

مداخل الي النظام العالمي لتحديد المواقع



GPS



جي جي إس إس

جمعة محمد داود

النسخة الأولى
٢٠١٥ م / ١٤٣٦ هـ

مدخل إلى النظام العالمي لتحديد المواقع
الجي بي أس

جمعة محمد داود

النسخة الأولى
١٤٣١ هـ / ٢٠١٠ 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 التريخ منه بأي صورة من الصور أو تغيير أي شئ من محتوياته ، أما بخلاف ذلك فلا بد من الحصول علي موافقة مكتوبة من المؤلف.

للإشارة إلي هذا الكتاب - كمرجع – برجااء إتباع النموذج التالي:

باللغة العربية:

داود ، جمعة محمد ، ٢٠١٠ ، مدخل إلي النظام العالمي لتحديد المواقع: الجي بي إس ، مكة المكرمة ، المملكة العربية السعودية ، ٢٤٣ صفحة.

باللغة الانجليزية:

Dawod, Gomaa M., 2010, An introduction to the Global Positioning System: GPS (in Arabic), Holly Makkah, Saudi Arabia, 243 pp.

مقدمة النسخة الأولى

بسم الله الرحمن الرحيم و الحمد لله العليم القدير الذي وهبني علما ووفقتني في حياتي ، والصلاة والسلام علي معلم الأمم و خير البرية محمد بن عبد الله عليه الصلاة و السلام.

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

أردت أن أقدم عملا باللغة العربية عن تقنية تحديد المواقع بنظام الجي بي أس حيث تكاد تخلو المكتبة العربية من كتب في هذا المجال إلا القليل منها. مع انتشار تطبيقات هذه التقنية في السنوات الأخيرة في مجالات متعددة زادت الحاجة لفهم أساسياتها و مبادئها و طرق الاستفادة منها بأسلوب علمي صحيح. إلا أن كتابا واحدا لن يكون شاملا لكل التفاصيل العلمية و الفنية لتقنية ذات مستوي عالي من آليات الرصد علي الأعمار الصناعية و التعامل مع قياسات عالية الدقة ، فلا يعد هذا الكتاب إلا مدخلا فقط للجبي بي أس يناسب طلاب المرحلة الجامعية و مستخدمي الجي بي أس الذين لم يدرسوه قبل ذلك. وربما إن وهبني الله عز و جل عمرا و صحة أن أكمل هذا العمل في كتاب آخر أكثر تعمقا.

حاولت أن أقدم في الكتاب مستوي متوازن من الأساسيات العلمية و التفاصيل التطبيقية للجبي بي أس. بعض الكتب تكاد تكون نظرية تماما بينما البعض الآخر يركز فقط علي التطبيقات و طرق التشغيل العملية ، و أعتقد أن لا هذا و لا ذاك يؤديان الغرض. فأني تقنية حديثة (مثل الجي بي أس و نظم المعلومات الجغرافية) تستلزم فهم المبادئ العلمية التي بنيت عليها بالإضافة لأساليب تطبيقها عمليا.

أدعو كل قارئ و كل مستفيد من هذا الكتاب أن يدعو الله تبارك و تعالي 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 الإلكتروني أو عبر منتدى الهندسة المساحية في: <http://surveying.ahlamontada.com> .

بسم الله الرحمن الرحيم وقل ربي زدني علما صدق الله العظيم.

جمعة محمد داود

dawod_gomaa@yahoo.com

مكة المكرمة: محرم ١٤٣١ هـ الموافق يناير ٢٠١٠ م

الإهداء

لي كل الشرف و الفخر وأنا أهدي هذا العمل لقامة من قامات العمل الجيوديسي العربي والذي
تخرجت علي يديه أجيال عديدة من المهندسين إلي أستاذي الفاضل ... إلي أول من تعلمت
علي يديه المساحة الجيوديسية ... إلي أبي الروحي:

الأستاذ الدكتور أحمد عبد الستار شاكر

أستاذ المساحة و الجيوديسيا بقسم الهندسة المساحية بكلية الهندسة بشبرا – جامعة بنها ، القاهرة
، جمهورية مصر العربية.

أمد الله عمره وبارك فيه وأدام عليه الصحة و التوفيق.

شكر و تقدير

أتوجه بخالص الشكر والتقدير إلي كل من ساعدني في إكمال هذا العمل وخاصة مراجعته فنيا قبل صدوره ، وأخص بالشكر:

الأستاذ الدكتور / أحمد عبد الستار شاكر أستاذ الهندسة المساحية بكلية الهندسة بشبرا جامعة بنها - مصر.

الأستاذ الدكتور / عبد الله أحمد سعد رئيس قسم الهندسة المساحية بكلية الهندسة بشبرا جامعة بنها - مصر.

الدكتورة مهندسة / هدي فيصل محمد بمعهد بحوث المساحة - المركز القومي لبحوث المياه بالقاهرة - مصر.

الاختصارات و الرموز

1D	أحادي البعد
4D	رباعي الأبعاد
3D	ثلاثي الأبعاد
2D	ثنائي الأبعاد
a	نصف المحور الأكبر للاليسويد
A	مصفوفة المعاملات
b	نصف المحور الأصغر للاليسويد
BM	نقطة أرضية معلومة المنسوب
C_{nm}^- , S_{nm}^-	معاملات التمثيل المنتاسق
C/A code	الشفرة المدنية الأولى لأقمار الجي بي أس
DGPS	الجي بي أس التفاضلي
DMA	الوكالة العسكرية الأمريكية للخرائط (أصبحت NIMA الآن)
DoD	وزارة الدفاع الأمريكية
DOP	معامل الدقة
Δg	شذوذ الجاذبية (الفرق بين الجاذبية المقاسه و المحسوبة)
$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	عناصر النقل بين مرجعين جيوديسيين
e	المركزية الأولى للاليسويد
ECEF	نظام مركزي أرضي ثابت
EGNOS	النظام الملاحي الأوروبي الثابت
EGM96	نموذج الجيويد العالمي ١٩٩٦
EGM2008	نموذج الجيويد العالمي ٢٠٠٨
ESA	وكالة الفضاء الأوروبية
ESRI	شركة أيزري الأمريكية لإنتاج برامج نظم المعلومات الجغرافية
f	تفلطح الاليسويد
ϕ	دائرة العرض
Φ	طور الإشارة الحاملة للموجه
γ	الجاذبية النظرية علي الاليسويد
G	معامل نيوتن للجاذبية الأرضية
GDOP	معامل الدقة الهندسية (رباعية الأبعاد)
GNSS	النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية
GPS	النظام العالمي لتحديد المواقع
h	الارتفاع الجيوديسي أو الاليسويدي
H	الارتفاع الارثومتري أو المنسوب
HDOP	معامل الدقة الأفقية

IGS	المنظمة الدولية لخدمات النظم العالمية لتحديد المواقع بالأقمار الصناعية
ITRF	الإطار الدولي المرجعي الأرضي
λ	خط الطول
λ'	طول الموجة
L	متجه الأرصاد
L1	التردد الأول لإشارات أقمار الجي بي أس
L2	التردد الثاني لإشارات أقمار الجي بي أس
L2C code	الشفرة المدنية الثانية لأقمار الجي بي أس
L5	التردد الثالث لإشارات أقمار الجي بي أس
M code	الشفرة العسكرية الدقيقة الثانية لأقمار الجي بي أس
MSAS	نظام الازدياد الياباني متعدد الأغراض
MSL	متوسط منسوب سطح البحر
N	حيود الجيود
N'	الغموض الصحيح
NASA	وكالة الفضاء الأمريكية
NGS	هيئة المساحة الجيوديسية الأمريكية
n, m	أقصى درجة لنموذج جيود عالمي
OED1907	المرجع الجيوديسي المصري القديم لعام ١٩٠٧
P	مصنوفة الأوزان
P code	الشفرة العسكرية الدقيقة الأولى لأقمار الجي بي أس
PDOP	معامل الدقة ثلاثية الأبعاد
ppm	جزء من المليون
PPK	الرصد المتحرك مع الحساب اللاحق
PPS	الخدمة الدقيقة أو العسكرية لتحديد المواقع باستخدام الجي بي أس
PR	المسافة الكاذبة
P_{nm}	دالة لاجندر
R	نصف قطر الأرض المتوسط
RTK	الرصد المتحرك الآني
Rx, Ry, Rz	عناصر الدوران بين مرجعين جيوديسيين
s	معامل القياس بين مرجعين جيوديسيين
SA	خطأ الاتاحية المنتقاة
SPS	الخدمة المدنية أو القياسية لتحديد المواقع باستخدام الجي بي أس
$S(\psi)$	دالة ستوكس
τ	الاختبار الإحصائي تاو
TDOP	معامل الدقة الزمنية
V	متجه المتبقيات

V^{\wedge}	متجه المتبقيات المضبوطة
VDOP	معامل الدقة الرأسية
WAGE	نظام الازدياد الأمريكي العسكري
WASS	نظام الازدياد الأمريكي للمناطق الشاسعة
WGS72	النظام الجيوديسي العالمي ١٩٧٢
WGS84	النظام الجيوديسي العالمي ١٩٨٤
X^{\wedge}	متجه القيم المضبوطة
X, Y, Z	الإحداثيات الجيوديسية الكارتنيزية
σ	الانحراف المعياري
σ_o^2	تقدير معامل التباين
ψ	المسافة الدائرية بين نقطة الحساب والنقطة المقاس عندها الجاذبية

المحتويات

صفحة	
ب	اتفاقية الاستخدام
ت	مقدمة النسخة الأولى
ث	الإهداء
ج	شكر و تقدير
ح	الاختصارات و الرموز
ذ	قائمة المحتويات
ش	قائمة الأشكال
ط	قائمة الجداول
١	الفصل الأول: الأقمار الصناعية و تطبيقاتها في تحديد المواقع
١	١-١ مقدمة
١	٢-١ المساحة و الجيوديسيا
٣	٣-١ الأقمار الصناعية
٤	٤-١ تحديد المواقع بالاعتماد علي الأقمار الصناعية
٩	٥-١ جيوديسيا الأقمار الصناعية
١٢	الفصل الثاني: شكل الأرض و المراجع و نظم الإحداثيات
١٢	١-٢ مقدمة
١٢	٢-٢ شكل الأرض
١٥	٣-٢ المراجع
١٧	٤-٢ نظم الإحداثيات
٢٠	١-٤-٢ الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية
٢١	٢-٤-٢ الإحداثيات الكروية
٢٢	٣-٤-٢ الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية أو الفراغية أو الديكارتية
٢٣	٤-٤-٢ الإطار المرجعي الأرضي العالمي
٢٣	٥-٤-٢ التحويل بين الإحداثيات الجغرافية
٢٤	٦-٤-٢ إسقاط الخرائط
٣٢	٧-٤-٢ نظم الإحداثيات المسقط أو المستوية
٣٢	١-٧-٤-٢ نظم الإحداثيات المصرية
٣٥	٢-٧-٤-٢ نظم إحداثيات UTM
٣٧	٨-٤-٢ التحويل بين المراجع
٣٧	١-٨-٤-٢ الطرق التقليدية للتحويل بين المراجع
٤٣	٢-٨-٤-٢ الطرق غير التقليدية للتحويل بين المراجع
٤٦	٣-٨-٤-٢ التحويل بين المراجع ثلاثية و رباعية الأبعاد
٤٧	٩-٤-٢ العلاقة بين تحويل المراجع و إسقاط الخرائط

٥٠

الفصل الثالث: تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع: الجي بي أس

٥٠

١-٣ مقدمة

٥٤

٢-٣ مكونات نظام الجي بي أس

٥٤

١-٢-٣ قسم الفضاء أو الأقمار الصناعية

٥٦

٢-٢-٣ قسم التحكم و المراقبة

٥٦

٣-٢-٣ قسم المستقبلات الأرضية

٥٩

٣-٣ فكرة عمل الجي بي أس في تحديد المواقع

٦١

٤-٣ إشارات الأقمار الصناعية في الجي بي أس

٦٢

٥-٣ مصادر الأخطاء في قياسات الجي بي أس

٧٠

٦-٣ خطة تحديث تقنية الجي بي أس

٧٣

٧-٣ نظم ملاحة أخرى لتحديد المواقع

٧٣

١-٧-٣ النظام الروسي جلوناس

٧٥

٢-٧-٣ النظام الأوروبي جاليليو

٧٦

٣-٧-٣ النظام الصيني بيدو

٧٧

٤-٧-٣ نظم ملاحة إقليمية

٧٧

٨-٣ النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية

٧٩

٩-٣ نظم الازدياد

٨٤

الفصل الرابع: أرصاد الجي بي أس

٨٤

١-٤ مقدمة

٨٤

٢-٤ أرصاد المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة

٨٧

٣-٤ أرصاد فرق طور الإشارة الحاملة

٩١

٤-٤ مبدأ الفروقات في مرحلة الحسابات

٩٤

٥-٤ الحسابات المبدئية لأرصاد الجي بي أس

٩٦

الفصل الخامس: طرق الرصد

٩٦

١-٥ مقدمة

٩٨

٢-٥ طرق الرصد الثابتة

٩٨

١-٢-٥ طريقة الرصد الثابت التقليدي

٩٩

٢-٢-٥ طريقة الرصد الثابت السريع

١٠٠

٣-٥ طرق الرصد المتحركة

١٠٠

١-٣-٥ طرق الرصد المتحرك والحساب لاحقاً

١٠٢

٢-٣-٥ طرق الرصد المتحرك مع الحساب اللحظي

١٠٣

٤-٥ مقارنة بين طرق الرصد المختلفة

١٠٦	الفصل السادس: ضبط شبكات الجي بي أس
١٠٦	١-٦ مقدمة
١٠٦	٢-٦ طريقة مجموع أقل المربعات
١٠٧	١-٢-٦ ضبط أقل المربعات باستخدام معادلات الأرصاد
١١٠	٢-٢-٦ عيوب الشبكات الجيوديسية في ضبط أقل المربعات
١١١	٣-٦ اكتشاف أخطاء الأرصاد بعد الضبط
١١٣	٤-٦ تطبيقات ضبط أقل مجموع مربعات في أرصاد الجي بي أس

١١٤ **الفصل السابع: العمل المساحي بالجي بي أس**

١١٤	١-٧ مقدمة
١١٤	٢-٧ التخطيط والتصميم
١١٤	١-٢-٧ أهداف المشروع و الدقة المطلوبة
١١٦	٢-٢-٧ اختيار أجهزة الاستقبال وبرامج الحساب
١١٧	٣-٢-٧ تصميم خطة الرصد
١١٩	٤-٢-٧ تصميم الربط علي شبكات التحكم
١٢١	٥-٢-٧ اختيار المرجع الجيوديسي المطلوب
١٢١	٦-٢-٧ اختيار مواقع النقاط وتثبيت العلامات
١٢٣	٧-٢-٧ اختيار أنسب أوقات الرصد
١٢٦	٨-٢-٧ اختيار أنسب طريقة للرصد
١٢٧	٩-٢-٧ المتطلبات الأخرى
١٢٧	٣-٧ الرصد الحقلية
١٣٢	٤-٧ الحسابات و الضبط
١٣٧	٥-٧ تحويل الإحداثيات

١٣٩ **الفصل الثامن : الجي بي أس و الجيويد**

١٣٩	١-٨ مقدمة
١٤٠	٢-٨ طرق نمذجة الجيويد
١٤٠	١-٢-٨ نمذجة الجيويد من أرصاد الجاذبية الأرضية
١٤٣	٢-٢-٨ نمذجة الجيويد من أرصاد الجي بي أس و الميزانيات
١٤٤	٣-٨ نماذج الجيويد العالمية
١٤٦	٤-٨ نموذج الجيويد العالمي ٢٠٠٨
١٥١	٥-٨ نمذجة الجيويد في مشروعات الجي بي أس

١٥٣ **الفصل التاسع: خدمات الجي بي أس علي الانترنت**

١٥٣	١-٩ مقدمة
١٥٣	٢-٩ المنظمة العالمية لخدمات النظم الملاحية بالأقمار الصناعية IGS
١٥٤	١-٢-٩ أرصاد المحطات الأرضية لمنظمة IGS
١٥٦	٢-٢-٩ المدارات الدقيقة للأقمار الصناعية
١٦٠	٣-٢-٩ الإحداثيات الدقيقة لمحطات IGS

١٦٢	٣-٩ خدمات حسابات مجانية لأرصاد الجي بي إس
١٦٣	٤-٩ برامج مفيدة للجي بي إس
١٦٧	المراجع
١٧٤	الملاحق
١٧٥	ملحق ١: المكتبة الرقمية المساحية المجانية
١٨٩	ملحق ٢: معجم مصطلحات الجي بي إس
٢١٠	ملحق ٣: المواصفات الجيوديسية المصرية المقترحة
٢١٦	ملحق ٤: مواقع مساحية علي شبكة الانترنت

قائمة الأشكال

صفحة	الشكل
٢	١-١ العلاقة بين علم الجيوديسيا والعلوم الأخرى
٣	٢-١ تجربة العالم أراتوستين لتقدير محيط الأرض
٤	٣-١ بعض الأقمار الصناعية
٦	٤-١ الملاحة الرادوية و تحديد المواقع
٨	٥-١ الملاحة بالأقمار الصناعية
٨	٦-١ المبدأ المساحي للملاحة بالأقمار الصناعية
١١	٧-١ تقنيات تحديد المواقع
١٣	١-٢ الأرض غير منتظمة الشكل
١٣	٢-٢ الجيويد: الشكل الحقيقي للأرض
١٤	٣-٢ الالبسويد
١٥	٤-٢ العلاقة بين الجيويد و الالبسويد
١٩	٥-٢ تحديد المواقع علي الكرة
٢٠	٦-٢ نظام الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية
٢١	٧-٢ الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية
٢٢	٨-٢ الإحداثيات الكروية
٢٢	٩-٢ الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية
٢٤	١٠-٢ عملية إسقاط الخرائط
٢٦	١١-٢ طرق الإسقاط الاسطواني
٢٦	١٢-٢ طرق الإسقاط المخروطي
٢٦	١٣-٢ طرق الإسقاط السمتي أو المستوي
٢٧	١٤-٢ مسقط ميريكاتور
٢٨	١٥-٢ مسقط ميريكاتور المستعرض
٢٩	١٦-٢ شرائح مسقط ميريكاتور المستعرض العالمي
٣٠	١٧-٢ مسقط ساينسويدال متساوي المساحات
٣٠	١٨-٢ مسقط لامبرت المخروطي المتمائل
٣١	١٩-٢ مسقط لامبرت السمتي متساوي المساحات
٣١	٢٠-٢ المسقط المتعامد أو الارثوجرافي
٣٤	٢١-٢ شرائح نظام الإسقاط المصري ETM
٣٦	٢٢-٢ شرائح مسقط UTM للمملكة العربية السعودية
٣٧	٢٣-٢ التحويل بين مرجعين متوازيين
٣٨	٢٤-٢ التحويل بين أي مرجعين
٤٥	٢٥-٢ سطح تحويل دوائر العرض بين WGS84 و هلمرت ١٩٠٦ في مصر
٤٥	٢٦-٢ سطح تحويل خطوط الطول بين WGS84 و هلمرت ١٩٠٦ في مصر
٤٩	٢٧-٢ خطوات تحويل و إسقاط الإحداثيات
٥٣	١-٣ بعض مجالات تطبيقات الجي بي أس
٥٤	٢-٣ أقسام الجي بي أس
٥٥	٣-٣ قطاع الفضاء في تقنية الجي بي أس
٥٥	٤-٣ نماذج للأقمار الصناعية في نظام الجي بي أس
٥٦	٥-٣ قسم التحكم و السيطرة

٥٨	٦-٣ أنواع أجهزة استقبال الجي بي أس
٥٨	٧-٣ بعض أجهزة استقبال الجي بي أس
٦٠	٨-٣ مبدأ الرصد في نظام الجي بي أس
٦٢	٩-٣ التردد و الشفرة في إشارات الأقمار الصناعية
٦٣	١٠-٣ مصادر أخطاء الجي بي أس
٦٤	١١-٣ دقة تحديد المواقع قبل و بعد خطأ SA
٦٥	١٢-٣ طبقتي التروبوسفير و الأيونوسفير في الغلاف الجوي
٦٦	١٣-٣ مناطق النشاط الشمسي المرتفع
٦٧	١٤-٣ خطأ مدار الأقمار الصناعية
٦٨	١٥-٣ خطأ تعدد المسارات
٦٨	١٦-٣ نوع هوائي يقلل خطأ تعدد المسارات
٧٠	١٧-٣ تأثير توزيع الأقمار الصناعية
٧٠	١٨-٣ مثال لحساب معاملات الدقة و التأثير المتوقع لتوزيع الأقمار الصناعية
٧٢	١٩-٣ محطات المراقبة و السيطرة الجديدة
٧٢	٢٠-٣ المخطط الزمني لتنفيذ خطة تطوير الجي بي أس
٧٤	٢١-٣ أحد الأقمار الصناعية في نظام جلوناس
٧٤	٢٢-٣ تغطية نظام جلوناس في مارس ٢٠٠٨
٧٦	٢٣-٣ الأقمار التجريبية في نظام جاليليو
٧٧	٢٤-٣ إطلاق قمر صناعي صيني
٧٧	٢٥-٣ مجال تغطية النظام الياباني الإقليمي QZSS
٧٨	٢٦-٣ موديل AR25 لهوائي GNSS من إنتاج شركة ليكا
٧٩	٢٧-٣ أجهزة استقبال GNSS
٨١	٢٨-٣ المحطات الأرضية في نظام الازدياد الأمريكي WASS
٨١	٢٩-٣ مجال تغطية نظام الازدياد الأوروبي EGNOS
٨١	٣٠-٣ المحطات الأرضية في نظام الازدياد لمدينة جدة السعودية
٨٢	٣١-٣ المحطات الأرضية في نظام الازدياد لمدينة دبي الإماراتية
٨٢	٣٢-٣ المحطات الأرضية ومجال تغطيتها في نظام الازدياد لهيئة الموانئ المصرية
٨٢	٣٣-٣ المحطات الأرضية في نظام الازدياد بمملكة البحرين
٨٣	٣٤-٣ تغطية نظام الازدياد OmniStar في المنطقة العربية
٨٤	١-٤ مبدأ المسافات الكاذبة
٨٥	٢-٤ طريقة قياس المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة
٨٦	٣-٤ العلاقات الهندسية في أرصاد المسافات الكاذبة
٨٨	٤-٤ أرصاد فرق طور الموجة الحاملة
٨٨	٥-٤ كيفية قياس فرق طور الموجة الحاملة
٩٠	٦-٤ خطأ تغير الدورة
٩٠	٧-٤ التحديد النسبي للمواقع
٩١	٨-٤ الفرق الأحادي بين المستقبلات
٩٢	٩-٤ الفرق الثنائي
٩٢	١٠-٤ الفرق الثلاثي
٩٣	١١-٤ خطأ تغير الدورة في الفرق الثلاثي
٩٧	١-٥ مبدأ الرصد النسبي لأرصاد الجي بي أس
٩٧	٢-٥ طرق رصد الجي بي أس
٩٨	٣-٥ أساليب الرصد الثابت التقليدي

١٠٠	٤-٥ طرق الرصد الثابت السريع
١٠٢	٥-٥ طريقة الذهاب و التوقف
١٠٣	٦-٥ طريقة الرصد المتحرك اللحظي
١١٢	١-٦ الأرصاد الواقعة خارج الحدود
١١٨	١-٧ مثال لتخطيط رصد شبكة جي بي أس
١١٨	٢-٧ مثال لفترات رصد شبكة جي بي أس مع تكرار بعض رصد الخطوط
١٢٢	٣-٧ نموذج بناء نقطة ثوابت للأعمال المساحية
١٢٢	٤-٧ نموذج بناء نقطة ثوابت للأعمال الجيوديسية
١٢٧	٥-٧ مثال للدقة المتوقعة من طرق الرصد المتعددة
١٢٩	٦-٧ نموذج لكارت بيانات حقلية لمحطة جي بي أس
١٣٠	٧-٧ بعض أجهزة الرصد الجيوديسية
١٣٠	٨-٧ بعض طرق قياس ارتفاع الجهاز
١٣٠	٩-٧ العمل الحقلية للرصد المتحرك اللحظي
١٣١	١٠-٧ العمل الحقلية بأجهزة نظم المعلومات الجغرافية
١٣٣	١١-٧ مثال لنتائج حسابات خطوط القواعد
١٣٤	١٢-٧ مثال لنتائج حسابات الجي بي أس التفاضلي
١٣٤	١٣-٧ مثال لنتائج ضبط غير مقيد شبكة جي بي أس
١٣٦	١٤-٧ مثال لنتائج ضبط نهائي شبكة جي بي أس
١٣٦	١٥-٧ مثال لنتائج إحدائيات نقاط شبكة جي بي أس
١٣٩	١-٨ العلاقة بين أنواع الارتفاعات
١٤٢	٢-٨ الشبكة القومية المصرية للجاذبية الأرضية لعام ١٩٩٧
١٤٢	٣-٨ نموذج الجيود المصري SRI2002B
١٤٧	٤-٨ شذوذ الجاذبية المستخدمة لتطوير نموذج الجيود العالمي ٢٠٠٨
١٤٩	٥-٨ جيود الجيود في منطقة الشرق الأوسط من النموذج العالمي EGM2008
١٥٠	٦-٨ جيود الجيود في مصر من النموذج العالمي ٢٠٠٨
١٥٤	١-٩ توزيع محطات IGS
١٥٦	٢-٩ ملفات أرصاد الجي بي إس في IGS
١٥٨	٣-٩ مثال للحصول علي المدارات الدقيقة للأقمار الصناعية
١٥٩	٤-٩ تحديد رقم أسبوع الجي بي إس
١٦٠	٥-٩ مثال لملف بيانات محطة IGS
١٦١	٦-٩ مثال للحصول علي إحدائيات محطة IGS في إطار ITRF

قائمة الجداول

صفحة	الجدول
١٦	١-٢ بعض نماذج الاليسويد المستخدمة عالميا
٤١	٢-٢ عناصر التحويل بين المرجع الجيوديسي العالمي WGS84 والمراجع الجيوديسية المحلية
٦٣	١-٣ تأثير الأخطاء علي دقة تحديد المواقع
١٠٤	١-٥ مقارنة بين طرق الرصد المختلفة
١٠٥	٢-٥ مقارنة بين زمن الرصد و دقة طرق الرصد المختلفة
١١٥	١-٧ الدقة المطلوبة لبعض التطبيقات المساحية للجبي بي أس
١١٥	٢-٧ الدقة المطلوبة للجبي بي أس في المشروعات المدنية
١٢٠	٣-٧ مواصفات نقاط التحكم المطلوبة في إنشاء شبكة جي بي أس
١٢٠	٤-٧ مواصفات الرصد الثابت لإنشاء شبكة جي بي أس
١٢٤	٥-٧ طول وقت الرصد الحقلي للرصد الثابت
١٢٤	٦-٧ طول وقت الرصد الحقلي للرصد الثابت للأجهزة أحادية و ثنائية التردد
١٢٥	٧-٧ طول وقت الرصد الحقلي للرصد الثابت لشبكات الثوابت الرأسية
١٢٥	٨-٧ قيم معامل الأرصاد في طرق الرصد المختلفة
١٢٥	٩-٧ مواصفات رصد شبكة جي بي أس
١٢٨	١٠-٧ مثال لأفراد الفريق الحقلي و مسؤولياتهم
١٣٣	١١-٧ عناصر تقييم جودة حلول خطوط القواعد
١٤٥	١-٨ دقة بعض نماذج الجيويد العالمية
١٤٥	٢-٨ نتائج تقييم نماذج الجيويد العالمية في مصر
١٤٨	٣-٨ طرق الحصول علي نموذج الجيويد العالمي EGM2008
١٥٥	١-٩ بعض نقاط الشبكة العالمية IGS في الشرق الأوسط
١٥٧	٢-٩ أنواع و خصائص بيانات مدارات الجبي بي إس المتاحة في IGS
١٦٤	٣-٩ مقارنة بين خدمات الانترنت لحسابات الجبي بي إس

الفصل الأول الأقمار الصناعية و تطبيقاتها في تحديد المواقع

١-١ مقدمة:

منذ أن خلق الله سبحانه و تعالي الإنسان وأنزله إلي الأرض كان التنقل من مكان إلي آخر والتعرف علي مواقع جديدة غريزة داخل النفس البشرية ، ومن هنا بدأت حاجة البشر لوسائل تمكنهم من السفر و الترحال بأمان دون أن يتيهوا في الصحراء و البيئة المحيطة. تمكن الإنسان في البداية أن يتخذ بعض الأماكن و الأجسام الأرضية الخاصة – مثل الجبال – كعلامات تمكنه من معرفة طريقه بالإضافة إلي مساعدة نهائية من الشمس و الظل ، وبالتالي أستطاع أن يسافر لعدة كيلومترات ويعود لموقعه الأصلي مرة أخرى. ومن ذلك الوقت ظهر في القاموس البشري مصطلح جديد ألا و هو الملاحة Navigation وهي العملية التي بواسطتها يتنقل الإنسان بين موقعين والتي تساعده في معرفة موقعه في أي وقت . وفي المرحلة الثانية من المعرفة البشرية بدأ الاعتماد علي النجوم كعلامات مرجعية تمكن الإنسان من معرفة موقعه و اتجاهه أثناء السفر ليلا ، ومن ثم بدأ علم الفلك Astronomy . وعرفت الحضارات القديمة إقامة الفنارات Lighthouses منذ حوالي ألفي عام – و أشهرهم فنار الإسكندرية في مصر و فنار جزيرة رودس اليونانية - كعلامات ملاحية تعكس الضوء سواء ضوء الشمس نهارا أو ضوء مصدر آخر ليلا لإرشاد السفن المبحرة في البحار^١.

٢-١ المساحة و الجيوديسيا:

لاحقا بدأ الإنسان في تسجيل ملاحظاته الملاحية والطرق التي يسير فيها ومواقع تحركاته المتعددة في البيئة المحيطة به علي قطع من الورق (ورق البردي في الحضارة المصرية القديمة كمثال) لتظهر للوجود "الخرائط" Maps. وبالتزامن مع ظهور الخرائط بدأ ظهور علم المساحة Surveying وهو علم تحديد المواقع – بأبعاد ثلاثة – للمعالم الطبيعية و البشرية علي أو تحت سطح الأرض. وتعد مصر أول من استخدم علم المساحة بصورة موسعة منذ حوالي ١٤٠٠ عام قبل الميلاد وذلك في تحديد الملكيات الزراعية وحساب الضرائب المستحقة عليها^٢. وفي المرحلة العلمية التالية تطور علم جديد ليكون أكثر تخصصا وتعمقا في عملية تحديد المواقع ألا و هو علم الجيوديسيا (أو الجيوديزيا) Geodesy والذي يعرفه هلمرت علي أنه: علم قياس و رسم سطح الأرض ، شاملا تعيين حقل الجاذبية الأرضية و أيضا تحديد أرضية المحيطات^٣. إن كلمة جيوديسيا كلمة يونانية الأصل تتكون من مقطعين: جيو بمعنى الأرض ، ديسيا بمعنى القياس أي أن الكلمة تعني العلم المعني و المهتم بدراسة الأرض من حيث الشكل و القياس^٤. ومن ثم أصبحت المساحة الجيوديسية Geodetic Surveying أحد

¹ Kaplan, E. and Hegarty, C., 2006, Understanding GPS: Principles and applications, Second Edition, Artech House, Inc., Boston, USA.

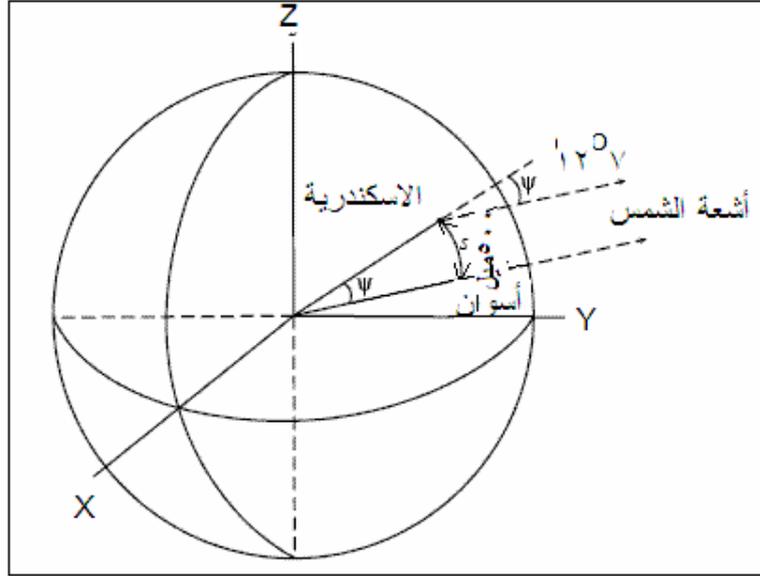
² Prasad, R. and Ruggieri, M., 2005, Applied satellite navigation using GPS, Galileo and augmentation systems, Artech House, Inc., Boston, USA.

³ عبد العزيز ، يوسف إبراهيم و الحسيني ، محمد صفوت ، ٢٠٠٧ ، المساحة ، دار المعرفة للنشر و التوزيع ، القاهرة ، مصر.

⁴ Seeber, G., 2003, Satellite Geodesy, Second Edition, Walter de Gruyter Co., Berlin, Germany

⁵ المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، ١٤٢٦ هـ ، نظام تحديد المواقع العالمي ، مقرر دراسي لطلاب الكليات التقنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

تمكن هذا العالم من حساب محيط الأرض (٥٠ ضعف المسافة المقاسه بين أسوان و الإسكندرية) ليكون في تقديره حوالي ٢٥٠٠٠ ميلا. ومن المذهل أن نعرف أن هذه التجربة الجيوديسية في ذلك الزمن البعيد و باستخدام آلات بدائية لم تكن بعيدة إلا قليلا عن طول محيط الأرض الذي نعرفه اليوم وهو ٢٤٩٠١ ميلا^{١٠}.



شكل ٢-١

تجربة العالم أراتوستين لتقدير محيط الأرض

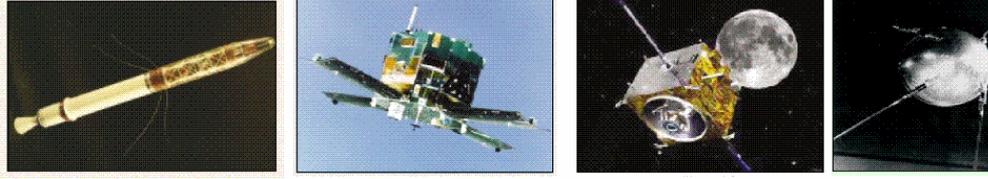
٣-١ الأقمار الصناعية:

مع بداية النصف الثاني من القرن العشرين الميلادي دخلت المعرفة البشرية منعطفًا تقنيًا جديدًا حيث أستطاع الإنسان أن يرسل أجسامًا معدنية إلى خارج نطاق الغلاف الجوي لكوكب الأرض ، وهي الأجسام التي أصطلح علي تسميتها بالأقمار الصناعية Satellites (شكل ٣-١). يعد إطلاق القمر الصناعي الروسي الأول "سبوتنيك-١" Sputnik-1 في ٤ أكتوبر ١٩٥٧ هو إعلان دخول الإنسان لعصر الأقمار الصناعية^{١١}. هذا وقد بدأ إطلاق الأقمار الصناعية و غزو الفضاء - بصفة عامة - بعد أن تطورت عدة تقنيات و خاصة الصواريخ و الرادار ، فالصاروخ هو الوسيلة لإيصال القمر الصناعي إلى الفضاء (كان أول صاروخ يطلق للفضاء بواسطة فريق علماء ألمان بقيادة براون في عام ١٩٣٤) و الرادار مهم لتعقب القمر و معرفة موقعه ، كما ساهم التطور في الحاسبات الآلية و أنظمة الاتصالات في الإسراع بالدخول إلي عصر الفضاء^{١٢}.

¹⁰ US Defense Mapping Agency: DMA, 1959, Geodesy for the layman, First edition, Available at: <http://164.214.2.259/GandG/geolay/toc.htm>

¹¹ Seeber, G., 2003, Satellite Geodesy, Second Edition, Walter de Gruyter Co., Berlin, Germany

¹² الصقير ، عبد العزيز ، ١٤٢٧ هـ ، الأقمار الصناعية ، مجلة العلوم و التقنية ، العدد ٨٠ ، ص ٥-٩.



شكل ١-٣
بعض الأقمار الصناعية

يمكن تقسيم الأقمار الصناعية – بصفة عامة – إلى ثلاثة مجموعات أو أنواع:

- أ- أقمار صناعية ملاحية Navigation Satellites يكون هدفها الأساسي تقديم تقنيات ووسائل دقيقة لعمليات الملاحة بين موقعين (سواء الملاحة الأرضية أو البحرية أو الجوية أو حتى الملاحة الفضائية) ، وتأتي في هذه المجموعة من الأقمار الصناعية نظم أو تقنيات مثل نظام الجي بي أس GPS و نظام جاليليو Galileo و نظام دوبلر Doppler و نظام جلوناس GLONASS.
- ب- أقمار صناعية للاتصالات Communication Satellites وهي أقمار تساعد في نقل البيانات (مثل البث الإذاعي و التلفزيوني) وتوزيعها على أجزاء كبيرة من سطح الأرض لتتغلب على مشكلة كروية الأرض التي تعيق النقل المباشر الأرضي لهذه البيانات. ومن أمثلة هذه النوعية من الأقمار الصناعية: النيل سات و العرب سات المستخدمين في البث التلفزيوني.
- ت- أقمار صناعية لدراسة موارد الأرض Earth Resources Satellites ومنها أقمار صناعية خاصة بدراسة البحار و أخرى خاصة بدراسة الطقس و ثلاثة مخصصة للتصوير الفضائي أو ما يعرف الآن بأقمار الاستشعار عن بعد Remote Sensing Satellites.

٤-١ تحديد المواقع بالاعتماد على الأقمار الصناعية:

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

$$\text{المسافة} = \text{السرعة} \times \text{الزمن} \quad (١-١)$$

وباعتبار أن سرعة الموجة تعادل سرعة الضوء (حوالي ٣٠٠ ألف كيلومتر في الثانية) فيمكننا حساب المسافة بين محطة الإرسال و جهاز المستقبل. لكن يتبادر إلى 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^{١٣} (شكل ٤-١):

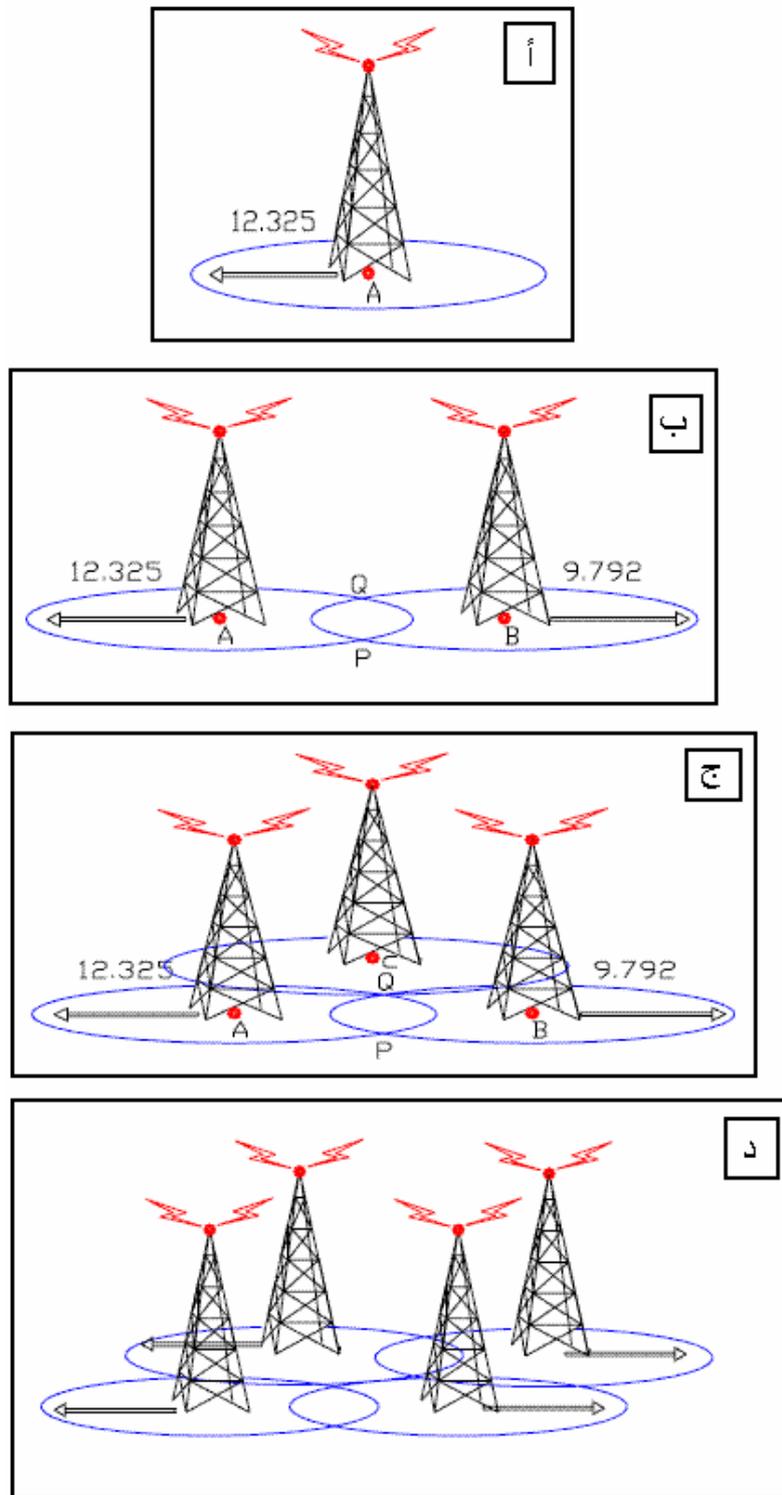
¹³ الربيش ، محمد بن حجيلان ، ١٤٢٠ هـ ، النظام الكوني لتحديد المواقع ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

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 الرادوية 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 ١-٣ 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 الرادوية 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 ١-٣ 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 الرادوية. هذه المسافة الثالثة ستخبرنا بكل تأكيد هل نحن عند النقطة P أو عند النقطة Q (شكل ١-٣ ج).

فإذا كانت الأبراج أو محطات الإرسال الثلاثة تعمل باستمرار وفي نفس الوقت ، فإن أي جهاز استقبال لهذه الموجات الرادوية سيستقبل الإشارات المرسله من المحطات الثلاثة و يمكنه بسرعة تحديد موقعه في هذه اللحظة. فإذا كان جهاز الاستقبال هذا متحركا (أي موجود علي سفينة مثلا) فإنه باستطاعته تحديد موقعه باستمرار عند كل لحظة في مسيرته. فإذا أضفنا برج إرسال رابع فإن 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 ١-٣ د). وتسمى هذه الطريقة لتحديد المواقع بنظم الملاحة الرادوية Radio Navigation Systems.

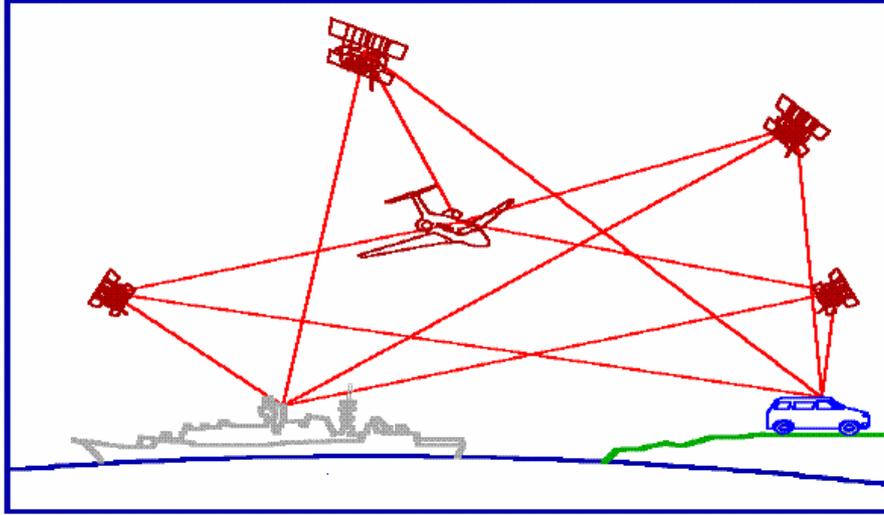


شكل ٤-١
الملاحة الرادوية و تحديد المواقع

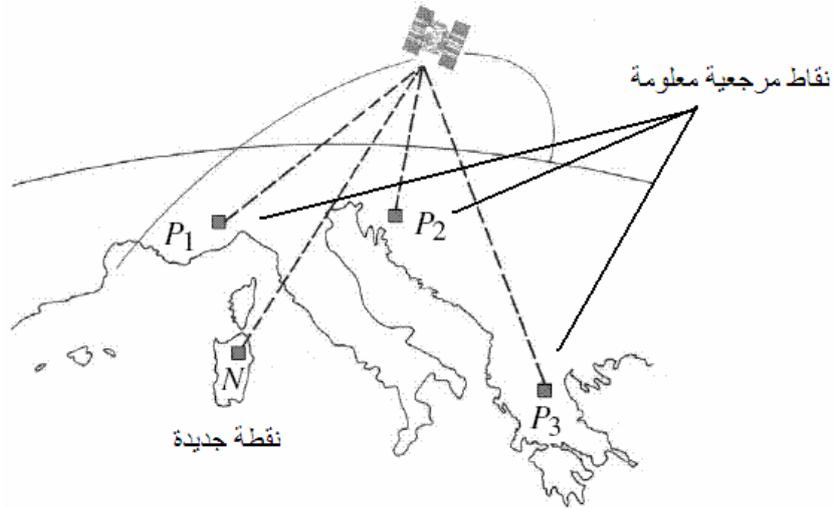
ومن أمثلة هذه النظم الرادوية لتحديد المواقع نظام لوران LORAN وهو اختصارا لاسم "الملاحة للمساحات الشاسعة Long Range Navigation" والذي بدأ في الولايات المتحدة الأمريكية تقريبا في عام ١٩٥٠ ويهدف أساسا لمساعدة السفن في إبحارها. تكون نظام لوران من عدد من السلاسل (السلسلة مكونة من ٤ أبراج إرسال تغطي كل محطة أو برج حوالي ٥٠٠ ميل) ليتمكن 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 أعلى في تحديد المواقع.

مع ظهور الأقمار الصناعية طبق العلماء نفس مبدأ الملاحة الرادوية في تطوير ما عرف باسم الملاحة بالأقمار الصناعية Satellite Navigation. فإذا استبدلنا محطات الإرسال الأرضية بأقمار صناعية ترسل موجات رادوية يستطيع جهاز الاستقبال أن يتعامل معها ويحسب المسافة من موقعه إلى موقع كل قمر صناعي فيمكن تحديد الموقع الذي به هذا المستقبل. ربما يتبادر إلى الأذهان الآن سؤال: أبراج الإرسال كانت ثابتة و معلومة الموقع وكنا نستخدمها كعلامات مرجعية Reference Points تمكنا من حساب موقع جهاز الاستقبال ، لكن الأقمار الصناعية غير ثابتة فكيف سيتم التعامل معها؟ الإجابة هي أن كل قمر صناعي يكون معلوم المدار الذي يدور عليه في الفضاء وتكون من أهم مهام الجهة المسؤولة 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 (شكل ١-٥). 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^{١٤} (شكل ١-٦).

¹⁴ Seeber, G., 2003, Satellite Geodesy, Second Edition, Walter de Gruyter Co., Berlin, Germany



شكل ٥-١
الملاحة بالأقمار الصناعية



شكل ٦-١
المبدأ المساحي للملاحة بالأقمار الصناعية

تطورت نظم الملاحة بالأقمار الصناعية مع إطلاق نظام الملاحة الأمريكي Navy Navigation Satellite System الذي عرف باسم ترانزيت Transit وأيضاً باسم نظام دوبلر Doppler - في الستينات من القرن العشرين الميلادي، وكان الهدف الرئيسي منه تحديد مواقع القطع البحرية في البحار والمحيطات 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 دوبلر 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 اعتماداً علي هذا النظام في حدود ٣٠-٤٠ متر^{١٥}. ومع أن أقمار دوبلر تغطي معظم أنحاء الأرض إلا أن عددها (٦ أقمار صناعية فقط) لم يكن يسمح يتواصل الإشارات طوال ٢٤ ساعة يوميا - بل لعدة ساعات طبقاً 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.

١-٥ جيوديسيا الأقمار الصناعية:

مع إطلاق أول قمر صناعي في عام ١٩٥٧ بدأ ظهور مصطلح لفرع جديد من علم الجيوديسيا (علم القياس علي سطح الأرض لتحديد شكلها و حجمها ومجال جاذبيتها) وهو جيوديسيا الأقمار الصناعية Satellite Geodesy. إلا أن أساسيات هذا التخصص الهندسي الجديد ترجع جذورها إلي ما هو أبعد من هذا التاريخ ، فمنذ بداية القرن التاسع عشر الميلادي كانت هناك دراسات عديدة لاستخدام القمر - الطبيعي و ليس الصناعي - في حساب بعض القيم الهندسية التي تصف شكل الأرض. فعلي سبيل المثال قام العالم الفرنسي لابلاس Laplace في عام ١٨٠٢ بحساب قيمة تفلطح سطح الأرض Earth Flattening اعتماداً علي دراسة حركة القمر. وطوال قرن و نصف توالى الدراسات الجيوديسية لتقييم أسسا علمية جيوديسية انطلقت تطبيقاتها سريعاً بمجرد إطلاق أول قمر صناعي ، ويكفي أن نشير إلي أن بعد مرور عام واحد فقط من إطلاق أول قمر صناعي تمكن الجيوديسيين في عام ١٩٥٨ من حساب قيمة أكثر دقة لتفلطح الأرض اعتماداً علي قياسات هذا القمر الصناعي. وتتعدد تطبيقات تخصص جيوديسيا الأقمار الصناعية لتشمل العديد من المجالات العلمية المدنية منها^{١٦}:

الجيوديسيا العالمية:

- تحديد شكل و مجال جاذبية الأرض.
- تحديد أقرب النماذج الرياضية لشكل الأرض الحقيقي.
- إنشاء نظام جيوديسي أرضي مرجعي Global terrestrial reference frame.
- تطوير نماذج الجيوديسيا الدقيقة (أنظر تعريف الجيوديسيا في الفصل القادم).
- الربط بين العديد من المراجع الجيوديسية المستخدمة حول العالم.

الثوابت الجيوديسية:

¹⁵ المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، ١٤٢٦ هـ ، النظام الكوني لتحديد المواقع ، مقرر دراسي لطلاب المعاهد الثانوية الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

¹⁶ Seeber, G., 2003, Satellite Geodesy, Second Edition, Walter de Gruyter Co., Berlin, Germany

- إنشاء نقاط شبكات جيوديسية مرجعية.
- إنشاء شبكات جيوديسية ثلاثية الأبعاد.
- الربط بين العديد من الشبكات الجيوديسية المتباعدة.
- دراسة حركة القشرة الأرضية.

المساحة المستوية و التطبيقية:

- إجراء المسح التفصيلي للظواهر الطبيعية و البشرية لتطبيقات حصر الملكيات و تخطيط المدن و إقامة المشروعات المدنية و تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems (GIS).
- إقامة ثوابت أرضية لعمليات التصوير الجوي و ضبط مرئيات الاستشعار عن بعد.
- إدارة الموارد الطبيعية بصفة عامة و الموارد المائية بصفة خاصة^{١٧}.
- الرفع الطبوغرافي و إنشاء الخرائط الكنتورية لمشروعات التنمية الوطنية^{١٨}.
- تحديد إحداثيات أجهزة التصوير داخل الطائرات.

الملاحة الجيوديسية:

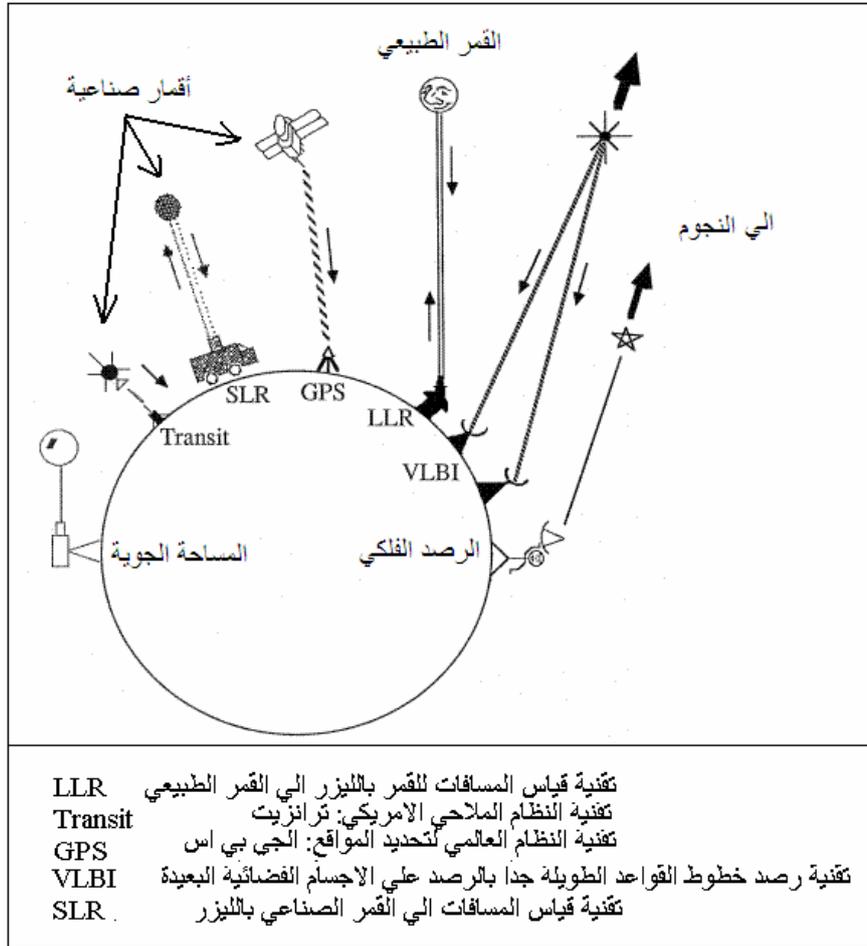
- زيادة دقة الملاحة سواء البرية أو البحرية أو الجوية.
- تحديد المواقع بدقة لتطبيقات الخرائط البحرية و استكشاف الموارد الطبيعية و المساحة البحرية و الجيولوجيا.
- ضبط العلاقات بين محطات قياس المد و الجزر Tide gauges (توحيد نظم قياس الارتفاعات).
- تحديد مواقع القياسات الجيوفيزيائية (مثل مواقع قياس الجاذبية الأرضية و المسح المغناطيسي) سواء علي البر أو في البحر.
- تحديد اتجاه و معدل حركة الكتل الجليدية عند كلا القطبين.
- تحديد مدارات الأقمار الصناعية ذاتها بمختلف أنواعها.

كما تجب الإشارة لوجود عدد كبير من تقنيات تحديد المواقع الحديثة سواء تلك التي تعتمد علي رصد القمر الطبيعي أو الأقمار الصناعية أو رصد النجوم^{١٩} (شكل ١-٧).

¹⁷ داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٢ ، استخدام أحدث تقنيات الرصد علي الأقمار الصناعية في تحديد حجم المنخفضات لمشروعات الإدارة المتكاملة للموارد المائية ، مجلة علوم المياه ، العدد ٣١ ، ص ٢٣-٣١.

¹⁸ Dawod, G., 2003c, Productive GPS topographic mapping for national development projects in Egypt, Proceedings of the First International Conference on Civil Engineering, Assiut University, Volume 2, pp. 246-253, October 7-8.

¹⁹ Wells, D., Beck, N., Delikaraoglou, D., Kleusberg, A., Krakiwsky, E., Lacgabelle, 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.



شكل ٧-١
تقنيات تحديد المواقع

الفصل الثاني شكل الأرض و المراجع و نظم الإحداثيات

١-٢ مقدمة:

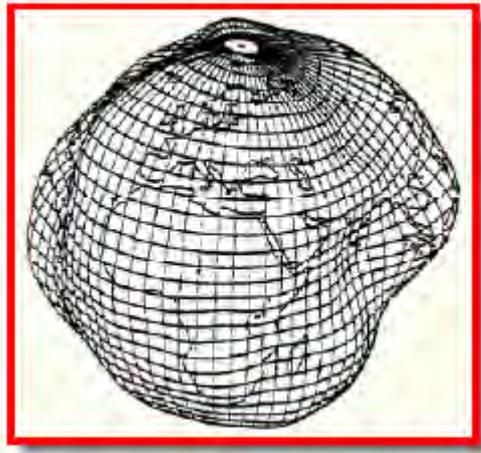
إن تحديد المواقع علي سطح الأرض يعني بداية أن نعرف ما هو الشكل الدقيق لهذا الكوكب الذي نعيش فوقه ، و ما هو المرجع الذي يمكننا أن نفترض أنه الأنسب لتمثيل الأرض رياضيا و خرائطيا. كما أن تحديد الموقع يكون من خلال قيم رياضية تعبر عنه وهي القيم التي نطلق عليها مصطلح "الإحداثيات Coordinates" علي اختلاف أنواعها و نظمها. لذلك يجب علي الدارس أو المهتم بعملية تحديد المواقع أن يلم بأساسيات هذه الموضوعات الثلاثة ، وهو ما سنقوم بعرضه في هذا الفصل.

٢-٢ شكل الأرض:

في بدايات المعرفة البشرية ظن الإنسان أن الأرض هي قرص صلب يطفو فوق سطح الماء ، إلي أن تطور التفكير العلمي للبشر قليلا وجاء العالم اليوناني فيثاغورث Pythagoras في القرن السادس قبل الميلاد وافترض أن الأرض كروية الشكل. وكانت أولى محاولات العلماء لتقدير حجم أو محيط هذه الكرة هي تجربة العالم الإغريقي أراتوستين التي سبق الإشارة إليها في الفصل الأول. وفي القرنين الخامس عشر و السادس عشر أيد كلا من الرحالة كولومبوس Columbus و ماجلان Magellan فكرة كروية الأرض من خلال رحلاتهما الشهيرة بالدوران حول الأرض. في عام ١٦٨٧ طور العالم الشهير نيوتن Newtown عدة مبادئ نظرية علمية وكان أهمها: أن الشكل المتوازن لكتلة مائعة متجانسة خاضعة لقوانين الجذب و تدور حول محورها ليس هو شكل الكرة كاملة الاستدارة لكنه شكل مفلطح قليلا باتجاه القطبين. وفي عام ١٧٣٥ قامت أكاديمية العلوم الفرنسية بتنظيم بعثتين لإجراء القياسات اللازمة للتأكد من هذه الفرضية وأثبتت النتائج فعلا أن الأرض مفلطحة وليست كروية الشكل تماما^١.

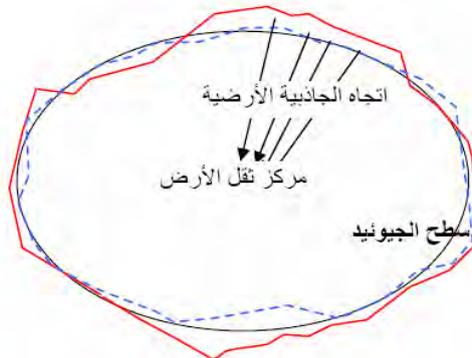
إننا نعيش علي سطح كوكب الأرض وعندما نريد أن نحدد أي موقع علي الأرض فنحن بحاجة إلي أن نقوم بتعريف هذا السطح - شكله و حجمه - لكي يمكننا من معرفة في أي مكان نحن نقع بالضبط. إن شكل السطح الطبيعي للأرض كما خلقه الله تعالي بما يضمه من قارات و محيطات و جبال و أودية و بحار ليس شكلا سهلا وليس منتظما لكي يمكن التعبير عنه بسهولة (شكل ١-٢).

^١ صيام ، يوسف ، ٢٠٠٢ ، المساحة: أنظمة الإحداثيات و قراءة الخرائط ، عمان ، الأردن.



شكل ٢-١
الأرض غير منتظمة الشكل

بحث العلماء عن شكل افتراضي آخر للأرض يكون أقل تعقيدا واهتدوا إلى فكرة أنه طالما أن مساحة الماء في المحيطات و البحار تشكل حوالي ٧٠% من مساحة الأرض فإن شكل الأرض يكاد يكون هو الشكل المتوسط لسطح الماء (إذا أهملنا حركة سطح الماء بسبب التيارات البحرية والمد و الجزر) Mean Sea Level والمعروف اختصارا بأحرف MSL، وإذا قمنا بمد هذا السطح تحت اليابسة لنحصل علي شكل متكامل فإن هذا الشكل سيكون أقرب ما يكون للشكل الحقيقي للأرض. وتم إطلاق اسم الجيويد أو الجيويد Geoid علي هذا الشكل الافتراضي [يجب ملاحظة أن هناك فرق في حدود متر واحد فقط بين كلا من MSL و الجيويد إلا أنه في معظم التطبيقات الهندسية تتعاضى عن هذا الفرق و نعتبر أن كلا الشكلين أو المصطلحين يشيران لنفس الجسم^٢]. ولكن طبقا لمبدأ نيوتن السابق فإن شكل هذا الجيويد لن يكون منتظما لان سطح الجيويد يتعامد مع اتجاه قوة الجاذبية الأرضية وأيضا يخضع لقوة الطرد المركزية الناتجة عن دوران الأرض حول محورها ، وكلا القوتين تختلفان من مكان لآخر علي سطح الأرض بسبب عدم توزيع الكثافة بشكل منتظم (يختلف سمك القشرة الأرضية من ٦ إلى ٦٠ كيلومتر) . وبذلك نخلص إلي أن الجيويد (شكل ٢-٢) هو الشكل الحقيقي للأرض إلا أنه شكل معقد أيضا و يصعب تمثيله بمعادلات رياضية تمكننا من رسم الخرائط و تحديد المواقع عليه.



شكل ٢-٢
الجيويد: الشكل الحقيقي للأرض

² Iliffe, J., 2005, Datums and map projection: For remote sensing, GIS, and surveying, CRC Press, Washington, DC, USA.

لنعتقد الجيويد وصعوبة تمثيله بمعادلات رياضية أتجه العلماء إلي البحث عن أقرب الأشكال الهندسية المعروفة ووجدوا أن القطع الناقص أو الأليبس **Ellipse** هو الأقرب ، فإذا دار هذا الأليبس حول محوره فسينتج لنا مجسم القطع الناقص أو الأليبسويد أو الشكل البيضاوي **Spheroid Ellipsoid or Ellipsoid of Revolution** ويعرف أيضا باسم الأسفرويد (لكن اسم الأليبسويد هو الأكثر انتشارا وهو الذي سنستخدمه في هذا الكتاب). ربما يتبادر إلي الأذهان الآن سؤال: ما هو الفرق بين الأليبس و الدائرة أو بمعنى آخر ما هو الفرق بين الأليبسويد و الكرة؟ بالنظر لشكل ٢-٣ نجد أن الأليبسويد مفلطح قليلا عند كلا القطبين بعكس الكرة التي تكون كاملة الاستدارة تماما ، أيضا الكرة لها قطر و احد له نفس القيمة في جميع الاتجاهات بينما نجد الأليبسويد له محورين مختلفين. للتعبير عن الأليبسويد يلزمنا معرفة عنصرين (لاحظ أن الكرة يعبر عنها بعنصر واحد فقط هو نصف قطرها):

- نصف المحور الأكبر (المحور في مستوي خط الاستواء) ويرمز له بالرمز a

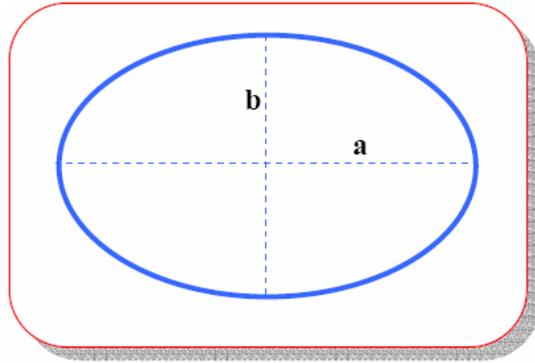
- نصف المحور الأصغر (المحور بين كلا القطبين) ويرمز له بالرمز b

ويقوم البعض بالتعبير عن الأليبسويد بطريقة أخرى من خلال العنصرين:

- نصف المحور الأكبر (المحور في مستوي خط الاستواء) ويرمز له بالرمز a

- معامل التفلطح **flattening** ويرمز له بالرمز f ويتم حسابه من المعادلة:

$$f = (a - b) / a \quad \text{or} \quad f = 1 - (b / a) \quad (2-1)$$

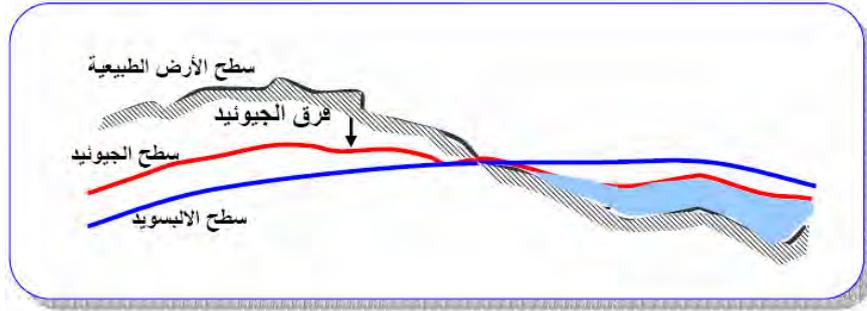


شكل ٢-٣
الأليبسويد

ويتميز شكل الأليبسويد بعدة خصائص مثل^٣ (شكل ٢-٤):

- سهولة إجراء الحسابات علي سطحه (حيث أنه شكل هندسي معروف).
- لا يختلف سطح الأليبسويد الرياضي عن سطح الجيويد الفيزيقي كثيرا (أكبر فرق بين كلاهما لا يتعدى ١٠٠ متر فقط. لاحظ أن الفرق بين الجيويد و الكرة يصل إلي ٢١ كيلومتر تقريبا).

^٣ المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، ١٤٢٦ هـ ، النظام الكوني لتحديد المواقع ، مقرر دراسي لطلاب المعاهد الثانوية الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.



شكل ٢-٤
العلاقة بين الجيويد و الاليسويد

٣-٢ المراجع:

لكي يمكن تحديد المواقع علي سطح الأرض يلزمنا اختيار شكل رياضي يعبر عن شكل و حجم الأرض ذاتها وهو ما نطلق عليه اسم الشكل المرجعي Reference Surface⁴. أحد هذه الأشكال المرجعية من الممكن أن يكون الكرة والتي كانت مستخدمة لفترة طويلة لتحديد المواقع التي لا تتطلب دقة كبيرة ولرسم الخرائط التي لا يزيد مقياسها عن ١ : مليون^٥. أيضا للمساحات الصغيرة جدا (أقل من ٥٠ كيلومتر مربع) من الممكن اعتبار المستوي Plane شكلا مرجعيا وخاصة في تطبيقات المساحة المستوية Plane Surveying^٦. أما لتحديد المواقع بدقة عالية أو لرسم الخرائط الدقيقة فأن الاليسويد هو الشكل المرجعي المستخدم.

طوال القرنين الأخيرين تعددت محاولات علماء الجيوديسيا لتحديد أنسب اليسويد يعبر عن شكل الأرض بأقرب صورة ممكنة. وكلما تجمعت قياسات جيوديسية جديدة لدي أحد العلماء أو الجهات الدولية تم حساب قيم جديدة لعناصر تعريف الاليسويد (سواء a, b أو a, f) مما أدى لوجود العديد من نماذج الاليسويد ، ويعرض الجدول ٢-١ بعضا من هذه النماذج.

كانت كل دولة عند بدء إقامة الهيكل الجيوديسي أو المساحي لها بغرض البدء في إنتاج الخرائط غالبا ما تختار أحدث البسويد – في ذلك الوقت – لتتخذ السطح المرجعي لنظام خرائطها. فإذا ظهر بعد عدة سنوات البسويد آخر لم يكن ممكنا – لأسباب تقنية و مادية – أن تقوم هذه الدولة بتغيير السطح المرجعي لها و إعادة إنتاج و طباعة كل خرائطها من جديد. لكن ما هو المرجع؟ من المعروف أن أي البسويد يكون أقرب ما يمكن لتمثيل سطح الأرض علي المستوي العالمي ، أي أن الفروق بينه وبين الجيويد تختلف من مكان لمكان علي سطح الأرض لكنها أقل ما يمكن علي المستوي العالمي. لكن كل دولة عندما تعتمد البسويد معين تريد أن يكون الفرق بينه و بين الجيويد أقل ما يمكن في حدودها ولا تهتم إن كانت هذه الفروق كبيرة في مناطق أخرى من العالم. لذلك كانت كل دولة تلجأ لتعديل وضع الاليسويد المرجعي قليلا Re-Position لكي يحقق هذا الهدف. وفي هذه الحالة – أي بعد إجراء هذا التعديل البسيط – فلم يعد هذا الاليسويد كما كان في الأصل لكنه صار في وضع مختلف ، وهنا نطلق عليه اسم مرجع أو مرجع جيوديسي أو مرجع وطني أو بيان A geodetic Datum, a local datum, or

⁴ Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

⁵ إبراهيم ، نقولا ، ١٩٨٢ ، مساحات الخريطة ، منشأة المعارف ، الإسكندرية ، مصر.

⁶ صيام ، يوسف ، ٢٠٠٢ ، المساحة: أنظمة الإحداثيات و قراءة الخرائط ، عمان ، الأردن.

simply a datum. أي أن المرجع الوطني لأي دولة ما هو إلا البسويد عالمي قد تم تعديل وضعه بصورة أو بأخرى ليناسب هذه الدولة ويكون أقرب تمثيلاً لشكل الجيويد (الشكل الحقيقي للأرض) عند هذه الدولة^٧. كما يجب الإشارة إلي أنه كلما قلت الفروق بين المرجع الوطني لدولة ما و الجيويد كلما زادت دقة الخرائط المرسومة اعتماداً علي هذا المرجع^٨.

جدول ٢-١ بعض نماذج الاليسويد المستخدمة عالمياً

اسم الاليسويد	نصف المحور الأكبر a بالمتر	نصف المحور الأصغر b بالمتر	الدولة التي تستخدمه
Helmert 1906	٦٣٧٨٢٠٠	٦٢٥٦٨١٨	مصر
Clarcke 1866	٦٣٧٨٢٧٤	٦٣٥٦٦٥١	أمريكا الشمالية
Bassel 1841	٦٣٧٧٣٩٧	٦٣٥٦٠٧٩	وسط أوروبا
Airy 1830	٦٣٧٧٥٦٣	٦٣٥٦٢٥٧	بريطانيا
WGS72	٦٣٧٨١٣٥	٦٣٥٦٧٥٠	عالمي
WGS84	٦٣٧٨١٣٧	٦٣٥٦٧٥٢	عالمي

ولتوضيح هذه النقطة الهامة أكثر سنأخذ مثال لجمهورية مصر العربية. عند بدء أعمال الجيوديسيا و إنشاء الخرائط في مصر في بداية القرن العشرين كان أحدث الاليسويد متاح في ذلك الوقت هو الاليسويد هلمرت ١٩٠٦. تم اتخاذ القرار باختيار هذا الاليسويد ليكون سطحاً مرجعياً لمصر. وبعد ذلك تم إجراء عدد من التعديلات علي وضع هذا الاليسويد ليتكون ما يعرف باسم المرجع الوطني المصري ١٩٠٧ Old Egyptian Datum أو اختصاراً OED1970. أحد هذه التعديلات كان الفرض بأن الارتفاع عن سطح الاليسويد = الارتفاع عن متوسط سطح البحر عند النقطة الأساسية المسماة F1 أو نقطة الزهراء بجبل المقطم^٩. هذا الفرض يعني أننا افترضنا أن سطح الاليسويد هلمرت ١٩٠٦ ينطبق مع سطح الجيويد عند هذه النقطة (هذا غير حقيقي لكنه فرض أساسي لتسهيل بدء الحسابات الجيوديسية لشبكات الثوابت الأرضية المساحية). وبمعنى آخر أننا قمنا برفع سطح الاليسويد هلمرت ١٩٠٦ عدة أمتار لينطبق مع سطح الجيويد عند هذه النقطة المحددة، وبالتالي لم يعد هلمرت ١٩٠٦ هو ذلك الاليسويد العالمي الذي تم تحديد شكله و حجمه ووضع ليكون أقرب ما يمكن لتمثيل شكل الأرض علي المستوي العالمي، إنما صار له وضع جديد يناسب المنطقة الجغرافية لجمهورية مصر العربية فقط. هنا لا نقول أنه الاليسويد إنما نطلق عليه اسم المرجع المصري.

7 الغزالي، محمد شوقي، ١٩٩٧، الجيوديسيا الهندسية و نظام تحديد المواقع العالمي، القاهرة، مصر.

8 صيام، يوسف، ٢٠٠٢، المساحة: أنظمة الإحداثيات و قراءة الخرائط، عمان، الأردن.

9 Mugnier, C., 2008a, Grids and Datums: Arab Republic of Egypt, ASPRS Newsletter, November, pp. 1307-1309.

كما يجب الإشارة في هذا السياق إلي وجود مراجع وطنية عديدة لدول مختلفة كلها تعتمد علي نفس الاليسويد العالمي ، لكن كل مرجع منهم يعدل وضع هذا الاليسويد بصورة مختلفة. كمثال فان المراجع الوطنية لكلا من السودان و تونس و المغرب و الجزائر و الإمارات و عمان تعتمد جميعها علي اليبسويد 1880 Clarke لكن كل مرجع له وضع مختلف (أنظر عناصر التحويل بين المراجع لاحقا).

المراجع التي تحدثنا عنها حتى الآن هي ما يمكن أن نطلق عليها اسم المراجع الأفقية Horizontal Datum وهي الخاصة بتحديد المواقع في المستوي الأفقي. أما عند التعامل مع الإحداثيات في المستوي الرأسي (أي الارتفاعات) فأنا نحتاج إلي نوع آخر من المراجع هي المراجع الرأسية Vertical Datum. ويعد الجيويد هو المرجع الرأسي المعتمد في العديد من دول العالم ، أي لتحديد هذا المرجع نحتاج لتحديد النقطة التي يكون عندها متوسط سطح البحر يساوي صفر¹⁰. وكمثال في مصر فقد تم إنشاء محطة قياس المد و الجزر Tide Gauge في ميناء الإسكندرية وتم تسجيل قياساتها لمدة ٨ سنوات من عام ١٨٩٨ إلي عام ١٩٠٦ وأخذ متوسطها بحيث أن هذه القراءة (علي المسطرة المدرجة داخل المحطة) اعتبرت هي المنسوب المساوي للصفر أي هي النقطة التي تحدد موقع الجيويد. و انطلاقا من هذه النقطة المرجعية تم استخدام أسلوب الميزانية Leveling لإنشاء مجموعة من النقاط – تسمى الروبيرات أو Bench Marks: BM- المعلومة المنسوب و التي تغطي معظم أرجاء مصر. لذلك نقول أن المرجع الوطني الرأسي المصري Vertical Egyptian Datum هو قيمة متوسط سطح البحر MSL عند الإسكندرية في عام ١٩٠٦. وفي إطار هذا السياق تجب الإشارة إلي أن هذا المرجع الرأسي قد تغيرت قيمته نتيجة ارتفاع متوسط سطح البحر علي المستوي العالمي في المائة عام الأخيرة (بقيمة متوسطة تبلغ +١١.٦ سم وبمعدل ١.٧ ملليمتر/سنة في مصر¹¹).

٢-٤ نظم الإحداثيات:

الإحداثيات Coordinates هي القيم التي بواسطتها نعبر عن موقع معين علي سطح الأرض أو علي الخريطة. وتتعدد أنظمة الإحداثيات تبعا لاختلاف السطح المرجعي الذي يتم تمثيل المواقع عليه. فعند اختيار المستوي كسطح مرجعي (مثل الخريطة) فإن الإحداثيات تكون إحداثيات مستوية أو مسقطة أو ثنائية الأبعاد Two-Dimensional (or 2D) Coordinates. ويرجع اسم ثنائية الأبعاد إلي أن كل نقطة – علي الخريطة مثلا – يلزمها قيمتين لتحديد موقعها وليكن مثلا س ، ص. بينما عند اعتماد الكرة أو الاليسويد كسطح مرجعي فأنا نتعامل مع نوع الإحداثيات الفراغية أو الإحداثيات ثلاثية الأبعاد Three-Dimensional (or 3D) Coordinates حيث يجب إضافة ارتفاع النقطة عن سطح المرجع كبعد ثالث لتحديد موقعها الدقيق ، أي نحتاج لمعرفة القيم الثلاثة س ، ص ، ع لكل موقع. وفي حالة الكرة تسمى الإحداثيات باسم الإحداثيات الكروية Spherical Coordinates بينما في حالة الاليسويد تسمى بالإحداثيات الجيوديسية Geodetic Coordinates أو الإحداثيات الجغرافية Geographic Coordinates أو الإحداثيات الاليسويدية Ellipsoidal Coordinates. كما توجد إحداثيات أحادية البعد One-Dimensional (or 1D) Coordinates وهي غالبا التي تعبر فقط عن ارتفاع النقطة من

¹⁰ Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

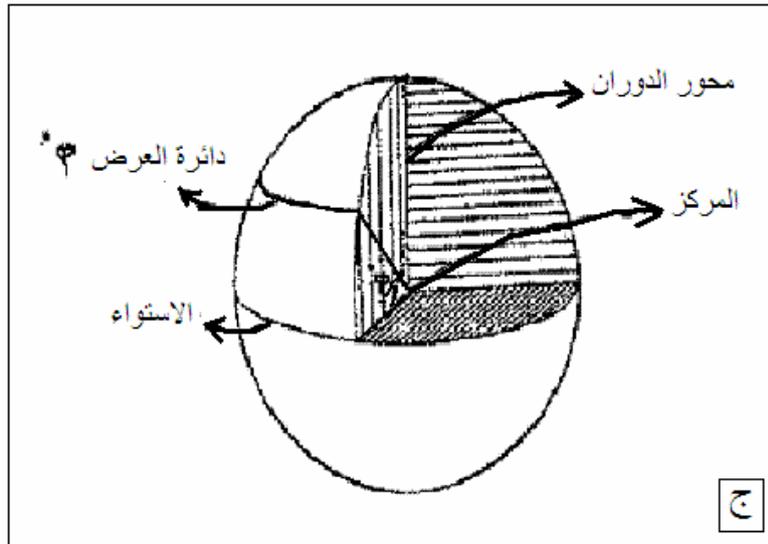
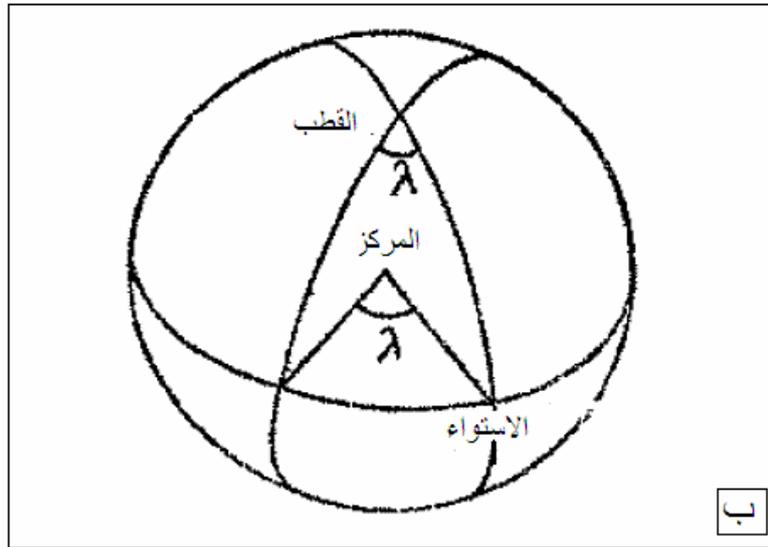
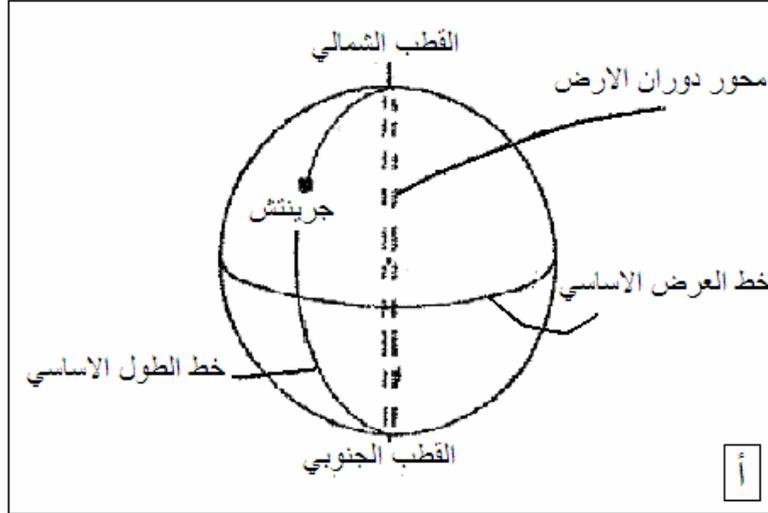
¹¹ Mohamed, H.F., 2005, Realization and redefinition of the Egyptian vertical datum based on recent heterogonous observations, PhD dissertation, Faculty of Engineering at Shobra, Benha University.

سطح الشكل المرجعي المستخدم. وفي التطبيقات الجيوديسية و الجيوفيزيقية عالية الدقة توجد إحداثيات رباعية الأبعاد Four-Dimensional (or 4D) Coordinates حيث يتم تحديد موقع النقطة في زمن محدد بحيث تكون إحداثياتها هي س ، ص ، ع ، ن حيث البعد الرابع "ن" يعبر عن زمن قياس هذه الإحداثيات لهذا الموقع. وسنستعرض بعض أنظمة الإحداثيات بالتفصيل في الأجزاء التالية.

منذ قرون مضت أبتكر العلماء طريقة لتمثيل موقع أي نقطة علي سطح الأرض (باعتبار أن الأرض كرة) وذلك عن طريق^{١٢}:

- تم اتخاذ الخط الأساسي الأفقي هو تلك الدائرة العظمي (أي التي تمر بمركز الأرض) والتي تقع في منتصف المسافة بين القطبين وسميت بدائرة الاستواء.
- أتخذ الخط الأساسي الرأسي ليكون هو نصف الدائرة التي تصل بين القطبين الشمالي و الجنوبي وتمر ببلدة جرينتش بانجلترا (شكل ٢-٥ أ).
- قسمت دائرة الاستواء إلي ٣٦٠ قسما متساويا و رسم علي سطح الأرض ٣٦٠ نصف دائرة (وهمية أو اصطلاحية) تصل بين القطبين وتمر بأحدي نقاط التقسيم علي دائرة الاستواء ، وكل نصف دائرة تسمى خط طول Longitude. ويتضح من ذلك أن الزاوية عند مركز الأرض بين نقطتي تقسيم متجاورتين تساوي ١ درجة (يرمز للدرجة بالرمز °) لان ٣٦٠ درجة تقابل ٣٦٠ قسما. وتم ترقيم خط طول جرينتش بالرقم صفر وخط الطول المجاور له من جهة الشرق °١ شرق ، ثم °٢ شرق ، إلي °١٨٠ شرق وبنفس الطريقة للخطوط الواقعة غرب جرينتش من °١ غرب ، إلي °١٨٠ غرب. وتكون زاوية خط الطول (شكل ٢-٥ ب) هي الزاوية الواقعة في مستوي دائرة الاستواء والمحصورة بين ضلعين يمر أحدهما بخط طول جرينتش بينما يمر الآخر بخط طول النقطة ذاتها.
- تم تقسيم خط الطول الأساسي (جرينتش) إلي ١٨٠ قسما متساويا ورسم علي الأرض دوائر صغري وهمية (الدائرة الصغرى هي التي لا تمر بمركز الأرض) توازي دائرة الاستواء وتمر كل دائرة منها بأحدي نقاط تقسيم خط طول جرينتش. وبذلك تكون الزاوية عند مركز الأرض بين نقطتين متجاورتين من نقاط التقسيم تساوي °١ لان ١٨٠ درجة تقابل ١٨٠ قسما ، وأطلق علي هذه الدوائر اسم دوائر العرض ومنهم ٩٠ دائرة شمال دائرة الاستواء و ٩٠ دائرة جنوبه. وبنفس الأسلوب تم ترقيم دائرة الاستواء بالرقم صفر ودائرة العرض المجاور لها من جهة الشمال °١ شمال ، ثم °٢ شمال ، إلي °٩٠ شمال وبنفس الطريقة للدوائر الواقعة جنوب دائرة الاستواء من °١ جنوب ، إلي °٩٠ جنوب. زاوية العرض Latitude هي الزاوية الواقعة في مستوي دائرة من دوائر الطول و رأسها عند مركز الدائرة و ضلعها الأساسي يمر في مستوي الاستواء و الضلع الآخر يمر في دائرة من دوائر العرض (شكل ٢-٥ ج).

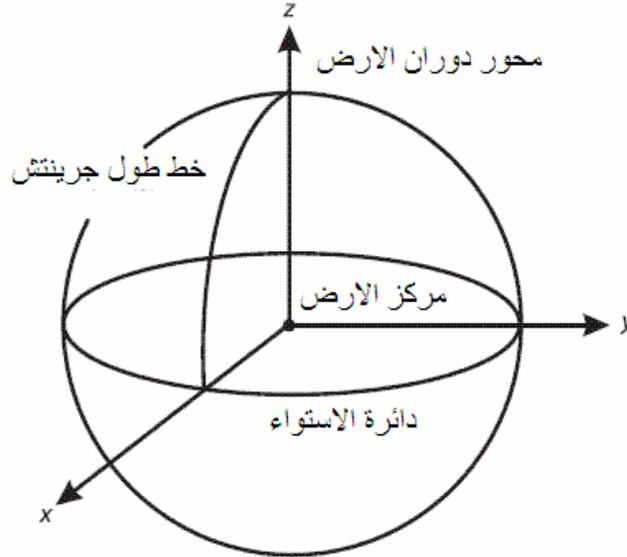
¹² إبراهيم ، نقولا ، ١٩٨٢ ، مساقط الخريطة ، منشأة المعارف ، الإسكندرية ، مصر.



شكل ٢-٥
تحديد المواقع علي الكرة

٢-٤-١ الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية:

نظام الإحداثيات الجيوديسية هو أحد نظم الإحداثيات الذي مركزه هو مركز الأرض ومحاوره مثبتة مع الأرض أثناء دورانها ولذلك يطلق عليه نظام مركزي أرضي ثابت Earth-Centered Earth-Fixed أو اختصاراً ECEF. مركز النظام يقع في مركز جاذبية الأرض، وينطبق محوره الرأسي Z مع محور دوران الأرض، يتجه محوره الأفقي الأول X ناحية خط طول جرينتش بينما محوره الأفقي الثاني Y يكون عمودياً على محور X (شكل ٢-٦).



شكل ٢-٦

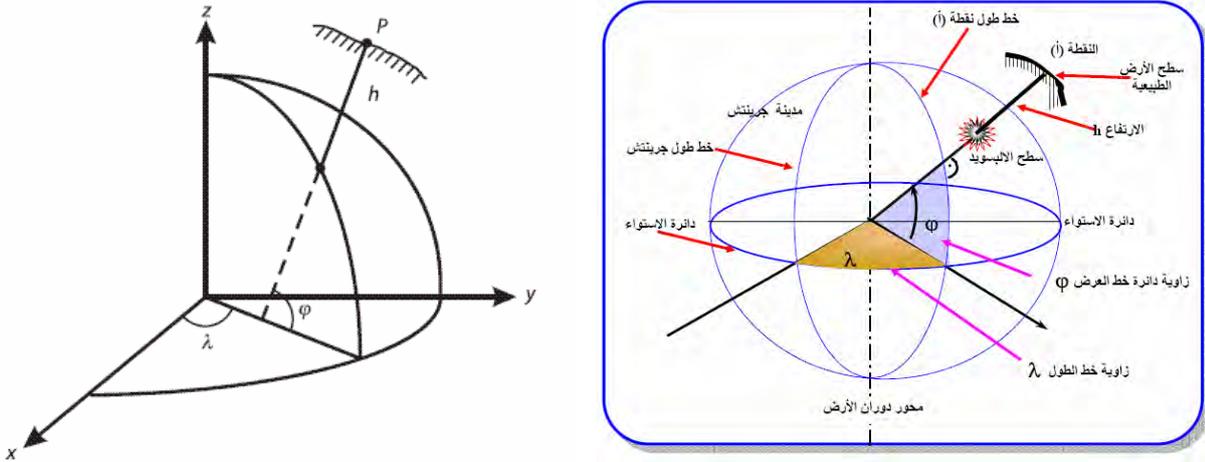
نظام الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية

يتم تمثيل موقع أي نقطة في هذا النظام بثلاثة قيم أو ثلاثة إحداثيات، أي أن هذا النظام ثلاثي الأبعاد 3D (شكل ٢-٧):

خط الطول Longitude ويرمز له بالرمز اللاتيني λ (ينطق لامدا)، وهو الزاوية المقاسة في مستوي دائرة الاستواء بين خط طول جرينتش (وهو خط الطول الذي أصطلح دولياً أن يكون رقم صفر) و خط طول النقطة المطلوبة.

دائرة العرض Latitude ويرمز له بالرمز اللاتيني ϕ (ينطق فاي)، وهي الزاوية في المستوي الرأسي والتي يصنعها الاتجاه العمودي المار بالنقطة المطلوبة مع مستوي دائرة الاستواء (يلاحظ في الشكل أن الاتجاه العمودي على سطح الألبيسويد لا يمر بمركز الألبيسويد عكس حالة الكرة حيث يمر العمودي على سطح الكرة بمركزها).

الارتفاع عن سطح الألبيسويد ويرمز له بالرمز h ويسمى الارتفاع الجيوديسي أو الارتفاع الألبيسويدي Geodetic or Ellipsoidal Height



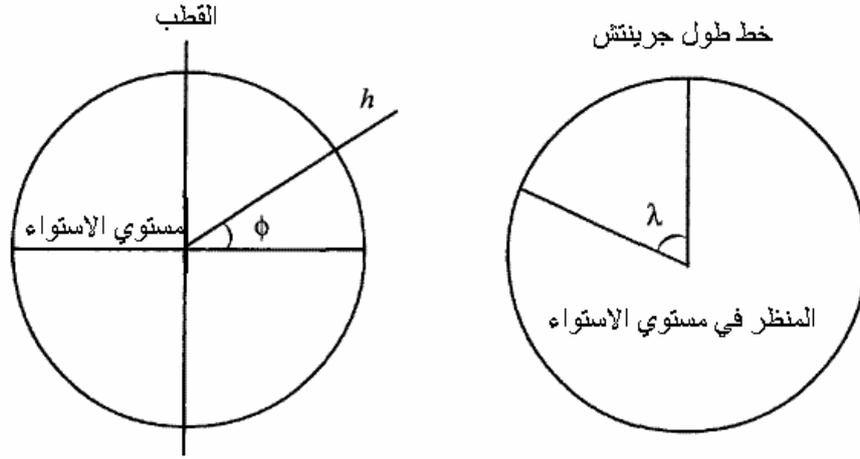
شكل ٢-٧
الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية

وتوجد عدة نظم للوحدات المستخدمة في التعبير عن خطوط الطول و دوائر العرض أشهرها نظام الوحدات الستيني ، وفيه يتم تقسم الدائرة الكاملة إلى ٣٦٠ درجة (رمز الدرجة هو °) ثم تقسم الدرجة إلى ٦٠ جزء كلاً منهم يسمى الدقيقة (رمز الدقيقة هو ') ثم لاحقاً تقسم الدقيقة الواحدة إلى ٦٠ جزء يسمى الواحد منهم بالثانية (رمز الثانية هو "). كمثال: خط الطول 30° 45' 52.3" يعني أن موقع هذه النقطة عند ٣٠ درجة و ٤٥ دقيقة و ٥٢.٣ ثانية.

تكون خطوط الطول أما شرق خط طول جرينتش (يرمز لها بإضافة حرف ق أو E) أو غرب جرينتش (يرمز لها بإضافة حرف غ أو W). أما بالنسبة لدوائر العرض فتكون أما شمال دائرة الاستواء (يرمز لها بإضافة حرف ش أو N) أو جنوب خط الاستواء (يرمز لها بإضافة حرف ج أو S).

٢-٤-٢ الإحداثيات الكروية:

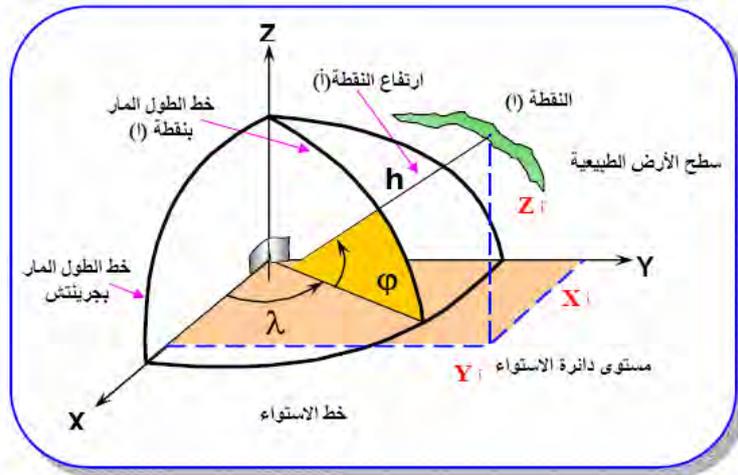
يشبه نظام الإحداثيات الكروية Spherical Coordinates نظام الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية إلا في اختلاف واحد فقط ألا وهو أن السطح المرجعي هنا هو الكرة وليس الاليسويد (شكل ٢-٨). يلاحظ في الشكل (خاصة لقياس دائرة العرض ϕ) أن الاتجاه العمودي علي سطح الكرة يمر بمركزها عكس حالة الاليسويد حيث لا يمر العمودي علي سطح الاليسويد بمركزه.



شكل ٢-٨
الإحداثيات الكروية

٢-٤-٣ الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية أو الفراغية أو الديكارتية:

هو نظام إحداثيات مشابه تماما في تعريفه لنظام الإحداثيات الجيوديسية إلا أنه يتميز أن إحداثياته الثلاثة تكون طولية (أي بالمترا أو الكيلومترا) و ليس منحنية (بالدرجات) مما يجعله أسهل في التعامل وخاصة في الحسابات ، وقد أبتكره العالم الفرنسي ديكرت في القرن السابع عشر. نقطة الأصل لنظام الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية Cartesian Geodetic Coordinates هي مركز الأرض ومحوره الأول X ينشأ من تقاطع مستوي خط الطول المار بجرينتش مع مستوي دائرة الاستواء ومحوره الثاني Y هو العمودي علي محور X بينما المحور الثالث (الرأسي) Z هو محور دوران الأرض و الذي يمر بمركز الأرض وكلا القطبين. ويعبر عن موقع كل نقطة بثلاثة إحداثيات: X, Y, Z. (شكل ٢-٩).



شكل ٢-٩
الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية

٢-٤-٤ الإطار المرجعي الأرضي العالمي:

نلاحظ أن المحور الرأسي في نظم الإحداثيات التي تحدثنا عنها حتى الآن كان يعرف علي أنه ينطبق مع محور دوران الأرض ، وهذا بافتراض أن محور دوران الأرض ثابت. هذا الأساس الفرضي ربما يكون مناسباً لمعظم تطبيقات تحديد المواقع – بما فيها التطبيقات الجيوديسية - التي تتطلب دقة سنتيمتر أو أكبر. لكن علماء الجيوديسيا أثبتوا منذ سنوات بعيدة أن محور دوران الأرض ليس ثابتاً بصورة تامة ، لكنه يتحرك من عام لآخر في حركة أشبه بحركة النحلة (لعبة الأطفال الشهيرة!) ، وبالتالي فإن تعريف أو تحديد محور دوران الأرض يتغير من فترة زمنية لآخري ، ومع أن هذا التغير بسيط جداً (سنتيمترات فقط) إلا أنه يجب أخذه في الاعتبار في حالة تحديد نظام إحداثيات عالي الدقة وخاصة للتطبيقات الجيوديسية التي تتطلب دقة ملليمترات (مثل متابعة و رصد حركة القشرة الأرضية). وبناءاً عليه فقد تم تطوير فكرة الإطار المرجعي الأرضي العالمي International Terrestrial Reference Frame أو المعروف اختصاراً باسم ITRF ، حيث تقوم احدي المنظمات الجيوديسية الدولية بتحديد محور دوران الأرض كل ٣ سنوات وذلك من خلال تجميع و تحليل القياسات الجيوديسية الدقيقة الموزعة علي جميع أنحاء الأرض^{١٣}. وبالتالي فإن هذا النظام من نظم الإحداثيات من الممكن اعتباره من الإحداثيات رباعية الأبعاد 4D حيث يتم تحديد ITRF طبقاً لسنة epoch معينة. كمثال نجد: ITRF1990 , ITRF1995, ITRF2000, and ITRF2005.

٢-٤-٥ التحويل بين الإحداثيات الجغرافية:

يمكن باستخدام مجموعة المعادلات التالية تحويل الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية (ϕ, λ, h) إلي الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية (X, Y, Z) ^{١٤}:

$$X = (c + h) \cos \phi \cos \lambda$$

$$Y = (c + h) \cos \phi \sin \lambda$$

$$(2-2)$$

$$Z = [h + c (1 - e^2)] \sin \phi$$

حيث c يسمى نصف قطر التكور radius of curvature ، e تسمى المركزية الأولى first eccentricity ويتم حسابهما كالتالي:

$$c = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi}} \quad (2-3)$$

$$e = [\sqrt{a^2 - b^2}] / a \quad (2-4)$$

¹³ Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

¹⁴ Iliffe, J., 2005, Datums and map projection: For remote sensing, GIS, and surveying, CRC Press, Washington, DC, USA.

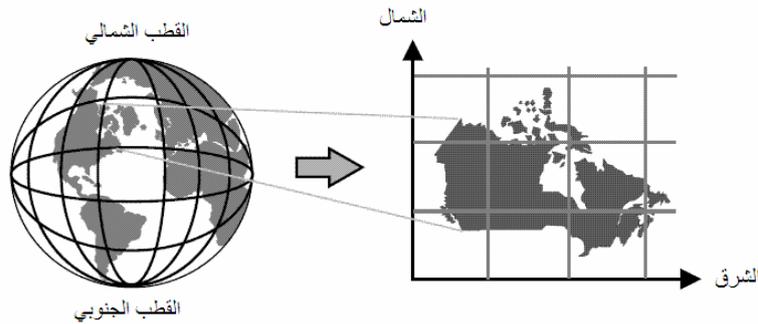
أما للتحويل من الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية (X, Y, Z) إلى الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية (φ, λ, h) فأحد الحلول يتمثل في المعادلات التالية¹⁵:

$$\begin{aligned} \tan \lambda &= Y / X \\ Z &/ \sqrt{(X^2 + Y^2)} \\ \tan \phi &= \frac{1 - e^2 (c / (c + h))}{\sqrt{(X^2 + Y^2)}} \quad (2-5) \\ h &= \frac{c}{\cos \phi} - c \end{aligned}$$

نلاحظ في هذه المعادلات أننا نحتاج لمعرفة قيمة c لكي نستطيع حساب قيمة φ و h ، لكن لنحسب قيمة c من المعادلة ٢-٣ فأنا نحتاج لمعرفة قيمة φ ! ولذلك يتم حساب هذا النوع من التحويل بطريقة تكرارية Iterative ، حيث نبدأ باستخدام قيمة تقريبية لدائرة العرض φ ونحسب قيمة تقريبية لنصف قطر التكور c ثم نأخذ قيمة c هذه لنحسب منها قيمة جديدة φ وهكذا لعدد من المرات إلي أن نجد عدم وجود أي فرق جوهري Significant بين قيمتين متتاليتين لدائرة العرض φ.

٢-٤-٦ إسقاط الخرائط:

إسقاط الخرائط Map Projection هو العملية الرياضية التي تمكننا من تحويل الإحداثيات علي مجسم الأرض - سواء كان الشكل المرجعي الذي يمثل الأرض هو الكرة أو الاليسويد- (أي إحداثيات ثلاثية الأبعاد) إلي إحداثيات ممثلة علي سطح مستوي وهو الخريطة (أي إحداثيات ثنائية الأبعاد أو إحداثيات شبكية Grid Coordinates). أو بمعنى آخر: هو العملية التي تمكننا من تحويل قيم خط الطول و دائرة العرض لموقع إلي الإحداثيات الشرقي و الإحداثيات الشمالي المطلوبين لتوقيع هذا الموقع علي الخريطة¹⁶ (شكل ٢-١٠). ويسمي الشكل الناتج عن عملية الإسقاط بالمسقط.



شكل ٢-١٠
عملية إسقاط الخرائط

¹⁵ حموي ، هيثم نوري ، ١٩٩٧ ، مدخل إلي جيوديسيا الأقمار الصناعية ومقدمة مسهبة في نظام التوضع العالمي، فيينا ، النمسا.

¹⁶ Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

ولا يمكن بأي حال من الأحوال أن تتم عملية تحويل الشكل المجسم للأرض إلي شكل مستوي (خريطة) بصورة تامة ولكن سيكون هناك ما نسميه "التشوه Distortion" في أي طريقة من طرق إسقاط الخرائط. تحاول الطرق المختلفة لإسقاط الخرائط أن تحافظ علي واحدة أو أكثر من الخصائص التالية بين الهدف الحقيقي علي الأرض و صورته علي الخريطة(مرة أخرى لا يمكن تحقيق كل الخصائص مجتمعة):

- تطابق في المساحات
- تطابق في المسافات
- تطابق في الاتجاهات
- تطابق في الزوايا
- تطابق في الأشكال

هناك بعض أنواع الإسقاط التي تحافظ علي المسافات وتسمى مساقط المسافات المتساوية Equidistance Projection وأنواع تحافظ علي الأشكال و الزوايا معا لكن في مساحات محدودة وتسمى مساقط التماثل Conformal Projection (وهي الأقرب للاستخدام في التطبيقات المساحية) وأنواع ثالثة تحافظ علي المساحات وتسمى مساقط المساحات المتساوية Equal-Area Projection^{١٧}.

تنقسم مساقط الخرائط إلي ٤ مجموعات رئيسية^{١٨}:

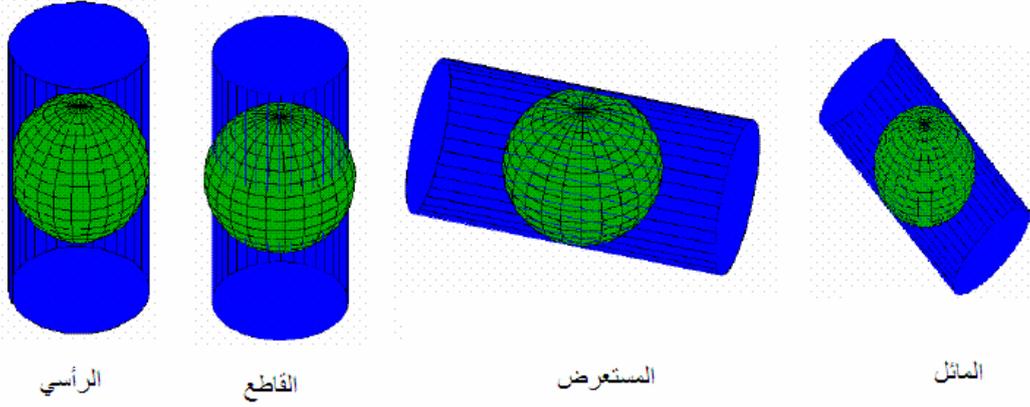
- أ- المساقط الاسطوانية Cylindrical Projections: تنشأ من إسقاط سطح الأرض علي اسطوانة والتي أما تمس الأرض رأسيا أو تقطعها أو تمس الأرض عرضيا أو بصورة مائلة (شكل ٢-١١).
- ب- المساقط المخروطية Conical; Projection: تنشأ من إسقاط سطح الأرض علي مخروط والذي أما يمس الأرض رأسيا أو يقطعها (شكل ٢-١٢).
- ت- المساقط السميتية أو المستوية أو الاتجاهية Azimuthal Projection: تنشأ من إسقاط سطح الأرض علي مستوي والذي أما يمس الأرض رأسيا عند نقطة محددة أو يقطعها في دائرة (شكل ٢-١٣).
- ث- مساقط أخرى خاصة.

غالبا يلعب شكل المنطقة الجغرافية المطلوب إسقاطها دورا مهما في تحديد طريقة الإسقاط المناسبة ، فكمثال نختار طريقة إسقاط سميتية إذا كانت شكل المنطقة شبه دائري و طريقة إسقاط اسطوانية للمناطق شبه المستطيلة و طريقة إسقاط مخروطية للمناطق شبه المثلثية^{١٩}.

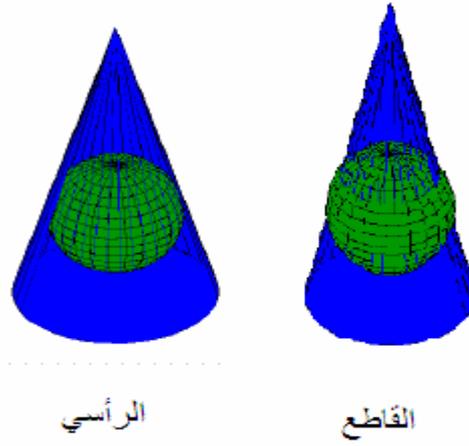
¹⁷ صيام ، يوسف ، ٢٠٠٢ ، المساحة: أنظمة الإحداثيات و قراءة الخرائط ، عمان ، الأردن.

¹⁸ 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/>

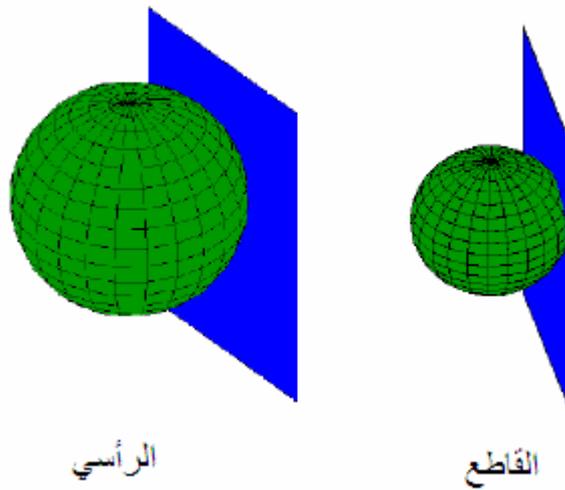
¹⁹ صيام ، يوسف ، ٢٠٠٢ ، المساحة: أنظمة الإحداثيات و قراءة الخرائط ، عمان ، الأردن.



شكل ١١-٢ طرق الإسقاط الاسطواني



شكل ١٢-٢ طرق الإسقاط المخروطي

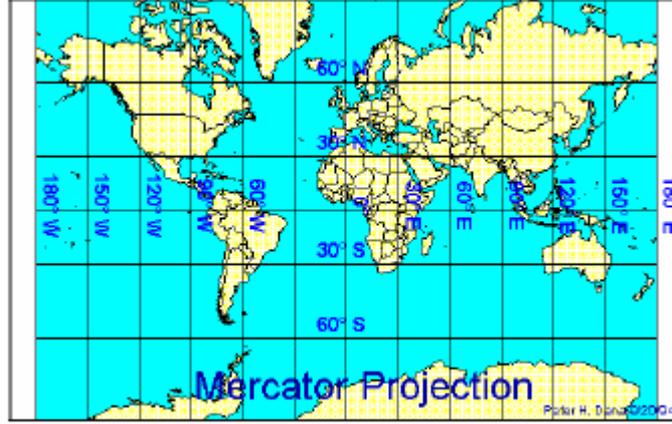


شكل ١٣-٢ طرق الإسقاط السمتي أو المستوي

وفي الجزء التالي سنستعرض بعض نماذج مساقط الخرائط الشهيرة^{٢٠}:

مسقط ميريكاتور Mercator Projection:

مسقط أسطواني يحقق شرط أن خطوط الطول و دوائر العرض تتقاطع في زوايا قائمة تماما. يكون المقياس scale صحيحا عند دائرة الاستواء أو عند دائرتي عرض قياسييتين Standard Parallels علي مسافات متساوية من الاستواء. غالبا يستخدم هذا المسقط في الخرائط البحرية (شكل ١٤-٢).

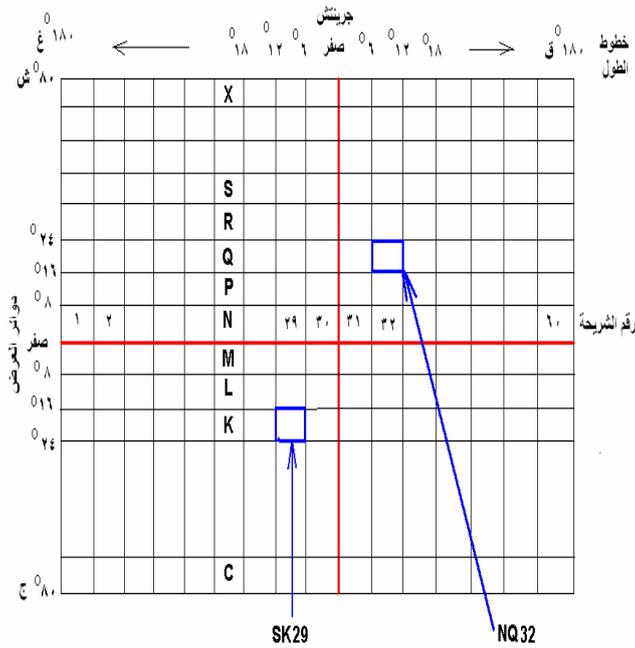
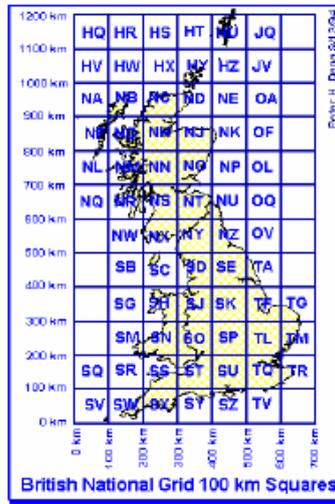
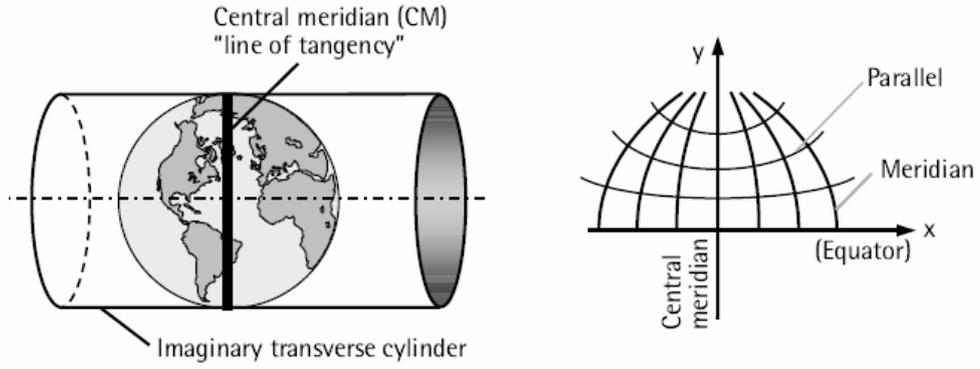


شكل ١٤-٢
مسقط ميريكاتور

مسقط ميريكاتور المستعرض Transverse Mercator Projection:

ينتج هذا المسقط من إسقاط الأرض علي اسطوانة تمسها عند خط طول مركزي Central Meridian. وغالبا يستخدم هذا المسقط للمناطق التي تمتد في اتجاه شمال-جنوب أكبر من امتدادها في اتجاه شرق-غرب. يزداد التشوه (في المقياس و المسافة و المساحة) كلما ابتعدنا عن خط الطول المركزي ، ولذلك نلجأ إلي فكرة الشرائح عند استخدام هذا المسقط حيث يكون عرض الشريحة الواحدة - في اتجاه الشرق - ثلاثة أو أربعة درجات من خطوط الطول بحيث لا يكون مقدار التشوه كبيرا عند أطراف الشريحة التي يقع خط طولها المركزي في منتصفها. مسقط ميريكاتور المستعرض مستخدم في خرائط الكثير من دول العالم مثل مصر و بريطانيا (شكل ١٥-٢).

²⁰ 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/>

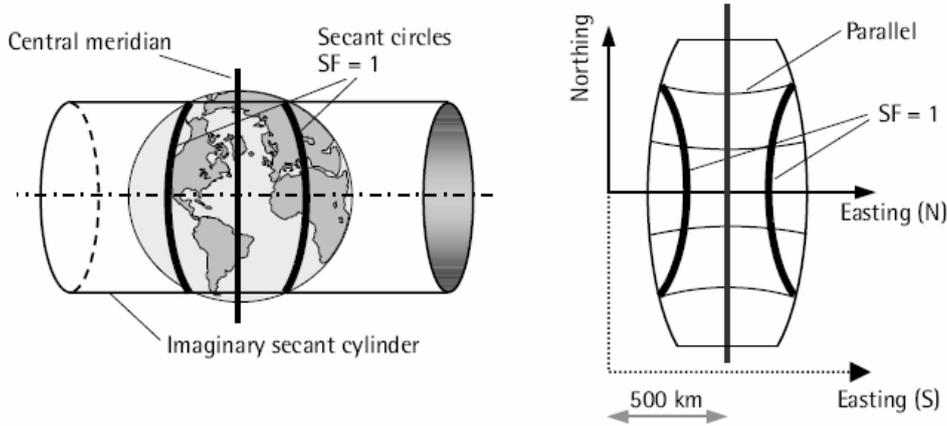
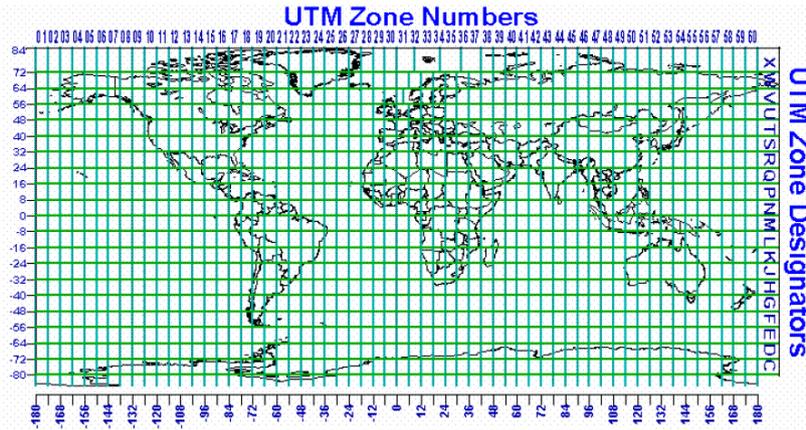


شكل ٢-١٥

مسقط ميريكاتور المستعرض

Universal Transverse Mercator Projection

يعد أشهر أنواع مساقط الخرائط علي المستوي العالمي و يرمز له اختصارا بأحرف UTM. يعتمد مسقط UTM علي إيجاد طريقة لرسم خرائط العالم كله وذلك عن طريق تقسيم الأرض إلي ٦٠ شريحة zones كلا منها يغطي ٦ درجات من خطوط الطول بحيث يكون لكل شريحة مسقط UTM له خط طول مركزي Central Meridian يقع في مركز هذه الشريحة. وتمتد شرائح مسقط UTM من دائرة العرض ٨٠ جنوبا إلي دائرة العرض ٨٤ شمالا. ترقم الشرائح من رقم ١ إلي رقم ٦٠ بدءا من خط الطول ١٨٠° غرب ، بحيث تمتد الشريحة الأولى من ١٨٠° غرب إلي ١٧٤° غرب ويكون خط طولها المركزي meridian central عند ١٧٧° غرب. وتقسم كل شريحة طولية إلي مربعات كل ٨ درجات من دوائر العرض ، بحيث يكون هناك حرف خاص - كاسم - لكل مربع من هذه المربعات ، وتبدأ الحروف من حرف C جنوبا إلي حرف X شمالا مع استبعاد حرفي I و O (شكل ٢-١٦). ويكون معامل المقياس scale factor مساويا ٠.٩٩٩٦ عند خط الطول المركزي ، بحيث مع ازدياد التشوه كلما بعدنا عن خط الطول المركزي فإن أقصى قيمة لمعامل القياس عند أطراف الشريحة ستكون ١.٠٠٠٩٧ عند خط الاستواء أو ١.٠٠٠٢٩ عند دائرة عرض ٤٥° ش^{٢١}.



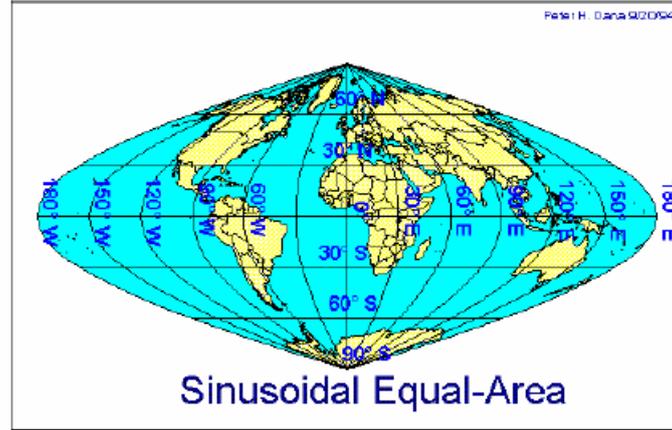
شكل ٢-١٦

²¹ Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

شرائح مسقط مريكاتور المستعرض العالمي

مسقط ساينسويدال متساوي المساحات Sinusoidal Equal-Area Projection :

في هذا المسقط الذي يحافظ علي المساحات تتعامد دوائر العرض علي خط الطول المركزي فقط ، بينما مع باقي خطوط الطول فأن دوائر العرض تكون مقوسة بما يشبه منحنى جيب الزاوية \sin curves (من هنا جاء اسم هذا المسقط: المسقط الجيبي). ويكون مقياس الرسم صحيحا فقط عند خط الطول المركزي و دوائر العرض ، ويستخدم هذا المسقط (شكل ٢-١٧) للمناطق التي تمتد في أنجاه شمال-جنوب.

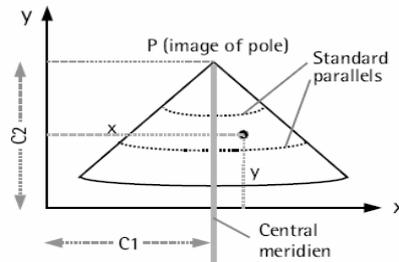
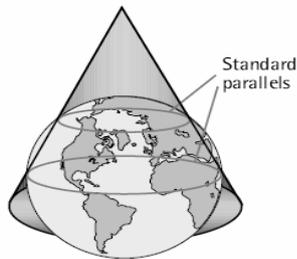
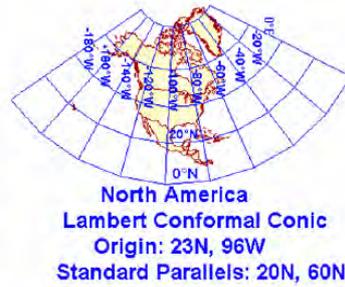


شكل ٢-١٧

مسقط ساينسويدال متساوي المساحات

مسقط لامبرت المخروطي المتماثل Lambert Conformal Conic Projection :

يستخدم هذا المسقط المخروط (وليس الاسطوانة مثل المساقط السابقة) وفيه تكون المساحات و الأشكال متماثلة عند دائرتي العرض القياسيتين Standard Parallels ويزداد التشوه كلما ابتعدنا عنهما ، كما تكون الاتجاهات صحيحة في مناطق محدودة. وهذا المسقط مستخدم في أمريكا الشمالية (شكل ٢-١٨).

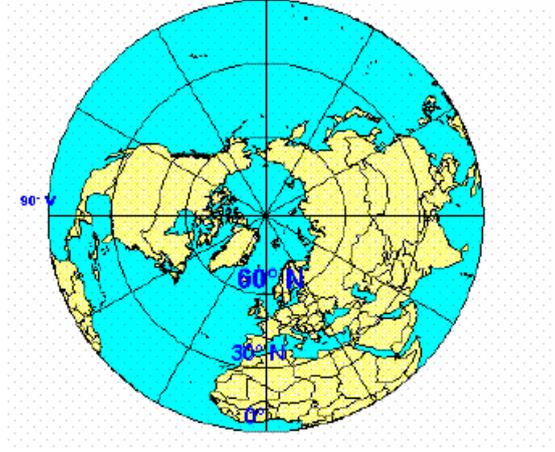


شكل ٢-١٨

مسقط لامبرت المخروطي المتماثل

مسقط لامبرت السمتي متساوي المساحات Lambert Azimuthal Equal-Area Projection

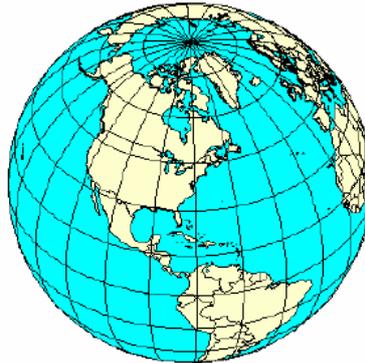
يستخدم هذا المسقط المستوي (وليس الاسطوانة أو المخروط) غالبا لرسم مناطق واسعة من المحيطات. وفيه يكون خط الطول المركزي خطا مستقيما بينما تكون باقي خطوط الطول منحنية (شكل ١٩-٢).



شكل ١٩-٢
مسقط لامبرت السمتي متساوي المساحات

المسقط الارثوجرافي أو المتعامد Orthographic Projection

مسقط سمتي أيضا (أي يستخدم المستوي في الإسقاط) يستخدم غالبا لإظهار صورة عامة أو منظور لنصف الكرة الأرضية (شكل ٢٠-٢). وبه يوجد تشوه لكلا من المساحات و الأشكال وتكون المسافات صحيحة علي دائرة الاستواء ودوائر العرض الأخرى.



Orthographic Projection
Centered on Washington, DC

شكل ٢٠-٢
المسقط المتعامد أو الارثوجرافي

٢-٤-٧ نظم الإحداثيات المسقطة أو المستوية:

الإحداثيات المسقطة Projected Coordinates هي الإحداثيات المستوية ثنائية الأبعاد 2D الناشئة عن تطبيق احدي طرق إسقاط الخرائط ، أي هي إحداثيات أي نقطة علي الخريطة وليس علي سطح الأرض. وغالبا يرمز لها بالاحداثي الشرقي Easting أو اختصارا E و الاحداثي الشمالي Northing أو اختصارا N (البعض يقع في غلطة و يستخدم الرمزین x, y الذين أصبح استخدامهما متعارفا عليه بصورة شائعة للدلالة علي الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية X, Y, Z). وحيث أن طرق إسقاط الخرائط متعددة بصورة كبيرة جدا فنستعرض هنا مثالين فقط لنظم إحداثيات مسقطة للتعرف علي كيفية التعامل مع هذه النظم و العناصر المطلوب معرفتها في كل نظام منهما. والمثالين هما نظام الإحداثيات المصرية كأحد نظم الإحداثيات الوطنية لدولة عربية ، ونظام UTM العالمي المستخدم أيضا في بعض البلاد العربية مثل المملكة العربية السعودية.

٢-٤-٧-١ نظم الإحداثيات المصرية:

(أ) نظام الإحداثيات المصرية ETM

نظام إحداثيات الخرائط المصرية Egyptian Transverse Mercator أو اختصارا ETM هو نظام إسقاط ميريكاتور مستعرض^{٢٢}. وحتى يمكن تقليل التشوه في الخرائط فقد تم تقسيم جمهورية مصر العربية إلي أربعة مناطق أو شرائح Zones وتسمى عادة باسم أحزمة Belts (٣ أحزمة). في هذا النظام تم اعتماد المرجع الجيوديسي Geodetic Datum المستخدم في خرائط الهيئة المصرية العامة للمساحة هو اليسويد هلمرت ١٩٠٦ Helmert 1906 (شكل ٢-٢١)^{٢٣}.

توجد عدة عناصر يجب تعريفها لكل شريحة من شرائح مسقط ميريكاتور المستعرض ، وهذه العناصر تختلف قيمها من دولة لأخرى حتى لو استخدمت الدولتان نفس المسقط. هذه العناصر الخمسة (تسمى معاملات الإسقاط Projection Parameters) تشمل:

- موقع نقطة الأصل للإسقاط Origin والذي يحدد من خلال قيمتين: خط الطول المركزي Central Meridian ودائرة العرض القياسية Standard Parallel.
- لتفادي وجود إحداثيات سالبة (غير مستحبة في الخرائط) فيتم إعطاء قيم إحداثيات مفترضة أو زائفة لنقطة الأصل بدلا من إعطائها الإحداثيات صفر شرقا و صفر شمالا ، وذلك عن طريق تحديد عنصرين آخرين هما: الاحداثي الشرقي الزائف False Easting والاحداثي الشمالي الزائف False Northing.
- العنصر الخامس - من معاملات الإسقاط - المطلوب تحديده هو قيمة معامل مقياس الرسم عند خط الطول المركزي.

²² الحسيني ، صفوت ، ٢٠٠٢ ، الجيوديسيا ، القاهرة ، مصر.

²³ Mugnier, C., 2008a, Grids and Datums: Arab Republic of Egypt, ASPRS Newsletter, November, pp. 1307-1309.

إن معادلات حساب الإحداثيات المسقط ذاتها (أي معادلات تحويل الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية إلى إحداثيات الخريطة) معروفة للجميع^{٢٤} وأصبحت مبرمجة داخل كل برامج الحاسب الآلي software الخاصة بتطبيقات المساحة و الخرائط و نظم المعلومات الجغرافية. إلا أن المهم في حالة استخدام أي برنامج هو تحديد معاملات الإسقاط الخمسة المطلوبة لهذا النوع من الإسقاط ، فربما نجد بعض البرامج لا تحتوي داخل قواعدها بياناتها إسقاط خاص بدولة معينة لكنها تسمح بإنشاء مسقط جديد داخل البرنامج إذا حددنا قيم عناصره الخمسة. بمعنى آخر: من الممكن أن نجد برنامج كمبيوتر لا يحتوي علي نظام الإسقاط المصري لكنه يسمح بإنشاء مسقط من نوع ميريكاتور المستعرض إذا قمنا بتحديد قيم العناصر الخمسة المستخدمة في الخرائط المصرية. وتجدر الإشارة إلي أن عناصر الإسقاط لأي دولة لا يمكن استنباطها أو محاولة حسابها لان هذه العناصر افتراضية ومن اختيار الجهة المسئولة عن الخرائط في هذه الدولة ، لأن وللأسف الشديد ما زالت بعض الدول العربية تعتبر قيم عناصر الإسقاط لها من الأسرار التي لا يجوز نشرها!

تجدر الإشارة إلي أنه في بعض برامج الكمبيوتر software يسمي هذا النظام Old Egyptian Datum 1907 أو اختصارا باسم OED 1907. يتميز هذا النظام بقيم عناصر الإسقاط تخص مصر. وتتغير قيم هذه العناصر مع كل حزام (منطقة) من الخرائط المصرية كالآتي:

١- الحزام الأحمر Red Belt:

يغطي هذا الحزام المنطقة الوسطي من مصر وذلك من خط طول ٢٩ شرقا إلي خط طول ٣٣ شرقا. وتكون قيم عناصر نظام ETM في هذا الحزام هي:

False Easting = 615 000 m	الإحداثي الشرقي المفترض
False Northing = 810 000 m	الإحداثي الشمالي المفترض
Latitude = 30° 0' 0"	دائرة العرض
Longitude = 31° 0' 0"	خط الطول
Scale on central Meridian = 1.00	معامل مقياس الرسم
Zone width = 4° 0' 0"	عرض المنطقة

٢- الحزام الأزرق Blue Belt:

يغطي هذا الحزام المنطقة الشرقية من مصر وذلك من خط طول ٣٣ شرقا إلي خط طول ٣٧ شرقا. وتكون قيم عناصر نظام ETM في هذا الحزام هي:

False Easting = 300 000 m	الإحداثي الشرقي المفترض
False Northing = 110 000 m	الإحداثي الشمالي المفترض
Latitude = 30° 0' 0"	دائرة العرض
Longitude = 35° 0' 0"	خط الطول
Scale on central Meridian = 1.00	معامل مقياس الرسم
Zone width = 4° 0' 0"	عرض المنطقة

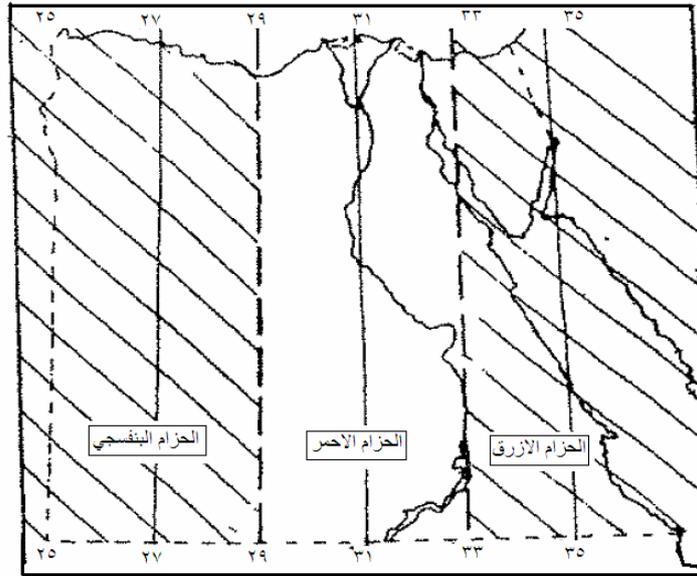
²⁴ إبراهيم ، نقولا ، ١٩٨٢ ، مساقط الخريطة ، منشأة المعارف ، الإسكندرية ، مصر.

٣- الحزام البنفسجي Purple Belt:

يغطي هذا الحزام المنطقة الغربية في مصر وذلك من خط طول ٢٥ شرقا إلي خط طول ٢٩ شرقا. وتكون قيم عناصر نظام ETM في هذا الحزام هي:

False Easting = 700 000 m
 False Northing = 200 000 m
 Latitude = 30° 0' 0"
 Longitude = 27° 0' 0"
 Scale on central Meridian = 1.00
 Zone width = 4° 0' 0"

الاحداثي الشرقي المفترض
 الاحداثي الشمالي المفترض
 دائرة العرض
 خط الطول
 معامل مقياس الرسم
 عرض المنطقة



شكل ٢-٢١

شرائح نظام الإسقاط المصري ETM

تجدر الإشارة إلي وجود شريحة رابعة ثانوية تسمى امتداد الحزام الأحمر Extended Red Belt تغطي المنطقة جنوب مدينة أسوان. أتضح أن قيمة الاحداثي الشمالي المفترض (٨١٠ كيلومتر) لشريحة الحزام الأحمر سيتسبب في وجود إحداثيات شمالية سالبة في هذه المنطقة الجنوبية من الأراضي المصرية (أعتقد أنه لم يكن متخيلا منذ مائة عام أن تتم أي مشروعات مساحية أو إنتاج خرائط لهذه المنطقة أقصى جنوب مصر ولذلك تم اختيار قيمة ٨١٠ كيلومتر وهي تقريبا المسافة من القاهرة إلي أسوان!). وفي هذه الشريحة الرابعة يتم تغيير قيمة الاحداثي الشمالي المفترض من ٨١٠,٠٠٠ متر إلي ١,٠٠٠,٠٠٠ متر.

(ب) نظام الإحداثيات المصرية المطورة MTM

نظرا لانتشار استخدام تقنية GPS في الأعمال المساحية في مصر فقد أعلنت الهيئة المصرية العامة للمساحة منذ عدة أعوام عن تطوير نظام جديد للإحداثيات المستخدمة في الخرائط المصرية وعرف هذا النظام باسم: نظام ميريكاتور المستعرض المعدل Modified Transverse Macerator أو اختصارا باسم MTM (نفس النظام مطبق في بعض أجزاء من كندا أيضا²⁵). لم يتم التحول لهذا النظام بصورة رسمية بعد ، إلا أن خرائط بعض المشروعات الجديدة قد تم تطويرها اعتمادا عليه. وسيعتمد نظام MTM علي المرجع الجيوديسي أو الـ WGS84 وليس الـ WGS84 هلمرت 1906 كالنظام السابق.

مثل النظام السابق سيكون نظام MTM مستخدما لنوع إسقاط الخرائط من نوع ميريكاتور المستعرض ، لكن سيتم تقسيم مصر إلي ٥ شرائح (وليس ٣ فقط في النظام السابق) لتقليل قيمة التشوه إلي أقل ما يمكن للوصول لدقة عالية للخرائط.

توجد عدة عناصر مشتركة بين الشرائح الخمسة كالآتي:

False Easting = 300 000 m	الإحداثي الشرقي المفترض
False Northing = 0 m	الإحداثي الشمالي المفترض
Latitude = 0° 0' 0"	دائرة العرض
Scale on central Meridian = 0.9999	معامل مقياس الرسم
Zone width = 3° 0' 0"	عرض المنطقة

والقيمة الوحيدة التي تتغير من شريحة لأخري هي خط الطول كالآتي:

Longitude = 25° 30' 0"	الشريحة رقم ١
Longitude = 28° 30' 0"	الشريحة رقم ٢
Longitude = 31° 30' 0"	الشريحة رقم ٣
Longitude = 34° 30' 0"	الشريحة رقم ٤
Longitude = 37° 30' 0"	الشريحة رقم ٥

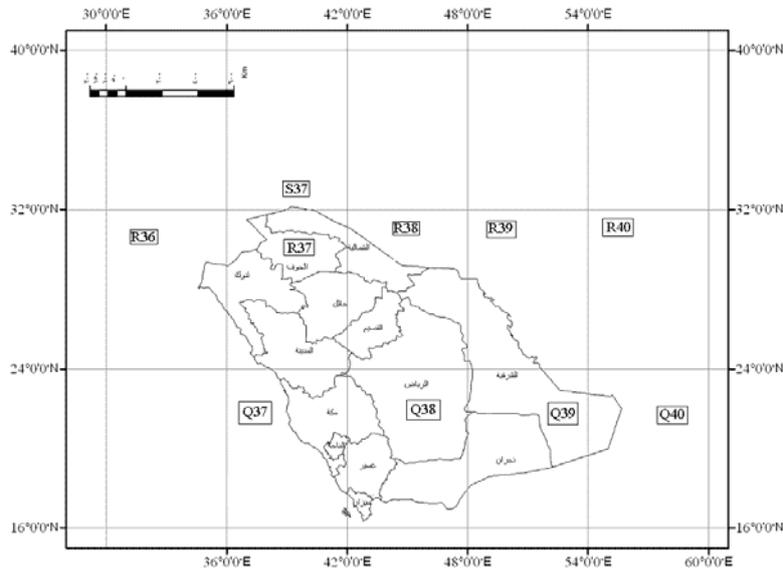
٢-٤-٧-٢ نظم إحداثيات UTM:

إضافة لما سبق ذكره في الأجزاء السابقة عن خصائص مسقط UTM فنضيف أيضا أنه لعدم وجود أي إحداثيات سالبة (الوضع غير المستحب في المساحة و الخرائط) فقد تم الأخذ بمبدأ المركز الزائف أو المفترض False Origin. في كل شريحة من شرائح مسقط UTM تقاس الإحداثيات الشرقية من خط الطول المركزي والذي يعطي له إحداثيات شرقية زائفة تساوي ٥٠٠ كم ، بينما تقاس الإحداثيات الشمالية مباشرة من دائرة الاستواء. وهذا الوضع يجعل من المهم جدا في أي خريطة UTM أن نعرف رقم الشريحة التي تعتمد عليها إحداثيات هذه الخريطة (حيث أن قيم الإحداثيات الشرقية ستتكرر من خريطة لأخري تقع معها علي نفس

²⁵ Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

الامتداد من خطوط الطول). إن معادلات حساب إحداثيات UTM بالطريقة التقليدية متاحة في العديد من المراجع^{٢٦} و^{٢٧}، وهناك أيضا طرق أكثر بساطة من المعادلات التقليدية مثل استخدام متوالية ذات الحدود polynomials التي تجعل حسابات الإحداثيات أبسط وأسرع^{٢٨}.

تعد المملكة العربية السعودية من الدول التي تعتمد في خرائطها علي نظام UTM ، وقد اعتمدت الإليبيسويد العالمي لعام ١٩٢٤ International Ellipsoid 1924 (حيث نصف المحور الأكبر = ٦٣٧٨٣٨٨ متر و التفلطح $1/f = 297$) كسطح مرجعي في مرجعها الجيوديسي الوطني المسمي عين العبد ١٩٧٠^{٢٩}. وفي معظم برامج الكمبيوتر فمن الممكن الاكتفاء بتحديد رقم الشريحة (لمنطقة معينة) ويقوم البرنامج باستخدام معاملات و معادلات تحويل مسقط UTM المناسبة لهذه المنطقة ليتم تحويل الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية إلي الإحداثيات المسقطة أو المستوية ، ويقدم شكل ٢-٢٢ أرقام الشرائح التي تغطي المناطق الإدارية للمملكة.



شكل ٢-٢٢

شرائح مسقط UTM للمملكة العربية السعودية

٢-٤-٨ التحويل بين المراجع:

²⁶ Anderson, J. and Mikhail, E., 1998, Surveying: Theory and practice, Seventh Edition, McGraw-Hill, New York, USA.

²⁷ شكري، علي، حسني، محمود، رشاد، محمد، ١٩٨٩، المساحة الجيوديسية، منشأة المعارف، الإسكندرية، مصر.

²⁸ Ali, A., 2009, Assessment of the polynomials for conversion between geodetic coordinates and the UTM and vice versa, CERM V. 31, N. 3, July, pp. 973-987.

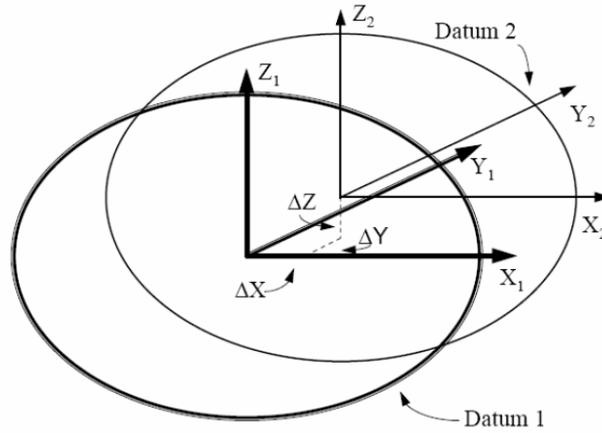
²⁹ Mugnier, C., 2008b, Grids and Datums: Kingdom of Saudi Arabia, ASPRS Newsletter, August, pp. 949-951.

إن تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية المختلفة أصبح حلقة مهمة من حلقات العمل الجيوديسي في الأونة الأخيرة. فمع ازدياد التعاون التنموي و المشروعات المشتركة بين الدول المتجاورة ومع اختلاف المرجع الجيوديسي المستخدم في خرائط و قاعدة البيانات الجيوديسية لكل دولة ، أصبح لزاما توحيد الإحداثيات و الخرائط في مناطق الحدود ليتمكن تنفيذ هذه المشروعات المدنية (مثل مد خطوط الكهرباء أو أنابيب نقل البترول أو إقامة الطرق). أيضا ومع انتشار تطبيقات التقنيات المساحية الحديثة (مثل الجي بي أس) ازدادت أهمية عملية التحويل بين المراجع. فكمثال: تعطي تقنية الجي بي أس إحداثيات النقاط المرصودة علي المجسم العالمي أو اليسويد WGS84 فإذا أردنا توقيع هذه المواقع المرفوعة علي خرائط احدي الدول (التي تعتمد علي اليسويد آخر أو مرجع جيوديسي محلي) فلا بد من تحويل هذه الإحداثيات من اليسويد WGS84 إلي هذا الاليسويد المحلي ، وإلا فأننا سنرتكب أخطاء قد تصل إلي مئات الأمتار عند توقيع هذه الإحداثيات دون تحويلها.

إن عملية التحويل (أي تحويل الإحداثيات) بين المراجع Datum Shift ليست جديدة في العمل الجيوديسي لكنها قد تمت دراستها منذ قرنين أو أكثر ، وقد تم ابتكار العديد من الحلول الرياضية لتنفيذها. وفي العقدين الأخيرين ظهرت طرق رياضية جديدة ربما تكون أكثر دقة من الطرق التقليدية القديمة.

٢-٤-٨-١ الطرق التقليدية للتحويل بين المراجع:

لنبدأ بمثال توضيحي بسيط في حالة التحويل بين نظامي إحداثيات مختلفين لكنهما متوازيين (شكل ٢-٢٣)^{٣٠}. لاحظ أننا سنتعامل هنا مع نوع الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية (X,Y,Z) حيث أنها كإحداثيات طولية متعامدة ستكون أسهل من الإحداثيات الجغرافية (ϕ, λ, h) وحيث أن التحويل بين كلا نظامي الإحداثيات قد سبق تناوله في المعادلة (٢-٢).



شكل ٢-٢٣

التحويل بين مرجعين متوازيين

حيث أن محاور كلا نظامي الإحداثيات في كلا المرجعين متوازية فإن العلاقة بين المرجعين تتحدد بمعرفة موقع مركز المرجع الأول بالنسبة لموقع مركز المرجع الثاني ، أي تحديد فرق

³⁰ موسي ، أشرف القطب ، ٢٠٠٩ ، دليل نظم الإحداثيات و علاقتها بنظام إحداثيات خرائط أمانة جدة ، تقرير أمانة محافظة جدة ، المملكة العربية السعودية.

الإحداثيات بين موقع (أو إحداثيات) النقطة علي المرجع الأول وموقعها أو إحداثياتها علي المرجع الثاني. وهذا الفرق يتحدد من خلال ثلاثة مركبات $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ (ينطق الحرف اللاتيني Δ دلتا) والتي تسمى عناصر النقل Translation Parameters:

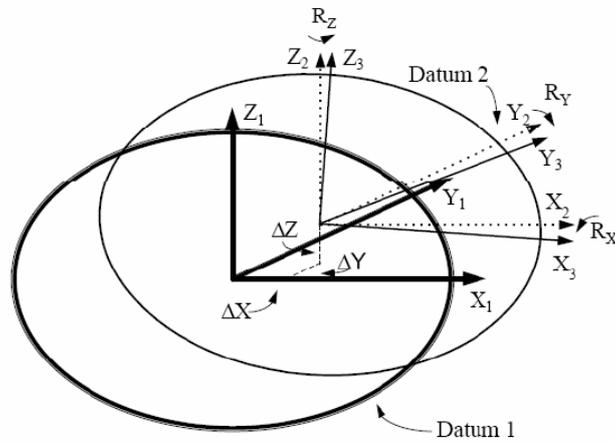
$$\begin{aligned} \Delta X &= X_2 - X_1 \\ \Delta Y &= Y_2 - Y_1 \\ \Delta Z &= Z_2 - Z_1 \end{aligned} \quad (2-6)$$

فإذا علمنا إحداثيات نقطة واحدة علي المرجع الأول (X_1, Y_1, Z_1) وإحداثياتها علي المرجع الثاني (X_2, Y_2, Z_2) فيمكننا حساب فرق الإحداثيات باستخدام المعادلة السابقة. فإذا كان لدينا نقطة جديدة معلوم إحداثياتها علي المرجع الأول (X, Y, Z) فيمكن تحويلها إلي المرجع الثاني (X', Y', Z') بكل سهولة:

$$\begin{aligned} X' &= X + \Delta X \\ Y' &= Y + \Delta Y \\ Z' &= Z + \Delta Z \end{aligned} \quad (2-7)$$

أي أن كل ما نحتاج إليه في هذه الحالة (الفرض بأن المرجعين متوازيي المحاور) هو معرفة إحداثيات نقطة واحدة علي الأقل في كلا النظامين.

لكن الحالة العامة للعلاقة بين أي مرجعين أو البسويدين أن وضعهما لن يكون متوازي المحاور ، بل أن محاور أحدهما ستكون مائلة علي محاور الآخر. كما أن حجم الاليسويد الأول ليس بالضرورة أن يكون مساويا لحجم الاليسويد الثاني. وبالتالي فبدلا من وجود ثلاثة عناصر فقط مطلوب تحديدهم $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ كما في الحالة البسيطة السابقة فسينتج لدينا ٤ عناصر أخرى: ثلاثة لتحديد فروق الميل بين المحاور الثلاثة في كل مرجع وتسمى عناصر الدوران Rotation Parameters ، بالإضافة لعنصر يحدد فرق الحجم بين كلا المرجعين ويسمي معامل القياس scale factor (شكل ٢-٢٤).



شكل ٢-٢٤
التحويل بين أي مرجعين

وكما نري في هذا الشكل سنجد أن العناصر الجديدة المطلوبة هي:

- زاوية الدوران (أو الفرق) بين محوري X في كلا المرجعين ، ونرمز لها Rx
- زاوية الدوران (أو الفرق) بين محوري Y في كلا المرجعين ، ونرمز لها Ry
- زاوية الدوران (أو الفرق) بين محوري Z في كلا المرجعين ، ونرمز لها Rz
- بالإضافة للعنصر الرابع scale factor الذي يحدد فرق معامل القياس بين كلا المرجعين ونرمز له عادة بالرمز s.

أي أننا لتحديد العلاقة الفراغية (المكانية) بين أي مرجعين في الحالة العامة يلزمنا تحديد ٧ عناصر (ΔX, ΔY, ΔZ, Rx, Ry, Rz, s) وهي ما نطلق عليها اسم عناصر التحويل Transformation Parameters بين المراجع الجيوديسية. وفي هذه الحالة لا يمكننا الاعتماد علي توافر نقطة واحدة فقط معلومة (كما في الحالة البسيطة السابقة) لكن يلزمنا وجود ٣ نقاط – علي الأقل – معلوم إحداثياتهم في كلا المرجعين. فإذا كان لدينا معلومات لأكثر من ٣ نقاط زادت دقة الحل المطلوب لتحديد عناصر التحويل السبعة ، كما أن دقة تحديد العناصر تعتمد علي دقة إحداثيات النقاط المعلومة في كلا المرجعين. وهذين السببين وراء وجود أكثر من مجموعة منشورة و معلنة من عناصر التحويل بين مرجعين محددتين ، فمعادلات التحويل ثابتة لكن عدد و جودة البيانات المستخدمة في الحساب ستؤدي لقيم متفاوتة لعناصر التحويل بين نفس المرجعين.

توجد عدة نماذج من المعادلات التي تسمح بالتحويل بين المراجع المختلفة و من أشهر هذه النماذج نموذج بورسا-وولف Bursa-Wolf ونموذج مولودينسكس-بادكس Molodenskii-Badekas. وتتمثل معادلات نموذج بورسا-وولف في:

$$\begin{vmatrix} X1 \\ Y1 \\ Z1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{vmatrix} + s \begin{vmatrix} 1 & Rz & -Ry \\ -Rz & 1 & Rx \\ Ry & -Rx & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X2 \\ Y2 \\ Z2 \end{vmatrix} \quad (2-8)$$

حيث X1,Y1,Z1 تمثل إحداثيات النقطة في المرجع الأول ، X2,Y2,Z2 تمثل إحداثيات النقطة في المرجع الثاني ، ΔX, ΔY, ΔZ تمثل عناصر الانتقال بين المرجعين ، Rx, Ry, Rz تمثل زوايا الدوران أو عناصر الدوران بين المرجعين ، ويمثل s معامل القياس بينهما.

كما يمكن أن تتم عملية تحويل المراجع باستخدام الإحداثيات الجغرافية ، والمعادلات التالية تقدم طريقة التحويل من أي مرجع محلي إلي مرجع WGS84 العالمي المستخدم في أرصاد تقنية الجي بي أس³¹:

$$\begin{aligned} \phi_{84} &= \phi_L + \Delta\phi \\ \lambda_{84} &= \lambda_L + \Delta\lambda \end{aligned} \quad (2-9)$$

³¹ 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.

$$h_{84} = h_L + \Delta h$$

حيث h_{84} , λ_{84} , ϕ_{84} تمثل الإحداثيات علي مجسم WGS84 ، h_L , λ_L , ϕ_L تمثل الإحداثيات علي المجسم المحلي.

$$\Delta\phi'' = \{ -\Delta X \sin \phi \cos \lambda - \Delta Y \sin \phi \sin \lambda + \Delta Z \cos \phi + \Delta a (R_N e^2 \sin \phi \cos \lambda) / a + \Delta f [R_M (a/b) + R_N (b/a)] \sin \phi \cos \lambda \} / ([R_M + h] \sin 1'') \quad (2-10)$$

$$\Delta\lambda'' = [-\Delta X \sin \lambda + \Delta Y \cos \lambda] / [(R_N + h) \cos \phi \sin 1''] \quad (2-11)$$

$$\Delta h = \Delta X \cos \phi \cos \lambda + \Delta Y \cos \phi \sin \lambda + \Delta Z \sin \phi - \Delta a (a/R_N) + \Delta f (b/a) R_N \sin^2 \phi \quad (2-12)$$

حيث:

a , b هما قيم نصف المحور الأكبر و نصف المحور الأصغر للمرجع المحلي ، f تفلطح المرجع المحلي ،

Δa , Δf هما الفرق بين نصف المحور الأكبر و التفلطح لمرجع WGS84 ناقص القيم المماثلة للمرجع المحلي ،

$$b/a = 1 - f \quad (2-13)$$

$$e^2 = 2f - f^2 \quad (2-14)$$

$$R_N = a / (1 - e^2 \sin^2 \phi)^{1/2} \quad (2-15)$$

$$R_M = a(1 - e^2) / (1 - e^2 \sin^2 \phi)^{3/2} \quad (2-16)$$

توجد العديد من قيم عناصر التحويل المعلنة أو المنشورة وخاصة مع انتشار تطبيقات تقنية الجي بي أس التي تعتمد إحداثياتها علي المجسم العالمي WGS84. يقدم جدول (٢-٢) قيم عناصر التحويل من بعض المراجع الوطنية في الدول العربية إلي مرجع WGS84³²:

³² 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.

جدول ٢-٢
عناصر التحويل بين المرجع الجيوديسي العالمي WGS84 والمراجع الجيوديسية المحلية

عناصر التحويل (بالمتر)			عدد النقاط المستخدمة	الإليبيسويد	المرجع الوطني	الدولة
D Z	D Y	D X				
٢٠٤ (٣)	١٥- (٥)	١٦٦- (٥)	٢٢	Clark 1880	Adindan	السودان
٤٣١ (٨)	٦ (٩)	٢٦٣- (٦)	٥	Clark 1880	Carthage	تونس
١٤٥- (٢٥)	٧٧- (٢٥)	١١٢- (٢٥)	٤	International 1924	European 1950	
٤٧ (٣)	١٤٦ (٣)	٣١ (٥)	٩	Clark 1880	Merchich	المغرب
٣١٠ (٢٥)	٩٣- (٢٥)	١٨٦- (٢٥)	٣	Clark 1880	North Sahara 1959	الجزائر
٢١٩ (٢٥)	٢٠٦- (٢٥)	١٢٣- (٢٥)	٢	Clark 1880	Voirol 1960	
١٣- (٨)	١١٠ (٦)	١٣٠- (٣)	١٤	Helmert 1906	Old Egyptian 1906	مصر
١- (٢٥)	٢٥٠- (٢٥)	١٥٠- (٢٥)	٢	International 1924	Ain El Abd 1970	البحرين
٧ (١٠)	٢٣٦- (١٠)	١٤٣- (١٠)	٩	International 1924	Ain El Abd 1970	السعودية
٣٨١ (٢٥)	١٥٦- (٢٥)	٢٤٩- (٢٥)	٢	Clark 1880	Nahrwan	الإمارات
٣٦٩ (٢٥)	١٤٨- (٢٥)	٢٤٧- (٢٥)	٢	Clark 1880	Nahrwan	عمان
٢٢٤ (٩)	١- (٣)	٣٤٦- (٣)	٧	Clark 1880	Oman	
٢٢ (٢٠)	٢٨٣- (٢٠)	١٢٨- (٢٠)	٣	International 1924	Qatar National	قطر

١٤١-	١٠٦-	١٠٣-	؟	International 1924	European 1950	العراق والكويت و الأردن و لبنان و سوريا
٢٢٧	٢٤٧-	٧٣-	؟	Clark 1880	Voirol 1874	تونس و الجزائر

لكن يجب مراعاة الملاحظات التالية على قيم هذا الجدول:

١. قيم العناصر المذكورة هي للتحويل من المرجع المحلي إلي مرجع WGS84 وللتحويل من WGS84 إلي المرجع المحلي يجب عكس جميع الإشارات الجبرية (موجب بدلا من سالب و العكس).
٢. القيم المذكورة لثلاثة عناصر فقط (وليس سبعة) وبالتالي فهي أقل دقة.
٣. الجدول يوضح أيضا عدد نقاط الثوابت المساحية التي تم استخدامها في حساب هذه العناصر لكل مرجع محلي.
٤. العدد المذكور بين القوسين هو مؤشر للدقة المتوقعة لقيمة كل عنصر من عناصر التحويل.
٥. القيم في آخر سطرين من الجدول تم حسابها بطرق أخرى بخلاف رصد نقاط ثوابت مساحية وبالتالي فإن قيم الدقة المتوقعة غير متاحة.

منذ سنوات عديدة يقوم الباحثون الجيوديسيون في كل دولة بحساب قيم عناصر التحويل كلما توفرت لديهم بيانات نقاط جيوديسية معلوم إحداثياتها في كلا المرجعين (المحلي و WGS84). وتختلف دقة عناصر التحويل من دراسة لآخرى طبقا لعدد النقاط المعلومة و توزيعها ودقة إحداثياتها المستخدمة في حساب عناصر التحويل ، وذلك بهدف الوصول لأدق قيم لهذه العناصر مما يسهل عملية تحويل إحداثيات الجي بي أس إلي المراجع الوطنية المستخدمة في إنتاج الخرائط لكل دولة. علي سبيل المثال توجد العديد من قيم عناصر التحويل المنشورة في جمهورية مصر العربية منهم العناصر التالية³³ للتحويل من WGS84 إلي هلمرت ١٩٠٦:

$$\begin{aligned} \Delta X &= 123.842 \pm 0.96 \text{ m} \\ \Delta Y &= -114.878 \pm 0.96 \text{ m} \\ \Delta Z &= 9.590 \pm 0.96 \text{ m} \\ R_x &= -1.35314 \pm 0.17 \text{ ''} \\ R_y &= -1.67408 \pm 0.35 \text{ ''} \\ R_z &= 5.24269 \pm 0.30 \text{ ''} \\ s &= -5.466 \pm 0.78 \text{ ppm (part per million)} \end{aligned}$$

³³ Dawod, G., and Alnaggar, D., 2000, Optimum geodetic datum transformation techniques for GPS surveys in Egypt, Proceedings of Al-Azhar Engineering Sixth International Engineering Conference, Al-Azhar University, September 1-4, Volume 4, pp. 709-718.

كما توجد قيم أخرى نشرت حديثا (للتحويل من هلمرت ١٩٠٦ إلى WGS84) وتتكون من^{٣٤}:

$$\begin{aligned}\Delta X &= -88.832 \pm 0.02 \text{ m} \\ \Delta Y &= 186.714 \pm 0.03 \text{ m} \\ \Delta Z &= 151.82 \pm 0.01 \text{ m} \\ R_x &= -1.305 \pm 2.21 \text{ " } \\ R_y &= 11.216 \pm 1.57 \text{ " } \\ R_z &= -6.413 \pm 1.84 \text{ " } \\ s &= -6.413 \pm 1.84 \text{ ppm (part per million)}\end{aligned}$$

أيضا توجد قيم منشورة لعناصر التحويل في السودان (للتحويل من اليبسويد Adindan إلى WGS84) باستخدام نموذج مولودينسكي وتتكون من^{٣٥}:

$$\begin{aligned}\Delta X &= -146.0 \pm 0.89 \text{ m} \\ \Delta Y &= -33.5 \pm 0.89 \text{ m} \\ \Delta Z &= 205,3 \pm 89 \text{ m} \\ R_x &= -1.64 \pm 1.87 \text{ " } \\ R_y &= 2.18 \pm 1.87 \text{ " } \\ R_z &= -14.8 \pm 2.6 \text{ " } \\ s &= -1.34 \pm 1.35 \text{ ppm (part per million)}\end{aligned}$$

٢-٨-٤-٢ الطرق غير التقليدية للتحويل بين المراجع:

عابت الطرق التقليدية للتحويل بين المراجع الجيوديسية عدة نقاط تقلل من دقة عناصر التحويل التي يتم حسابها باستخدام هذه الطرق. أهم هذه العيوب أن نظريات تطوير هذه النماذج الرياضية تعتمد على فرضية أن إحداثيات النقاط المعلومة في كلا المرجعين – المطلوب التحويل بينهما – هي إحداثيات دقيقة تماما و خاليا من أي مصدر من مصادر الأخطاء Error-Free. لكن هذا الوضع غير صحيح تماما ، فمن المعروف أن معظم الشبكات الجيوديسية المحلية بها عيوب عديدة من وجهة النظر التقنية نظرا لان معظم هذه الشبكات قد تم إقامتها في النصف الأول من القرن العشرين أو قبل ذلك حيث لم تكن الأجهزة المساحية بلغت مرحلة عالية

³⁴ Shaker, A., Saad, A., El-Sayed, M., and Ali, A., 2007, Remove-restore technique for improving the datum transformation process, Proceedings of the FIG working week conference, Honk Kong, China, May 13-17. Available from: http://www.fig.net/pub/fig2007/papers/ts_3b/ts03b_03_saad_etal_1218.pdf

³⁵ Ahamed, A. and Abdalla, K., 2006, Transformation of the Transit (Doppler) and GPS stations to Adindan datum, Sudan Engineering Society' Journal, V. 52, No. 47, September, pp. 15-23. Available at: http://www.ses-sudan.org/english/SESpublishations/ses_jour/47/1523GozouliSESforma t2.pdf

من الدقة قبل بدء ثورة الملاحة بالأقمار الصناعية. كما أن عدم وجود حاسبات آلية متطورة في ذلك الوقت أدي لإتمام العمليات الحسابية و ضبط الشبكات بطريقة غير دقيقة بنسبة كبيرة. ذلك بالإضافة إلي أن دقة الشبكات الجيوديسية في أي مرجع وطني تختلف من منطقة جغرافية لأخري (حيث لم يمكن تغطية دولة كاملة بشبكات جيوديسية إلا مع مرور بضعة سنوات) وهذا أيضا يعد العامل الثالث الذي لا تأخذ الطرق التقليدية في الاعتبار. وإذا أخذنا مصر كمثال فس نجد أن دقة الإحداثيات الجيوديسية لشبكات المثلاث الوطنية ذات الدرجة الأولى كانت أكبر من ٠.٥ متر ، وهذه دقة متواضعة عند مقارنتها بدقة الإحداثيات الناتجة الآن من استخدام تقنية الجي بي أس والتي قد تصل إلي سنتيمترات وأحيانا ملليمترات. وبالتالي فإن استخدام الطرق التقليدية لحساب عناصر التحويل بين مرجع WGS84 – علي سبيل المثال - وأي مرجع محلي سيؤدي للحصول علي دقة ديسيمترات عند حساب عناصر التحويل بين هذين المرجعين. ومن هنا بدأ منذ سنوات البحث عن طرق جديدة غير تقليدية لتحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية ، أو البحث عن وسائل جديدة تتيح زيادة دقة النماذج الرياضية التقليدية. وهناك العشرات من الطرق والوسائل التي تم تطويرها في هذا المجال و سنستعرض هنا البعض منهم.

أولي هذه الطرق غير التقليدية هو تمثيل الفروق بين الإحداثيات علي المرجعين فراغيا spatial representation في صورة نموذج رياضي يغطي منطقة جغرافية معينة. وأهم ما يميز هذا الأسلوب أنه يستخدم الإحداثيات علي كلا المرجعين (للقاط المشتركة) كما هي وبالتالي فإن قيمة الفروق ستتغير من مكان جغرافي لآخر داخل المنطقة المطلوبة ولن تكون العلاقة الرياضية بين كلا المرجعين علاقة ثابتة علي امتداد هذه المنطقة كما كان الحال في الطرق التقليدية. وطبقت وزارة الدفاع الأمريكية هذا المبدأ في استنباط ما يسمى سطوح التحويل conversion surfaces بين مرجع WGS84 والمراجع الجيوديسية الوطنية لمعظم دول العالم^{٣٦}. وتختلف طرق تمثيل الفروق باختلاف النماذج الرياضية المستخدمة ، وتعد طريقة ذات الحدود polynomial أكثر النماذج تطبيقا ، مع اختلاف عدد المعاملات في المتواليات الرياضية والتي تعتمد علي كم النقاط المشتركة المتاحة وذلك بتطبيق مبدأ الانحدار المتعدد Multiple Regression^{٣٧}. تم تطبيق هذا الأسلوب في مصر لاستنباط معادلات رياضية وسطح تحويل بين مرجعي WGS84 و هلمرت ١٩٠٦ وكانت النتائج كالتالي (شكل ٢-٢٥ و ٢-٢٦)^{٣٨}:

$$\Delta\phi'' = - 320.474 + 30.6751 \phi_{84} + 3.0402 \lambda_{84} - 1.7380 \phi_{84}^2 + 0.0436 \phi_{84}^3 - 0.0004 \phi_{84}^4 - 0.1056 \lambda_{84}^2 + 0.0012 \lambda_{84}^3 \quad (2-17)$$

³⁶ 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.

³⁷ Shaker, A., Saad, A. , Al-sagheer, A., and Abd alhay, A. , 2003, Comparative study for different transformation models applied on geodetic coordinate systems, Civil Engineering Research Magazine (CERM), V. 25, No. 3, pp.1562-1590.

³⁸ Dawod, G., and Alnaggar, D., 2000, Optimum geodetic datum transformation techniques for GPS surveys in Egypt, Proceedings of Al-Azhar Engineering Sixth International Engineering Conference, Al-Azhar University, September 1-4, Volume 4, pp. 709-718.

$$\Delta\lambda'' = 4357.7294 - 734.6377 \lambda_{84} + 49.4639 \lambda_{84}^2 - 0.1705 \phi_{84} - 1.6600 \lambda_{84}^3 + 0.0278 \lambda_{84}^4 + 0.0037 \phi_{84}^2 - 0.0002 \lambda_{84}^5 \quad (2-18)$$

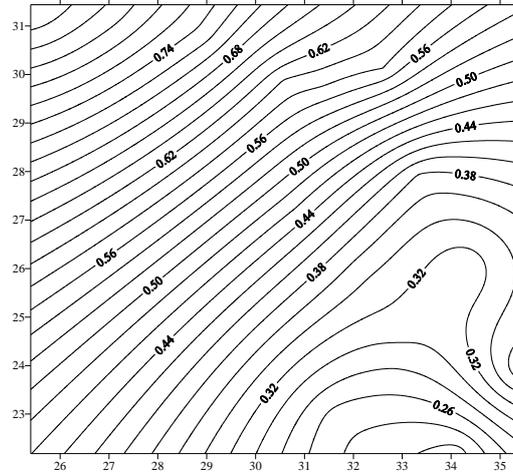
حيث $\Delta\lambda$ و $\Delta\phi$ هما الفرق بالثواني في دوائر العرض و خطوط الطول - بالترتيب - بين المرجعين ، و λ_{84} , ϕ_{84} هما الإحداثيات الجغرافية علي مجسم WGS84.

ومن ثم يمكن تحويل الإحداثيات الجغرافية إلي المرجع المحلي المصري هلمرت ١٩٠٦ من خلال:

$$\phi_{OED} = \phi_{84} + \Delta\phi \quad (2-19)$$

$$\lambda_{OED} = \lambda_{84} + \Delta\lambda \quad (2-20)$$

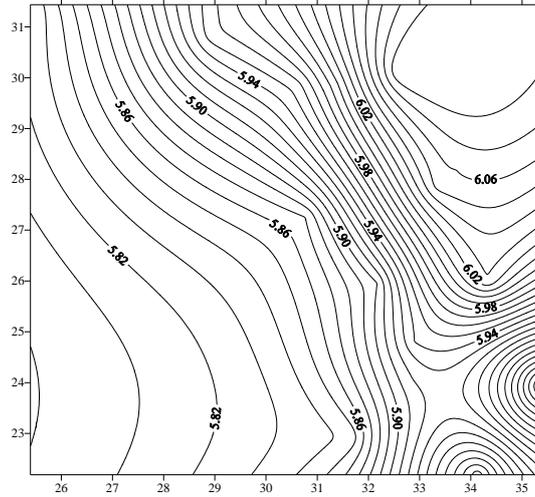
حيث ϕ_{OED} , λ_{OED} هما الإحداثيات الجغرافية علي مجسم هلمرت ١٩٠٦. هذا وقد أثبتت نتائج اختبار هذا الأسلوب علي نقاط تحكم check points جيوديسية في مصر أن دقة الأسلوب الجديد (عند حساب الإحداثيات الوطنية المحلية) تقدر بحوالي ٠.٥ متر مقارنة بدقة حوالي ٣.٠ متر للطريقة التقليدية. كما تم تقديم مقترح باستخدام هذا الأسلوب غير التقليدي و تطبيقه في سوريا^{٣٩}.



شكل ٢-٢٥

سطح تحويل دوائر العرض بين WGS84 و هلمرت ١٩٠٦ في مصر

39 Habib, M. and Abu Rabah, R., 2006, An alternative approach for making maps compatible with GPS, Damascus University Journal, Vol. 22, No. 1, pp. 13-29.



شكل ٢-٢٦

سطح تحويل خطوط الطول بين WGS84 و هلمرت ١٩٠٦ في مصر

طريقة أخرى من الطرق غير التقليدية في التحويل بين المراجع تعتمد علي استخدام أوزان مختلفة **Different Weights** لإحداثيات النقاط المشتركة المستخدمة في تقدير عناصر التحويل بين المرجعين^{٤٠}. المبدأ الأساسي وراء هذا الأسلوب هو أن دقة إحداثيات النقاط المشتركة ستختلف من نقطة لأخرى وبالتالي يجب تحديد وزن محدد يتناسب مع دقة كل نقطة وذلك أثناء تطبيق أي نموذج من النماذج التقليدية (مثل نموذج بورسا - وولف) ، أي أن هذا الأسلوب هو تعديل للطريقة التقليدية بهدف زيادة جودتها في وصف العلاقة الرياضية بين مرجعين جيوديسيين. كما تم أيضا تطبيق طريقة العنصر المحدد **Finite Element**^{٤١} كأحد الطرق غير التقليدية في التحويل بين المراجع الجيوديسية.

٢-٤-٨-٣ التحويل بين المراجع ثلاثية و رباعية الأبعاد:

في معظم التطبيقات المساحية و الخرائطية باستخدام تقنية الجي بي أس فإننا نحصل علي إحداثيات ثلاثية الأبعاد 3D علي الإليبيسويد العالمي WGS84 الذي يمثل شكل و حجم الأرض. لكن في التطبيقات الجيوديسية عالية الدقة (مثل مراقبة تحركات القشرة الأرضية و مراقبة هبوط المنشآت الضخمة) لا نكتفي بالتعامل مع الإحداثيات ثلاثية الأبعاد كقيم ثابتة لكن نحتاج لإطار مرجعي رباعي الأبعاد (متغير مع الزمن) لتناسب له هذه الإحداثيات. وأفضل مرجع رباعي الأبعاد هو الإطار المرجعي الأرضي العالمي ITRF كما تناولنا سابقا في ٢-٤-٤. وتجدر الإشارة لوجود عدة تعريفات للإليبيسويد WGS84 إلا أن آخر تعديل له هو المسمى

⁴⁰ Shaker, A., Saad, A., El-Sayed, M., and Ali, A., 2007, Remove-restore technique for improving the datum transformation process, Proceedings of the FIG working week conference, Honk Kong, China, May 13-17. Available from: http://www.fig.net/pub/fig2007/papers/ts_3b/ts03b_03_saad_etal_1218.pdf

⁴¹ Kohli, A. and Jennim L., 2008, Transformation of cadastral data between geodetic reference frames using finite element method, Proceedings of the FIG working week conference, Stockholm, Sweden, June 14-19.

G730 هو المستخدم في استنباط إحداثيات الجي بي أس ، وهذا التعديل متوافق مع إطار ITRF92 في حدود ١٠ سم^{٤٢}. أما لتحويل الإحداثيات من اليبسويد WGS84(G730) إلي ITRF بتعريفاته الأحدث نستخدم المعادلات التالية^{٤٣}:

$$\begin{vmatrix} XS \\ YS \\ ZS \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} D & -R3 & R2 \\ R3 & D & -R1 \\ -R2 & R1 & D \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} \quad (2-21)$$

حيث X, Y, Z تمثل الإحداثيات علي إطار ITRF2000 و XS, YS, ZS تمثل الإحداثيات علي WGS84.

ولحساب قيمة أي عنصر P عند الزمن t فأنا نستخدم المعادلة:

$$P(t) = P(\text{EPOCH}) + P' (t - \text{EPOCH}) \quad (2-22)$$

حيث EPOCH هي سنة تعريف إطار ITRF المطلوب ، P' تمثل معدل تغير هذا العنصر.

أولاً: التحويل من ITRF2000 إلى ITRF92:

T1 = 1.47 cm, rate = 0.00 cm/year
T2 = 1.35 cm, rate = - 0.06 cm/year
T3 = -1.39 cm, rate = - 0.14 cm/year
D = 0.75 ppb, rate = 0.01 ppb/year (ppb = part per billion)
R1 = 0.00 " , rate = 0.00 "/year
R2 = 0.00 " , rate = 0.00 "/year
R3 = - 0.0018 " , rate = 0.0002 "/year
EPOCH = 1988.0

ثانياً: التحويل من ITRF2005 إلى ITRF2000:

T1 = 0.1 mm, rate = -0.2 mm/year
T2 = -0.8 mm, rate = 0.1 mm/year
T3 = -5.8 mm, rate = - 1.8 mm/year
D = 0.4 ppb, rate = 0.08 ppb/year (ppb = part per billion)
R1 = 0.000 " , rate = 0.000 "/year

⁴² 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.

⁴³ International Terrestrial Reference Frame (ITRF) website at: <http://itrf.ensg.ign.fr/>

R2 = 0.000 " , rate = 0.000 "/year
 R3 = 0.000 " , rate = 0.000 "/year
 EPOCH = 2000.0

كما توجد قيم منشورة لعناصر التحويل بين كل تعريفات ITRF في السنوات الأخيرة⁴⁴.

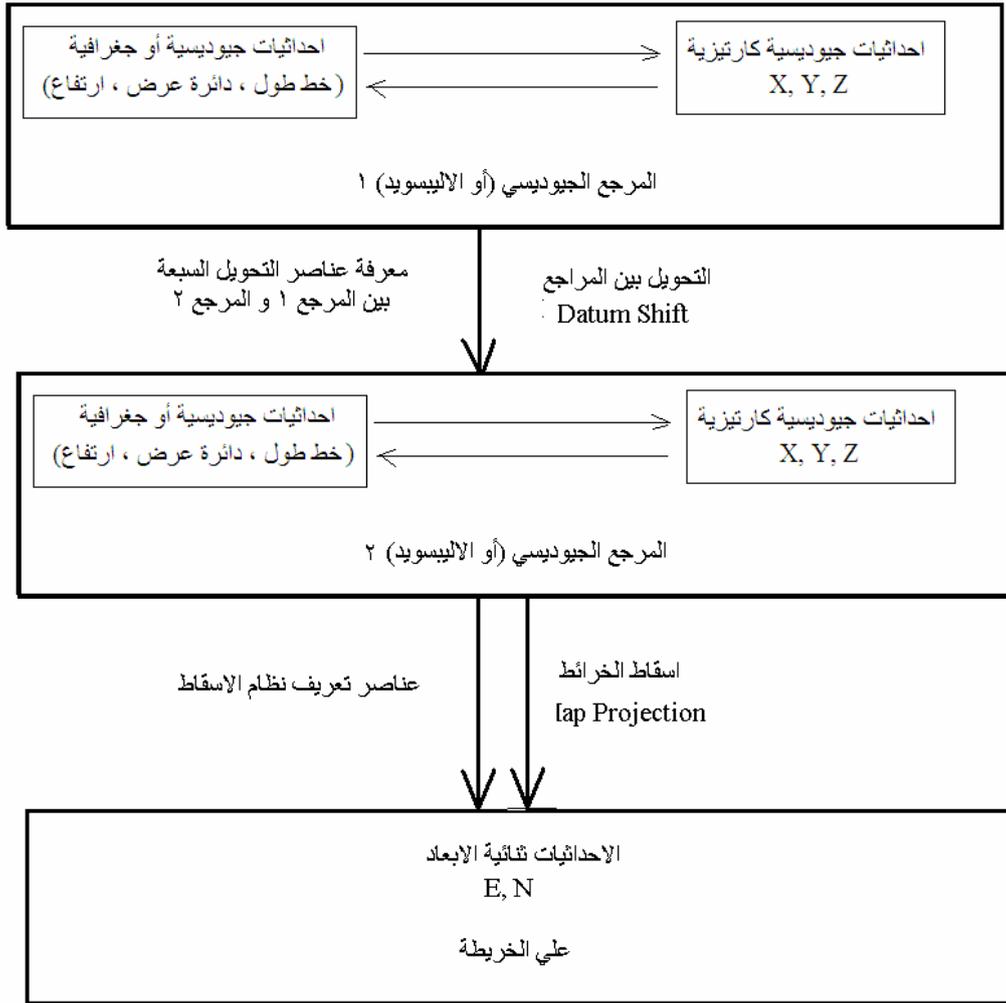
٢-٤-٩ العلاقة بين تحويل المراجع و إسقاط الخرائط:

قد يساور البعض لبسا كبيرا في خطوات تحويل الإحداثيات التي تقيسها علي الطبيعة إلي تلك الموقعة علي الخريطة ، وعلي الجانب الآخر فقد يظن البعض أن أجهزة تقنيات تحديد المواقع (مثل الجي بي أس) ليس بها أي خطأ وأن ما تنتجه من إحداثيات دقيق تماما ! ومن هنا سنحاول أن نلخص – في خطوات مختصرة – ما قمنا بعرضه من أفكار في هذا الفصل (شكل ٢-٢٧).

- تتيح لنا تقنيات جيوديسيا الأقمار الصناعية تحديد المواقع علي سطح الأرض ، لكن بالاعتماد علي نموذج رياضي معين يمثل الأرض شكلا و حجما وهو الذي نطلق عليه اسم الاليسويد.
- كل نوع من الإحداثيات المرصودة يكون منسوب لاليسويد محدد ، فمثلا إحداثيات تقنية الجي بي أس تكون منسوبة للمجسم العالمي أو الاليسويد WGS84.
- سواء كانت الإحداثيات من النوع الجغرافي أو الجيوديسي (خط الطول ϕ ودائرة العرض λ و الارتفاع الجيوديسي h) أو الإحداثيات الكارتيزية (X, Y, Z) فيمكن تحويل أي نوع للأخر (المعادلات ٢-٢ و ٢-٥) لكننا مازلنا علي نفس الاليسويد.
- لكل دولة الاليسويد معتمد قد تم تعديله ليناسبها (أصبح أسمه مرجع وليس الاليسويد) يختلف من دولة لأخرى ، وهو المرجع الذي تستخدمه الدولة في إنتاج خرائطها.
- لا يمكن توقيع الإحداثيات المنسوبة لاليسويد عالمي (مثل إحداثيات الجي بي أس المنسوبة إلي WGS84) مباشرة علي خرائط أي دولة وإلا فأننا نتوقع خطأ في التوقيع قد يصل إلي مئات الأمتار.
- يتم تحويل الإحداثيات من الاليسويد عالمي (مثل WGS84) إلي أي مرجع وطني أو محلي لدولة معينة من خلال معرفة عناصر التحويل السبعة ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, Rx, Ry, Rz, s$) التي تصف العلاقة الرياضية بين كلا المرجعين ، باستخدام المعادلة ٢-٨ مثلا.
- تختلف دقة حساب الإحداثيات علي المرجع المحلي باختلاف دقة عناصر التحويل المستخدمة ، وللأعمال المساحية البسيطة يمكن استخدام قيم عناصر التحويل الموجودة في جدول ٢-٢ ، إلا أنه يجب ملاحظة أنها قيم غير دقيقة تماما و لا تناسب المشروعات الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية حيث يجب البحث عن عناصر تحويل أكثر دقة.
- أما لتوقيع الإحداثيات الجيوديسية ثلاثية الأبعاد إلي إحداثيات ثنائية الأبعاد (الإحداثيات علي الخريطة) فسنستخدم أحدي طرق إسقاط الخرائط ، حيث يجب معرفة معاملات الإسقاط (مثلا ٥ معاملات لإسقاط ميريكاتور المستعرض: الاحداثي الشرقي الزائف ، الاحداثي الشمالي الزائف ، خط الطول المركزي ، دائرة العرض القياسية ، معامل

⁴⁴ 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.

- القياس) لكل طريقة. وحيث أن المرجع الجيوديسي و نظام إسقاط الخرائط يختلف من دولة لأخرى فإن معاملات الإسقاط أيضا ستختلف من خرائط دولة لأخرى.
- أي أننا في النهاية وللوصول إلي الإحداثيات علي الخريطة نحتاج لمعرفة ١٢ عنصر (وأحيانا أكثر أو أقل): ٧ عناصر تحويل الإحداثيات بين المراجع ، ٥ عناصر (أو أكثر) لتعريف نظام الإسقاط.
 - أخيرا يجب ملاحظة أن الارتفاع المقاس بتقنية الجي بي أس يكون منسوبا لسطح الاليسويد العالمي WGS84 بينما الارتفاع المستخدم في الخرائط المساحية يكون منسوبا لمستوي متوسط سطح البحر MSL والفرق بينهما يسمى جيود الجيويد ، أي أنه يجب وجود نموذج جيويد Geoid Model لكي نحول ارتفاعات الجي بي أس إلي مناسب تستخدم في الخرائط الطبوغرافية و التفصيلية وكافة المشروعات الهندسية المدنية (سنتحدث عن الجيويد لاحقا).



شكل ٢-٢٧
خطوات تحويل و إسقاط الإحداثيات

الفصل الثالث

تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع: الجي بي أس

١-٣ مقدمة:

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 ترنزيت Transit في عام ١٩٦٤ ، إلا أنه سرعان ما لم يلبي حاجات القطاعين العسكري و المدني وخاصة في عنصري الدقة و الاتاحية وبدأ التفكير إما في تطوير هذا النظام أو البحث عن بديل جديد له^١. 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 لاكمال 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^٢. ويدر الجي بي أس من خلال وزارة الدفاع الأمريكية وهي الجهة المسؤولة 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 أس 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>).

¹ Kaplan, E. and Hegarty, C., 2006, Understanding GPS: Principles and applications, Second Edition, Artech House, Inc., Boston, USA.

² US Army Corps of Engineering, 2003, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.

تشتمل تقنية الجي بي أس علي العديد من المميزات التي ساعدت علي انتشارها بصورة لم يسبق لها مثيل ومنها³:

- متاح طوال ٢٤ ساعة يوميا ليلا و نهارا و علي مدار العام كله.
- يغطي جميع أنحاء الأرض.
- لا يتأثر بأية ظروف مناخية مثل درجات الحرارة و المطر و الرطوبة و الرعد و الرق و العواصف.
- الدقة العالية في تحديد المواقع لدرجة تصل إلي ملليمترات في بعض التطبيقات و طرق الرصد الجيوديسية أو دقة أمتار قليلة (٠.٢ متر في المتوسط^٤) 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^٥ (شكل ٣-١): الملاحة البرية و تحديد مواقع المركبات المتحركة في الشوارع بغرض زيادة كفاءة النقل البري ، الملاحة الفضائية و تحديد مواقع المركبات الفضائية الخارجية ، الملاحة الجوية و تحديد مواقع الطائرات أثناء الهبوط و الإقلاع و طوال مسار الرحلات الجوية ، الزراعة و رسم خرائط التربة و إرشاد الجرارات الزراعية أثناء عملها ، الملاحة البحرية و تحديد مواقع السفن طوال مسار الرحلة ، السكك الحديدية و التحديد الدقيق لمواقع القطارات بهدف تحسين مستوي السلامة و الأمان و كفاءة التشغيل ، التطبيقات البيئية مثل تحديد مواقع محطات قياس المد و الجزر و ربط 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 و خاصة في استخدامات فرق البحث و الإنقاذ للمناطق التي تعرضت لمثل هذه الكوارث و أيضا 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 و أيضا لشركات توزيع الكهرباء ، بالإضافة لمجال الهندسة المساحية و إنشاء الخرائط.

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

- إنشاء الشبكات الجيوديسية للثوابت الأرضية الدقيقة و تكثيف الشبكات القديمة منها (عن طريق إضافة محطات جديدة لها).
- رصد تحركات القشرة الأرضية.

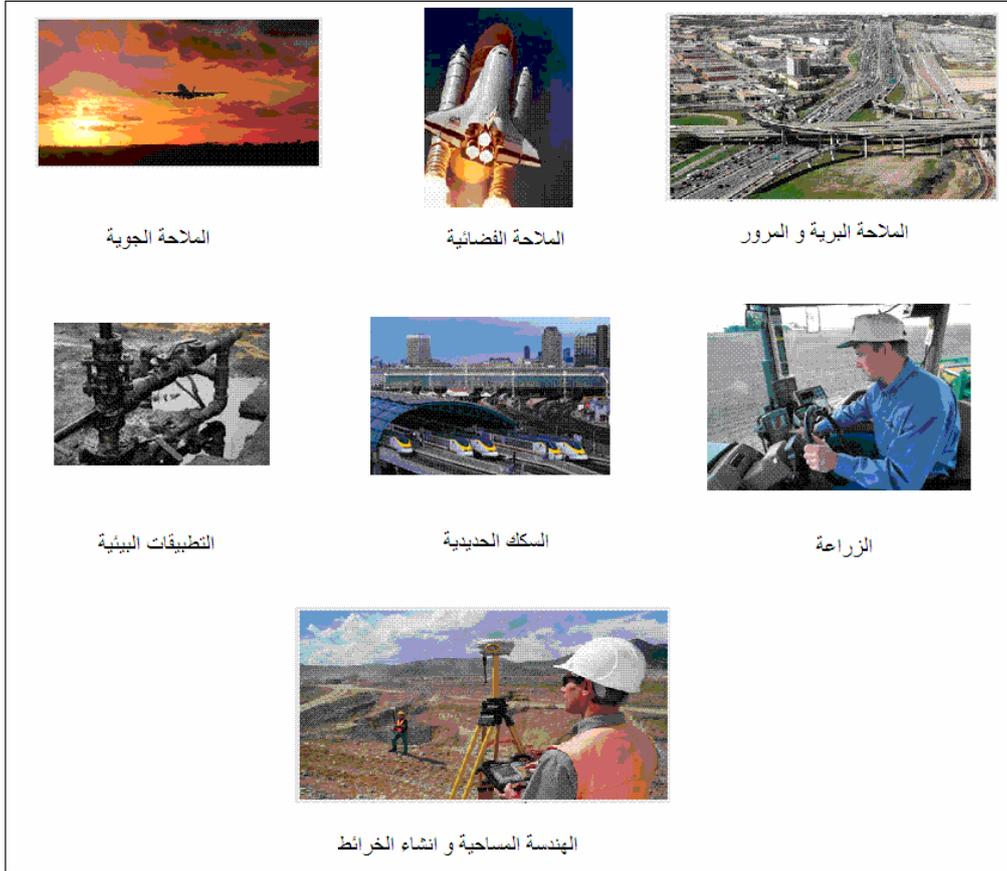
³ صالح ، حسين عزيز ، ٢٠٠٨ ، نظام التعيين الاحداثي العالمي: الجي بي أس ، متاح في: <http://iridia.ulb.ac.be/~hsaleh/>

⁴ Dawod, G., 2007, New strategies in the utilization of GPS technology for mapping and GIS activities in Egypt, Civil Engineering Research Magazine (CERM), V. 29, No. 1 (Jan.), pp. 292-310.

⁵ مكتب الجي بي أس الرسمي الأمريكي ، ٢٠٠٨ ، نظام التموضع العالمي ، متاح في: <http://www.gps.gov/systems/gps/arabic.html>

- رصد إزاحة أو هبوط المنشآت الحيوية كالكباري و الجسور و السدود و القناطر.
- أعمال الرفع المساحي التفصيلي و الطوبوغرافي.
- إنتاج خرائط طبوغرافية و تفصيلية دقيقة و في صورة رقمية.
- تحديد المواقع لعلامات الضبط الأرضي للصور الجوية Aerial Photogrammetry و المرئيات الفضائية لنظم الاستشعار عن بعد Remote Sensing.
- تطبيقات المساحة التصويرية الأرضية Close-Range Photogrammetry.
- تطوير نماذج الجيود الوطنية بالتكامل مع أسلوب الميزانية الأرضية.
- تجميع البيانات المكانية عند استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems أو GIS ، وخاصة لتطبيقات تحديد مواقع الخدمات المدنية Location-Based Services و تطبيقات النقل الذكي Intelligent Transportation و أيضا تطبيقات نظم معلومات الأراضي Land Information Systems أو LIS⁶.
- 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.

⁶ Taylor, G., and Blewitt, G., 2006, Intelligent positioning: GIS-GPS unification, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, England.

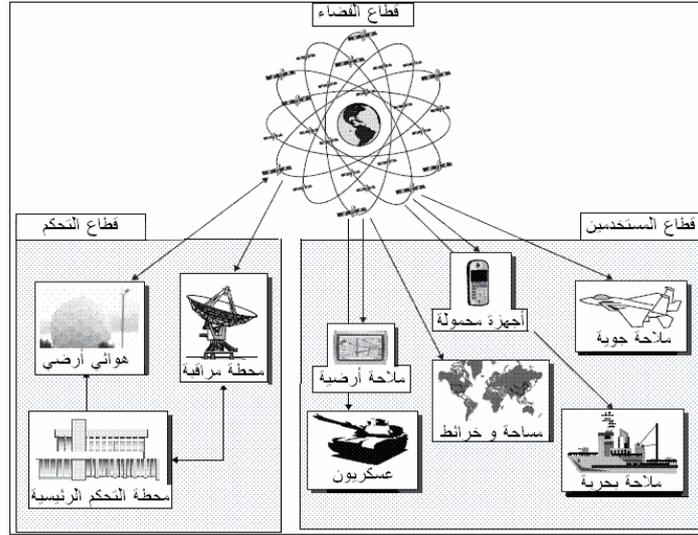


شكل ٣-١
بعض مجالات تطبيقات الجي بي أس

٢-٣ مكونات نظام الجي بي أس:

يتكون نظام الجي بي أس من ثلاثة أجزاء أو أقسام (شكل ٢-٣) هي:

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



شكل ٢-٣
أقسام الجي بي أس

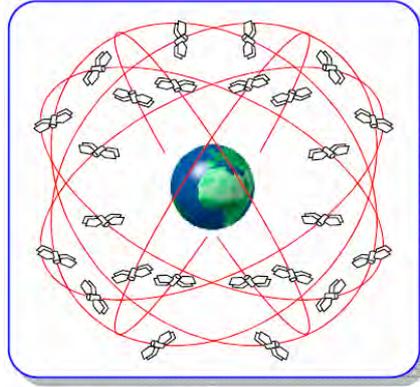
وسنتعرض الملامح الرئيسية لكل قسم من هذه الأقسام الثلاثة.

١-٢-٣ قسم الفضاء أو الأقمار الصناعية:

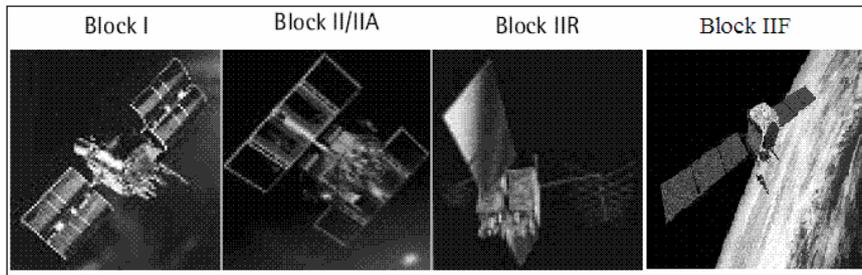
يتكون قسم الفضاء - اسما - من ٢٤ قمرا صناعيا (٢١ قمر عامل + ٣ أقمار احتياطية spare موزعة في الفضاء) موزعة في ٦ مدارات بحيث يكون هناك ٤ أقمار صناعية في كل مدار مما يسمح بالتغطية الدائمة (أي وجود علي الأقل ٤ أقمار صناعية) لكل موقع علي سطح الأرض في أي لحظة طوال اليوم (شكل ٣-٣). وقد يصل عدد الأقمار الصناعية 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 ونصف، 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 ترددتين مختلفين Frequency يسموا L1 و L2 بالإضافة لشفرتين Codes و رسالة ملاحية Navigation Message يتم بثهم علي هذين الترددتين. 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 – يسمى 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 63° 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 55° علي 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 ٣-٣
قطاع الفضاء في تقنية الجي بي أس



شكل ٣-٤
نماذج للأقمار الصناعية في نظام الجي بي أس

⁷ Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

٣-٢-٢ 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 (شكل ٣-٥). 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 (تصحيات) ساعاتها وبالتالي تكون الرسالة الملاحة لكل قمر صناعي^٨. 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 ٣-٥
قسم التحكم و السيطرة

٣-٢-٣ 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 متحركاً أثناء فترة الرصد (شكل ٣-٦). 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 (سنتعرض بالتفصيل لمواصفات الأجهزة الهندسية لاحقا):

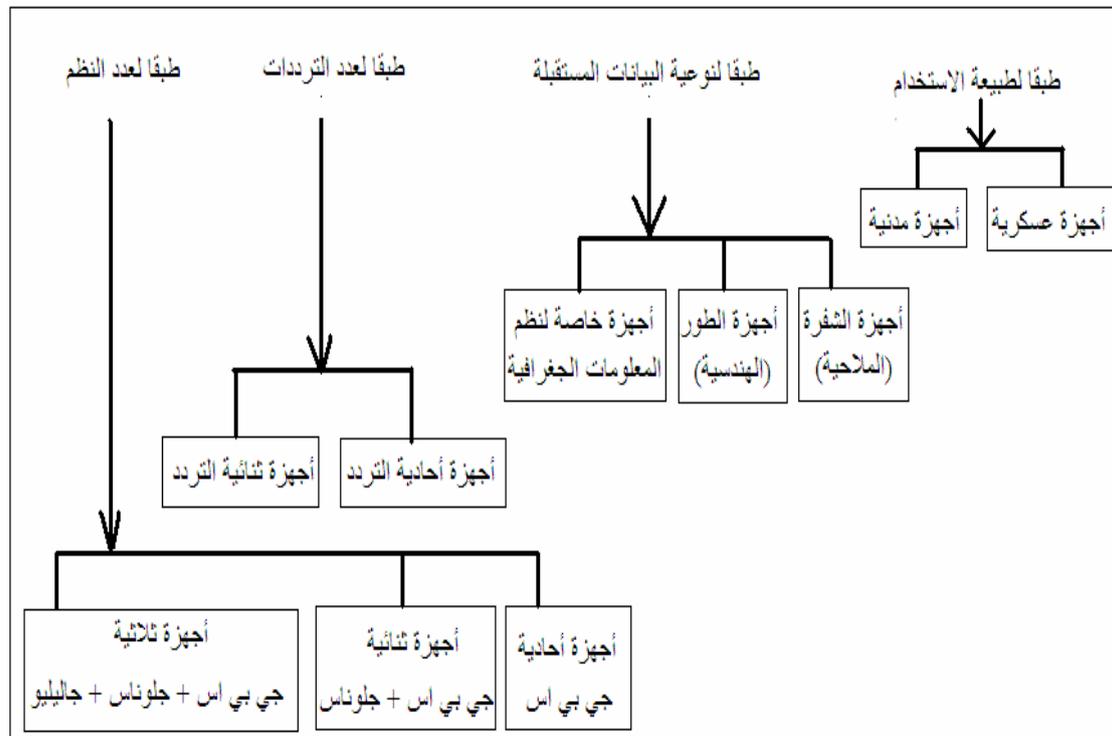
^٨ حموي ، هيثم نوري ، ١٩٩٧ ، مدخل إلي جيوديسيا الأقمار الصناعية ومقدمة مسهبة في نظام التوضع العالمي، فيينا ، النمسا.

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 المستقبلية: توجد مستقبلات تسمى بأجهزة الشفرة Code ومشهورة أيضا باسم الأجهزة الملاحة Navigation Receivers أو الأجهزة المحمولة يدويا Hand-Held Receivers ، وتوجد أجهزة تسمى بأجهزة قياس الطور Phase و معروفة 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 (شكل ٣-٧).

ج- طبقا لعدد الترددات: توجد أجهزة تستقبل تردد واحد من الترددات الذين تبثهما الأقمار الصناعية وتسمى 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- طبقا لعدد النظم: 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 ٣-٦

أنواع أجهزة استقبال الجي بي أس



شكل ٣-٧

بعض أجهزة استقبال الجي بي أس

٣-٣ فكرة عمل الجي بي أس في تحديد المواقع:

كما سبق الإشارة في الفصل الأول فإن نظرية عمل نظم الملاحة أو الجيوديسيا بالأقمار الصناعية تعتمد علي مبدأ قياس الزمن الذي تستغرقه الموجة الرادوية منذ صدور ها من وحدة البث (القمر الصناعي) وحتى وصولها لوحدة الاستقبال (المستقبل) ، ومن ثم يمكن حساب المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال من المعادلة:

$$D = c \cdot \Delta t \quad (3-1)$$

حيث D المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال ، c سرعة الإشارة وتساوي سرعة الضوء = ٢٩٩٧٩٢.٤٥٨ كيلومتر/ثانية ، Δt فرق الزمن = زمن الاستقبال - زمن الإرسال لهذه الموجة الرادوية.

يمكن التعبير عن هذه المسافة بدلالة الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية لكلا من القمر الصناعي (X_s, Y_s, Z_s) و جهاز الاستقبال (X_r, Y_r, Z_r) كالآتي:

$$D = \sqrt{[(X_s - X_r)^2 + (Y_s - Y_r)^2 + (Z_s - Z_r)^2]} \quad (3-2)$$

حيث أن إحداثيات القمر الصناعي في أي لحظة تكون معلومة فإن المعادلة (٣-٢) تحوي علي ٣ قيم مجهولة وهم إحداثيات جهاز الاستقبال ذاته (X_r, Y_r, Z_r) . مما يدل علي أنه يلزم وجود ٣ معادلات حتى يمكن حلهم معا آنيا *simultaneously* لحساب قيم الإحداثيات الثلاثة لجهاز الاستقبال. أي بمعنى آخر: يلزم لجهاز الاستقبال رصد ٣ أقمار صناعية في نفس اللحظة.

حيث أن سرعة الإشارة (سرعة الضوء) كبيرة جداً فإنه للوصول لدقة عالية في حساب المسافة يلزمنا دقة عالية أيضاً في قياس الزمن أو حساب فرق الزمن Δt في المعادلة (3-1). لاحظ أن الإشارة لا تستغرق أكثر من 0.06 ثانية لتقطع مسافة 20,000 كيلومتر من القمر الصناعي إلى سطح الأرض. إن الساعة الموجودة في القمر الصناعي من النوع الذري عالي الدقة جداً في تحديد زمن الإرسال (زمن خروج الإشارة من القمر الصناعي) لكن الساعة الموجودة في جهاز الاستقبال ليست بنفس هذه الدقة العالية (وإلا فإن سعرها سيكون مرتفعاً جداً بصورة تجعل سعر أجهزة الاستقبال غير متاحة لكل المستخدمين). ابتكر العلماء فكرة جديدة وذكية للتغلب على مشكلة عدم دقة الساعة في أجهزة الاستقبال، وهي إضافة قيمة الخطأ في ساعة المستقبل وحلها من خلال معادلة رياضية. أي أن المعادلة (3-1) والمعادلة (3-2) ستحولان إلى:

$$D = c \cdot (\Delta t + E_t) \quad (3-3)$$

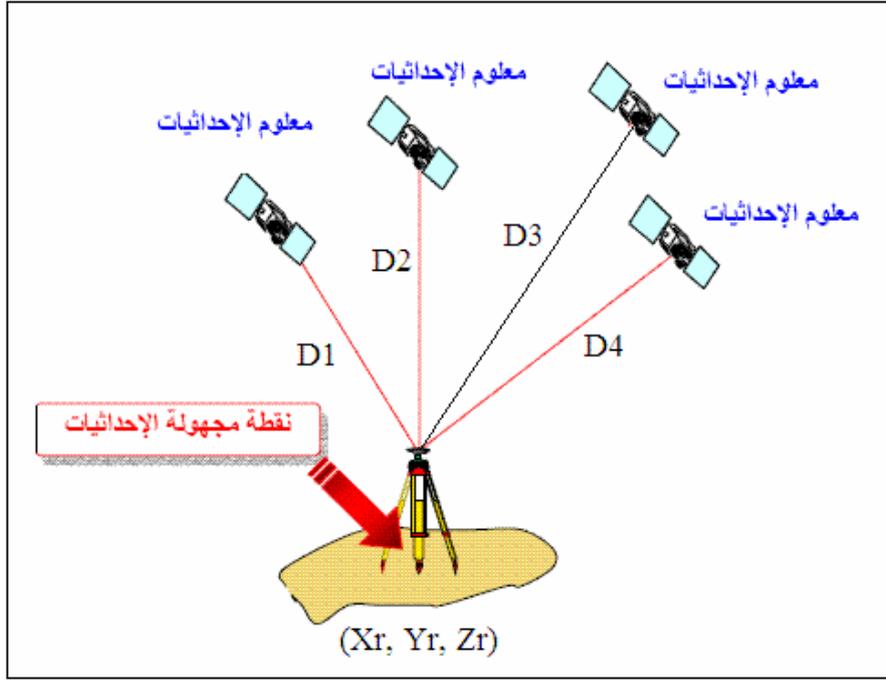
$$D + \Delta D = \sqrt{[(X_s - X_r)^2 + (Y_s - Y_r)^2 + (Z_s - Z_r)^2]} \quad (3-4)$$

حيث E_t هو الخطأ المطلوب حسابه لزمن الاستقبال الذي يقيسه جهاز المستقبل، ΔD هو قيمة الخطأ في المسافة المحسوبة بين القمر الصناعي وجهاز الاستقبال. وبالتالي فإن عدد القيم المجهولة Unknowns أصبح 4 وليس 3 (ثلاثة إحداثيات لموقع جهاز الاستقبال X_r, Y_r, Z_r وتصحيح المسافة الناتج عن خطأ ساعة الجهاز ΔD) مما يلزم وجود 4 معادلات حتى يمكن حساب قيم العناصر الأربعة المجهولة (شكل 3-8):

$$\begin{aligned} D_1 + \Delta D_1 &= \sqrt{[(X_{s1} - X_r)^2 + (Y_{s1} - Y_r)^2 + (Z_{s1} - Z_r)^2]} \\ D_2 + \Delta D_2 &= \sqrt{[(X_{s2} - X_r)^2 + (Y_{s2} - Y_r)^2 + (Z_{s2} - Z_r)^2]} \\ D_3 + \Delta D_3 &= \sqrt{[(X_{s3} - X_r)^2 + (Y_{s3} - Y_r)^2 + (Z_{s3} - Z_r)^2]} \\ D_4 + \Delta D_4 &= \sqrt{[(X_{s4} - X_r)^2 + (Y_{s4} - Y_r)^2 + (Z_{s4} - Z_r)^2]} \end{aligned} \quad (3-5)$$

حيث D_1, D_2, D_3, D_4 المسافات المقاسة بين جهاز الاستقبال والأقمار الصناعية الأربعة، (X_{s1}, Y_{s1}, Z_{s1}) و (X_{s2}, Y_{s2}, Z_{s2}) و (X_{s3}, Y_{s3}, Z_{s3}) و (X_{s4}, Y_{s4}, Z_{s4}) تمثل إحداثيات الأقمار الصناعية الأربعة، (X_r, Y_r, Z_r) تمثل إحداثيات جهاز الاستقبال، E_r يمثل خطأ زمن جهاز الاستقبال.

إذن: المطلوب لحل مجموعة المعادلات هذه هو أن يقوم جهاز الاستقبال برصد 4 أقمار صناعية في نفس اللحظة. وهذا هو **الشرط الأساسي** لحساب الإحداثيات ثلاثية الأبعاد باستخدام الجي بي أس (نكتفي برصد 3 أقمار صناعية فقط لحساب الإحداثيات ثنائية الأبعاد أي بإهمال حساب ارتفاع الموقع). فإذا توفر لدينا عدد من المعادلات أكبر من 4 (أي تم رصد أكثر من 4 أقمار صناعية في نفس اللحظة) فستؤدي هذه الأرصاد الزائدة **Redundant Measurement** إلى زيادة دقة وجودة حل المعادلات ومن ثم زيادة دقة الإحداثيات المستنبطة.



شكل ٣-٨
مبدأ الرصد في نظام الجي بي أس

٣-٤: إشارات الأقمار الصناعية في الجي بي أس:

يقوم كل قمر صناعي من أقمار الجي بي أس بإرسال إشارتين راديوتين علي تردد $\text{carrier frequencies}$ ومحمل عليهما نوعين من الشفرات الرقمية digital codes بالإضافة لرسالة ملاحية $\text{navigation message}$. يبلغ تردد الإشارة الأولي - تسمى L1 - ١٥٧٥.٤٢ ميغاهرتز بينما يبلغ تردد الإشارة الثانية - تسمى L2 - ١٢٢٧.٦٠ ميغاهرتز. 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 (سنتعرض للأخطاء بالتفصيل لاحقاً). أما طريقة وضع modulation الشفرة علي التردد الحامل له فتختلف من قمر صناعي لآخر حتى يتم تقليل أخطاء تداخل الإشارات.

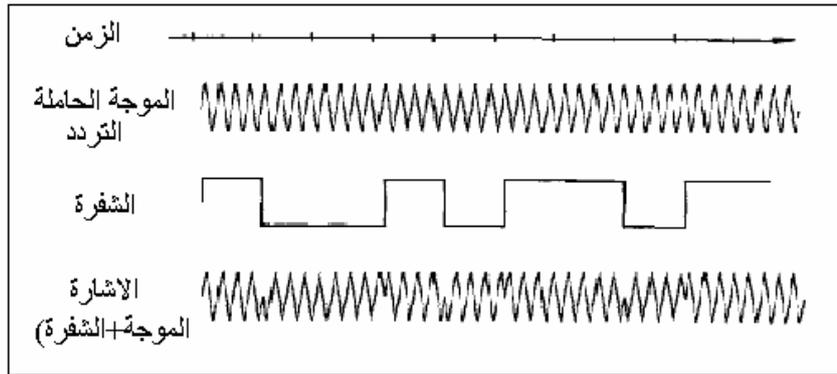
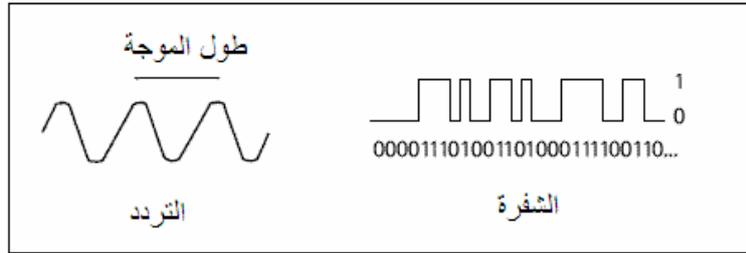
الشفرة الأولي تسمى شفرة الحصول الخشن $\text{Coarse-Acquisition Code}$ وترمز لها بالرمز C/A وأحياناً نسميها الشفرة المدنية (لأنها المتاحة للأجهزة المدنية للتعامل معها وقراءة محتوياتها) ، بينما الشفرة الثانية تسمى الشفرة الدقيقة Precise Code ويرمز لها بالرمز P والبعض يطلق عليها أحياناً اسم الشفرة العسكرية (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 $\text{Pseudo Random Noise}$ أو PRN لان الشفرة تشبه الإشارة العشوائية ، لكن في الحقيقة فإن الشفرة يتم توليدها من خلال نموذج رياضي وليست عشوائية (شكل ٣-٩). تحمل شفرة C/A علي التردد الأول L1 فقط بينما تحمل الشفرة P علي كلا الترددات L1, L2. تجدر الإشارة - دون الدخول في تفاصيل فنية معقدة - أن الشفرة P أدق كثيراً من الشفرة

C/A ولذلك فقد تم منع إمكانية قراءتها من قبل المستخدمين المدنيين منذ فبراير ١٩٩٤^٩ وقصرها فقط على التطبيقات العسكرية للولايات المتحدة الأمريكية و حلفاؤها (عن طريق إضافة قيم مجهولة لها تسمى W-code بحيث تتغير الشفرة من P إلى ما يسمى 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 على استقبال و قراءة واستخدام البيانات من الشفرة المدنية C/A ، ولذلك تسمى هذه الخدمة بالخدمة المدنية.
- خدمة التحديد الدقيق للمواقع Precise Positioning Service أو اختصارا PPS والتي تعتمد على استقبال و قراءة واستخدام البيانات من الشفرة الدقيقة P ولذلك تسمى هذه الخدمة بالخدمة العسكرية.

تتكون الرسالة الملاحة لكل قمر صناعي من مجموعة من البيانات ، وهي تضاف على كلا الترددین L1, L2. تحتوي بيانات الرسالة الملاحة على 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 المستقبلية وتسمى almanac ، بالإضافة لبيانات عن الغلاف الجوي.



شكل ٣-٩
التردد و الشفرة في إشارات الأقمار الصناعية

^٩ Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

٣-٥ مصادر الأخطاء في قياسات الجي بي 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 (شكل ٣-١٠) ١٠:

- 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 ٣-١٠
مصادر أخطاء الجي بي أس

¹⁰ الربيش ، محمد بن حجيلان ، ١٤٢٠ هـ ، النظام الكوني لتحديد المواقع ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

يعرض الجدول (١-٣) أحد التقديرات لتأثير مصادر الأخطاء علي دقة تحديد المواقع أو حساب إحدائيات أجهزة استقبال الجي بي أس^{١١}. وسنتعرض لهذه الأخطاء بقليل من التفصيل في الجزء القادم ، بينما يتناول الفصل الرابع طرق الرصد المتعددة و التي تساعد علي التغلب علي هذه الأخطاء.

جدول ١-٣
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 لمواقع الأقمار الصناعية	١.٥

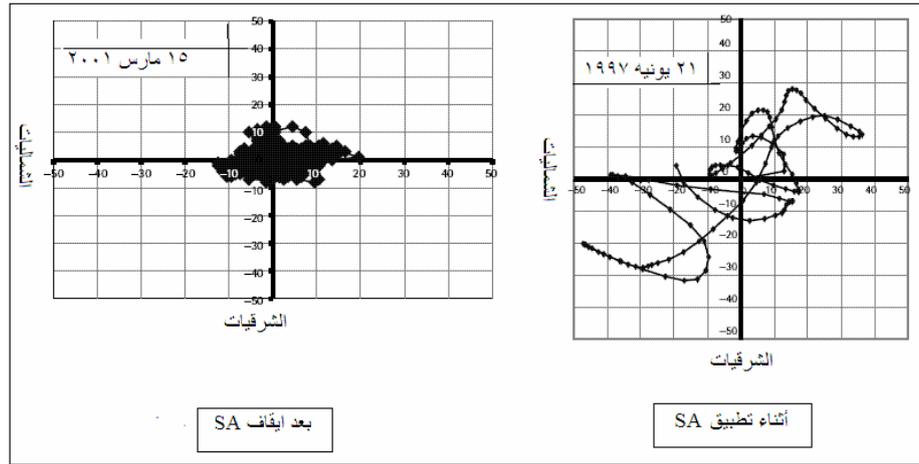
خطأ الاتاحية المنتقاة:

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 إحدائياته اللحظية Real-Time. كان الهدف الرئيسي وراء فرض هذا الخطأ في إشارات الأقمار الصناعية هو منع التطبيقات العسكرية (التي تتطلب الحصول علي الإحدائيات لحظيا) للجيش 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 الحقلية. أثناء فرض خطأ SA كانت الدقة الأفقية للخدمة المدنية SPS (عند مستوي معنوية ٩٥%) ± 100 متر^{١٢} والدقة الأفقية تبلغ ± 300 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%) ± 13 متر أو أقل كمتوسط علي المستوي العالمي وبحد أقصى ± 36 متر في أسوأ الحالات و المواقع ، بينما صارت الدقة الرأسية ± 22 متر أو أقل كمتوسط علي المستوي العالمي وبحد أقصى ± 77 متر في أسوأ الحالات و المواقع (شكل ١١-٣)^{١٣}.

¹¹ Prasad, R. and Ruggieri, M., 2005, Applied satellite navigation using GPS, Galileo and augmentation systems, Artech House, Inc., Boston, USA

¹² Prasad, R. and Ruggieri, M., 2005, Applied satellite navigation using GPS, Galileo and augmentation systems, Artech House, Inc., Boston, USA

¹³ Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.



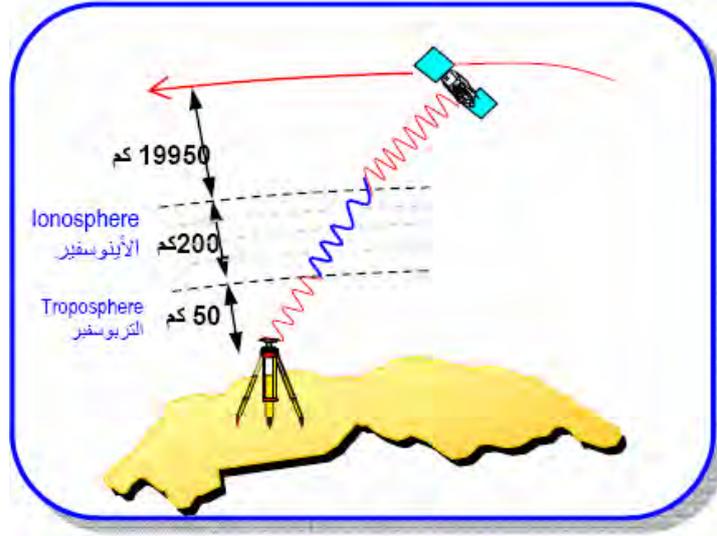
شكل ١١-٣
دقة تحديد المواقع قبل و بعد خطأ SA

تأثير طبقة التروبوسفير في الغلاف الجوي:

التروبوسفير طبقة من طبقات الغلاف الجوي للأرض تمتد حوالي ٥٠ كيلومتر من سطح الأرض (شكل ٣-١٢). 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 رأسياً أعلى جهاز الاستقبال، ٩.٣ متر للأقمار على زاوية ارتفاع ١٥° من جهاز الاستقبال، ٢٠-٢٨ متر للأقمار على زاوية ارتفاع ٥٥° فقط من جهاز الاستقبال^{١٤}. أبتكر العلماء عدة نماذج رياضية تمكن من تقدير قيمة خطأ التروبوسفير - بدقة معقولة - ومن ثم إمكانية تصحيح تأثير هذا الخطأ على إشارات الأقمار الصناعية. من أحدث هذه النماذج نموذج هيئة المحيطات و الأجواء الأمريكية NOAA^{١٥}.

¹⁴ Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

¹⁵ Al-Rabbany, A., 2009, GNSS Positioning - Some recent developments and trends, Map Middle East Conference, Dubai, UAE, April 26-28. Available at:
http://www.gisdevelopment.net/proceedings/mapmiddleeast/2009/mme09_AhmedELRabbany.pps



شكل ٣-١٢

طبقتي التروبوسفير و الأيونوسفير في الغلاف الجوي

تأثير طبقة الأيونوسفير في الغلاف الجوي:

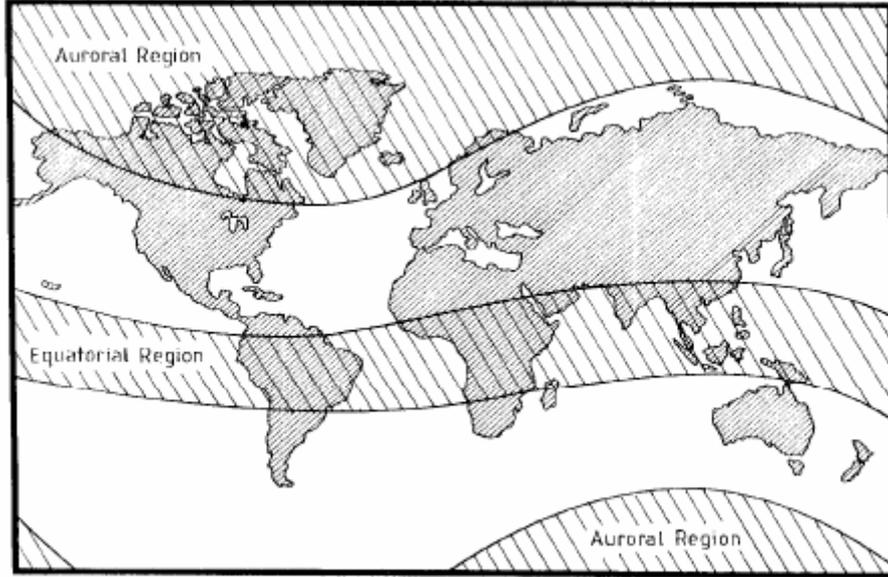
في الطبقات العليا من الغلاف الجوي للأرض فإن الأشعة فوق البنفسجية و الأشعة السينية تتفاعل مع جزيئات و ذرات الغازات ، مما ينتج عنه إلكترونات و ذرات حرة في احدي طبقات الغلاف الجوي. تسمى هذه الطبقة بالايونوسفير أو طبقة التأين الحر وهي تمتد من ارتفاع حوالي ٥٠ كيلومتر من سطح الأرض إلي ارتفاع حوالي ١٠٠٠ كيلومتر أو أكثر. تؤثر طبقة الأيونوسفير علي إشارات الجي بي أس المرسله 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 و يبلغ أقصى تأثير له عند قمة هذه الدورة حيث تبلغ كمية الإشعاع الشمسي أقصى 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 $\pm 30^\circ$ خط الاستواء المغناطيسي و في مناطق الشفق القطبية (شكل ٣-١٣)^{١٦}. 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^{١٧}. 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

¹⁶ صالح ، حسين عزيز ، ٢٠٠٨ ، نظام التعيين الاحداثي العالمي: الجي بي أس ، متاح في:

<http://iridia.ulb.ac.be/~hsaleh/>

¹⁷ Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

الثابت الأرضية)، بينما الأجهزة أحادية التردد (L1 فقط) تستخدم في تطبيقات الرفع المساحي التي لا تطلب إلا دقة سنتيمترات.



شكل ٣-١٣
مناطق النشاط الشمسي المرتفع

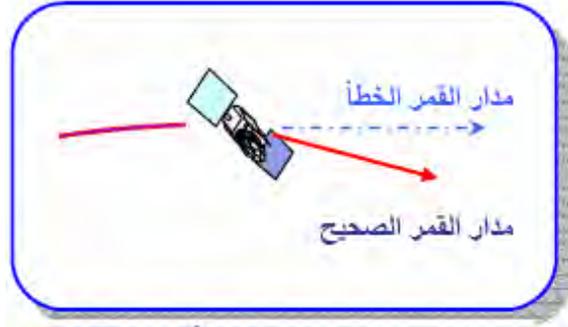
خطأ ساعة القمر الصناعي:

مع أن الساعات الموجودة في الأقمار الصناعية هي ساعات ذرية دقيقة جداً ، إلا أنها ليست تامة الدقة perfect وتكون دقتها في حدود من ٨.٦٤ إلى 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 و حساب 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 تماماً ويتبقى 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 المثالي المستخدمة في النماذج الرياضية لحساب مدار كل قمر صناعي ، مما سينتج

عنه اختلاف بين المدار المحسوب (أي إحداثيات القمر الصناعي) و المدار الحقيقي (شكل ٣-١٤). عامة يبلغ خطأ المدار قيمة تتراوح بين ٢ و ٥ متر^{١٨}.



شكل ٣-١٤
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 لبين 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 ٣-٣ و ٤-٣).

خطأ هوائي جهاز الاستقبال:

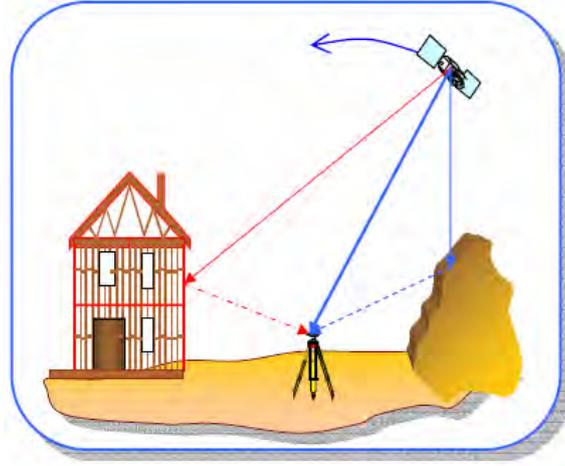
من أهم خصائص هوائي جهاز الاستقبال Receiver Antenna دقة تحديد نقطة التقاط الأشعة القادمة من الأقمار الصناعية وهي المسماه "مركز طور الهوائي Antenna Phase Center". عامة لا ينطبق مركز طور الهوائي مع المركز الهندسي للهوائي ، حيث أنه يختلف عنه بناء على ارتفاع و انحراف القمر الصناعي أثناء الرصد. ويؤدي ذلك الاختلاف إلى خطأ في قياس المسافات و حساب إحداثيات جهاز الاستقبال. تختلف قيمة خطأ الهوائي باختلاف نوع الهوائي ذاته ، ويكون عادة في حدود سنتيمترات قليلة. وتوجد أنواع من الهوائيات للأجهزة المساحية العادية و أنواع أخرى 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 إلى جهاز الاستقبال من خلال مسارات متعددة ، أي تصطدم الإشارة بعائق (شجرة أو مبني أو جسم معدني أو سطح مائي مثلا) ثم ترتد إلى جهاز الاستقبال (شكل ٣-١٥). من الممكن أن يصل تأثير هذا الخطأ إلى ٥ متر عند استخدام قياسات الطور على التردد الأول L1 ، بينما قد يصل إلى عشرات الأمتار عند استخدام أرساد

¹⁸ Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

الشفرة. من هنا جاءت أهمية اختيار أماكن أجهزة الاستقبال بصورة مناسبة لتفادي هذا الخطأ ، كما توجد أيضا أنواع من هوائيات أجهزة الاستقبال (تسمى Chock-Ring Antenna) تقلل بنسبة كبيرة من أخطاء تعدد المسار (شكل ٣-١٦).



شكل ٣-١٥
خطأ تعدد المسارات



شكل ٣-١٦
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) فإن 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 (شكل ٣-١٧) ^{١٩}. يتم التعبير عن تأثير مواقع الأقمار الصناعية باستخدام معامل يسمى "معامل الدقة Dilution of Precision" ويرمز له بالرمز DOP ، ويوجد منه عدة أنواع بناء علي المستوي المطلوب الحساب به. تشمل معاملات الدقة علي أنواع:

¹⁹ المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، ١٤٢٦ هـ ، نظام تحديد المواقع العالمي ، مقرر دراسي لطلاب الكليات التقنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

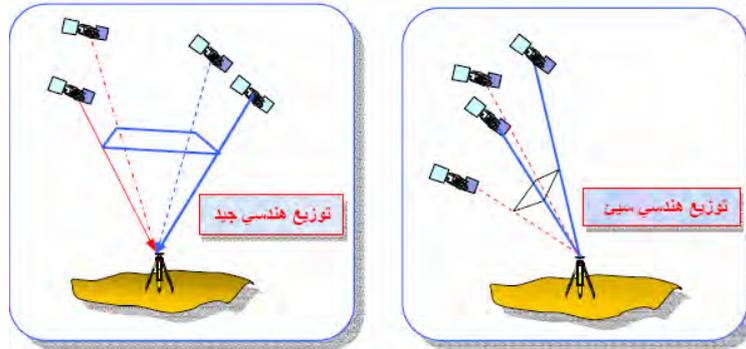
- معامل الدقة الأفقية ويرمز له بالرمز HDOP.
- معامل الدقة الرأسية ويرمز له بالرمز VDOP.
- معامل الدقة ثلاثية الأبعاد ويرمز له بالرمز PDOP.
- معامل الدقة الهندسية (رباعية الأبعاد) ويرمز له بالرمز GDOP.
- معامل الدقة الزمنية ويرمز له بالرمز TDOP.

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

$$A_p = DOP \times A_m \quad (3-6)$$

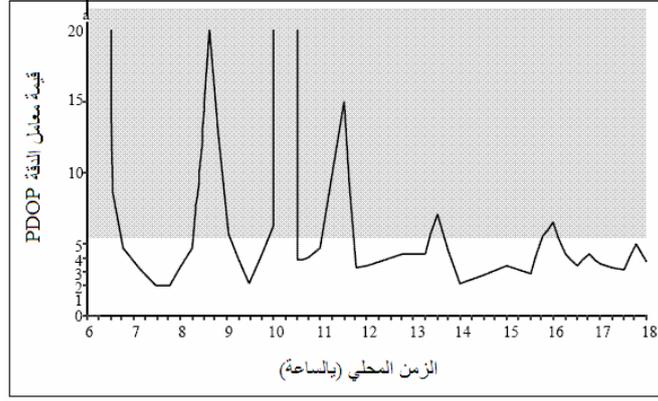
حيث A_p تعبر عن دقة الموقع ، A_m تعبر عن دقة القياس.

بما أن مواقع الأقمار الصناعية في الفترة المستقبلية تكون محسوبة وموجودة داخل الرسالة الملاحية لكل قمر صناعي (almanac) فإنه 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 (شكل ٣-١٨). 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^{٢٠}.



شكل ٣-١٧
تأثير توزيع الأقمار الصناعية

²⁰ Natural Resources Canada, 1995, GPS positioning guide, Third Edition, Ottawa, Canada.



شكل ٣-١٨

مثال لحساب معاملات الدقة و التأثير المتوقع لتوزيع الأقمار الصناعية

٦-٣ 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 الرئيس 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 بحدود عام ٢٠١٥^{٢١}.

بدأت أولى 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. ويبدأ 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.

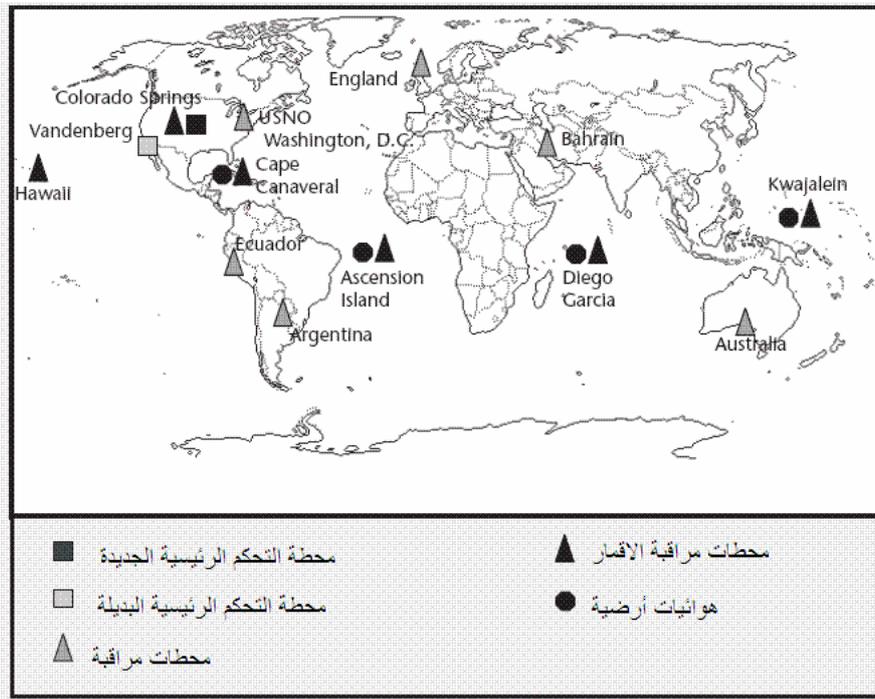
تأتي ثاني خطوات خطة تطوير الجي بي أس من خلال البدء في تصميم و إنتاج و إطلاق جيل فرعي آخر من أقمار الجيل الثاني - أطلق عليها أقمار IIF و عددهم ١٢ قمرا - والتي ستكون أهم خصائصها إرسال إشارة أو تردد ثالث جديد (بجانب الترددين الأساسيين L1, L2) والذي أطلق عليه اسم تردد L5 و قيمته ١١٧٦.٤٥ ميغاهرتز ، وذلك بالإضافة لبث الشفرتين الجديدتين L2C و M. كما أن العمر الافتراضي لهذا الجيل من الأقمار الصناعية سيبلغ ١١.٣

²¹ Prasad, R. and Ruggieri, M., 2005, Applied satellite navigation using GPS, Galileo and augmentation systems, Artech House, Inc., Boston, USA

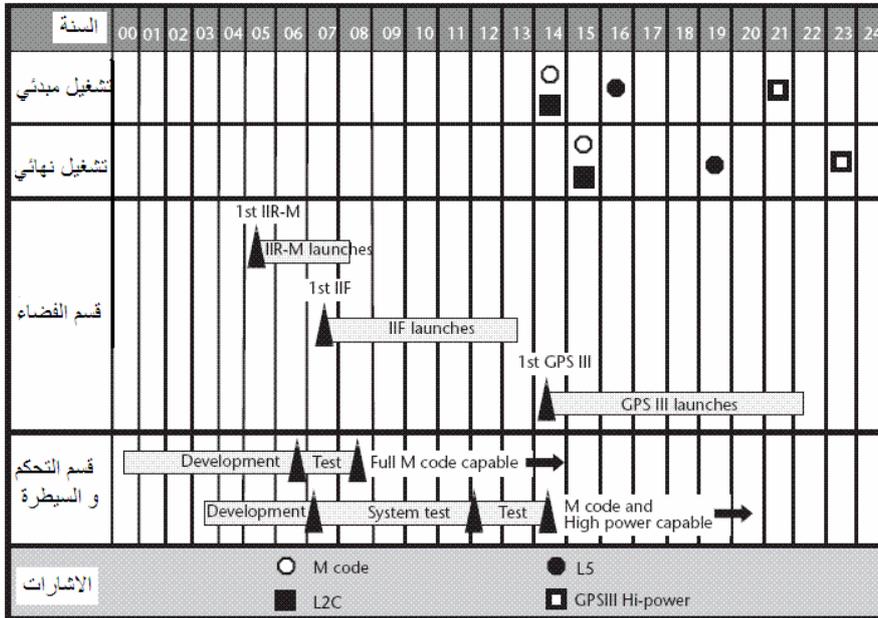
سنة ، ومن الموقع أن يبدأ التردد الثالث بحلول عام ٢٠١٦ ويكتمل (يتم بثه في جميع الأقمار الصناعية) في عام ٢٠١٩.

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 منشآت 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 (شكل ٣-١٩) لمراقبة أداء و كفاءة عمل الأقمار الصناعية. ويقدم الشكل (٣-٢٠) المخطط الزمني التقريبي لتنفيذ خطة تطوير منظومة الجي بي أس.



شكل ٣-١٩
محطات المراقبة و السيطرة الجديدة



شكل ٣-٢٠
المخطط الزمني لتنفيذ خطة تطوير الجي بي أس

إن خطة تطوير تقنية الجي بي أس ستكون لها العديد من المزايا ، من وجهة نظر مستخدم النظام ، بصورة لم يسبق لها مثيل منذ بدء تطبيق الجي بي أس. فإذا أخذنا عامل دقة الإحداثيات (تحديد المواقع) باستخدام الخدمة المدنية القياسية SPS فإن الدقة ستخف 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 فإن الدقة ستتحسن بنسبة ٥٠% أخرى لتصل إلي حدود ١-٥ متر باستخدام أجهزة الاستقبال الملاحية رخيصة السعر^{٢٢}. سيؤدي ذلك لجودة أكثر في جميع 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^{٢٣}.

٧-٣ نظم ملاحية أخرى لتحديد المواقع:

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.

١-٧-٣ النظام الروسي جلوناس:

تشابه 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.

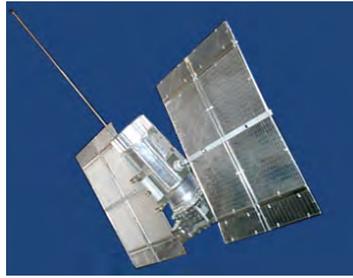
يتكون نظام جلوناس - رسميا - من ٢١ قمرا صناعيا موزعة في ٣ مدارات حول سطح الأرض ، وتدور علي ارتفاع ١٩١٠٠ كيلومتر من سطح الأرض وزاوية ميل ٦٤.٨° بحيث يكمل كل قمر (شكل ٣-٢١) دورة حول الأرض كل ١١ ساعة و ١٥ دقيقة. يرسل كل قمر صناعي نوعين من الخدمات: الإشارة الدقيقة Precision Signal أو اختصارا SP ، الإشارة عالية الدقة High-Precision Signal أو اختصارا HP علي ترددات تتراوح بين ١٦٠٢.٥٦٢٥ و ١٦١٥.٥ ميگاهرتز (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

²² Prasad, R. and Ruggieri, M., 2005, Applied satellite navigation using GPS, Galileo and augmentation systems, Artech House, Inc., Boston, USA

²³ Dawod, G., 2003, Modernization plan of GPS in 21st century and its impacts on surveying applications, Proceedings of Al-Azhar Seventh International Engineering Conference (CD No. 3), Al-Azhar University, Cairo, Egypt, April 7-10.

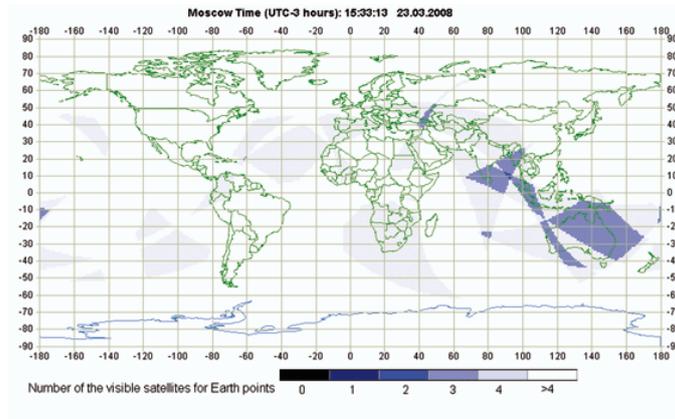
أن تصل دقة نظام جلوناس لتحديد المواقع إلى حدود نفس الدقة التي يوفرها الجي بي أس بحلول عام ٢٠١١^{٢٤}. تقع محطة التحكم الرئيسية في موسكو بينما توجد ٤ محطات مراقبة أخرى داخل الأراضي الروسية^{٢٥}.

أثرت الأزمات المالية - في روسيا - بشدة علي استكمال خطوات تطوير جلوناس مما لم يجعل النظام يصل لحالته النهائية الكاملة. وحتى سبتمبر ٢٠٠٩ فلا يوجد إلا ١٩ قمرا صناعيا في نظام جلوناس منهم ١٧ قمرا عاملا فقط بينما هناك قمرين في مرحلة الصيانة ، إلا أنه من المتوقع اكتمال النظام بحلول عام ٢٠١١^{٢٦}. وبذلك فما زالت تغطية جلوناس لم تبلغ التغطية الكاملة لكل سطح الأرض (شكل ٣-٢٢).



شكل ٣-٢١

أحد الأقمار الصناعية في نظام جلوناس



شكل ٣-٢٢

تغطية نظام جلوناس في مارس ٢٠٠٨

²⁴ Fugro Chance Inc., 2007, GNSS status and plans, website: <http://www.fugro.com>

²⁵ Cojocar, S., Birsan, E., Battinca, G., and Arsenie, P., 2009, GPS-GLONASS-GALILEO: A dynamical comparison, Journal of Navigation, 62: 135-150.

²⁶ Russian Space Agency, 2009, GLONASS constellation status as 06.09.2009, website: <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/pls/html/db/f?p=202:20:14637162736231801312::NO::>

٣-٧-٢ النظام الأوروبي جاليليو:

في عام ١٩٩٩ تم اقتراح إقامة نظام جاليليو كمشروع مشترك بين الاتحاد الأوروبي EU ووكالة الفضاء الأوروبية ESA كبديل مدني تديره جهة مدنية بعكس وزارتي الدفاع اللتين تديران كلا من الجي بي أس و جلوناس. كما أن مشروع نظام ملاحى فضائي بهذا الحجم سيبيح 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^{٢٧}. اكتملت الدراسات التقنية المبدئية لهذا المشروع العملاق ، وبدأت مرحلة التطوير في عام ٢٠٠١ ، ومن المتوقع اكتمال النظام في عام ٢٠١٢^{٢٨}.

سيكون 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 ميگاهرتز ، ١٥٥٩-١٥٩١ ميگاهرتز^{٢٩}.

تم 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 (شكل ٣-٣).

توجد عدة خدمات (أو أنظمة) لاستخدام جاليليو:

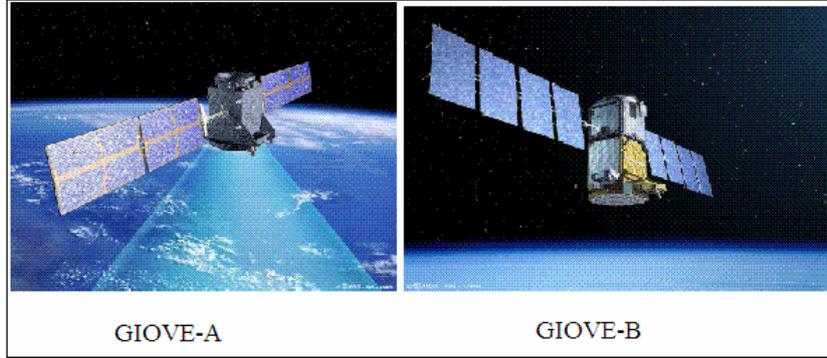
- ١- الخدمة المفتوحة (OS) Open Service وهي الخدمة المجانية المتاحة لجميع المستخدمين في العالم والتي من المتوقع أن تكون دقتها في حدود ٤ متر أفقيا و ٨ متر رأسيا للأجهزة ثنائية التردد.
- ٢- خدمة سلامة الأرواح (SoL) Safety of Live Service وتتميز عن الخدمة المفتوحة بإرسال رسائل وقتية (إنذارات) للمستخدم في حالة حدوث أي مشاكل في النظام لا تسمح بضمان دقة الإحداثيات المحسوبة،
- ٣- الخدمة التجارية (CR) Commercial Service وهي خدمة تجارية باشتراك ودقتها أحسن من دقة الخدمة المفتوحة.

²⁷ 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.

²⁸ Navarro-Reyes, D., 2007, Galileo program status and ongoing GIOVE experimentation, Presented at the EGU general assembly, Vienna, Austria, April 16.

²⁹ European Space Agency (ESA) website at: http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/intro/index_en.htm

- ٤- خدمة المرافق العامة (PRS) Public Regulated Service وهي خدمة خاصة للمرافق العامة مثل الشرطة والإسعاف و المطافي وخاصة في أوقات الطوارئ أو الحروب حيث من الممكن أن تتأثر الخدمة العامة.
- ٥- خدمة البحث و الإنقاذ Search and Rescue Service (S&R) وهي خدمة ستضاف للنظم العالمية الموجودة حاليا لتحسن من دقتها في أعمال الإغاثة والإنقاذ.



شكل ٣-٢٣
الأقمار التجريبية في نظام جاليليو

٣-٧-٣ 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 إلى التغطية العالمية. من المتوقع أن يتكون النظام من ٥ أقمار صناعية ثابتة المدار Geostationary Earth Orbit Satellites أو اختصارا GEO بالإضافة إلى 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 ميغاهرتز^{٣١}. تم إطلاق القمر الصناعي الثاني في هذا النظام الصيني في ١٤ أبريل ٢٠٠٩ ، والذي قامت الأكاديمية الصينية للفضاء و التكنولوجيا بتصنيعه (شكل ٣-٢٤). 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.

³⁰ InsideGNSS Magazine, 2006, Compass and China's GNSS makes four, available at: <http://www.insidegnss.com/node/115>

³¹ InsideGNSS Magazine, 2008, China adds details to Compass (Beidou II) signal plans, available at: <http://www.insidegnss.com/node/803>



شكل ٣-٢٤
إطلاق قمر صناعي صيني

٣-٧-٤ نظم ملاحية إقليمية:

بالإضافة للنظم الملاحية الأربعة (الجي بي أس و جلوناس و جاليليو و بيدو) التي لها تغطية عالمية فتوجد عدة نظم ملاحية أخرى تهدف لزيادة كفاءة الملاحة بالأقمار الصناعية في مناطق محددة من الأرض. قامت اليابان بتطوير نظام QZSS (مكون من ٣ أقمار صناعية) ليغطي حدودها الإقليمية (شكل ٣-٢٥). أيضا تقوم الهند بتطوير نظام ملاحية إقليمي - يسمى IRNSS - ليتم الانتهاء منه فيما بين عامي ٢٠٠٨ و ٢٠١١ ليزيد كفاءة الملاحة في حدودها الجغرافية الإقليمية.



شكل ٣-٢٥
مجال تغطية النظام الياباني الإقليمي QZSS

٣-٨-٨ النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية:

مع نهاية التسعينات من القرن العشرين الميلادي استأنفت روسيا إطلاق الأقمار الصناعية لنظامها العالمي جلوناس ، مما بدأ معه تفكير العلماء و المستخدمين في إمكانية استخدام كلا النظامين معا. ومنذ ذلك الحين ظهر مصطلح "النظم العالمية للملاحة بالأقمار الصناعية

GNSS "Global Navigation Satellite Systems" والذي عرف اختصاراً باسم GNSS. وتوسع مفهوم GNSS لاحقاً ليصبح إمكانية استخدام ٤ نظم ملاحية عالمية في إطار متكامل (الجي بي أس و الجلوناس و جاليليو و بيدو).

بالطبع فإن هذه الإمكانيات – عند تحقيقها الكامل قريباً- سيكون لها مميزات تقنية رائعة ، فعلى سبيل المثال سيزداد عدد الأقمار الصناعية المتاحة للرصد في أي موقع جغرافي في العالم مما سينعكس على خفض الوقت اللازم لتجميع البيانات الحقلية وأيضا ستزيد مستويات دقة تحديد المواقع.

سيبلغ حجم السوق المتوقع لنظم GNSS حوالي ٢٩٠ مليار دولار أمريكي بحلول عام ٢٠١٨^{٣٢}، حيث بدأ بالفعل ظهور أجهزة استقبال GNSS تستطيع استقبال و التعامل مع إشارات عدة نظم (حتى الوصول لعدد ٤ نظم عالمية). فعلى سبيل المثال فقد أنتجت شركة ليكا السويسرية أول هوائي يستقبل إشارات الأقمار الصناعية للنظم الأربعة من نظم GNSS (شكل ٣-٢٦) وكذلك طورت شركة توبكون جهاز استقبال G3 وطورت شركة ترميل جهاز R8 و الذين يستقبلان إشارات الجي بي أس و جلوناس و جاليليو (شكل ٣-٢٧).

حديثاً تم إجراء عدد من الدراسات الجيوديسية التطبيقية باستخدام بيانات GNSS مثل تقييم نماذج الجيويد العالمية^{٣٣}، استنباط طرق جديدة عالية الكفاءة للحصول على إشارات الأقمار الصناعية المتعددة^{٣٤}، الحصول على قيم المناسب من أرصاد GNSS^{٣٥}.



شكل ٣-٢٦

موديل AR25 لهوائي GNSS من إنتاج شركة ليكا

³² Kaplan, E. and Hegarty, C., 2006, Understanding GPS: Principles and applications, Second Edition, Artech House, Inc., Boston, USA.

³³ Feathersotne, W., 2008, GNSS-based heighting in Australia: Current, emerging and future issues, Spatial Science, V. 53, No. 2, pp. 115-134.

³⁴ Borio, D., 2008, A statistical theory for GNSS signal acquisition, PhD Dissertation, Politecbco Di Torino, 291 pp.

³⁵ Raizner, C., 2008, A regional analysis of GNSS-levelling, MSC Thesis, Stuttgart University, 133 pp.



شكل ٣-٢٧
أجهزة استقبال GNSS

٩-٣ 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^{٣٦}. يتم بث هذه التصحيحات بعدة طرق: إما باستخدام البث الراديوي اللاسلكي ، أو بإرسال التصحيحات المحسوبة إلي أقمار صناعية خاصة والتي تعيد إرساله مرة أخرى لتستقبله المستقبلات الأرضية (تسمي نظم الازدياد بالاعتماد علي الأقمار الصناعية Satellite-Based Augmentation Systems أو اختصارا SBAS)، أو عن طريق شبكات التليفون الخليوي (الموبايل أو الجوال) ، أو عن طريق شبكة المعلومات الدولية (الانترنت). كما تشمل أيضا نظم الازدياد دمج أجهزة استقبال الجي بي أس مع أنواع أخرى 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 تحسين 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

³⁶ العيسى ، سميج يوسف ، ٢٠٠٦ ، مبادئ عمل منظومة التوضع GPS ، شعاع للنشر والعلوم ، حلب ، سوريا.

- (شكل ٣-٢٨) ترصد أقمار الجي بي أس وتحسب التصحيحات اللازمة لكل قمر في كل لحظة ، ثم تقوم بإرسال التصحيحات إلي المحطة الرئيسية والتي تقوم بدورها بإرسالها 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 الملاحة المحمولة يدويا.
- النظام الملاحي الأوروبي الثابت European Geostationary Navigation Overlay Service المعروف اختصارا باسم EGNOS وتديره هيئة الفضاء الأوروبية ويغطي قارة أوروبا (شكل ٣-٢٩) ، ويتيح تصحيحات – من خلال ٣ أقمار صناعية - لكلا من نظام الجي بي أس وأيضا نظام جلوناس^{٣٧}.
 - نظام الازدياد الأمريكي العسكري Wide Area GPS Enhancement أو 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 جدة بالمملكة العربية السعودية والذي تديره أمانة جدة (شكل ٣-٢٩) ، والذي يوفر دقة أفقية في تحديد المواقع تصل إلي مستوي السنتيمتر^{٣٨}.
 - نظام الازدياد لمدينة دبي بالإمارات العربية المتحدة والذي تديره بلدية دبي (شكل ٣-٣١) ويقدم دقة ٢-٣ سنتيمتر في تحديد المواقع^{٣٩}.
 - نظام الازدياد الملاحي المصري ويسمي: الشبكة الإقليمية المصرية لتحديد المواقع بالأقمار الصناعية باستخدام الأسلوب الفرقي DGPS (تديره الهيئة المصرية لسلامة الملاحة البحرية: مصلحة الموانئ و المنائر المصرية سابقا) بغرض تقديم خدماته للسفن المبحرة في كلا البحرين الأحمر و الأبيض المتوسط. يتكون هذا النظام من ٧ محطات أرضية كلا منها تبت إرسالها (خدمة التصحيحات) لاسلكيا في منطقة دائرية يبلغ نصف قطرها حوالي ٢٠٠ كيلومتر^{٤٠} (شكل ٣-٣٢).
 - نظام الازدياد في مملكة البحرين ومكون من ٥ محطات (شكل ٣-٣٣)^{٤١}.
 - نظام الازدياد (تحت الإنشاء) في العراق والذي يبيت تصحيحاته من خلال شبكات التليفون الجوال^{٤٢}.

³⁷ European Space Agency, 2009b, EGNOS project website at: <http://www.esa.int/esaNA/egnos.html>

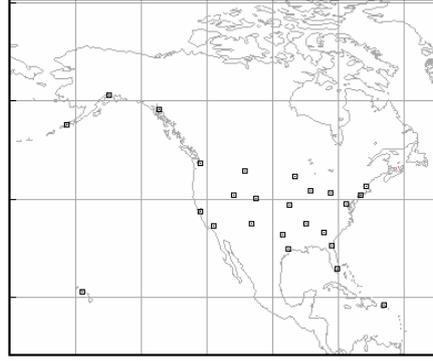
³⁸ موسى ، أشرف القطب ، ٢٠٠٨ ، دليل منظومة الأمانة للمحطات الدائمة للنظام العالمي لتحديد المواقع بأمانة جدة، تقرير أمانة محافظة جدة ، المملكة العربية السعودية.

³⁹ Al Marzooqi, Y., Fashir, H., and Babiker, T., 2005, Establishment & testing of Dubai Virtual Reference System (DVRS) national GPS-RTK network, Available at: http://www.gisdevelopment.net/technology/gps/me05_131.htm

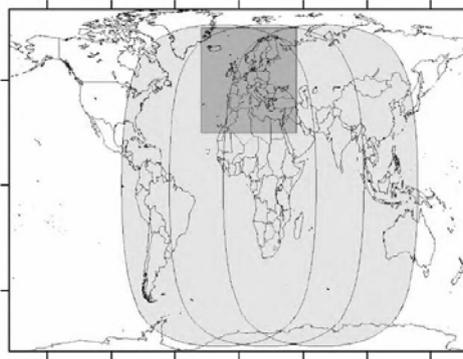
⁴⁰ علي ، رمضان سالم محمد ، ٢٠٠٩ ، أساسيات نظام الملاحة العالمي بالأقمار الصناعية ، متاح في: <http://ramadansalem.webs.com/GPS%20Basics.pdf>

⁴¹ Hadi, W. and Tuckerman, P., 2007, Kingdom of Bahrain GPS permanent reference network, Presented at the Map Middle East 2007 conference, April 11.

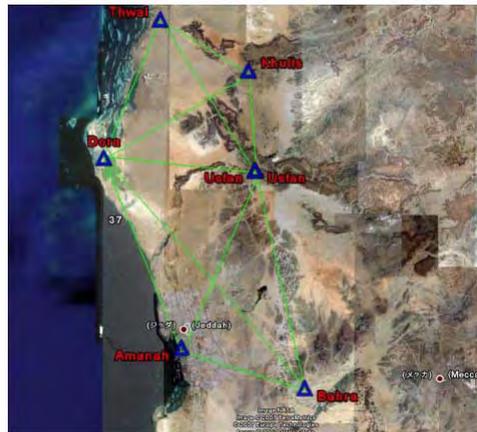
⁴² محمد ، وسام ، ٢٠٠٩ ، خدمة ال RTK عبر الجوال في العراق ، منتدى الهندسة المساحية في الرباط: <http://surveying.ahlamontada.com/montada-f11/topic-t592.htm>



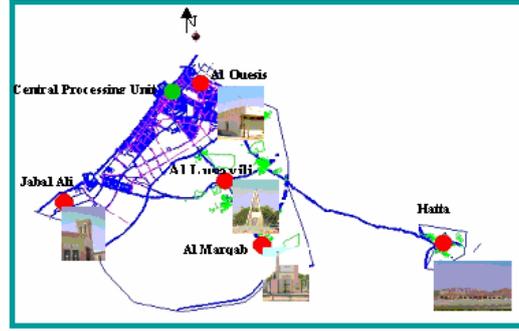
شكل ٢٨-٣ المحطات الأرضية في نظام الازدياد الأمريكي WASS



شكل ٢٩-٣ مجال تغطية نظام الازدياد الأوروبي EGNOS



شكل ٣٠-٣ المحطات الأرضية في نظام الازدياد لمدينة جدة السعودية



شكل ٣-٣١
المحطات الأرضية في نظام الازدياد لمدينة دبي الإماراتية

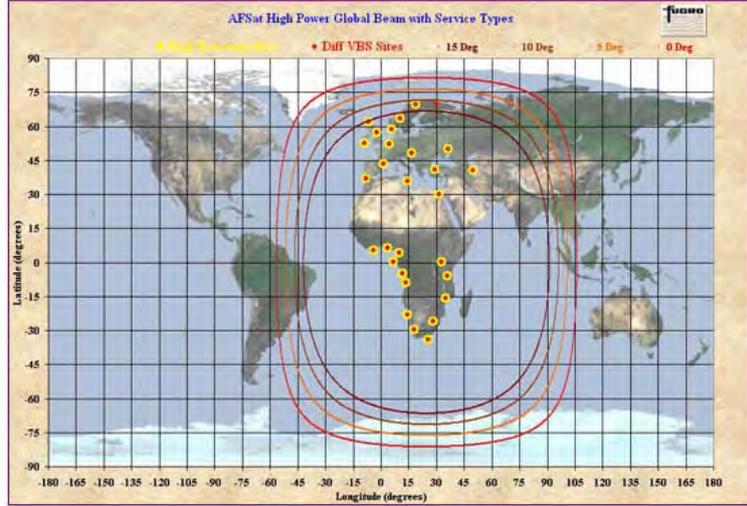


شكل ٣-٣٢
المحطات الأرضية ومجال تغطيتها في نظام الازدياد لهيئة الموانئ المصرية



شكل ٣-٣٣
المحطات الأرضية في نظام الازدياد بمملكة البحرين

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 المستوى 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^{٤٣} . ويغطي أحد أقمار OmniStar المنطقة العربية كلها بحيث يتيح خدماته لكل المستخدمين بها (شكل ٣-٤).



شكل ٣-٤
تغطية نظام الازدياد OmniStar في المنطقة العربية

⁴³ OminStar, 2009, website: <http://www.omnistar.com/>

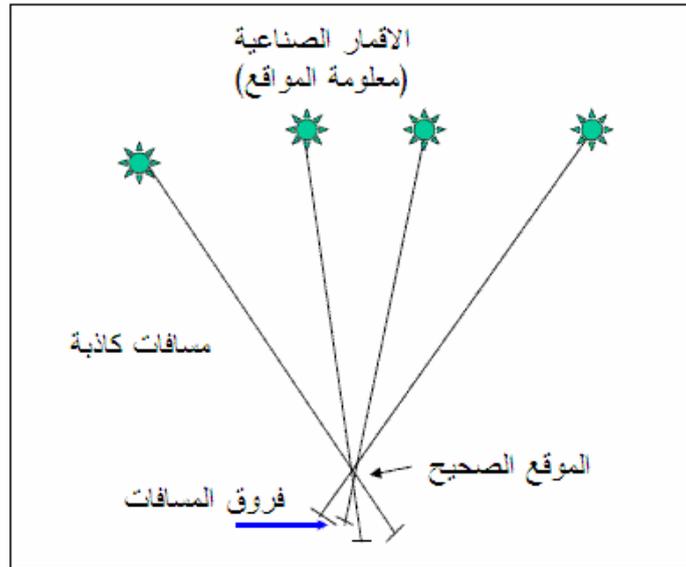
الفصل الرابع أرصاد الجي بي أس

١-٤ مقدمة:

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 (البعوض 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 مستوى عدة سنتيمترات في دقة تحديد المواقع. وسنتعرض لكلا نوعي الأرصاد في الأجزاء التالية.

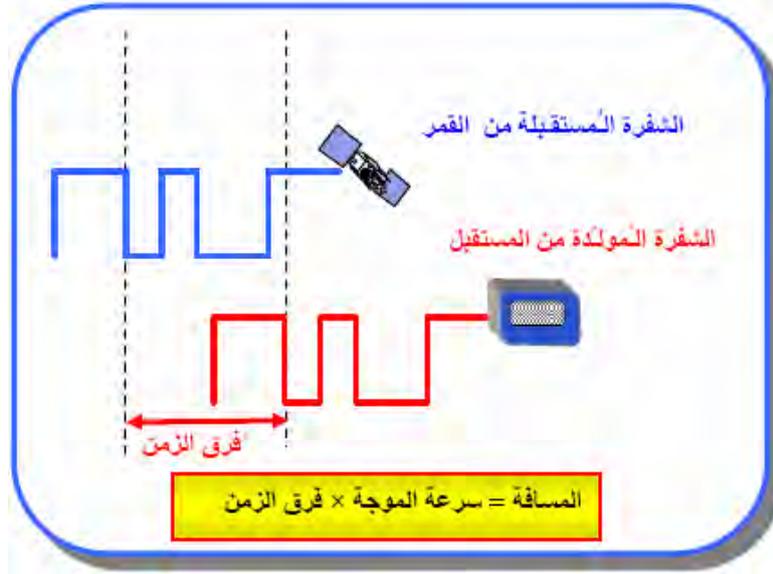
٢-٤ أرصاد المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة:

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 (معادلة ٣-١). لكن بسبب وجود عدة مصادر للأخطاء فإن هذه المسافة المحسوبة لن تساوي المسافة الحقيقية بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال، ولذلك تسمي المسافة الكاذبة Pseudorange (شكل ٤-١).



شكل ٤-١
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 استغرقت الإشارة منذ صدورها من القمر الصناعي وحتى وصولها لجهاز الاستقبال ، ومن ثم يمكن حساب قيمة المسافة الكاذبة (شكل ٢-٤).



شكل ٢-٤

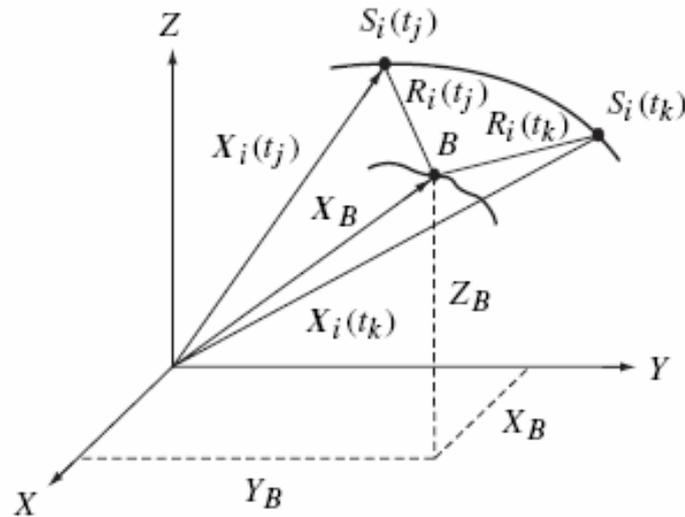
طريقة قياس المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة

يمكن التعبير عن المسافة الكاذبة بدلالة إحداثيات كلا من القمر الصناعي (الإحداثيات المعلومة) وجهاز الاستقبال (الإحداثيات المطلوب حسابها) بالمعادلة التالية (شكل ٣-٤):

$$PR_i = ((X_i - X_B)^2 + (Y_i - Y_B)^2 + (Z_i - Z_B)^2)^{1/2} + c dt_u \quad (4-1)$$

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 ٣-٤

العلاقات الهندسية في أرصاد المسافات الكاذبة

طبقا لوجود العديد من مصادر الأخطاء التي تؤثر علي إشارات الأقمار الصناعية (أرجع لجزء ٥-٣ من الفصل الثالث) فإن المعادلة (٤-١) غير دقيقة و يجب أن تصبح:

$$PR_i = ((X_i - X_B)^2 + (Y_i - Y_B)^2 + (Z_i - Z_B)^2)^{1/2} + c dt_u + \delta \quad (4-2)$$

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 (٤-٢) وحلهم أنيا 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 فإن سعر جهاز الاستقبال لن يكون غاليا. ومن هنا فإن جميع أجهزة الاستقبال الملاحية Navigation أو المحمولة يدويا Hand-Held تطبق أسلوب المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة في تحديد المواقع.

علي الجاني الآخر فإن 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 ± 6 متر (عند انحراف معياري 1σ أي بنسبة احتمال تبلغ ٦٨.٣%) و ± 19 متر (عند انحراف معياري 3σ أي بنسبة احتمال تبلغ ٩٩.٧%) للإحداثيات الأفقية ،

بينما ستكون الدقة أكبر من هذه الحدود في الاحداثي الرأسي (من ± 11 إلى ± 42 متر) ¹. 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 يسمى 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.

٤-٣ 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 فإن العدد الصحيح للموجات الكاملة ويسمى الغموض الصحيح Integer Ambiguity أو اختصارا الغموض (N') Ambiguity يتم اعتباره قيمة مجهولة مطلوب حسابها أثناء إجراء حسابات تحديد المواقع (شكل ٤-٤ وشكل ٤-٥).

فرق الطور Φ_B عند جهاز الاستقبال B هو الفرق بين طور الإشارة الملتقطة من القمر الصناعي Φ_{CR} و طور الإشارة الثابتة المولدة في جهاز الاستقبال Φ_0 :

$$\Phi_B = \Phi_{CR} - \Phi_0 \quad (4-3)$$

والذي يمكن كتابته بصورة أخرى كالآتي:

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

حيث:

X_i متجه vector موقع القمر الصناعي

X_B متجه vector موقع جهاز الاستقبال

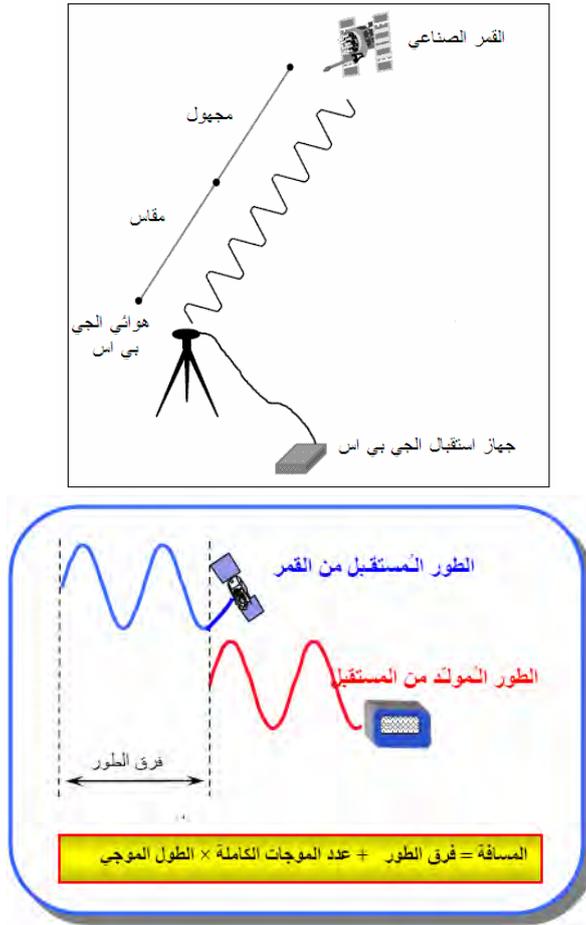
λ' طول الموجة الحاملة (١٩ سم للموجة الأولى L1 ، ٢٤ سم للموجة الثانية L2).

c سرعة الضوء.

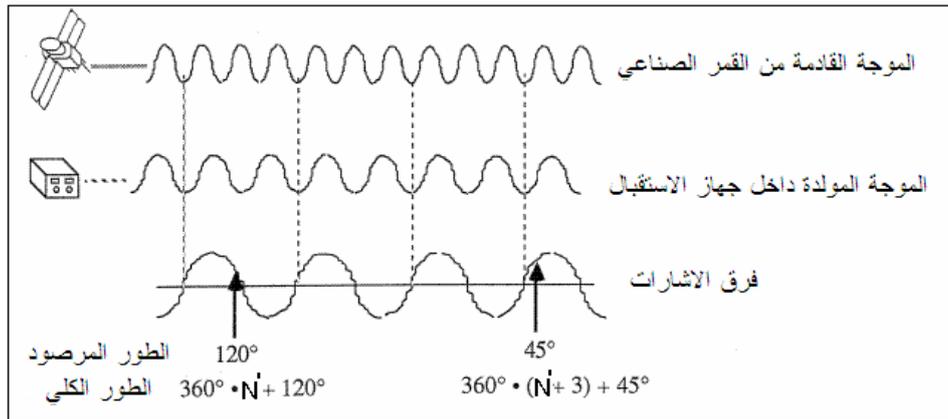
dt_U خطأ التزامن بين زمن نظام الجي بي أس و ساعة جهاز الاستقبال.

N' هو الغموض أو عدد الموجات الصحيحة.

¹ US Army Corps of Engineering, 2003, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.



شكل ٤-٤
أرصاد فرق طور الموجة الحاملة



شكل ٤-٥
كيفية قياس فرق طور الموجة الحاملة

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

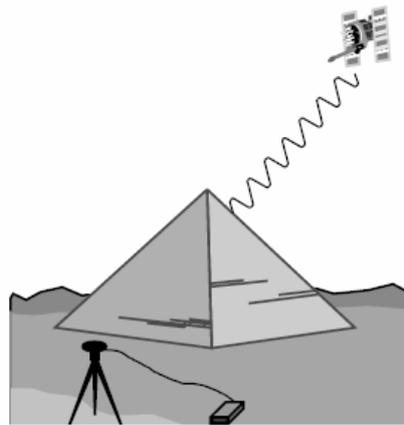
$$\Phi_{CR} = (2\pi / \lambda) (| X_i - X_B | - N'_{Bi} \lambda' + c dt_U) + \delta \quad (4-5)$$

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

من عيوبها 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 فإن سعر جهاز الاستقبال سيكون غالبا مقارنة بأجهزة قياس المسافات الكاذبة. ومن هنا فإن أجهزة الاستقبال الملاحية Navigation أو المحمولة يدويا Hand-Held لا تطبق هذا الأسلوب ، إنما هو فقط مطبق في تحديد المواقع باستخدام الأجهزة الجيوديسية.

علي الجانب الآخر فإن 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 $= (360/2)$ من طول الموجة ، فمثلا طول موجة التردد الأول $L1 = 19$ سنتيمتر ، مما يسمح لنا بقياس مسافات تصل إلي 1 ملليمتر. وبالطبع فإن هذا المستوى العالي من الدقة في تحديد المواقع مناسبة للأعمال المساحية و الجيوديسية.

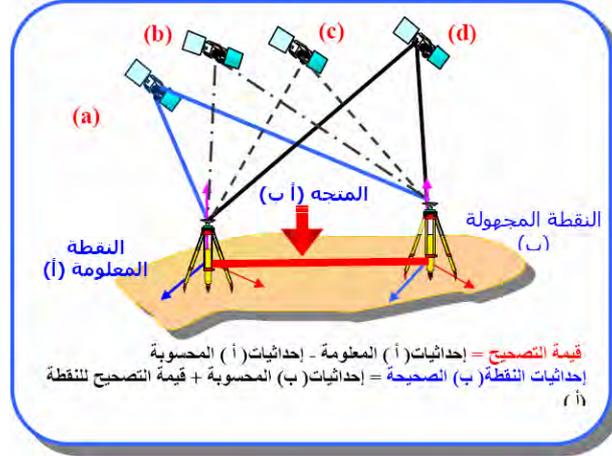
أيضا من المشكلات التي تواجه عملية تحديد المواقع باستخدام فرق طور الموجة الحاملة: تحديد قيمة الغموض المجهول N' وأيضا تأثير مصادر الأخطاء الأخرى δ في المعادلة (٤-٥). كما أن الغموض سيظل ثابت القيمة طالما أستمر جهاز الجي بي أس في استقبال الموجة القادمة من هذا القمر الصناعي ، بينما إذا أنقطع هذا الاستقبال (بسبب أي عوائق منعت من الوصول لجهاز الاستقبال) فإن قيمة الغموض N' ستتغير وتصبح مجهول جديد عند عودة الاستقبال مرة أخرى. وهذه الحالة هي ما يطلق عليها "خطأ تغير الدورة Cycle Slip" (شكل ٤-٦).



شكل ٤-٦
خطأ تغير الدورة

² Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

لذلك لجأ علماء الجيوديسيا إلى 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 (ΔX , ΔY , ΔZ) 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 ٧-٤).³



شكل ٧-٤
التحديد النسبي للمواقع

٤-٤ مبدأ الفروقات في مرحلة الحسابات:

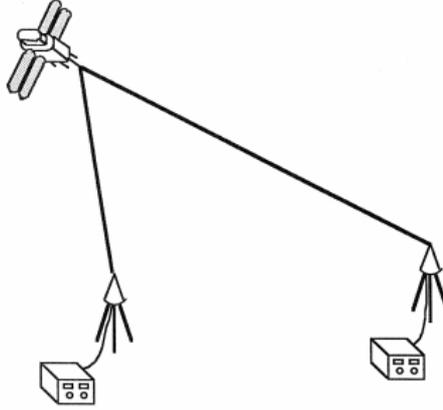
يمكن تقسيم مصادر الأخطاء التي تؤثر علي أرصاد الجي بي أس (وبالتالي دقة تحديد المواقع) إلى ثلاثة مجموعات: أخطاء الأقمار الصناعية ، أخطاء أجهزة الاستقبال ، أخطاء تأثير الغلاف الجوي والأخطاء العشوائية. فإذا أخذنا أخطاء الأقمار الصناعية كمثال: إذا كان لدينا جهازي استقبال يرصدان نفس القمر الصناعي في نفس اللحظة 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 إلى هذين الجهازين الأرضيين. وبالتالي فإذا طرحنا الأرصاد (المعادلتين) عند كلا الجهازين فأننا سنقل 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 الأولى ولا X_2, Y_2, Z_2 للنقطة الثانية - لكن الفرق بينهما (ΔX , ΔY , ΔZ) ، ومن هنا جاءت تسمية التحديد "النسبي" للمواقع. هذا المبدأ أو الحل يطلق عليه اسم الفرق (أو التفاضل في بعض الترجمات⁴) الأحادي بين المستقبلات Between-Receiver Single Difference (شكل ٨-٤).⁵

³ المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، ١٤٢٦ هـ ، النظام الكوني لتحديد المواقع ، مقرر دراسي لطلاب المعاهد الثانوية الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

⁴ سمونة ، محمد علي ، ٢٠٠٥ ، نظام تحديد المواقع العالمي ، مقرر الجيوديسيا الفضائية لطلاب الدبلوم بجامعة الملك سعود بالرياض ، المملكة العربية السعودية ، صفحة:

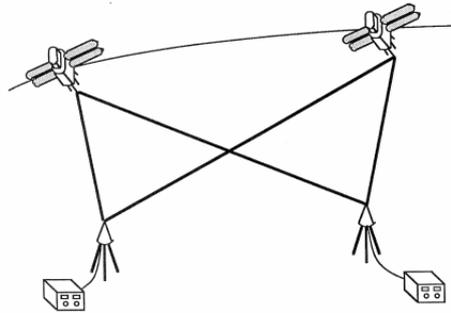
http://faculty.ksu.edu.sa/hbilani/SE412ppt%20presentations/diplome_6.ppt#257.1

⁵ Wells, D., Beck, N., Delikaraoglou, D., Kleusberg, A., Krakiwsky, E., Lacgabelle, G., Langley, R., Nakiboglu, M., Schwarz, K.,



شكل ٨-٤
الفرق الأحادي بين المستقبالات

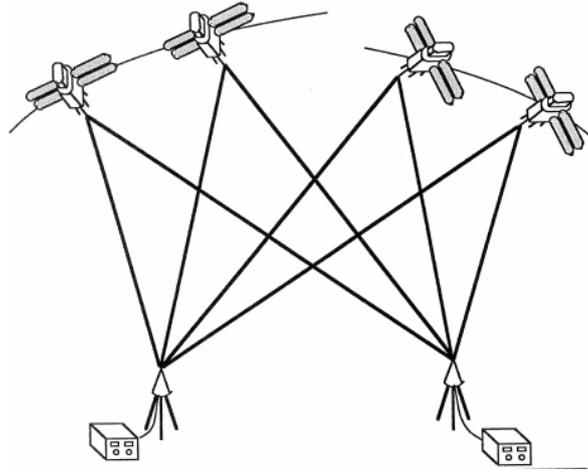
بنفس المبدأ يمكن تطوير نوع آخر من الفروقات (أثناء عملية حسابات أرصاد الجي بي أس اللحظة. بعد تكوين معادلة الفرق الأحادي بين المستقبالات لكلا نقطتي الرصد مع القمر الصناعي الأول ، نقوم بتكوين معادلة الفرق الأحادي بين المستقبالات لكلا نقطتي الرصد مع القمر الصناعي الثاني. وبعد ذلك نطرح كلتا الفرقين الأحاديين من بعضهما فنتنتج لنا معادلة ما يسمى بالفرق الثنائي Double Difference (شكل ٩-٤). يتميز الفرق الثنائي أنه يزيل (أو يقلل بنسبة كبيرة) من أخطاء الأقمار الصناعية و تأثير الغلاف الجوي (مثل الفرق الأحادي) بالإضافة إلى أخطاء ساعات أو زمن أجهزة المستقبالات أيضا.



شكل ٩-٤
الفرق الثنائي

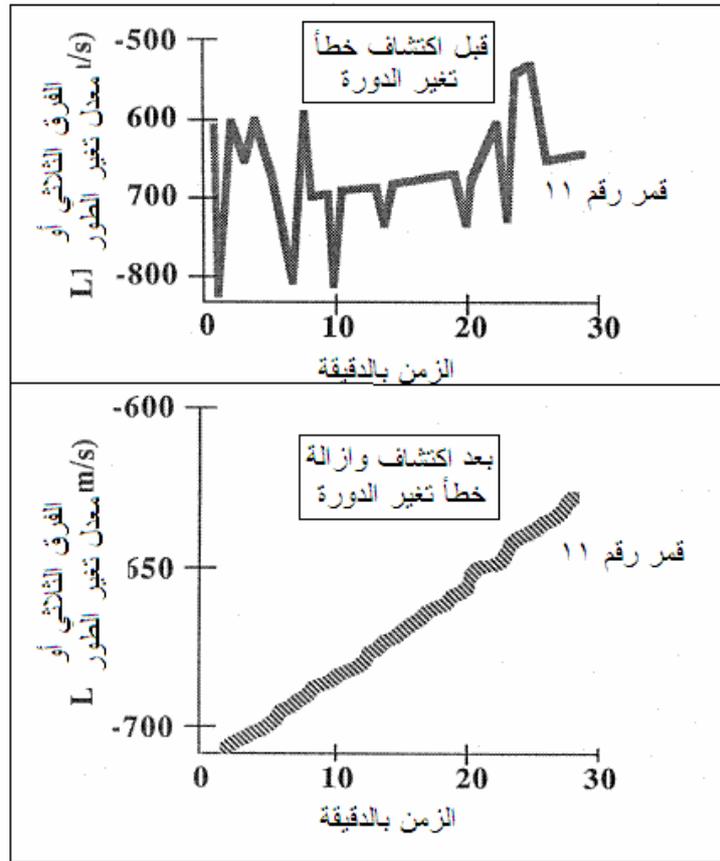
يأتي الفرق الثلاثي Triple Difference كأحد أساليب الفروقات الهامة في حسابات أرصاد الجي بي أس (شكل ١٠-٤) ، والذي يقوم علي مبدأ طرح معادلتين فرق ثنائي من بعضهم البعض ، أي حالة جهازين استقبال يرصدان نفس القمرين الصناعيين في لحظة رصد متتاليتين (وليس لحظة رصد واحدة مثل حالة الفرق الثنائي).

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.



شكل ١٠-٤
الفرق الثلاثي

تتبع 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) فإن 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 أخرى. ومن هنا فإن 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 أخرى (شكل ١٠-٤).



شكل ١١-٤
خطأ تغيير الدورة في الفرق الثلاثي

٤-٥ الحسابات المبدئية لأرصاد الجي بي أس:

يعتقد العديد من مستخدمي نظام الجي بي أس - في البلاد العربية - أن برامج الحسابات Data Processing Software التي تأتي مع الأجهزة تكون تامة و مناسبة لكل مراحل الحسابات دون أي حاجة للمستخدم أن يعرف كيف تمت هذه الحسابات. ومن هنا فيلجأ بعضهم إلي ما يسمى الحساب الآلي Auto-Processing - وهو وظيفة في هذه البرامج لتنفيذ الحسابات آلياً - 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. وستعرض هنا لبعض أمثلة يجب أخذها في الاعتبار.

حتى الآن فإن 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 أعلي 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 خطأ 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 فإن 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 الترددتين 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 للترددتين الأصليين أو الحقيقيين) مما يسمح بسهولة تحديد قيمة الغموض **Ambiguity**.

عند تحديد قيمة الغموض يقوم برنامج الحساب بعدد من تكرارات الحل **Iterations** للوصول إلي العدد الصحيح من الدورات الكاملة الذي يعبر عن قيمة هذا الخطأ. بالطبع فإن الحل الرياضي لا يصل إلي عدد صحيح **Integer** لكن إذا كانت جودة الحل عالية فإن أقرب عدد صحيح سيكون هو القيمة المناسبة للغموض. مثلا: إذا كان أحسن الحل لعدد الدورات الكاملة = ٨٥٦.٦ دورة فإن أحسن قيمة للغموض (والتي يجب أن تكون عددا صحيحا) ستكون ٨٥٧ دورة. السؤال الآن هو كيف سيحدد البرنامج "أحسن" حل من هذه الحلول أو التكرارات؟ يتم ذلك عن طريق معاملات إحصائية تقييم جودة كل حل أو تكرار **iteration** حتى يمكن تحديد أي الحل 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 فإن أفضل الحل يطلق عليه مصطلح الحل غير الثابت **Float Solution**. وبالطبع فإن 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 الحل أو أدق قيمة لفرق إحداثيات النقطة 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 نعلم عليه في حساب الإحداثيات لاحقا. من هنا تأتي أهمية أن يلم مستخدم الجي بي أس (وخاصة للتطبيقات المساحية و الجيوديسية) بأنواع الحل 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 و أدق قيم إحداثيات للنقاط المرصودة بنظام الجي بي أس.

الفصل الخامس طرق الرصد

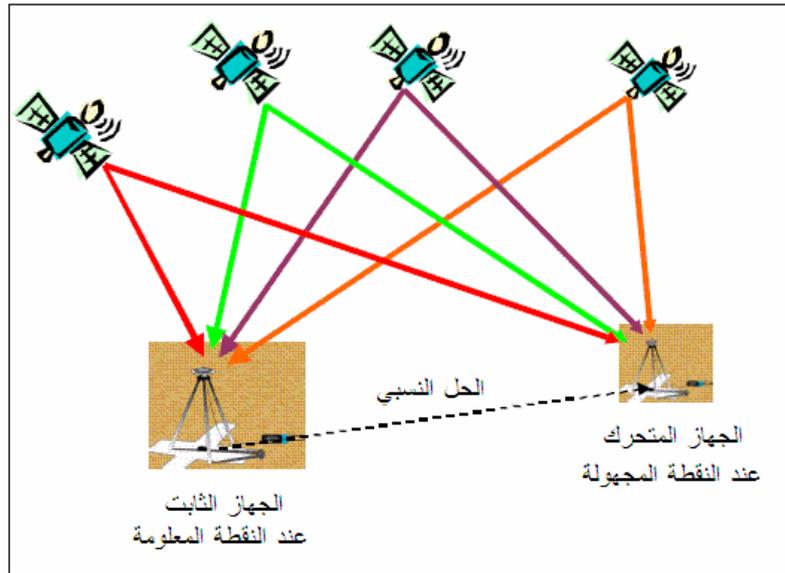
١-٥ مقدمة:

لتحديد إحداثيات موقع أو نقطة معينة يكفي استخدام جهاز استقبال واحد يقوم باستقبال الموجات المرسلية 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 مناسباً للتطبيقات الملاحية وبعض تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية أو للخرائط ذات مقياس الرسم الصغير ، لكنه بالطبع لن يكون مناسباً للتطبيقات المساحية و الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية في تحديد المواقع.

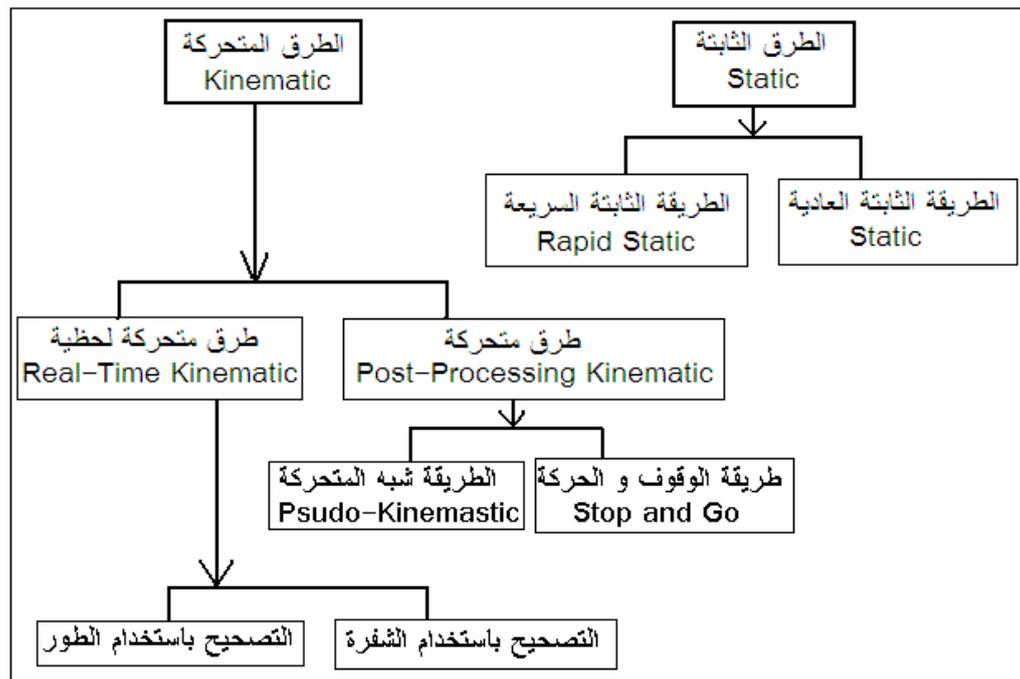
تتعدد طرق الرصد المساحية بنظام الجي بي أس بطريقة كبيرة بناء على عدة عوامل مثل عدد أجهزة الاستقبال المتوفرة و الدقة المطلوبة أو طبيعة المشروع. يجب علي مستخدم الجي بي أس أن يلم بمميزات و عيوب كل طريقة قبل أن يقرر الطريقة التي يتبعها في مشروع معين.

تعتمد الطرق المساحية لتجميع أرصاد الجي بي أس علي أسلوب الرصد النسبي أو الرصد التفاضلي **Relative or Differential** حيث يكون هناك جهازي استقبال (شكل ١-٥) أحدهما يسمى القاعدة **Base Receiver** أو الجهاز المرجعي **Reference Receiver** موجودا علي نقطة مساحية معلومة الإحداثيات ، بينما الجهاز الثاني يسمى المتحرك **Rover Receiver** وهو الذي يتولي رصد النقاط المطلوب تحديد موقعها ، ويقوم كلا الجهازين برصد الأقمار الصناعية آنياً **simultaneously** في نفس 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 لحظياً في الموقع (نسميها التصحيح اللحظي **Real-Time**). وتجدر الإشارة إلي أن الحل الناتج من هذه الطرق يكون حلاً نسبياً - أي فرق الإحداثيات - بين النقطة المعلومة و النقطة المجهولة ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) والذي سيضاف إلي إحداثيات النقطة المعلومة ليتمكننا حساب إحداثيات النقطة المجهولة.

بصفة عامة يمكن تقسيم طرق الرصد إلي مجموعتين رئيسيتين (شكل ١-٥): الطرق الثابتة **Static** - ومنها الطريقة التقليدية و الطريقة السريعة - والطرق المتحركة **Kinematic** ومنها طرق تعتمد علي الحساب اللاحق و أخرى 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. وسنستعرض مواصفات و مميزات طرق الرصد في هذا الفصل.



شكل ١-٥ مبدأ الرصد النسبي لأرصاد الجي بي أس



شكل ٢-٥ طرق رصد الجي بي أس

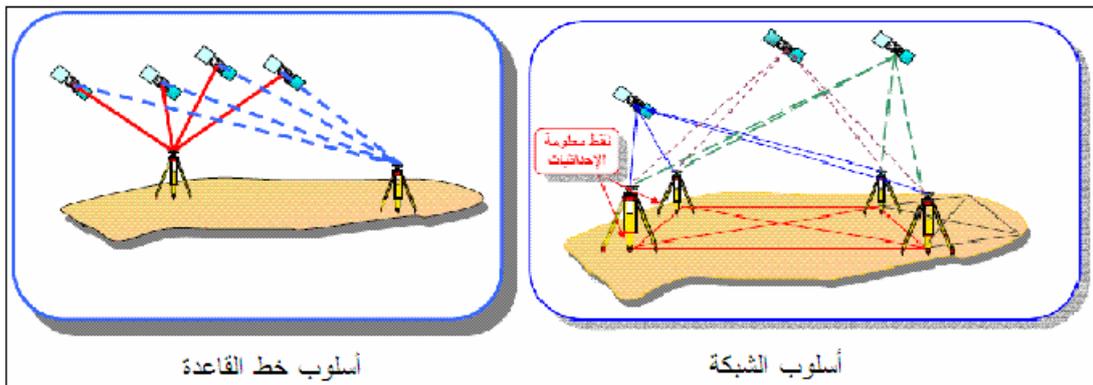
٢-٥ طرق الرصد الثابتة Static:

تعد طرق الرصد الثابتة 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 أخرى (أو تعديل لها) سميت بالرصد الثابت السريع.

١-٢-٥ طريقة الرصد الثابت التقليدي Static:

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) رسده كل ١٥-٢٠ ثانية.

توجد عدة أساليب لتجميع البيانات تعتمد علي عدد أجهزة الاستقبال المتوفرة^١. إذا لم يتوفر إلا جهازين استقبال فقط فيتم العمل بأسلوب خط القاعدة Base Line حيث يوضع الجهاز الثابت أعلى النقطة المعلوم و الجهاز الآخر أعلى 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 اثنين أحيانا) فوق النقطة (أو النقطتين) المعلومتين بينما توضع باقي الأجهزة علي النقاط المجهولة (شكل ٣-٥).



شكل ٣-٥
أساليب الرصد الثابت التقليدي

¹ Nassar, M., 1994, Advanced geometric geodesy, Lecture notes, Faculty of Engineering, Ain Shams University, Cairo, Egypt.

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 نسبياً (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 (أنظر ٤-٥). أما للخطوط الطويلة جداً (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 ± ١ جزء من المليون (ppm) أي ٥ ملليمتر + ملليمتر لكل واحد كيلومتر من طول خط القاعدة. كمثال: لخط قاعدة طوله ٢٠ كيلومتر ، فإن الدقة المتوقعة = $٥ + ٢٠ = ٢٥ \pm$ ملليمتر. تجدر الإشارة إلي أنه يمكن الوصول لدقة أحسن من هذا المستوي العام باستخدام أجهزة جيوديسية حديثة وأيضاً باستخدام مدارات أكثر دقة للأقمار الصناعية (أنظر الجزء ٩-٢).

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 (الروابط موجودة في ملحق المكتبة الرقمية المساحية). أما في الدول العربية فلا توجد مواصفات فنية منشورة أو متاحة ، وان كانت هناك دراسة^٢ عن مواصفات جيوديسية مصرية مقترحة (مترجمة في أحد الملاحق في نهاية هذا الكتاب) وتم فعلاً تطبيقها في بعض مشروعات الجي بي أس في مصر^٣.

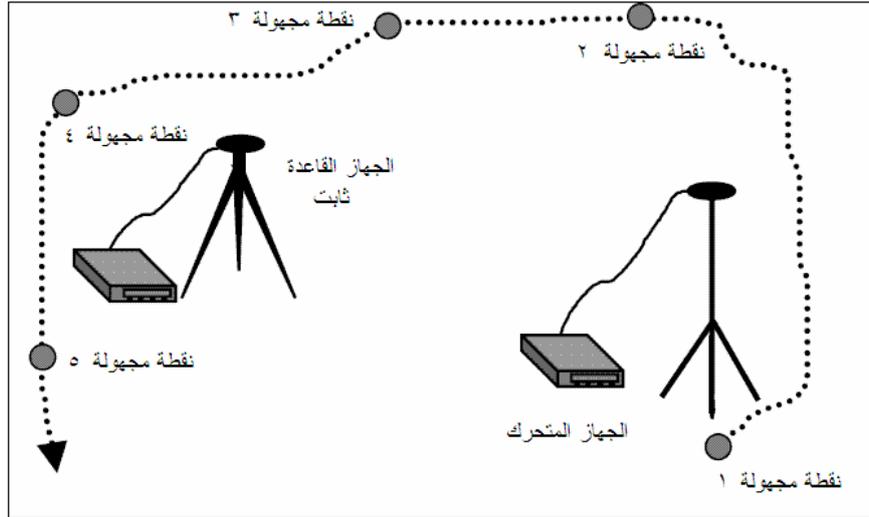
٢-٢-٥ طريقة الرصد الثابت السريع **Rapid Static**:

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 مستمراً 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** (شكل ٤-٥). 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. وأيضاً يتم نقل الأرصاد من كلا الجهازين إلي الحاسب الآلي لإجراء عمليات الحسابات و استنتاج إحداثيات النقاط المجهولة التي تم رصدها.

² Dawod, G., 2003b, Proposed standards and specifications for GPS geodetic surveys in Egypt, Water Science Magazine, No. 33, April. pp. 33-39.

³ Dawod, G., and Abdel-Aziz, T., 2003, Establishment of precise geodetic control networks for updating the River Nile maps, Proceedings of Al-Azhar Engineering Seventh International Conference (CD No. 3), Al-Azhar University, Cairo, April 7-10.

⁴ Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.



شكل ٥-٤
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 وعلى الجانب الآخر فإن الدقة المتوقعة لهذه الطريقة (١٠ ملليمتر \pm ١ ppm) لا تصل لنفس مستوي دقة طريقة الرصد الثابت التقليدية مما يجعلها غير مطبقة في الأعمال الجيوديسية الدقيقة.

٣-٥ طرق الرصد المتحركة Kinematic:

تعتمد فكرة الرصد المتحرك 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.

١-٣-٥ طرق الرصد المتحرك والحساب لاحقا:

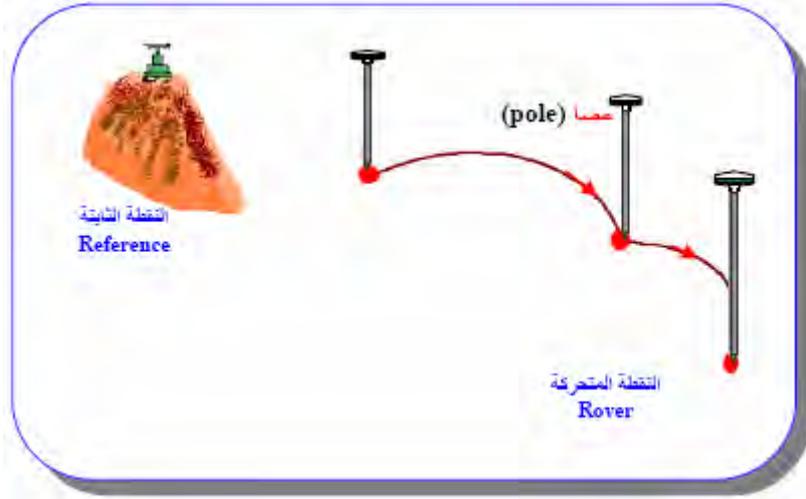
في هذه النوعية من أساليب الرصد المتحرك يتم الاعتماد علي أن التصحيحات - التي يقوم بحسابها الجهاز المثبت فوق النقطة المعلومة - سيتم نقلها إلي أرساد الأجهزة المتحركة عن طريق برنامج الحساب software في الحاسب الآلي بعد انتهاء الأعمال الحقلية. أي أن حساب إحداثيات النقاط المرصودة سيكون في المكتب أو Post-Processing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

⁵ الربيش ، محمد بن حجيلان ، ١٤٢٠ هـ ، النظام الكوني لتحديد المواقع ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

يتوقف جهاز للاستقبال لمدة ٥-١٠ دقائق يجمع فيها عدد من أرصاد الأقمار الصناعية يسمح بحساب قيمة الغموض **Ambiguity** ، وتسمى هذه الخطوة: الإعداد **Initialization**. ثم يبدأ التحرك إلى النقطة الثانية ثم الثالثة وهكذا وهو مستمر في تجميع الأرصاد. طالما لم ينقطع الاتصال (استمرارية استقبال الموجات) بين المستقبل والأقمار الصناعية فتستمر حركة الجهاز ، إما إذا انقطع 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 التقصيلي 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 وأحدث 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 تكفي 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 لأخري (يسمى الحل الطائر **On-The-Fly** أو اختصارا **OFT**). أيضا في هذه الطريقة يتم ضبط جهاز الاستقبال بحيث يسجل الأرصاد أليا 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. كمثال تم تطبيق هذه الطريقة في عام ١٩٩٩ في مصر لإنشاء خرائط كنتورية لمنطقة في جنوب مصر (توشكي) تبلغ مساحتها ٧٥٠٠٠ فدان (الفدان = ٤٢٠٠ متر مربع) وتم انجاز العمل في مدة لم تتجاوز الشهرين و بتكلفة مادية أقل بنسبة ٧٥% من تكلفة استخدام طرق المساحة الأرضية^٦.



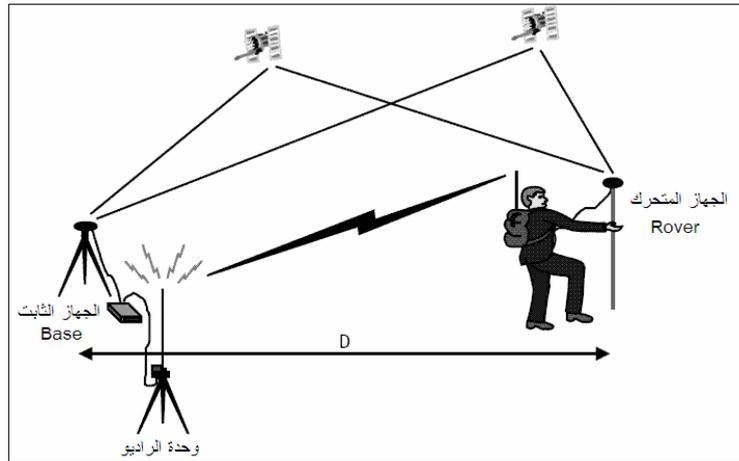
شكل ٥-٥
طريقة الذهاب و التوقف

⁶ Alnaggar, D., and Dawod, G., 1999, Efficiency of GPS techniques in national applications, Proceedings of the International Conference on Integrated Management of Water Resources in the 21st Century, Cairo, November 21-25, Volume II, pp. 741-752.

٢-٣-٥ 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 بدوره يكون متصل بجهاز راديو لاسلكي آخر (شكل ٥-٦). 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 فإن 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 فإن الطريقة تسمي الرصد المتحرك اللحظي Real-Time Kinematic أو اختصارا RTK. وكما سبق الإشارة فإن 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^٧. ولذلك فإن طرق الرصد التفاضلي تستخدم في التطبيقات الملاحية و نظم المعلومات الجغرافية بينما طريقة الرصد المتحرك اللحظي هي المطبقة في الأعمال المساحية.



شكل ٥-٦

طريقة الرصد المتحرك اللحظي

⁷ Al-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, Inc., Boston, USA.

٤-٥ مقارنة بين طرق الرصد المختلفة:

إذا أخذنا عامل الدقة كمقياس للمقارنة بين طرق الرصد في نظام الجي بي أس فإن أعلى هذه الطرق دقة هي طريقة الرصد الثابت التقليدية. أما إذا أخذنا العامل الاقتصادي فإن طرق الرصد المتحرك تقلل بنسبة كبيرة من الزمن اللازم لتجميع القياسات الحقلية مما يجعلها أرخص تكلفة من الطرق الثابتة. لكن هناك عوامل أخرى 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 أخرى 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 فإن 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 – فإن 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 ١-٥^٨ و ٢-٥^٩ يقدمان مقارنة سريعة بين الطرق المختلفة للرصد باستخدام نظام الجي بي أس.

^٨ US Army Corps of Engineering, 2003, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.

^٩ المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، ١٤٢٦ هـ ، النظام الكونوي لتحديد المواقع ، مقرر دراسي لطلاب المعاهد الثانوية الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

جدول ١-٥
مقارنة بين طرق الرصد المختلفة

الطريقة	الاحتياجات	التطبيقات	الدقة
الرصد الثابت التقليدي	- أجهزة استقبال أحادية أو ثنائية التردد. - فترة رصد من ٣٠ دقيقة إلى ساعة على الأقل.	المساحة الجيوديسية عالية الدقة.	مليمترات.
الرصد الثابت السريع	- أجهزة استقبال أحادية أو ثنائية التردد. - فترة رصد ٥-٢٠ دقيقة.	المساحة الأرضية والمساحة الجيوديسية متوسطة الدقة.	مليمترات إلى 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.

جدول ٥-٢
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	٥ - ٠.٥ ثانية	٢-٥ سنتيمتر + ٢ جزء من المليون.
التحرك اللحظي	٥-٣٠ ثانية تبعا لحاجة العمل.	٢ سنتيمتر + ٢ جزء من المليون.

الفصل السادس ضبط شبكات الجي بي أس

٦-١ مقدمة:

ضبط الأرصاد أو القياسات Adjustment هو عملية رياضية و إحصائية تهدف للوصول لأحسن أو أدق القيم المحسوبة التي تعد تقديرا دقيقا Estimate للقيم الحقيقية لهذه القياسات. ومن هنا فإن عملية الضبط تعد من أهم خطوات العمل المساحي و الجيوديسي لضمان الوصول إلي أدق الإحداثيات التي تعبر عن حقيقة المواقع علي سطح الأرض. كمثال بسيط: إذا قسنا زاوية معينة ٣ مرات ، فأبي هذه القياسات هي الأحسن أو الأدق؟ بالطبع سنجيب أن متوسط القيم الثلاثة سيكون هو الأفضل. نعم ، لكننا هنا نكون قد أجرينا فعلا عملية ضبط Adjustment واستخدمنا معادلة رياضية (حساب المتوسط) كأساس للوصول لقيمة يمكن اعتمادها كأحسن التقديرات لهذه الزاوية. من هنا فإن عملية ضبط الأرصاد تطبق في العمل المساحي منذ عدة قرون ، ويجب الإلمام بمبادئها الأساسية لكل متخصص في الهندسة المساحية بكافة أفرعها.

تتعدد طرق ضبط الأرصاد بكثرة إلا أن طريقة مجموع أقل المربعات Least-Squares Adjustment تعد هي الأشهر و الأكثر تطبيقا في مجال المساحة و الجيوديسيا علي مر العقود. ربما يعود أول عمل منشور عن نظرية أقل المربعات إلي نهاية القرن الثامن عشر الميلادي عندما بدأ العالم لابلاس Laplace في تأسيس هذه الطريقة ، إلا أن أول مقال منشور عنها كان في عام ١٨٠٥ بواسطة العالم لاجندر Legendre وتأصلت الطريقة و تطورت أساسياتها كثيرا علي يد العالم جاوس الذي أستخدمها بكثافة أثناء دراساته في جامعة جوتنبرج في عام ١٧٩٤ ولذلك فهو يعد من مؤسسي طريقة أقل المربعات حتى و إن لم ينشر عنها حتى عام ١٨٠٩^١. ومع ظهور تقنية الجي بي أس فقد استخدمت طريقة مجموع أقل المربعات بكثافة في ضبط الأرصاد و الشبكات التي تعتمد علي هذه التقنية أيضا^٢. وسنستعرض هنا ملخصا بسيطا عن هذه الطريقة و تطبيقاتها في ضبط أرصاد و شبكات الجي بي أس.

٦-٢ طريقة مجموع أقل المربعات:

عند رصد قيمة معينة (مسافة أو زاوية مثلا) – نرمز لها بالرمز Z مثلا - عدد من المرات فسينتج لنا القياسات – أو الأرصاد – $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$ حيث n عدد مرات القياس. لنفترض أننا بصورة أو بأخرى قد قمنا بحساب تقدير Estimate لهذه القيمة Z ولنرمز له بالرمز Z' ، وبعد ذلك قمنا بحساب المتبقيات (أو البواقي أو القيم المتبقية) residuals وهي الفروقات بين القيمة المقدرة Z' وكل قياس من القياسات ، أي:

$$V_1 = Z' - Z_1 , V_2 = Z' - Z_2 , \dots, V_n = Z' - Z_n$$

¹ Ghilani, C., and Wolf, P., 2006, Adjustment computations: Spatial data analysis, Forth edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA.

² Dawod, G., 1991, Some considerations in the adjustment of GPS-derived baselines in the network mode, MSC Thesis, Geodetic science and surveying department, The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA.

ثم قمنا بحساب مربعات هذه المتبقيات ، أي $v_1^2, v_2^2, \dots, v_n^2$ ، ثم حسبنا مجموع كل هذه القيم لمربعات المتبقيات ، أي $v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2$ ولنرمز لهذا المجموع بالرمز Q. الآن نعود للسؤال الأول: كيف تم حساب القيمة المقدرة Z'؟ وهل هذا التقدير هو أحسن التقديرات Best Estimates للقيمة الحقيقية (المجهولة) Z؟ المبدأ الذي تقوم عليه نظرية مجموع أقل المربعات هو أن حساب القيمة المقدرة Z' يعتمد علي تحقيق شرط أنها تؤدي إلي أقل قيمة لـ Q ، أي أقل قيمة لمجموع مربعات المتبقيات:

$$\Sigma (v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2) = \text{minimum} \quad (6-1)$$

ومن هنا جاء أسم الطريقة.

لكن هل جميع القياسات التي قمنا بها $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$ لها نفس درجة الصحة precision؟ أي هل يمكننا اعتبار أن كل القياسات لها نفس الأهمية بنفس القيمة؟ في العمل المساحي عامة فأنا نفرق بين قياس و آخر (لنفس الهدف) باختلاف دقة الجهاز و دقة الراصد و اختلاف الظروف الجوية أثناء الرصد ... الخ ، بما لا يمكننا أن نتعامل مع جميع الأرصاد بنفس الطريقة. ومن هنا فأنا نعطي كل قياس "وزن weight" يعبر عن مقدار ثقتنا في هذه الرصدة. مثال: للزوايا المقاسه بالثيودوليت أو المحطة الشاملة فو كانت الرصدة الأولى تمت بجهاز دقته "١" فنعطيهها وزن أكبر من الرصدة الثانية التي أستخدم فيها جهاز دقته "٣". ومن ثم يتطور المبدأ الذي تعتمد عليه نظرية أقل المربعات (المعادلة ٦-١) إلي صورة تأخذ وزن كل قياس في الاعتبار (لنرمز بالوزن بالرمز w لكل قياس ليصبح لدينا مجموعة من الأوزان: w_1, w_2, \dots, w_n) ، وبذلك تتغير المعادلة ٦-١ لتصبح:

$$\Sigma (w_1v_1^2 + w_2v_2^2 + \dots + w_nv_n^2) = \text{minimum} \quad (6-2)$$

وهو ما يطلق عليه طريقة مجموع أقل المربعات الموزونة Weighted Least-Squares Adjustment وهي الحالة العامة لجميع التطبيقات المساحية و الجيوديسية^٣. وتوجد طريقتان لتكوين الأرصاد أو المعادلات التي ستستخدم في تنفيذ ضبط الأرصاد بنظرية مجموع أقل المربعات وهما^٤: طريقة معادلات الرصد Observation Equations وطريقة معادلات الاشتراطات Condition Equation ، والأولي هي الأكثر استخداما في التطبيقات الجيوديسية و سنستعرض خطواتها في الجزء التالي.

٦-٢-١ ضبط أقل المربعات باستخدام معادلات الأرصاد:

عند رصد خط قاعدة بالجي بي أس فإن الأرصاد – أو القياسات - الثلاثة هي $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ والقيم المجهولة ستكون إحداثيات النقطة الأولي X_1, Y_1, Z_1 و إحداثيات النقطة الثانية X_2, Y_2, Z_2 . أي أن معادلات الأرصاد ستكون:

³ Uotila, U., 1986, Notes on adjustment computations: Part I, Lecture notes, Geodetic science and surveying department, Ohio state university, Columbus, Ohio, USA.

⁴ Mikhail, E., 1976, Observations and least squares, University press of America, New York, USA.

$$\begin{aligned}\Delta X + v_X &= X_2 - X_1 \\ \Delta Y + v_Y &= Y_2 - Y_1 \\ \Delta Z + v_Z &= Z_2 - Z_1\end{aligned}\quad (6-3)$$

حيث v_X , v_Y , v_Z تمثل المتبقيات (أو تصحيح الأرصاد) في القياسات الثلاثة.

والتي يمكن إعادة ترتيب معاملاتها لتصبح:

$$\begin{aligned}v_X &= X_2 - X_1 - \Delta X \\ v_Y &= Y_2 - Y_1 - \Delta Y \\ v_Z &= Z_2 - Z_1 - \Delta Z\end{aligned}\quad (6-4)$$

المعادلة (٤-٦) يمكن كتابتها في صورة مصفوفات (أسهل في التعامل مع الكمبيوتر و برامج الحساب) كالآتي:

$$V_{n,1} = A_{n,n} X_{u,1} - L_{n,1}\quad (6-5)$$

حيث:

$V_{n,1}$ متجهه (عمود) المتبقيات vector of residuals ويتكون من n من الصفوف.
 $A_{n,n}$ مصفوفة المعاملات Matrix of Coefficients وتتكون من n من الصفوف و u من الأعمدة.

$X_{u,1}$ متجهه المجاهيل (القيم المجهولة) ويتكون من u من الصفوف.

$L_{n,1}$ متجهه الأرصاد vector of observations ويتكون من n من الصفوف.

n عدد الأرصاد.

u عدد المجاهيل.

وللتوضيح قليلا في المعادلة (٤-٦):

n عدد الأرصاد = ٣ $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$.
 u عدد المجاهيل = ٦ (ثلاثة إحداثيات لكل نقطة من نقطتي خط القاعدة).

$$V = \begin{vmatrix} v_X \\ v_Y \\ v_Z \end{vmatrix}$$

$$A = \begin{vmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$X = \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix}$$

$$L = \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}$$

هذه المتجهات و المصفوفات معلومة ماعدا المتجه X الذي يمثل القيم المجهولة (الإحداثيات) المطلوب إيجاد أحسن تقدير لها. فإذا طبقنا مبدأ أقل مجموع لمربعات المتبقيات (دون الدخول في تفاصيل استنباطه) فإن قيمة تقدير (حل) المتجه X ولنسميها X^{\wedge} هي:

$$X^{\wedge} = [A^T P A]^{-1} \cdot [A^T P L] \quad (6-6)$$

حيث:

الرمز T يدل علي مدور المصفوفة Matrix Transpose بينما الرمز -1 يدل علي مقلوب المصفوفة Matrix Inverse.
 P مصفوفة الأوزان Weight Matrix وتتكون من n من الصفوف و n من الأعمدة ، و كمثل:

$$P = \begin{pmatrix} p_1 & 0 & 0 \\ 0 & p_2 & 0 \\ 0 & 0 & p_3 \end{pmatrix}$$

حيث p_1, p_2, p_3 تمثل قيم الوزن لكل رصد (أو قياس) للأرصاء الثلاثة $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$.

أما مصفوفة جودة الحل Covariance Matrix (تعبر القيم علي المحور المائل للمصفوفة عن مربع الانحراف المعياري لكل قيم من قيم المتجه X^{\wedge}) ونرمز لها بالرمز Σ_x^{\wedge} ، فيتم حسابها من خلال المعادلة:

$$\Sigma_x^{\wedge} = \sigma_o^{\wedge 2} N^{-1} \quad (6-7)$$

حيث:

$\sigma_o^{\wedge 2}$ يسمى تقدير معامل التباين a posteriori variance factor ويحسب من خلال:

$$\sigma_o^{\wedge 2} = (V^T P V) / (n-u) \quad (6-8)$$

أما القيم المضبوطة للأرصاء الأصلية ذاتها - نرمز لها بالرمز L^{\wedge} - فيمكن حسابها كالآتي:

$$L^{\wedge} = L + V^{\wedge} \quad (6-9)$$

وتكون مصفوفة جودة الأرصاد المضبوطة كالآتي:

$$\Sigma_{L^{\wedge}} = \sigma_o^2 A [A^T P A]^{-1} A^T \quad (6-10)$$

أما المتبقيات المضبوطة Estimated Residuals فيتم حسابها من المعادلة:

$$V^{\wedge} = [A (A^T P A)^{-1} A^T P - I] L \quad (6-11)$$

وتكون مصفوفة جودة المتبقيات المضبوطة كالآتي:

$$\Sigma_{V^{\wedge}} = \sigma_o^2 [A (A^T P A)^{-1} A^T - P^{-1}] \quad (6-12)$$

٦-٢-٦ 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 لإحدهما عن الأخرى ، لكننا لا نعرف الموقع الحقيقي المطلق (الإحداثيات) لأحدي هاتين النقطتين علي الأقل. ومن هنا فإن عملية الضبط التي نجريها لن تنجح في حساب إحداثيات هذه الشبكة (رياضيا لن نتمكن من إيجاد مقلوب المصفوفة [ATPA] في المعادلة ٦-٦).

ترجع عيوب الشبكات Datum Defects إلي كبقية تحديد المرجع Datum الذي تنسب إليه هذه الأرصاد أو الشبكات. أو بمعنى 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 المثلاثات 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 المثلاثات مقاسة

الأضلاع Trilateration Network فتعاني من ٦ عيوب فقط حيث أن معامل القياس معلوم لأن 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 (ΔX , ΔY , ΔZ) تمكننا من حساب انحراف وطول هذا الخط:

$$\text{ظل (tan) انحراف الخط} = \Delta Y / \Delta X$$

$$\text{طول الخط} = \text{الجذر التربيعي} [\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2]$$

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 تسمى 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.

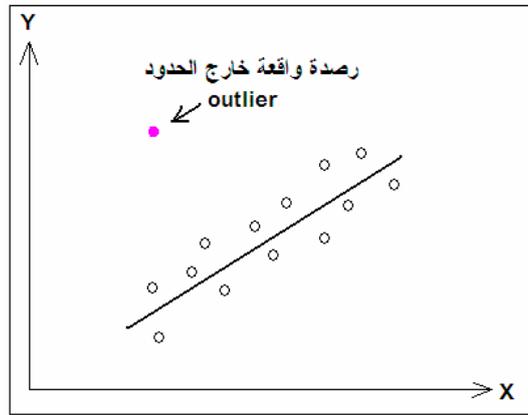
أما إذا كانت شبكة الجي بي أس المرصودة تحتوي علي أكثر من نقطة مرجعية معلومة الإحداثيات يتم تثبيت قيمهم أثناء عملية الضبط فتسمى هذه الحالة الضبط مع شروط خارجية أكثر من اللازم Over-Constraints Adjustment. وهي حالة غير مفضلة في الأحوال العادية لأنه في حالة وجود "عدم توافق" بين إحداثيات النقط المرجعية فإن 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.

٦-٣ 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 - فإنه سيؤثر بشدة علي جودة النتائج التي يتم حسابها °. ومن هنا فإن 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 أخرى.

⁵ Koch, K., 1988, Parameter estimation and hypothesis testing in linear models, Second Edition, Springer-Verlag, Berlin, Germany.

الأرصدة الواقعة خارج الحدود **Outliers** هي أرصاد أو قياسات تقع خارج حدود معينة (يتم حسابها) من مستويات الثقة (شكل ٦-١) ، وبالتالي فإنها 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 الأولى 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 الأولى فقط.



شكل ٦-١
الأرصدة 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 أخرى ، 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 تطبيقاً في برامج الحاسب الآلي، كما توجد عدة طرق أخرى^٦. وتتكون خطوات تحليل الأرصاد و نتائج الضبط من^٧ :

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

⁶ Lieck, A., 1995, GPS Satellite surveying, John Wiley & Sons Inc., New York, USA.

⁷ Alnaggar, D., and Dawod, G., 1995, Increasing the reliability of GPS geodetic networks, Proceedings of the First International Conference on Satellite Positioning Systems, Alexandria, Egypt, December 12-13.

- نعيد إجراء ضبط الشبكة مرة أخرى 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.
- نعلمت 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.

٦-٤ 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^٨.

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 فإن 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 التريبيعي 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 (أنظر الملحق رقم ٣).

أما المجال الثاني لتطبيق طريقة ضبط مجموع أقل المربعات فيكون في كيفية تنفيذ ضبط الشبكة بصورة جيدة للوصول لأدق الإحداثيات. وعمامة 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).

⁸ Ghilani, C., and Wolf, P., 2006, Adjustment computations: Spatial data analysis, Forth edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA.

الفصل السابع العمل المساحي بالجوي بي أس

١-٧ مقدمة:

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 بالجوي بي أس. علي الجانب الآخر فهناك خطوط عريضة يتم تطبيقها - بصورة أو بأخري - في أي عمل مساحي بالجوي بي أس بهدف التأكد من جودة خطوات العمل المكتبي و الحقلّي لضمان الوصول للدقة العالية المنشودة في تحديد المواقع وإنشاء الخرائط ، وهذا هو موضوع هذا الفصل.

٢-٧ التخطيط و التصميم:

إن تخطيط ما قبل العمل الحقلّي Pre-Planning واختيار مواقع النقاط واختيار الأجهزة المستخدمة و تصميم طريقة واليات الرصد لهو من العوامل الهامة التي تؤثر لاحقاً علي الدقة المستهدفة الوصول إليها و أيضاً تؤثر علي تكلفة المشروع بصفة عامة.

قبل البدء في مشروع الجي بي أس يجب أولاً تحديد عدة عوامل تشمل^{١ و ٢}:

- طبيعة المشروع و أهدافه.
- الدقة المطلوب تحقيقها أفقياً و رأسياً.
- عدد نقاط التحكم الأفقية و الرأسية المطلوب رصدها.
- المرجع الجيوديسي الذي ستنسب إليه الأرصاد.
- الأجهزة المتاحة و عددها و مواصفاتها.
- أنسب فترات الرصد الحقلّي.

١-٢-٧ أهداف المشروع و الدقة المطلوبة:

تختلف عوامل التخطيط و التصميم باختلاف طبيعة المشروع ذاته (إنشاء شبكات ثابتة 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 ٧-١ مواصفات الدقة المطلوبة في مشروعات أو تطبيقات مختلفة باستخدام الجي بي أس^٣ ، بينما

¹ المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، ١٤٢٦ هـ ، نظام تحديد المواقع العالمي ، مقرر دراسي لطلاب الكليات التقنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

² US Army Corps of Engineering, 2003, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.

³ حموي ، هيثم نوري ، ١٩٩٧ ، مدخل إلي جيوديسيا الأقمار الصناعية ومقدمة مسهبة في نظام التوضع العالمي، فيينا ، النمسا ، متاح في: <http://members.chello.at/hamoui> .

الجدول (٧-٢) يقدم مواصفات أخرى لحدود الدقة المطلوبة في مشروعات الهندسة المدنية و نظم المعلومات الجغرافية و إنتاج الخرائط^٤.

جدول ٧-١
الدقة المطلوبة لبعض التطبيقات المساحية للجوي بي أس

الدقة المتوقعة (متر)	الدقة النسبية المطلوبة	التطبيق
من ١ إلى ٥	1×10^{-4}	الاستكشاف و نظم المعلومات الجغرافية
من ٠.٢ إلى ١	1×10^{-5}	الخرائط الطبوغرافية صغيرة المقياس و أنظمة مراقبة المركبات
من ٠.٠١ إلى ٠.٢	من ٥ إلى 1×10^{-4}	الرفع المساحي متوسط الدقة والمسح العقاري
أقل من ٠.٠١ إلى ٠.٠٥	من 1×10^{-5} إلى 1×10^{-6}	الجيوديسيا وشبكات الثوابت الأرضية والرفع المساحي عالي الدقة
من ٠.٠٠١ إلى ٠.٠٢	1×10^{-7}	الجيوديسيا الديناميكية (مراقبة تحركات القشرة الأرضية مثلا) والعمل المساحي بدقة عالية جدا

جدول ٧-٢
الدقة المطلوبة للجوي بي أس في المشروعات المدنية

الدقة الرأسية (مم)	الدقة الأفقية (مم)	مقياس رسم الخريطة	نوع المشروع
٥٠	١٠٠	١ : ٥٠٠	مخططات مشروعات إنشائية
٥٠	١٠٠	١ : ٥٠٠	مخططات الخدمات السطحية و تحت السطحية
٥٠	٢٥	١ : ٥٠٠	رسومات إنشائية و تصميم مباني
٥٠	٢٥	١ : ٥٠٠	مخططات رصف الطرق
١٠٠	٢٥٠	١ : ٥٠٠	مخططات الحفر
١٠٠٠	١٠٠٠	١ : ٥٠٠٠	مخططات عامة لقرية أو حي
١٠٠	١٠٠	١ : ١٠٠٠	الرفع المساحي للخدمات الموجودة
غير مطلوب	١٠٠٠٠	١ : ٥٠٠٠	نظم معلومات جغرافية للمنازل و الخدمات
غير مطلوب	١٠٠٠٠	١ : ٥٠٠٠	خرائط و نظم معلومات جغرافية لتطبيقات بيئية
غير مطلوب	١٠٠٠٠	١ : ٥٠٠٠	خرائط و نظم معلومات جغرافية لخدمات الطوارئ
١٠٠	١٠٠٠٠	١ : ٥٠٠٠	خرائط مراقبة الفيضانات وجريان المياه السطحية
غير مطلوب	١٠٠٠٠	١ : ٥٠٠٠	خرائط تصنيف التربة و الجيولوجيا
غير مطلوب	١٠٠٠٠	١ : ٥٠٠٠	خرائط تصنيف الغطاء الأرضي
٢	١٠	مقياس كبير	مراقبة هبوط المنشآت

⁴ US Army Corps of Engineering, 2003, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.

٢-٢-٧ اختيار أجهزة الاستقبال وبرامج الحساب:

إن اختيار الأجهزة المتاحة للرصد (عددتها و نوعها) أيضا من أهم العوامل المؤثرة علي جودة المنتج النهائي لمشروعات الجبي 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 الجبي 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 الجبي 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 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، وأيضاً توافر الدعم الفني المستمر من قبل الشركة المورد.

في حالة الاعتماد علي الرصد المتحرك اللحظي RTK أو الجبي بي أس التفاضل DGPS فإن مواصفات وحدة الاستقبال اللاسلكي يجب أيضاً أن توضع في الاعتبار. فقدرة ومدى الجهاز في بث التصحيحات تؤثر علي اختيار مواقع و أيضاً عدد النقاط الثابتة التي ستستخدم في تنفيذ الرصد الحقلي. بعض أجهزة الراديو اللاسلكية توفر مدى 3-5 كيلومترات (أي ستطلب إنشاء عدد أكبر من نقاط الثوابت في منطقة العمل) بينما البعض الآخر قد يصل مداه إلي 30 كيلومتر.

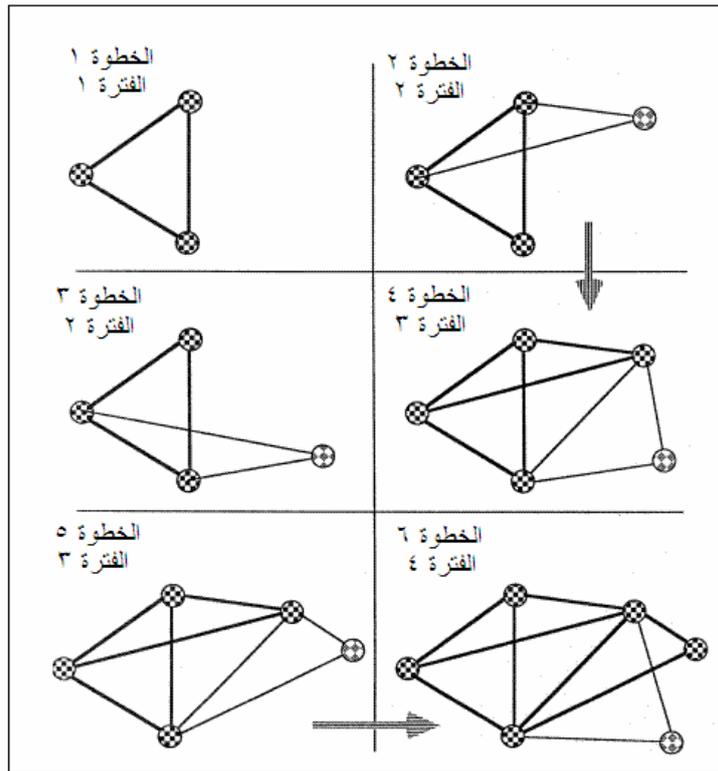
٧-٢-٣ تصميم خطة الرصد:

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 (شكل ٧-١) يقدم مخططاً لكيفية تحريك الأجهزة المتاحة (٣ مستقبلات) لرصد شبكة مكونة من ٦ نقاط أرضية^٥. تبدأ الخطوة الأولى - في التصميم - باستخدام المستقبلات الثلاثة لرصد النقاط ١ ، ٢ ، ٣. ثم هناك بديلين لإضافة النقطة الرابعة (الخطوة ٢ و الخطوة ٣) إلا أن الخطوة ٣ هي الأفضل ، ثم في الخطوة التالية يوجد بديلين أيضاً (الخطوة ٤ و الخطوة ٥) لرصد النقطة الخامسة حيث الخطوة ٥ تعد أفضل ، وفي آخر الخطوات يتم رصد النقطة السادسة. كما يقدم الشكل (٧-٢) مثلاً آخر لرصد ١٠ نقاط في ٧ فترات رصد مع تحقيق بعض الأرصاد المتكررة لضمان جودة الشبكة^٦.

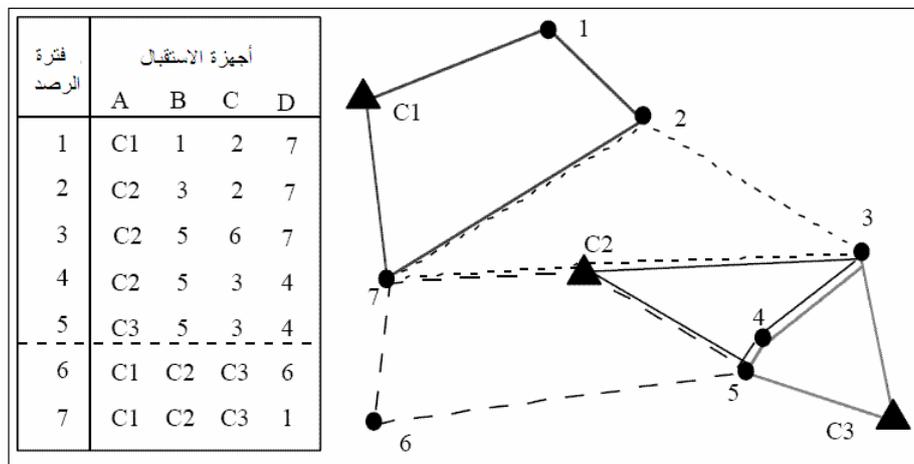
كما أن عدد الأجهزة المتاحة للاستخدام سيكون عاملاً مؤثراً في تكلفة المشروع ، فمع أن أجهزة الرصد الجيوديسية مازالت مرتفعة الثمن (من ١٠ إلي ٢٠ ألف دولار للجهاز الواحد طبقاً لمواصفاته و مشتلاته) إلا أن بعض التطبيقات عالية الدقة يجب أن يتوافر بها علي الأقل ٣-٤ أجهزة تعمل أنياً.

⁵ Wells, D., Beck, N., Delikaraoglou, D., Kleusberg, A., Krakiwsky, E., Lacgabelle, 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.

⁶ Natural Resources Canada, 1995, GPS positioning guide, Third Edition, Ottawa, Canada.



شكل ١-٧
مثال لتخطيط رصد شبكة جي بي أس



شكل ٢-٧
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 الحقلية. كما هو معروف أن أرصاد الجي بي 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 والتصميم لمشروع الجي بي 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 الحقلية^٧. 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).

٧-٢-٤ تصميم الربط علي شبكات التحكم:

توافر عدد من نقاط التحكم الرأسية المعلومة المنسوب **Vertical Control Points** مهم أيضا عند تحويل الارتفاعات الناتجة من أرصاد الجي بي بي أس (ارتفاعات جيوديسية) إلي مناسب 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 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 المناسب.

يعرض الجدول (٧-٣) مثال لمجموعة أخرى من المواصفات الجيوديسية فيما يتعلق بنقاط الضبط الأفقية و الرأسية المطلوبة عند إنشاء شبكة ثوابت بالجوي بي بي أس سواء بطريقة الرصد الثابت التقليدية أو الرصد الثابت السريع^٨ ، بينما يعرض الجدول (٧-٤) مجموعة أخرى من مواصفات تخطيط و رصد شبكة من الثوابت الأرضية باستخدام الرصد الثابت^٩.

⁷ Dawod, G., and Abdel-Aziz, T., 2003, Establishment of precise geodetic control networks for updating the River Nile maps, Proceedings of Al-Azhar Engineering Seventh International Conference (CD No. 3), Al-Azhar University, Cairo, April 7-10.

⁸ California Department of Transportation, 2006, Global Positioning System (GPS) survey specifications, California, USA.

⁹ US Army Corps of Engineering, 2003, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.

جدول ٣-٧
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
أقصى 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

جدول ٤-٧
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	٥٠-٢٠	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
أقصى عدد لخطوط القواعد في الحلقة الواحدة	١٠	٢٠-١٠	٢٠
أقصى محيط للحلقة الواحدة (كم)	١٠٠	٢٠٠-١٠٠	اختياري
أقصى خطأ قفل الحلقة (جزء من المليون ppm)	١٠	٥٠-٢٠	٢٠٠-١٠٠
عدد مرات قياس ارتفاع الهوائي/الجهاز في النقطة	٢	٢	٢
أجهزة جيوديسية ثنائية التردد لرصد الخطوط	نعم	لا	لا
أجهزة جيوديسية ثنائية التردد لرصد الخطوط أكبر من ٢٠ كم	نعم	نعم	نعم
زاوية القناع Mask Angle أثناء الرصد	٥١٥	٥١٥	٥١٥

٥-٢-٧ اختيار المرجع الجيوديسي 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 المسؤولة 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.

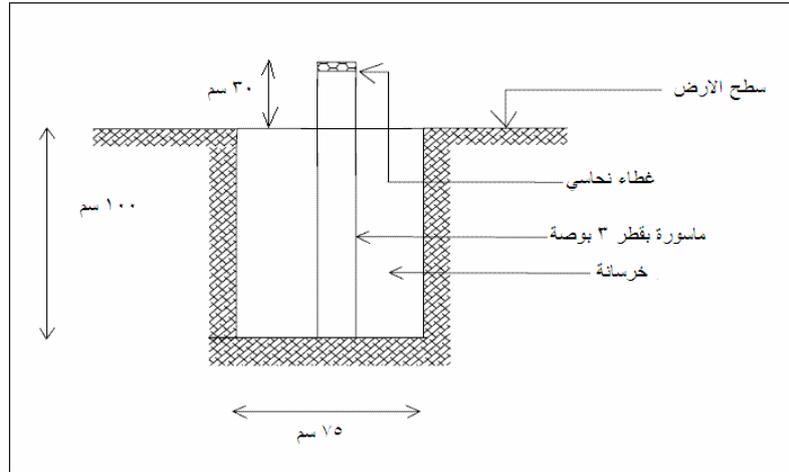
٦-٢-٧ اختيار مواقع النقاط وتثبيت العلامات:

مواصفات اختيار مواقع النقاط الثابتة و طريقة بناء العلامات الأرضية يعد أيضا من عوامل التخطيط ما قبل العمل الحقلية. الشكل (٣-٧) يقدم نموذجا عاما لبناء نقطة ثوابت أرضية للتطبيقات المساحية بينما يقدم الشكل (٤-٧) نموذجا آخر للتطبيقات الجيوديسية الدقيقة^{١٠} ، بينما توجد مواصفات أكثر تفصيلا لإنشاء الثوابت المساحية طبقا لكل نوع من أنواع التربة في منطقة العمل^{١١}. النقاط التالية تقدم خطوطا عريضة لكيفية اختيار المواقع المناسبة لإنشاء الثوابت الأرضية:

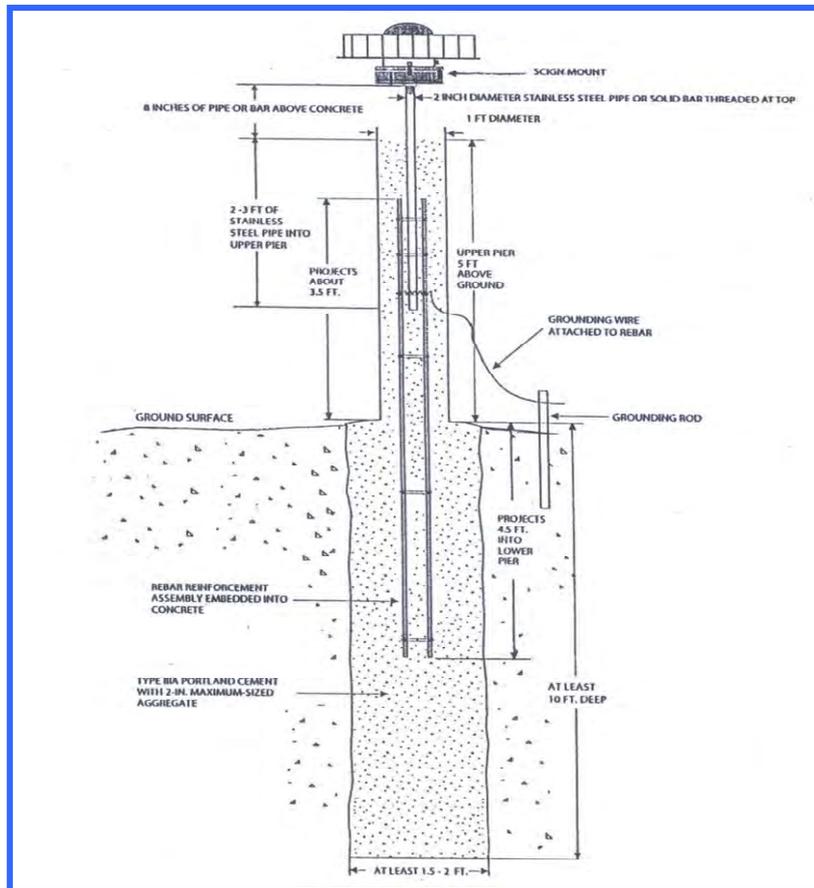
- سهولة الوصول لموقع النقطة.
- ضمان تواجد النقطة في هذا الموقع لفترة طويلة.
- أن يكون الموقع مناسباً للاستخدام المساحي.
- أن يكون البناء علي أرض صخرية صلبة و ثابتة.
- ألا توجد عوائق حول موقع النقطة في حدود ١٥^٠ من مستوي الأفق.

¹⁰ Mahmoud, D., 2004, Monitoring of crustal movements in Egypt using GPS technique, Presented at the United Nations/United States of America International meeting on the use and applications of Global Navigation Satellite System, December 13 – 17, Vienna, Austria.

¹¹ US Army Corps of Engineering, 1990, Survey markers and monumentation, Engineering manual No. 1110-1-1002, Washington, DC, USA.



شكل ٣-٧
نموذج بناء نقطة ثوابت للأعمال المساحية



شكل ٤-٧
نموذج بناء نقطة ثوابت للأعمال الجيوديسية

٧-٢-٧ اختيار أنسب أوقات الرصد:

اختيار أنسب وقت للرصد في الجى بي أس يعد أيضا من خطوات التصميم و التخطيط. فمع أن أشارات الأقمار الصناعية في الجى بي أس متاحة ٢٤ ساعة يوميا ، إلا أن دقة و جودة وعدد الأقمار الصناعية يختلف من موقع جغرافي لآخر و من ساعة لآخر 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 الحقلّي ذاته). لذلك لا بد من استخدام أحد هذه البرامج لحساب معامل الدقة في الأيام المحددة للرصد الحقلّي ، ومن ثم اختيار أنسب أوقات أو ساعات اليوم التي يكون فيها معامل PDOP أقل من ٦ ضمنا للوصول لأدق تحديد للمواقع المرصودة. أما للرصد المتحرك اللحظي فأن PDOP أقل من ٣ يعتبر جيدا ، ومن ٣ إلى ٦ يعتبر مقبولا بينما ما هو أكبر من ٦ يعتبر ضعيفا^{١٢}. أما قيمة زاوية القناع Mask or Cut-Off Angle فيجب ألا تقل عن ١٥° 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 (٧-٥) يقدم خطوطا عريضة لكيفية تحديد طول زمن أو فترة الرصد سواء في طريقة الرصد الثابت التقليدي أو الرصد الثابت السريع ، بينما يقدم الجدول (٧-٦) مواصفات أخرى عند استخدام أجهزة استقبال جى بي أس أحادية أو ثنائية التردد^{١٣}. أما في حالة إنشاء 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 (٧-٧) ، وفي هذه الحالة يجب أن يتم ربط الشبكة مع ٣ نقاط تحكم رأسية BM علي الأقل مع استخدام نموذج جيويد جيد.

¹² Ministry of sustainable resource management, 2005, British Columbia guidelines for GPS RRM surveys, Release 1.0, British Columbia, Canada.

¹³ US Army Corps of Engineering, 2003, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.

جدول ٥-٧
طول وقت الرصد الحقل للبرصد الثابت

طول خط القاعدة (كم)	عدد الأقمار الصناعية المتوفرة	معامل الدقة GDOP	وقت الرصد (دقيقة)
أولاً: الرصد الثابت التقليدي:			
أقل من ١ كم	أكثر من ٤	أقل من ٦	٣٠-١٠
١ - ٥	أكثر من ٤	أقل من ٦	٦٠-٣٠
١٠-٥	أكثر من ٤	أقل من ٦	٩٠-٦٠
٢٠-١٠	أكثر من ٤	أقل من ٦	١٢٠-٩٠
٥٠-٢٠	أكثر من ٤	أقل من ٦	٣-٢ ساعات
١٠٠-٥٠	أكثر من ٤	أقل من ٦	أكثر من ٣ ساعات
أكثر من ١٠٠	أكثر من ٤	أقل من ٦	أكثر من ٤ ساعات
ثانياً: 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	١٠-٥ دقائق
١٠-٥	أكثر من ٤	أقل من ٥	١٥-١٠ دقيقة
٢٠-١٠	أكثر من ٤	أقل من ٥	٣٠-١٥ دقيقة

جدول ٦-٧
طول وقت الرصد الحقل للبرصد الثابت للأجهزة أحادية وثنائية التردد

طول خط القاعدة (كم)	عدد الأقمار الصناعية المتوفرة	وقت الرصد للأجهزة أحادية التردد (دقيقة)	وقت الرصد للأجهزة ثنائية التردد (دقيقة)
١ - ١٠	أكثر من ٦	٢٤	٨
١٠ - ٢٠	أكثر من ٦	٣٠	١٠
٢٠ - ٥٠	أكثر من ٦	٦٠	٢٠
أكبر من ٥٠	أكثر من ٦	٩٠	٣٠
١ - ١٠	أكثر من ٤	٣٦	١٢
١٠ - ٢٠	أكثر من ٤	٤٥	١٥
٢٠ - ٥٠	أكثر من ٤	٧٥	٢٥
أكبر من ٥٠	أكثر من ٤	١٣٥	٤٥

جدول ٧-٧
طول وقت الرصد الحقلّي للرصد الثابت لشبكات الثوابت الرأسية
(للوصول لدقة ± 30 ملليمتر في حساب المناسيب)

معامل القياس Sample rate (ثانية)	وقت الرصد للأجهزة أحادية التردد (دقيقة)	طول خط القاعدة (كم)
٥	٣٠	أقل من ١٠
١٠	٦٠	١٠ - ٢٠
١٥	١٢٠	٢٠ - ٤٠
١٥	١٨٠	٤٠ - ٦٠
١٥	٢٤٠	٦٠ - ٨٠
١٥	٣٠٠	٨٠ - ١٠٠
١٥	أكثر من ٣٠٠	أكبر من ١٠٠

أيضا فإن تحديد معامل الأرصاد sample rate (المعدل الزمني بين كل رصدة و الرصدة التالية) يجب أن يتم قبل بدء العمل الحقلّي ويتم ضبط أجهزة الاستقبال قبل التوجه للمشروع. الجدول (٧-٨) يوضح قيم معامل الأرصاد المقترحة لكافة طرق الرصد بالجوي بي أس^{١٤} ،

جدول ٧-٨
قيم معامل الأرصاد في طرق الرصد المختلفة

طريقة الرصد	الثابت	الثابت السريع	الذهاب و التوقف	المتحرك
معامل الأرصاد	١٠ ثانية	١٠-٥ ثانية	٥-١ ثانية	٠.٢ ثانية

يقدم الجدول (٧-٩) نموذجا آخر لمواصفات الرصد بالجوي بي أس في إنشاء شبكة ثوابت أرضية بكلتا طريقتي الرصد الثابت التقليدي و السريع^{١٥} .

جدول ٧-٩
مواصفات رصد شبكة جي بي أس

البند	الرصد الثابت التقليدي	الرصد الثابت السريع
أقصى قيمة لمعامل الدقة PDOP	٥	٥
أقل زمن لفترة الرصد	٣٠ دقيقة	١٥ دقيقة
أقصى معامل أرصاد	١٥ ثانية	١٥ ثانية
أقل زاوية قناع	٥١٠	٥١٠

¹⁴ المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، ١٤٢٦ هـ ، النظام الكونوي لتحديد المواقع ، مقرر دراسي لطلاب المعاهد الثانوية الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

¹⁵ California Department of Transportation, 2006, Global Positioning System (GPS) survey specifications, California, USA.

٢-٨ اختيار أنسب طريقة للرصد:

يتم اختيار طريقة الرصد بعد وضع الخطوط العريضة لأهداف المشروع و مستوى الدقة المطلوب الوصول إليه ، حيث تتم المفاضلة بين جميع طرق الجبي بي أس وخاصة من وجهة نظر تقنية و اقتصادية في نفس الوقت (شكل ٧-٥^{١٦}). 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 $\pm 4-8$ متر وبمتوسط ± 5 متر^{١٧} حيث 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 فإن الدقة المطلوبة ستكون في حدود ± 1 متر أو أقل مما يجعل طريقة الجبي 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 الشفرة و نقلها للأجهزة المتحركة سواء لحظيا أو باستخدام التصحيح المكتبي. تعد أجهزة الرصد (النسبي وليس المطلق) المخصصة لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية بديلا مناسباً 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 فإن طرق الرصد المتحرك تعد هي الأنسب و الأوسع انتشارا ، لكن يبقى المفاضلة بين هذه الطرق لتنفيذ التصحيح و الحسابات في الموقع مباشرة RTK أم في المكتب بعد انتهاء العمل الحقلية PPK. في حالة توقيع نقاط معلومة الإحداثيات فإن طريقة RTK هي البديل الوحيد لان التوقيع اللحظي يتطلب التصحيح اللحظي لأرصاد الجبي بي أس ، أما في حالة الرفع المساحي فإن 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^{١٨}.

¹⁶ Natural Resources Canada, 1995, GPS positioning guide, Third Edition, Ottawa, Canada.

¹⁷ Dawod, G., 2007, New strategies in the utilization of GPS technology for mapping and GIS activities in Egypt, Civil Engineering Research Magazine (CERM), V. 29, No. 1 (Jan.), pp. 292-310.

¹⁸ US Army Corps of Engineering, 2003, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.

الرصد الثابت التقليدي	شبه المتحرك أو الثابت السريع	الجبي بي أس التفاضلي	تحديد موقع نقطة مطلقاً
٠,٠١	٠,١	١,٠	٣,٠
الدقة الأفقية عند مستوى ثقة ٩٥% (بالمتر)			

شكل ٧-٥

مثال للدقة المتوقعة من طرق الرصد المتعددة

٧-٢-٩ المتطلبات الأخرى:

أيضاً تجهيز المتطلبات اللوجستية اللازمة يعد من مكونات التخطيط للمشروع لأنه يؤثر علي الوقت المستغرق لتنفيذ العمل الحقلية. يجب عمل حصر بالمتطلبات (عدد و مواصفات السيارات المناسبة لمنطقة العمل ، عدد أفراد الفريق الحقلية وخبراتهم – مثال في الجدول (٧-١٠)^{١٩} - ، مدي توافر مصدر طاقة دائم لشحن بطاريات أجهزة الرصد ، إمكانيات الاتصالات التليفونية أو اللاسلكية في منطقة العمل ، إمكانيات إقامة مخيم لأفراد الفريق الحقلية الخ) وإعدادها قبل بدء العمل الميداني.

٧-٣ الرصد الحقلية:

تبدأ خطوات العمل الحقلية 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 إيرث 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 سبباً في حدوث خطأ تعدد المسار Multipath Error الذي يؤثر علي جودة و دقة أرصاد الجبي بي أس. وقبل بدء الرصد الحقلية يتم مراجعة كافة معاملات التشغيل configuration or setup parameters المخزنة في الجهاز أو وحدة التحكم ، مثل نوع الرصد و معدل الأرصاد وزاوية القناع ... الخ.

¹⁹ Natural Resources Canada, 1995, GPS positioning guide, Third Edition, Ottawa, Canada.

جدول ٧-١٠
مثال لأفراد الفريق الحقلية و مسؤولياتهم

المسؤوليات	الوظيفة
<ul style="list-style-type: none"> - تنظيم الأرصاد طبقاً 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. 	رئيس الفريق الحقلية
<ul style="list-style-type: none"> - 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 الحقلية. 	راصدين
<ul style="list-style-type: none"> - 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 أو لا بأول. - مراجعة النتائج وإعداد تقرير إلي رئيس الفريق الحقلية. 	مشغل بيانات

إن أجهزة استقبال الجي بي أس تعد أجهزة متطورة وتكاد تكون عملية استقبال و تخزين إشارات الأقمار الصناعية عملية آلية ، و تنحصر 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 (شكل ٧-٦) .
- ضبط تسامت و أفقية الجهاز أو الهوائي (شكل ٧-٧) بعناية تامة ودقة ، و التأكد 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 (شكل ٧-٨).
- 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.

²⁰ المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، ١٤٢٦ هـ ، النظام الكوني لتحديد المواقع ، مقرر دراسي لطلاب المعاهد الثانوية الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

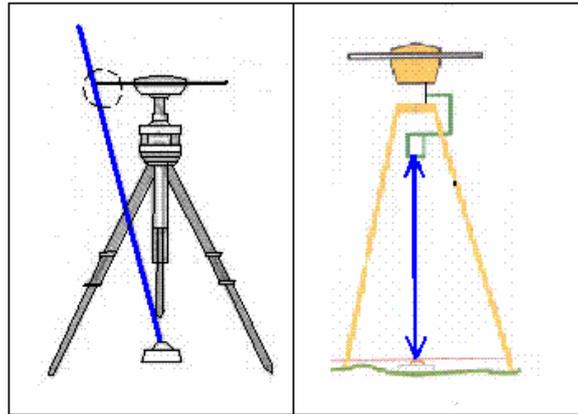
- اختيار أسما مناسبة لأرصاد كل نقطة في كل فترة رصد عند إدخال البيانات في وحدة التحكم (اسم المشروع Job).
- للرصد المتحرك اللحظي RTK (شكل ٧-٩) يجب ضبط معاملات استقبال التصحيحات في كلا من الجهاز المرجعي و الجهاز المتحرك – طبقا لكتيبات التشغيل - بحيث يكونا متطابقين لضمان إرسال و استقبال التصحيحات.
- متابعة قيمة PDOP – علي شاشة الجهاز - طوال فترة الرصد و تسجيل تغيرها بمرور زمن الرصد.

نموذج رصد ثابت بجهاز تحديد المواقع GPS (مجموعة من النقاط)	
اسم الراصد :	
<p>معلومات عن الموقع:</p> <p>الإحداثيات التربيعية للنقطة:</p> <p>خط الطول:</p> <p>دائرة العرض:</p> <p>الارتفاع:</p>	<p>معلومات عن المشروع:</p> <p>اسم المشروع: رقم النقطة:</p> <p>نوع النقطة: <input type="checkbox"/> ثابت Reference <input type="checkbox"/> متحرك Rover</p> <p>نوع الرصد: <input type="checkbox"/> ثابت <input type="checkbox"/> ثابت سريع</p> <p>التاريخ: / / 142 هـ الموافق / / م</p> <p>وقت بداية الرصد (التوقيت المحلي):</p> <p>وقت نهاية الرصد (التوقيت المحلي):</p>
<p>معلومات عن الأقمار:</p> <p>الأقمار عند بداية الرصد:</p> <p>الأقمار عند نهاية الرصد:</p> <p>التوزيع الهندسي للأقمار:</p> <p>(PDOP)</p>	<p>معلومات عن الجهاز:</p> <p>اسم الجهاز ومودله:</p> <p>رقم وحدة المستقبل:</p> <p>رقم الهوائي: ارتفاع الهوائي: م</p>
<p>ملحوظات:</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>	

شكل ٦-٧
نموذج لكارث بيانات حقلية لمحطة جي بي أس



شكل ٧-٧
بعض أجهزة الرصد الجيوديسية

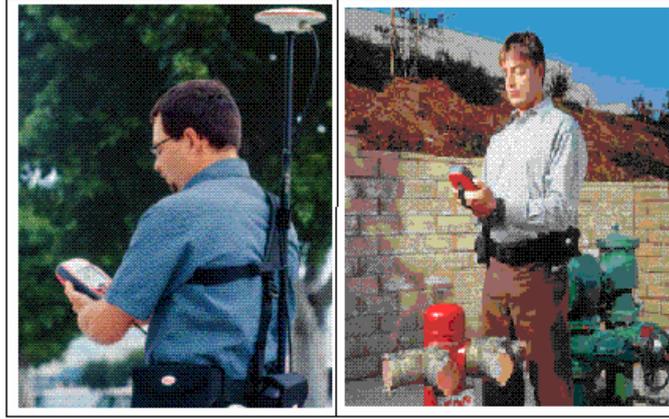


شكل ٧-٨
بعض طرق قياس ارتفاع الجهاز



شكل ٧-٩
العمل الحقلية للرصد المتحرك اللحظي

في تطبيقات تجميع البيانات المكانية و غير المكانية **Attributes** لنظم المعلومات الجغرافية (شكل ٧-١٠) فيجب تصميم حقول قاعدة بيانات المشروع قبل التوجه للحقل. مثلا لمشروع تجميع بيانات المدارس فإن قاعدة البيانات تتكون حقولها من: اسم المدرسة ، نوع المرحلة التعليمية ، اسم الحي و الشارع ، الخ ، وبهذه الخطوة يتم تنفيذ العمل الحقلّي أسرع عند رصد موقع وإدخال البيانات المطلوبة لكل مدرسة.



شكل ٧-١٠

العمل الحقلّي 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 الحقلّي. 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 بوضع العلامة الأرضية في مكانها المطلوب.

في تطبيقات الرفع الطبوغرافي لمساحة كبيرة يجب إعداد تصور لكيفية تنفيذ العمل الحقلّي 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 الحقلّي. وبذلك يتم التأكد من أن عملية الرفع المساحي بالجبي بي أس تمت كما هو مخطط لها و بالكثافة المطلوبة للبيانات والتي تؤدي لتحقيق أهداف المشروع.

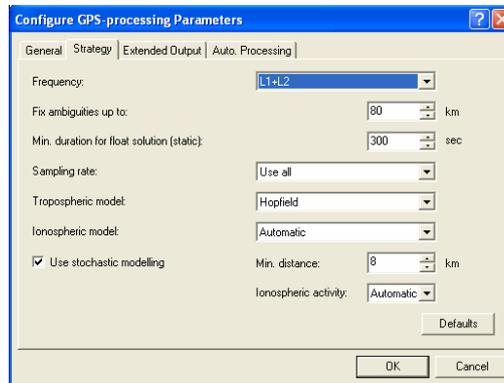
من المهم جدا تحميل بيانات الأرصاد الحقلية من أجهزة الاستقبال إلي الحاسب الآلي **Data Download** بعد نهاية كل يوم عمل حقلّي لفحص الملفات والتأكد من سلامتها وعمل نسخ احتياطية منها علي أقراص مدمجة (CD or DVD). أما في الأعمال الجيوديسية فيفضل إجراء حسابات الأرصاد بصورة مبدئية – يوميا بعد انتهاء العمل الحقلّي – 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.

٧-٤ الحسابات و الضبط:

تقوم كل شركة من الشركات المنتجة لأجهزة استقبال الجبي 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 الجبي بي أس المستخدمة في مشروع معين فأن أي برنامج حساب لن يستطيع التعامل مع صيغ ملفات صادرة من أجهزة من شركات أخرى. هنا نلجأ لصيغة قياسية standard format تسمح باستخراج البيانات - أو الأرصاد - من أي ملف أرصاد ، وهذه الصيغة تسمى 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 جبي بي أس من شركة ترمبل و أجهزة أخرى من شركة ليكا ، فأنا 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 الجبي 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 (شكل ٧-١١).
- 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 ٧-١١

مثال لضبط معاملات الحساب المطلوبة

توجد عدة خطوط عريضة تساعد المستخدم في فحص و تقييم نتائج حسابات خطوط القواعد ومنها ^{٢١} ما هو موجود في الجدول (٧-١٢).

جدول ٧-١١ عناصر تقييم جودة حلول خطوط القواعد

العنصر	الحدود المقبولة
توع الحل: 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
التباين المرجعي Reference Variance: القيمة الاسمية القيمة القصوى لأرصاد L1 القيمة القصوى لأرصاد L1, L2	من ١ إلى ١٠ ١٠ (يرفض إن زاد عن ٢٠) ٥ (يرفض إن زاد عن ١٠)
الخطأ التربيعي المتوسط RMS: 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 (٧-١٢) 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)	Station (To)	Solution Type	Slope Dist (m)	Ratio	Reference Variance	Entered (From)	Ant Hgt (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 ٧-١٢

مثال لنتائج حسابات خطوط القواعد

²¹ US Army Corps of Engineering, 2003, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.

أما في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية وطريقة الجي بي أس التفاضلي DGPS فإن النتائج تشمل – غالبا- الإحداثيات المحسوبة للنقاط المرصودة وقيم الانحراف المعياري فيها (شكل ٧-١٣).

Point No.	Ref No.	Point Description	FL SP Coordinate		Obs Y	95% Precision *			
			X	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 ٧-١٣

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 أية أخطاء outliers والتوصل لأدق تقديرات الإحداثيات النهائية للنقاط المرصودة. وتشمل هذه الخطوات:

- تحليل خطأ القفل في كل حلقة لضمان حدود قيمه طبقا للمواصفات المطلوبة.
- إجراء عملية ضبط غير مقيد Free Net Adjustment (عن طريق تثبيت إحداثيات نقطة واحدة فقط غالبا تكون اختيارية) لفحص جودة الأرصاد ذاتها.
- استخدام النتائج الإحصائية للضبط غير المقيد في اكتشاف أية أرصاد غير جيدة Outliers or Blunders وحذفها (عن طريق الاختبارات الإحصائية المعروفة مثل اختبار تاو).
- 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 (٧-١٤) يقدم مثال لنتائج الضبط الغير مقيد لأحدي شبكات الجي بي أس المكونة من عدد ٣٥ خط قاعدة^{٢٢}. 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 (٧-١٥) مثال لنتائج

²² US Army Corps of Engineering, 2003, NAVSTAR Global Positioning System Surveying, Technical Manual No. EM1110-1-1003, Washington, D.C., USA.

²³ Ghilani, C., and Wolf, P., 2006, Adjustment computations: Spatial data analysis, Forth edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA.

الضبط المقيد والذي يجب فحص نتائجه بعناية - وخاصة الدقة النسبية prec - ضمانا للوصول للدقة المنشودة للمشروع. كما يقدم الشكل (٧-١٦) 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	
<u>AC2234 to OFFSET (1)</u>	<u>0.0420</u>	<u>0.0358</u>	<u>-0.1446</u>	<u>25.023</u>	<u>6.2</u>	<u>0.1680</u>	
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 ٧-١٤

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 ٧-١٥

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 ٧-١٦

مثال لنتائج إحداثيات نقاط شبكة جي بي أس

٧-٥ تحويل الإحداثيات:

في آخر خطوات حسابات أرصاد الجبي بي أس يتم تحويل الإحداثيات النهائية المضبوطة للمواقع المرصودة من المجسم العالمي WGS84 إلى 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 الجبي 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 الكارتيذية (X, Y, Z) من المرجع الجيوديسي العالمي WGS84 - الذي تنسب إليه أرصاد نظام الجبي بي أس - إلى المرجع الجيوديسي الوطني لدولة معينة. يلزم تنفيذ هذه الخطوة معرفة قيم لعناصر التحويل السبعة (أرجع إلي الجزء ٢-٤-٨) بين هذين المرجعين. يمكن استخدام القيم الموجودة في الجدول (٢-٢) 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 الجبي 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 (أرجع إلي الجزء ٢-٤-٧).

يجب الإشارة إلي أنه في حالة طريقة الرصد المتحرك اللحظي RTK فيجب تغذية جهاز استقبال الجبي 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 - أنيا في نفس لحظة الرصد ، وبالتالي تكون الإحداثيات الناتجة في الموقع في نظام الإسقاط الوطني المطلوب مباشرة.

أيضا تجدر الإشارة إلي أن دمج أرصاد الجبي بي أس مع أرصاد مساحة أرضية أصبح متاحا الآن سواء علي مستوي الأجهزة أو مستوي برامج الحسابات^{٢٤}. تم إنتاج أجهزة تدمج مستقبل جبي 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 الجبي بي أس وأيضا أرصاد أجهزة المساحة الأرضية (مثل برنامج Geomatic 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.

أما عن تحويل الارتفاعات الناتجة من أرصاد الجبي بي أس إلي قيم المناسب MSL فسنتناول هذا الموضوع في فصل آخر.

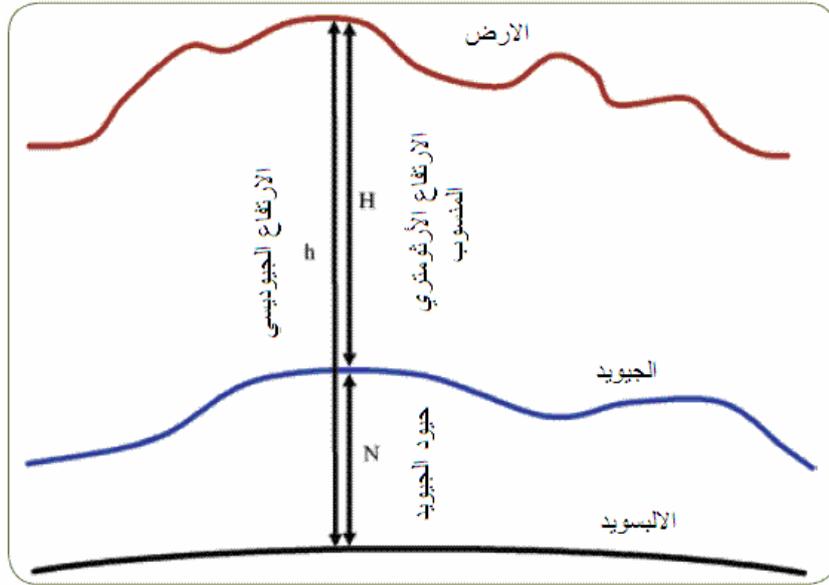
²⁴ داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٩ ، أحدث التطورات في إنتاج الأجهزة المساحية ، منتدى المهندسون العرب في الرابط: <http://www.arab-eng.org/vb/t138959.html#post1141850>

الفصل الثامن الجي بي أس و الجيويد

١-٨ مقدمة:

تعتمد أرساد الجي بي أس وأيضا الإحداثيات الناتجة عن هذه التقنية علي المجسم أو الاليسويد العالمي WGS84 ، أي أن الارتفاع الناتج من الجي بي أس يكون مقاسا من سطح هذا الاليسويد ولذلك يسمى الارتفاع الاليسويدي 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 الاليسويد و سطح الجيويد يسمي حيود الجيويد Geoid Undulation أو ارتفاع الجيويد Geoidal Height (شكل ١-٨) ، 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:

$$h = H + N \quad (8-1)$$



شكل ١-٨
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 الفصل.

٢-٨ طرق نمذجة الجيويد:

توجد طرق عديدة لحساب قيمة جيود 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.

١-٢-٨ 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 الالييسويد حساب قيمة الجاذبية النظرية Theoretical or Normal Gravity علي سطح الالييسويد. الفرق بين قيمة الجاذبية المقاسه و قيمة الجاذبية النظرية المحسوبة - يسمي شذوذ الجاذبية Gravity Anomalies - يعبر بصورة معينة عن الفرق بين كلا من الالييسويد و الجيويد^١. تمكن العالم ستوكس Stokes في عام ١٨٤٩ من استنباط المعادلة التالية التي يمكن منها حساب قيمة جيود الجيويد من قيم شذوذ الجاذبية^٢:

$$N = (R / 4\pi) \iint \Delta g S(\psi) d\sigma \quad (8-2)$$

حيث:

R تمثل نصف قطر الأرض المتوسط.

Δg شذوذ الجاذبية

S(ψ) 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 فإن التكامل الثنائي \iint يتم علي كل سطح الأرض ، أي أنه لحساب قيمة جيود الجيويد N عند نقطة واحدة فيلزمنا عشرات الآلاف من قياسات شذوذ الجاذبية ، وهذا أول عيوب هذه الطريقة. أيضا فإن 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 فإن 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

¹ تعيلب ، علي عبد العظيم ، ١٩٩٦ ، الجاذبية الأرضية ، المعهد القومي للبحوث الفلكية و الجيوفيزيقية ، حلوان، مصر.

² Hofman-Wellenhof, B. and Moritz, H., 2005, Physical geodesy, Springer Wien, New York, USA.

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 (شكل ٨-٢) و بدقة متوسطة ± 0.022 مللي جال^٣ (المللي جال هو وحدة قياس الجاذبية الأرضية و يساوي $10^{-١٠}$ متر/ثانية^٢).

لعدم إمكانية قياس الجاذبية الأرضية علي كل جزء من الأرض فإن المعادلة (٨-٢) تتحول لصورة أخرى حيث يتم تجزئة قيمة جيود الجيويد N إلي ثلاثة مركبات:

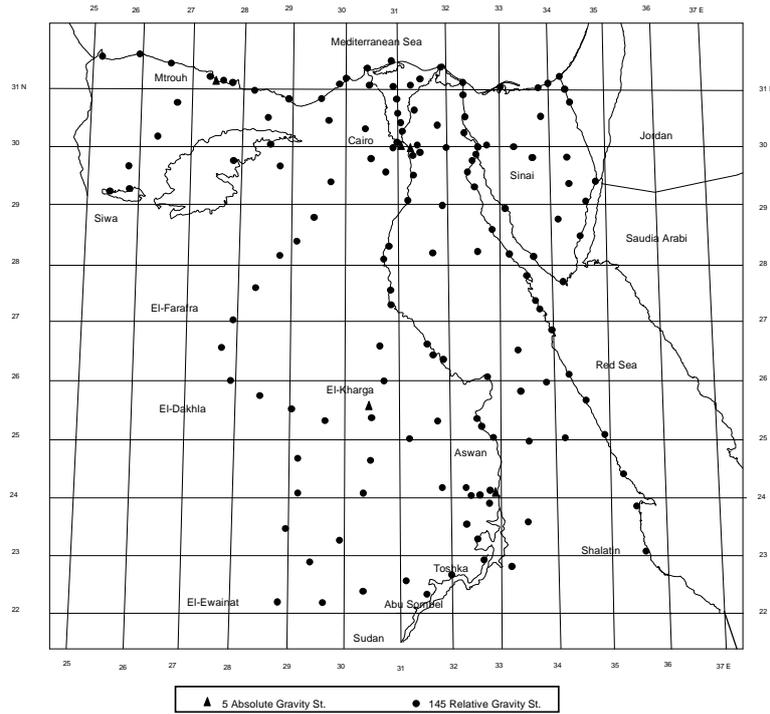
$$N = N^{GGM} + N^{\Delta g} + N^H \quad (8-3)$$

حيث:
 N^{GGM} = قيمة تأثير نموذج يعبر عن مجال الجاذبية عالمياً.
 $N^{\Delta g}$ = قيمة تأثير الجاذبية الأرضية المحلية.
 N^H = قيمة تأثير تغير الطبوغرافيا في المنطقة.

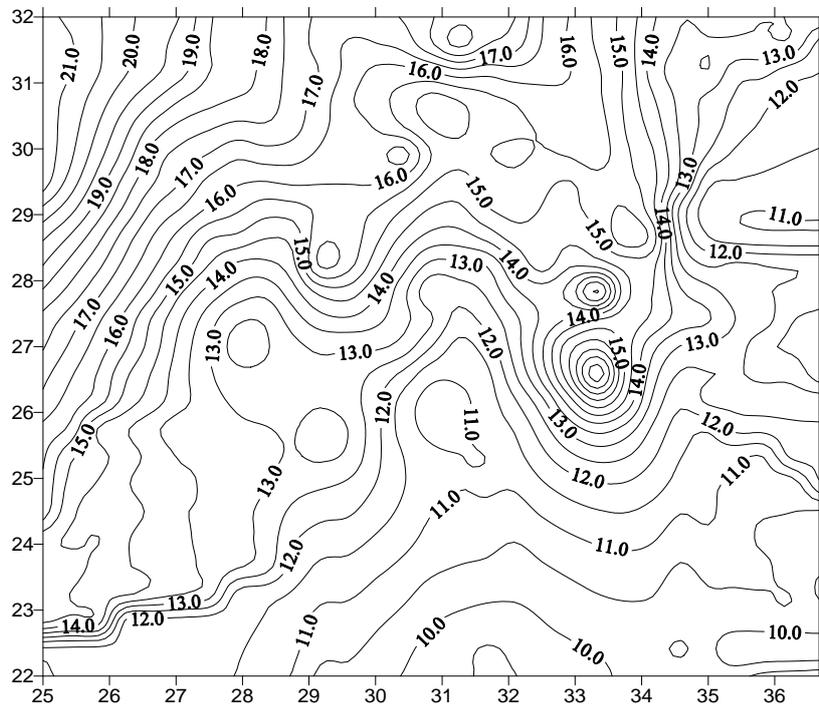
أي أن نمذجة الجيويد في منطقة معينة تحتاج: (١) نموذج جيويد (أو نموذج جاذبية) عالمي ، (٢) قياسات جاذبية أرضية محلية للمنطقة ، (٣) نموذج ارتفاعات رقمي يمثل طبوغرافية المنطقة. هذا الأسلوب هو المطبق في نمذجة الجيويد علي مستوي الدول ، وكمثال فقد تم استخدام قياسات شبكة الجاذبية الأرضية المصرية في تطوير عدد من نماذج الجيويد في مصر وكان أحدثهم الجيويد المسمى SRI2002B (شكل ٨-٣) والذي بلغت دقته علي المستوي الوطني ٠.٤٩ متر^٤ [لمعلومات أكثر عن جهود نمذجة الجيويد في مصر: <http://gomaa.dawod.googlepages.com/egypt.geoid.arabic>].

³ Dawod, G., 1998, A National Gravity Standardization Network for Egypt, Ph.D. thesis, Shoubra Faculty of Engineering, Zagazig University, Cairo, Egypt.

⁴ Saad, A., and Dawod, G., 2002, A Precise Integrated GPS/Gravity Geoid Model for Egypt, Civil Engineering Research Magazine (CERM), Al-Azhar University, V.24, No. 1, Jun, pp.391-405.



شكل ٨-٢
الشبكة القومية المصرية للجاذبية الأرضية لعام ١٩٩٧



شكل ٨-٣
نموذج الجيويد المصري SRI2002B

٢-٢-٨ نمذجة الجيويد من أرصاد الجي بي أس و الميزانيات:

يعد هذا الأسلوب (يسمى الطريقة الهندسية) هو الأمثل للمساحة بالجي بي أس وخاصة للمناطق الصغيرة (منطقة تغطي مساحة من ١٠ إلى ٢٠ كيلومتر مربع). يتم تنفيذ قياسات جي بي أس عند مجموعة من النقاط المعلوم منسوبها (نقاط روبيرات أو BM) ، وبالتالي يمكن حساب قيمة جيود الجيويد عند هذه النقاط باستخدام المعادلة (٨-١). في أبسط الصور فيمكن باستخدام نقطة واحدة فقط معرفة الفرق بين سطحي الاليسويد و الجيويد ، إلا أن رصد جي بي أس عند ٣ روبيرات يعد وضعاً 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 استخدام ٣ نقاط معلومة فقط يعطي ٣ معادلات مطلوب حلهم في ٣ قيم مجهولة أي - رياضياً و إحصائياً - 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. أيضاً يمكن استخدام نماذج رياضية أكثر دقة (من نموذج السطح المائل) مثل دالة ذات الحدود $polynomials$ بفرض وجود عدد أكبر من النقاط المعلوم (معلوم لها h و H). كمثال: تم تطبيق هذا الأسلوب في منطقة صغيرة في وادي النيل بمصر للحصول علي سطح هندسي ممثل بالمعادلة:

$$N = 13.825 + 0.00003105 E + 0.00000297 N \quad (8-4)$$

حيث N , E يمثلان الاحداثي الشرقي و الشمالي - بالمتر - في نظام الإحداثيات المصري ETM. ووجد أن الدقة في حساب قيمة جيود الجيويد بهذا الأسلوب تساوي ± 2.9 سنتيمتر لمسافة تبلغ حوالي ٨ كيلومترات أي بمعدل ٤ مللي/كم (مناسبة للتطبيقات متوسطة الدقة) ، لكنها تزيد إلي ± 12.6 سنتيمتر لمسافة تبلغ حوالي ١٢ كيلومترات أي بمعدل ٨ مللي/كم (مناسبة لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية والخرائط صغيرة المقياس) ^٥.

لكن هذه الطريقة الهندسية لها أيضا بعض العيوب مثل ^٦:

- النموذج الرياضي المستنبط يصلح فقط للمنطقة المحصورة بالنقاط المعلوم (محاولة استنباط $extrapolation$ قيمة N خارج المنطقة لن تكون جيدة علي الإطلاق).
- نموذج المستوي المائل - نموذج بسيط رياضياً - 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.

⁵ Dawod, G., 2003c, Productive GPS topographic mapping for national development projects in Egypt, Proceedings of the First International Conference on Civil Engineering, Assiut University, Volume 2, pp. 246-253, October 7-8.

⁶ داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٩ ب ، الجيويد و الجي بي أس: مقال مترجم ، منتدى الهندسة المساحية في الرابط:

<http://surveying.ahlamontada.com/montada-f1/topic-t573.htm>

٣-٨ نماذج الجيويد العالمية:

تعد طرق التمثيل المتناسق لمجال جهد الأرض Spherical harmonic representation of the Earth's geopotential field 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 GGMM. المعادلة التالية تصف طريقة حساب جيود الجيويد باستخدام طريقة التمثيل المتناسق لمجال جهد الأرض^٧:

$$N = \left(\frac{GM}{r\gamma} \right) \times \sum_{n=2}^{360} \left(\frac{a}{r} \right)^n - \sum_{m=0}^n ((C_{nm} \times \cos m\lambda) + (S_{nm} \times \sin m\lambda)) \times P_{nm}(\sin \phi) \quad (8-5)$$

حيث:

n, m أقصى درجة للنموذج العالمي.

γ الجاذبية النظرية علي الاليسويد.

r المسافة الهندسية المركزية للنقطة علي الاليسويد.

G معامل نيوتن للجاذبية الأرضية.

M كتلة الأرض.

a نصف المحور الأكبر للاليسويد.

λ خط الطول الجيوديسي.

C_{nm}^- , 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 ١° أو تقريبا ١٠٠ كيلومتر أفقيا علي سطح الأرض. وهذا بالطبع أدني إلي أن دقة نماذج الجيويد العالمية لم تصل لدقة كبيرة ، وكمثال يعرض الجدول (٨-١) تقديرات الدقة لبعض نماذج الجيويد العالمية^٨.

⁷ Heiskanen, W. and Moritz, H., 1967, Physical geodesy, W. H. Freeman and Company, San Francisco, USA.

⁸ International Center of Gravity Earth Models (ICGFM), 2009, <http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/modelstab.html>, accessed October 22.

جدول ٨-١
دقة بعض نماذج الجيويد العالمية
(RMS لفرق حيود الجيويد – بالمتر - عند نقاط جيوديسية معلومة)

النموذج	تاريخ تطويره	الدقة في أستراليا	الدقة في أوروبا	الدقة في كندا	الدقة في أمريكا
EIGEN-GL04C	٢٠٠٦	0.262	0.332	0.261	0.363
EIGEN-CG01C	٢٠٠٤	0.281	0.412	0.277	0.374
EIGEN-CG03C	٢٠٠٥	0.277	0.397	0.311	0.367
EGM96	١٩٩٦	0.314	0.487	0.366	0.402
GGM02C	٢٠٠٤	0.390	0.492	0.381	0.491
EIGEN-3P	٢٠٠٣	0.856	1.333	0.862	0.830
EIGEN-2	٢٠٠٣	1.072	1.620	1.082	0.971

من الجدول السابق نستنتج أن هذه النماذج العالمية ليست دقيقة بالدرجة الكافية لمتطلبات المساحة و الجيوديسيا ، لكن وعلي الجاني الآخر فإن 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 مثلاً) يتمثل في الدمج أو التكامل بين نموذج جيويد عالمي مع قياسات جيوديسية محلية (جاذبية أرضية و جي بي أس و ميزانيات) في هذه الدولة. كمثال: تم اختيار أداء نماذج الجيويد العالمية الحديثة بناءً علي قياسات محلية في مصر وكانت النتائج – كما في الجدول (٨-٢) – أن النموذج EIGEN-CG01C هو الأفضل حيث أعطي أقل قيمة للخطأ التريبيعي المتوسط و تبلغ ٠.٣٦ متر^٩.

جدول ٨-٢
نتائج تقييم نماذج الجيويد العالمية في مصر
(فرق حيود الجيويد – بالمتر - عند نقاط جيوديسية معلومة)

النموذج	الخطأ التريبيعي المتوسط RMS	متوسط الفروق	أكبر فرق	أقل فرق
EIGEN-CG01C	0.36	-0.07	2.05	-0.98
GGM02C	0.44	-0.25	1.87	-1.24
GGM02C/EGM96	0.54	-0.28	2.32	-1.61
EIGEN-CG03C	0.36	-0.43	1.79	-1.38
EIGEN-GL04C	0.38	-0.57	1.73	-1.62
EGM96	0.39	-0.74	1.41	-1.60
EIGEN-3P	1.04	-0.92	3.10	-3.63
EIGEN-2	1.30	-2.71	4.79	-4.12

⁹ Dawod, G., 2008, Towards the redefinition of the Egyptian geoid: Performance analysis of recent global geoid models and digital terrain models, Journal of Spatial Science, V. 53, No. 1, pp. 31-42.

تجدر الإشارة إلي أن معظم برامج حسابات أرصاد الجي بي أس تعتمد في داخلها علي أحد نماذج الجيويد العالمية (والأشهر منهم هو نموذج EGM96) 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. فكما نري في الجدول السابق أن دقة النموذج العالمي EGM96 في مصر تبلغ ٠.٣٩ متر ، أي أن المنسوب أو الارتفاع الارثومتري المحسوب من هذا النموذج لن يكون أدق من هذا المستوي. لذلك لا يمكن الاعتماد علي نماذج الجيويد العالمية بمفردها في التطبيقات المساحية و الجيوديسية إنما يتم تطعيمها بقياسات محلية لزيادة دقتها في منطقة العمل.

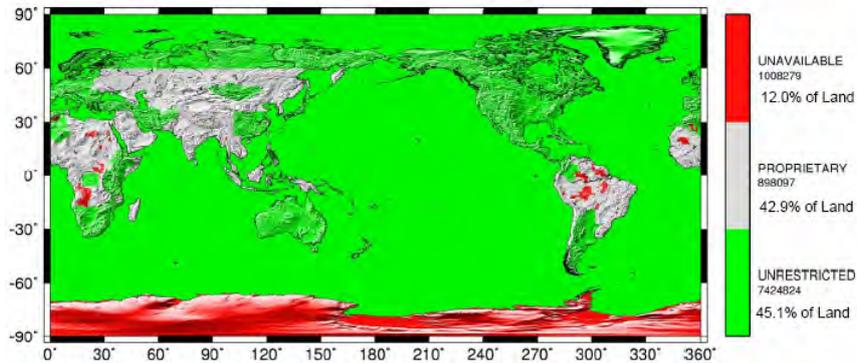
٤-٨ نموذج الجيويد العالمي ٢٠٠٨ :

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 جيود 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 ٤-٨). تدل هذه الدرجة العالية في النمذجة أن التباين الأفقي resolution للنموذج (المسافة بين كل نقطتين يمكن للنموذج حساب قيمة جيود 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 ٤-٨

شذوذ الجاذبية المستخدمة لتطوير نموذج الجيويد العالمي ٢٠٠٨ ١٠

¹⁰ 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.

توجد ٣ طرق لاستخدام نموذج EGM2008 كما هو معروض في الجدول (٣-٨) ^{١١}:

- أ- حساب قيمة جيود الجيويد نقطة بنقطة باستخدام المعاملات الأصلية **harmonic coefficients** للنموذج.
- ب- استنباط **interpolation** قيمة جيود الجيويد من شبكة **grid** للقيم لكل العالم ، وتوجد شبكتين متاحتين الأولى بتباين أفقي ١'x١' (حجم الملف ٨٢٥ ميجابايت) والثانية بتباين أفقي ٢.٥'x٢.٥' (حجم الملف ١٣٥ ميجابايت).
- ت- باستخدام شبكة **grid** لقيم جيود 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 (شكل ٨-٥) ، وفي مايو ٢٠٠٩ تم إتاحة شبكات أخرى تغطي باقي أنحاء العالم.

من المهم ملاحظة أن حساب جيود الجيويد من نموذج EGM2008 يشمل أيضا - في نفس الخطوة - إضافة تصحيح الفرق بين الجيويد و شبيهه الجيويد ، لان نماذج الجيويد التي تعتمد علي طريقة التمثيل المتناسق لمجال جهد الجاذبية الأرضية **spherical harmonic** تنتج سطح قريب جدا من سطح الجيويد يسمى شبيهه 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 ^{١٢ و ١٣}.

جدول ٣-٨

طرق الحصول علي نموذج الجيويد العالمي EGM2008

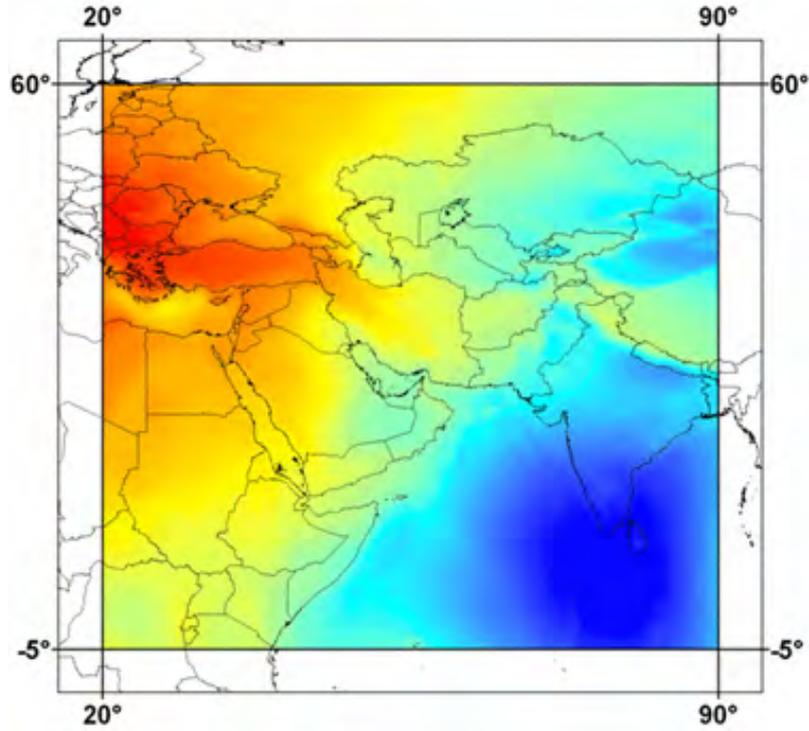
الرابط	الوظيفة	الملف
طريقة حساب قيمة جيود الجيويد نقطة بنقطة باستخدام المعاملات الأصلية:		
http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/hsynth_WGS84.exe	برنامج الحسابات التنفيذي	hsynth_WGS84.exe
http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/EGM2008_to2190_TideFree.gz	ملف معاملات النموذج (حجمه ٧٢ ميجابايت)	EGM2008_to2190_TideFree.gz
http://earth-	ملف تصحيح	Zeta-to-

¹¹ Dawod, G., Mohamed, W., 2009, Data management of different height systems within GPS/GIS integrated spatial technology, Accepted for presentation in the Middle East Spatial Technology Conference (MEST2009), December 7-9, Kingdom of Bahrain.

¹² Dawod, G., and Mohamed, H., 2009, Fitting gravimetric local and global quasi-geoids to GPS/levelling data: The role of geoid/quasi-geoid variations in Egypt, King Abdel-Aziz University's Journal of Engineering Sciences, V. 20, No. 1, pp. 47-59.

¹³ Flury, J. and Rummed, R., 2009, On the geoid-quasigeoid separation in mountain areas, Journal of Geodesy, V. 83, pp. 829-847.

http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/Zeta-to-N_to2160_egm2008.gz	النموذج (حجمه ٥٠ ميجابايت)	N_to2160_egm2008.gz
http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/INPUT.DAT	ملف إدخال بيانات أو إحداثيات النقاط المطلوب الحساب عندها	Input.dat
http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/OUTPUT1.DAT	ملف النتائج	Output.dat
طريقة استنباط قيمة جيود الجيويد من شبكة:		
http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/interp_1min.exe	الملف التنفيذي لحسابات الاستنباط من شبكة ١'	interp_1min.exe
http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/Small_Endian/Und_min1x1_egm2008_isw=82_WGS84_TideFree_SE.gz	شبكة ١' لقيم جيود الجيويد للعالم (حجم الملف ٨٢٥ ميجابايت)	Und_min1x1_egm2008_isw=82_WGS84_TideFree_SE.gz
http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/interp_2p5min.exe	الملف التنفيذي لحسابات الاستنباط من شبكة ١٢.٥'	interp_2p5min.exe
http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/Small_Endian/Und_min2.5x2.5_egm2008_isw=82_WGS84_TideFree_SE.gz	شبكة ١٢.٥' لقيم جيود الجيويد للعالم (حجم الملف ١٣٥ ميجابايت)	Und_min2.5x2.5_egm2008_isw=82_WGS84_TideFree_SE.gz
طريقة الشبكة بصيغة ESRI Grid للتعامل معها مباشرة داخل برنامج Arc GIS:		
http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/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).	egm08_centcom_geoid.zip



شكل ٨-٥

حيود الجيويد في منطقة الشرق الأوسط من النموذج العالمي EGM2008

الطريقة الأولى هي الأنسب للتطبيقات المساحية و الجيوديسية ذات الدقة العالية ، كما أنها مناسبة للدمج في أي برنامج حسابي آخر حيث أن الملف الأصلي للحسابات (بلغت **FORTAN** متاح أيضا). أما الطريقة الثانية فهي مناسبة للتطبيقات متوسطة الدقة وتتميز بسرعة تنفيذها بالمقارنة بالطريقة الأولى. 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^{١٤}.

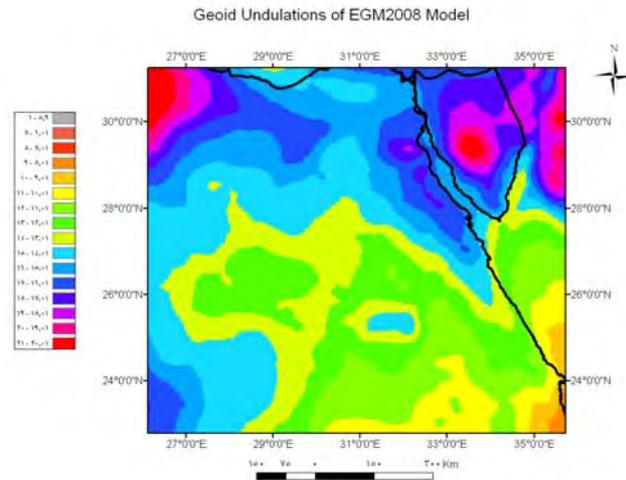
بمقارنة قيمة حيود الجيويد الناتجة من النموذج EGM2008 مع حيود الجيويد عند ٨٤٨٦ من النقاط المعلومة حول العالم تم تقدير دقة النموذج (الخطأ التربيعي المتوسط RMS) بحوالي ٠.٢٢ متر ، وهي قيمة تقل بمقدار ٠.١٠ متر عن دقة أفضل نماذج الجيويد العالمية الأخرى^{١٥}. في مصر (شكل ٨-٦) تم اختبار نموذج EGM2008 علي ٣٠٥ نقطة معلومة حيود الجيويد (نقاط جي بي أس معلوم لها المنسوب) ووجد أن دقة حيود الجيويد الناتجة من النموذج تتراوح بين -٠.٧٦ م و +٠.٤١ م بمتوسط -٠.٢٣ م وانحراف معياري ± ٠.٢٣ م^{١٦}. كما

¹⁴ Dawod, G., Mohamed, W., 2009, Data management of different height systems within GPS/GIS integrated spatial technology, Accepted for presentation in the Middle East Spatial Technology Conference (MEST2009), December 7-9, Kingdom of Bahrain.

¹⁵ International Center of Gravity Earth Models (ICGEM), 2009, <http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/modelstab.html>, accessed October 22.

¹⁶ Dawod, G., Mohamed, H., and Ismail, S., 2010, Evaluation and adaptation of the EGM2008 geopotential model along the northern Nile valley,

أفادت دراسة أخرى بإمكانية و دقة استخدام نموذج EGM2008 في حساب المستوي الرأسي للخرائط الهيدروجرافية للمناطق الساحلية في شمال الدلتا بمصر^{١٧}.



شكل ٦-٨

حيود الجيويد في مصر من النموذج العالمي ٢٠٠٨

٥-٨ 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 الأولى هي الأنسب لمساحات كبيرة من الأرض (إقليم أو دولة مثلاً) 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

Egypt: Case study, ASCE Journal of Surveying Engineering, Accepted and scheduled for publication in February 2010 issue.

¹⁷ Rabah, M., 2009, Enhancement the feasibility of using RTK tides in the Northern coast of Egypt based on performing undulation model corrections derived from the Earth Geopotential Model EGM2008, CERM magazine, V. 31, No. 3, July, pp. 794-808.

ثلاثة من النقاط المعلومة المنسوب (روبيرات أو BM). باستخدام المعادلة ٨-١ يمكن حساب قيمة جيود 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 (المعادلة ٨-٤) يصف تغير سطح الجيويد في هذه المنطقة الصغيرة ، والذي من خلاله يمكن حساب قيمة جيود الجيويد N عند أي نقطة جي بي أس - داخل المنطقة التي تغطيها النقاط المعلومة - وتحويل ارتفاعها الجيوديسي إلى منسوب.

الطريقة الثالثة تعتمد علي استخدام أي نموذج جيود عالمي متاح و علي الأخص أحدث و أدق هذه النماذج وهو EGM2008 بأي طريقة من الطرق الثلاثة المتاحة (أرجع للجدول ٨-٣). علي الجانب الآخر فإن دقة النماذج العالمية ليست عالية وكمثال - كما سبق الذكر - فدقة نموذج EGM2008 تبلغ ± 0.22 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 المناسب مثل تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية أو الخرائط ذات مقياس الرسم الصغير.

الطريقة الرابعة هي الأفضل للتطبيقات المساحية و الجيوديسية الدقيقة حيث أن تطعيم نماذج الجيود العالمية بأرصاد جيوديسية محلية يزيد من دقة هذه النماذج ويجعلها بديلا اقتصاديا مناسباً يوفر كثيراً من تكلفة تطوير نموذج جيود وطني. تتشابه هذه الطريقة مع الطريقة الأولى في كيفية تنفيذها لكن مع بعض الاختلافات البسيطة. يتطلب هذا الأسلوب معرفة قيمة جيود الجيود عند عدد من نقاط التحكم (نقاط جي بي أس معلومة المنسوب أو نقاط جاذبية أرضية) ويكون عدد و توزيع هذه النقاط مناسباً لمساحة المنطقة المطلوبة. ثم يتم حساب قيمة جيود الجيود من النموذج العالمي - EGM2008 مثلا - عند هذه النقاط المعلومة و من ثم يمكن تحديد قيمة خطأ النموذج عند كل نقطة:

$$dN = N_{obs} - N_{EGM2008} \quad (8-6)$$

حيث:

dN فرق جيود الجيود

N_{obs} جيود الجيود المقاس أو المعلوم

$N_{EGM2008}$ جيود الجيود من نموذج EGM2008

ثم يتم استنباط معادلة ذات حدود polynomial لوصف توزيع هذه الفروق علي امتداد المنطقة الجغرافية التي تغطيها النقاط المعلومة. كمثال فإن معادلة ذات الحدود من الدرجة الأولى لمنطقة شمال وادي النيل في مصر كانت^{١٨} :

$$dN = -5.529490551 - 0.05161249 \varphi + 0.219581806 \lambda \quad (8-7)$$

¹⁸ Dawod, G., Mohamed, H., and Ismail, S., 2010, Evaluation and adaptation of the EGM2008 geopotential model along the northern Nile valley, Egypt: Case study, ASCE Journal of Surveying Engineering, Accepted and scheduled for publication in February 2010 issue.

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:

$$N_{FINAL} = N_{EGM2008} + dN \quad (8-8)$$

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 المناسب المستخدمة في تطبيقات المساحة و الخرائط.

الفصل التاسع خدمات الجي بي أس على الانترنت

٩-١ مقدمة:

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 أس 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 مستوى 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 الفصل بعضا منها.

٩-٢ 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://igs.cb.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 مثل وكالة الفضاء الأمريكية NASA وهيئة المساحة الفرنسية IGN. يمكن اعتبار منظمة IGS كأحد تجمع مدني – وليس عسكري - لمستخدمي تحديد المواقع بالأقمار الصناعية علي المستوي العالمي.

تشمل خدمات IGS الآتي^١:

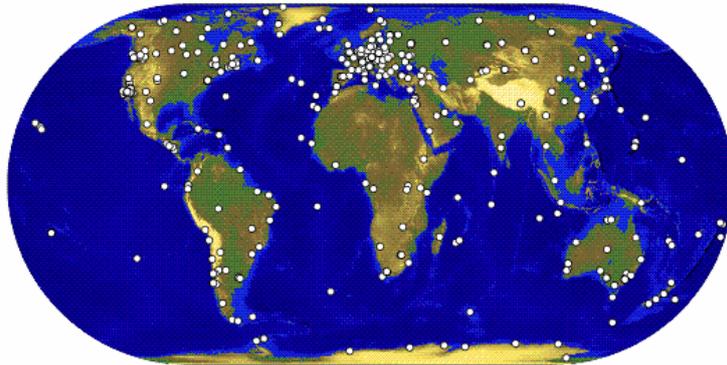
١. أرصاد محطات أرضية لكلا من الجي بي إس و الجلوناس.
٢. تصحيح مدارات الأقمار الصناعية للجي بي إس.
٣. تصحيح مدارات الأقمار الصناعية لجلوناس.
٤. تصحيح أخطاء ساعة القمر الصناعي للجي بي إس .

¹ International GNSS Service, 2009a, IGS Products, Website: <http://igs.cb.jpl.nasa.gov/components/compindex.html>, accessed Sept.

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 الأيونوسفير و التروبوسفير .

٩-٢-١ أرصاد المحطات الأرضية لمنظمة IGS:

تعد شبكة المحطات الأرضية من أهم منتجات منظمة IGS في مجال التطبيقات المساحية لنظام الجي بي إس. تتكون الشبكة من ٣٥٩ محطة (حتى سبتمبر ٢٠٠٩) موزعين علي جميع أنحاء العالم (شكل ٩-١). تم إنشاء هذه المحطات بشروط تقنية عالية بحيث تضمن أعلى 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 حتي يمكن التوصل إلي دقة عالية للمنتجات عالية الذكر قبل نشرها لجميع المستخدمين مجانا علي موقع الهيئة علي الانترنت. يمكن الحصول علي قائمة بجميع محطات IGS من الرابط: <http://igs.cb.jpl.nasa.gov/network/netindex.html>. يعرض الجدول (٨-١) بيانات بعض هذه المحطات في منطقة الشرق الأوسط و جنوب أوروبا وهي المحطات التي غالبا يعتمد عليها مستخدمي الجي بي إس في المنطقة العربية ، وربما تكون نقطة المنامة بمملكة البحرين هي أقدم هذه المحطات حيث تم إنشاؤها منذ عام ١٩٨٠ كما تم - في السنوات القليلة الماضية - إنشاء نقاط جديدة في كلا من المملكة العربية السعودية و سلطنة عمان و لبنان.



شكل ٩-١
توزيع محطات IGS

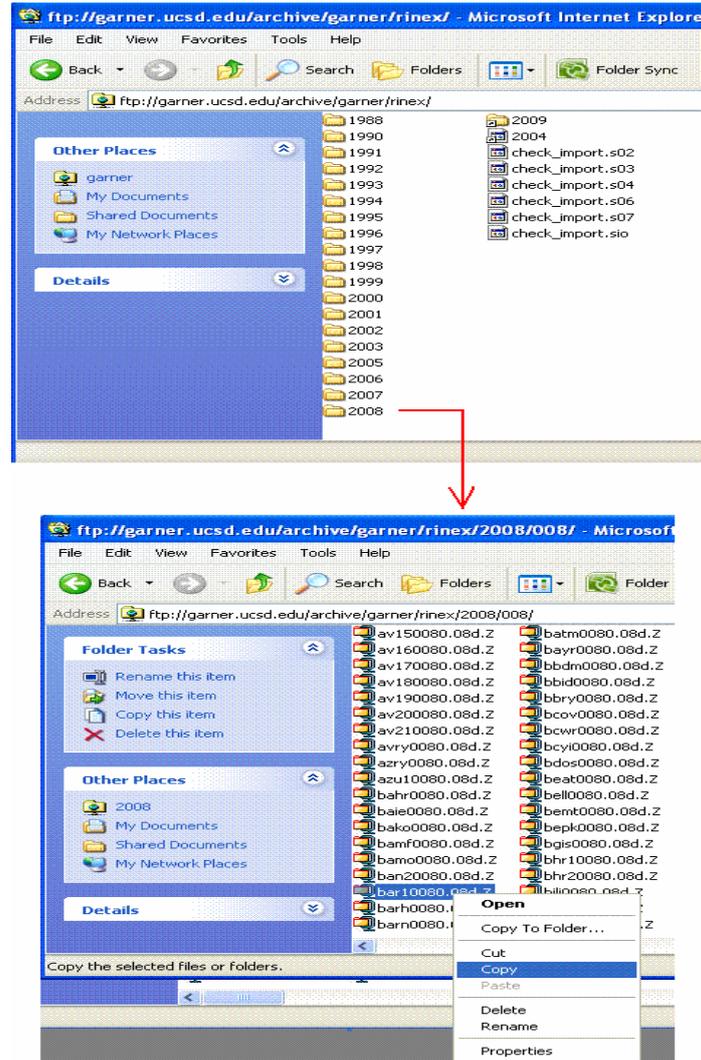
جدول ٩-١
بعض نقاط الشبكة العالمية IGS في الشرق الأوسط

اسم النقطة	المدينة - الدولة	تاريخ الإنشاء
BHR1	المنامة - البحرين	١٩٨٠/٥/١٥
MATE	ماتيرا - إيطاليا	١٩٩٢/٢/١٧
NICO	نيقوسيا - قبرص	١٩٩٧/٥/١٤
RAMO	رام الله - فلسطين	١٩٩٨/٦/١٠
AMMN	عمان - الأردن	١٩٩٩/٦/١٥
DRAG	دراجوت - فلسطين	٢٠٠٠/٢/٧
HALY	حلة عمار - السعودية	٢٠٠٢/٣/١٦
LAUG	جبيل - لبنان	٢٠٠٢/١٠/٢٢
NAMA	ناماس - السعودية	٢٠٠٢/٣/٣١
YIBL	يبيل - عمان	٢٠٠٣/٧/١١

تعود أهمية محطات IGS الأرضية إلى أنها تعمل ٢٤ ساعة يوميا و تتاح أرصادها - في صيغة راينكس - يوميا مجانا ، كما أن إحدائيات 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^٢. في بعض المناطق النائية التي لا توجد بها شبكات جيوديسية وطنية - لأي دولة - فإن محطات IGS تكون البديل المناسب المتاح لربط الشبكات الجديدة. كما أن الدقة العالية لإحدائيات 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 الرباط: <ftp://garner.ucsd.edu> ، حيث توجد جميع الملفات مرتبة سنويا (شكل ٩-٢) 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 الرباط: <http://www.gzip.org>. أسماء الملفات تأخذ هيئة: ssssdddf.yy.d حيث: ssss يعبر عن أسم المحطة ، ddd يعبر عن رقم اليوم في السنة ، f يعبر عن رقم ملف الرصد حيث الرقم f = صفر يدل علي أرصاد لمدة ٢٤ ساعة ، yy يعبر عن السنة ، d, z يدلان علي أن الملف مضغوط. كمثل: الملف bhr10120.08d.z هو ملف لمحطة bhr1 (المنامة بالبحرين) لليوم ٠١٢ من سنة ٠٨ (أي ٢٠٠٨) ويحتوي أرصاد المحطة لمدة ٢٤ ساعة.

² Dawod, G., 2007, New strategies in the utilization of GPS technology for mapping and GIS activities in Egypt, Civil Engineering Research Magazine (CERM), V. 29, No. 1 (Jan.), pp. 292-310.



شكل ٩-٢

ملفات أرصاد الجي بي أس في IGS

٩-٢-٢ المدارات الدقيقة للأقمار الصناعية:

بعد إيقاف العمل بخطأ الاتاحية المنتقاه SA في عام ٢٠٠٠ فإن خطأ مدار القمر الصناعي أصبح أكثر مصادر الأخطاء تأثيراً علي دقة و جودة تحديد المواقع بنظام الجي بي أس. إن قيمة الخطأ في مدار القمر الصناعي Broadcast Orbits (أي المدار الذي يرسله القمر الصناعي لحظياً داخل إشاراتهِ) يبلغ حوالي ١٦٠ 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 أيضاً موعد إتاحتها للمستخدمين علي الانترنت^٣. وفي مجال التطبيقات الهندسية – وخاصة المساحية – التي تتطلب دقة عالية فإننا نعتمد علي أدق نوع من أنواع المدارات وهو المعروف باسم المدار الدقيق أو المدار النهائي Precise or Final Orbits حتي لو انتظرنا أسبوعين – بعد تاريخ

³ International GNSS Service, 2009b, IGS orbits, website: <http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>, Accessed Sept.

الرصد الحقلية – للحصول عليه من موقع IGS. إن استخدام المدارات الدقيقة للأقمار الصناعية يحسن بدرجة مؤثرة من مستوي الدقة لأرصاد ونتائج مشروعات الجي بي أس^٤. والجدول ٩-٢ يقدم مقارنة بين أنواع مدارات الأقمار الصناعية لنظام الجي بي أس التي تتيحها هيئة IGS:

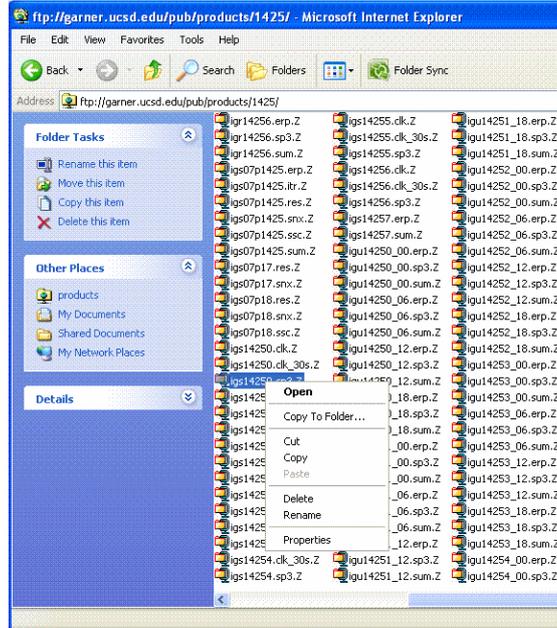
جدول ٩-٢

أنواع و خصائص بيانات مدارات الجي بي أس المتاحة في IGS

معدل الأرصاد	معدل التحديث	مدي التأخير	الدقة	نوع البيانات
يومية	-	أنيا	١٦٠ ~ سم	مدارات الأقمار
			٧ ~ نانوثانية	خطأ ساعات الأقمار
١٥ دقيقة	٤ مرات يوميا	أنيا	١٠ ~ سم	مدارات الأقمار
			٥ ~ نانوثانية	خطأ ساعات الأقمار
١٥ دقيقة	٤ مرات يوميا	٣ ساعات	أقل من ٥ سم	مدارات الأقمار
			٠.٢ ~ نانوثانية	خطأ ساعات الأقمار
١٥ دقيقة	يومية	١٧ ساعة	أقل من ٥ سم	مدارات الأقمار
			٠.١ نانوثانية	خطأ ساعات الأقمار
١٥ دقيقة	أسبوعيا	حوالي ١٣ يوم	أقل من ٥ سم	مدارات الأقمار
			٠.١ نانوثانية	خطأ ساعات الأقمار

هناك عدة طرق وأيضا عدة مواقع للحصول علي ملفات المدارات الدقيقة (وكل منتجات هيئة IGS) للأقمار الصناعية وسنتناول منهم احدي الطرق. يجب ملاحظة أن بعض البرامج التجارية لحسابات الجي بي أس – علي سبيل المثال برامج شركة ليكا و شركة ترمبل - بها إمكانيات التحميل المباشر للملفات من داخل البرنامج ، أي لا تحتاج إتباع الخطوات التالية. بالدخول علي موقع ناسا في الرابط: <ftp://igsceb.jpl.nasa.gov/pub/product> ستجد مجموعة كبيرة من المجلدات كل مجلد يحوي ملفات أسبوع معين. بالضغط علي المفتاح الأيمن للماوس ستظهر قائمة يمكن اختيار أمر النسخ لمجلد Copy to Folder أو أمر نسخ Copy لنسخ الملف المطلوب إلي الحاسب الآلي (شكل ٩-٣).

⁴ Dawod, G., 2007, New strategies in the utilization of GPS technology for mapping and GIS activities in Egypt, Civil Engineering Research Magazine (CERM), V. 29, No. 1 (Jan.), pp. 292-310.



شكل ٩-٣

مثال للحصول علي المدارات الدقيقة للأقمار الصناعية

أنواع الملفات المتاحة تتكون من الاختصارات التالية:

- نوع الملف z (لكل الملفات) = ملف مضغوط
- نوع الملف sp3 = مدارات الأقمار الصناعية
- نوع الملف erp = عناصر دوران الأرض earth rotation parameters
- نوع الملف sum = ملف التقرير الملخص summary report
- نوع الملف clk وأيضا cls = ملف ساعة القمر clock
- النوع igu في بداية اسم الملف = نوع المدار هو المدار السريع جدا ultra rapid
- النوع igr في بداية اسم الملف = نوع المدار هو المدار السريع rapid
- النوع igs في بداية اسم الملف = نوع المدار هو المدار الدقيق أو النهائي Precise وهو النوع المطلوب للتطبيقات المساحية.

أما ملفات المدارات الدقيقة sp3 فيكون اسم الملف مكونا كالاتي:

igswwwwd.sp3.z

حيث:

يدل www علي رقم الأسبوع لنظام الجي بي إس GPS week ، بينما d يدل علي رقم اليوم في هذا الأسبوع day of week وتتراوح قيمته بين الصفر (ليوم الأحد) و ٦ (ليوم السبت)

رقم أسبوع الجي بي إس هو النظام الذي بدأ مع إطلاق تقنية الجي بي إس لأسماء ملفات النظام. بدأ هذا التقويم أو العداد من يوم ٥ يناير ١٩٨٠ م وهو بداية أسبوع الجي بي إس رقم ١. ويبدأ كل أسبوع من الساعة ١٢ منتصف الليل من نهاية يوم السبت وبداية يوم الأحد. و لمعرفة رقم الأسبوع لتقنية الجي بي إس توجد عدة مواقع منهم موقع "تقويم الجي بي إس" من هيئة المساحة الجيوديسية الأمريكية NGS في الرابط:

والذي يقدم تقويم كامل لعام ٢٠٠٩م ورقم أسبوع الجي بي إس لكل يوم (شكل ٩-٤).

Jan 2009							Jan 2009								
GPS WK	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	GPS WK	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
1512	1	2	3	4	5	6	7	1512	32	33	34	35	36	37	38
1513	4	5	6	7	8	9	10	1513	4	5	6	7	8	9	10
1514	11	12	13	14	15	16	17	1514	11	12	13	14	15	16	17
1515	18	19	20	21	22	23	24	1515	18	19	20	21	22	23	24
1516	25	26	27	28	29	30	31	1516	25	26	27	28	29	30	31

شكل ٩-٤

تحديد رقم أسبوع الجي بي إس

تأتي أهم خطوات استخدام المدارات الدقيقة في كيفية تنفيذ هذه الأمر داخل برنامج حسابات الجي بي إس ، حيث أن معظم البرامج التجارية commercial software تعتمد الوضع الافتراضي default أنها تستخدم المدار المذاع داخل إشارة القمر الصناعي Broadcast Orbits ولا بد من إجبار البرنامج علي التغير إلي استخدام ملفات المدار الدقيق. وبالطبع هذه العملية ستختلف من برنامج لآخر ولكن سنشرح أحد الأمثلة وهو برنامج شركة ليكا Lieca Geo Office :

- بعد إنشاء مشروع جديد ، من قائمة Import نختار Precise Ephemeris
- نذهب للمجلد الموجود به ملف sp3 ونختاره.
- في قائمة الحساب GPS-Proc ، وفي أي مكان في الجزء الأيمن من النافذة نضغط الزر الأيمن للماوس فتظهر قائمة نختار منها Processing Parameters أي عناصر الحساب ، وفي النافذة الجديدة و أمام كلمة نوع المدار Ephemeris لا بد من التغيير من نوع Broadcast (وهو الاختيار الافتراضي للبرنامج) إلي نوع Precise أي المدار الدقيق وذلك لإبلاغ البرنامج أننا نريد استخدام ملف المدار الدقيق أثناء الحسابات.
- ثم نكمل الخطوات الحسابية كالمعتاد.

⁵ داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٩ ت ، تحسين دقة مدارات الأقمار الصناعية في حسابات الجي بي إس ، متاح ف: http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%7C_GPS%7C_Orbits%7C_Ar.pdf

٩-٢-٣ الإحداثيات الدقيقة لمحطات IGS :

يعد الحصول علي قيم إحداثيات محطات IGS متطلبا من متطلبات استخدام أرصاد هذه المحطات وخاصة عند الحاجة لتثبيت الإحداثيات Fixed Point في عملية ضبط الشبكات (أرجع للجزء ٦-٢-٢). توجد طريقتين للحصول علي إحداثيات محطات IGS:

الطريقة الأولى: بالضغط علي اسم المحطة المطلوبة في قائمة المحطات في الرابط: <http://igscb.jpl.nasa.gov/network/list.html> ثم نضغط ملف Log File للمحطة والذي يحتوي كافة المعلومات عنها كما في الشكل (٩-٥). يشمل ملف بيانات كل محطة إحداثياتها منسوبة لمجسم WGS84 (للتطبيقات المساحية) وأيضا قيم الإحداثيات في أحد أطر ITRF (للتطبيقات الجيوديسية عالية الدقة).

haly: Permanent GPS Site Information	
Array:	IGS
Name:	Halat Ammar
City:	Halat Ammar
County:	n/a
State/Province:	n/a
Country:	Saudi Arabia
Domes Number:	20102M001
XYZ coordinates (m):	4505447.2943 3285418.5772 3087773.4129 [Ref. epoch: 2004.4904] [Ref. frame: ITRF2000] [Source: SCOUT]
XYZ coordinates (m):	4505447.2142 3285418.6220 3087773.4818 [Ref. epoch: 2007.4753] [Ref. frame: ITRF2000] [Source: estimated using SOPAC refined model]
XYZ coordinates (m):	4505447.2201 3285418.6214 3087773.4826 [Ref. epoch: 2007.4068] [Ref. frame: ITRF2000] [Source: Latest weekly analysis result]
XYZ coordinates (m):	4505447.3492 3285418.6172 3087773.4463 [Ref. epoch: N/A] [Ref. frame: N/A] [Source: site log]
Lat/Lon/Ellip. Ht (deg/deg/m):	29.13886713 36.09991702 861.6009 [Ref. epoch: 2007.4753] [Geodetic datum: WGS84] [Source: estimated using SOPAC refined model]
Lat/Lon/Ellip. Ht (deg/deg/m):	29.13887 36.09992 861.6051 [Ref. epoch: 2007.4068] [Geodetic datum: WGS84] [Source: Latest weekly analysis result]
Lat/Lon/Ellip. Ht (deg/deg/m):	29.13861 36.09972 861.6765 [Ref. epoch: N/A] [Geodetic datum: N/A] [Source: site log]
Site log:	haly.log problems downloading? unix->windows text converter
Site location:	Go
Unfiltered Time Series:	via Java applet or standard version

شكل ٩-٥

مثال لملف بيانات محطة IGS

الطريقة الثانية هي الحصول علي الإحداثيات من موقع الإطار العالمي المرجعي الأرضي ITRF في الرابط: <http://itrf.ensg.ign.fr/select.php>. توجد عدة وسائل لاختيار النقطة (أو النقاط) المطلوب إحداثياتها ، فمثلا توجد وسيلة للاختيار علي الخريطة التفاعلية GIS في الرابط: <http://itrf.ensg.ign.fr/GIS/index.php> ، كما توجد صفحة أخرى للاختيار باسم النقطة في: http://itrf.ensg.ign.fr/select_code.php. وتكون الخطوات في الأسلوب الأخير كالآتي:

- نكتب اسم النقطة في المربع ثم نضغط `select`
- في الشاشة التالية نضع علامة في المربع الصغير بجوار اسم النقطة ، ثم نضغط `Add selected points to cart`
- في الشاشة التالية نضغط `display selected points`
- في الشاشة التالية نضغط `Get ITRF coordinates of these points`
- في الشاشة التالية نختار نوع ITRF المطلوب من القائمة بجوار: `Choose an ITRF` وأيضا نحدد اللحظة المطلوب فيها الإحداثيات بكتابتها في الصندوق أمام: `Choose the epoch` ثم نختار نوع الملف المطلوب (يفضل `Table` حتى تظهر الإحداثيات علي الشاشة مباشرة) ثم أخيرا نضغط `Submit` (شكل ٦-٩).

شكل ٦-٩

مثال للحصول علي إحداثيات محطة IGS في إطار ITRF

من مميزات هذه الطريقة أنها تقدم إحداثيات عالية الدقة لأي محطة IGS في أي إطار ITRF يحدده المستخدم وأيضا لأي لحظة epoch يحددها ، مما يجعل المستخدم في غير حاجة لتحويل الإحداثيات من إطار ITRF لآخر أو من لحظة epoch لآخر كما في المعادلتين (٢-٢١ و ٢-٢٢).

٣-٩ 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 ونماذجها الرياضية المختلفة ، (٤) أن استخدام المحطات العالمية IGS كمحطات ربط للنقاط الجديدة يقلل من عدد أجهزة الرصد المطلوبة لإكمال الأعمال الحقلية وبالتالي فإن تكلفة تجميع البيانات الحقلية ستقل أيضا. وهذه المميزات

تساعد في خفض معقول لتكلفة مشروعات المساحة والخرائط باستخدام تقنية الجي بي إس^٦.

تشمل مواقع الحسابات الأنية 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 الإلكتروني 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 الإلكتروني.

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 ابتكر مصطلح PPP الذي يعني التحديد الدقيق لإحداثيات النقطة Precise Point Positioning عن طريق الاستفادة من خدمات منظمة IGS ومازوا يطورون هذا الأسلوب للعديد من التطبيقات^٧.

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 أخرى وتشرف عليها NGS) ، وبالتالي فإن 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. الجدول (٩-٣) يقدم مقارنة بين خصائص مواقع أو خدمات حسابات الجي بي إس علي الانترنت.

⁶ Mohamed, H., Dawod, G., and Ismail, S., 2007, Assessment of a cost-effective GPS data processing alternative in Egypt utilizing international on-line processing services, Water Sciences, No. 41-42, pp. 61-70.

⁷ Leandro, R., 2009, Precise point positioning with GPS: A new approach for positioning atmospheric studies and signal analysis, PhD Dissertation, New Brunswick University's technical report No. 257, April, 266 pp.

٩-٤ برامج مفيدة للجي بي إس:

تصدر الجهات العالمية المتخصصة و بصفة مستمرة العديد من برامج الكمبيوتر المجانية الخاصة بالتطبيقات المساحية و الجيوديسية بصفة عامة و الجي بي إس بصفة خاصة. و علي متخصصي المساحة متابعة البحث في شبكة الانترنت عن كل ما هو جديد من برامج تساعدكم في تنفيذ أعمالهم التقنية بصورة جيدة. و سنستعرض هنا بعض أمثلة من البرامج التخصصية المتاحة مجانا علي الانترنت.

(أ) برنامج GeoTrans لتحويل الإحداثيات الجيوديسية:

برنامج المحول الجغرافي Geographic Translator أو اختصارا GeoTrans من تطوير هيئة المساحة الأمريكية. النسخة الحالية ٢.٤ بتاريخ أغسطس ٢٠٠٦ بحجم حوالي ١٥ ميجابايت ومتاحة في الرابط:

<http://www.gisclub.net/vb/redirector.php?url=http://earth-info.nga.mil/GandG/geotrans/#Downloading>

يقوم البرنامج بتحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية و أيضا يقوم بإسقاط الإحداثيات. يعتمد البرنامج علي قاعدة بيانات بداخله تشمل مجموعة كبيرة جدا من نظم الإحداثيات و المراجع الجيوديسية المعروفة و المستخدمة في أنحاء العالم. كما يسمح البرنامج أيضا بإنشاء نظام إحداثيات أو مرجع جديد إن لم يكن موجودا في مكتبة البرنامج^٨.

كذلك قامت احدي الشركات وأسمها TatuGIS بعمل نسخة مبسطة من برنامج GeoTrans تحت أسم Free Coordinate Calculator. لا يحتوي هذا البرنامج كل إمكانيات البرنامج الأصلي لكنه يتميز بسهولة الاستخدام و صغر حجم الملف (٢ ميجابايت فقط) و يمكن الحصول عليه مجانا من الرابط: <http://www.tatugis.com>.

جدول ٩-٣

مقارنة بين خدمات الانترنت لحسابات الجي بي إس

اسم الخدمة	القيود علي بيانات الجي بي إس المقدمة للموقع	الوقت المستغرق لوصول النتائج للمستخدم (دقيقة)	البدايل المتاحة للمستخدم	طريقة رفع الملفات للموقع
AUSPOS	- لا تقل عن ساعة من البيانات ثنائية التردد. - لا يزيد عدد الملفات عن ٧.	أكثر من ٢٥	- تحديد نوع الهوائي و ارتفاعه	الرفع Uploding أو عن طريق FTP
PPP	- لا قيود سواء للأرصاد الثابتة أو المتحركة.	أقل من ٣	- اختيار طريقة الحساب.	الرفع Uploding

^٨ داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٧ ، برنامج للتحويل بين المراجع الجيوديسية ، نادي نظم المعلومات الجغرافية في: <http://www.gisclub.net/vb/showthread.php?t=1342>

	- اختيار المرجع.		- الحد الأقصى للبيانات ٦ أيام متواصلة بحجم أقل من ١٠٠ ميجابايت.	
FTP عن طريق	- تحديد نوع الهوائي و ارتفاعه - اختيار محطات الربط.	أكبر من ١٥	- لا تقل عن ساعة من البيانات ثنائية التردد.	SCOUT
الرفع Uploding	- تحديد نوع الهوائي و ارتفاعه	أكبر من ٤	- علي الأقل بيانات ثنائية التردد لمدة ساعتين. - الحد أقصى بيانات ثابتة لمدة ٢٤ ساعة. - الموقع متاح فقط للمستخدمين في أمريكا الشمالية.	OPUS
FTP عن طريق	- لا يوجد	أقل من ٣	- علي الأقل ساعة واحدة من الأرصاد.	Auto- GIPSY

(ب) برنامج EGM2008 Calculator لحساب حيود الجيويد:

برنامج Alltrans EGM2008 Calculator هو برنامج مجاني وهو من تطوير عالم ألماني أسمه Hans-Gerd Duenck-Kerst من شركة AltStat الألمانية ، والإصدار الحالي له هو الأول Version 1.0 . البرنامج (حجمه ٧ ميجابايت فقط) لحساب قيمة حيود الجيويد N من النموذج العالمي الحديث EGM2008 (لاحظ أن البرنامج الأصلي متاح بموقع هيئة المساحة العسكرية الأمريكية التي أنتجت النموذج حجم ملفاته الإجمالي حوالي ٣٦٧ ميجا !!).

البرنامج سهل التعامل معه وله ٣ قوائم menus لأداء الحسابات علي ٣ مستويات^٩:

- حساب N نقطة بنقطة علي الشاشة في قائمة calc Manual
- حساب N شبكة Grid لمنطقة معينة في قائمة Grid Maker
- حساب N مجموعة من النقاط موجودة في ملف نصي txt في قائمة File calc

^٩ داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٩ ث ، برنامج لحساب الجيويد من EGM2008 ، منتدى الهندسة المساحية في:
<http://surveying.ahlamontada.com/montada-f1/topic-t454.htm>

الفكرة الأساسية للبرنامج هي استنباط interpolation قيمة حيود الجيويد of EGM2008 من شبكة (سيق حسابها من النموذج الأصلي) وهذه الشبكة تتكون الخلية الواحدة منها من 10×10 دقائق ، وهذا هو الخيار الأساسي المسمى Internal Dataset . كما يتيح البرنامج أيضا - في خيار External Dataset - استخدام شبكات Grids أخرى بخلية 1×1 دقيقة أو 2.5×2.5 دقيقة لكن ملفاتها غير موجودة في البرنامج ويجب أن يقوم المستخدم بالحصول عليهما - من موقع هيئة المساحة العسكرية الأمريكية - أولا إن رغب في ذلك. كما يقوم البرنامج باستنباط قيم N بتطبيق ٤ طرق رياضية مختلفة (خاصة في المستوى الأول).

(ج) برنامج حساب الجيويد من قياسات الجاذبية الأرضية:

برنامج GravSoft لحسابات الجيويد من قياسات الجاذبية الأرضية Gravity Geodetic Field Modelling Program والذي قام بتطويره البروفيسور كارل تشيرنج Carl C. Tscherning والبروفيسور راين فورسبرج Rene Forsberg العالمين الشهيرين بجامعة كوبنهاجن الدنمركية. البرنامج متاح مجانا للاستخدام العلمي و التعليمي فقط - دون أية أغراض تجارية - من خلال موقع: ftp.gfz.ku.dk أو بالكتابة للبروفيسور الأول علي: cct@gfz.ku.dk. النسخة الحالية هي ٢.٦.٦ بتاريخ يناير ٢٠٠٩ وحجم الملف المضغوط ١٤ ميغا.

(د) برنامج DNR GARMIN لتحويل بيانات أجهزة GPS ماركة Garmin إلي برنامج نظم المعلومات الجغرافية Arc GIS:

برنامج مجاني من تطوير إدارة الموارد الطبيعية - المعروفة اختصارا باسم DNR - بولاية مينسوتا الأمريكية ، و متاح في الرابط:

<http://files.dnr.state.mn.us/aboutdnr/bureaus/mis/gis/tools/arcview/extensions/dnrgarmin/dnrgarmin53setup.zip>

والنسخة الحالية هي: ٥.٣.٢ وحجم الملف ١١.٥ ميغابايت ، ومتوافق مع برنامج نظم المعلومات الجغرافية Arc GIS لأي إصدار من النسخة ٩.

وظائف البرنامج الرئيسية^{١٠}:

- تحميل النقاط و الخطوط والمضلعات التي تم قياسها باستخدام أجهزة الجي بي إس من إنتاج شركة جارمن (لا يصلح البرنامج لأي أجهزة GPS أخرى!) إلي الحاسب الآلي سواء باستخدام البرنامج منفردا أو باستخدامه من داخل برنامج ArcGIS مباشرة.
- يمكنه - بعد تحميل القياسات - تخزين الملف الناتج في صيغة KML وهي صيغة برنامج الجوجل إيرث الشهير Google Earth بحيث يمكن توقيع المواقع المرصودة علي الصور الفضائية في الجوجل إيرث مباشرة.
- يقوم بتخزين إحداثيات المواقع المرصودة في ملفات نصية Text Files ليتمكن استخدامها - لاحقاً - مع أي برامج أخرى.
- يمكن للبرنامج إرسال ملفات طبقات نقاط Point Shefiles إلي جهاز الجي بي إس بعد تحويلها للصيغة التي تتعامل معها أجهزة الجارمن.

¹⁰ داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٨ ب ، شرح برنامج DNR Garmin ، منتدى الهندسة المساحية في: <http://surveying.ahlamontada.com/montada-f6/topic-t254.htm>

- يقوم البرنامج بحساب محيط و مساحة المضلعات المرصودة وإضافتها للبيانات الوصفية Attributes قبل نقلها لبرنامج ArcGIS

(ذ) موقع لتحويل الإحداثيات الجغرافية إلي UTM :

موقع لتحويل الإحداثيات الجغرافية (خط الطول ودائرة العرض) إلي إحداثيات مسقطة بنظام ميريكاتور المستعرض العالمي UTM ، وبصورة آنية on-line في الرابط¹¹ :

<http://pages.globetrotter.net/roule/utmgoogle.htm>

¹¹ داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٨ ، تحويل الإحداثيات من و إلي UTM ، نادي نظم المعلومات الجغرافية في: <http://www.gisclub.net/vb/showthread.php?t=3060>

المراجع

أولاً: المراجع العربية

- إبراهيم ، نقولا ، ١٩٨٢ ، مساقط الخريطة ، منشأة المعارف ، الإسكندرية ، مصر .
 أبو راضي ، فتحي عبد العزيز ، ١٩٩٨ ، الجغرافيا العملية و مبادئ الخرائط ، دار النهضة
 الحديثة ، بيروت ، لبنان .
 الحسيني ، صفوت ، ٢٠٠٢ ، الجيوديسيا ، القاهرة ، مصر .
 الصقير ، عبد العزيز ، ١٤٢٧ هـ ، الأقمار الصناعية ، مجلة العلوم و التقنية ، العدد ٨٠ ، ص
 ٩-٥ .
 العيسي ، سميح يوسف ، ٢٠٠٦ ، مبادئ عمل منظومة التوضع GPS ، شعاع للنشر والعلوم
 ، حلب ، سوريا .
 الغزالي ، محمد شوقي ، ١٩٩٧ ، الجيوديسيا الهندسية و نظام تحديد المواقع العالمي ، القاهرة
 ، مصر .
 الربيش ، محمد بن حجيلان ، ١٤٢٠ هـ ، النظام الكوني لتحديد المواقع ، الرياض ، المملكة
 العربية السعودية .
 المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، ١٤٢٦ هـ ، نظام تحديد المواقع العالمي ،
 مقرر دراسي لطلاب الكليات التقنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية .
 المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني ، ١٤٢٦ هـ ، النظام الكوني لتحديد المواقع ،
 مقرر دراسي لطلاب المعاهد الثانوية الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية .
 تعيلب ، علي عبد العظيم ، ١٩٩٦ ، الجاذبية الأرضية ، المعهد القومي للبحوث الفلكية و
 الجيوفيزيقية ، حلوان ، مصر .
 تعيلب ، علي عبد العظيم ، ١٩٩٧ ، الجيوديسيا ، المعهد القومي للبحوث الفلكية و الجيوفيزيقية
 ، حلوان ، مصر .
 داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٢ ، استخدام أحدث تقنيات الرصد علي الأقمار الصناعية في تحديد
 حجم المنخفضات لمشروعات الإدارة المتكاملة للموارد المائية ، مجلة علوم المياه ،
 العدد ٣١ ، ص ٢٣-٣١ ، متاح في:

http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Papers/Dawod%20GPS%5E_Depression%5E_Vol%202002.pdf.

- داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٧ ، برنامج للتحويل بين المراجع الجيوديسية ، نادي نظم المعلومات
 الجغرافية في: <http://www.gisclub.net/vb/showthread.php?t=1342>
 داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٨ ، تحويل الإحداثيات من و إلي UTM ، نادي نظم المعلومات
 الجغرافية في: <http://www.gisclub.net/vb/showthread.php?t=3060>
 داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٨ ، شرح برنامج DNR Garmin ، منتدى الهندسة المساحية
 في: <http://surveying.ahlamontada.com/montada-f6/topic-t254.htm>
 داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٩ ، أحدث التطورات في إنتاج الأجهزة المساحية ، منتدى
 المهندسون العرب في الرباط: <http://www.arab-eng.org/vb/t138959.html#post1141850>

داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٩ ، الجيويد و الجي بي أس: مقال مترجم ، منتدى الهندسة المساحية في الرابط: <http://surveying.ahlamontada.com/montada-f1/topic-t573.htm>

داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٩ ، تحسين دقة مدارات الأقمار الصناعية في حسابات الجي بي إس ، متاح في:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%7C%20GPS%7C%20Orbits%7C%20Ar.pdf>

داود ، جمعة محمد ، ٢٠٠٩ ، برنامج لحساب الجيويد من EGM2008 ، منتدى الهندسة المساحية في: <http://surveying.ahlamontada.com/montada-f1/topic-t454.htm>

حموي ، هيثم نوري ، ١٩٩٧ ، مدخل إلي جيوديسيا الأقمار الصناعية ومقدمة مسهبة في نظام التوضيح العالمي ، فيينا ، النمسا ، متاح في: <http://members.chello.at/hamoui>

سمونة ، محمد علي ، ٢٠٠٥ ، نظام تحديد المواقع العالمي ، مقرر الجيوديسيا الفضائية لطلاب الدبلوم بجامعة الملك سعود بالرياض ، المملكة العربية السعودية ، صفحة: http://faculty.ksu.edu.sa/hbilani/SE412ppt%20presentations/dip_lome_6.ppt#257,1

شكري ، علي ، حسني ، محمود ، رشاد ، محمد ، ١٩٨٩ ، المساحة الجيوديسية ، منشأة المعارف ، الإسكندرية ، مصر.

صالح ، حسين عزيز ، ٢٠٠٨ ، نظام التعيين الاحداثي العالمي: الجي بي أس ، متاح في: <http://iridia.ulb.ac.be/~hsaleh/>

صيام ، يوسف ، ٢٠٠٢ ، المساحة: أنظمة الإحداثيات و قراءة الخرائط ، عمان ، الأردن. عبد العزيز ، يوسف إبراهيم و الحسيني ، محمد صفوت ، ٢٠٠٧ ، المساحة ، دار المعرفة للنشر و التوزيع، القاهرة ، مصر.

علي ، رمضان سالم محمد ، ٢٠٠٩ ، أساسيات نظام الملاحة العالمي بالأقمار الصناعية ، متاح في: <http://ramadansalem.webs.com/GPS%20Basics.pdf>

محمد ، وسام ، ٢٠٠٩ ، خدمة ال RTK عبر الجوال في العراق ، منتدى الهندسة المساحية في الرابط: <http://surveying.ahlamontada.com/montada-f11/topic-t592.htm>

مكتب الجي بي أس الرسمي الأمريكي ، ٢٠٠٨ ، نظام التوضيح العالمي ، متاح في: <http://www.gps.gov/systems/gps/arabic.html>

موسي ، أشرف القطب ، ٢٠٠٨ ، دليل منظومة الأمانة للمحطات الدائمة للنظام العالمي لتحديد المواقع بأمانة جده، تقرير أمانة محافظة جدة ، المملكة العربية السعودية ، متاح في: <http://www.jeddah.gov.sa/masaha/directories/files/dir2.pdf>

موسي ، أشرف القطب ، ٢٠٠٩ ، دليل نظم الإحداثيات و علاقتها بنظام إحداثيات خرائط أمانة جدة ، تقرير أمانة محافظة جدة ، المملكة العربية السعودية ، متاح في: <http://www.jeddah.gov.sa/masaha/directories/files/dir1.pdf>

ثانياً: المراجع الأجنبية

- Ahamed, A. and Abdalla, K., 2006, Transformation of the Transit (Doppler) and GPS stations to Adindan datum, Sudan Engineering Society' Journal, V. 52, No. 47, September, pp. 15-23. Available at: http://www.ses-sudan.org/english/SESpublishations/ses_jour/47/1523GozouliSESformat2.pdf
- Ali, A., 2009, Assessment of the polynomials for conversion between geodetic coordinates and the UTM and vice versa, CERM V. 31, N. 3, July, pp. 973-987.
- Alnaggar, D., and Dawod, G., 1995, Increasing the reliability of GPS geodetic networks, Proceedings of the First International Conference on Satellite Positioning Systems, Alexandria, Egypt, December 12-13.
- Alnaggar, D., and Dawod, G., 1999, Efficiency of GPS techniques in national applications, Proceedings of the International Conference on Integrated Management of Water Resources in the 21st Century, Cairo, November 21-25, Volume II, pp. 741-752.
- Al Marzooqi, Y., Fashir, H., and Babiker, T., 2005, Establishment & testing of Dubai Virtual Reference System (DVRS) national GPS-RTK network, Available at: http://www.gisdevelopment.net/technology/gps/me05_131.htm
- Al-Rabbany, A., 2009, GNSS Positioning - Some recent developments and trends, Map Middle East Conference, Dubai, UAE, April 26-28. Available at: http://www.gisdevelopment.net/proceedings/mapmiddleeast/2009/mme09_AhmedELRabbany.pps
- 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.
- 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/>
- Dawod, G., 1991, Some considerations in the adjustment of GPS-derived baselines in the network mode, MSC Thesis, Geodetic science and surveying department, The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Dawod%20GPS%5E_MSC%201991.pdf.
- Dawod, G., 1998, A National Gravity Standardization Network for Egypt, Ph.D. thesis, Shoubra Faculty of Engineering, Zagazig University, Cairo, Egypt, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Dawod%20ENGSN%5E_PhD%201998.pdf.
- Dawod, G., and Alnaggar, D., 2000, Optimum geodetic datum transformation techniques for GPS surveys in Egypt, Proceedings of Al-Azhar Engineering Sixth International Engineering Conference, Al-Azhar University, September 1-4, Volume 4, pp. 709-718, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GPS%20Transformation%202000.pdf.
- Dawod, G., 2003, Modernization plan of GPS in 21st century and its impacts on surveying applications, Proceedings of Al-Azhar Seventh International Engineering Conference (CD No. 3), Al-Azhar University, Cairo, Egypt, April 7-10, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Modernization%20of%20GPS%202003.pdf.
- Dawod, G., 2003b, Proposed standards and specifications for GPS geodetic surveys in Egypt, Water Science Magazine, No. 33, April. pp. 33-39, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GPS%20Standards%202003.pdf.

- Dawod, G., 2003c, Productive GPS topographic mapping for national development projects in Egypt, Proceedings of the First International Conference on Civil Engineering, Assiut University, Volume 2, pp. 246-253, October 7-8, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Top%5E_Surv%20GPS%202003.pdf.
- Dawod, G., and Abdel-Aziz, T., 2003, Establishment of precise geodetic control networks for updating the River Nile maps, Proceedings of Al-Azhar Engineering Seventh International Conference (CD No. 3), Al-Azhar University, Cairo, April 7-10, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Nile%5E_GPS%5E_Network%202003.pdf.
- Dawod, G., and Ismail, S., 2005, Enhancing the integrity of the national geodetic data base in Egypt, Proceedings of the FIG working week and GSDI-8 International Conference, Cairo, Egypt, April 16-21, Available at: http://www.fig.net/pub/cairo/papers/ts_13/ts13_06_dawod_ismail.pdf.
- Dawod, G., 2007, New strategies in the utilization of GPS technology for mapping and GIS activities in Egypt, Civil Engineering Research Magazine (CERM), V. 29, No. 1 (Jan.), pp. 292-310, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20New%20GPS%20strategies%202007.pdf.
- Dawod, G., 2008, Towards the redefinition of the Egyptian geoid: Performance analysis of recent global geoid models and digital terrain models, Journal of Spatial Science, V. 53, No. 1, pp. 31-42, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Analyiz%20Global%20Geoids%202008.pdf.
- Dawod, G., and Mohamed, H., 2009, Fitting gravimetric local and global quasi-geoids to GPS/levelling data: The role of geoid/quasi-geoid variations in Egypt, King Abdel-Aziz University's Journal of Engineering Sciences, V. 20, No. 1, pp. 47-59, Available at: <http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20>

- [and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Geoid%20QuasGeoid%202008.pdf](#).
- Dawod, G., Mohamed, W., 2009, Data management of different height systems within GPS/GIS integrated spatial technology, Accepted for presentation in the Middle East Spatial Technology Conference (MEST2009), December 7-9, Kingdom of Bahrain.
- Dawod, G., Mohamed, H., and Ismail, S., 2010, Evaluation and adaptation of the EGM2008 geopotential model along the northern Nile valley, Egypt: Case study, ASCE Journal of Surveying Engineering, Accepted and scheduled for publication in February 2010 issue.
- European Space Agency (ESA), 2009a, Galileo project website at: http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/intro/index_en.htm
- European Space Agency, 2009b, EGNOS project website at: <http://www.esa.int/esaNA/egnos.html>
- Feathersotne, W., 2008, GNSS-based heighting in Australia: Current, emerging and future issues, Spatial Science, V. 53, No. 2, pp. 115-134.
- Flury, J. and Rummed, R., 2009, On the geoid-quasigeoid separation in mountain areas, Journal of Geodesy, V. 83, pp. 829-847.
- Fugro Chance Inc., 2007, GNSS status and plans, website: <http://www.fugro.com>
- Ghilani, C., and Wolf, P., 2006, Adjustment computations: Spatial data analysis, Forth edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA.
- Habib, M. and Abu Rabah, R., 2006, An alternative approach for making maps compatible with GPS, Damascus University Journal, Vol. 22, No. 1, pp. 13-29, Available at: <http://www.dahsha.com/up/files/Maen.pdf>.
- Hadi, W. and Tuckerman, P., 2007, Kingdom of Bahrain GPS permanent reference network, Presented at the Map Middle East 2007 conference, April 11, Available at: http://www.gisdevelopment.net/proceedings/mapmiddleeast/2007/technology/GPS/mme07_Patrick.pdf.
- Heiskanen, 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.

- InsideGNSS Magazine, 2006, Compass and China's GNSS makes four, available at: <http://www.insidegnss.com/node/115>
- InsideGNSS Magazine, 2008, China adds details to Compass (Beidou II) signal plans, available at: <http://www.insidegnss.com/node/803>
- International Center of Gravity Earth Models (ICGEM), 2009, <http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/modelstab.html>, accessed October 22.
- International GNSS Service, 2009a, IGS Products, Website: <http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/compindex.html>, accessed Sept.
- International GNSS Service, 2009b, IGS orbits, website: <http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>, Accessed Sept.
- Iliffe, J., 2005, Datums and map projection: For remote sensing, GIS, and surveying, CRC Press, Washington, DC, USA.
- International Terrestrial Reference Frame (ITRF) website at: <http://itrf.ensg.ign.fr/>
- 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.
- Kohli, A. and Jennim L., 2008, Transformation of cadastral data between geodetic reference frames using finite element method, Proceedings of the FIG working week conference, Stockholm, Sweden, June 14-19, Available at: http://www.fig.net/pub/fig2008/papers/ts02a/ts02a_05_kohli_jenni_2623.pdf.
- Leandro, R., 2009, Precise point positioning with GPS: A new approach for positioning atmospheric studies and signal analysis, PhD Dissertation, New Brunswick University's technical report No. 257, April, 266 pp.
- Lieck, A., 1995, GPS Satellite surveying, John Wiley & Sons Inc., New York, USA.
- Mahmoud, D., 2004, Monitoring of crustal movements in Egypt using GPS technique, Presented at the United

- Nations/United States of America International meeting on the use and applications of Global Navigation Satellite System, December 13 – 17, Vienna, Austria.
- 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 Columbia, Canada, Available at: <http://www.ilmb.gov.bc.ca/crgb/gsr/documents/BCGuidelinesForRTKGPSSurveysApril2008.pdf>.
- Mohamed, H.F., 2005, Realization and redefinition of the Egyptian vertical datum based on recent heterogonous observations, PhD dissertation, Faculty of Engineering at Shobra, Benha University, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MS%20and%20PHD%20in%20Surveying/Hoda%5E_Mohamed%20PhD%202005.pdf.
- Mohamed, H., Dawod, G., and Ismail, S., 2007, Assessment of a cost-effective GPS data processing alternative in Egypt utilizing international on-line processing services, Water Sciences, No. 41-42, pp. 61-70, Available at: http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Assesment%20on%5E_line%20GPS%202007.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>.
- Natural Resources Canada, 1995, GPS positioning guide, Third Edition, Ottawa, Canada, Available at: http://luna.csrns.nrcan.gc.ca/GPS_Guide_e/GPS_Guide_e.pdf.
- Nassar, M., 1994, Advanced geometric geodesy, Lecture notes, Faculty of Engineering, Ain Shams University, Cairo, Egypt.
- Navarro-Reyes, D., 2007, Galileo program status and ongoing GIOVE experimentation, Presented at the EGU general assembly, Vienna, Austria, April 16.

- 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.
- Rabah, M., 2009, Enhancement the feasibility of using RTK tides in the Northern coast of Egypt based on performing undulation model corrections derived from the Earth Geopotential Model EGM2008, CERM magazine, V. 31, No. 3, July, pp. 794-808.
- Raizner, C., 2008, A regional analysis of GNSS-levelling, MSC Thesis, Stuttgart University, 133 pp.
- Russian Space Agency, 2009, GLONASS constellation status as 06.09.2009, website: <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/pls/html/db/f?p=202:20:14637162736231801312::NO::>
- Saad, A., and Dawod, G., 2002, A Precise Integrated GPS/Gravity Geoid Model for Egypt, Civil Engineering Research Magazine (CERM), Al-Azhar University, V.24, No. 1, Jun, pp.391-405.
- Shaker, A., Saad, A., Al-sagheer, A., and Abd alhay, A. , 2003, Comparative study for different transformation models

- applied on geodetic coordinate systems, Civil Engineering Research Magazine (CERM), V. 25, No. 3, pp.1562-1590.
- Shaker, A., Saad, A., El-Sayed, M., and Ali, A., 2007, Remove-restore technique for improving the datum transformation process, Proceedings of the FIG working week conference, Honk Kong, China, May 13-17. Available from: http://www.fig.net/pub/fig2007/papers/ts_3b/ts03b_03_saad_etal_1218.pdf
- 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.
- 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>.
- 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>.

الملاحق

ملحق ١ المكتبة الرقمية المساحية المجانية

المكتبة الرقمية المجانية المساحية هي موقع مجاني علي شبكة المعلومات الدولية (الانترنت) قام أحد الباحثين العرب بإنشائه بهدف خدمة طلاب الهندسة المساحية في العالم العربي. تضم المكتبة عدد كبير من المواد التعليمية و الأكاديمية في معظم تخصصات الهندسة المساحية ولا تتطلب أية شروط للحصول علي نسخة من أي ملف موجود داخلها.

موقع أو رابط المكتبة:

<https://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/home.aspx?lc=1033>

تتكون المكتبة - أو الموقع - من تسعة أقسام أو مجلدات:

١- المواد أو الكتب باللغة العربية:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/browse.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials>

٢- رسائل ماجستير و دكتوراه حديثة:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/MS%20and%20PHD%20in%20Surveying>

٣- أفلام و ملفات تدريبية عن نظم المعلومات الجغرافية:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/browse.aspx/GIS%20Training%20Vedio>

٤- مجلد المواصفات المساحية: Standards in Surveying

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/browse.aspx/Standards%20in%20Surveying>

٥- مجلد مواد جيوديسية تقنية باللغة الانجليزية :

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/browse.aspx/Geodesy%20and%20GPS>

٦- مجلد مواد مساحية عربية من قسمي المدني و العمارة:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/browse.aspx/Arabic%20Civil%20Materials>

٧- بحوث علمية باللغة العربية:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/browse.aspx/Arabic%20Surveying%20Papers>

٨- مجلد الاستشعار عن بعد:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/browse.aspx/Remote%20Sending%20Applications>

٩- كتب مساحية باللغة الانجليزية:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/browse.aspx/Books%7C%20En>

وقائمة محتويات المكتبة الرقمية موجودة بالتفصيل في منتدى الهندسة المساحية وهو أيضا موقع تقني أكاديمي غير ربحي باللغة العربية متخصص في مناقشة و عرض أحدث التقنيات المساحية ، و رابط المنتدى هو:

<http://surveying.ahlamontada.com/>

بينما محتويات المكتبة الرقمية موجودة في صفحة:

<http://surveying.ahlamontada.com/montada-f7/topic-t167.htm#267>

وسنستعرض هنا بعض من محتويات هذه المكتبة الرقمية وخاصة في مجال المساحة الجيوديسية و الجي بي أس ، والتي يمكن لأي قارئ الحصول علي نسخة من هذه الملفات الرقمية:

أولا: مواد جيوديسية باللغة العربية:

النظام العالمي لتحديد المواقع، مقرر دراسي بالكليات التقنية بالمؤسسة العامة السعودية للتعليم الفني و التدريب المهني:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%20College.pdf>

المساحة الجيوديسية ، مقرر دراسي بالكليات التقنية بالمؤسسة العامة السعودية للتعليم الفني و التدريب المهني:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Geodetic%20Survey%20sur211.pdf>

النظام العالمي لتحديد المواقع ، مقرر دراسي بالمعاهد الفنية بالمؤسسة العامة السعودية للتعليم الفني و التدريب المهني:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%20Institute.pdf>

المساحة الجيوديسية مقرر دراسي بالمعاهد الفنية بالمؤسسة العامة السعودية للتعليم الفني و التدريب المهني:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Geodetic%20Survey%20ssv2-6.pdf>

كتاب المهندس محمد بن حجيلان الربيش بعنوان: النظام الكوني لتحديد المواقع GPS :

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/GPS%20Robeesh%201420%20Ar.pdf>

كتاب الدكتور هيثم حموي عن: مدخل إلي جيوديسيا الأقمار الصناعية ونظام التوضع العالمي GPS ، وهو بتاريخ ١٩٩٧ (الكتاب موجود في موقع المؤلف علي الانترنت: <http://members.chello.at/hamoui/>) :

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%20Hamaoy%20097.pdf>

مجلة نادي نظم المعلومات الجغرافية – العدد ١ :

http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GIS%20Club%20Magazine_1.pdf

محاضرات د. ناصر النعماني (جامعة السلطان قابوس بسلطنة عمان) في الجي بي إس:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%20Oman%20All.pdf>

الدليل التشغيلي العربي لجهاز GPS ماركة Trimble 5700 مع برنامج الحساب TGO – من إعداد المهندس أحمد بن علوان عقيل:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Trimble5700%20Ahmed%20Elwan.pdf>

ملف باللغة العربية عن أساسيات نظام الملاحة العالمي بالأقمار الصناعية GPS للمهندس رمضان سالم محمد:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/GPS%20Basics%20Ramadan%20Ar.pdf>

بحث عن تطبيقات تقنية الاستشعار عن بعد و الأساليب الجيوديسية المتطورة في دراسة مورفومترية الوديان الجافة – د. مشاعل بنت محمد آل سعود – يونيو ٢٠٠٢

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Papers/RS%20in%20Morformotery%202002.pdf>

ملف باللغة العربية للدكتور حسين عزيز صالح بعنوان: نظام التعيين الاحداثي العالمي (الجي بي إس).

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%20Saleh%20Ar.pdf>

مقال عن المعلومات المساحية و تحديدات العالم الجديد:

http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Papers/KSA%20Ar%7C_Papers/GIS%20and%20Millitary%20Data.pdf

بحث عن نظام الإحداثيات في الخرائط الطبوغرافية في المملكة العربية السعودية:

http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Papers/KSA%20Ar%7C_Papers/KSA%20Topographic%20Maps.pdf

ترجمة إلى العربية لمقال عن المرجع الجيوديسي و نظام إحداثيات جمهورية مصر العربية:

http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Grids%7C_Datums%20of%20Egypt%20AR.pdf

ترجمة إلى العربية لمقال عن المرجع الجيوديسي و نظام إحداثيات المملكة العربية السعودية:

http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Grids%7C_Datums%20of%20KSA%20AR.pdf

معجم مصطلحات الجي بي أس باللغة العربية للدكتور جمعة داود:

http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%7C_GPS%7C_Glossary%7C_Ar%7C_v1.pdf

معجم المصطلحات الجيوديسية باللغة العربية للدكتور جمعة داود:

http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%20Geodetic%7C_Glossary%20Ar.pdf

ترجمة إلى العربية لمقال عن العلاقة بين الجيويد و الجي بي أس:

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/GPS%20and%20the%20Geoid%20Ar.pdf>

ثانيا: رسائل أكاديمية (ماجستير و دكتوراه) باللغة الانجليزية:

GPS-based attitude determination, MSC, 2008, University of Linkopings, Sweden:

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/GPS%20for%20attitude%20determination%20MSC%202008.pdf>

Applications of high accuracy gravity and space geodesy methodologies, PhD, 2004, University of Texas at Dallas:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/4D_Gravity_GPS%20Data%20PhD%202004.pdf

Heights, the geopotential and vertical datums, Ohio State University, Report No. 459, 2000:

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/459%20Heights%202000.pdf>

Applications of parameter estimation and hypothesis testing to GPS network adjustments, Ohio State University Report No. 465, 2002:

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/465%20GPS%20Net%20Adj%202002.pdf>

Temporal and spatial analysis of continuous GPS observations, Ph.D, 2005, Norwegian University of Science and Technology:

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Continuous%20GPS%20Analysis%20PhD%202005.pdf>

An analysis on the optimal combination of geoid, orthometric and ellipsoidal height data, PhD, 2003, University of Calgary, Canada:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MS%20and%20PHD%20in%20Surveying/PhD%20Canada%202003%20H_h_N%20Combin.pdf

Robustness analysis of geodetic networks, PhD, 2006, University of Calgary, Canada:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MS%20and%20PHD%20in%20Surveying/Roubst%20Geo_Nets%20PhD2006.pdf

Regional geoid determination methods for the era of satellite gravimetry: Numerical investigations using synthetic earth gravity models, PhD, 2004, Royal Institute of Technology, Sweden:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MS%20and%20PHD%20in%20Surveying/Geoid%20by%20Satt_Gravity%20PhD_2004.pdf

Corrective Surface for GPS-levelling in Moldova, MSC, 2006, Royal Institute of Technology, Sweden:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MS%20and%20PHD%20in%20Surveying/Geoid%20for%20GPS%20MSC_2006.pdf

Precise gravimetric geoid model for Iran based on GRACE and SRTM data and the least-squares modification of Stokes' formula with some geodynamic interpretations, PhD, 2006, Royal Institute of Technology, Sweden:

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MS%20and%20PHD%20in%20Surveying/Geoid%20of%20Iran%20PhD%202006.pdf>

Undifferenced GPS for deformation monitoring, MSC, 2006, Royal Institute of Technology, Sweden:

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MS%20and%20PHD%20in%20Surveying/GPS%20in%20Deformation%20MSC%202006.pdf>

Establishment of a high accuracy geoid correction model and geodata edge match, PhD, 2003, Iowa State University:

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MS%20and%20PHD%20in%20Surveying/Geoid%20of%20Iran%20PhD%202006.pdf>

[HD%20in%20Surveying/GPS_Net%20and%20Geoid_Correction%200PhD%202003.pdf](http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSCHD%20in%20Surveying/GPS_Net%20and%20Geoid_Correction%200PhD%202003.pdf)

The transformation of GPS into BAP heights: Combining NAP, GPS, and geoid heights to compute a height reference surface, MSC, 2006, Delft University of Technology, The Netherlands:

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSCHD%20in%20Surveying/Height%20Transformation%20MSC%202006.pdf>

Radar altimeter calibration using GPS water level measurements, MSC, 2004, Ohio State University:

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSCHD%20in%20Surveying/OSU469%20Altimeter%20Calibration%20by%20GPS%202004.pdf>

GPS buoy campaigns for vertical datum improvement and radar altimeter calibration, MSC, 2004, Ohio State University:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSCHD%20in%20Surveying/OSU470%20GPS%20V_D%20Improv%20and%20Altimeter%20Calibration%202004.pdf

Determination and characteristics of 20th century global sea level rise, MSC, 2006, Ohio State University:

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSCHD%20in%20Surveying/Sea%20Level%20Rise%20OSU2006.pdf>

Bringing GPS into harsh environment for deformation monitoring, PhD 2007, New Brunswick University:

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSCHD%20in%20Surveying/GPS%20Deformation%20PhD%202007.pdf>

Moving base INS/GPS vector gravimetry on a land vehicle, PhD 2007, Ohio State University, USA:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MS%20and%20PHD%20in%20Surveying/INS_GPS%20Gravimetry%20PhD%2007.pdf

A comparison of local and wide area GNSS differential corrections disseminated using the network transport of RTCM via internet protocol, BSC 2007, New Brunswick University:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MS%20and%20PHD%20in%20Surveying/RTCM%20GNSS%20Diff_Correction%20BSC%202007.pdf

روابط لرسائل ماجستير و دكتوراه من قسم الجيوماتيك بجامعة كالجارى الكندية:

<http://www.geomatics.ucalgary.ca/node/58>

Tightly Coupled MEMS INS/GPS Integration with INS Aided Receiver Tracking Loops,

<http://www.geomatics.ucalgary.ca/engo/files/engo/08.20270.YYang.pdf>

On the Attainable Accuracy of Multi-system GNSS Positioning in High-multipath Urban Environments ,

http://www.geomatics.ucalgary.ca/engo/files/engo/AEbner_TUGraz_Apr08.pdf

A Statistical Theory for GNSS Signal Acquisition ,

http://www.geomatics.ucalgary.ca/engo/files/engo/DBorio_Torino_Apr08.pdf

Measuring Seasonal Permafrost Deformation with Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar ,

<http://www.geomatics.ucalgary.ca/engo/files/engo/08.20269.CButterworth.pdf>

GPS L5 Software Development for High-Accuracy Applications ,

<http://www.geomatics.ucalgary.ca/engo/files/engo/08.20268.CMongredien.pdf>

Integration of GA-Based Multi-objective Optimization with VR-Based Visualization to Solve Landuse Problems ,

<http://www.geomatics.ucalgary.ca/engo/files/engo/07.20267.MageshChandramouli.pdf>

A regional analysis of GNSS levelling, MSC 2008, Stuttgart University, Germany

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MS%20and%20PHD%20in%20Surveying/GNSS%7C_Levelling%20Analysis%20MSC%202008.pdf

Processing of high-rate GPS data for real-time applications, MSC 2008, Stuttgart University, Germany:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MS%20and%20PHD%20in%20Surveying/High%7C_Rate%20RTK%20Process%20MSC2008.pdf

Surface Deformation Analysis of Dense GPS Networks Based on Intrinsic Geometry Deterministic and Stochastic Aspects, PhD 2007, Stuttgart University, Germany:

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MS%20and%20PHD%20in%20Surveying/Surface%20Deformation%20GPS%20PhD%202007.pdf>

Setting-up of GPS Reference Stations and Investigating the Effects of Antenna Radome, MSC 2003, Stuttgart University, Germany:

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MS%20and%20PHD%20in%20Surveying/GPS%20Reference%20Stations%20MSC2003.pdf>

High Resolution Regional Geoid Computation in The World Geodetic Datum 2000, PhD 1999, Stuttgart University, Germany:

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MS%20and%20PHD%20in%20Surveying/Regional%20Geoid%20Computations%20PhD1999.pdf>

ثالثاً: المواد التعليمية و البحوث المساحية والمواصفات الدولية (باللغة الانجليزية):

Canadian GPS Guide:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Canada_GPS_Guide.pdf

WGS84 Final Definition 2000:

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/WGS84%20Final%20Defintion%202000.pdf>

DMA: Geodesy for the layman 1983:

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/DMA%20Geodesy%20for%20Layman%20Tutorial%201983.pdf>

Australia ICSM Geodetic Standards v.1.6 2004:

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/Australia%20ICSM%20Geodetic%20Standards%20V1-6%202004.pdf>

Australian Standards on Control Survey 2000:

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/Australian%20Standards%20of%20Control%20Survey%202000.pdf>

Canada Guidlines for RTK_GPS Surveys:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/Canada%20Guidelines_for_rtk_gps_surveys.pdf

Canada Positioning Standards 1996:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/Canada_Positioning%20Standards%201996.pdf

New Zealand Geodetic Network Design Specifications 2002:

http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%200Surveying/NZ%20Geod_Net%20Design%20Spec%202002.pdf

New Zealand Geodetic Survey Standards 2003:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%200Surveying/NZ%20Geodetic%20Survey%20Standards%202003.pdf>

New Zealand Physical Network Design Specifications 2003:

http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%200Surveying/NZ%20Phys_Net%20Design%20Spec%202003.pdf

New Zealand Specifications of First-order Levelling GPS 2003:

http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%200Surveying/NZ%20secification%20of%20First_order%20GPS%20003.pdf

US California Geodetic Network GPS Specifications 1996:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%200Surveying/US%20California%20Horizontal%20Geodetic%20Net%20Specifications%201994.pdf>

US FGCC Geodetic Survey Standards 1984:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%200Surveying/US%20FGCC%20Geodetic%20Survey%201984.pdf>

US FGCC GPS Standards 1989:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%200Surveying/US%20FGCC%20GPS%20Standards%201989.pdf>

US FGCC Levelling Specifications 1995:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%200Surveying/US%20FGCC%20Levelling%201995.pdf>

US Geospatial Positioning Standards 1998:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%200Surveying/US%20Geospatial%20Positioning%20Standards%201998.pdf>

US North Carolina GPS Standards 2006:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%200Surveying/US%20North%20Carolina%20GPS%20Standards%202006.pdf>

USA Army Manual on Geodetic Surveys 2002:

http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%200Surveying/USA%20Army%20Geod_Surveys%202002.pdf

USA Army Manual on Topographic Surveys 1994:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%200Surveying/USA%20Army%20Topo%20Surveys%201994.pdf>

US Army Cadastral GPS Standards 2001:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%200Surveying/USA%20Cadastral%20GPS%20Survey%20Standards%202001.pdf>

USA Highway Dept. Standards for GPS 2005:

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%200Surveying/USA%20Highway%20Dept%20Standards%20GPS%202005.pdf>

Australia Specifications on MSL monitoring systems

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%200Surveying/Australia%20Spec%20on%20MSL%20moitoring%20sy stems.pdf>

Australia Specifications on tide gauge stations

<http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%200Surveying/Australia%20Spec%20on%20tide%20guage%20station s.pdf>

NZ Hydrographic standards 2001

http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%200Surveying/Hydro_Stand%20New%20Zeland%202001.pdf

USA Hydrographic standards 2007

http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%200Surveying/US%20Hydrographic%20Specs_2007.pdf

USA Army Photogrammetric standards 2002

http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%200Surveying/USA%20Army%20Photog_Standards%202002.pdf

Utilization of GIS and RTK GPS Reference Networks for Machine Automation:

http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/GIS%20Training%200Vedio/GIS_RTK%20machine%20control%202008.pdf

An alternative approach for making maps compatible with GPS in Syria, 2006:

http://cid-0259cb4f889eae3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/GPS%20coord%7C_regression%20in%20Syeria%202006.p df

DPOD2005: An extension of ITRF2005 for Precise Orbit Determination, Advances in Space Research, 2009.

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/ITRF2005%20Extention%202009.pdf>

Analysis of some positional accuracy assessment methodologies, ASCE Journal of Surveying Engineering, May 2008.

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/ASCE2008%20Positional%20Assesment.pdf>

CORS-TR for Precise GNSS positioning in Turkey, 2009:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Papers/GIS%7C_KSA%7C_Conf%7C_2009/7%7C_E%7C_KamilEren%7C_KSA.pdf

Determination of the orthometric height inside Mosul University campus by using GPS data and the EGM96 gravity field model, Journal of Applied Geodesy, 2008:

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/EGM96%20in%20Iraq%202008.pdf>

Ionospheric delay correction in Egypt, 2008:

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Ionospheric%20delay%20Egypt%202008.pdf>

Accuracy assessment study of static-GPS in south Egypt, 2008:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Static%7C_GPS%20South%20Egypt%202008.pdf

Tropospheric correction estimation in Egypt, 2008:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Tropo%7C_Correction%20Egypt%202008.pdf

US Army manual on Survey Markers and Monumentation, 1990:
<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/USArmy%20Survey%20Markers%20Monumentation.pdf>

رابعاً: بحوث د. جمعة داود:

(أ) الرسائل الأكاديمية:

رسالة الماجستير و عنوانها:

Some considerations in the adjustment of GPS baselines in the network mode, 1991

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Dawod%20GPS%5E_MSC%201991.pdf

رسالة الدكتوراه و عنوانها:

A national gravity standardization network for Egypt, 1998

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Dawod%20ENGSN%5E_PhD%201998.pdf

أيضاً رأيت زوجني د. هدي فيصل محمد أن تنشر - نسخة لوجه الله تعالى - من رسالتها للدكتوراه و عنوانها:

Realization and redefinition of the Egyptian vertical datum based on recent heterogeneous observations, 2005

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/MSC%20and%20PHD%20in%20Surveying/Hoda%5E_Mohamed%20PhD%202005.pdf

(ب) البحوث العلمية باللغة العربية:

استخدام أحدث تقنيات الرصد على الأقمار الصناعية لتحديد حجم المنخفضات لمشروعات إدارة الموارد المائية ، ٢٠٠٢

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Papers/Dawod%20GPS%5E_Depression%5E_Vol%202002.pdf

دراسة الفروق بين مناسيب رخامات الري و مناسيب روبيرات المساحة لمحطات قياس مناسيب المياه علي نهر النيل ، ٢٠٠٥

<http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Papers/Dawod%20Nile%20Gauges%20and%20MSL%20005.pdf>

(ج) البحوث العلمية باللغة الانجليزية:

Towards the redefinition of the Egyptian geoid: Performance analysis of recent global geoid models and digital terrain models, 2008

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Analyz%20Global%20Geoids%202008.pdf

Fitting gravimetric local and global quasi-geoids to GPS/levelling data: The role of geoid/quasi-geoid variations in Egypt, 2008

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Geoid%20QuasGeoid%202008.pdf

Estimation of Sea Level Rise Hazardous Impacts in Egypt within a GIS Environment, 2008

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GIS%20for%20MSL%20008.pdf

Assessment of a cost-effective GPS data processing alternative in Egypt utilizing international on-line processing services, 2007

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Assesment%20on%5E_line%20GPS%202007.pdf

Evaluation of River Nile high flood effects by Geographic Information System, 2007

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GIS%5E_Nile%20Floods%202007.pdf

New strategies in the utilization of GPS technology for mapping and GIS activities in Egypt, 2007

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20New%20GPS%20strategies%202007.pdf

Enhancing the integrity of the national geodetic data base in Egypt, 2005

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Geo%5E_Net%20in%20Egypt%20FIG%202005.pdf

Developing a precise geoid model for hydrographic surveying of the River Nile, 2005

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Nile%5E_Geoid%202005.pdf

Assessment and modelling of sea level rise and metrological changes in Egypt, 2005

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Sea%20Level%20Rise%20in%20Egypt%202005.pdf

Productive GPS topographic mapping for national development projects in Egypt, 2003

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Top%5E_Surv%20GPS%202003.pdf

Proposed standards and specifications for GPS geodetic surveys in Egypt, 2003

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GPS%20Standards%202003.pdf

Modernization plan of GPS in 21st century and its impacts on surveying applications, 2003

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Modernization%20of%20GPS%202003.pdf

Efficiency of new solutions for surveying and mapping problems in integrated water resources management, 2003

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Navig%20GPS%20Transf%202003.pdf

Establishment of precise geodetic control networks for updating the River Nile maps, 2003

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Nile%5E_GPS%5E_Netw%20ork%202003.pdf

A Precise Integrated GPS/Gravity Geoid Model for Egypt, 2002

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20SRI%5E_Geoid%202002.pdf

The Establishment of the First Modern Sea Level Monitoring System in Egypt, 2002

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20MSL%20System%20Egypt%202002.pdf

The magnitude and significance of long-term sea level rise in Egypt from a geodetic perspective, 2001

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20MSL%20Rise%20in%20Egypt%202001.pdf

Quality control measures for the Egyptian National Gravity Standardization Network, 2000

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20QC%20of%20ENGSN97%202000.pdf

Optimum geodetic datum transformation techniques for GPS surveys in Egypt, 2000

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GPS%20Transformation%202000.pdf

Efficiency of GPS techniques in national applications, 1999

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GPS%20in%20Nat%5E_Project%201999.pdf

Increasing the reliability of GPS geodetic networks, 1995

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Outliers%20in%20GPS%201995.pdf

A method for detecting no-check observations in GPS networks, 1992

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GPS%20No%5E_Check%201992.pdf

On the use of pseudo-Kinematic GPS satellite positioning technology in surveying reclaimed lands in Egypt, 1992

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Pseudo%5E_Kin%20GPS%201992.pdf

(د) المقالات العلمية:

The Egyptian National Gravity Standardization Network (ENGSN97), 2001

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20Article%5E_ENGSN97%202001.pdf

دقة أجهزة النظام العالمي لتحديد المواقع GPS المحمولة يدويا وتطبيقاتها في بناء نظم المعلومات الجغرافية GIS ، ٢٠٠٨

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Papers/Dawod%20Article%5E_GPS%20Handy%202008.pdf

ملحق ٢ معجم مصطلحات الجي بي أس^١

2D Operation Mode

وضع التشغيل ثنائي الأبعاد
استعمال جهاز الجي بي أس في وضع يسمح فقط بتحديد الإحداثيات ثنائية الأبعاد (أي الإحداثيات الأفقية فقط) والذي يتطلب رصد علي الأقل ثلاثة أقمار صناعية.

3D Operation Mode

وضع التشغيل ثلاثي الأبعاد
استعمال جهاز الجي بي أس في وضع يسمح بتحديد الإحداثيات ثلاثية الأبعاد (أي الإحداثيات الأفقية وأيضا الإحداثيات الرأسية) والذي يتطلب رصد علي الأقل أربعة أقمار صناعية.

Absolute Positioning

التحديد المطلق للموقع أو الإحداثيات
قدرة جهاز الجي بي أس علي حساب قيم إحداثيات الموقع دون الحاجة لجهاز آخر كمرجع.
ويسمي أيضا تحديد موقع نقطة
Point Positioning

Accuracy

الدقة
مقياس لمدي قرب إحداثيات الجي بي أس المحسوبة إلي قيمة الإحداثيات الحقيقية لهذا الموقع.

Acquisition Time

زمن الاكتساب
الزمن الذي يستغرقه جهاز الجي بي أس حتى يتعامل مع إشارات الأقمار الصناعية و يحدد الموقع أو يحسب إحداثياته.

Altimeter

مقياس الارتفاع
جهاز يسمح بقياس الارتفاع من خلال قياس الضغط الجوي [بعض أجهزة الجي بي أس وخاصة الملاحة يوجد داخلها هذا الجهاز].

Ambiguity

الغموض
العدد المجهول للدورات الكاملة للموجة الحاملة للإشارة بين القمر الصناعي وجهاز الاستقبال.
أيضا يسمي: غموض الدورة
Cycle Ambiguity

Anywhere Fix

الحساب في أي مكان
القدرة المطلقة لجهاز الاستقبال لحساب الإحداثيات دون إعطاؤه مسبقا الموقع التقريبي أو الزمن.

¹ ترجمة المؤلف لفصول المصطلحات Glossary في عدة مصادر علمية باللغة الانجليزية

Antenna

أنتنا أو هوائي

الجزء في جهاز استقبال الجي بي أس المختص باستقبال إشارات الأقمار الصناعية وتحويلها إلي المعالج الرياضي داخل الجهاز الذي يقوم بإجراء الحسابات الرياضية اللازمة لتحديد الموقع.

Anti-spoofing (A/S)

ضد التجسس

تقنية تشفير مطورة بواسطة وزارة الدفاع الأمريكية بغرض عدم السماح للمستخدمين المدنيين باستقبال أو التعامل مع الشفرة الدقيقة (المعروفة باسم الشفرة P) للأقمار الصناعية.

Almanac Data

بيانات التقويم

بيانات ييئها كل قمر صناعي عن مداره و حالته وأيضا عن مدارات باقي الأقمار الصناعية في منظومة الجي بي أس. تسمح بيانات التقويم لجهاز الاستقبال من التعامل مع الأقمار الصناعية بسرعة بمجرد أن يتم تشغيل الجهاز.

Apogee

نقطة الأوج

نقطة في مدار القمر الصناعي يبلغ عندها أقصى بعد أو مسافة من الأرض.

Atomic Clock

ساعة ذرية

نوع الساعة الموجودة في أقمار الجي بي أس، وهي ساعة دقيقة جدا جدا وهي أما ساعة من نوع السيزيوم أو ساعة من نوع الرابيديوم.

Auto-correlation

الترابط - أو الارتباط - الآلي

بالتقاس إلي شفرة معينة ، فهو رسم بياني أو توقيع لحاصل ضرب تسلسل الضوضاء لإشارة القمر الصناعي في نسخة مؤخرة delayed copy منه.

Azimuth

انحراف

الاتجاه - أو الزاوية - الأفقي الذي يصنعه الخط الواصل بين نقطتين علي سطح الأرض مع اتجاه الشمال (أو الجنوب) مقاسا في اتجاه دوران عقرب الساعة. وله أسم آخر هو

Bearing

Bandwidth

عرض التردد

مقياس لعرض تردد إشارة معينة ، يقاس بوحدات الهرتز.

Baseline

خط القاعدة

المتجه **vector** ثلاثي الأبعاد (فرق س ، فرق ص ، فرق ع) بين أي نقطتين الناتج أو الذي تم حسابه من خلال بيانات الجي بي أس.

Base Station

نقطة أساسية

وتسمى أيضا نقطة مرجعية **Reference Station** ، وهي نقطة ثوابت أرضية مساحية معلومة الإحداثيات. تكون فائدتها الأساسية أن جهاز جي بي أس يقف عليها مما يسمح له بتحديد قيمة خطأ الإحداثيات للأقمار الصناعية في كل لحظة من لحظات الرصد (بمقارنة الإحداثيات المحسوبة من قياسات الجي بي أس بالإحداثيات المعلومة لهذه النقطة) ومن ثم يمكن استخدام هذا التصحيح في تحديد قيمة خطأ الإحداثيات لجهاز جي بي أس يرصد (في نفس فترة الرصد) نقطة أو نقاط أخرى غير معلوم إحداثياتها.

Beat Frequency

التردد الغالب

واحد من ترددين إضافيين نحصل عليهما عند خلط إشارتين من ترددين مختلفين ، وهو يساوي مجموع أو الفرق بين الترددين الأصليين.

Binary Pulse Code Modulation

النبض الرقمي لتعديل الشفرة

هو تعديل ثنائي الحالة للنبض باستخدام سلسلة من الأرقام أو الشفرات ، و يتم تمثيل التعديل باستخدام إما 1 أو صفر ولكلا منهما معني محدد.

Binary Bi-phase Modulation

التعديل الرقمي للطور

تغير طور الإشارة علي تردد ثابت بدرجة إما تساوي صفر أو تساوي 180 ، ويتم تمثيل التغير بقيم صفر أو 1 علي الترتيب.

Binary Code

شفرة رقمية

نظام يستخدم في الاتصالات حيث يتم تحيد معني محدد لسلاسل رقمية تتكون من مجموعة من العدد صفر أو مجموعة من العدد 1 .

Broadcast Ephemeris (or Ephemerides)

البيانات المذاعة أو المبتوثة

البيانات (المتعلقة بالمدار) التي تبثها أقمار الجي بي أس.

C/A Code

شفرة الاكتساب الخشن C/A

الشفرة القياسية المسماة الاكتساب الخشن **Course Acquisition** المعروفة اختصارا باسم C/A وتعرف أيضا باسم الشفرة القياسية وأيضا باسم الشفرة المدنية (لأنها هي الشفرة المتاحة لمستخدمي أو أجهزة الجي بي أس للمدنيين). تحتوي هذه الشفرة علي بيانات

(مدارات) أقمار الجي بي أس علي تردد يساوي ١٠٢٣ ولها معدل chipping rate يساوي ١.٠٢٣ ميجاهرتز وبالتالي فإن فترتها الزمنية تساوي ١ مللي ثانية (أي ١ من ألف من الثانية).

Carrier

الموجة الحاملة

موجة راديو عالية التردد لها علي الأقل خاصية واحدة (تردد frequency أو اتساع amplitude أو طور phase) ويمكن أن تتغير بتعديل modulation. عامة يكون طول الموجة الحاملة أقصر من طول الشفرات codes.

Carrier Beat Phase

الطور المعدل للموجة الحاملة

الفرق في الطور phase بين الموجة الحاملة لإشارة القمر الصناعي والموجة المماثلة التي يتم توليدها داخل جهاز الاستقبال.

Carrier Phase

طور الموجة الحاملة

قياس الطور للموجة الحاملة ، وغالبا يتم تحويل قيمة النسبة المئوية إلي ملليمترات.

Carrier Frequency

التردد الحامل

تردد الناتج – الأساسي غير المعدل – الصادر من جهاز راديو.

Cartesian/Geo-centric Coordinates

الإحداثيات الكارتيزية أو المركزية

نظام لتحديد الإحداثيات المتعامدة ، يعتمد علي: مركز النظام هو مركز الأرض ، المحور السيني x والمحور الصادي y يكونا في مستوي دائرة الاستواء بحيث أن المحور السيني يمر بخط طول جرينتش ، المحور الراسي z ينطبق مع محور دوران الأرض.

Channel

قناة

تتكون القناة في جهاز الجي بي أس من المكون المادي hardware والبرامج software التي تسمح باستقبال إشارة قمر صناعي واحد علي أحد ترددي الموجة الحاملة (أي أن جهاز الجي بي أس يحتوي عدد من القنوات بعدد الأقمار الصناعية التي يمكنه استقبال بياناتها في نفس اللحظة).

Chip

رقاقة

أ- أقل زمن استقبال لمعلومة bit (إما صفر أو ١) في النظام الرقمي تكون في تردد معين.

ب- رقاقة مربعة صغيرة ورقيقة جدا والتي عليها يتم تكوين دائرة كهربائية.

Clock Bias

خطأ الساعة

الفرق بين الزمن الذي تعطيه الساعة و الزمن الحقيقي.

Code

شفرة

نظام لتمثيل المعلومات مع قواعد لاستعماله.

Code Receiver

مستقبل الشفرة

جهاز استقبال جي بي أس يعتمد علي استقبال قياسات الشفرة (سواء الشفرة المدنية C/A أو الشفرة العسكرية P) كما أنه يستخدم البيانات – مدارات الأقمار الصناعية - المذاعة broadcast ephemeris

Codeless Receiver

مستقبل غير شفري

جهاز استقبال جي بي أس لا يعتمد علي الشفرة ، كم أنه لا يسجل البيانات المذاعة. لذلك فقبل حساب خط القاعدة يجب الحصول علي ملف للبيانات (مدارات الأقمار الصناعية) من أي مصدر خارجي.

Collimate

تمركز أو احتلال نقطة

ضبط الجهاز المساحي أعلي علامة مساحية أرضية (بلغة أو مصطلحات المساحة نقول: احتلال النقطة!).

Complete Instantaneous Phase Measurement

القياس الكامل اللحظي للطور

قياس الطور المعدل للإشارة الحاملة الذي يحتوي علي عدد دورات الطور منذ أول قياس أو أول صدور. أنظر: غموض الدورة الصحيح.

Control Points

نقاط التحكم

النقطة أو النقاط معلومة الإحداثيات. ويتم استخدام هذه الإحداثيات – كقيم ثابتة موثوق بها – في الأعمال المساحية اللاحقة.

Control Segment

الجزء المتحكم

شبكة (من ٥) نقاط مراقبة و تحكم عالمية لتقنية الجي بي أس لتضمن دقة مدارات الأقمار الصناعية وساعاتها الذرية ، و تقع نقطة التحكم المركزية في ولاية كلورادو بأمريكا.

Correlation Type Channel

قناة ارتباطيه النوع

قناة تستخدم الارتباط – أو الترابط – لضمان التزامن بين الشفرة أو الموجة المولدة داخل المستقبل و الشفرة أو الموجة القادمة من القمر الصناعي.

Cutoff Angle

زاوية القطع

تسمى أيضا زاوية القناع Mask Angle ، أقل قيمة مقبولة لزاوية ارتفاع القمر الصناعي الذي نستقبل إشاراته. يتم تحديد قيمة زاوية القطع – داخل جهاز الجي بي أس – بحيث أنه لا يسجل أو يتعامل مع أي إشارات للأقمار الصناعية التي يقل ارتفاعها عن مستوي الأفق عن هذه القيمة ، وذلك بغرض تفادي الإشارات القريبة من الأفق حيث يكون تأثير الغلاف الجوي كبير على الإشارات مما يؤدي لسوء دقة تحديد الموقع [غالبا تكون قيمة زاوية القطع ١٥ درجة أو أقل].

Cycle Ambiguity

غموض الدورة

أنظر: الغموض Ambiguity.

Cycle Slip

خطأ الدورة

عدم استمرارية الموجة الحاملة للإشارة التي يتم قياسها نتيجة عائق معين منع الموجة من الوصول لجهاز الاستقبال.

D-Code (Data Message)

الشفرة د (رسالة البيانات)

هي رسالة – ١٥٠٠ بايت – تكون داخل إشارة الجي بي أس تحمل بيانات عن مواقع القمر الصناعي وتصحيح الساعة وكفاءة القمر ، كما أنها تحتوي معلومات عن باقي الأقمار الصناعية في منظومة الجي بي أس.

Datum

المرجع أو البيان

نظام مرجعي - أفقي أو رأسي – للقياسات و الحسابات المساحية. يتم استخدام مجموعة من العناصر ونقاط التحكم للتحديد الدقيق ثلاثي الأبعاد لشكل الأرض. يحدد المرجع أجزاء من نظام الإحداثيات الجغرافية الذي يكون الأساس لنظام إحداثيات مستوية. عامة تكون المراجع الأفقية منسوبة لاليسويد ellipsoid (اقطع الناقص أو الشكل البيضاوي) أو لشبكة إحداثيات مترية. أما المراجع الرأسية فتكون مرجعة إلي الجيويد (الشكل الحقيقية للأرض). يسمى أحيانا المرجع الجيوديسي Geodetic Datum

Datum Transformation, Geographic Transformation

تحويل المراجع (أو التحويل الجغرافي)

طريقة رياضية لتحويل البيانات (الإحداثيات) بين نظامي إحداثيات جغرافية أي بين مرجعين مختلفين.

Deflection of the Vertical

انحراف الرأس
الزاوية بين الاتجاه العمودي على الجيود (خط الشاغول) والاتجاه العمودي على الاليسويد.

Delay Lock

قفل التأخير
تقنية لارتباط الشفرة حيث يتم مقارنة الشفرة القادمة من القمر الصناعي مع نسختين (أحدهما مبكرة والثانية متأخرة) من الشفرة المرجعية التي يتم توليدها داخل جهاز الاستقبال.

Differencing

توليد اختلاف أو فروق
أسلوب مستخدم في حسابات خط القاعدة لتحديد قيمة غموض الدورة وتقليل عدد مصادر الأخطاء التي تشمل تغير الذبذبة و أخطاء الغلاف الجوي. يقوم هذه الأسلوب على توليد فروق لقياسات الموجة الحاملة سواء من خلال فروق الزمن أو فروق التردد أو فروق المستقبلات أو فروق الأقمار أو أي توليفة من الفروق السابقة.

وأشهر أنواع الفروق هي كالاتي:

Single difference between receivers

الفرق الأحادي بين أجهزة الاستقبال
الفرق اللحظي في الموجة الحاملة للإشارة مقاسا بواسطة جهازين استقبال جي بي أس يستقبلان نفس الإشارات في نفس اللحظة.

Double difference between receivers and between satellites

الفرق الثنائي بين أجهزة الاستقبال والأقمار الصناعية
الفرق اللحظي في الموجة الحاملة للإشارة لقمرين صناعيين مقاسا بواسطة جهازين استقبال جي بي أس يستقبلان نفس الإشارات في نفس اللحظة. أي أن الفرق الثنائي هو الفرق بين ٢ فرق أحادي لقمرين صناعيين عند نفس اللحظة.

A triple difference between receivers, between satellites, and between epochs

الفرق الثلاثي بين أجهزة الاستقبال والأقمار الصناعية واللحظات
الفرق اللحظي في الموجة الحاملة للإشارة لقمرين صناعيين مقاسا بواسطة جهازين استقبال جي بي أس يستقبلان نفس الإشارات عند لحظتين مختلفتين. أي أن الفرق الثلاثي هو الفرق بين ٢ فرق ثنائي لقمرين صناعيين في لحظتي رصد متتاليتين.

Differential Positioning

التحديد التفاضلي للمواقع (أو الإحداثيات)
تحديد موقع أو إحداثيات نقطة نسبة لموقع نقطة مرجعية حيث يكون جهازي استقبال جي بي أس يرصدوا الإشارات عند كلا النقطتين في نفس اللحظة.

Differential GPS (DGPS)

الجي بي أس التفاضلي

هو امتداد لمنظومة الجي بي أس باستخدام محطة أو محطات أرضية لبث المواقع أو الإحداثيات
[غالبا يستخدم مصطلح DGPS في المساحة ليعبر عن وضع يكون فيه جهاز جي بي
أس ثابت علي نقطة معلومة وآخر متحرك وبأسلوب معين يمكن الاستفادة من إحداثيات
النقطة المعلومة لزيادة دقة الإحداثيات المحسوبة للنقطة المجهولة].

Dilution of Precision (DOP)

تخفيف – أو معامل - الدقة

مقياس للتأثير الهندسي لعدم الدقة في تحديد أي موقع.

أشهر أنواع DOP هي:

GDOP

التخفيف الهندسي للدقة

مقياس الدقة في الموقع ثلاثي الأبعاد وأيضا الزمن.

PDOP

التخفيف الموقعي للدقة

مقياس الدقة في الموقع ثلاثي الأبعاد.

HDOP

التخفيف الأفقي للدقة

مقياس الدقة في الموقع ثنائي الأبعاد أي الأفقي.

VDOP

التخفيف الرأسى للدقة

مقياس الدقة في الموقع الرأسى أي الارتفاع.

RDOP

التخفيف النسبي للدقة

مقياس الدقة النسبي أي جودة خط القاعدة.

Doppler Shift

فرق دوبلر

التغير في تردد الإشارة القادمة نتيجة تغير معدل المسافة بين القمر و جهاز الاستقبال (أول من
تحدث عنه العالم دوبلر ولذلك سمي باسمه). أنظر أيضا: الطور المعدل للموجة
الحاملة.

Dynamic Positioning

التحديد الديناميكي للمواقع أو الإحداثيات

أنظر: التحديد المتحرك للمواقع Kinematic Positioning

Ellipsoidal Height

الارتفاع الأليبيسويدي

ارتفاع أي نقطة عن سطح الأليبيسويد. يسمى أيضا الارتفاع الجيوديسي Geodetic Height

Fast Switching Channel

القناة سريعة التحول أو التغيير

قناة تغيير أو تحول لها معدل زمني صغير بدرجة تكفي لتحديد (من خلال برنامج حساب) الجزء الصحيح من طور الموجة الحاملة.

Fractional Instantaneous Phase Measurement

قياس الجزء اللحظي للطور

مقياس لطور الموجة الحاملة للإشارة لا يحتوي أي جزء صحيح لعداد الدورة ، وتكون قيمته

بين الصفر و الواحد. أنظر أيضا: Complete Instantaneous Phase

Measurement

Frequency Band

مجموعة ترددات

مقدار - أو مجموعة - من الترددات في جزء محدد من الطيف الكهرومغناطيسي.

Frequency Spectrum

الطيف الترددي

تشتمت نطاق - بدلالة جزء من التردد - تردد موجة معينة لإشارة.

Galileo

جاليليو

النظام الأوروبي للملاحة و تحديد المواقع بالرصد علي الأقمار الصناعية (تحت التطوير).

Geoid

الجيويد

السطح الأساسي في علم الجيوديسيا ويعرف بأنه: سطح متساوي الجهد equipotential

لمجال الجاذبية الأرضية الذي يمكن تقريبه - بدرجة كبيرة - بمستوي متوسط سطح

البحر Mean Sea Level أو المعروف باسم MSL (الفرق بين الجيويد و MSL

في حدود ١-٢ متر). الجيويد هو المرجع الجيوديسي الرأسي للارتفاعات الأرثومتريّة

Orthometric Heights أو المناسب [شكل الجيويد هو الشكل الحقيقي للأرض

لكنه شكل متعرج غير منتظم وليس له معادلات حسابية لوصفه وبالتالي لا يمكن

استخدامه في حسابات المساحة وتحديد المواقع و إنشاء الخرائط ولذلك نستعوض عنه -

حسابيا - بالأليبيسويد].

Geodetic Height

الارتفاع الجيوديسي

ارتفاع أي نقطة عن سطح الأليبيسويد. يسمى أيضا الارتفاع الأليبيسويدي Ellipsoidal

Height

Geoidal Height

الارتفاع الجيودي ، يرمز له N
الفرق بين الارتفاع الارثومتري (يرمز له H) و الارتفاع الجيودي (يرمز له h). يسمى
أيضا حيود الجيود Geoidal Undulation [العلاقة الرياضية أو المعادلة بين
الارتفاعات الثلاثة هي: $N = h - H$].

GLobal Orbiting NAVigation Satellite System (GLONASS)

جلوناس
النظام الروسي لتحديد المواقع بالرصد علي الأقمار الصناعية (أي المنافس الروسي للجي بي أس).
أس).

Global Positioning System (GPS)

النظام العالمي لتحديد المواقع المعروف اختصارا باسم الجي بي أس.

Global Navigation Satellite Systems (GNSS)

النظم الملاحية العالمية للأقمار الصناعية
أي نظام ملاحي عالمي لتحديد المواقع بالرصد علي الأقمار الصناعية [أي أن الجي بي أس و
جلوناس و جاليليو يعدوا من نظم GNSS].

Handover Word

كلمة التحول
كلمة داخل رسالة القمر الصناعي تحتوي علي معلومة التزامن عند التحول من الشفرة المدنية
C/A إلي الشفرة العسكرية P.

Independent Baselines

خطوط قاعدة مستقلة
خطوط قاعدة تم قياسهم من خلال فترات رصد sessions مستقلة.

Independent Observing Sessions

فترات رصد مستقلة
فترات رصد يمكن فيها إهمال تأثير أي خطأ مشترك يؤثر علي الأرصاد.

Ionospheric Refraction

الانكسار الأيوني
تأثر أي إشارة تمر في طبقة الأيونوسفير (أحدي طبقات الغلاف الجوي التي تتميز بعدم استقرار
الايونات فيها) وخاصة في الزمن مقارنة بنفس زمن مرورها في الفراغ. يؤثر
الانعكاس الأيوني علي الطور طبقا لعدد الالكترونات التي تؤثر علي الإشارة الحاملة.

Interferometry

تبادلي
أنظر: Relative Positioning التحديد النسبي للمواقع.

Kinematic Positioning

التحديد المتحرك للمواقع

يعبر عن التطبيقات التي نحدد فيها موقع هدف متحرك مثل سفينة ، طائرة ، ... الخ.

Lane

حارة أو ممر ضيق

المساحة المحصورة بين خطين (أو سطحين) متجاورين من طور الموجة الحاملة للإشارة أو الفرق بين طورين لإشارتين مختلفتين.

L Band

مجموعة ترددات L

تردد الراديو الممتد من ٣٩٠ ميغا هرتز إلي ١٥٥٠ ميغا هرتز.

L1

تردد L1

التردد الأول الذي تبتث عليه أقمار الجي بي أس إشاراتها ويساوي ١٥٧٥.٤٢ ميغا هرتز ، وعلي هذا التردد توجد الشفرة المدنية C/A والشفرة العسكرية P وأيضا الرسالة الملاحة للقمر الصناعي.

L2

تردد L2

التردد الثاني الذي تبتث عليه أقمار الجي بي أس إشاراتها ويساوي ١٢٢٧.٥٠ ميغا هرتز ، وتوجد علي هذا التردد الشفرة العسكرية P فقط.

L5

تردد L5

التردد الثالث الذي ستبدأ أقمار الجي بي أس بث إشاراتها عليه عند اكتمال خطة تطوير منظومة الجي بي أس مع إطلاق الأنواع المحدثة من الأقمار الصناعية [غالبا في عام ٢٠٠٩م] وسيكون التردد مساويا ١١٧٦.٤٥ ميغا هرتز.

L2C

شفرة مدنية جديدة – أو ثانية باعتبار الشفرة المدنية الأولى هي C/A – ستبدأ أقمار الجي بي أس بثها – علي التردد الثاني L2 - مع اكتمال خطة تطوير منظومة الجي بي أس مع إطلاق الأنواع المحدثة من الأقمار الصناعية [غالبا في عام ٢٠١١م].

L2M

شفرة عسكرية جديدة – أو ثانية باعتبار الشفرة العسكرية الأولى هي P – ستبدأ أقمار الجي بي أس بثها – علي التردد الثاني L2 - مع اكتمال خطة تطوير منظومة الجي بي أس مع إطلاق الأنواع المحدثة من الأقمار الصناعية [غالبا في عام ٢٠١١م].

Lock

اتصال مستمر

حالة الاستمرارية - وعدم الانقطاع - في استقبال إشارة راديو [من القمر الصناعي].

Mask Angle

زاوية القناع

أنظر: Cutoff Angle

Monitor Station

محطة مراقبة

واحدة من خمسة محطات تديرهم وزارة الدفاع الأمريكية لضبط منظومة الجي بي أس والتأكد من كفاءة عملها.

Multipath

تعدد المسارات

ظاهرة - كأنها تشبه وجود ظلال علي شاشة التلفزيون - حيث تصل إشارة القمر الصناعي إلي جهاز الاستقبال بعد أن تكون مرت في مسارات متعددة. أي أن المسار سيكون أطول من المفترض (بين القمر و جهاز الاستقبال) بعد أن ينعكس من أي عائق مثل الأرض أو مبني أو مركب ... الخ وبالتالي فإنه عندما يصل إلي جهاز الاستقبال سيعطي مسافة (بين القمر الصناعي و الجهاز) أطول من المسافة الحقيقية مما سينتج معه خطأ في حساب الإحداثيات ، وهو الخطأ المسمي: خطأ تعدد المسارات.

Multipath Error

خطأ تعدد المسارات

خطأ يحدث نتيجة تداخل موجات الراديو - التي تسافر من الأقمار الصناعية إلي أجهزة الاستقبال - من خلال مسارين لهم طولي موجة مختلفين. [يحدث هذا الخطأ في قياسات الجي بي أس نتيجة انكسار إشارة القمر الصناعي علي أي جسم أو عائق (مبني أو شجرة أو عائق معدني) ثم ارتدادها لتصل إلي جهاز الاستقبال].

Multi-Channel Receiver

مستقبل متعدد القنوات

جهاز استقبال جي بي أس يحتوي عدة قنوات.

Multiplexing Channel

قناة متعددة التحول أو متعددة الاستقبال

قناة في جهاز الاستقبال تسمح بالتحول بين إشارات عدة أقمار صناعية بمعدل يتزامن مع زمن رسالة قمر الجي بي أس (٥٠ بايت في الثانية أو ٢٠ مللي ثانية للبايت الواحد) أي أن التحول من رسالة قمر إلي الآخر تستغرق ٢٠ مللي ثانية. [هذا النوع من القنوات يقلل من تكلفة جهاز الاستقبال لان عدد قنوات الاستقبال سيقل لكنه غير مناسب للأجهزة الهندسية التي تتطلب دقة في استقبال رسالة كل قمر صناعي علي قناة مستقلة].

NAV Data وأيضا تسمي Navigation Message

الرسالة الملاحة

رسالة - 1500 بايت - سييها كل قمر صناعي بمعدل 50 بايت/ثانية علي كلا من التردد L1 و L2 ، وتحتوي هذه الرسالة علي بيانات: الزمن ، قيم تصحيح الساعة ، عناصر نموذج تصحيح خطأ الأيونوسفير ، و مدار القمر وكفائته. وهذه البيانات هي التي تستخدم لحساب موقع أو إحداثيات المستخدم.

NAVSTAR

نافستار

اسم كل قمر صناعي في تقنية الجي بي أس ، وهي الأقمار التي تقوم شركة روكويل الأمريكية بتصنيعها.

Network Adjustment

ضبط الشبكات

أسلوب رياضي لتطبيق نظرية مجموع أقل المربعات Least-Squares حيث يتم التعامل مع جميع أرصاد (خطوط قواعد) الشبكة الجيوديسية وتطبيق الشروط الهندسية عليها بغرض الحصول علي أدق قيم لإحداثيات النقاط المرصودة [ضبط الشبكات هي من أهم خطوات حسابات الجي بي أس للتطبيقات المساحية الدقيقة].

NMEA Standards

مواصفات الوكالة الوطنية الأمريكية للإلكترونيات الملاحية

مواصفات تحدها وتنشرها هذه الوكالة كخطوات قياسية لتركيب الرسائل الملاحية لكي تسمح بتعامل أجهزة استقبال الجي بي أس مع رسائل الأقمار الصناعية وأيضا التعامل مابين الأجهزة المختلفة [مثل صيغة ASCII لتبادل الملفات علي الحاسب الآلي دون الحاجة لبرنامج معين لقراءة محتويات الملف].

Observing Session

فترة رصد

الفترة الزمنية لتجميع بيانات الجي بي أس في نفس اللحظة بواسطة جهازي استقبال أو أكثر.

On-The-Fly (OTF)

علي الطائر

(الترجمة العربية الحرفية غريبة جدا!) ، هو أسلوب أو طريقة من طرق حساب خطأ غموض الطور Ambiguity Resolution بحيث تتم الحسابات بسرعة دون الحاجة لبقاء جهاز الجي بي أس علي النقطة المعلومة لفترة زمنية طويلة. يستخدم أسلوب OTF في بداية العمل الحقلية لتقنية التحديد الديناميكي للمواقع Kinematic Positioning حيث يتم نقل الجهاز من أول نقطة للنقطة الأخرى بسرعة بعد حساب قيمة غموض الطور للنقطة الأولى ، ويشترط لإتباع هذا الأسلوب أن يكون جهاز الجي بي أس من النوع ثنائي التردد أي يستطيع استقبال إشارات التردد L1 و L2.

Orthometric Height

الارتفاع الأرثومتري

ارتفاع أي نقطة عن سطح الجيويد.

والعلاقة بين الارتفاع الأرثومتري H و الارتفاع الجيوديسي h [ارتفاع النقطة عن سطح الأليبيويد وهو الذي ينتج مباشرة من أرصاد الجي بي أس] هي:

$$h = H + N$$

حيث N ارتفاع الجيويد أو حيود الجيويد.

Outage

رفض أو خارج الحدود

حدوث زيادة في قيمة معامل الدقة DOP أكثر كمن قيمة معينة مطلوبة [أي يتم إظهار رسالة علي شاشة جهاز الجي بي أس أن الأرصاد مرفوضة لأنها خارج حدود الدقة المطلوبة أو المحددة سلفاً].

Perigee

الحضيض القمري

نقطة في المدار يكون عندها القمر الصناعي علي أقل بعد - أو مسافة - من مركز الأرض.

Phase Lock

تقنية أو أسلوب حيث يتم تكرار طور إشارة القمر الصناعي - داخل جهاز الاستقبال - ومقارنته بطور إشارة القمر الصناعي الأصلية ثم استخدام فرق الطور لضبط الذبذبة الأساسية وحذف الفرق [هذا الأسلوب هو المتبع في أجهزة الجي بي أس الهندسية أو الجيوديسية مما يسمح بالحصول علي دقة عالية في حساب الإحداثيات ، لكنه في نفس الوقت يتطلب مواصفات تقنية عالية في هذه النوعية من الأجهزة مما يجعل سعرها أكثر بكثير من سعر الأجهزة الملاحية أو المحولة يدويا التي تعتمد فقط علي التعامل مع الشفرة وليس الطور].

Phase Measurement

قياسات الطور

قياس يعبر عنه بنسبة مئوية بدلا من جزء الموجة ، مثال: طول الموجة يكون ١٠٠% ونصف طول الموجة يكون ٥٠% ... وهكذا.

Phase Observable

رصده الطور

أنظر: Reconstructed Carrier Phase

Precise or Protected Code (P)

الشفرة الدقيقة أو الشفرة المحمية أو الشفرة العسكرية المعروفة باسم P الشفرة الموجودة علي الموجات الحاملة لإشارات الجي بي أس ، وتبث بمعدل ١٠.٢٣ ميغا هرتز والذي يكرر نفسه كل ٢٦٧ يوم. كل جزء يستمر أسبوع من هذه الشفرة يكون مخصصا لقمر صناعي واحد وغالبا يعاد ضبطه كل أسبوع [هذه الشفرة أدق بمراحل من الشفرة المدنية C/A ، لكنها مشفرة ولا يمكن فكها من خلال أجهزة الجي بي أس المدنية و تحتاج لنوعية خاصة من الأجهزة لا يسمح بها إلا داخل الجيش الأمريكي فقط].

Point Positioning

تحديد موقع نقطة

أنظر: Absolute Positioning

Polar Plot

توقيع - أو رسم - قطبي

رسم دائري يتم به توقيع ارتفاع و انحراف كل قمر صناعي بدلالة الزمن بالنسبة إلى موقع محدد.

Positioning

تحديد الموقع

تحديد موقع (غالباً موقع جهاز استقبال جي بي أس) بالنسبة لنظام إحداثيات معين.

Post-Processing Differential GPS

الجي بي أس التفاضلي المعالج لاحقاً

أسلوب من أساليب الجي بي أس التفاضلي [أي جهاز جي بي أس ثابت علي نقطة معلومة و جهاز آخر علي نقطة مجهولة يرصدوا الأقمار الصناعية في نفس الفترة الزمنية] حيث تتم الحسابات و تحديد الإحداثيات لاحقاً في المكتب باستخدام برامج حاسب إلي software [هو أفضل الأساليب المتبعة في التطبيقات المساحية الدقيقة].

Precise Ephemeris

بيانات المدارات الدقيقة

البيانات التي يتم حسابها لمدارات الأقمار الصناعية بناء علي المعلومات التي تبثها الأقمار الصناعية بالإضافة لمعلومات مراقبة الأقمار ذاتها [هذه البيانات يتم حسابها بعد مرور ١٥ يوم من الرصد حيث تقوم جهات دولية متخصصة مثل IGS بحساب المدارات الدقيقة لكل قمر صناعي ، والتي إذا تم استخدامها في حسابات الجي بي أس ستعطي إحداثيات أدق للنقاط المرصودة حيث أن هذه البيانات تكون أدق بكثير من بيانات مدارات الأقمار التي تبثها الأقمار الصناعية ذاتها Broadcast Ephemeris ، وغالباً يتم استخدام هذه البيانات الدقيقة في الأعمال المساحية التي تتطلب دقة عالية مثل إنشاء الشبكات الجيوديسية و مراقبة تحركات القشرة الأرضية].

Precise Positioning Service

خدمة التحديد الدقيق للمواقع

التحديد الديناميكي للمواقع باستخدام جهاز جي أس واحد فقط بالاعتماد علي الشفرة العسكرية الدقيقة P [أي هذه هو الأسلوب المتبع لأجهزة الجي بي أس العسكرية فقط].

Projected Coordinates

الإحداثيات المسقطة

تحديد موقع أي نقطة علي الأرض في نظام ثنائي الأبعاد ، وفيه يتم تحديد الموقع بناء علي المسافتين من محور هذا النظام من خلال محورين أحدهما المحور السيني في الاتجاه شرق-غرب و الآخر المحور الصادي في اتجاه شمال-جنوب. ونحتاج لمعادلات إسقاط الخرائط لتحويل الإحداثيات الجغرافية (خط الطول و دائرة العرض) إلي الإحداثيات المسقطة.

Projected Coordinate System

نظام إحداثيات مسقط

نظام مرجعي لقياس المسافتين الأفقية و الرأسية من خريطة أفقية. غالبا يتم تحديد هذا النظام من خلال معادلات إسقاط الخرائط وتحديد اليسويد مرجعي كمرجع [مثال لنظم الإحداثيات المسقط: نظام UTM].

Projection

إسقاط

معادلة رياضية لتحويل أي موقع على سطح الأرض المجسم (أي ثلاثي الأبعاد) إلى سطح الخريطة (ثنائي الأبعاد) ، مثال: معادلات تحويل الإحداثيات الجغرافية – خط الطول و دائرة العرض – إلى الإحداثيات الأفقية س ، ص. يجب ملاحظة أن الإسقاط يسبب تشوه في واحدة من الخصائص الفراغية: المسافة ، المساحة ، الشكل ، الاتجاه.

Pseudolite

نقطة جي بي أس افتراضية

نقطة جي بي أس أرضية تبث إشارات لها تركيب مماثل لإشارات قمر صناعي جي بي أس حقيقي.

Pseudo Random Noise (PRN)

ضجيج عشوائي زائف

عندما نصف شفرة معينة بهذا الاسم فهذا يدل على أن هذه الشفرة لها خصائص الضجيج العشوائي. وعندما نتحدث عن الأقمار الصناعية فإن PRN هو رقم محدد يعطي لكل قمر صناعي من أقمار الجي بي أس [مثال PRN 23 أي القمر الصناعي رقم 23].

Pseudorange

المسافة الزائفة

فرق الزمن لمطابقة نسخة شفرة جي بي أس (مولدة داخل جهاز الاستقبال) مع شفرة القمر الصناعي ذاته ، ويتم تحويل هذا الزمن إلى مسافة – بين القمر الصناعي وجهاز الاستقبال – بضربه في سرعة الضوء. فرق الزمن هذا يعني أننا نقوم بطرح زمن الإرسال (وقت خروج الإشارة من القمر الصناعي) من زمن الاستقبال (وقت وصول الإشارة إلى جهاز الاستقبال) وبالتالي فإن هذا الفرق الزمني يشتمل ضمناً على خطأ الزمن لكلا من القمر الصناعي و جهاز الاستقبال.

Pseudorange Difference

فرق المسافة الزائفة

أنظر: Reconstructed Carrier Phase

Real-Time Kinematic (RTK)

الرصد المتحرك اللحظي

أسلوب من أساليب الجي بي أس التفاضلي [أي جهاز جي بي أس ثابت على نقطة معلومة و جهاز آخر على نقطة مجهولة يرصدوا الأقمار الصناعية في نفس الفترة الزمنية] حيث تتم الحسابات و تحديد الإحداثيات في نفس لحظة الرصد عن طريق وجود أجهزة راديو

لاسلكي بين جهازي الجي بي أس [هو الأسلوب المتبع في تطبيقات التوقيع المساحي في الحقل].

Real-Time Differential GPS

الجي بي أس التفاضلي اللحظي
أسلوب من أساليب الجي بي أس التفاضلي [أي جهاز جي بي أس ثابت علي نقطة معلومة و جهاز آخر علي نقطة مجهولة يرصدوا الأقمار الصناعية في نفس الفترة الزمنية] حيث تتم الحسابات و تحديد الإحداثيات في نفس لحظة الرصد عن طريق وجود أجهزة راديو لاسلكي بين جهازي الجي بي أس [هو الأسلوب المتبع في تطبيقات التوقيع المساحي في الحقل]. الفرق بين أسلوب الجي بي أس التفاضلي اللحظي و أسلوب الرصد المتحرك اللحظي RTK أن الأول يعتمد علي قياسات الشفرة code بينما يعتمد الثاني علي قياسات الموجة الحاملة للإشارة مما يجعله - أي الأسلوب الثاني RTK - أدق من الأسلوب الأول.

Reconstructed Carrier Phase

الطور المعاد تركيبه للموجة الحاملة
هو فرق الطور بين طور الموجة الحاملة للإشارة القادمة من القمر الصناعي و طور الموجة المولدة داخل جهاز استقبال الجي بي أس. في التطبيقات الديناميكية (المتحركة) فإن هذا الفرق يتم في لحظة وصول شفرة القمر الصناعي ، مما يجعل هذا الفرق مقياس للتغير في علاقة القمر-المستقبل مابين لحظات رصد متتالية. أما في التطبيقات الثابتة (المساحية) فإن الفرق يتم في لحظات تحدها ساعة جهاز الاستقبال. والتغير في هذا الفرق يكون متأثراً بأخطاء فرق التزامن بين ذبذبات القمر الصناعي و جهاز الاستقبال. ويمكن إرجاع الطور المعاد تركيبه للموجة الحاملة علي أنه يساوي المسافة بين القمر الصناعي وجهاز الاستقبال بعد أن نقوم بحل قيمة غموض الدورة Phase Ambiguity .

Relative Positioning

التحديد النسبي للمواقع

أنظر: Differential Positioning

Receiver-Independent Exchange format (RINEX)

صيغة راينكس

صيغة تبادل البيانات دون الاعتماد علي نوع جهاز الاستقبال ، مما يسمح بتبادل ملفات أرصاد الجي بي أس التي تم رصدها بعدد من أنواع أجهزة الاستقبال وأن يقوم أي برنامج حسابات باستخدام هذه الملفات لحسب الإحداثيات [مثل صيغة ASCII لتبادل الملفات النصية بين برامج الحاسب الآلي].

S-Code

الشفرة S

اسم آخر للشفرة المدنية C/A

Satellite Constellation

وضع الأقمار الصناعية

وضع مجموعة الأقمار الصناعية في المدار.

Satellite Message

رسالة القمر الصناعي

أحيانا يطلق عليها اسم الشفرة D (Data or D Code). مجموعة من البيانات منخفضة التردد - ٥٠ هرتز - موجودة علي كلا الترددات الأول L1 والثاني L2 ، وتم تصميم هذه البيانات بحيث تخبر مستخدم الجي بي أس عن كفاءة و موقع القمر الصناعي ، ويمكن لجهاز الاستقبال قراءة هذه الرسالة واستخدامها في حساب موقعه أو إحداثياته في لحظة الرصد هذه.

Selective Availability (S/A)

الاتاحية المنتقاة

سياسة وزارة الدفاع الأمريكية لخفض دقة تقنية الجي بي أس للمستخدمين المدنيين [كانت هذه السياسة مستمرة منذ بدء تقنية الجي بي أس بحيث كانت دقة تحديد المواقع لحظيا أو ميدانيا في حدود ١٠٠ متر ، لكن توقفت وزارة الدفاع الأمريكية عن تطبيق هذه السياسة في عام ٢٠٠٠م بحيث أصبحت الدقة اللحظية بحد أقصى ٢٢ متر أفقيا وفي المتوسط تكون أقل من ١٠ متر فقط].

Simultaneous Measurements

القياسات المتبادلة

مجموعة من القياسات التي تتم في نفس اللحظة الزمنية.

Solution-Independent Exchange format (SINEX)

صيغة ساينكس

صيغة تبادل نتائج الحسابات دون الاعتماد علي نوع برنامج الحسابات ، مما يسمح بتبادل ملفات نتائج حسابات الجي بي أس التي تم إجراؤها بعدد من أنواع برامج الحساب software وأن يقوم أي مستخدم أو جهة باستخدام هذه الملفات لتقييم النتائج.

Slow Switching Channel

القناة بطيئة التحول

قناة - داخل جهاز الاستقبال - لها فترة زمنية طويلة تجعلها قادرة علي تحديد قيمة الجزء الصحيح من الموجة الحاملة للإشارة.

Space Segment

جزء الفضاء

أحد مكونات تقنية الجي بي أس الثلاثة التي تشمل الأقمار الصناعية في الفضاء.

Spheroid

الاسفرويد

اسم آخر للالبيسويد Ellipsoid

Standard Positioning Service (SPS)

خدمة تحديد المواقع القياسية

تحديد المواقع أو الإحداثيات باستخدام جهاز استقبال واحد بالاعتماد على الشفرة المدنية C/A.
أنظر أيضا: PPS

Static Positioning

التحديد الثابت للمواقع أو الإحداثيات

تحديد موقع أو إحداثيات جهاز استقبال ثابت أي غير متحرك.

Stop-and-Go Kinematic Surveying

المسح المتحرك بطريقة قف-تحرك

تقنية من تقنيات رصد الجي بي أس حيث يكون هناك جهاز جي بي أس ثابت علي نقطة مساحة أرضية – معلومة الإحداثيات- بينما الجهاز الآخر يتحرك ليرصد نقطة تلو الأخرى من النقاط المطلوب تحديد موقعها وتكون مدة رصد كل نقطة فترة قصيرة ، بحيث يكون هناك أربعة أقمار صناعية علي الأقل يتم استقبال إشاراتها. والهدف من هذا الأسلوب أو التقنية هو تحديد مواقع – أو إحداثيات – هذه النقاط المجهولة [اعتمادا علي معرفة إحداثيات النقطة المعلومة التي يحتلها الجهاز الثابت].

Switching Channel

قناة متغيرة

قناة – داخل جهاز الجي بي أس – يمكن أن تتحول من رصد و متابعة قمر صناعي إلي رصد و متابعة قمر آخر.

Time Tag

علامة زمنية

الزمن المخصص أو المحدد لرصده حقيقية.

Translation

تحويل

أنظر: Differential Positioning

Troposphere

التروبوسفير

الطبقة الداخلية من الغلاف الجوي للأرض والتي توجد علي ارتفاع يتراوح بين ٦ و ١٢ ميل من سطح الأرض.

User Equivalent Range Error (URE)

خطأ المسافة المعادل للمستخدم

مصطلح لدقة رصده جي بي أس حيث يعبر عن تأثير كلا من خطأ المدار وخطأ الزمن وخطأ جهاز الاستقبال. عندما تزيد قيمة هذا المصطلح UERE فتدل علي أن الاتاحية المنتقاة S/A قم تم تطبيقها علي إشارات الأقمار الصناعية.

User Segment

جزء المستخدم
جزء من أجزاء منظومة الجي بي أس له علاقة بالمستخدمين (أجهزة استقبال الجي بي أس).

Visible Plot

رسم المرئي
رسم أو توقيع لعدد الأقمار الصناعية التي تكون مرئية (أي متاحة للرصد) في موقع معين في يوم محدد.

Wide Area Augmentation System (WAAS)

نظام زيادة المناطق الشاسعة
نظام من الأقمار الصناعية و المحطات الأرضية تسمح ببث تصحيحات الجي بي أس بغرض الحصول علي دقة أعلى في تحديد المواقع [مثل: إنشاء محطات أرضية منتشرة علي مساحة كبيرة ويتم تركيب أجهزة جي بي أس ثابتة عند كل محطة معلومة الإحداثيات وتقوم هذه المحطات بحساب و بث تصحيح قياسات الجي بي أس من خلال أجهزة راديو لاسلكية بحيث أن مستخدم الجي بي أس يرصد الأقمار الصناعية و في نفس اللحظة – من خلال جهاز راديو لاسلكي متصل بجهازه – يستقبل التصحيحات من المحطات الأرضية ، وتكون النتيجة أنه يستطيع حساب إحداثيات موقعه بدقة أعلى من دقة الجي بي أس العادية مع أنه يستخدم جهاز واحد وليس الرصد التفاضلي اللحظي].

World Geodetic System 1984 (WGS84)

النظام الجيوديسي العالمي ١٩٨٤
هو المرجع الأساسي لتقنية الجي بي أس ، أي أن الإحداثيات الناتجة من الجي بي أس تكون منسوبة إلي WGS84 [يمكن بعد ذلك تحويلها إلي أي مرجع جيوديسي آخر بمعرفة قيم عناصر العلاقة الرياضية بين كلا المرجعين].

Y Code

الشفرة Y
الشفرة العسكرية P بعد تشفيرها.

Z-count Word

كلمة عداد Z
زمن القمر الصناعي الذي يكون في نهاية الرسالة الملاحة التي يبثها كل قمر من أقمار الجي بي أس.

Zero Baseline

خط القاعدة صفر
هو اختبار لقياس مدي كفاءة و دقة جهاز جي بي أس معين ، ويتم فيه توصيل جهازين جي بي أس إلي نفس إالانتنا Antenna .

ملحق ٣ المواصفات المصرية الجيوديسية المقترحة^٢

المواصفات Specifications and Standards من أهم مكونات الأعمال المساحية حيث أنها تحدد أسلوب و تفاصيل القياس و الحسابات بهدف الوصول لمستوي معين من الدقة بغض النظر عن اختلاف الأجهزة و المهندسين و ظروف الرصد ذاته. منذ عدة عقود تقوم الجهات الحكومية المسؤولة عن العمل المساحي في الدول الغربية بإعداد كتيبات تشمل مواصفات الشبكات الجيوديسية - سواء الأفقية أو الرأسية أو ثلاثية الأبعاد - وأيضا تحدث هذه المواصفات كل فترة زمنية لتتوافق مع التقنيات المساحية الحديثة. تجدر الإشارة إلي أن هذه المواصفات الأوروبية و الأمريكية متاحة علي شبكة المعلومات الدولية الانترنت ، لكن مع الأسف لا توجد مواصفات عربية متاحة أو منشورة و خاصة لتطبيقات نظام الجي بي أس. المعاملات التالية تقدم مقترحا لمواصفات جيوديسية و للجي بي أس في مصر.

١- دقة شبكات الجي بي أس الجيوديسية:

يمكن تقسيم الشبكات الجيوديسية الوطنية باستخدام الجي بي أس - بصفة عامة - إلي مجموعتين فقط و ليس عدة مجموعات كما كان متبعاً في الماضي:

- أ- الشبكات الأساسية أو الدرجة الأولى: حيث تكون دقتها ٠.٥ سنتيمتر + ٠.١ جزء من المليون ، وهذه هي أدق درجات شبكات الثوابت الأرضية التي تكون المرجع الجيوديسي الوطني.
- ب- شبكات الدرجة الثانية: حيث تكون دقتها ٠.٨ سنتيمتر + ١ جزء من المليون ، وتكون الثوابت الأرضية بمسافات أقل من مسافات الدرجة الأولى بحيث تغطي معظم الحدود الجغرافية للدولة.

٢- تصميم شبكات الجي بي أس الجيوديسية:

يتم تصميم شبكات الجي بي أس (توزيع النقاط و طرق بناء الثوابت الأرضية) بأخذ عدة عوامل في الاعتبار ومنها:

- التوزيع المتجانس الذي يغطي المنطقة الجغرافية بكاملها.
- تكوين عدة أشكال هندسية مغلقة (حلقات) تزيد من جودة الحسابات.
- توزيع النقاط علي مسافات متساوية بقدر الإمكان.
- معدل أطول خط قاعدة إلي أقصر خط قاعدة (في الشبكة) لا يزيد عن قيمة ٥ ومن الأفضل أن يكون أقل من ذلك بكثير.

² نشرت في بحث للمؤلف باللغة الانجليزية في:

Dawod, G., 2003b, Proposed standards and specifications for GPS geodetic surveys in Egypt, Water Science Magazine, No. 33, April. pp. 33-39.

٣- اختيار مستقبلات الجي بي أس:

يجب تمييز أجهزة الاستقبال التي تستخدم في إنشاء الشبكات الجيوديسية بالموصفات الرئيسية التالية:

- 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.

٤- اختيار هوائيات الجي بي أس:

لتقليل التشوه في إشارات الأقمار الصناعية يجب أن يكون هوائي الاستقبال Antenna لجهاز الجي بي أس متمتعا بالموصفات التالية:

- مقاوم لتأثير تعدد المسار Multipath بدرجة جيدة.
- دقة عالية في تحديد مركز - أو نقطة - التقاط الموجات Phase Center.
- حساس بدرجة عالية.
- سهل الضبط و التسامت أعلي النقطة الأرضية المرصودة.

٥- التخطيط المبدئي لإنشاء شبكات الجي بي أس:

يجب أخذ العوامل التالية في الاعتبار قبل بدء التنفيذ الفعلي لإنشاء شبكة جيوديسية بالجي بي أس بهدف ضمان الوصول لمستوي الدقة المطلوب لهذه الشبكة:

- تعيين و تحديد أقصى قدر من نقاط الثوابت الأرضية - معلومة الإحداثيات - في منطقة العمل للربط عليهم.
- تحديد قيمة أكبر و أقصر طول لخطوط القواعد الذين سيستخدمان في تصميم الشبكة لاحقا.
- تحديد مواقع نقاط التحكم المتوفرة.
- تحديد عدد أجهزة الاستقبال التي ستعمل أنيا simultaneously في فترة الرصد الواحد session.
- تحديد مدة فترة الرصد الواحدة.
- تحديد أنسب أوقات رصد الأقمار الصناعية التي تعطي أفضل قيمة لمعامل الدقة PDOP (بحيث يتراوح PDOP بين ٣ و ٥).
- توافر عدد من الرصدات المتكررة repeated measurements لبعض خطوط القواعد في الشبكة.

- توافر عدد من مرات احتلال بعض النقاط بأجهزة مختلفة independent occupation وليس بنفس الجهاز كل مرة.

٦- اختيار أماكن وطريقة تثبيت النقاط الأرضية:

تشمل مواصفات اختيار و بناء نقاط الثوابت الأرضية ما يلي:

- سهولة الوصول لموقع النقطة.
- ضمان تواجد النقطة في هذا الموقع لفترة طويلة.
- أن يكون الموقع مناسباً للاستخدام المساحي.
- أن يكون البناء على أرض صخرية صلبة و ثابتة.
- ألا توجد عوائق حول موقع النقطة في حدود ١٥^o من مستوي الأفق.

٧- مواصفات تصميم الشبكة:

شبكات الدرجة الثانية	شبكات الدرجة الأولى	البند
٥٠	١٠٠	أقصى تباعد بين النقاط (كم)
٣	٣	أقل عدد للنقاط
اختياري	٤ علي الأقل	وجود عدد من الثوابت الرأسية (روبير أو BM)
١٠	١٠	أكبر عدد للخطوط في الحلقة
١٠٠	١٠٠	أقصى محيط الحلقة الواحدة (كم)
٣٠%	٥٠%	أقصى نسبة مئوية للنقاط ذات مرتين احتلال أو أكثر
٩	١٢	أقل قيمة لدرجة الحرية degree of freedom (عدد الأرصاد - عدد المجاهيل)

٨- مواصفات العمل الحقلية:

أهم أخطاء العمل الحقلية تتركز في ضبط تسامت جهاز الاستقبال (أو الهوائي لبعض الأجهزة) فوق النقطة الأرضية و كذلك أخطاء قياس ارتفاع الجهاز عن الأرض ، لذلك فإن مواصفات العمل الحقلية تشمل:

- قياس و تسجيل ارتفاع الجهاز (أو ارتفاع الهوائي) مرة بالنظام المترى و أخرى بالنظام الانجليزي ، وذلك قبل و بعد تشغيل الجهاز.
- في حالة وجود أكثر من شخص ، يقوم كل واحد بقياس ارتفاع الجهاز بنفسه.
- التأكد من ضبط أفقية و تسامت الجهاز قبل و بعد تشغيل الجهاز.
- تدوين الرقم التسلسلي serial number لكل جهاز و لكل هوائي في جدول الأرصاد الحقلية عند كل نقطة.
- بقدر الإمكان يجب توافر عدد من المرات لاحتلال نفس النقطة redundant occupations.
- من الأفضل تصوير كل نقطة - فوتوغرافيا أو رقميا - لضمان احتلال النقطة المطلوبة المسجل رقمها.

٩- مواصفات الرصد الحقلى:

شبكات الدرجة الثانية	شبكات الدرجة الأولى	البند
اختياري	نعم	أرصاد ثنائية التردد
٣	٣	أقل عدد لأجهزة الاستقبال
٤	٤	أقل عدد للأقمار الصناعية المرصودة
٩٠-٤٥	١٢٠-٩٠	زمن فترة الرصد (بالدقيقة)
٢	٢	معدل الأرصاد sample rate (بالثانية)
٥١٥	٥١٥	أقل زاوية قناع Mask or Cut-Off أعلى من الأفق (بالدرجات)
٢	٢	أقل عدد لتكرار قياس ارتفاع الجهاز
٢	٢	أقصى فرق بين قياسين لارتفاع الجهاز (سم)
نعم	نعم	صورة فوتوغرافية للنقطة

١٠- مواصفات برنامج الحسابات:

بصفة عامة يجب أن تتوافر لبرنامج حسابات أرصاد الجي بي أس المواصفات التالية:

- يقبل أرصاد كلا نوعي الأجهزة أحادية وثنائية التردد.
- يقدم طرق يدوية و آلية لإجراء الحسابات.
- إجراء الحسابات لكلا من أرصاد المسافات الكاذبة وأرصاد طور الموجة.
- يدعم تحديد المواقع في أساليب التحديد المطلق ، خط القاعدة ، الشبكة.
- القدرة علي اكتشاف خطأ تغير الدورة cycle slip وحله.
- يدعم أساليب الفروقات الأحادية و الثنائية و الثلاثية.
- يقبل أكثر من ١٠ خطوط قواعد في الحلقة الواحدة.
- يعطي حلول ثابتة و غير ثابتة و ثلاثية.
- يقدم معاملات إحصائية تصف جودة كل حل.
- يدعم تغيير معاملات الحساب طبقا لاختيارات المستخدم.
- يدعم التعامل مع كافة أنواع الهوائيات و أجهزة الاستقبال.
- يقدم إمكانية ما قبل الرصد (أي يحسب قيم معامل الدقة DOP مثلا).
- يقبل أكثر من مصدر أو نوع لمدارات الأقمار الصناعية (المرسلة من الأقمار الصناعية ذاتها أو المدارات الدقيقة المحسوبة لاحقا).
- سهل الاستخدام من خلال قوائم menus بسيطة.

١١- مواصفات حسابات أرصاد الجي بي أس:

المواصفات التالية تقدم أساسيات تنفيذ حسابات أرصاد الجي بي أس و المعاملات التي يجب إتباعها للوصول للدقة المنشودة:

شبكات الدرجة الثانية	شبكات الدرجة الأولى	البند
اختياري	نعم	الاعتماد علي المدارات الدقيقة للأقمار الصناعية
٣٠	٢٥	أقصى خطأ قفل الحلقة loop closure (سم)
٢٥	١٢.٥	أقصى خطأ قفل الحلقة loop closure (جزء من المليون ppm)
%١٠	%١٠	أقصى نسبة مئوية للأرصاء غير المقبولة
٤ - ١	٢ - ٠.١	الانحراف المعياري لأي خط قاعدة (سم)

بعد تشغيل برنامج الحسابات والحصول علي نتائج حل كل خط قاعدة Base Line في الشبكة المرصودة و طبقا لقيم الخطأ التربيعي المتوسط Root Mean Square أو اختصارا RMS ونتيجة حل خطأ الغموض الصحيح فتوجد قواعد عامة لكيفية اختيار نوع الحل بناءا علي المسافات أو أطوال خطوط القواعد:

التوصية	الغموض رقم صحيح؟integer	المسافة (كم)	قيمة RMS
استخدم الحل الثابت Fixed	نعم	أقل من ٢٠	صغير
الفحص مجددا ثم استخدام الحل الثابت Fixed	نعم	أكبر من ٢٠	كبير
إعادة الحسابات أو إعادة رصد هذا الخط مرة أخرى	نعم	أقل من ٢٠	كبير
استخدم الحل غير الثابت Float	لا	٦٥-٢٠	صغير
استخدم الحل الثلاثي Triple أو إعادة رصد هذا الخط مرة أخرى	لا	أكبر من ٦٥	كبير

١٢ - مواصفات ضبط شبكات الجي بي أس:

تتم عملية ضبط الشبكات Network Adjustment في عدد من الخطوات المتسلسلة تتكون من:

- تحليل خطأ القفل في كل حلقة لضمان حدود قيمه طبقا للمواصفات المطلوبة،
- إجراء عملية ضبط غير مقيد Free Net Adjustment (عن طريق تثبيت إحداثيات نقطة واحدة فقط غالبا تكون اختيارية) لفحص جودة الأرصاد ذاتها.
- استخدام النتائج الإحصائية للضبط غير المقيد في اكتشاف أية أرصاد غير جيدة Outliers or Blunders وحذفها (عن طريق الاختبارات الإحصائية المعروفة مثل اختبار تاو أو اختبار مربع كاي).
- 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).

١٣ - مواصفات توثيق نتائج شبكات الجي بي أس:

إن عرض و توثيق نتائج إنشاء شبكة جي بي أس يعد جزءا هاما من خطوات المشروع لوصف كافة المعاملات التي تم إتباعها في الحسابات والضبط والنتائج التي تم التوصل إليها. يجب أن تشمل وثائق المشروع المعلومات التالية:

- اسم المشروع و موقعه و أهدافه.
- شروط التصميم التي تم إتباعها وأهمها درجة شبكة الجي بي أس (درجة أولي أو ثانية طبقا للمواصفات).
- عناصر العمل الحقلي و تشمل: عدد الأجهزة المستخدمة ، طول فترة الرصد ، عدد مرات الاحتلال المتكرر للنقاط ، قيمة معامل الدقة PDOP ، جداول التسجيل الحقلي لبيانات كل نقطة مرصودة.
- معاملات الحساب التي تم الاعتماد عليها: زاوية القناع ، معدل الرصد ، ... الخ.
- نوع ونسخة برامج الحاسب الآلي المستخدمة في المشروع.
- معاملات ضبط الشبكة: نوع طريقة الضبط (نقطة واحدة مثبتة أو أكثر من نقطة)، عدد و أسماء نقاط التحكم معلومة الإحداثيات وقيم إحداثياتها المثبتة ، المرجع الذي تم اعتماده في الضبط ، المعاملات الإحصائية لنتائج الضبط.
- رسومات الشبكة و اليبس الأخطاء Error Ellipse والجدول التكراري Residuals Histogram للمنتقيات.
- النتائج النهائية لإحداثيات نقاط الشبكة: قيم الإحداثيات الجيوديسية (h, λ, ϕ) و الكارتيزية (X, Y, Z) لكل نقطة مع قيم الانحراف المعياري لها ، قيم المسافات أو أطوال خطوط القواعد مع قيم الدقة النسبية لها بوحدات الجزء من المليون ppm.

ملحق ٤ مواقع مساحية علي شبكة الانترنت

أولاً: مواقع باللغة العربية:

منتدى الهندسة المساحية:

<http://surveying.ahlamontada.com/>

ملتقى المهندسين العرب – قسم المساحة و الطرق:

<http://www.arab-eng.org/vb/forumdisplay.php?f=50>

نادي نظم المعلومات الجغرافية:

<http://www.gisclub.net/vb/>

رابطة خريجي المساحة و الخرائط و نظم المعلومات الجغرافية بالجامعات المصرية:

<http://mesa7a.com/forum/index.php>

ملتقى العاملين بالمساحة و نظم المعلومات الجغرافية:

<http://www.awsgis.com/vb/index.php>

مجموعة جيوماتكس المصرية:

<http://geomatics.topgoo.net/>

مجلة CAD, GIS, GPS:

<http://www.cadmagazine.net/forums/index.php>

منتديات مهندسي المساحة:

<http://geo2007.myfreeforum.org/index.php>

موقع م. عبد الله الأسمرى بكلية الهندسة جامعة الملك سعود بالسعودية:

<http://www.eng.alasmay.net/index.php>

منتديات الهندسة نت:

<http://www.alhandasa.net/forum/index.php>

منتدى المهندس:

<http://www.almohandles.org/vb/>

منتديات داماس الهندسية:

<http://www.damascgate.com/vb/f26/>

الجغرافيون العرب:

<http://www.arabgeographers.net/vb/>

شبكة التخطيط العمراني:

<http://www.araburban.net/>

التقنية المدنية:

<http://www.tkne.net/vb/f8>

مكتبة الكتب الهندسية:

<http://www.4shared.com/dir/6341529/f944b47f/sharing.html>

منتديات مكشات – خيمة الجي بي إس:

<http://www.mekshat.com/vb/forumdisplay.php?f=54>

ثانياً: مواقع باللغة الانجليزية:

Earth Geopotential Model 2008 (EGM2008) Geoid:

<http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/index.html>

European Space Agency (ESA):

<http://www.esa.int/export/esaSA/navigation.html>

GPS Manufactures:

Lieca:	http://www.leica.com
Magellan:	http://www.ashtech.com
Magellan:	http://www.magellangps.com
NovAtel:	http://www.novatel.ca
Pacific Crest:	http://www.paccrst.com
Sokkia:	http://www.sokkia.com
Topcon:	http://www.topconpositioning.com/
Trimble:	http://www.trimble.com

GPS World Magazine:

<http://www.gpsworld.com>

International GNSS Service (IGS):

<http://igscb.jpl.nasa.gov/>

IGS Publications:

<http://igscb.jpl.nasa.gov/overview/pubs.html>

Interactive GPS calandre:

<http://www.rvdi.com/freebies/gpscalendar.html>

Inter-Agency GPS Executive Board (IGEB):

<http://www.igeb.gov/>

International Association of Geodesy (IAG):

<http://www.iag-aig.org/>

International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG):

<http://www.iugg.org/>

International Terrestrial Reference Frames (ITRF):

<http://itrf.ensg.ign.fr/>

International Center for Global Earth Gravity Field Models (ICGEM):

<http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/ICGEM.html>

List of some GPS manufactures:

<http://gauss.gge.unb.ca/manufact.htm>

Massachusetts Institute of Technology (MIT) course on GPS:

<http://ocw.mit.edu/OcwWeb/Earth--Atmospheric--and-Planetary-Sciences/12-540Principles-of-the-Global-Positioning-SystemSpring2003/CourseHome/index.htm>

National Geodetic Survey of USA (NGS):

<http://www.ngs.noaa.gov/>

NGS's Geoid page:

<http://www.ngs.noaa.gov/geoid/>

NGS's Publications:

http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/pub_index.html

New Zealand Surveying publications:

<http://www.linz.govt.nz/rcs/linz/pub/web/root/core/SurveySystem/surveypublications/index.jsp>

National Imagery and Mapping Agency of USA (NIMA) geodetic publications:

<http://earth-info.nima.mil/GandG/pubs.html>

OmniStar global DGPS commercial service:

<http://www.omnistar.nl/>

Publications of Prof. C. Tscherning:

<http://www.gfy.ku.dk/~cct/>

Publications of Prof. P. Vanicek:

<http://gge.unb.ca/Personnel/Vanicek/>

Publications of Prof. W. Featherstone:

<http://www.cage.curtin.edu.au/~will/>

Publications of Prof. P. Dana:

<http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/>

Technical geodetic reports at Ohio State University (OSU), USA:

<http://geodeticsscience.osu.edu/OSUReports.htm>

Technical geodetic reports at Delft University, Netherlands:

<http://enterprise.geo.tudelft.nl/mgp/index.php?module=Papers&type=user&func=main>

Technical geodetic reports at Technical University Graz, Austria:

http://portal.tugraz.at/portal/page?_pageid=513,2702116&_dad=portal&_schema=PORTAL

Technical geodetic reports at New Brunswick University, Canada:

<http://gge.unb.ca/Pubs/TechnicalReports.html>

Technical geodetic reports at Croatian Geodetic Institute, Croatia:

<http://www.cgi.hr/english/papers.htm>

Technical geodetic reports at Calgary University, Canada:

<http://www.geomatics.ucalgary.ca/node/58>

USA Army Corps of Engineers' publications:

<http://www.usace.army.mil/publications/new-pubs/newem's.htm>

نبذة عن المؤلف



د. جمعة محمد داود أستاذ المساحة و الجيوديسيا بمعهد بحوث المساحة بالمركز القومي لبحوث المياه بجمهورية مصر العربية. حصل علي درجة البكالوريوس عام ١٩٨٥ ودرجة دكتوراه الفلسفة عام ١٩٩٨ من قسم الهندسة المساحية بكلية الهندسة بشبرا جامعة بنها بمصر ، بينما حصل علي درجة الماجستير عام ١٩٩١ من قسم المساحة و العلوم الجيوديسية بجامعة ولاية أوهايو بالولايات المتحدة الأمريكية.

أشترك في تنفيذ العديد من المشروعات التطبيقية علي المستوي الوطني بجمهورية مصر العربية منذ عام ١٩٨٦ وخاصة في مجالات: المساحة الجيوديسية ، إنشاء شبكات التحكم بالجي بي إس ، الرفع المساحي ، إنشاء الخرائط الطبوغرافية و الهيدروجرافية ، نظم المعلومات الجغرافية ، مراقبة تحركات القشرة الأرضية ، شبكات الجاذبية الأرضية ، نمذجة الجيود ، الدراسات البيئية.

حضر العديد من الدورات التدريبية في كلا من مصر و النمسا و سويسرا و الولايات المتحدة الأمريكية ، كما شارك بالتدريس في العديد من الجامعات و المعاهد الفنية في مصر و المملكة العربية السعودية.

نشر أكثر من ثلاثون بحثا علميا – منذ عام ١٩٩٢ - في عدة مجلات علمية و مؤتمرات دولية في مصر و كندا و السعودية و البحرين. أيضا حصل علي جائزة أفضل بحث في الهندسة المساحية في مصر لعدة سنوات ، بالإضافة لعدد آخر من الجوائز و شهادات التقدير.

متزوج وله ثلاثة أبناء: مصطفى و محمد و سلمي.