من الشاشة.

٢٢-٤-١ ترقيم المضلعات

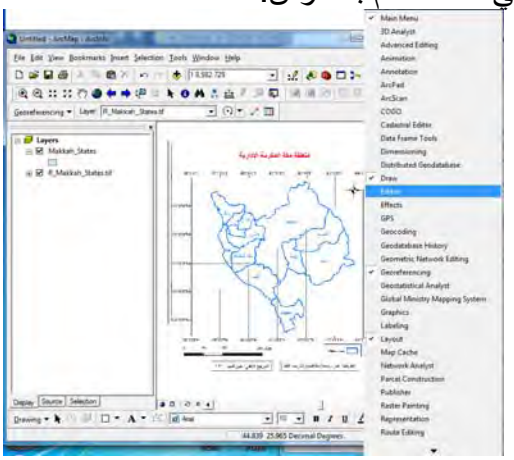
نفتح برنامج Arc Map ونضيف (باستخدام أيقونة) صورة الخريطة التعليمية الأولي الصورة المرجعة Rectify (التي قمنا بها في التمرين الأول). لإضافة طبقة Makkah_States (التي قمنا بانشاؤها في برنامج Arc Catalogue كطبقة مضلعات) يمكن استخدام نفس الإيقونة أو يمكن – في حالة أن برنامج Arc Catalogue مازال مفتوحا معنا علي الشاشة- أن نضغط بالماوس باستمرار علي هذه الطبقة ولا نتركها إلا في جزء قائمة المحتويات من برنامج Arc Map، وهذه الطريقة تسمي السحب والإفلات Drag and Drop.



نري في الجزء الأيسر من الشاشة (قائمة المحتويات) أسم الصورة ثم تحتها أسم الطبقة. بينما نري في الجزء الأيمن (نافذة البيانات) المعالم الجغرافية لصورة الخريطة فقط حيث أن الطبقة مازالت فارغة وليس بها أي معالم. أما من حيث الترتيب فأن المنطقي أن تكون الطبقة (تماثل ورقة الشفافة) أعلي من الصورة (ألتي نريد شف محتوياتها)، لذلك نضغط بالماوس باستمرار علي اسم الطبقة و نحركها لأعلي، أو العكس بأن نضغط باستمرار علي اسم الصورة و نحركها لأسفل:

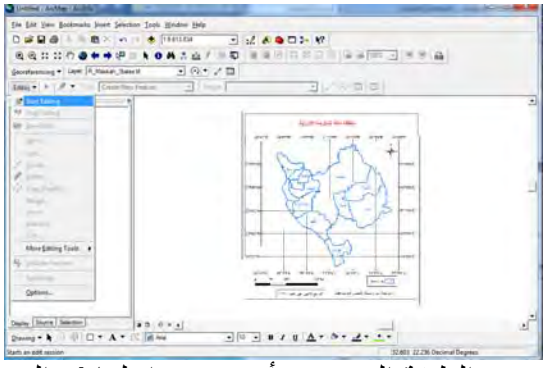


نلاحظ أيضا أنه يوجد مستطيل صغير تحت اسم الطبقة، وهذا يدلنا علي نوع هذه الطبقة: أي أن هذه الطبقة من نوع المضلعات (ليست نقاط ولا خطوط). في حالة أن شريط أدوات الترقيم غير ظاهر علي شاشة برنامج Arc Map، فنضغط بالماوس الأيمن في أي جزء من أعلي البرنامج (الجزء الرمادي) فتظهر قائمة كل شرائط الأدوات فان لم تكن هناك علامة "صح" أمام اسم شريط أدوات Editor فنضغط علي هذا الاسم بالماوس:



فيظهر لنا شريط أدوات التعديل Editing (وهو الخاص بعملية الترقيم أو الرسم داخل الطبقات):

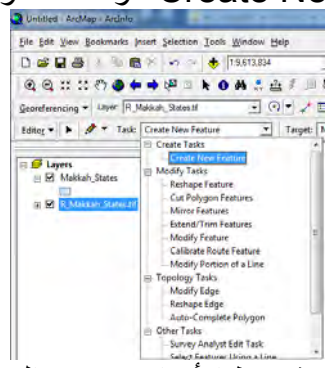
كما نلاحظ أن جميع الأيقونات بهذا الشريط غير نشطة أو فعالة Not Active. لتفعيل عملية التعديل (الترقيم) نضغط علي أيقونة Editor في شريط الأدوات ثم نختار أمر "بدء التعديل Start Editing" :



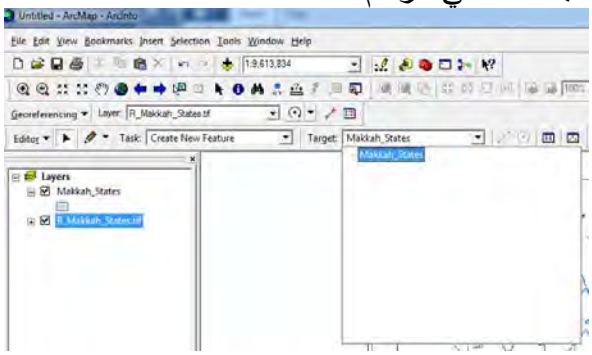
نلاحظ أن البرنامج لم يسأل عن الطبقة التي نريد أن نرسم داخلها ! والسبب أن المشروع الحالي لا يحتوي إلا علي طبقة واحدة فقط (في حالة وجود أكثر من طبقة بالمشروع ستظهر نافذة للاختيار).

أهم نقطتين يجب ملاحظتهما قبل البدء الفعلي في الرسم هما:

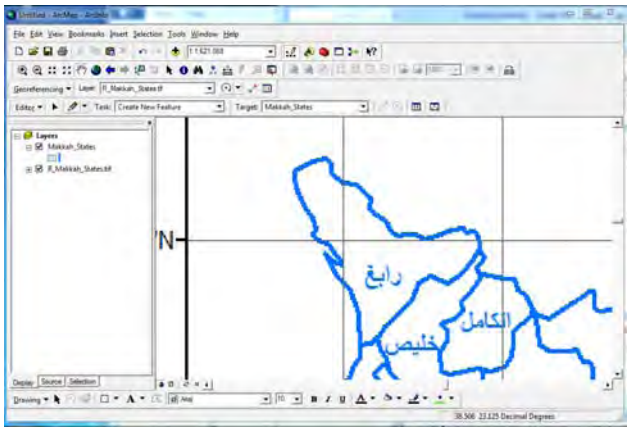
١. أيقونة العملية Task في شريط الأدوات: نجد في المثال الحالي أن الاختيار أمامها هو أمر Create New Feature أي رسم معلم جديد. هناك أوامر أخري في هذه الأيقونة سنتعامل معهم لاحقا، لكن طالما أننا سنبدأ فعلا في رسم المعالم الجديدة في الطبقة فيجب أم نتأكد أن أمر Create New Feature هو فعلا الموجود أمام كلمة Task.



٢. أيقونة الهدف Target في شريط الأدوات: وهي التي تحدد أسم الطبقة التي سيتم بها التعديل أو الترقيم. في حالة وجود أكثر من طبقة في المشروع فيجب أن نختار الطبقة المطلوبة قبل أن نبدأ فعلا في الرسم.



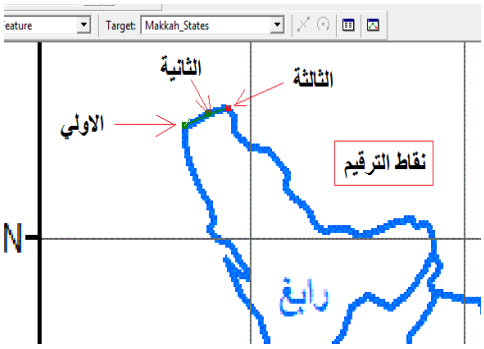
الآن نبدأ أولي خطوات الترقيم (نسخ معالم صورة الخريطة إلي الطبقة) ولكي يكون الترقيم دقيقا يجب أن نكبر أول جزء من الصورة وليكن مثلا أننا سنبدأ من الركن الشمالي الغربي للخريطة عند محافظة رابغ. نستخدم أيقونة التكبير لعرض هذا الجزء:



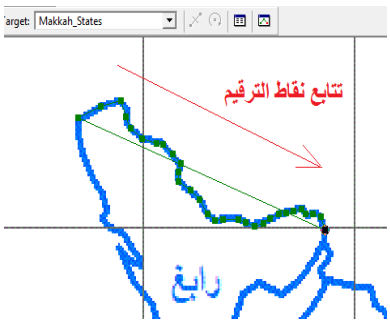
تتكون عملية الترقيم (رسم مضلع يمثل محافظة رابغ) من:

- ضغط أيقونة الرسم لبدء رسم المضلع
- تغير شكل الماوس ليصبح حتى يسهل علي المستخدم تحديد نقطة الرسم.
- نبدأ من أي نقطة (اختيارية) علي هذا المضلع ونضغط الماوس اليسار
- اتجاه السير (أثناء الترقيم) أيضا اختياريا فإما أن ندور مع حركة عقرب الساعة أو ضده. نتحرك بالماوس قليلا وعلي الخط - الذي يمثل حدود المضلع – نضغط الماوس اليسار مرة ثانية.
- نلاحظ أن البرنامج قد رسم خطا يصل بين هاتين النقطتين.
- نستمر في التحرك للنقطة الثالثة ثم الرابعة .... الخ علي نفس الخط الذي يمثل حدود المضلع
- المسافة بين كل نقطتين تعتمد علي مدي تعرج - أو استقامة – المضلع الأصلي الذي نقوم بترقيمه، فكلما كانت تعرج المضلع كثيفا كلما قللنا المسافة بين كل نقطتين لأن: (أ) البرنامج يصل بين النقطتين بخط مستقيم، (٢) أننا نريد ترقيم أو شف صورة الخريطة الأصلية في نسخة طبق الأصل منها.
- بالطبع يمكننا استخدام أيقونة التكبير كلما دعت الحاجة لذلك حتى نري تفاصيل صورة الخريطة الأصلية بدرجة تجعل الترقيم الذي نقوم به يماثل الأصل بأكبر درجة ممكنة. وبعد التكبير نقوم باختيار أيقونة الرسم مرة أخري لاستكمال الترقيم.
- إذا حدث أن ضغطنا الماوس (وضعنا نقطة) في موقع خطأ فماذا نفعل؟ نضع الماوس أعلي مكان هذه النقطة بالضبط ثم نضغط الماوس الأيمن فتظهر قائمة نختار منها أمر Delete Vertex لحذف هذه النقطة.

- بنفس هذه الخطوات نستمر في ترقيم – رسم – المضلع الذي يمثل محافظة رابغ حتى نصل تقريبا إلي النقطة التي بدأنا منها فنضغط الماوس الأيسر مرتين متتاليتين (دوبل كليك double click).
- نري الآن مضلع جديد قم تم رسمه يكاد يماثل تماما محافظة رابغ في صورة الخريطة.

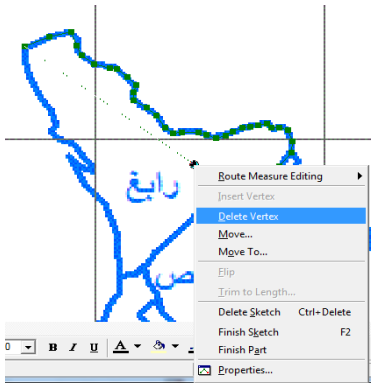


١



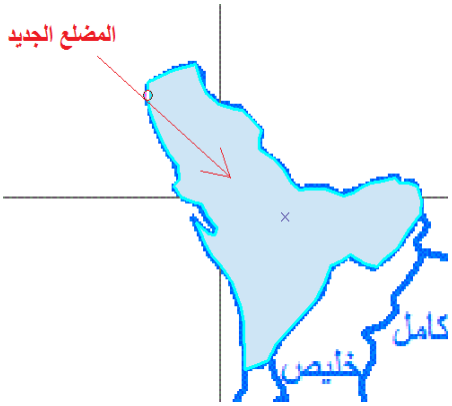
٢

٣



٤

٥



٦

الآن سنقوم بتكرار نفس الخطوات لترقيم مضلع آخر (محافظة أخري) لكن بشرط – مؤقتا في هذا التمرين – ألا يكون هناك تلاصق أو تلامس أو حدود مشتركة بين المضلع الجديد والمضلع القديم.
مثال: خطوات ترقيم محافظة مكة المكرمة:

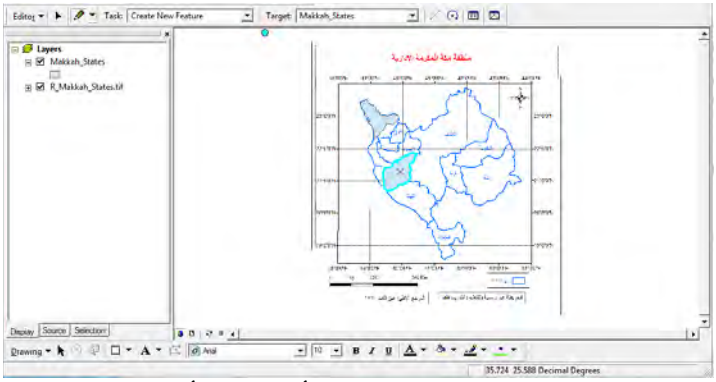
١

٢

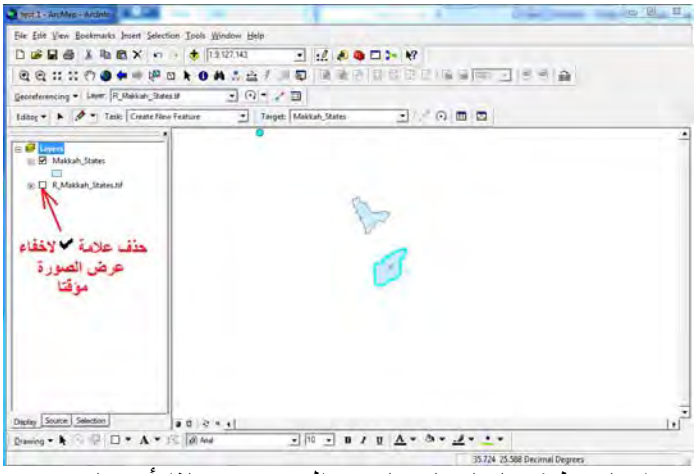
٣

٤

إذا استخدمنا أيقونة الامتداد الكلي فسنجد شكل المشروع حتى الآن به مضلعين عند كلا من محافظة رابغ و محافظة مكة المكرمة:

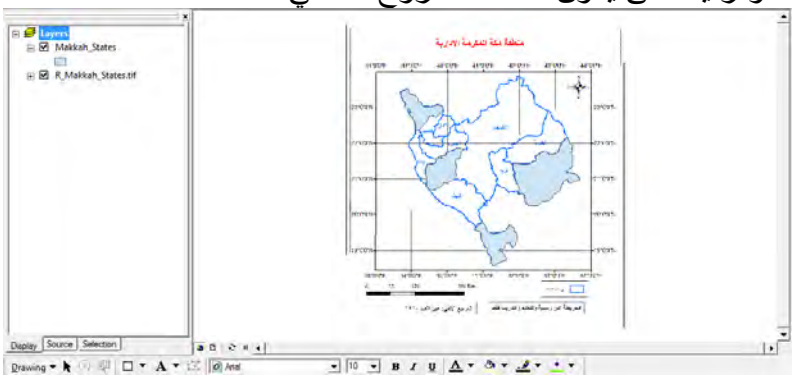


في الشكل السابق نري كلا من صورة الخريطة الأصلية و أيضا الطبقة معروضتين في نافذة البيانات (الجزء الأيمن من الشاشة)، فإذا أردنا فقط رؤية أو عرض الطبقة فقط فأننا تضغط علي علامة "صح" الموجودة أمام اسم الصورة R_Makkah_States.tif في قائمة المحتويات (الجزء الأيسر من الشاشة) فتختفي الصورة ولا يبقي إلا الطبقة:

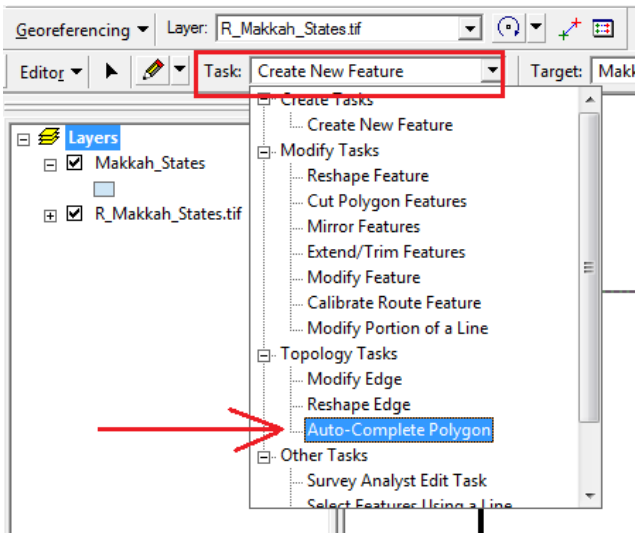


نحن لم نحذف الصورة إنما فقط قمنا باخفاؤها من العرض، فإذا أردنا عرضها مرة أخري فنقوم بالماوس بوضع علامة "صح" أمام أسمها في قائمة المحتويات.

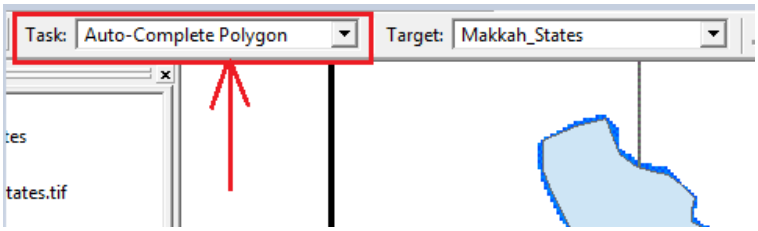
نقوم الآن بترقيم (رسم) عدة محافظات أو مضلعات أخري (غر متجاورة أو متلامسة مؤقتا) مثل محافظات القنفذة و رنية حتى يكون شكل المشروع كالتالي:



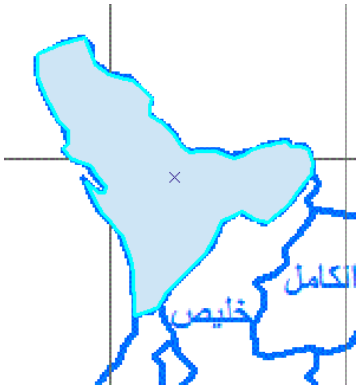
الآن سنبدأ في ترقيم (رسم) المضلعات المتلامسة أو التي بينها حدود مشتركة، فمثلا محافظة خليص لها حدود مشتركة مع محافظة رابغ التي قمنا بترقيمها. مهما حاول المستخدم أن يرسم (يرقم مرة أخري) الحد الفاصل أو المشترك بين هذين المضلعين فلن يكون دقيقا بنسبة ١٠٠% وسيكون هناك نسبة خطأ (أو منطقة فاصلة) بين حد محافظة رابغ و حد محافظة خليص. برنامج Arc Map به أمر منفصل لاستكمال مضلع بصورة آلية، بمعني أن المستخدم سيرسم الحدود الخارجية - غير المشركة- للمضلع الجديد بينما سيقوم البرنامج بنفسه برسم الحد المشارك مع المضلع القديم بصورة آلية سليمة تماما. هذا الأمر أسمه **Auto-Complete Polygon أي إكمال مضلع آليا** وهو أحد أوامر أيقونة Task في شريط أدوات التعديل:



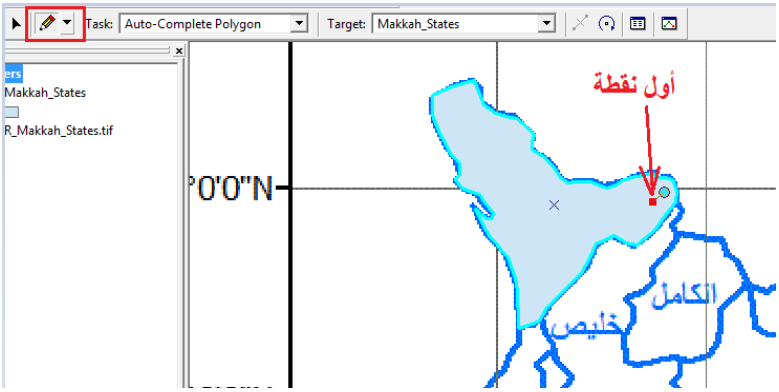
وعند اختيار هذا الأمر سيكون هو الأمر الحالي في الترقيم (الرسم) بدلا من أمر Create New Feature الذي كنا نستخدمه في رسم المضلعات السابقة:



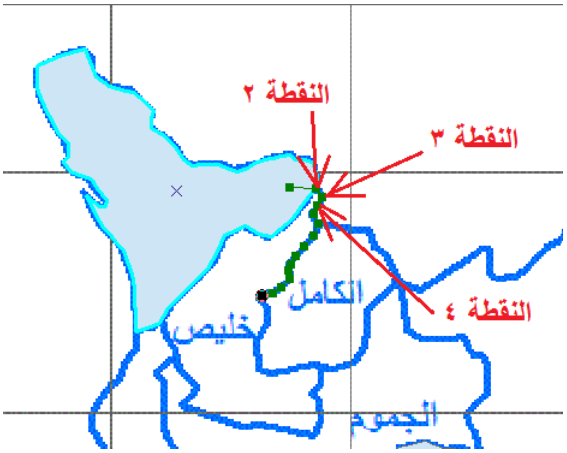
يجب علينا – في الخطوة الأولي – تعريف البرنامج بالمضلع القديم الذي له حد مشترك مع المضلع الجديد الذي سنقوم برسمه، ويتم ذلك باستخدام أيقونة الاختيار من شريط أدوات التعديل (الموجودة علي يسار أيقونة Editor) وبمجرد اختيار هذه الأيقونة سيتغير شكل مؤشر الماوس إلي المثلث الأسود، فنذهب لمضلع محافظة رابغ علي الطبقة (المضلع القديم أو الموجود فعلا) ونضغط الماوس الأيسر فيصبح هذا المضلع هو المختار (عليه حدود باللون الأزرق الفاتح):



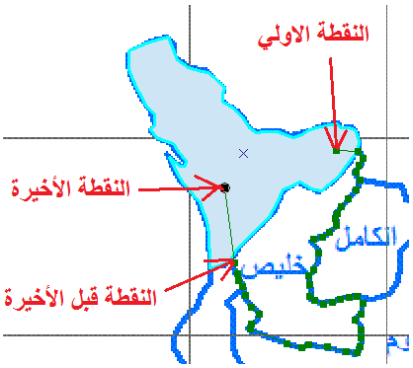
نختار الآن أيقونة الرسم لبدء الترقيم، و نبدأ الترقيم (أول نقطة) من داخل المضلع القديم:



تكون النقطة الثانية علي أول الحد الفاصل (المشترك) ثم تتوالي النقاط علي امتداد المضلع الجديد:



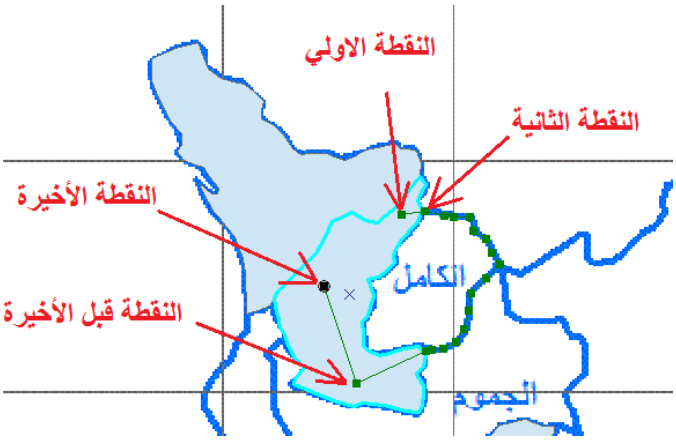
وهكذا يستمر الترقيم (رسم حدود محافظة خليص) حتى الوصول لبداية الحد المشارك مرة أخري من الجهة المقابلة، ثم تكون آخر نقطة ترقيم داخل المضلع القديم مرة أخري:



الآن نضغط الماوس الأيسر ضغطتين متتاليتين (دوبل كليك) لإتمام عملية ترقيم المضلع الجديد الذي سيظهر لنا علي الشاشة:

نلاحظ أن البرنامج قد قام برسم الحد المشترك (بين المضلعين القديم و الجديد) بصورة آلية دون أن نقوم نحن بترقيم هذا الحد المشترك ، وطبعا السبب أننا نستخدم الآن أمر Auto-Complete Polygon أي إكمال مضلع آليا.

كتجربة أخري سنقوم بتكرار نفس الخطوات لرسم مضلع (محافظة) الكامل والذي له حد مشترك مع مضلع (محافظة) خليص. طالما أن مضلع خليص (الذي سيكون المضلع القديم الآن) هو فعلا المختار (مظلل باللون الأزرق الفاتح علي حدوده) فنحن لسنا في حاجة لاختياره من جديد باستخدام أيقونة الاختيار وسنبدأ الترقيم مباشرة: نبدأ أول نقطة داخل المضلع القديم (محافظة خليص) ثم النقطة الثانية عند بداية الحد المشترك ثم تتوالي النقاط علي مضلع محافظة الكامل بنفس الطريقة السابقة حتى نرسم حدودها كصورة طبق الأصل من صورة الخريطة (لا تنسي استخدام أيقونة التكبير كلما دعت الضرورة لذلك). عند الوصول إلي بداية الحد المشترك من الجهة الأخرى نضع نقطة جديدة داخل المضلع القديم (خليص) لكننا نلاحظ أن هذه النقطة (قبل الأخيرة) ستتصل بخط مستقيم مع أول نقطة وهذا الخط ربما سيقطع جزء من الحد المشترك، لذلك نقوم بوضع نقطة ترقيم أخري (النقطة الأخيرة) أقرب للنقطة الأولي التي بدأنا منها:



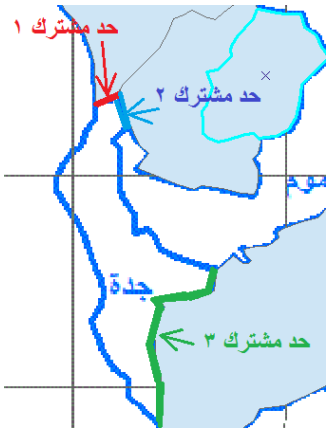
عند النقطة الأخيرة نضغط ضغطتين متتاليتين فنحصل علي المضلع الجديد لمحافظة الكامل (دون أن نرسم بأنفسنا الحد المشترك بينه و بين مضلع خليص السابق):

ماذا لو قمنا برسم مضلع بصورة خطأ؟ مثلا إذا كانت النقطة الأخيرة في المضلع في غير مكانها الصحيح وضغطنا دوبل كليك فقام البرنامج برسم مضلعين وليس مضلع واحد للمحافظة الجديدة الكامل؟:

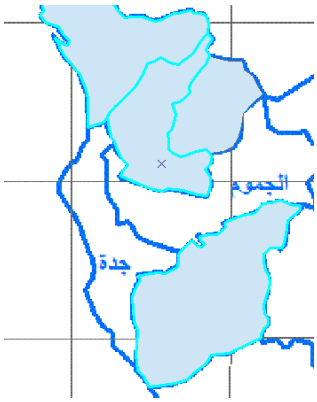
في هذه الحالة (طالما أن المضلعين الخطأ هما المختارين والمظللين بالأزرق الفاتح) نستخدم أيقونة الاختيار ثم نضغط الماوس الأيمن ومن القائمة نختار أمر Delete لحذف هذين المضلعين:

فيتم حذف المضلعين (الخطأ) ثم نعيد خطوات الترقيم من جديد.

بنفس هذه الطريقة يمكننا إتمام عملية الترقيم لأي مضلع (محافظة) في التمرين. لكن تواجهنا أحيانا مشكلة أن بعض المضلعات (المحافظات) لها أكثر من حد مشترك مع مضلعات قديمة سبق ترقيمها. علي سبيل المثال إذا أردنا ترقيم (رسم) مضلع محافظة جدة سنجد أن له حد مشترك مع محافظة رابغ و حد مشترك مع محافظة خليص وأيضا له حد مشترك مع محافظة مكة المكرمة:



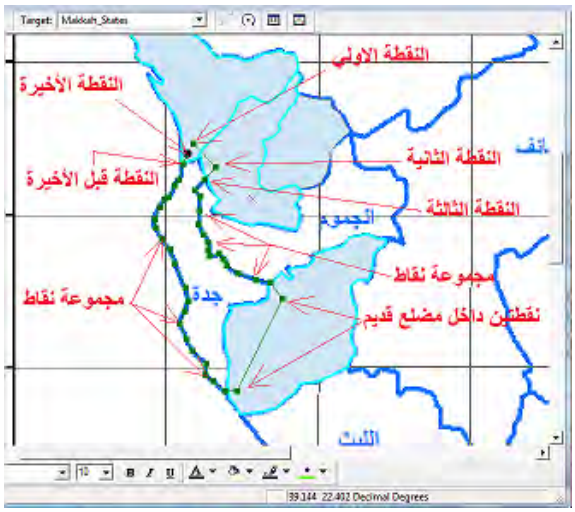
في هذه الحالة علينا اختيار المضلعات (القديمة) الثلاثة لكي يعرف البرنامج أن المضلع الجديد المطلوب إنشاؤه له ٣ حدود مشتركة مع ٣ مضلعات قديمة. باستخدام أيقونة الاختيار من شريط أدوات التعديل نختار بالماوس المضلع الأول (محافظة رابغ مثلا) ثم نضغط مفتاح Shift من لوحة مفاتيح الكمبيوتر باستمرار ثم نختار بالماوس المضلع الثاني و المضلع الثالث:



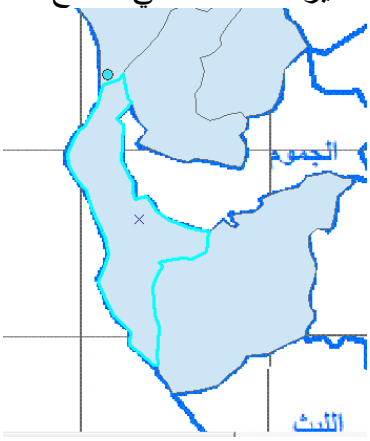
نبدأ خطوات ترقيم مضلع (محافظة) جدة:

- نختار أيقونة الرسم
- أول نقطة: داخل المضلع القديم الأول (رابغ)
- ثاني نقطة: داخل المضلع القديم الثاني (الكامل)
- ثم عدة نقاط علي حدود مضلع جدة حتى نصل إلي الحد المشترك الثالث (بين جدة و مكة المكرمة)

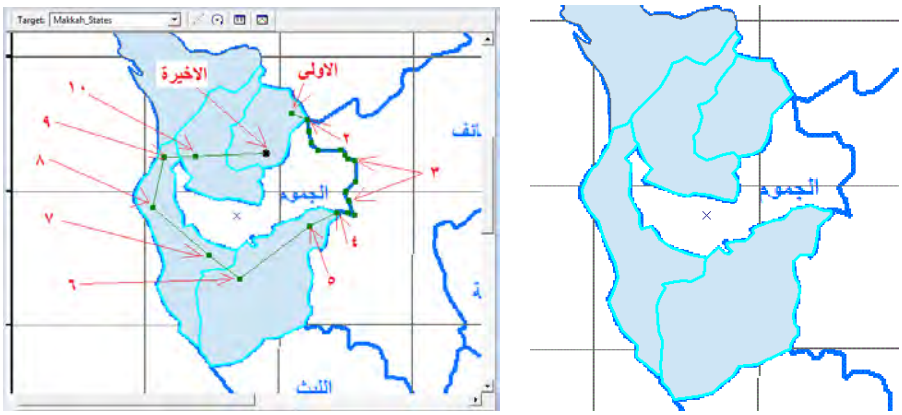
- نضع نقطتين داخل مضلع مكة المكرمة (القديم) واحدة قرب بداية الحد المشترك و الأخرى قرب نهاية هذا الحد
- نكمل ترقيم الجزء الأخير من مضلع جدة حتى نصل للحد المشترك الأول مرة أخري
- نضع آخر نقطة داخل مضلع رابع بالقرب من نقطة البداية التي بدأنا الترقيم منها



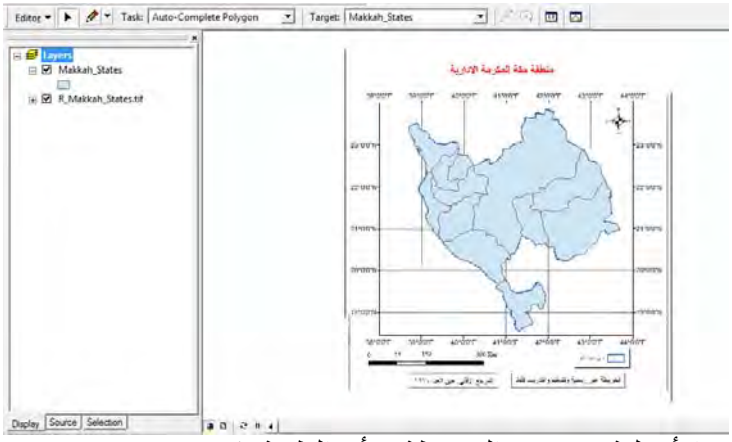
ثم نضغط دوبل كليك عند النقطة الأخيرة فنحصل علي مضلع محافظة جدة:



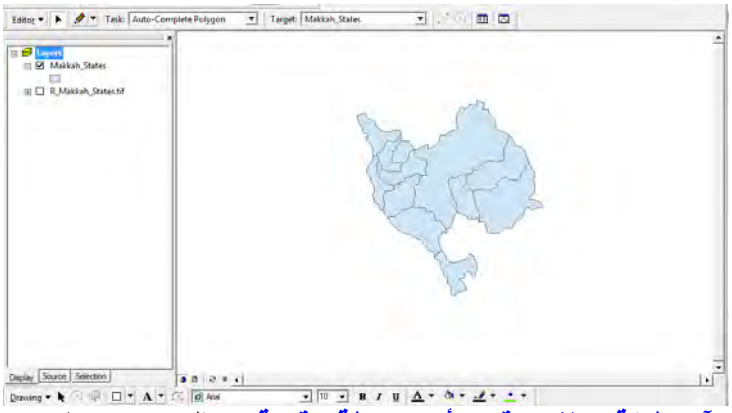
بنفس الأسلوب نكمل ترقيم باقي المضلعات، فمثلا محافظة الجموم سيكون لها ٤ حدود مشتركة سنختارهم بنفس الأسلوب، ثم نرقم (نرسم) المضلع بنفس الطريقة السابقة:



يستمر العمل في هذا التمرين حتى نكمل ترقيم (رسم) جميع المضلعات الأثنا عشر (١٢ محافظة) حتى تكون الطبقة في شكلها الأخير كالتالي:



و إذا أخفينا الصورة الأصلية (صورة الخريطة) فأن الطبقة تكون:



وبذلك يكون **لدينا الآن طبقة (ملف رقمي أو خريطة رقمية)** تمثل صورة طبق الأصل من الخريطة الأصلية المطبوعة لمحافظات منطقة مكة المكرمة الإدارية. لكن هذه الطبقة رقمية أي يمكن تغيير ألوانها و مقياس رسمها و كافة خصائصها الخرائطية (ولم نعد الآن بحاجة لصورة الخريطة الأصلية الممسوحة ضوئيا).

حفظ save الترقيم:

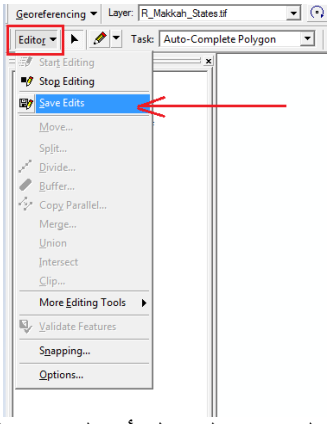
حتى الآن – في هذا التمرين – فقد قمنا بجزأين من العمل:

- أولا: قمنا بفتح مشروع جديد في Arc Map وأضفنا إليه كلا من صورة الخريطة و الطبقة.
- ثانيا: قمنا بالترقيم (أو الرسم أو التعديل Editing) في الطبقة.

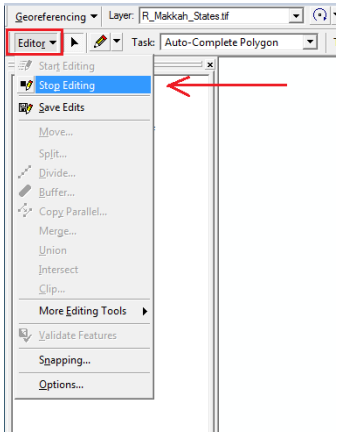
إذن للحفظ يلزمن أيضا خطوتين:

- حفظ التعديل
- حفظ المشروع

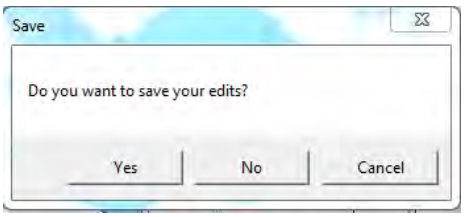
(أولا) نبدأ بحفظ الترقيم في الطبقة: من أيقونة Editor نختار أمر **Save Edits** لحفظ التغييرات التي قمنا بها داخل الطبقة:



طالما أننا قد انتهينا من كل خطوات الترقيم (التعديل أو الرسم) المطلوبة في هذه الطبقة فعلينا الآن **إيقاف التعديل Stop Editing** من شريط الأدوات:

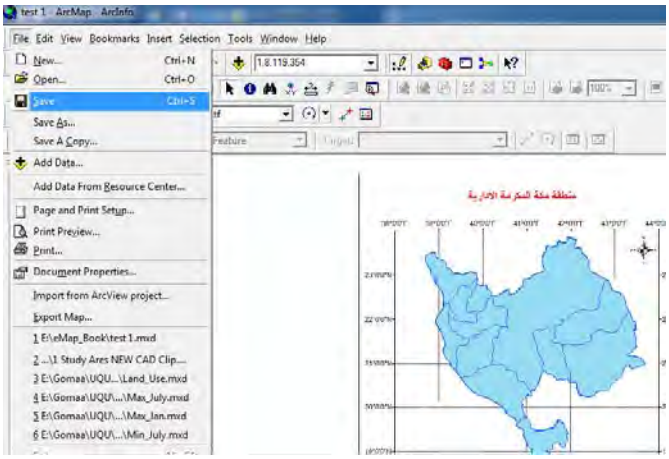


في حالة إعطاء أمر إيقاف التعديل Stop Editing ولم نكن قد قمنا بأمر الحفظ Save Edits فأن البرنامج سيسألنا – كتحذير – إن كنا نريد حفظ التعديلات أم لا:

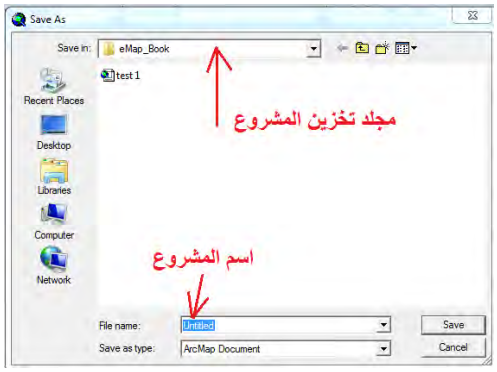


وبالطبع سنختار Yes لحفظ آخر تعديلات قد قمنا بها.

ثانيا: حفظ المشروع: من شريط الأدوات الرئيسي لبرنامج Arc Map: إما أن نضغط أيقونة الحفظ مباشرة أو أن نختار أمر Save من النافذة المنسدلة:



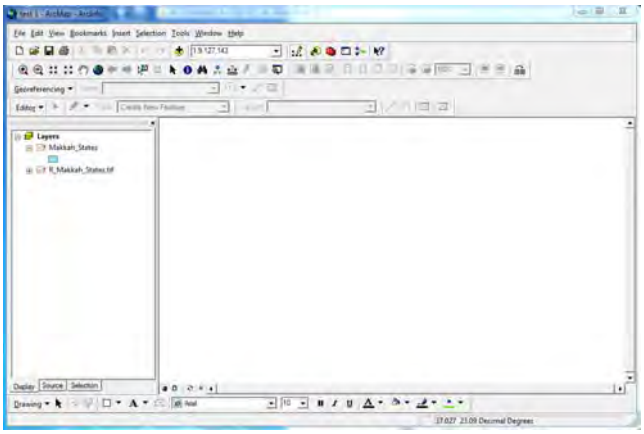
وحيث أننا لم نعطي أسم لهذا المشروع الجديد فيسألنا البرنامج عن أسم المشروع وعن موقع (مجلد) تخزينه علي الكمبيوتر:



في هذا الجزء الأخير من التمرين الثاني سنناقش **الفرق بين المشروع و الطبقة** في برنامج Arc Map، فالكثير من المستخدمين المبتدئين لا يعرفون هذا الفرق مما يسبب وقوعهم في بعض المشاكل.

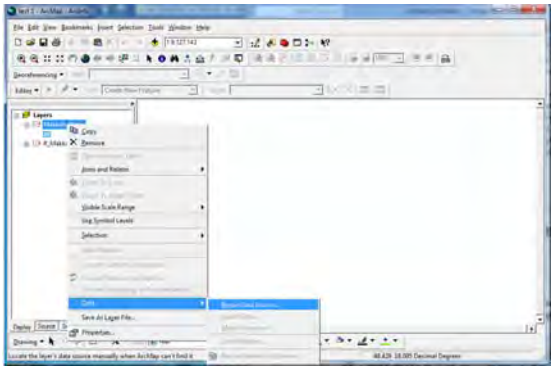
ملف المشروع هو ملف يحتوي معلومات عن مكونات المشروع، أي أسماء الطبقات التي يحتويها هذا المشروع و كيفية عرض كل طبقة أو صورة داخل المشروع. أي أننا يمكننا أن نتخيل **ملف المشروع كما لو كان "محتويات" كتاب**، ففي بداية أي كتاب توجد صفحة المحتويات و بها أسماء فصول الكتاب و عناوين الأشكال و الجداول التي يحتويها الكتاب. أما لكي نعرف المعلومات الحقيقية في الكتاب فيجب أن نطالع فصول الكتاب ذاتها ونقرأ ما بداخل كل فصل من الفصول. هذه الفصول هي "الطبقات". أيستطيع أي قارئ أن يعرف تفاصيل معلومات الكتاب فقط من قراءة محتوياته أم أنه يجب أن يقرأ كل فصل من فصول الكتاب؟

ملف الطبقة هو الملف الذي يحتوي تفاصيل المعالم المكانية المرسومة داخل الطبقة ذاتها، فهو الملف الذي بداخله نقوم بالرسم و التعديل والحذف ... الخ. فإذا حصلنا علي ملف المشروع (سنعرف محتوياته وما به من طبقات) وإذا حصلنا علي ملفات الطبقات التي يتكون منها هذا المشروع سنري تفاصيل كل ملف من هذه الطبقات. لكن ماذا إذا كان لدينا ملف مشروع ولم يكن لدينا ملفات الطبقات التي يتكون منها هذا المشروع:

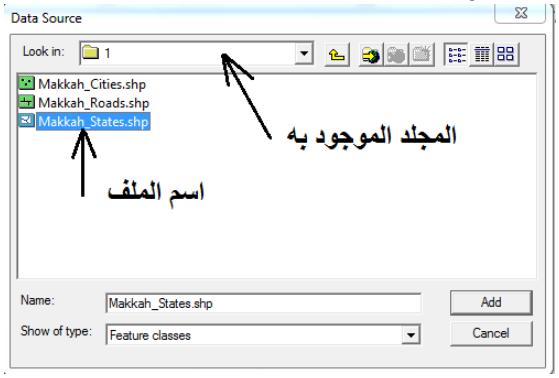


في قائمة المحتويات (الجزء الأيسر من الشاشة) توجد أسماء مكونات المشروع أي أننا نعرف أن هذا المشروع يتكون من صورة ممسوحة ضوئيا أسمها Makkah_States.tif وأيضا طبقة من نوع المضلعات أسمها Makkah_States. لكن في نافذة البيانات (الجزء الأيمن من الشاشة) لا يوجد أي معلومات معروضة. كما نلاحظ وجود علامة تعجب باللون الأحمر ☑! بجوار أسم الصورة و الطبقة. أس أن برنامج Arc Map من خلال ملف المشروع قد عرف مكونات هذا المشروع ومكان أو مجلد هذه الملفات علي الكمبيوتر (عندما حفظنا save المشروع في الخطوة السابقة) وبحث البرنامج عن هذه الملفات (الصورة و الطبقة) ولم يستطع أن يعثر عليهما في المجلد المحدد علي الكمبيوتر، وبالتالي فالبرنامج لا يستطع عرض تفاصيل الصورة و الطبقة. السبب هنا أني قد نقلت ملفات الصورة و الطبقة من المجلد الأصلي لهما إلي مجلد آخر علي الكمبيوتر، وبالتالي فبالبرنامج لا يعرف الموقع الجديد للملفات. ومثل هذه المشكلة يقع بها الكثير من المستخدمين المبتدئين، وأحيانا في الجامعة فأن الطلاب يرسلون لي ملفات المشروعات – دون ملفات الطبقات – لتقييم تمارينهم العملية ! وبالطبع لا تظهر لي الطبقات.

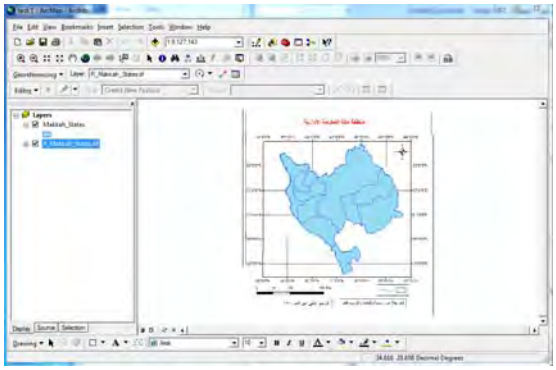
لحل هذه المشكلة نضغط بالماوس الأيمن علي أسم الطبقة ونختار – من القائمة – أمر Data ثم أمر **Repair Data Source إصلاح مصدر البيانات**:



ثم نحدد اسم و مجلد الملف المطلوب:



و بعد أن عرف برنامج Arc Map موقع ملفات الطبقة و الصورة فأنه يستطيع عرضهما في نافذة البيانات:

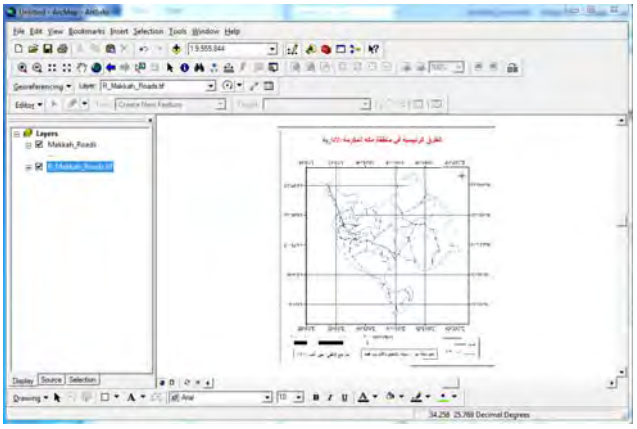


٢٢-٤-٢ ترقيم الخطوط

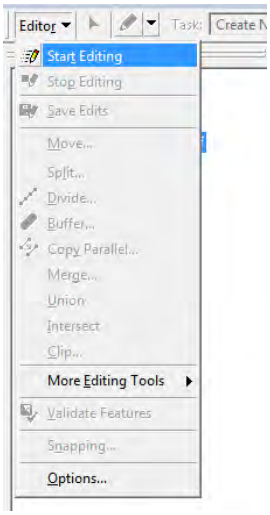
يعد ترقيم الخطوط أسهل من ترقيم المضلعات، فالخط المستقيم هو خط يصل بين نقطتين ومن السهل رسمه (ترقيمه) بسرعة، بينما إن كان الخط متعرجا فيجب ترقيم مجموعة من النقاط التي تحدد تفاصيل تعرجات هذا الخط.

نبدأ بفتح مشروع Arc Map جديد ونضيف (باستخدام أيقونة) الخريطة التعليمية الثانية (شكل ٢٢-٣) بعد تقويمها Rectify (وليكن أسمها مثلا R_Makkah_Roads) وأيضا

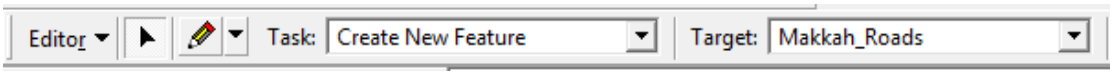
سنضيف طبقة الطرق التي قمنا بانشاؤها في الجزء السابق (وليكن أسمها مثلا Makkah_Roads). نلاحظ وجود خط تحت اسم الطبقة في قائمة المحتويات للدلالة علي أن هذه الطبقة من نوع طبقات الخطوط:



لبدء التعديل (الترقيم أو الرسم في الطبقة) نضغط أمر Start Editing من قائمة Editor في شريط أدوات التعديل:

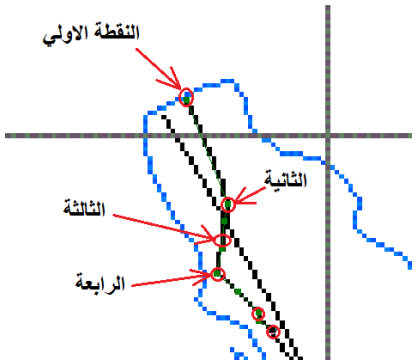


بالطبع سيكون أمر "إنشاء معلم جديد Create New Feature" هو الأمر النشط من قائمة العملية Task وستكون اسم طبقة الخطوط Makkah_Roads هو الظاهر أمام قائمة الهدف Target (فليس بالمشروع الحالي إلا طبقة سواها):

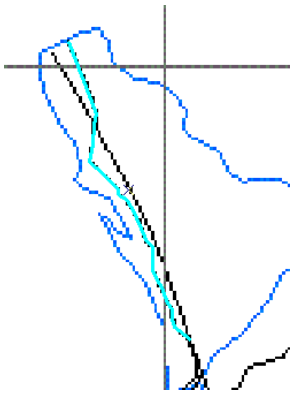


نلاحظ أن الطرق علي الصورة هي التي باللون الأسود بينما حدود المحافظات تظهر باللون الأزرق:

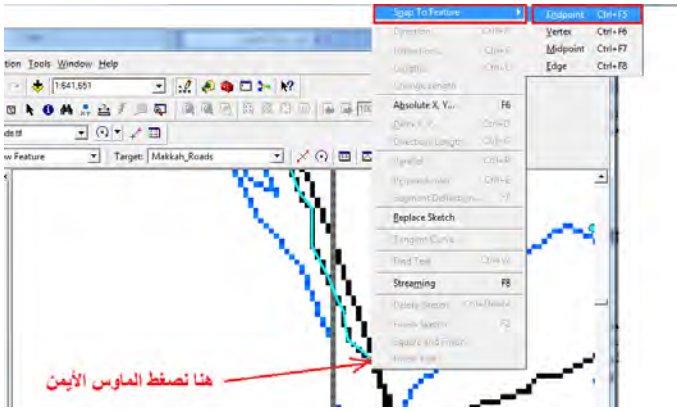
نستخدم أيقونة التكبير لتكبير أول جزء من صورة الخريطة الأصلية (وليكن مثلا الجزء الشمالي الغربي منها) ثم نبدأ الترقيم باستخدام أيقونة الرسم مثلما فعلنا في التمرين السابق، ونبدأ في وضع أول نقطة (بالماوس الأيسر) عند بداية أول طريق ثم نضع نقطة أخري في نهاية الجزء المستقيم منه ثم مجموعة من النقاط علي الجزء المتعرج من الطريق (ضمانا لشف أو رسم نسخة طبق الأصل من صورة الخريطة الأصلية الممسوحة ضوئيا):



نحرك الخريطة قليلا لأسفل (باستخدام أيقونة) حتى نري باقي هذا الطريق ثم نعيد تفعيل أيقونة الرسم ونستكمل رسم هذا الطريق. وفي نهاية الطريق نضغط الماوس الأيسر ضغطتين متتاليتين لإتمام عملية رسم هذا الطريق الذي سيظهر الآن باللون الأزرق الفاتح:

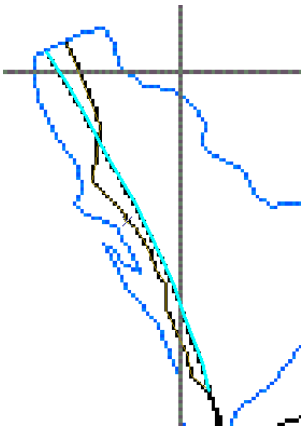


في نهاية هذا الطريق (الجزء الجنوبي) يوجد تقاطع مع طريق آخر، وعند بداية رسم الطريق الثاني فسيكون من الصعب علي المستخدم وضع نقطة بداية الطريق الثاني بالضبط ١٠٠% عند نهاية الطريق الأول. يوجد أمر من أوامر الرسم في برنامج Arc Map يسمح لنا بإتمام هذه العملية بصورة آلية: عند نهاية الطريق الأول (نقطة التقاطع بين الطريقين) نضغط الماوس الأيمن ومن القائمة المنسدلة نختار أمر **"Snap To Feature أي القفز إلي معلم معين"** ومنه نختار أمر **"Endpoint أي نقطة نهاية"** بمعني أننا نريد القفز إلي موقع نقطة نهاية الطريق الأول:

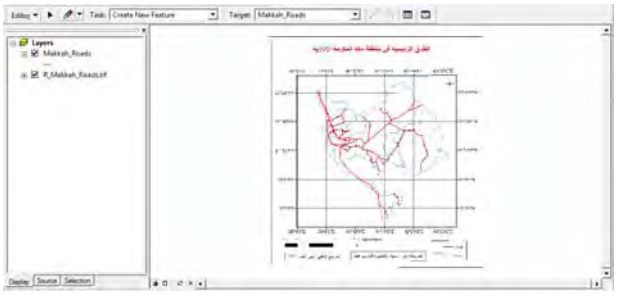


سنجد أن البرنامج قد قام بوضع أول نقطة للخط الجديد تماما في نفس موقع آخر نقطة من الخط القديم:

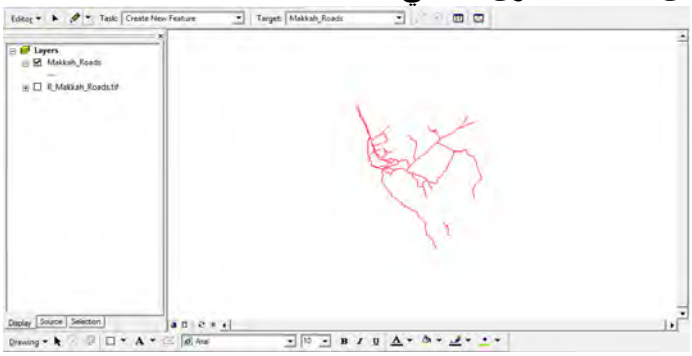
ثم نكمل ترقيم الخط الثاني حتى نهايته:



بهذه الخطوات البسيطة يمكننا إتمام عملية الترقيم (الرسم) لكافة الطرق في صورة الخريطة الأصلية حتى تكتمل معالم الطبقة الجديدة:

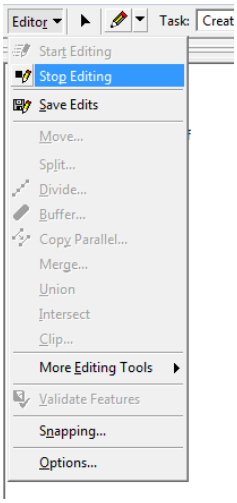


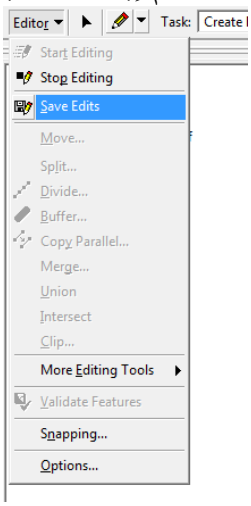
وإذا أخفينا صورة الخريطة الأصلية (بإلغاء علامة صح الموجودة أمام أسمها في قائمة المحتويات علي يمين الشاشة) فأن الطبقة ستكون كالتالي:



في نهاية التمرين علينا عمل خطوتي الحفظ save :

(أ) حفظ التعديل داخل الطبقة ثم إيقاف التعديل:



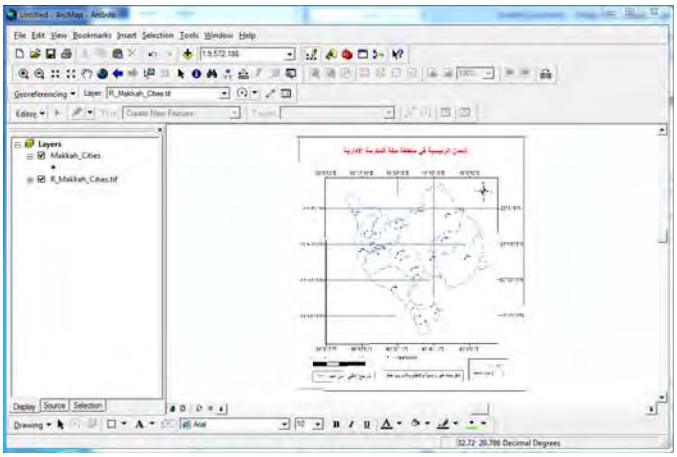


(ب) حفظ المشروع:

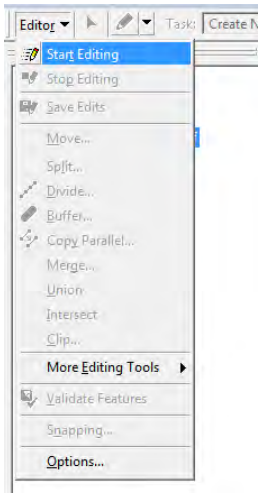
٢٢-٤-٣ ترقيم النقاط

يعد ترقيم النقاط أسهل و أسرع أنواع ترقيم المعالم الجغرافية، فالنقطة علي صورة الخريطة يتم تمثيلها كنقطة أيضا في الطبقة (بمجرد ضغطة ماوس).

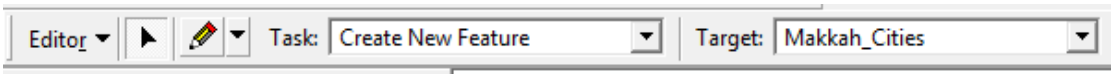
نبدأ بفتح مشروع Arc Map جديد ونضيف (باستخدام أيقونة) الخريطة التعليمية الثالثة (شكل ٢٢-٤) بعد تقويمها Rectify (وليكن أسمها مثلا R_Makkah_Cities) وأيضا سنضيف طبقة النقاط التي قمنا بانشاؤها في الجزء السابق (وليكن أسمها مثلا Makkah_Cities). نلاحظ وجود نقطة تحت اسم الطبقة في قائمة المحتويات للدلالة علي أن هذه الطبقة من نوع طبقات النقاط:



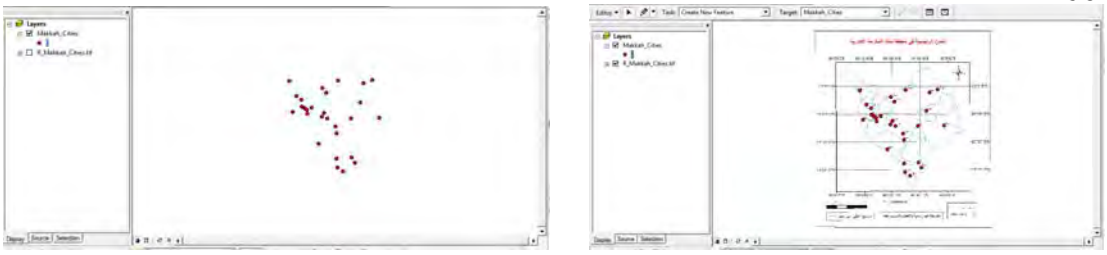
لبدء التعديل (الترقيم أو الرسم في الطبقة) نضغط أمر Start Editing من قائمة Editor في شريط أدوات التعديل:



بالطبع سيكون أمر "إنشاء معلم جديد Create New Feature" هو الأمر النشط من قائمة العملية Task وستكون اسم طبقة الخطوط Makkah_Cities هو الظاهر أمام قائمة الهدف Target (فليس بالمشروع الحالي إلا طبقة سواها):

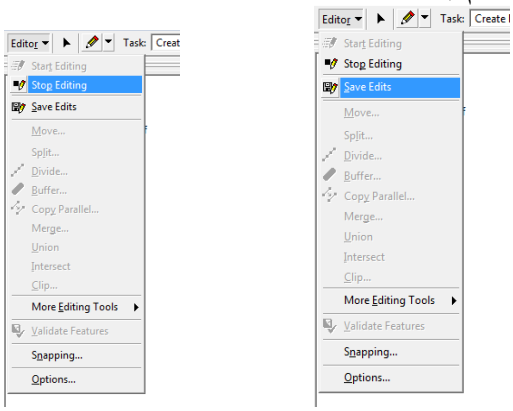


نستخدم أيقونة التكبير لتكبير أول جزء من صورة الخريطة الأصلية (وليكن مثلا الجزء الشمالي الغربي منها) ثم نبدأ الترقيم باستخدام أيقونة الرسم مثلما فعلنا في التمرين السابق، ونبدأ في وضع أول نقطة (بالماوس الأيسر) عند موقع أول مدينة في صورة الخريطة ثم النقطة الثانية عند المدينة الثانية .... وهكذا إلي أن نكمل ترقيم جميع النقاط (المدن) لتكون الطبقة في صورتها النهائية:



وطبعا في نهاية التمرين يجب علينا عمل خطوتي الحفظ save :

(أ) حفظ التعديل داخل الطبقة ثم إيقاف التعديل:



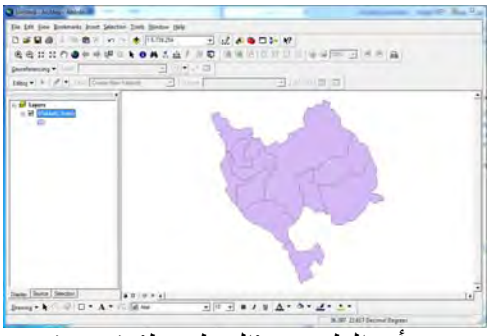
١ ٢

(ب) حفظ المشروع:

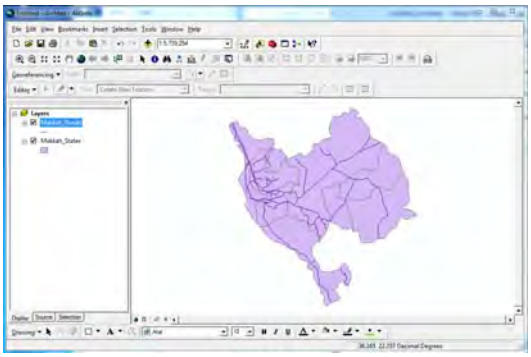
٢٢-٥ فتح عدة طبقات في مشروع واحد

كل طبقة من الطبقات الثلاثة التي تم إنشاؤهم – حتى الآن في التمارين السابقة – تغطي نفس المنطقة الجغرافية من سطح الأرض (منطقة مكة المكرمة الإدارية) وان كانت كل طبقة تحتوي نوع محدد من المعالم (محافظات و طرق و مدن). طالما أن برنامج Arc Map يعرف الإحداثيات الحقيقية لكل طبقة فيمكنه فتح جميع الطبقات في مشروع واحد.

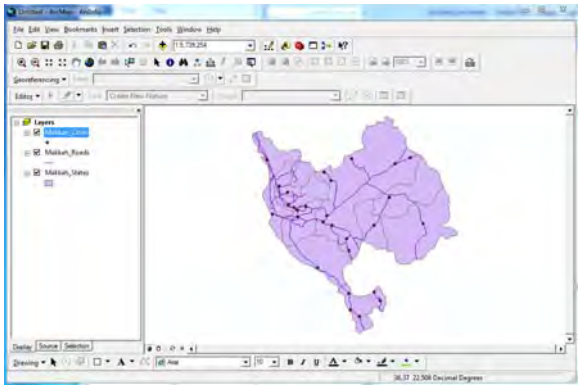
نفتح مشروع جديد ونضيف (باستخدام أيقونة) طبقة المحافظات (الطبقة و ليس صورة الخريطة):



ثم نضيف طبقة الطرق، فنجد أن الطرق (الخطوط) قد وقعت بالضبط فوق المضلعات (المحافظات):



إذا أضفنا طبقة المدن (النقاط) فسنجد أنها قد وقعت بالضبط فوق المضلعات (المحافظات) و الطرق (الخطوط):

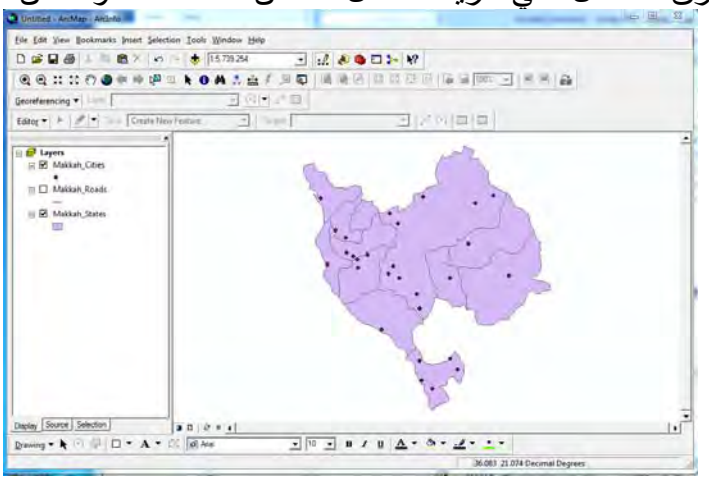


هذه أهم مميزات تقنية الخرائط الرقمية (خرائط الحاسوب) فنحن قد قمنا بإنشاء ٣ ملفات لثلاثة خرائط مختلفة المعالم، إلا أننا نستطيع فتحهم جميعا في مشروع واحد لنحصل علي خريطة رقمية جديدة تضم كل أنواع المعالم الجغرافية لهذه المنطقة. أي يمكننا – الآن – طباعة عدة خرائط جديدة بأي مقياس رسم نريده كالآتي:

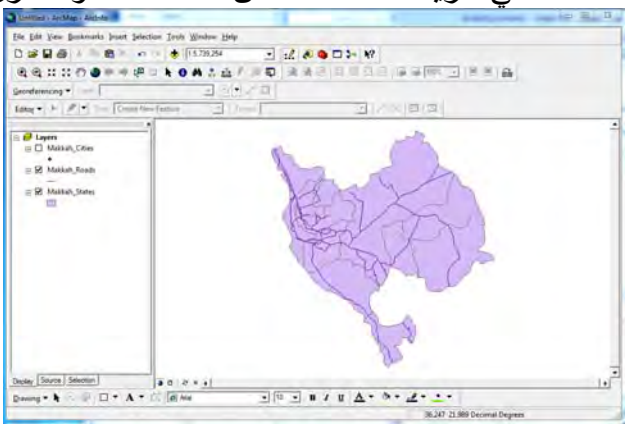
١. خريطة لمحافظات مكة المكرمة
٢. خريطة لطرق مكة المكرمة
٣. خريطة لمدن مكة المكرمة
٤. خريطة لمحافظات و طرق مكة المكرمة
٥. خريطة لمحافظات و مدن مكة المكرمة
٦. خريطة لطرق و مدن مكة المكرمة
٧. خريطة لمحافظات و طرق و مدن مكة المكرمة

ويتم ذلك عن طريق إخفاء أو إظهار الطبقة (أو الطبقات) المطلوب إظهارها علي الخريطة بالتحكم في علامة "صح" الموجودة أمام اسم كل طبقة في قائمة المحتويات (الجزء الأيمن من الشاشة):

إذا أخفينا طبقة الطرق فنحصل علي خريطة تشمل كلا من المحافظات و المدن فقط:



إذا أخفينا طبقة المدن فنحصل علي خريطة تشمل كلا من المحافظات و الطرق فقط:

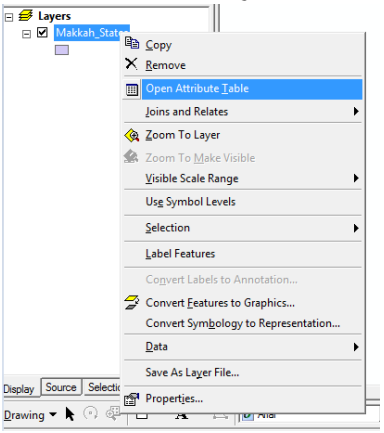


٦-٢٢ قاعدة البيانات غير المكانية

حتى هذا الجزء من الفصل الحالي فكل ما تناولناه هو البيانات المكانية (الإحداثيات و الموقع) للمعالم الجغرافية. لكن كما سبق الذكر في الجزء النظري من هذا الكتاب فأن الخريطة (مطبوعة كانت أو رقمية) تحمل نوعا آخر من البيانات وهي البيانات غير المكانية للظواهر مثل أسماء الشوارع و الأحياء و المدن ونوع التربة و نوع التكوين الجيولوجي .... الخ. نبدأ الآن في معرفة كيفية التعامل مع البيانات غير المكانية للمعالم الجغرافية في أي طبقة.

يتعامل برنامج Arc Map مع الطبقة (ملف الخريطة الرقمية) بأسلوبين متكاملين: (أ) جزء يتعامل مع البيانات المكانية لمحتويات الطبقة وهو ما نفذناه بالفعل في التمارين السابقة من رسم (ترقيم) للمعالم الجغرافية، (ب) قاعدة بيانات غير مكانية للمعالم الجغرافية للطبقة. عند إنشاء طبقة جديدة (في برنامج Arc Catalogue) فأن الطبقة تتكون من مجموعة من الملفات، ويكون أحد هذه الملفات للطبقة من نوع قواعد البيانات data base وفيه يتم تخزين أي معلومات (بخلاف الإحداثيات) تتعلق بهذه الطبقة. هذا الملف يمكن الوصول إليه و التعديل داخله من خلال ما يعرف باسم **Attribute Table أو جدول البيانات غير المكانية**.

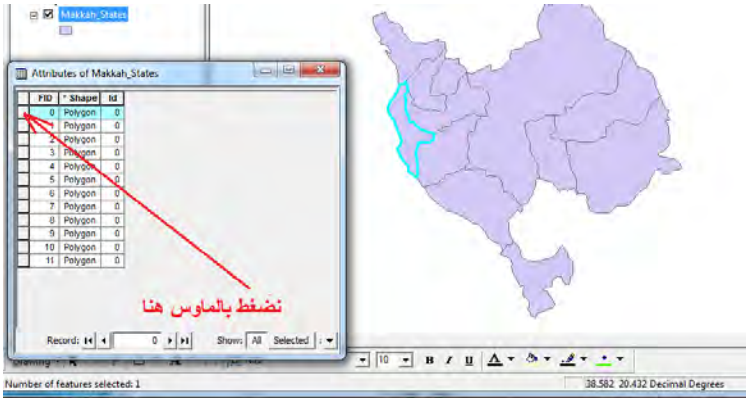
نفتح مشروع جديد و نضيف إليه طبقة محافظات مكة المكرمة، ونضع الماوس علي اسم الطبقة في قائمة المحتويات (الجزء الأيمن من الشاشة) ونضغط الماوس الأيمن ونختار أمر Open Attribute Table لفتح جدول البيانات غير المكانية لهذه الطبقة:



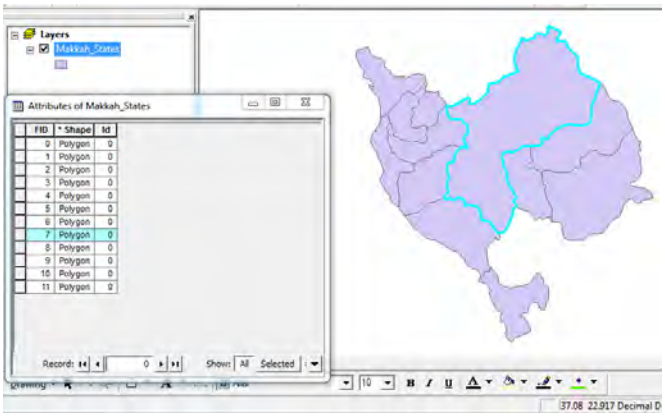
يتم فتح جدول البيانات غير المكانية للطبقة بالشكل التالي:

- عدد سطور الجدول = ١٢ = عدد المضلعات المرسومة في هذه الطبقة (أي عدد المحافظات)
- يوجد ٣ أعمدة في الجدول: FID, Shape, Id ، هذه الأعمدة ينشاها البرنامج عند إنشاء الطبقة و من الأفضل عدم محاولة تغيير محتوي أي عمود منهم.
- توجد أيقونة Options في أسفل يمين نافذة الجدول ومنها يمكن تنفيذ عدد من الأوامر

توجد علاقة مباشرة بين كل سطر من سطور جدول البيانات غير المكانية و كل مضلع مرسوم في الطبقة. إذا ضغطنا بالماوس علي المربع الصغير الموجود علي أقصي يسار أي سطر في الجدول فسنجد هذا السطر أصبح مظللا في الجدول (باللون الأزرق) وأيضا وفي نفس الوقت أصبح المضلع المناظر لهذا السطر مظللا في نافذة البيانات:

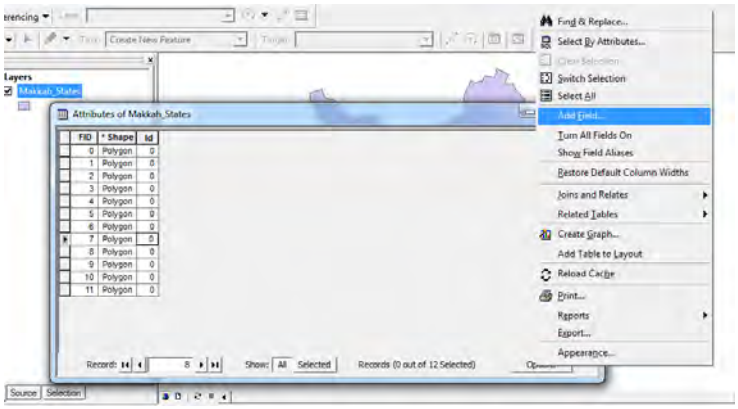


والعكس صحيح أيضا: إذا اخترنا أي مضلع في نافذة البيانات (باستخدام أيقونة اختيار معلم) فأن هذا المضلع سيتم تظليله بالون الأزرق علي الطبقة وفي نفس اللحظة سيتم تظليل السطر المناظر له في جدول البيانات:



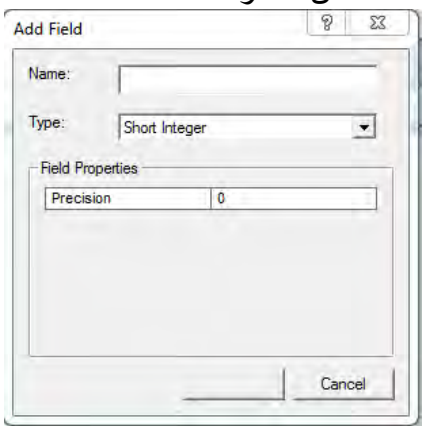
إذن يمكننا إضافة عمود جديد لهذا الجدول و كتابة أية معلومات تتعلق بمضلعات الطبقة. علي سبيل المثال نريد الآن إضافة اسم كل محافظة إلي جدول البيانات غير المكانية حتى يمكننا – لاحقا –

عند طباعة الخريطة اظهر أسماء المحافظات عليها. نضغط أيقونة Options من أسفل يمين الجدول ومن القائمة الجديدة نختار أمر "Add Field إضافة عمود":



الآن علينا تحديد ٣ عناصر لإنشاء العمود الجديد:

١. Name أسم العمود
٢. Type نوع العمود
٣. Field Properties خصائص العمود

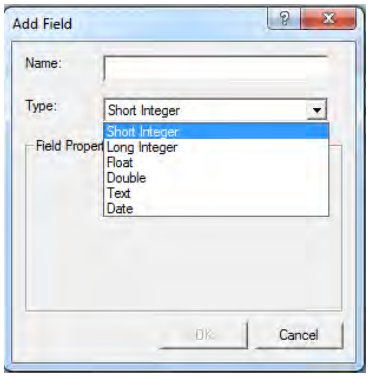


(أ) اسم العمود:

نختاره بنفس مواصفات و معايير اختيار اسم الطبقة كالآتي:

- لا يفضل استخدام الأحرف العربية.
- لا يزيد الاسم عن ١٣ خانة
- لا يشمل الاسم أي حروف خاصة (مثل النقطة و الشرطة و النجمة والمسافة ..... الخ)
- من الحروف الخاصة يمكن فقط استخدام علامة underscore (علامة الشرطة في أسفل السطر وهي مفتاح – مع الضغط علي مفتاح shift من لوحة مفاتيح الكمبيوتر) في حالة أن اسم العمود يتكون من مقطعين، مثلا: Makkah_city

(ب) نوع العمود:
إذا ضغطنا السهم الأسود الصغير الموجود بجوار Type فنجد نافذة بها ٦ خيارات أو ٦ أنواع للعمود للاختيار منهم:



كلمة Integer تعني الرقم الصحيح، أي الرقم الذي ليس له أية كسور.

- نوع Short Integer: للأرقام الصحيحة البسيطة التي تتراوح بين -٣٢٨٦٧ و + ٣٢٧٦٧.
- نوع Long Integer: للأرقام الصحيحة الكبيرة التي تتراوح بين -٢١٤٧٤٨٣ و + ٢١٤٧٤٨٣+.
- نوع Float: للأرقام غير الصحيحة (لها كسور عشرية) والتي تتراوح قيمتها بين (– ٣.٤ أس٣٨) و (+١.٢ أس +٣٨).
- نوع Double: للأرقام غير الصحيحة والتي تتراوح قيمتها بين (– ٢.٢ أس ٣٠٨) و (+١.٨ أس +٣٠٨).
- نوع Text: لتخزين النصوص (ليست أرقام).
- نوع Date: لتخزين التواريخ.

إذن لدى **المستخدم المبتدئ** - وبكل بساطة - ٣ اختيارات لنوع العمود:

١. للأرقام الصحيحة بدون كسر: يختار short integer
٢. للأرقام غير الصحيحة التي لها كسور: يختار float
٣. للنص: يختار text

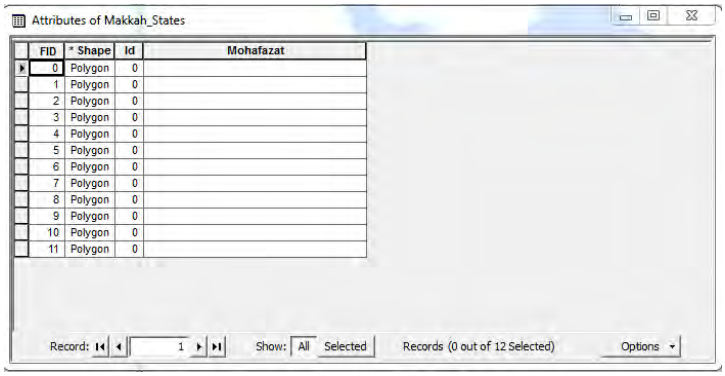
(ج) خصائص العمود:
تختلف من نوع لآخر من أنواع الأعمدة كما في الأمثلة التالية.

نعود – مرة أخري – للعمود الجديد الذي نقوم بانشاؤه في طبقة المحافظات. سنختار:
- أسم العمود: Name ، Mohafazat أي كلمة محافظات لكننا كتبناها بالأحرف الانجليزية عوضا عن الكتابة بالحروف العربية غير المرغوب بها في اختيار أسماء

الأعمدة، حيث لا يشترط أن نقوم يترجمه كلمة "محافظات" إلي اللغة الانجليزية. ويمكن للقارئ استخدام أي أسم يريده لهذا العمود.

- نوع Type العمود: سنختار Text لأن هذا العمود سنكتب به أسماء المحافظات، أي نصوص و ليست أرقام
- خصائص العمود: Length طول (عدد خانات) العمود المطلوب، سنختار ٣٠ حيث أن أطول أسم لأي محافظة لا يزيد عن ٣٠ خانة

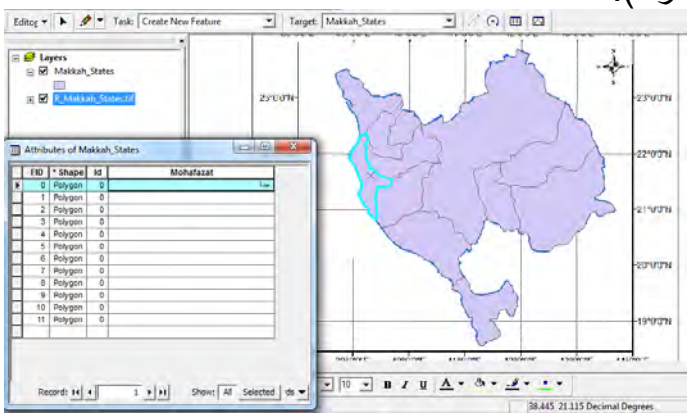
بعد الضغط علي OK سيتم إضافة العمود الجديد لجدول البيانات غير المكانية:



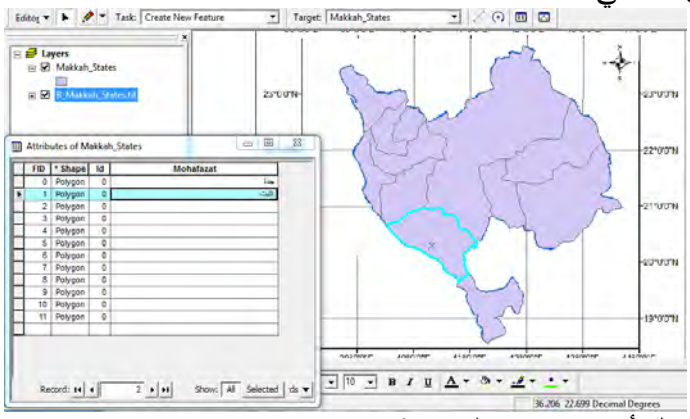
بالطبع فأن العمود الجديد سيكون فارغا (ليس به أية معلومات) وهذا يماثل الوضع عند إنشاء طبقة جديدة حيث ستكون فارغة ثم نقوم نحن بالرسم (التعديل) داخلها. الآن نبدأ في إدخال البيانات غير المكانية (أسماء المحافظات) داخل هذا العمود الجديد في جدول البيانات غير المكانية. بما أن إدخال بيانات مكانية إلي ملف الطبقة كان يستلزم أولا تفعيل التعديل Start Editing فأن إدخال بيانات غير مكانية يتطلب هذه الخطوة أيضا.

من شريط أدوات التعديل من قائمة Editor نختار أمر Start Editing:

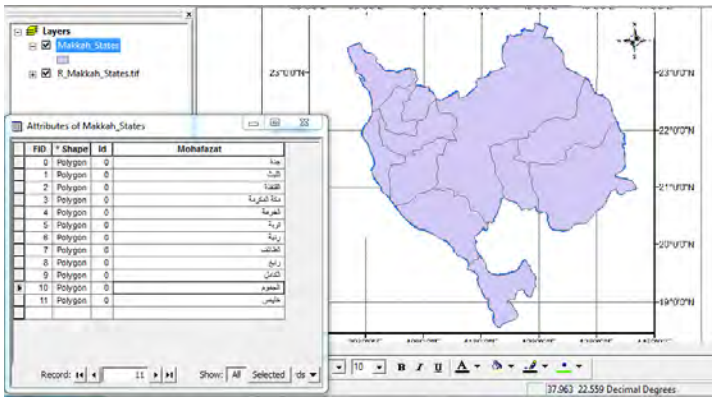
نضيف صورة الخريطة الأصلية (الممسوحة ضوئيا) حتى نعرف منها أسماء المحافظات. نختار أول سطر في جدول البيانات ونعرف المضلع المناظر له علي الطبقة (قد يختلف هذا المضلع من شخص إلي آخر طبقا لترتيب الترقيم الذي قام به كل شخص، فربما بدأ شخص بترقيم مضلع جدة فيكون هو الأول في جدول البيانات بينما قام شخص آخر بترقيم محافظة رابغ فتكون هي السطر الأول من الجدول). إذا لم نكن متأكدين من اسم المحافظة (التي يمثلها هذا المضلع) فيمكننا إخفاء الطبقة (بإلغاء علامة صح أمام أسمها في قائمة المحتويات) لنعرف أسمها بالضبط ثم نقوم بكتابة هذا الاسم في عمود Mohafazat في الجدول (طبع داخل العمود يمكننا استخدام أحرف اللغة العربية دون قيد أو شرط):



والسطر الثاني يكون كالتالي:

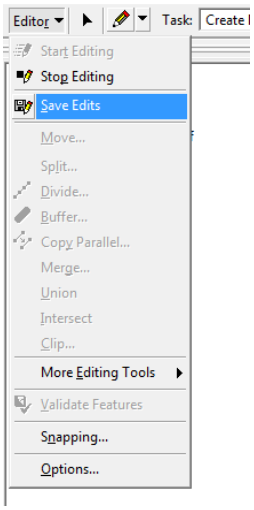


وهكذا حتى نكمل إدخال أسماء جميع المحافظات:

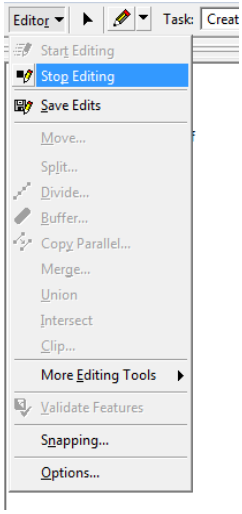


تجدر الإشارة إلي إمكانية استخدام النسخ و اللصق copy , paste لإدخال البيانات من برنامج أخر. مثلا لو لدينا ملف اكسل به أسماء المحافظات فيمكن نسخ copy اسم المحافظة من الإكسل ثم لصق paste في العمود المقابل في جدول البيانات غير المكانية.

بالطبع لا بد من حفظ التعديل ثم إيقاف التعديل:



١



٢

مثال آخر:

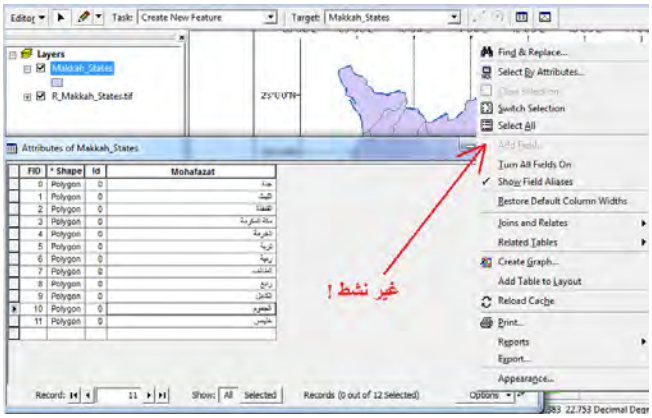
مطلوب إدخال البيانات في الجدول التالي (أعداد السكان لمحافظات منطقة مكة المكرمة) إلي جدول البيانات غير المكانية لطبقة المحافظات (قيم غير حقيقية للتدريب فقط):

المحافظة	عدد السكان	المحافظة	عدد السكان
مكة المكرمة	١٣٣٨٣٠٠	الجموم	٧٥٩٠٠
جدة	٢٨٨٣٠٠٠	خليص	٤٩٩٠٠
الطائف	٨٨٥٠٠٠	الكامل	١٨٥٠٠

القنفذة	٢٤٠٩٠٠	الخرمة	٣٩٠٠٠
الليث	١١٠٥٠٠	رنية	٤٤٢٠٠
رابغ	٦٨٩٠٠	تربة	٤٢٨٠٠

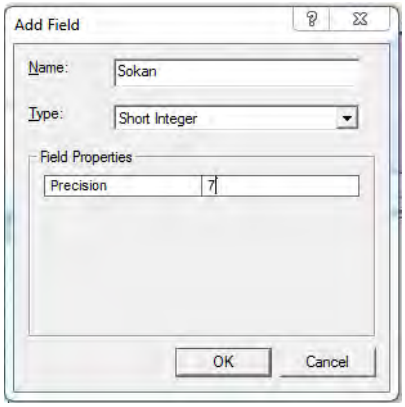
نفعل التعديل Start Editing من قائمة Editor لكي نبدأ إدخال البيانات.

نبدأ من أيقونة Options في جدول البيانات لنختار أمر Add Field لإضافة عمود جديد، لكننا نفاجأ أن هذا الأمر غير نشط أو غير فعال Not Active :

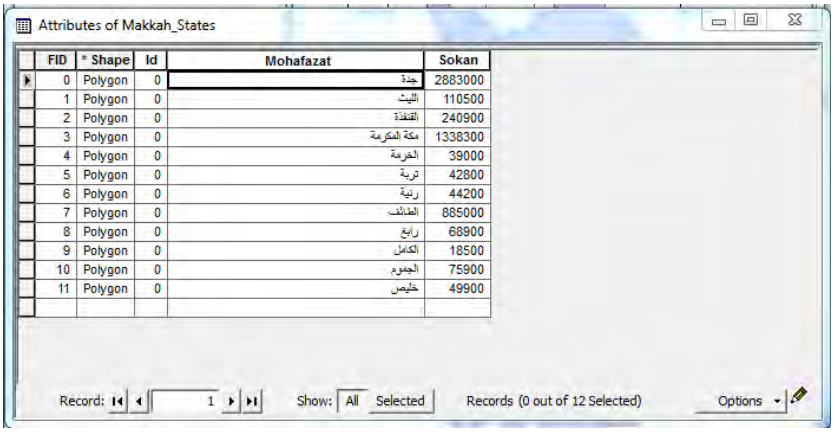


السبب أننا مازلنا في طور التعديل، وأثناء التعديل لا يمكن إضافة عمود جديد. إذن علينا إيقاف التعديل Stop Editing أولا ثم نجرب مرة أخري أمر إضافة عمود Add Field فنجده أصبح نشطا.

نختار أسم العمود Name مثلا: Sokan (أو أي اسم أخر يختاره القارئ) ونختار نوع العمود Short Integer بما أن هذا العمود سيحتوي أعداد السكان وهي بالطبع أرقام صحيحة بدون كسر، ونختار Precision عدد خانات العمود الجديد = ٧ لأن من الجدول السابق نجد أن أكبر عدد سكان لا يتجاوز السبعة خانات.



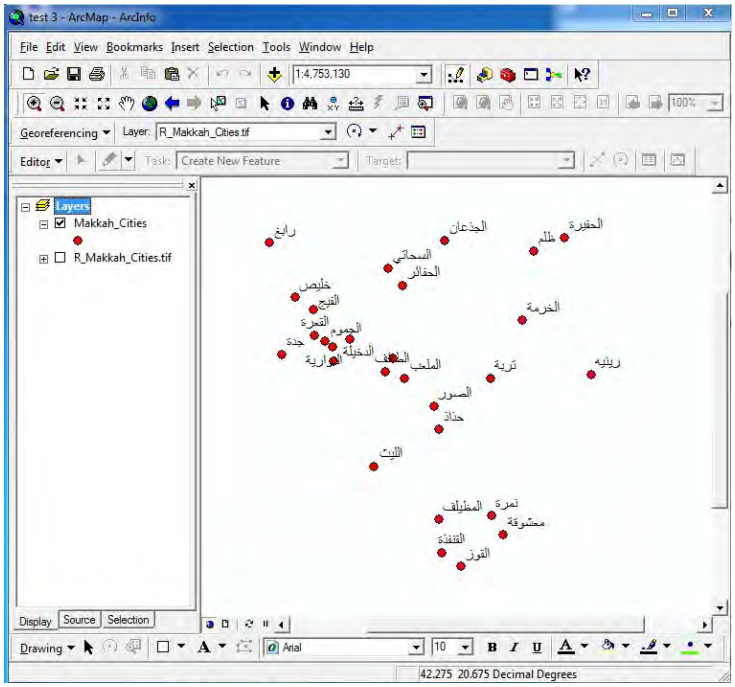
نضغط OK لإضافة العمود الجديد. ثم نبدأ التعديل Start Editing ونبدأ في إدخال بيانات أعداد السكان لكل محافظة في السطر المناظر لها. طبعا الوضع الآن أسهل من المثال السابق لأن لدينا عمود يحتوي أسماء المحافظات وبالتالي من السهل إدخال عدد سكان كل محافظة منهم:



ثم نحفظ التعديل Save Edits و نوقف التعديل Stop Editing كالمعتاد.

وفي النهاية نحفظ المشروع نفسه من أيقونة .

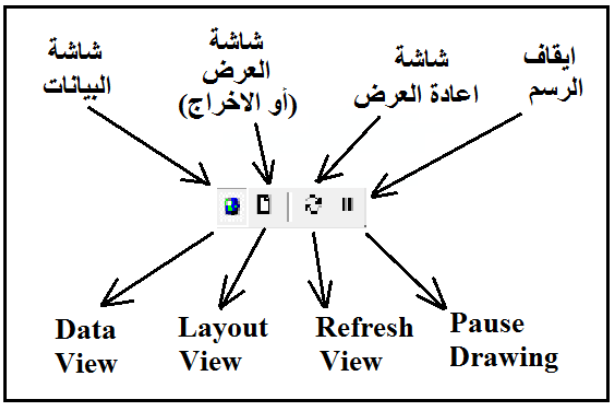
بنفس الطريقة يمكن إضافة عمود جديد و إدخال أسماء المدن في طبقة النقاط:



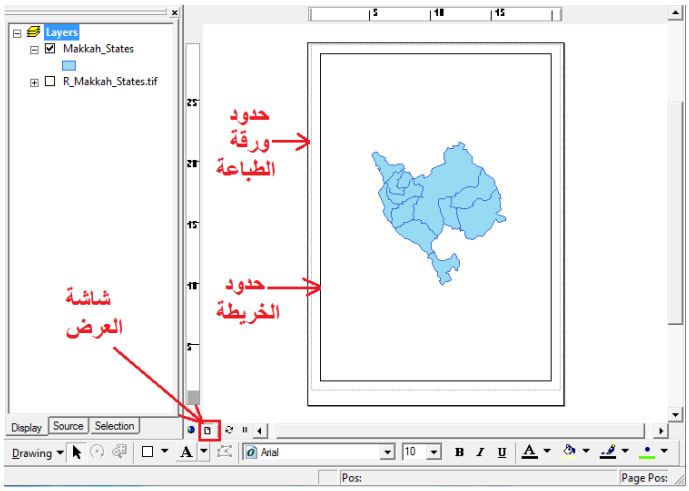
٧-٢٢ إخراج الخريطة

أكملنا حتى الآن كافة خطوات إنشاء ملفات الخرائط الرقمية (الطبقات) سواء من حيث البيانات المكانية والبيانات غير المكانية. لكن لطباعة الخرائط علي الورق يلزمنا إضافة أساسياتها التي تجعل القارئ يستفيد منها بصورة علمية سليمة.

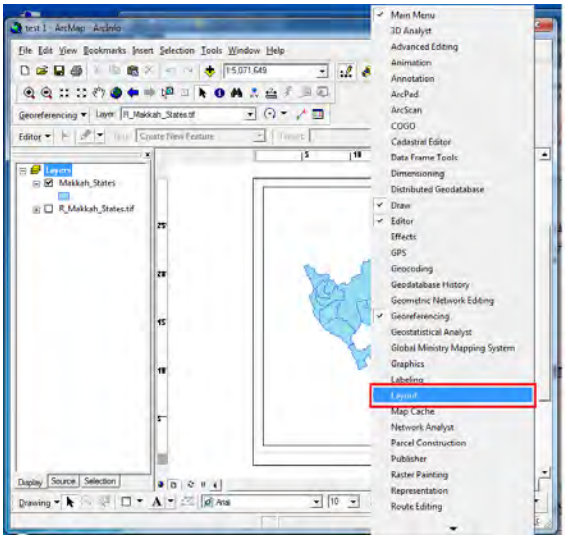
بالتدقيق في الجزء الأيسر الأسفل من شاشة برنامج Arc Map نجد بعض الأيقونات التي لم نستخدمها حتى الآن:



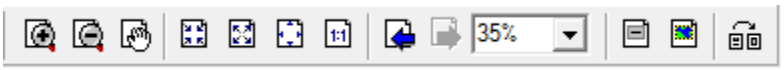
في التمارين السابقة كنا داخل شاشة البيانات حيث قمنا بترقيم (رسم) المعالم المكانية في كل طبقة. الآن سنضغط أيقونة شاشة العرض أو الإخراج لنري الخريطة كما لو كنا سنطبعها علي قطعة من الورق:



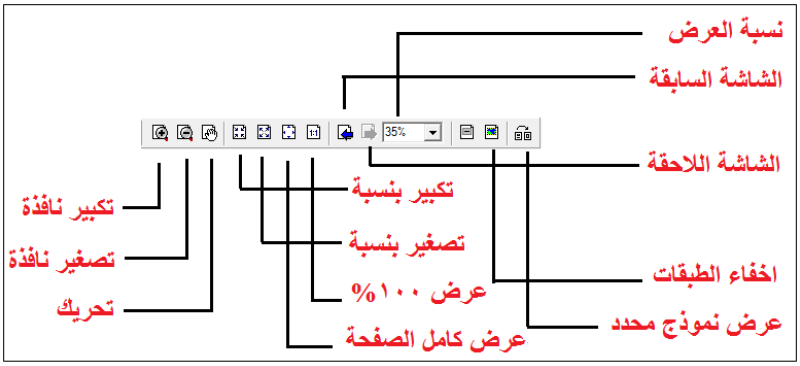
أيضا يوجد شريط أدوات خاص بشاشة العرض و أسمه Layout فان لم يكن نشطا علي الشاشة فيمكننا تنشيطه بالطريقة المعتادة بأن نضغط الماوس الأيمن في أي جزء (رصاصي) من منطقة شرائط الأدوات بأعلى البرنامج ومن القائمة المنسدلة نختار هذا الشريط:



فيظهر شريط أدوات شاشة العرض:



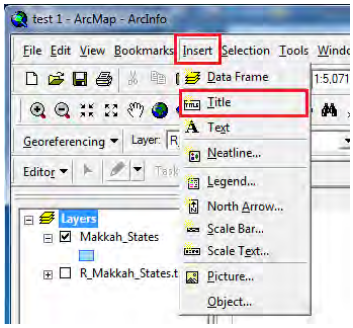
تقريبا فأن أيقونات الشريط تماثل نفس وظائف أيقونات شاشة البيانات لكنها تعمل فقط علي شاشة عرض البيانات فتكبرها أو تصغرها ..... الخ. أي أن أيقونات هذا الشريط لن تكون نشطه في شاشة البيانات لأنها خاصة فقط بشاشة العرض.



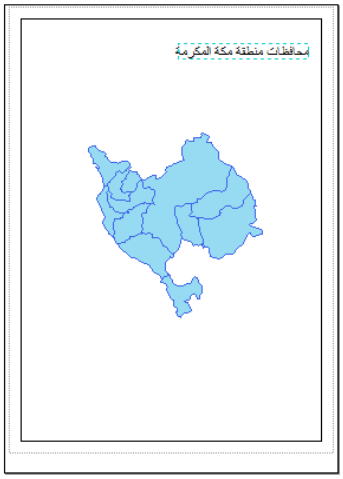
قبل شرح تفاصيل الإخراج النهائي للخريطة يجب مراجعة الجزء النظري من هذا الكتاب لمعرفة كيفية إخراج الخريطة في صورة كارتوجرافية سليمة تجعل تفسيرها يتم بسهولة، فعلم الخرائط أو علم الكارتوجرافيا هو **علم و فن** في نفس الوقت.

٢٢-٧-١ إضافة عنوان الخريطة

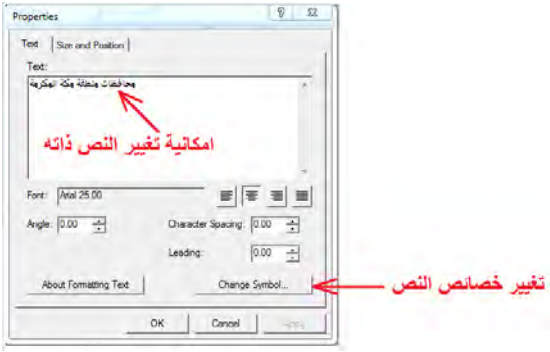
من القائمة الرئيسية للبرنامج نضغط أيقونة **"إدراج Insert"** ومنها نختار أمر **"عنوان Title"**:



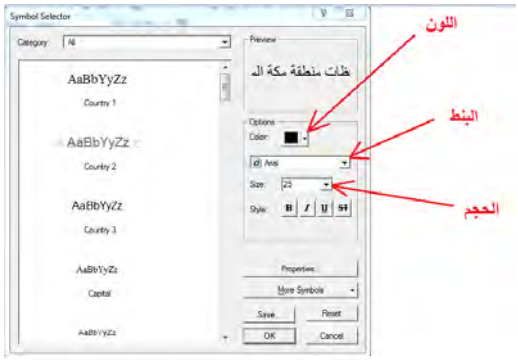
فيظهر لنا مربع حواري في شاشة العرض فنكتب داخله عنوان الخريطة المطلوب، وليكن مثلا: محافظات منطقة مكة المكرمة:



بالماوس نحرك العنوان لنضعه في مكان مناسب علي الخريطة، مثلا منتصف أعلي الخريطة. أيضا يمكننا تغيير حجم و لون نص العنوان من خلال اختياره أولا بالماوس (يصبح مظللا) ثم الضغط مرتين متتاليتين:

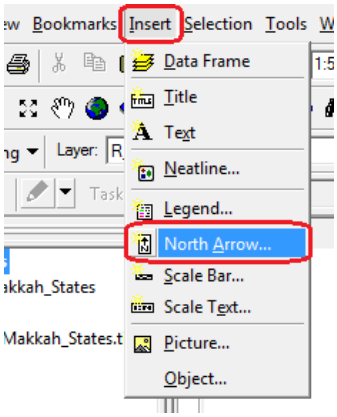


نضغط أيقونة Change Symbol لتغيير حجم و لون العنوان:

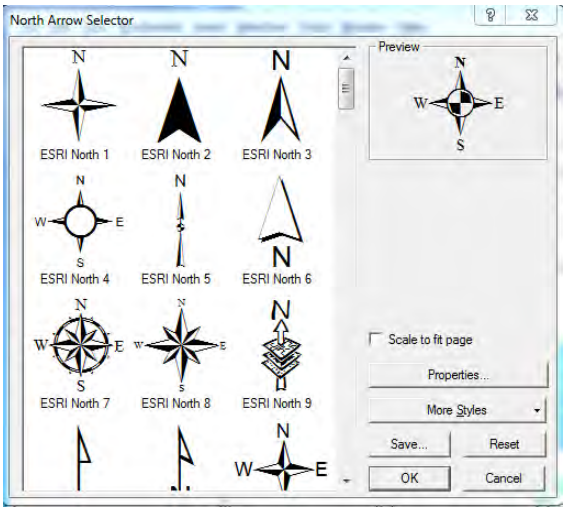


٢٢-٧-٢ إضافة اتجاه الشمال للخريطة

من القائمة الرئيسية للبرنامج نضغط أيقونة **"إدراج Insert"** ومنها نختار أمر **" North Arrow سهم الشمال"**:



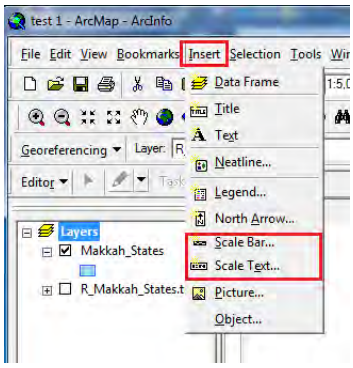
فتظهر قائمة بها العديد من أنماط و أشكال سهم الشمال فنختار منها:



وعند الضغط علي OK يظهر السهم علي الخريطة فنقوم بتحريكه للمكان المطلوب.

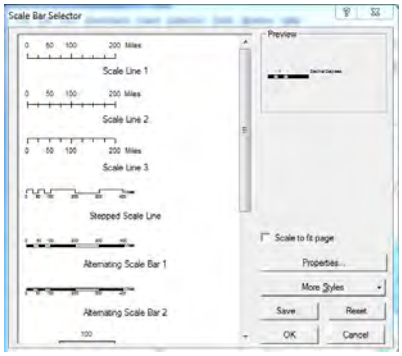
٢٢-٧-٣ إضافة مقياس رسم الخريطة

من القائمة الرئيسية للبرنامج نضغط أيقونة **"إدراج Insert"** ومنها نختار أمر **"Scale Bar مقياس رسم خطي"**، أو أمر **" Scale Text مقياس رسم كتابي"** (أرجع للجزء النظري للفرق بينهما):

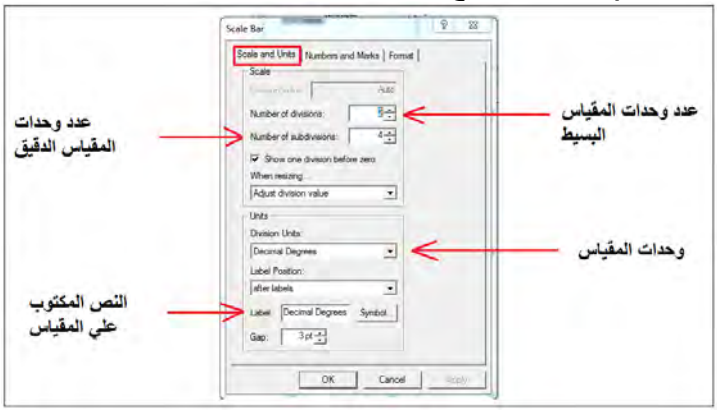


من المهم ملاحظة أنه إن لم تكن صورة الخريطة الأصلية قد تم إرجاعها جغرافيا بالفعل فأن مقياس الرسم سيكون خطأ، فالبرنامج لن يعرف حدود الخريطة و موقعها الجغرافي إلا بعد إتمام عملية الإرجاع ومن ثم فسيكون قادرا علي عمل مقياس رسم صحيح.

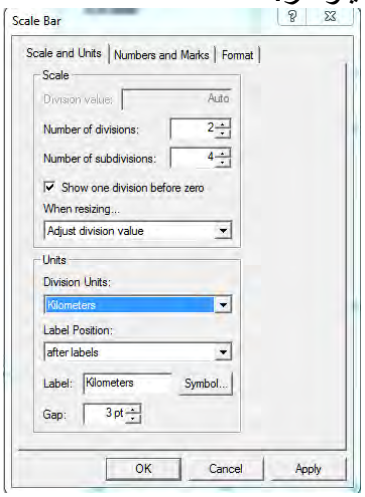
في حالة اختيار مقياس الرسم الخطي Scale Bar تظهر نافذة بها عدة أنماط من مقاييس الرسم فنختار منها النمط المطلوب:



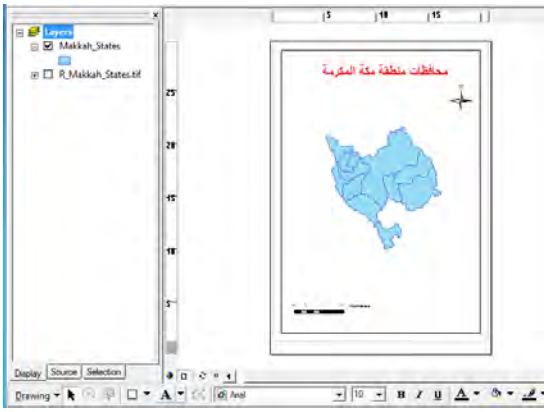
إذا ضغطنا أيقونة Properties فنستطيع تغيير خصائص هذا المقياس:



إذا أردنا تغيير وحدات المقياس (من درجات) إلي أي وحدة أخري فنفتح السهم الصغير بجوار Division Units فنجد عدة اختيارات منها: كيلومتر، متر، سنتيمتر، قدم، بوصة، ياردة، ميل، ميل بحري. مثلا نختار وحدات الكيلومتر:

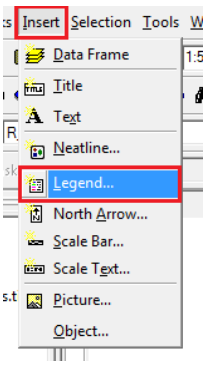


ثم نضغط OK فنعود للشاشة السابقة ونضغط OK أيضا فيظهر المقياس علي الخريطة فنحركه (بالماوس) للمكان المطلوب.

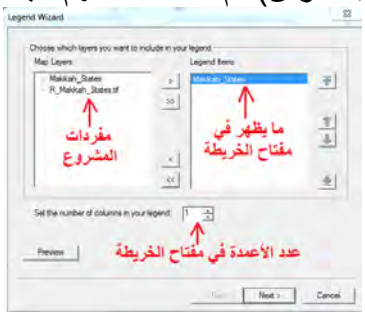


٢٢-٧-٤ إضافة مفتاح الخريطة

من القائمة الرئيسية للبرنامج نضغط أيقونة **"إدراج Insert"** ومنها نختار أمر **Legend" مفتاح خريطة"**:



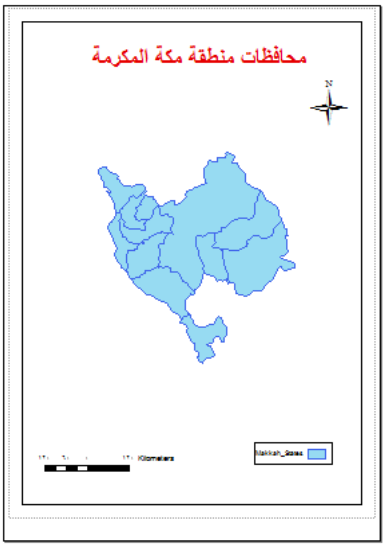
تتكون الشاشة من جزأين: الأيسر به كافة أسماء مفردات المشروع من طبقات و صور ...الخ بينما الجزء الأيمن يعرض مفردات ما سيظهر في مفتاح الخريطة. في المثال الحالي يوجد بالمشروع طبقة و صورة وبالتالي فأن ما سيظهر في المفتاح هو الطبقة فقط، لكن إذا أردنا إضافة الصورة لتظهر أيضا في مفتاح الخريطة فنظللها (بالماوس) ثم نضغط السهم لليمين > أما إذا أردنا عدم إظهار الطبقة في المفتاح فنظللها (بالماوس) ثم نضغط السهم لليسار <



ثم نضغط Next التالي فتظهر الشاشة التالية التي تضم "عنوان مفتاح الخريطة" أو كلمة Legend وخصائص إظهار هذا العنوان من لون و بنط و حجم. بعض المستخدمين المبتدئين يتركون كلمة Legend كما هي لتظهر في مفتاح الخريطة ! وهذا خطأ كبير، فإما أن نغير هذه الكلمة بأي عنوان آخر نراه مناسبا للمفتاح أو نحذفها تماما أن لم نكن نريد وضع عنوان لمفتاح الخريطة:

في المثال الحالي سنقوم بحذف هذه الكلمة (لن نضع عنوان لمفتاح الخريطة) ثم نضغط Next التالي، فتظهر نافذة لخصائص إطار مفتاح الخريطة فيمكن تغيير سمك الإطار من السهم بجوار كلمة Border كما يمكن تغيير لون خلفية مفتاح الخريطة من السهم بجوار كلمة Background وأيضا تغيير ظلال المفتاح من السهم بجوار كلمة Drop Shadow:

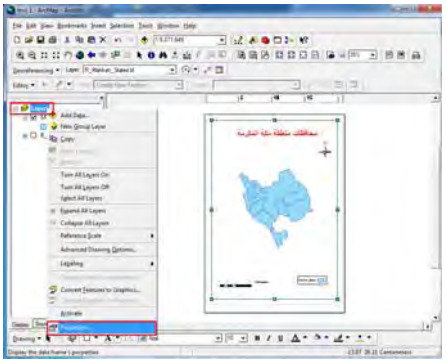
نضغط Next وكذلك Next مرة أخري في الشاشة التالية ثم نضغط Finish في الشاشة الثالثة ليتم إضافة مفتاح الخريطة فنحركه للمكان المطلوب علي الخريطة:



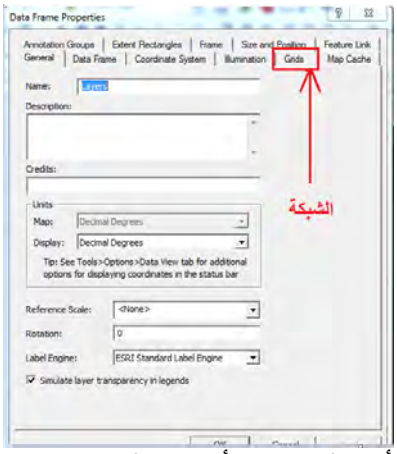
نلاحظ أن مفتاح الخريطة لا يحتوي إلا علي رمز واحد (مستطيل أزرق) حيث أن كل المحافظات في المشروع أو التمرين الحالي تظهر جميعها بنفس اللون (لم نصنفها حتى الآن)، أما النص المكتوب أمام هذا المستطيل في مفتاح الخريطة فهو كلمة Makkah_States وهو يمثل أسم الطبقة نفسها (سنغيره فيما بعد).

٢٢-٧-٥ إضافة شبكة إحداثيات الخريطة

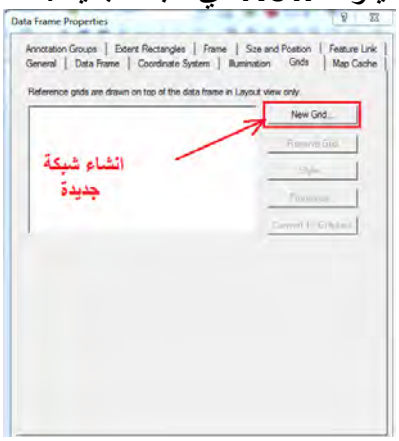
شبكة الإحداثيات هي العنصر الوحيد من أساسيات الخريطة الذي لا يتم إضافته من قائمة إدراج Insert، لكن له طريقة خاصة. في قائمة المحتويات (الجزء الأيسر من الشاشة) توجد كلمة Layers بجوار علامة صفراء، نضغط بالماوس الأيمن علي هذه الكلمة ثم نختار خصائص **Properties**:



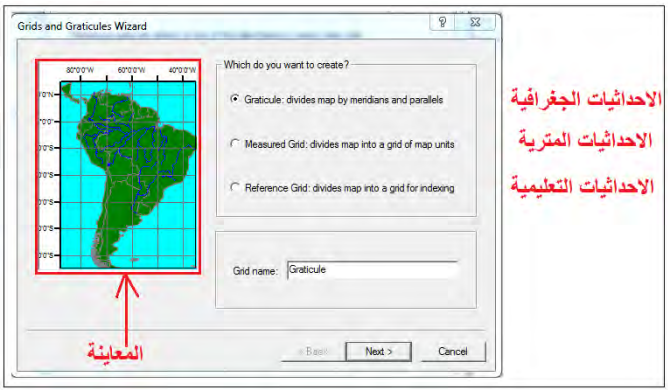
من النافذة الجديدة ندخل علي أيقونة **Grid** أي شبكة الإحداثيات:



نجد الأيقونة الوحيدة النشطة هي أيقونة **New** أي شبكة جديدة:



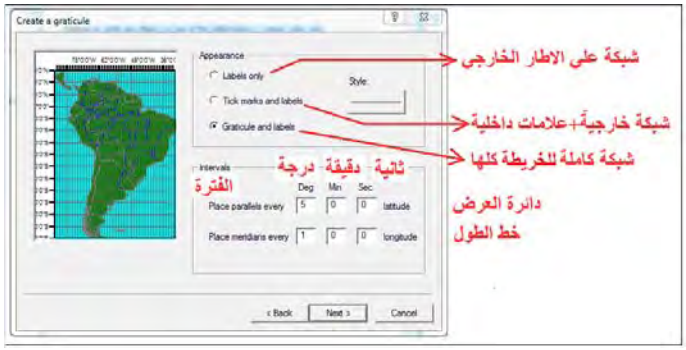
نجد الآن ٣ اختيارات أو ٣ أنواع من شبكة الإحداثيات: نوع Graticule للإحداثيات الجغرافية (خط الطول و دائرة العرض)، نوع Measured Grid للإحداثيات المترية (مثل إحداثيات UTM)، الإحداثيات التعليمية أو السياحية (أرجع للجزء النظري من هذا الكتاب لتفاصيل كل نوع من هذه الأنواع الثلاثة). إذا اخترنا أي نوع سيتم عرض نموذج له في جزء المعاينة علي يمين النافذة. حيث أن المشروع الحالي (محافظات مكة المكرمة) تم تنفيذه من الأساس بإحداثيات جغرافية فسنختار شبكة الإحداثيات من نوع Graticule ثم نضغط Next أو التالي:



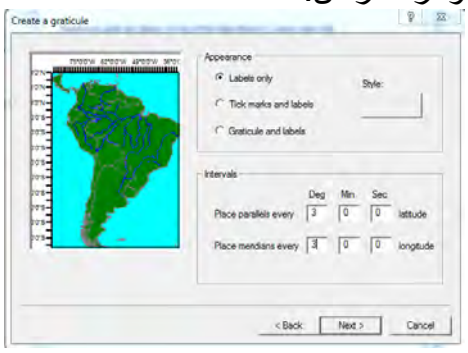
في الجزء العلوي نختار كيفية رسم الشبكة علي الخريطة:

- شبكة خارجية علي أطراف الخريطة فقط Labels only
- شبكة خارجية بالإضافة لوضع علامات التقاطعات داخل الخريطة Tick marks and labels
- شبكة كاملة تظهر علي كل الخريطة Graticule and labels.

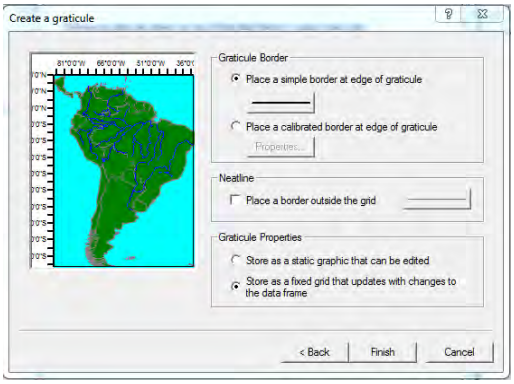
أما في الجزء الأسفل من النافذة فنحدد الفترة (بين خطوط الطول و دوائر العرض) المطلوبة لرسم شبكة الإحداثيات:



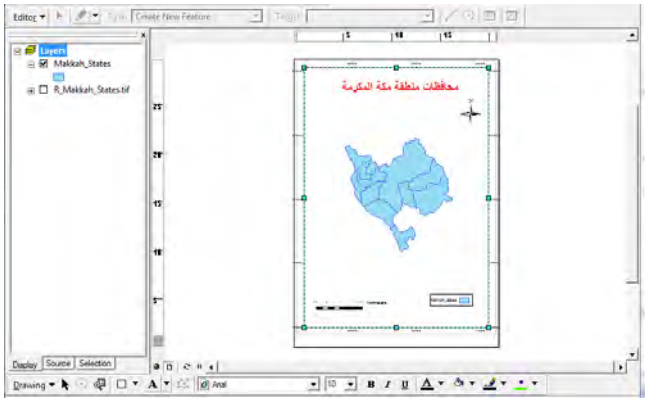
مثلا – في التمرين الحالي - سنختار نوع الشبكة الخارجية وسنحدد ٣ درجات كفترة لإظهار الشبكة في كلا من خطوط الطول و دوائر العرض:



نضغط Next فننتقل لشاشة تحديد العلامات الفرعية لشبكة الإحداثيات (بخلاف العلامات الرئيسية لها). أضغط Next مباشرة:

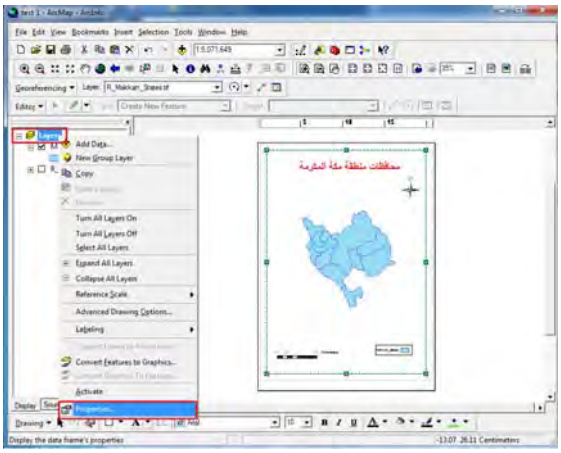


الآن نضغط Finish للانتهاء من تحديد خصائص شبكة الإحداثيات المطلوبة، ثم نضغط OKفي النافذة التالية فتظهر شبكة الإحداثيات علي الخريطة:



نستخدم أيقونة التكبير (من شريط أدوات شاشة العرض وليس من شريطك أدوات شاشة البيانات) لتكبير الجزء العلوي الأيمن من الخريطة:

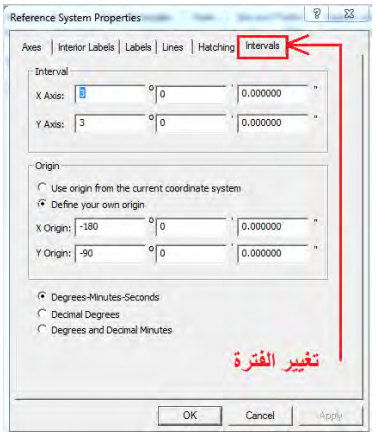
فنلاحظ أن بنط كتابة إحداثيات الشبكة صغير لحد ما ومن الأفضل تكبيره حتى يكون واضحا علي الخريطة عند طباعتها. لتغيير أي خصائص من خصائص شبكة الإحداثيات نعود مرة أخري إلي كلمة Layers في قائمة المحتويات و فوقها تماما نضغط الماوس الأيمن و نختار أمر Properties:



سنجد الآن أن هناك فعلا شبكة إحداثيات من نوع Graticule ومن أيقونة **Properties** يمكننا تغيير أي خاصية من خصائص هذه الشبكة:

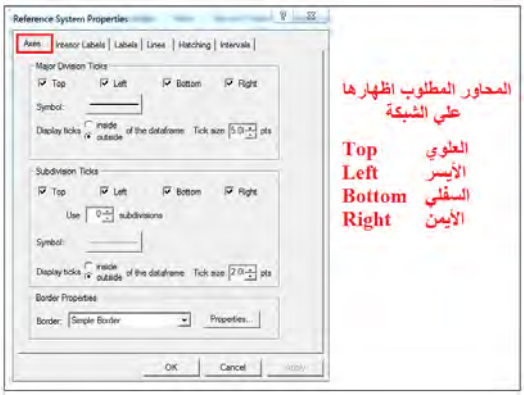
في النافذة الجديدة عدة اختيارات:

(أ) تغيير خصائص فترة الشبكة (القيمة بين كل خطين طول أو دائرتي عرض علي الشبكة) من خلال أمر **Intervals** أو **الفترة**:

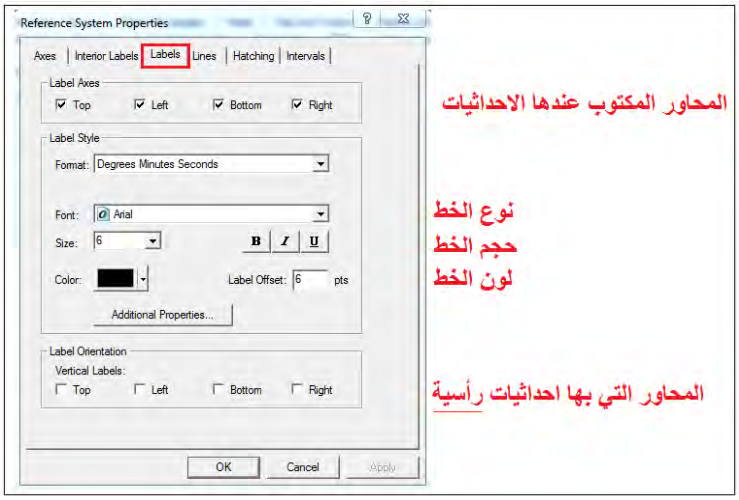


(ب) تغيير خصائص عرض الشبكة (إطار خارجي أم شبكة كاملة) من خلال أمر **Lines** أو **الخطوط**:

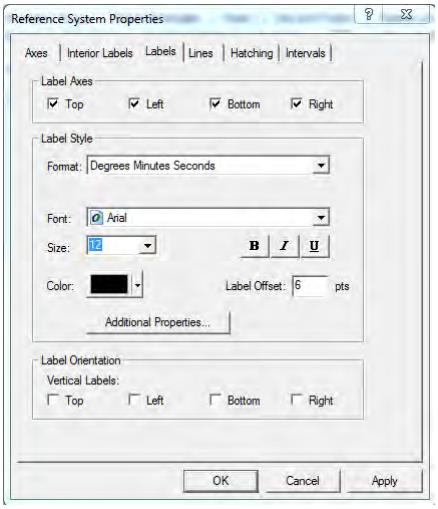
(ج) تغيير خصائص محاور الشبكة (كيفية إظهار الإحداثيات) من خلال أمر **Axes** أو **المحاور**:



(د) تغيير خصائص كتابة محاور الشبكة (اللون و الحجم و البنط) من خلال أمر **Labels** أو **العنوان**:



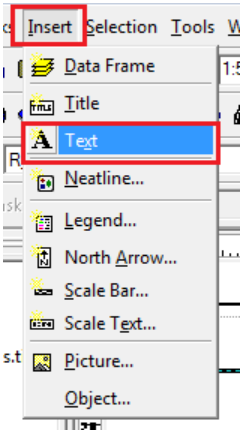
هذه هي الشاشة التي نريدها الآن لكي نكبر حجم عناوين شبكة الإحداثيات، في خانة Size نختار الحجم ١٢ بدلا من ٦:



ثم نضغط OK ونعود للنافذة الأصلية فنضغط OK مرة أخري، فنجد حجم كتابة الإحداثيات علي الشبكة قد تغير:

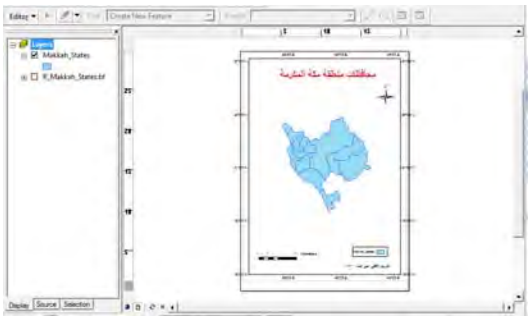
٢٢-٧-٦ إضافة معلومات مسقط الخريطة

لم يتبق من أساسيات الخريطة إلا ذكر المسقط المستخدم بها. من الخريطة الأصلية المطبوعة (الممسوحة ضوئيا scanned) التي بدأنا بها هذه التمارين فنحن نعرف أن مسقط هذه الخريطة الأساسية هو المرجع الوطني السعودي "عين العبد ١٩٧٠". علينا إضافة هذه المعلومة للخريطة الحالية قبل طباعتها. يتم ذلك من خلال إضافة نص Text من أمر إدراج Insert من قائمة البرنامج الرئيسية:



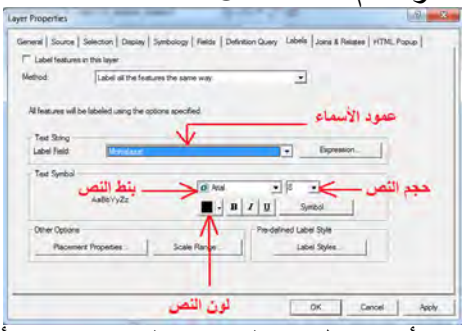
يظهر مربع حواري (مثل مربع عنوان الخريطة) نكتب داخله جملة" المرجع الأفقي: عين العبد ١٩٧٠"، ثم نحركه للمكان المطلوب علي الخريطة.

بذلك تكون الخريطة – الآن – تشمل جميع أساسياتها المطلوبة:

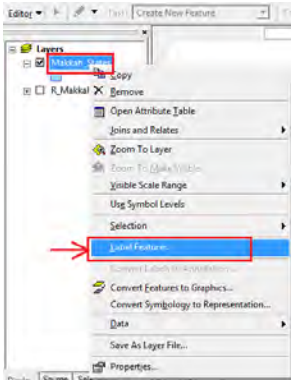


لإظهار اسم كل محافظة علي الخريطة لفتح خصائص هذه الطبقة توجد طريقتان: (١) الضغط مرتين متتاليتين (دوبل كليك) علي اسم الطبقة، أو (٢) الضغط بالماوس الأيمن علي أسم الطبقة واختيار أمر Properties:

في نافذة خصائص الطبقة نضغط أيقونة الأسماء **Labels** من الأيقونات الموجودة بالسطر الأعلى، ونضغط السهم الأسود الصغير بجوار كلمة Text String أي النص المطلوب إظهاره ونختار عمود Mohafazat وهو العمود الموجود به أسماء المحافظات ونحدد أيضا نوع البنط المطلوب و حجم النص و كذلك لونه ثم نضغط Ok:

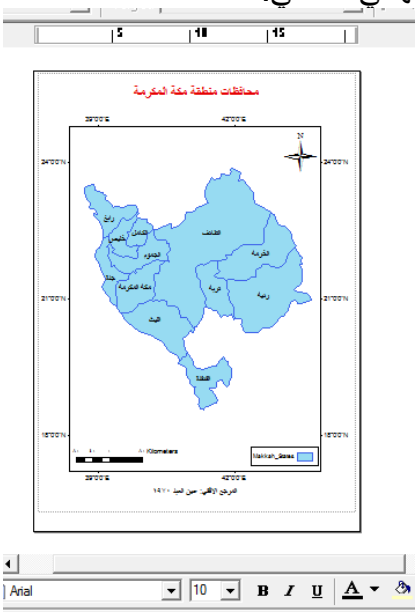


فإذا نظرنا الآن للخريطة فلن نجد أسماء المحافظات قد ظهرت بعد، لأننا نحتاج تفعيل أمر Label Features أو إظهار الأسماء من القائمة المنسدلة عندما نضغط بالماوس الأيمن علي أسم الطبقة:

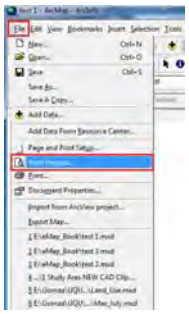


أما الطريقة الأسهل لإظهار الأسماء علي الخريطة فهي تفعيل أمر الإظهار الموجود (بوضع علامة صح) في نافذة الأسماء ذاتها:

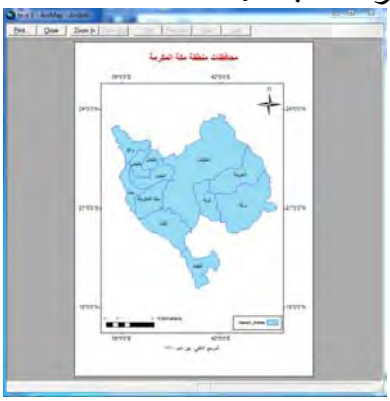
يتبقي هنا **الفن الكارتوجرافي** لإخراج الخريطة في صورة جميلة سهلة القراءة و التفسير وخاصة ترتيب عناصر الخريطة وإظهار المحتوي الجغرافي لها بصورة واضحة للقارئ. كمثال فقط يمكن تعديل الخريطة ليصبح شكلها النهائي كالتالي:



قبل طباعة الخريطة فعلا يمكن معاينتها باستخدام أمر Print Preview من قائمة File في شريط الأدوات الرئيسي للبرنامج:

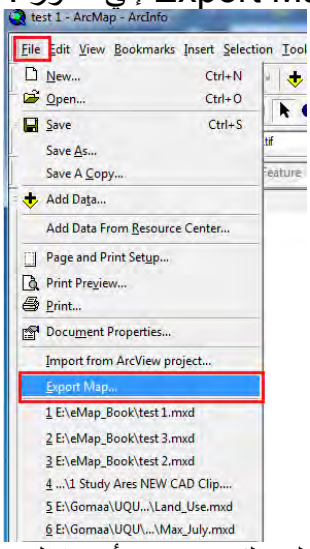


فنري الخريطة كاملة في حدود ورقة الطباعة:



فان كان لدينا طابعة printer متصلة مباشرة بالكمبيوتر الحالي فيمكننا طباعة الخريطة من أمر Print في قائمة File.

إما إن لم يكن متوافرا جهاز طباعة أو في حالة أننا نريد وضع الخريطة داخل تقرير أو بحث مثلا فالحل يكون في تصدير الخريطة Export Map إلي صورة:



نحدد اسم الصورة و مجلد تخزينها علي الكمبيوتر و أيضا الصيغة (الامتداد) المطلوبة لها:

ثم نضغط Save.

٢٢-٨ الخرائط الموضوعية

الخريطة الموضوعية Thematic Map أو الخريطة الخاصة هي خريطة تهتم بإبراز نوع و توزيع ظاهرة جغرافية واحدة (أي للخريطة موضوع أساسي واحد ومن هنا جاء اسم الخريطة الموضوعية)، سواء كان التوزيع أو التصنيف لنوع الظاهرة فقط (التوزيع النوعي) أو لنوع و قيمة الظاهرة (التوزيع الكمي). تعد طرق استخدام الرموز (أو الترميز) Symbology أهم الجوانب الفنية لإعداد الخريطة الموضوعية (تسمي أيضا خرائط التوزيعات).

يقدم برنامج Arc GIS عدة طرق مختلفة للترميز (ومن ثم إنشاء خرائط التوزيعات) سواء الترميز النوعي (الفئوي) أو الكمي أو باستخدام الرسوم البيانية. وفي هذا الفصل سنقوم بعدة تمرينات لإنشاء خرائط التوزيعات باستخدام الطبقات الثلاثة التي تم إنشاؤهم في الفصل السابق.

شكل (٢٢-٧) طرق الترميز في برنامج Arc GIS

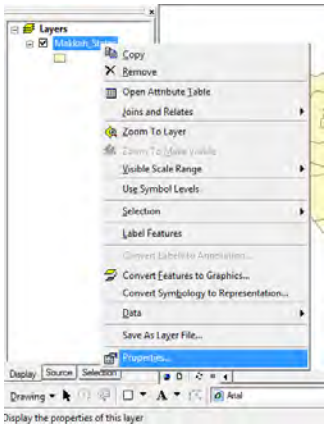
٢٢-٨-١ الترميز النوعي

توجد ثلاثة أنواع من طرق الترميز النوعي: باستخدام قيمة مميزة، باستخدام قيمة مميزة مع إظهار قيم أخري، باستخدام نماذج ترميز معينة. وفي كل نوع يمكننا استخدام الألوان أو الاكتفاء باللون الأسود مع تغيير نوع الرمز ذاته.

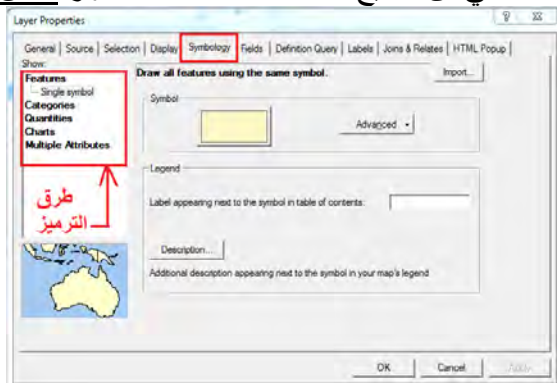
الترميز النوعي باستخدام قيمة مميزة

نفتح مشروع جديد و نضيف طبقة محافظات منطقة مكة المكرمة. نلاحظ أن جميع المحافظات (المضلعات) مرسومة بنفس اللون، أي لا يوجد تمييز (ترميز) خاص لكل محافظة. لفتح خصائص

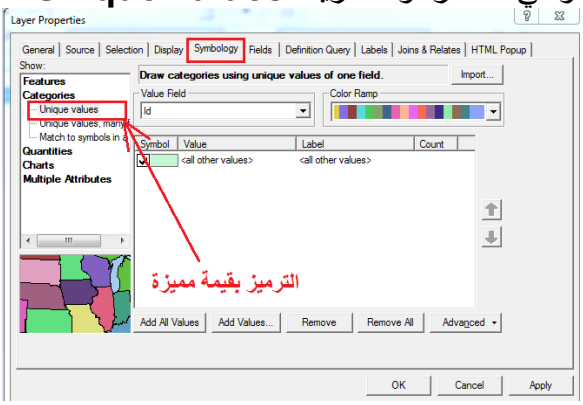
هذه الطبقة توجد طريقتان: (١) الضغط مرتين متتاليتين (دوبل كليك) علي اسم الطبقة، أو (٢) الضغط بالماوس الأيمن علي أسم الطبقة واختيار أمر Properties:



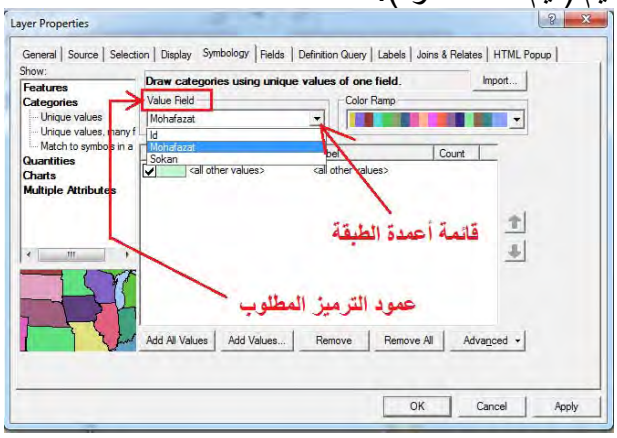
في نافذة خصائص الطبقة نضغط أيقونة الترميز **Sumbology** من الأيقونات الموجودة بالسطر الأعلى. نجد جميع أنواع التميز المتاحة في برنامج Arc Map موجودة في قائمة علي يمين النافذة، وتكون طريقة الترميز الحالية لهذه الطبقة هي المظللة في هذه القائمة. في المثال الحالي (وحيث أننا لم نقم بترميز الطبقة بأي طريقة حتى الآن) فأن الطريقة المظللة هي **Single symbol** أي رمز واحد، بمعني أن جميع مضلعات الطبقة ستظهر بنفس الرمز (أو نفس اللون):



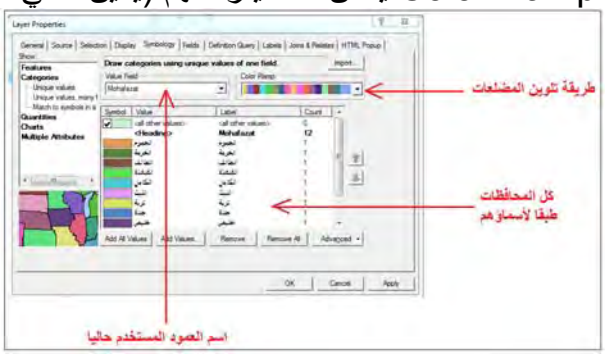
نضغط علي أيقونة **Categories** الترميز النوعي من قائمة طرق الترميز فستظهر لنا الطرق الثلاثة المتاحة للترميز النوعي فنختار أول طريقة **Unique values** الترميز بقيمة محددة:



تحدد أيقونة **Value Field** العمود (من جدول البيانات غير المكانية للطبقة الحالية) اختيار العمود المطلوب استخدامه للترميز النوعي أو الفئوي. نضغط السهم الصغير الأسود فتظهر لنا قائمة بأسماء أعمدة الطبقة (ما عدا عمودي FID, Feature وهما عمودان خاصين للبرنامج فقط)، في المثال الحالي لدينا عمودان بهذه الطبقة وهما عمود Mohafazat لأسماء المحافظات وعمود Sokan لعدد سكان كل محافظة، نختار العمود الأول، وفي أسفل الشاشة نضغط أيقونة **Add all values** إضافة كل القيم (قيم هذا العمود):

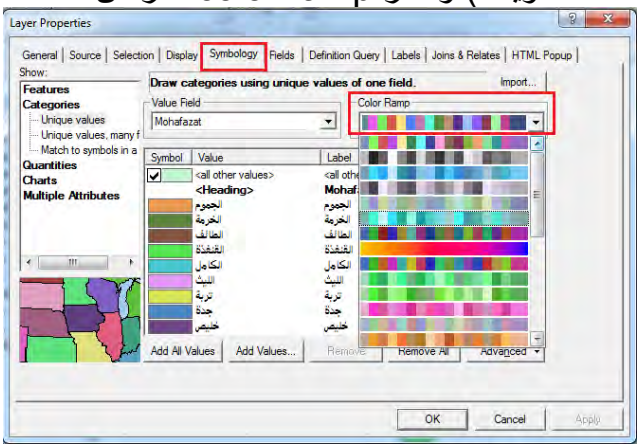


تظهر جميع المحافظات في الشاشة (طبقا لأسمائهم) وكل محافظة ستأخذ لون محدد أو قيمة مميزة. توجد عدة طرق للتلوين Color Ramp يمكن الاختيار منهم (يمين أعلي النافذة):

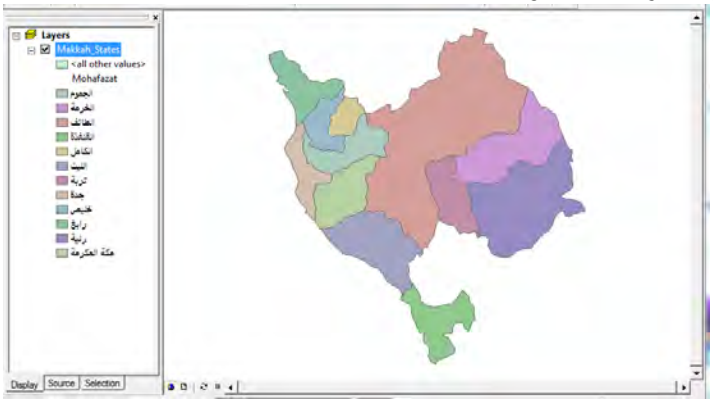


نضغط OK فيتم تلوين مضلعات (محافظات) الطبقة علي الخريطة، وتظهر طريقة الترميز في قائمة المحتويات أسفا اسم الطبقة:

يمكن تغيير طريقة التلوين بالعودة مرة أخري إلي نافذة خصائص الطبقة (أضغط مرتين متتاليتين علي أسم الطبقة في قائمة المحتويات) وأختر color ramp آخر من القائمة:

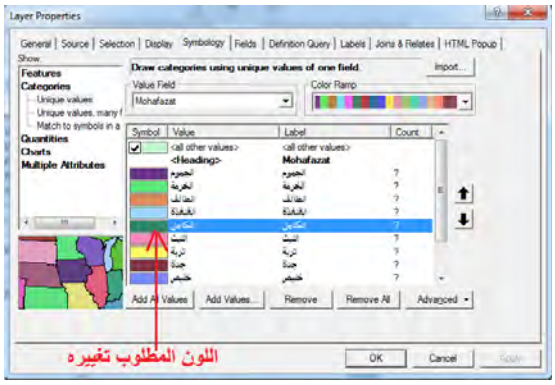


نضغط OK فتظهر الخريطة بالألوان الجديدة:

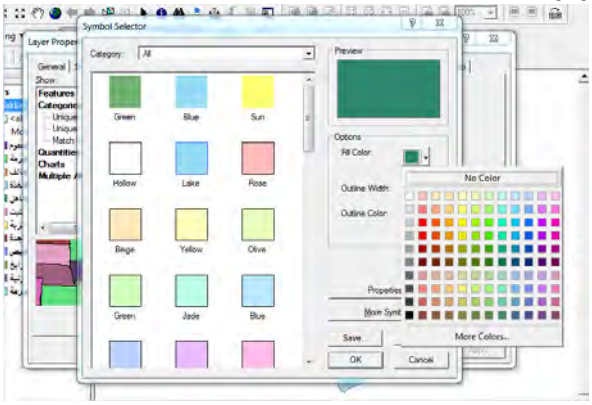


أما إذا أردنا الخريطة باللون الأسود فقط فيوجد أحد أنظمة الألوان color ramp مخصص لدرجات اللون الأسود (الرمادي).

في حالة وجود درجتي لون واحد قريبتين من بعضهما (لن يكون سهلا التمييز بينها علي الخريطة المطبوعة) فيمكن تغيير أحدهما إلي لون آخر: نضغط بالماوس الأيسر علي لون المضلع المطلوب تغييره ضغطتين متتاليتين:



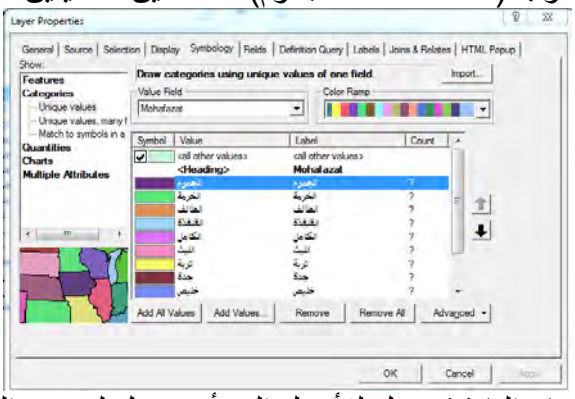
من النافذة الجديدة نختار اللون الجديد لهذا المضلع إما من قائمة الألوان الموجودة علي يسار الشاشة أو من السهم الصغير بجوار كلمة Fill color من يمين الشاشة:



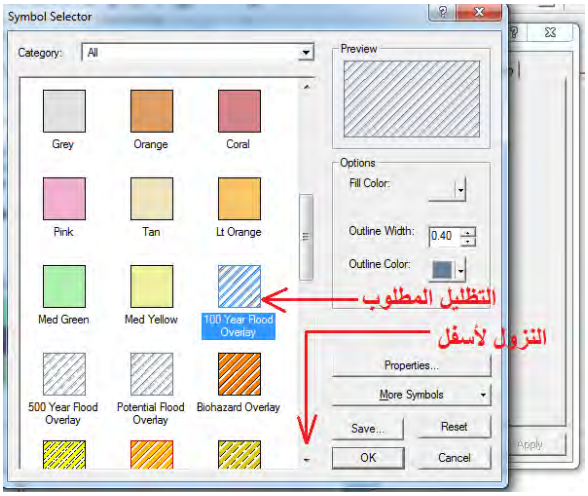
ثم نضغط Ok:

في حالة أننا نريد استخدام طريقة التظليل (بدون استخدام أية ألوان) فممن الممكن أن يتم تحديد نوع التظليل المطلوب لكل مضلع (محافظة) كالآتي:

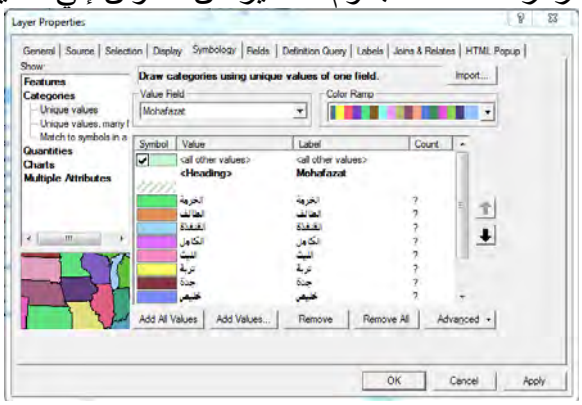
نضغط علي المضلع المطلوب (مثلا محافظة الجموم) ضغطتين متتاليتين:



من قائمة الرموز (علي يسار النافذة) ننزل للأسفل إلي أن نصل لرموز الظلال ونختار مثلا أول نوع تظليل:



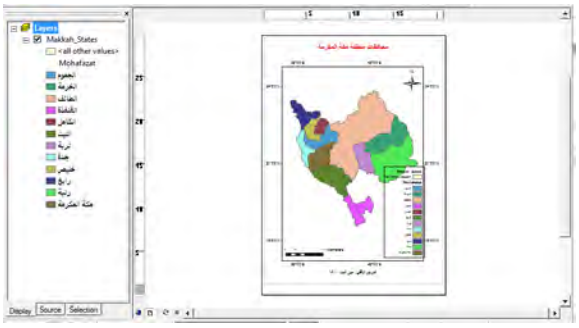
ثم نضغط OK، فنجد أن رمز محافظة الجموم قد تغير من الألوان إلي تظليل:



فإذا ضغطنا OK تظهر محافظة الجموم علي الخريطة بنوع الظلال الذي تم اختياره:

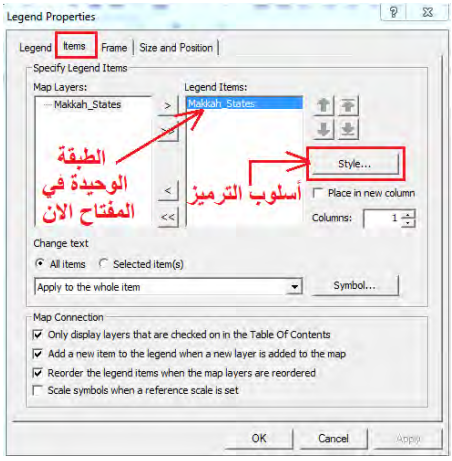
بهذه الطريقة يمكن تغيير رموز جميع المضلعات (المحافظات) إلي ظلال مختلفة لكي تكون الخريطة كلها بالأبيض و الأسود فقط.

إذا أردنا الآن طباعة هذه الخريطة فنتحول من شاشة البيانات إلي شاشة العرض أو الإخراج بالضغط علي أيقونة في أسفل يسار شاشة البرنامج. نجد أن مفتاح الخريطة يمثل طريقة الترميز التي قمنا بتنفيذها، لكن حجم المفتاح كبيرا بدرجة أنه يغطي المحتوي الجغرافي للخريطة ذاتها:

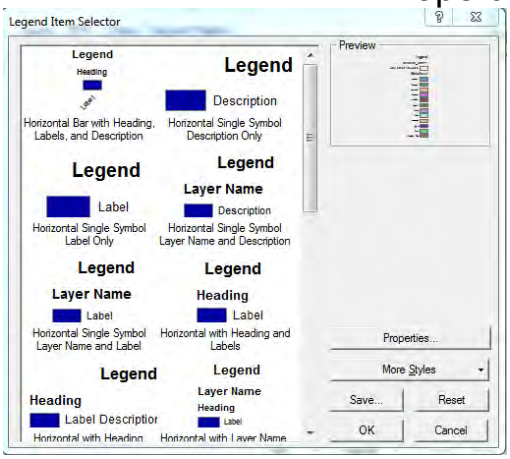


نختار (بالماوس الأيسر) مفتاح الخريطة ونضغط ضغطتين متتاليتين لإظهار خصائصه (أو نضغط بالماوس الأيسر ضغط واحدة ثم نختار Properties من القائمة المنسدلة). نجد أن الطبقة الوحيدة

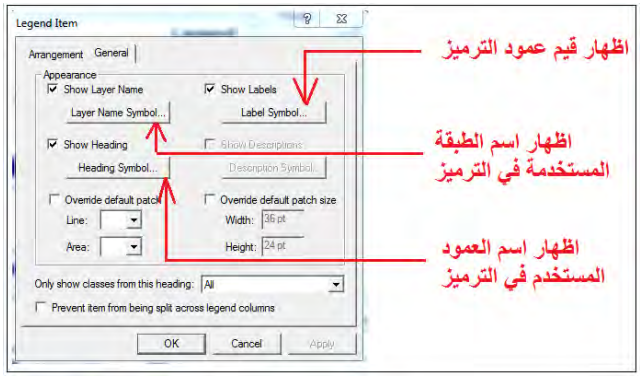
التي تظهر الآن هي طبقة المحافظات (لا يوجد سواها في المشروع الحالي) فندخل أيقونة Style لعرض تفاصيل إظهار الترميز:



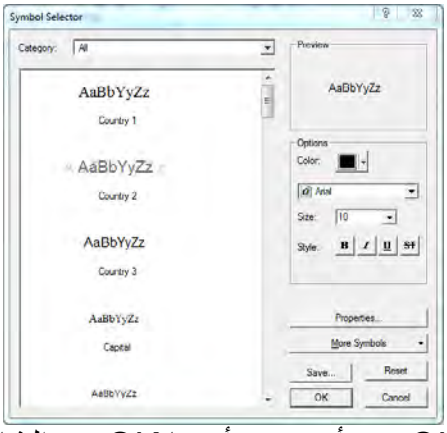
نضغط أيقونة خصائص Properties:



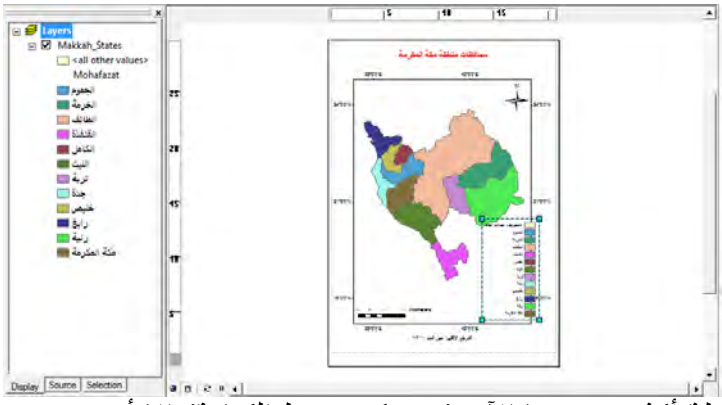
في النافذة الجديدة نضغط علي علامة "صح" الموجودة بحوار Show Layer Name لإخفاء اسم الطبقة من مفتاح الخريطة (فمن غير المنطقي ظهور اسم الطبقة علي الخريطة المطبوعة) وأيضا نضغط علي علامة "صح" الموجودة بجوار Show Heading لإخفاء أسم العمود من مفتاح الخريطة بحيث تبقي فقط علامة "صح" الموجودة بجوار Show Labels لإظهار قيم عمود الترميز (أسماء المحافظات في المثال الحالي):



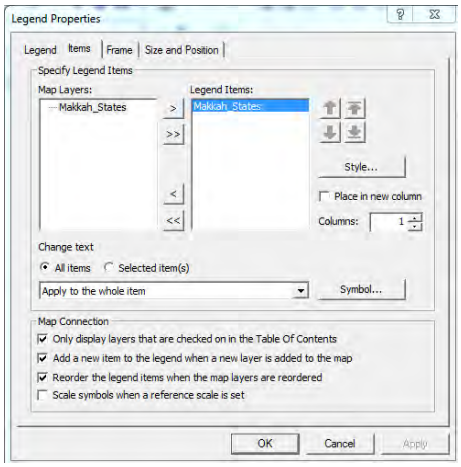
نضغط الآن أيقونة Label Symbol الموجودة تحت كلمة Label Show لكي نعرف خصائص الأسماء التي ستظهر في مفتاح الخريطة. نجد أن حجم بنط الكتابة يساوي ١٠ وهو حجم صغير نسبيا فنغيره إلي ١٢ مثلا لكي يكون واضحا و مقروءا علي الخريطة المطبوعة:



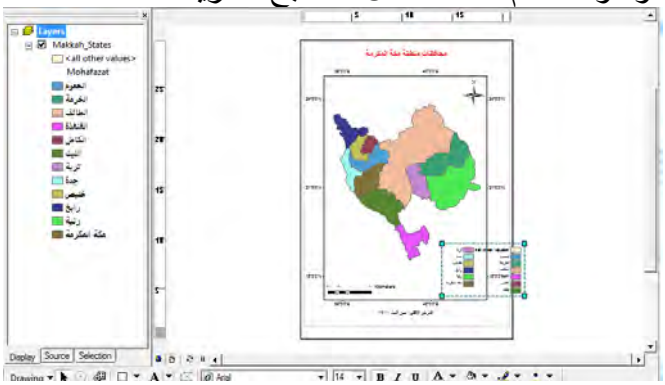
نعود للشاشة السابقة فنضغط OK مرة أخري، وأيضا OK في الشاشة التالية لتظهر لنا الخريطة الآن في نافذة الإخراج:



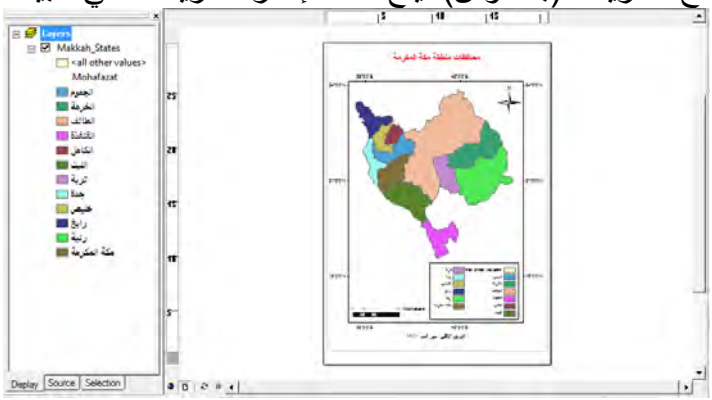
أصبح مفتاح الخريطة أكثر وضوحا الآن (بعد تكبير بنط الكتابة) إلا أن حجمه و مكانه أيضا غير مناسبين. نعود مرة أخري لخصائص المفتاح:



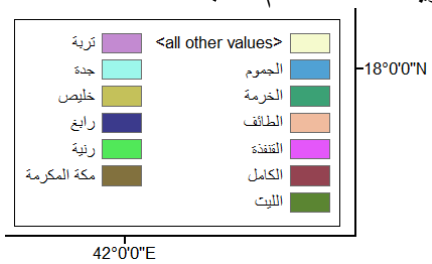
بجوار كلمة Column نغير الرقم من ١ إلي ٢، أي أن رموز مفتاح الخريطة تظهر علي عمودين متجاورين بدلا من عمود واحد، ثم نضغط OK فتصبح الخريطة:



ثم نقوم بتحريك مفتاح الخريطة (بالماوس) ليقع داخل إطار الخريطة علي سبيل المثال:

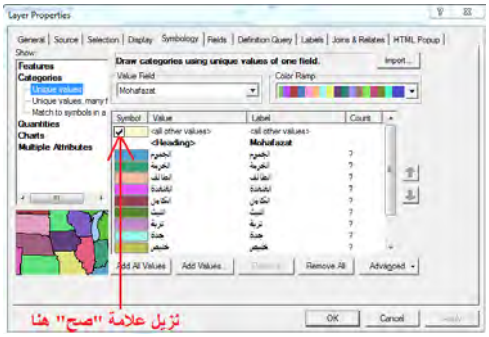


بالتدقيق في مفتاح الخريطة باستخدام أيقونة تكبير نافذة العرض (وليس نافذة البيانات) نري وجود أول رمز و بجواره كلمة all other values، بمعني أن هناك رمز محدد لتوضيح أية مضلعات أخري غير موجودة في مفتاح الخريطة. إذا دققنا النظر فنجد هذا الرمز و هذه الكلمة موجودين أيضا في قائمة المحتويات أسفل اسم الطبقة.



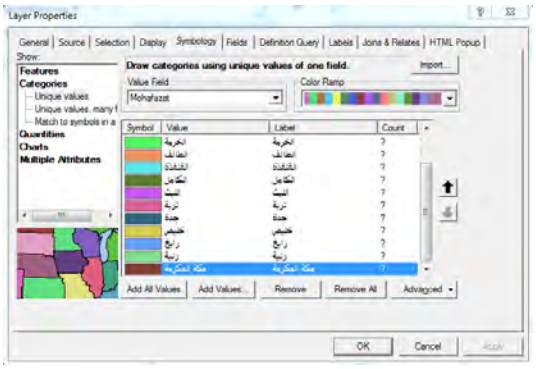
السبب أن برنامج Arc Map يفترض أن المستخدم – ربما في حالة معينة - يريد إبراز رموز محددة أو مختلفة تظهر في مفتاح الخريطة بينما توجد عدة مضلعات تأخذ رمز آخر لهم جميعا، مثلا لو أردنا في هذا التمرين إظهار محافظة مكة المكرمة فقط بلون بينما كل المحافظات الأخرى ستأخذ لون أبيض ففي هذا الحالة سيظهر في مفتاح الخريطة رمز واحد يمثل محافظة مكة المكرمة بينما كل المحافظات الأخرى ستأخذ رمز أبيض وسيكون أمامها كلمة all other values أي جميع القيم الأخرى. لكن في مثالنا الحالي فأننا قد أعطينا رمز محدد لكل محافظة من محافظات

المنطقة الإدارية وبالتالي لا يوجد أي محافظة أو مضلع غير ممثل في مفتاح الخريطة، ولذلك فمن المنطقي إزالة رمز all other values من مفتاح الخريطة، وذلك بأن نفتح خصائص الطبقة (ضغطتين متتاليتين علي اسم الطبقة في قائمة المحتويات) ثم إزالة علامة "صح" الموجود أمام كلمة all other values:

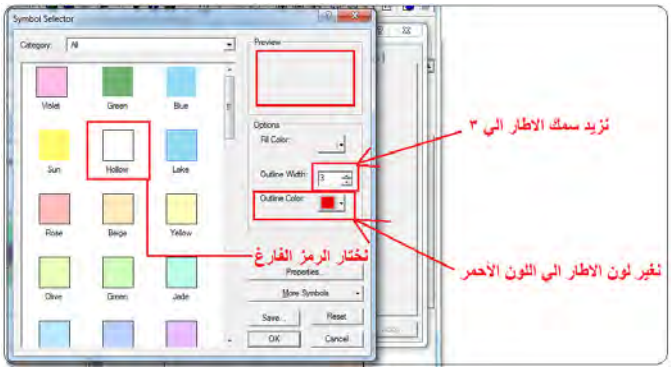


الآن اختفت كلمة و رمز all other values من قائمة المحتويات و من مفتاح الخريطة أيضا:

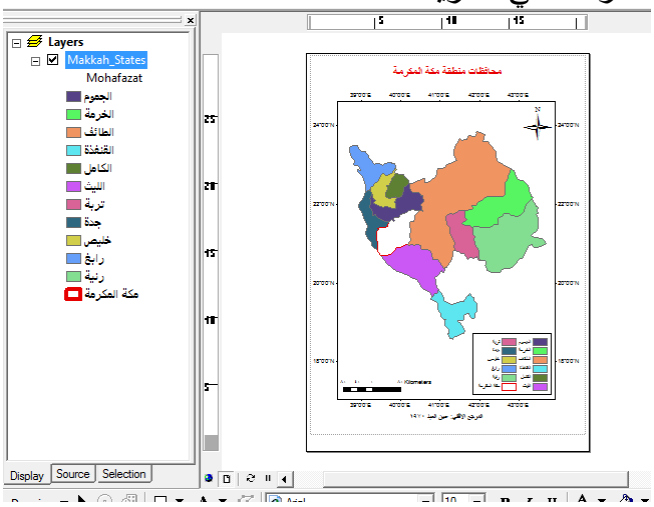
أيضا يمكننا تمييز مضلع معين (لأهميته مثلا) بإعطائه رمز محدد أكثر تميزا و ظهورا علي الخريطة. مثلا إن أردنا تمييز محافظة مكة المكرمة بإعطائها رمزا مختلفا (اللون الأبيض) مثلا مع زيادة سمك الخط الخارجي للمضلع. نفتح خصائص الطبقة و نضغط ضغطتين متتاليتين علي مضلع مكة المكرمة:



نختار رمز المضلع الفارغ Hollow ثم نختار لون الإطار Outline Color ليكون اللون الأحمر (مثلا) ونجعل سمك الإطار Outline Width يساوي ٣، ثم نضغط OK:



فتصبح محافظة مكة المكرمة علي الخريطة:

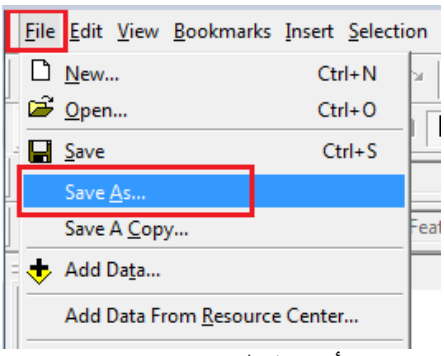


نحفظ المشروع في الخطوة الأخيرة.

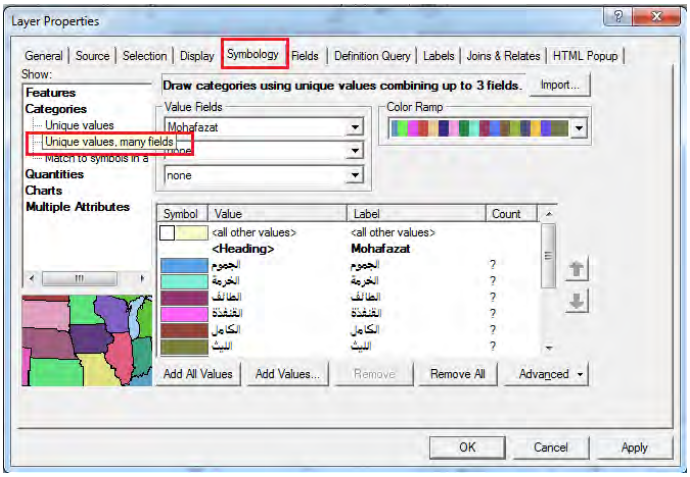
الترميز النوعي باستخدام قيمة مميزة مع إظهار قيم أخري

هذا النوع من الترميز النوعي يشبه بدرجة كبيرة النوع السابق إلا أنه يتميز عنه بوجود إمكانية لعرض قيم أخري (أعمدة أخري من جدول البيانات) في مفتاح الخريطة. مثلا يمكن إعادة عمل الترميز في المثال السابق مع ظهور عدد سكان كل محافظة بجوار أسمها في مفتاح الخريطة. يمكن لبرنامج Arc Map استخدام قيمة واحدة أو قيمتين (عمودين) إضافيين – بحد أقصي - في مفتاح الخريطة في هذا النوع من الترميز.

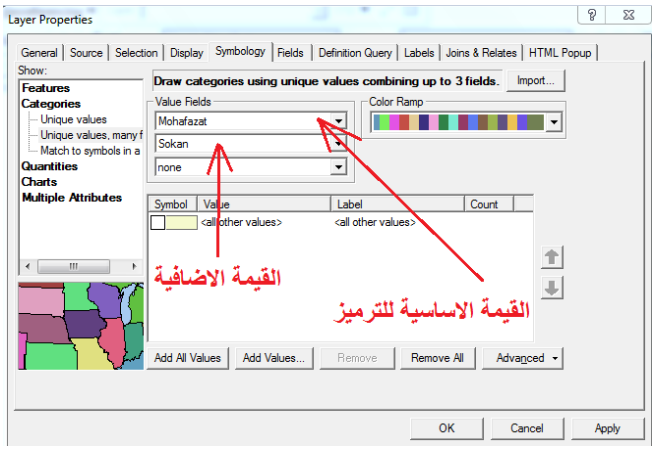
نفتح المشروع السابق ثم نعيد تسميته save as باسم جديد (حتى نجعل ما نقوم به الآن من خطوات لا تؤثر علي شكل الخريطة أو المشروع السابق).



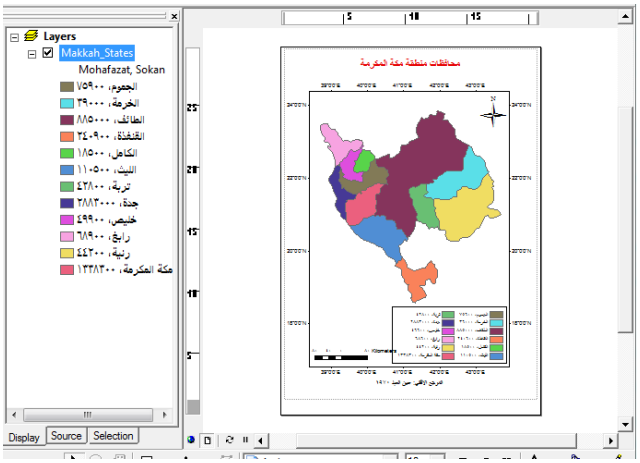
نفتح خصائص طبقة المحافظات وفي أيقونة الترميز **Symbology** نختار طريقة **Unique values, many fields** أي قيمة مميزة مع إظهار قيم أخري:



توجد ٣ سطور تحت كلمة Value fields لاختيار ٣ أعمدة (من جدول البيانات غير المكانية للطبقة الحالية) لإظهارهم في مفتاح الخريطة علي أن يكون الاختيار الأول هو الأساسي لتنفيذ الترميز بينما يكون الاختيارين الآخرين هما الذين تظهر قيمهما في مفتاح الخريطة. في السطر الأول نختار عمود Mohafazat (الذي يحتوي أسماء المحافظات في المثال الحالي) ثم نختار في السطر الثاني عمود Sokan (الذي يحتوي عدد سكان كل محافظة):



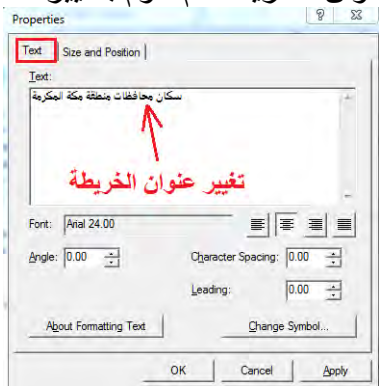
نضغط Add All Values في أسفل يسار النافذة ثم نضغط OK



في قائمة المحتويات (يسار الشاشة) نجد أن كل مضلع (محافظة) مكتوب بجواره أسمه و عدد سكانه، وهذا هو ما يظهر أيضا في مفتاح الخريطة.

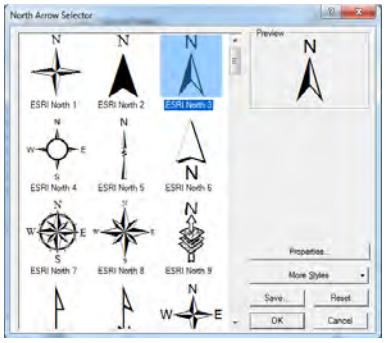
بما أننا في بداية التمرين الحالي قد قمنا بفتح مشروع سابق (ثم إعادة تسميته) فيجب أن نغير عنوان الخريطة الجديدة (ليصبح مثلا: سكان محافظات منطقة مكة المكرمة) وأيضا نقوم بتصغير مفتاح الخريطة الجديد حتى يكون مناسبا في حجمه للخريطة:

نضغط ضغطتين متتاليتين علي عنوان الخريطة ثم نقوم بتغيير النص:

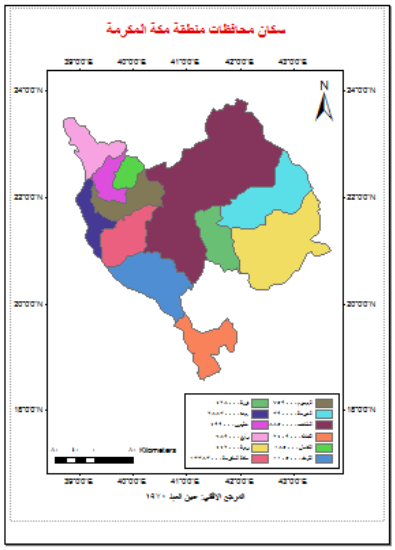


أيضا يمكن تغيير نوع (شكل) اتجاه الشمال طالما يتوافر بالبرنامج عدة أشكال منه وحتى يكون هناك تنوع في الخرائط التي نقوم بإعدادها، نضغط عليه ضغطتين متتاليتين ثم نضغط أيقونة North Arrow Style :

و نختار شكل آخر من أشكال سهم الشمال:



لتصبح الخريطة الجديدة كالتالي:

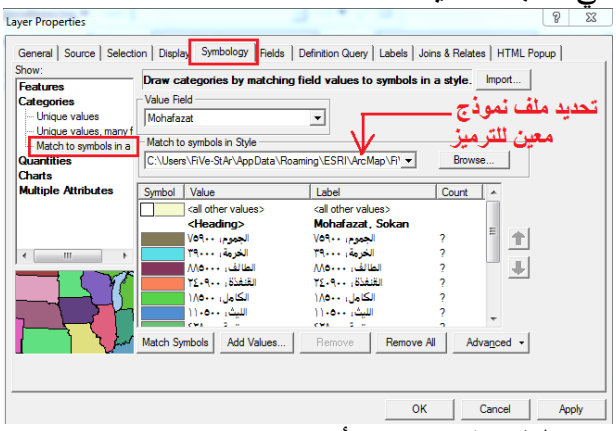


نحفظ المشروع في الخطوة الأخيرة.

الترميز النوعي باستخدام نماذج محددة

الطريقة الثالثة من طرق الترميز النوعي (أو الفئوي) في برنامج Arc Map تعتمد علي تطبيق نماذج محددة للترميز **Match to symbols in a style**، وهي طريقة تناسب المستخدم المتقدم وليس المستخدم المبتدئ.

علي سبيل المثال إذا كان لدينا مجموعة من الطبقات المتماثلة الخصائص (مثلا عدة طبقات تمثل محافظات كل منطقة إدارية من مناطق المملكة العربية السعودية) وقمنا بتصميم أسلوب معين في الترميز (ألوان محددة أو تظليل بطريقة معينة) لأول طبقة من هذه الطبقات، ولا نريد أن نكرر كل خطوات الترميز هذه عند فتح كل طبقة من الطبقات الأخرى. في هذه الحالة نقوم بتخزين طريقة الترميز في ملف وعند فتح الطبقة الثانية نقوم باستدعاء هذا الملف (خصائص ترميز الطبقة الأولي) لكي يتم تنفيذه مباشرة علي الطبقة الثانية:



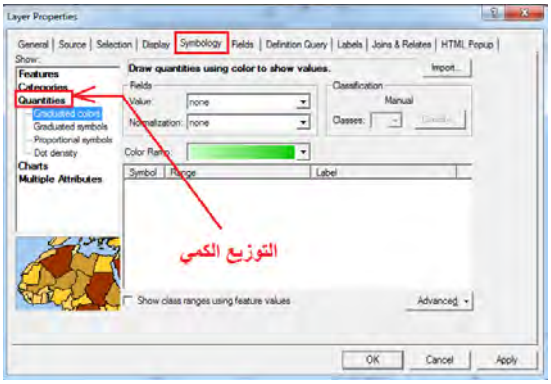
يمكن للقارئ أن يجرب هذه الطريقة بنفسه إن أراد.

٢٢-٨-٢ الترميز الكمي

توجد ٤ طرق مختلفة يقدمها برنامج Arc Map للتوزيع الكمي (لتمثيل قيم) للظاهرات الجغرافية:

- التدرج اللوني
- التدرج في مقاسات الرموز
- مناسبة حجم الرمز للقيمة
- التمثيل الكمي بالنقط

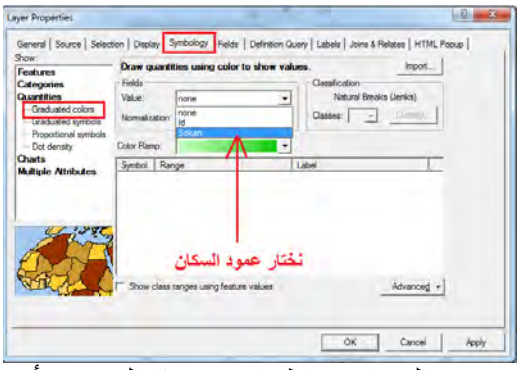
نفتح المشروع السابق (طبقة المحافظات) ونعيد تسميته **save as** باسم جديد. نضغط علي أسم طبقة المحافظات (في قائمة المحتويات) ضغطتين متتاليتين لفتح خصائصها ثم نضغط أيقونة الترميز **Symbology** ومنها نختار (نضغط) **التوزيع الكمي Quantities**:



طريقة التدرج اللوني

تعتمد طريقة التدرج اللوني Graduated Colors للتوزيع الكمي علي تقسيم قيم الظاهرة إلي مجموعة فئات وتخصيص لون معين لكل فئة منهم. فمثلا في التمرين الحالي (محافظات منطقة مكة المكرمة) لدينا عمود Sokan داخل جدول البيانات غير المكانية Attribute Table لهذه الطبقة يحتوي قيم عدد سكان كل محافظة. في التمرين السابق استخدمنا التوزيع النوعي (الفئوي) حيث تعامل البرنامج مع كل قيمة من هذا العمود كقيمة مفردة وسينتج لنا خريطة توزيعات بها ١٣ لون مختلف لتمثيل سكان المنطقة. بينما في التوزيع الكمي فأن برنامج Arc Map سيتعامل إحصائيا مع هذا العمود (عدد السكان) ويستطيع تقسيمه إلي فئات (سنحدد نحن عددهم) وبالتالي سيمثل كل فئة (عدة محافظات منقاريين في عدد السكان) بلون محدد.

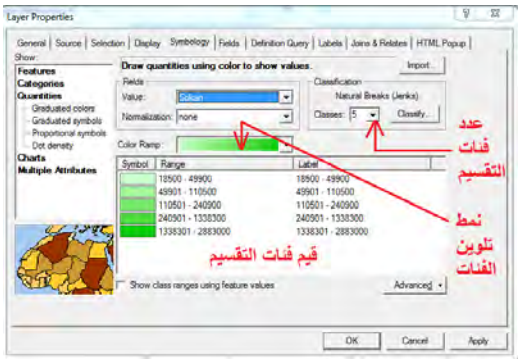
من نافذة التوزيع نختار أمر **Graduated colors للتدرج اللوني** ومن السهم الصغير الأسود بجوار كلمة **Value أو القيمة** نختار عمود Sokan (العمود الذي يحتوي قيم عدد سكان كل محافظة):



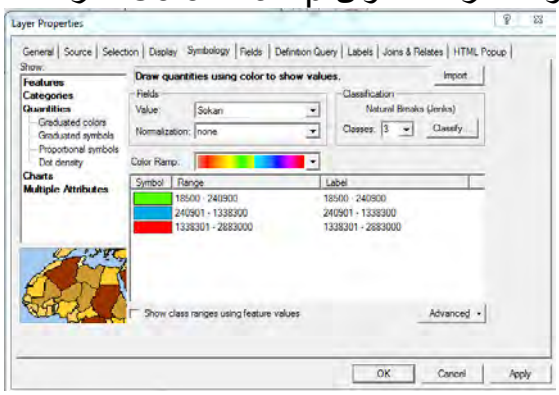
بمجرد اختيار عمود التقسيم سيقوم البرنامج بإظهار قيم هذا العمود (أعداد السكان) مقسمين إلي ٥ فئات، فمثلا الفئة الأولي ستكون عدد سكانها يتراوح بين ١٨٥٠٠ إلي ٤٩٩٠٠ نسمة، بينما الفئة الثانية سيتراوح عدد السكان بها من ٤٩٩٠١ إلي ١١٠٥٠٠ نسمة، وهكذا.

كثير من المستخدمين المبتدئين يستعجلون ويقبلون باختيارات البرنامج فيضغطون OK مباشرة، مع أن كل هذه التقسيمات مجرد مقترحات من برنامج Arc Map ويمكن للمستخدم تغيير أيا منها بكل بساطة. فمثلا يمكننا تغيير عدد فئات التقسيم من خلال السهم الأسود الصغير الموجود بجوار كلمة

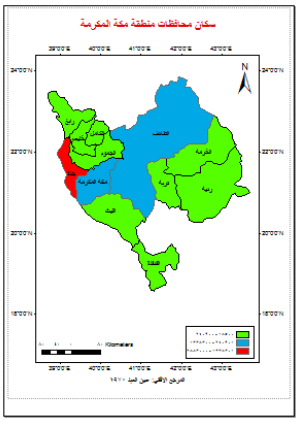
Classes أو الفئات وجعلهم ٣ فئات فقط، فسيكون أسهل علي قارئ الخريطة – في المثال الحالي – أن يعرف المحافظات قليلة السكان و المحافظات متوسطة السكان و المحافظات كثيرة السكان (أي ٣ فئات فقط). بينما ربما في تطبيقات أخري نريد زيادة عدد الفئات إلي ٧ مثلا، لذلك فالمستخدم غير مجبر أن يرسم جميع الخرائط وهي مقسمة إلي ٥ فئات كما يقترح البرنامج (البرنامج يقبل عدد فئات من ١ إلي ٣٢ فئة). كما أننا يمكننا تغيير نمط الألوان color Ramp كما سبق أن فعلنا في التمارين السابقة حتى تكون ألوان الخريطة معبرة ومتجانسة ومريحة لعين القارئ أيضا.



سنغير عدد الفئات إلي ٣ وسنختار نمط ألوان Color Ramp آخر:

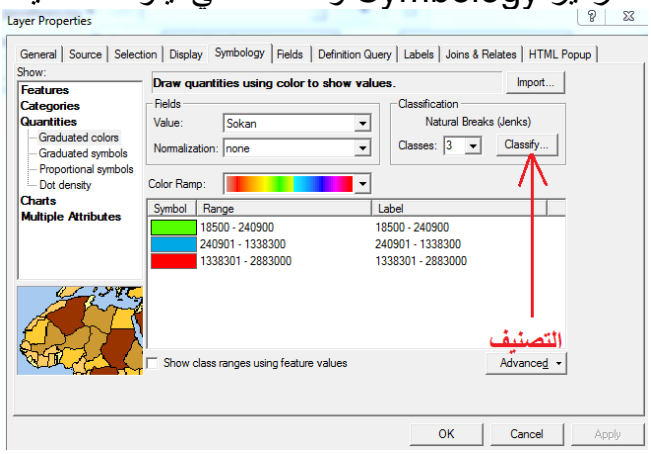


ثم نضغط OK لنري خريطة التوزيعات الكمية متدرجة اللون، ونجد بها ٩ محافظات باللون الأخضر يتراوح عدد سكانها بين ١٨٥٠٠ و ٢٤٠٩٠٠ ، بينما توجد محافظتين فقط (الطائف و مكة المكرمة) باللون الأزرق ويتراوح عدد سكانهما بين ٢٤٠٩٠١ و ١٣٣٨٣٠٠ وتظهر محافظة جدة بمفردها باللون الأحمر:

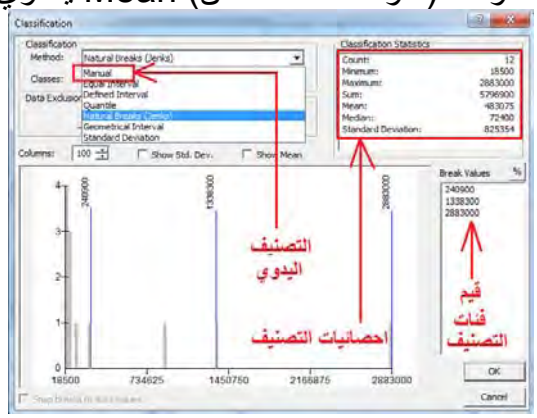


لكن أليس من الأسهل أن نحدد نحن فئات التقسيم بدلا من أن نترك هذه المهمة للبرنامج؟ مثلا نريد أن تكون الفئة الأولي هي فئة السكان الأقل من ٥٠٠،٠٠٠ بينما الفئة الثانية للسكان بين ٥٠٠،٠٠٠ و مليون والفئة الثالثة للسكان الأكثر من مليون. أليس هذا أفضل لقراءة و تفسير الخريطة بسهولة؟.

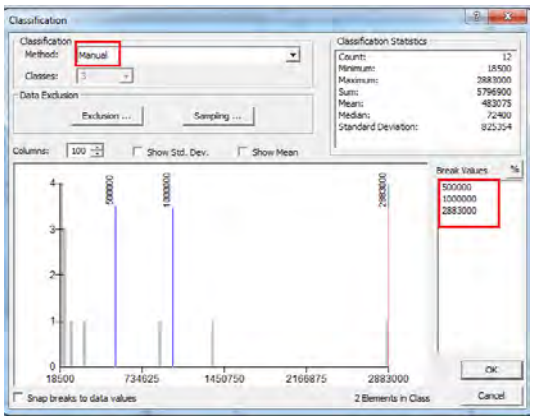
نعود مرة أخري لنافذة الترميز Symbology ونضغط علي أيقونة التصنيف Classify:



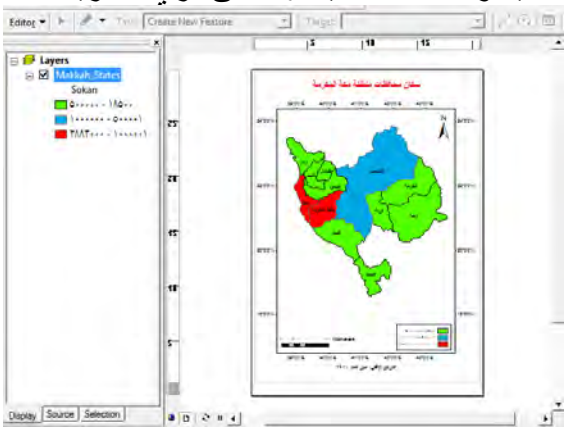
نجد أن البرنامج يقدم عدة طرق لتصنيف البيانات أو القيم تحت أيقونة Method، فإذا فتحنا قائمة طرق التصنيف (من السهم الأسود الصغير) نجد منهم طريقة التصنيف اليدوي Manual التي تتيح للمستخدم أن يحدد بنفسه قيم فئات التصنيف. أيضا تحتوي هذه النافذة علي إحصائيات التصنيف Classification Statistics في الجزء العلوي الأيمن حيث نري أن: عدد القيم (عدد المحفظات) Count يساوي ٨، وأن أقل قيمة (أقل عدد سكان) Minimum يساوي ١٨٥٠٠، وأن أكبر قيمة (أكبر عدد سكان) يساوي ٢٨٨٣٠٠٠، وأن المجموع (مجموع السكان) يساوي Sum يساوي ٥٧٩٦٩٠٠، وأن المتوسط (متوسط عدد السكان) Mean يساوي ٤٨٣٠٧٥.



نختار طريقة التصنيف اليدوي Manual من قائمة طرق التصنيف Method ثم تحت كلمة Break Values قيم (أو حدود) فئات التصنيف نكتب القيم التي نريدهم وهما ٥٠٠،٠٠٠ (آخر الفئة الأولي) و مليون (آخر الفئة الثانية)، بينما سنترك الرقم الثالث ٢٨٨٣٠٠٠ كما هو حيث أنه يساوي أكبر عدد سكان وهو آخر الفئة الثالثة:

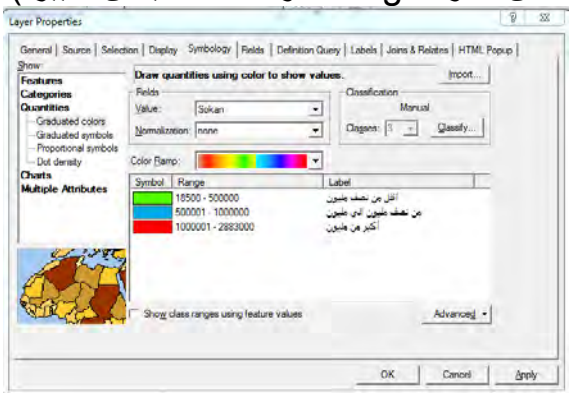


نضغط OK في الشاشة الحالية و الشاشة التالية لها حتى نري الخريطة بشكلها الجديد:

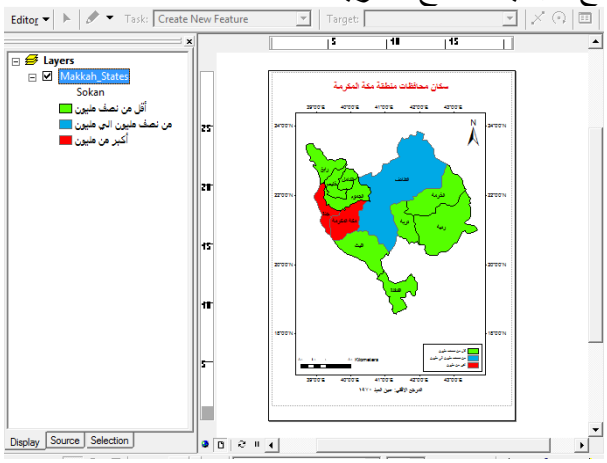


أي أن السكان أصبحوا ممثلين بثلاثة فئات: الأولي من ١٨٥٠٠ (أقل عدد سكان فعلي للمحافظات) إلي ٥٠٠،٠٠٠ نسمة، والثانية من ٥٠٠،٠٠١ إلي مليون نسمة، والثالثة من ١،٠٠٠،٠٠١ إلي ٢،٨٨٣،٠٠٠ نسمة (أكبر عدد سكان فعلي للمحافظات).

أيضا يمكننا – إن أردنا - تغيير طريقة عرض مفتاح الخريطة ليكون أسهل في التعبير عن عدد السكان، فمثلا الفئة الأولي يمكن أن نكتب بجوارها جملة "أقل من نصف مليون" بينما نكتب أمام الفئة الثانية جملة "من نصف مليون إلي مليون" ونكتب أمام الفئة الثالثة جملة "أكبر من مليون". نعود لنافذة الترميز Symbology مرة أخري ونغير ما هو مكتبو تحت عمود Labels أي ما يظهر علي الخريطة (لاحظ أن عمود Range أو المدى لا يمكن تغييره):



نضغط OK لنري الوضع الجديد لمفتاح الخريطة:

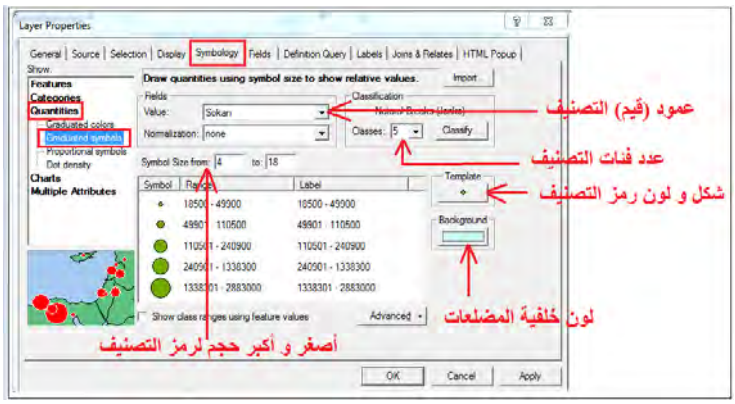


طريقة التدرج في مقاسات الرموز

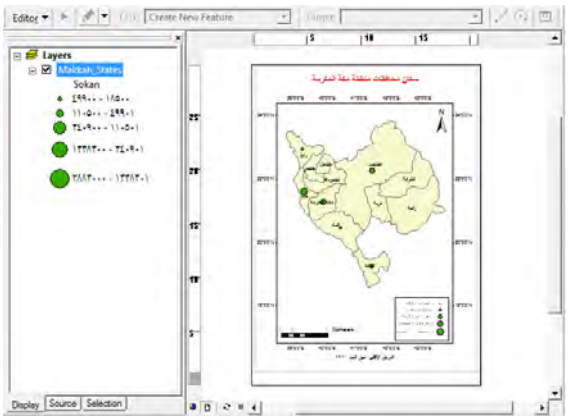
تعتمد طريقة التدرج في مقاسات الرموز علي تمثيل فئات البيانات باستخدام نفس الرمز وان كان سيتدرج في الحجم من فئة لأخرى.

نفتح نافذة خصائص الطبقة (طبقة المحافظات) ومن أنواع التوزيع (في أقصي يسار الشاشة) نختار التوزيع الكمي **Quantities** ومنها نختار طريقة **التدرج في مقاسات الرموز Graduated symbols**.

بجوار كلمة Value أو القيم نضغط السهم الصغير الأسود ومن قائمة أعمدة جدول البيانات غير المكانية نختار عمود السكان Sokan، أيضا نحدد عدد فئات التصنيف بجوار كلمة Classes (سنتركها ٥ فئات مؤقتا). نجد أن البرنامج قد أختار رمز الدائرة باللون الأخضر لإتمام عملية التوزيع الحالية (يمكننا تغيير شكل و لون هذا الرمز بالضغط علي أيقونة Template) وأيضا قام البرنامج بتحديد مبدئي لحجم الرمز Symbol Size ليتدرج من الحجم ٤ لأصغر فئة إلي الحجم ١٨ لأكبر فئة (يمكننا تغيير هذه القيم إن أردنا).

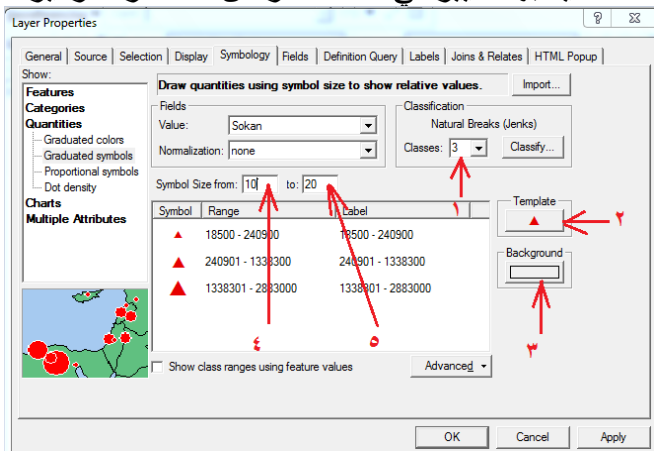


نضغط OK لرؤية الخريطة الجديدة:

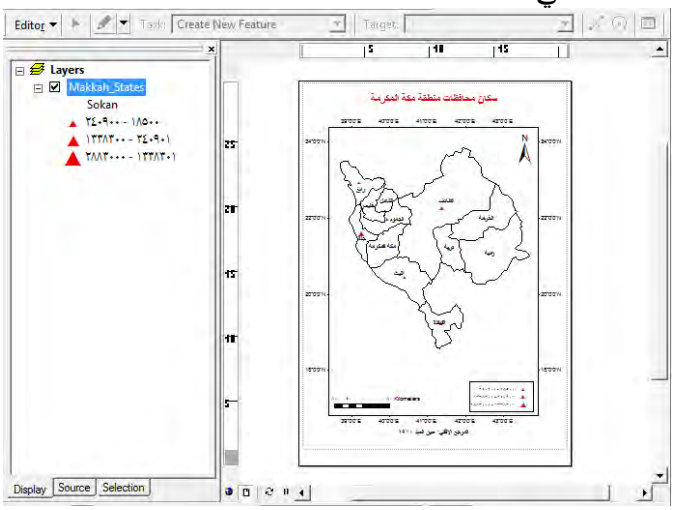


يمكن تغيير أي عنصر من عناصر طريقة الترميز (شكل الرمز و لونه و لون الخلفية و عدد الفئات وحجم الرموز المستخدمة) من نافذة الترميز، فما يبدأ به برنامج Arc Map هو فقط مقترحات للمستخدم وليس خيارات إجبارية.

علي سبيل المثال الشاشة التالية بها تغيير في ٥ عناصر من عناصر الترميز:



ينتج عنها خريطة مختلفة كالتالي:

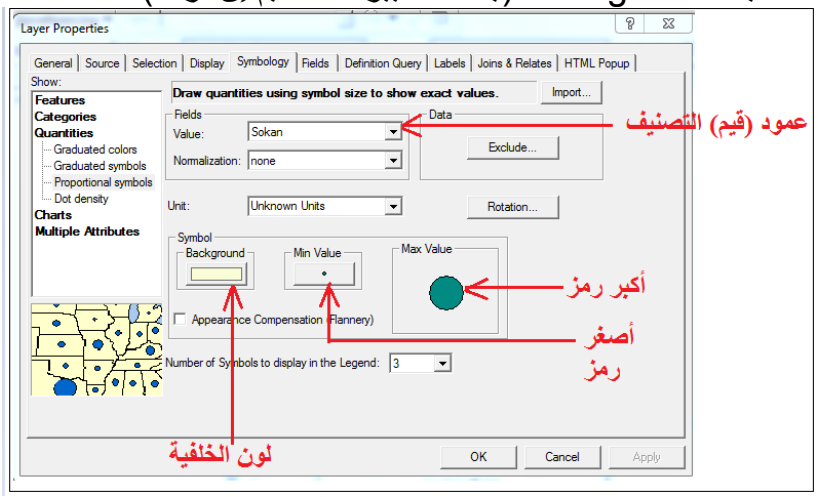


طريقة مناسبة حجم الرمز للقيمة

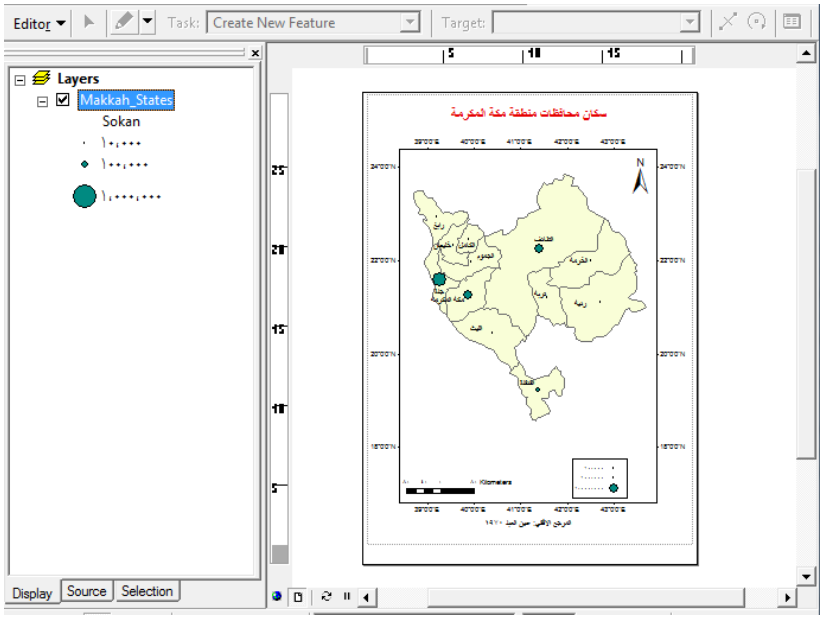
تختلف هذه الطريقة (التوزيع الكمي المتناسب الحجم) عن الطريقة السابقة في أن قيم فئات التصنيف ستكون متدرجة في القيمة.

نفتح نافذة خصائص الطبقة (طبقة المحافظات) ومن أنواع التوزيع (في أقصي يسار الشاشة) نختار التوزيع الكمي **Quantities** ومنها نختار طريقة **التوزيع المتناسب الحجم Proportional symbols**.

بجوار كلمة Value أو القيم نضغط السهم الصغير الأسود ومن قائمة أعمدة جدول البيانات غير المكانية نختار عمود السكان Sokan، أيضا عدد فئات التصنيف Number of symbols to display in the legend، ونحدد حجم أصغر رمز Min Value وحجم أكبر رمز Max Value ولون الخلفية Background (يمكننا تغيير هذه القيم إن أردنا).



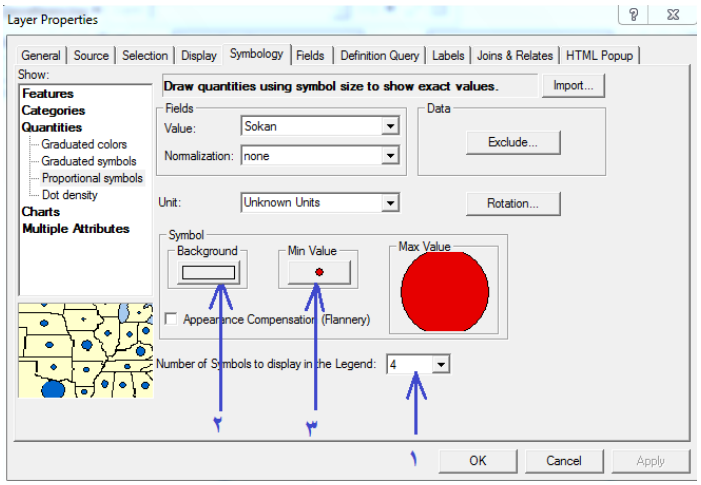
نضغط OK:



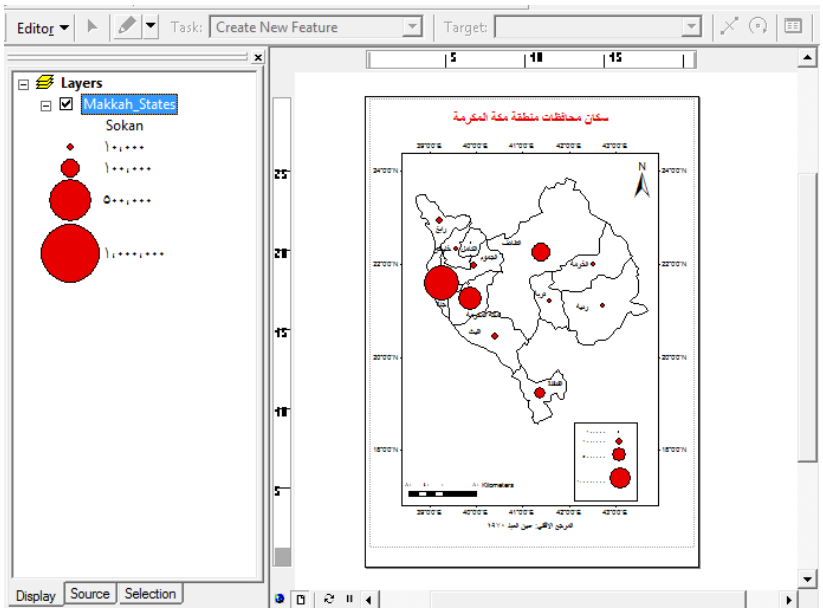
نجد البرنامج قد قسم قيم سكان المحافظات إلي ٣ فئات تمثل الفئة الأولي ١٠,٠٠٠ نسمة بينما الفئة الثانية تمثل ١٠٠،٠٠٠ نسمة والفئة الثالثة تمثل ١،٠٠٠،٠٠٠ نسمة (قيم آسية بحيث يزيد أس كل فئة بمقدار الواحد عن أس الفئة السابقة).

مرة أخرى: يمكن تغيير أي عنصر من عناصر طريقة الترميز (شكل الرمز و لونه و لون الخلفية و عدد الفئات وحجم الرموز المستخدمة) من نافذة الترميز، فما يبدأ به برنامج Arc Map هو فقط مقترحات للمستخدم وليس خيارات إجبارية.

علي سبيل المثال الشاشة التالية بها تغيير في ٣ عناصر من عناصر الترميز:



ينتج عنها خريطة مختلفة كالتالي:

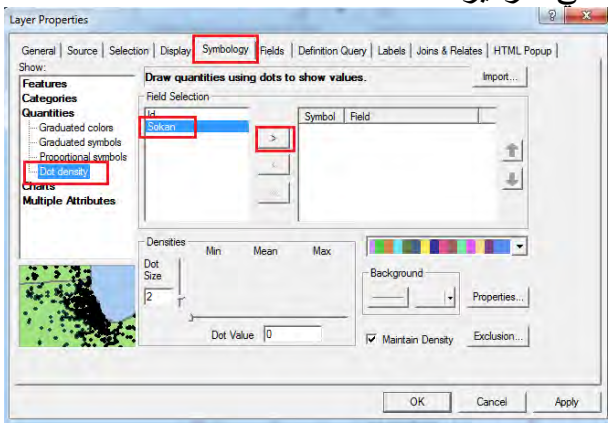


طريقة التمثيل الكمي بالنقط

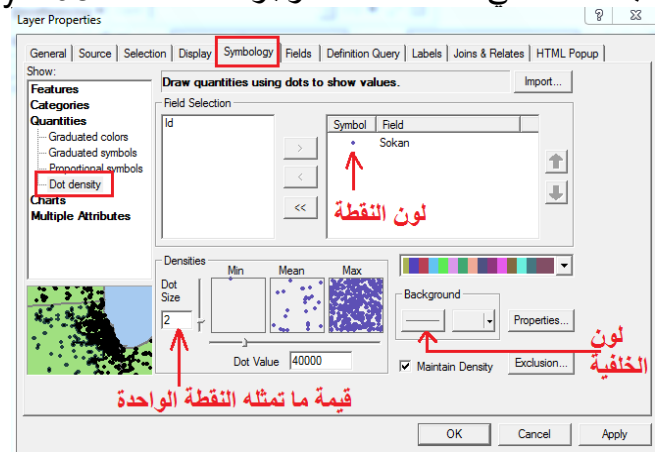
تعتمد طريقة التمثيل النقطي علي تحديد قيمة لما تمثله نقطة واحدة من قيم البيانات (العمود) المطلوب تمثيلها، ومن ثم يمكن حساب عدد النقاط اللازمة لتمثيل كل قيمة (عدد السكان) كل مضلع (محافظة). لذلك فتسمي هذه الطريقة بطريقة النقاط أو طريقة الكثافة النقطية، وأيضا تسمي الخرائط الناتجة باسم خرائط النقاط أو خرائط الكثافة.

نفتح نافذة خصائص الطبقة (طبقة المحافظات) ومن أنواع التوزيع (في أقصي يسار الشاشة) نختار التوزيع الكمي **Quantities** ومنها نختار طريقة **كثافة النقاط Dot density**.

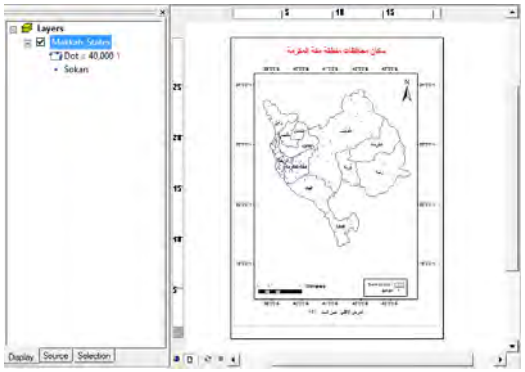
تحت كلمة "اختيار العمود Field Selection" نجد قائمة بأسماء أعمدة الطبقة الحالية، ونجد فقط عمودي Sokan ,ID لأنهما العمودين الوحيدين الذين يحتويان أرقام، بينما لا يظهر عمود Mohafazat لأنه يحتوي نص (أسماء المحافظات) وهي لا تصلح للتمثيل الكمي بالطبع. نختار عمود Sokan بالماوس الأيسر (نظلله) ثم نضغط السهم المتجه لليسار حتى ننقل هذا العمود إلي قائمة الأعمدة المستخدمة في الترميز:



الآن يمكننا تحديد: حجم النقطة الواحدة Dot Size و لون الخلفية Background وقيمة ما تمثله النقطة الواحدة Dot Value (قيمة ما تمثله النقطة الواحدة من عدد السكان في المثال الحالي) أيضا يمكن تغيير لون النقاط بالضغط علي شكل النقطة الموجود تحت كلمة Symbol في أعلي النافذة:

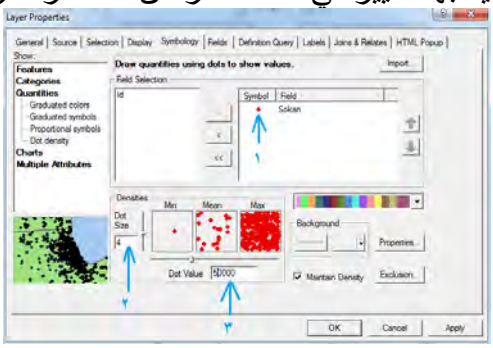


نضغط OK لنري الخريطة:

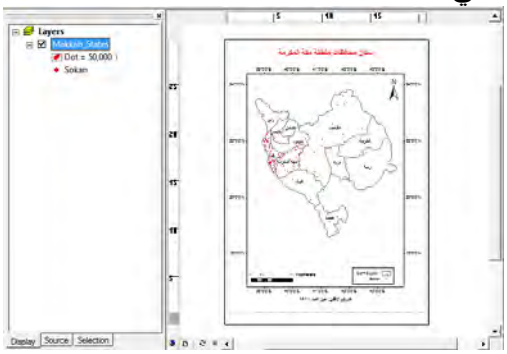


<u>للتأكيد مرة أخري:</u> يمكن تغيير أي عنصر من عناصر طريقة الترميز (لون النقطة و لون الخلفية و قيمة ما تمثله النقطة الواحدة) من نافذة الترميز، فما يبدأ به برنامج Arc Map هو <u>فقط مقترحات للمستخدم وليس خيارات إجبارية</u>.

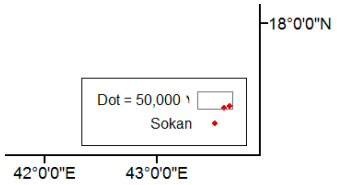
علي سبيل المثال الشاشة التالية بها تغيير في ٣ عناصر من عناصر الترميز:



ينتج عنها خريطة مختلفة كالتالي:



بتدقيق النظر في مفتاح الخريطة الحالية نجد المفتاح يحتوي قيمة ما تمثله النقطة الواحدة وأيضا اسم العمود المستخدم، أي أن مفتاح هذه الخريطة يدل علي أن النقطة الواحدة تمثل ٥٠،٠٠٠ من عدد السكان.



٢٢-٨-٣ الترميز بالرسوم البيانية

يوفر برنامج Arc Map ثلاثة طرق لاستخدام الرسوم البيانية في التوزيع وهي: الدوائر النسبية و الأعمدة و الأعمدة المتجمعة.

قبل البدء في تمارين هذا الجزء سنقوم بإضافة عمودين جديدين إلي جدول البيانات غير المكانية لطبقة المحافظات (سنحتاجهما في الجزء التالي). في هذي العمودين سندخل قيم عدد السكان السعوديين (في عمود أسمه مثلا Saudi) و عدد السكان غير السعوديين (في عمود أسمه مثلا Non_Saudi) في كل محافظة من محافظات منطقة مكة المكرمة الإدارية (قيم غير حقيقية للتدريب فقط):

Attributes of Makkah_States

FID	* Shape	Id	Mohafazat	Sokan	Saudi	Non_Saudi
0	Polygon	0	جدة	288300	1500000	1383000
1	Polygon	0	الليث	110500	100000	10500
2	Polygon	0	القنفذة	240900	220000	20900
3	Polygon	0	مكة المكرمة	133830	760000	578300
4	Polygon	0	الخرمة	39000	32000	7000
5	Polygon	0	تربة	42800	35000	7800
6	Polygon	0	رنية	44200	38000	6200
7	Polygon	0	الطائف	885000	730000	155000
8	Polygon	0	رابغ	68900	55000	13900
9	Polygon	0	الكامل	18500	16000	2500
10	Polygon	0	الجموم	75900	60000	15900
11	Polygon	0	خليص	49900	42000	7900

Record: 2 Show: All Selected Records

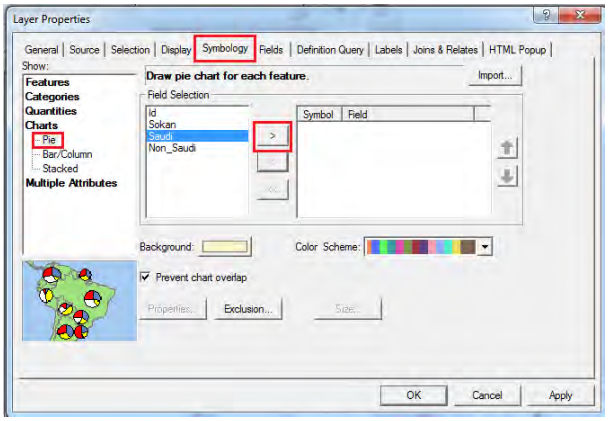
التمثيل على شكل دوائر نسبية

تعتمد طريقة الدوائر النسبية (كما هو واضح من أسمها) علي التمثيل النسبي – داخل دائرة – لقيم متغيرين أو أكثر لبيان توزيع نسبة كل متغير من إجمالي القيمة.

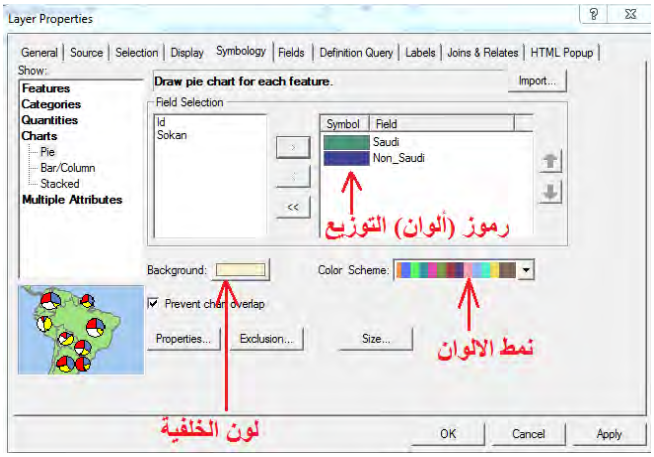
مثلا سنقوم بتمثيل أعداد السكان السعوديين و السكان غير السعوديين (في كل محافظة من محافظات منطقة مكة المكرمة) علي هيئة دائرة - لكل محافظة – مقسمة إلي جزأين يمثلان نسبة كل نوع من نوعي السكان هذين.

نفتح نافذة خصائص الطبقة (طبقة المحافظات) ومن أنواع التوزيع (في أقصي يسار الشاشة) نختار التوزيع بالرسوم البيانية **Charts** ومنها نختار طريقة **الدوائر النسبية Pie**.

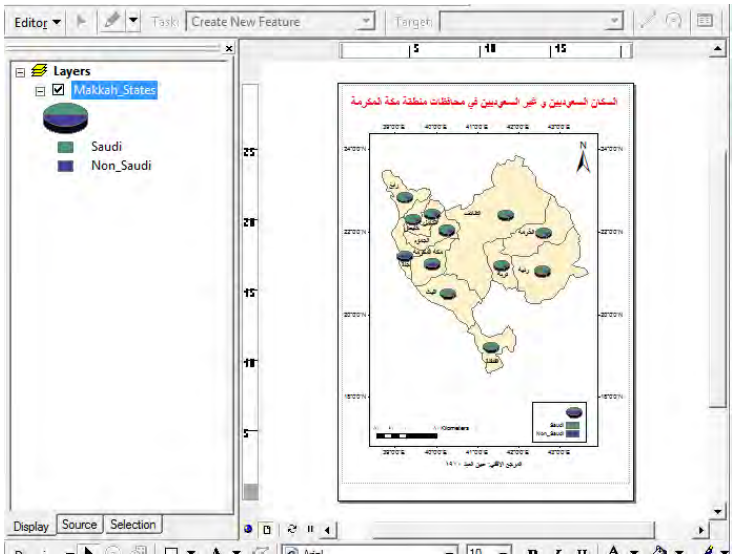
تحت كلمة "اختيار العمود Field Selection" نجد قائمة بأسماء أعمدة الطبقة الحالية. نختار عمود Saudi بالماوس الأيسر (نظلله) ثم نضغط السهم المتجه لليسار حتى ننقل هذا العمود إلي قائمة الأعمدة المستخدمة في الترميز، ونكرر نفس الخطوة لعمود Non_Saudi:



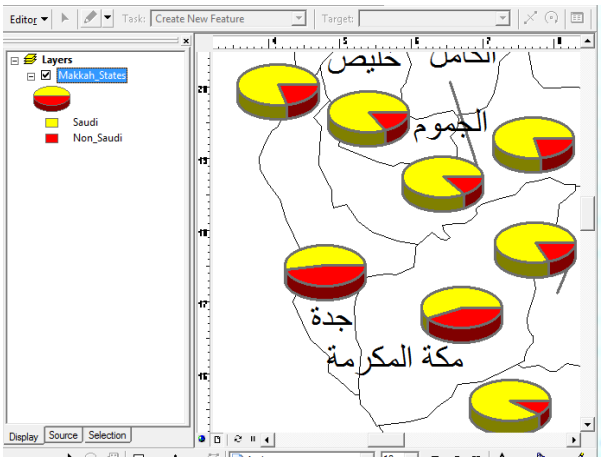
يمكن تغيير لون كل عنصر من العناصر التي سيتم تمثيلها وأيضا تغيير لون الخلفية و نمط الألوان ذاته. إن لم نغير أي شئ نضغط OK:



تكون خريطة التوزيع كالتالي:

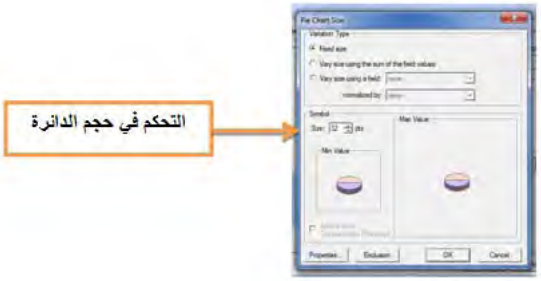


بتغيير ألوان التوزيع – لتكون أكثر وضوحا - و استخدام أيقونة تكبير الخريطة نجد:



كل دائرة نسبية (داخل كل محافظة) مقسمة إلي جزأين – غير متساويين بالطبع – أحدهما يمثل السكان السعوديين و الآخر يمثل السكان غير السعوديين. فعلي سبيل المثال نري أن محافظة جدة بها عدد السعوديين يقارب عدد السكان غير السعوديين، بينما في محافظة الجموم مثلا فأن عدد السكان غير السعوديين ربما يكون أقل من ربع عدد السكان السعوديين.

جميع خصائص الترميز يمكن التحكم بها (وتغيير أيا منها) من نافذة الترميز، يمكن للقارئ تغيير العناصر التالية علي سبيل المثال:

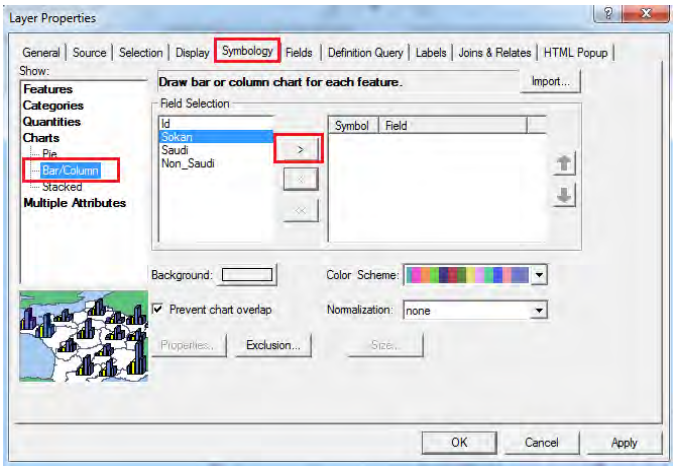


التمثيل بالأعمدة

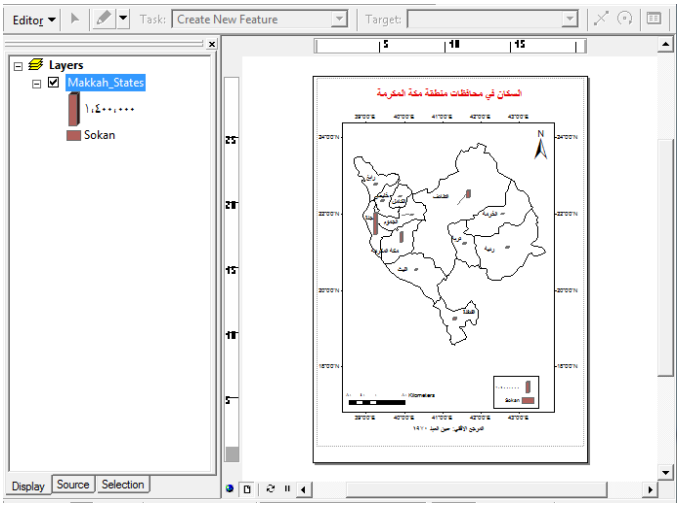
في طريقة التمثيل بالأعمدة البيانية سيقوم برنامج Arc Map برسم عمود بياني داخل كل مضلع وسيكون طول هذا العمود معبرا أو ممثلا للقيمة المطلوب تمثيلها علي الخريطة. أي أن هذه الطريقة تعتمد علي تمثيل عنصر واحد فقط بخلاف طريقة الدوائر النسبية السابقة التي تعتمد علي تمثيل العلاقة النسبية بين عنصرين أو أكثر.

نفتح نافذة خصائص الطبقة (طبقة المحافظات) ومن أنواع التوزيع (في أقصي يسار الشاشة) نختار التوزيع بالرسوم البيانية **Charts** ومنها نختار طريقة **الأعمدة Bar/Column**.

تحت كلمة "اختيار العمود Field Selection" نجد قائمة بأسماء أعمدة الطبقة الحالية. نختار عمود إجمالي عدد السكان Sokan بالماوس الأيسر (نظلله) ثم نضغط السهم المتجه لليسار حتى ننقل هذا العمود إلي قائمة الأعمدة المستخدمة في الترميز:

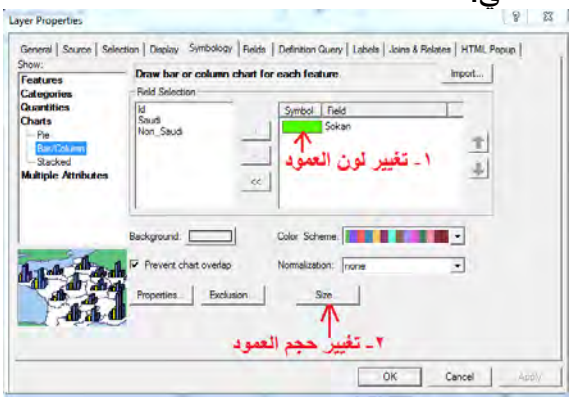


نضغط OK فنري خريطة التوزيعات:

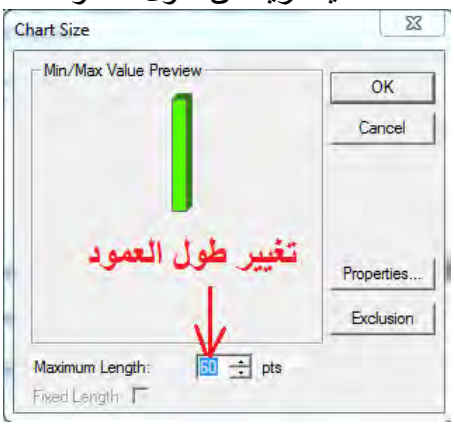


أي أن البرنامج (كما هو واضح في قائمة المحتويات بأيسر الشاشة) قد رسم عمود تقريبا طوله ١ سنتيمتر ليمثل ١،٤٠٠،٠٠٠ نسمة من عدد السكان، وداخل كل محافظة يوجد عمود يتناسب طوله مع عدد سكان المحافظة الفعلي.

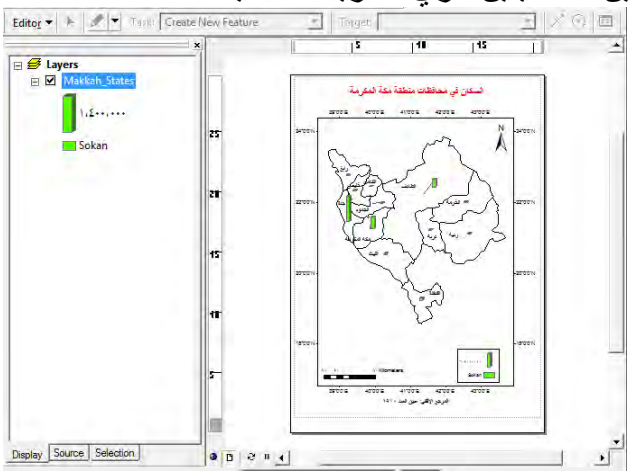
يمكننا تغيير لون العمود الأساسي:



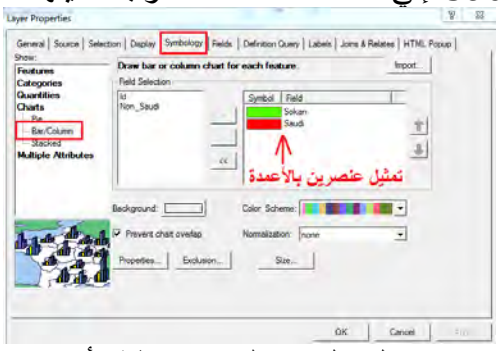
ثم نضغط أيقونة Size وفي الشاشة التالية نزيد من طول العمود الأساسي:



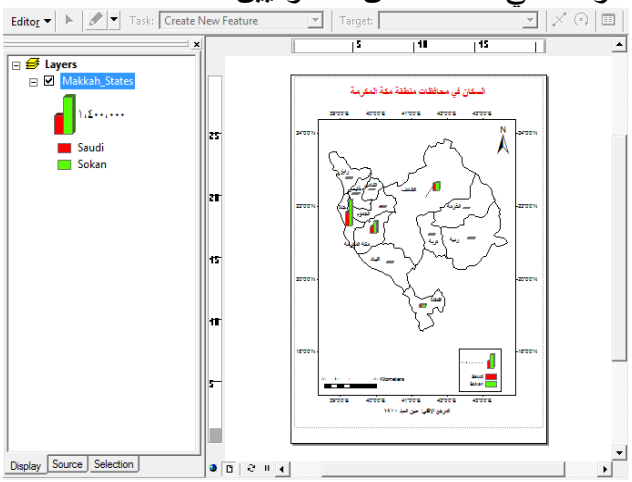
نضغط OK في النافذتين المتتاليتين لنري الخريطة الجديدة:



يمكن استخدام طريقة التمثيل بالأعمدة لتمثيل أكثر من عنصر (قيمة) علي الخريطة. إذا أضفنا عمود السكان السعوديين Saudi إلي قائمة الأعمدة المطلوب تمثيلها:

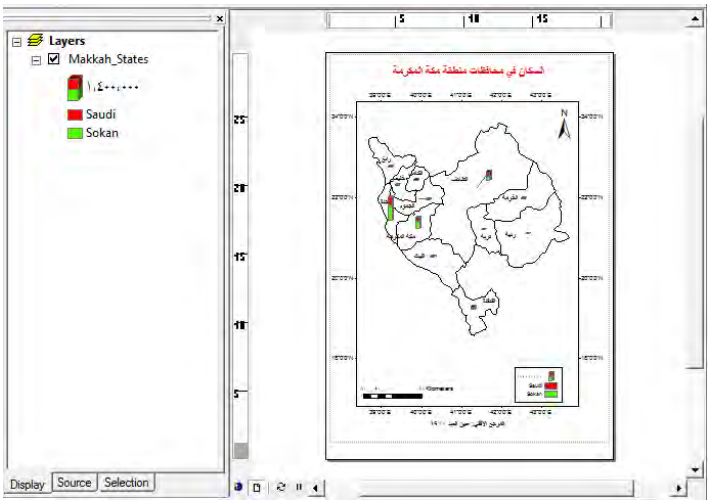


فنحصل علي خريطة بها عمودين داخل كل مضلع (محافظة) أحدهما يمثل عدد السكان الإجمالي للمحافظة بينما يمثل العمود الثاني عدد السكان السعوديين فقط:



التمثيل بالأعمدة المتجمعة

تشبه طريقة الأعمدة المتجمعة الطريقة السابقة (في حالة تمثيل أكثر من عنصر) إلا أن الأعمدة تكون رأسية بدلا من أن تكون أفقية.



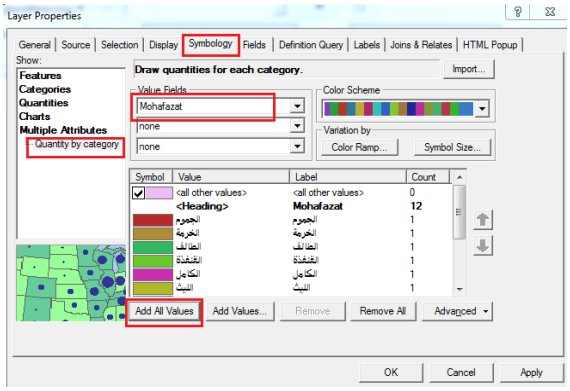
٤-٨-٢٢ التوزيع المتعدد

يمكن باستخدام هذه الطريقة إعداد خريطة بها نوعين مختلفين من طرق التوزيع، مثلا أحدهما توزيع نوعي (فئوي) والآخر توزيع كمي.

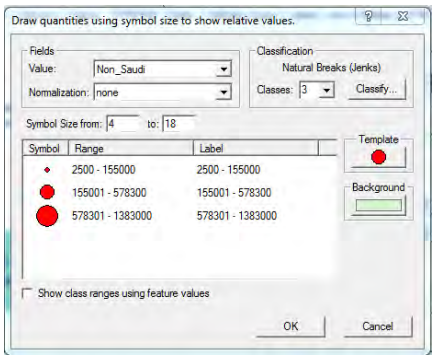
في التمرين الحالي سنقوم بعمل خريطة بها (١) توزيع نوعي للمحافظات بناءا علي الأسماء، (٢) توزيع كمي – بطريقة الرموز المتدرجة مثلا – لأعداد سكان كل محافظة.

نفتح نافذة خصائص الطبقة (طبقة المحافظات) ومن أنواع التوزيع (في أقصي يسار الشاشة) نختار التوزيع المتعدد **Multiple Attributes** ومنها نختار طريقة **التقسيم إلي فئات Quantity by category**.

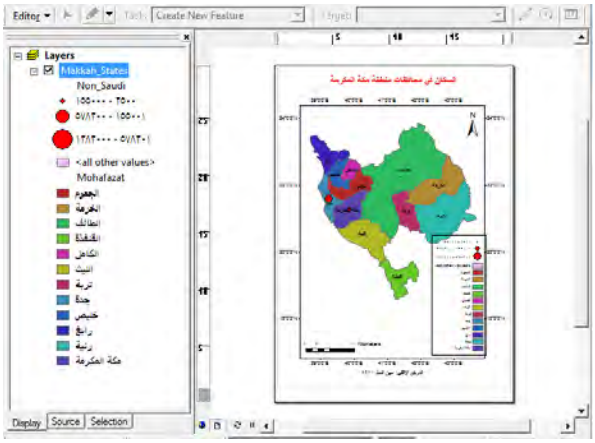
تحت كلمة "اختيار العمود Value Field" نضغط السهم الأسود الصغير و نختار عمود Mohafazat الذي يحتوي أسماء المحافظات، ثم نضغط في أسفل النافذة أيقونة Add All Values:



الآن نضغط أيقونة Symbol Size لإضافة طريقة التوزيع الثانية (بالرموز المتدرجة) ونحدد عدد الفئات المطلوبة Classes بثلاثة ونختار عمود Non_Saudi (عدد السكان غير السعوديين) كقيم التمثيل الكمي المطلوب:

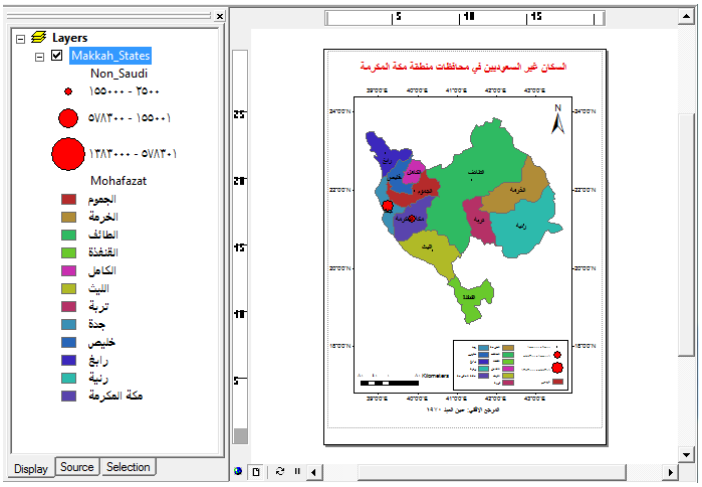


ثم نضغط OK للشاشة الحالية و التالية أيضا حتى نري الخريطة الجديدة:



توضح الخريطة نوعين من التوزيعات: توزيع نوعي للمحافظات و توزيع كمي لعدد السكان غير السعوديين باستخدام طريقة الرموز المتدرجة الحجم.

بالطبع لا بد للخريطة السابقة من إخراج كارتوجرافي سليم، فمثلا نغير مفتاح الخريطة ليكون علي أكثر من عمود ويكون ذو حجم مناسب للخريطة ذاتها (كما فعلنا في التمارين السابقة):



المراجع

Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

Anderson, J. and Mikhail, E., 1998, Surveying: Theory and practice, Seventh Edition, McGraw-Hill, New York, USA.

Borio, D., 2008, A statistical theory for GNSS signal acquisition, PhD Dissertation, Politecbco Di Torino, 291 pp.

Bossler, J., Camprell, J., McMaster, R., and Rizos, S. (Eds.) 2010, Manual of geospatial science and technology, CRC Press, New Yprk, USA.

Brimicombe, A., (2010) GIS, environmental modeling, and engineering, 2nd edition, CRC Press, New York, UA.

California Department of Transportation, 2006, Global Positioning System (GPS) survey specifications, California, USA, Available at: http://www.dot.ca.gov/hq/row/landsurveys/SurveysManual/06_Surveys.pdf.

Cojocaru, S., Birsan, E., Battinca, G., and Arsenie, P., 2009, GPS-GLONASS_GALILEO: A dynamical comparison, Journal of Navigation, 62: 135-150.

Dana, P., 2000, Map projection, The Geographer's Craft Project, Department of Geography, The university of Colorado at Boulder,, USA, Available on-line at: http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/

DeMers, M. (2009) GIS for dummies, Wiley Publishing Inc., Indiana, USA.

Dodge, M., McDerby, M., and Yuner, M. (Eds.) (2008) Geographic visualization: Concepts, tools, and applications, Jon Wiley & Sons, Chichester, England.

Galati, S. (2006) Geographic Information Systems demystified, Artech House, Boston, USA.

Ghilani, C., and Wolf, P., 2006, Adjustment computations: Spatial data analysis, Forth edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA.

Harvey, F. (2008) A primer of GIS: Fundamental geographic and cartographic concepts, The Guilfored press, New York, USA.

Heiskanean, W. and Moritz, H., 1967, Physical geodesy, W. H. Freeman and Company, San Francisco, USA.

Hofman-Wellenhof, B. and Moritz, H., 2005, Physical geodesy, Springer Wien, New York, USA.

Iliffe, J., 2005, Datums and map projection: For remote sensing, GIS, and surveying, CRC Press, Washington, DC, USA.

Jekeli, C., 2006, Geodetic reference systems in geodesy, Lecture notes, Division of geodesy and geospatial science, School of Earth sciences, Ohio State University, Columbus, Ohio, USA.

Kaplan, E. and Hegarty, C., 2006, Understanding GPS: Principles and applications, Second Edition, Artech House, Inc., Boston, USA.

Koch, K., 1988, Parameter estimation and hypothesis testing in linear models, Second Edition, Springer-Verlag, Berlin, Germany.

Lieck, A., 1995, GPS Satellite surveying, John Wiley & Sons Inc., New York, USA.

Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D., and Rhind, D., 2005, Geographical information systems and science, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, England.

Mackaness, W., Ruas, A., and Sarjakoski, L., (Eds.), 2007, Generalization of geographic information: Cartographic modeling and applications, Elsevier, New York, USA.

Mendizabal, J., Berenguer, R., and Melendez, J., 2009, GPS & Galileo: Dual RF front-end receiver and design, fabrication, and test, McGraw Hill Co., New York, USA.

Mikhail, E., 1976, Observations and least squares, University press of America, New York, USA.

Ministry of sustainable resource management, 2005, British Columbia guidelines for GPS RTK surveys, Release 1.0, British Colombia, Canada, Available at: http://www.ilmb.gov.bc.ca/crgb/gsr/documents/BCGuidelinesForRTKGPSSurveysApril2008.pdf.

Mugnier, C., 2008a, Grids and Datums: Arab Republic of Egypt, ASPRS Newsletter, November, pp. 1307-1309, Available at: http://www.asprs.org/resources/Grids/11-2008-egypt.pdf .

Mugnier, C., 2008b, Grids and Datums: Kingdom of Saudi Arabia, ASPRS Newsletter, August, pp. 949-951, Available at: http://www.asprs.org/resources/Grids/08-2008-saudi.pdf .

NRC (Natural Resources Canada), Fundamentals of remote sensing, A free tutorial, available at:

http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf

Natural Resources Canada, 1995, GPS positioning guide, Third Edition, Ottawa, Canada, Available at: http://luna.csrs.nrcan.gc.ca/GPS_Guide_e/GPS_Guide_e.pdf.

Pavlis, N., Holmes, S., Kenyon, S., and Factor, J. , 2008, An earth gravitational model to degree 2160: EGM2008, The European Geosciences Union (EGU) general Assembly, Vienna, Austria, Available at: http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/NPavlis&al_EGU2008.ppt .

Prasad, R. and Ruggieri, M., 2005, Applied satellite navigation using GPS, Galileo and augmentation systems, Artech House, Inc., Boston, USA

US Defense Mapping Agency: DMA, 1959, Geodesy for the layman, First edition, Available at: http://164.214.2.259/GandG/geolay/toc.htm

US National Imagery and Mapping Agency (NIMA), 2000, Department of Defense World Geodetic System 1984: Its definition and relationships with local geodetic system, Technical Report TR8350.2, Third Edition, Washington, DC, USA.

US Army Corps of Engineering, 1990, Survey markers and monumentation, Engineering manual No. 1110-1-1002, Washington, DC, USA, Available at: http://www.usace.army.mil/publications/eng-manuals/em1110-1-1002/toc.htm .

US Army Corps of Engineering, 2003, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.

Raizner, C., 2008, A regional analysis of GNSS-levelling, MSC Thesis, Stuttgart University, 133 pp.

Seeber, G., 2003, Satellite Geodesy, Second Edition, Walter de Gruyter Co., Berlin, Germany

Taylor, G., and Blewitt, G., 2006, Intelligent positioning: GIS-GPS unification, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, England.

van Oosterom, P., Zalatanova, S., Penninga, F., and Fendel, E. (Eds.), 2008, Advances in 3D geo-information systems, Springer, Berlin, Germany.

Verbyla, D., 2002, Practical GIS analysis, Taylor & Francis, New York, USA.

Uotila, U., 1986, Notes on adjustment computations: Part I, Lecture notes, Geodetic science and surveying department, Ohio state university, Columbus, Ohio, USA.

Vanicek, P., 2001, An online tutorial in Geodesy, http://gge.unb.ca/Research/GeodesyGroup/tutorial/tutorial.htm .

Yang, C., Wong, D., Miao, Q., and Yang, R. (Eds.), 2011, Advances geo-information science, CRC Press, New Yprk, USA.

Wells, D., Beck, N., Delikaraoglou, D., Kleusberg, A., Krakiwsky, E., Lacgapelle, G., Langley, R., Nakiboglu, M., Schwarz, K., Tranquilla, J., and Vanicek, P., 1986, Guide to GPS positioning, Department of geodesy and geomatics engineering lecture note 58, University of New Brunswick, Canada, 291 pp, Available at: http://gge.unb.ca/Pubs/LN58.pdf.

نبذة عن المؤلف

- الدكتور جمعة محمد داود محمود من مواليد السويس بجمهورية مصر العربية في عام ١٩٦٢م (الموافق ١٣٨٣هـ).

- حصل علي درجة البكالوريوس في الهندسة المساحية في عام ١٩٨٥م من كلية الهندسة بشبرا – جامعة بنها بمصر ، ودرجة الماجستير من قسم العلوم الجيوديسية والمساحة من جامعة ولاية أوهايو بالولايات المتحدة الأمريكية في عام ١٩٩١م، ودرجة الدكتوراه في عام ١٩٩٨م من كلية الهندسة بشبرا، جامعة بنها بمصر.

- حصل د. جمعة داود علي درجة أستاذ مشارك في عام ٢٠٠٤م وكذلك درجة الأستاذية في الهندسة المساحية في عام ٢٠٠٩م (١٤٢٩ هـ).

- يعمل د. جمعة داود منذ عام ١٩٨٧م بمعهد بحوث المساحة بوزارة الموارد المائية والري بمصر، وعمل بجامعة أم القرى بمكة المكرمة بالمملكة العربية السعودية في الفترة ٢٠٠٥-٢٠١٤م (١٤٢٦-١٤٣٥ هـ). كما أنه يعمل حاليا مستشارا فنيا للهيئة العامة للمساحة و لوزارة التخطيط في مصر خاصة لمشروع تطوير البنية المعلوماتية المكانية الوطنية.

- فاز د. جمعة داود بجائزة أفضل بحث في المساحة في مصر في أعوام ٢٠٠٥، ٢٠٠٦، ٢٠٠٧، ٢٠٠٩م كما تم اختياره في الموسوعة الدولية للعلوم والهندسة Who is Who للفترة ٢٠١١-٢٠١٢م.

- نشر د. جمعة داود حتى الآن أكثر من خمسين بحثا في الجيوماتكس منهم عشرون ورقة علمية في مجلات عالمية و مؤتمرات دولية في كل من الولايات المتحدة الأمريكية و انجلترا و ايطاليا و استراليا بالإضافة للنشر في مجلات و مؤتمرات في كلا من المملكة العربية السعودية و مملكة البحرين والمملكة المغربية و جمهورية مصر العربية، كما نشر ١٣ كتابا باللغة العربية في مجالات و تقنيات الجيوماتكس.

- د. جمعة داود متزوج من د. هدي فيصل الباحثة بمعهد بحوث المساحة وله ثلاثة أبناء مصطفي و محمد و سلمي.

- حج د. جمعة داود بيت الله الحرام أربعة مرات وأعتمر عدة مرات.