عملية الإنتاج والتنفيذ في عصر تكنولوجيا المعلومات

Production and Implementation process in the era of Information Technology

أ.د/ محمد محمد عبدالله سراج *
أ.م.د/ علاء الدين السيد فريد[**]
م/ محمد حسن خليل أحمد[***]

ملخص :
تعد الثورة المعلوماتية من أهم ما يميز القرن العشرين، وخصوصاً الحقبة الأخيرة منه، فقد تطورت أنظمة المعلومات والاتصالات تطورات مذهلة، وبدأ الإعتماد بشكل كبير على الإلكترونيات في إدارة الأجهزة والقيام بالكثير من الأنشطة الحياتية. **وتتمثل إشكالية هذه الدراسة في محورين، أولهما**: إستكشاف مدي تأثّرعمليات التصنيع والتنفيذ الرقمي بتكنولوجيا المعلومات. **وثانيهما:** إستكشاف مدي تأثيرعملية التصنيع والتنفيذ الرقمي علي العمارة. كما تتمثل **الفرضية البحثية** في بعدين ، **الأول:** أنه سيحدث تطور كبير وإنتشار واسع للتقنيات الرقمية في عملية الإنتاج والتنفيذ. **وثانيهما:** أنه سيحدث تغيّر جذري في أنماط العمارة في القرن الحادي والعشرين علي مستوي: الشكل، والوظيفة ، والإنشاء. و يمكن للبحث التأكد من صحة هذه الفرضية في الوقت الحالي، حيث أن عمليات التصنيع والتنفيذ الرقمي أصبحت واقعاً منذ بداية ظهورهها في العمارة مع نهاية القرن العشرين وحتي الآن، لذا فإن الدراسة تم طرحها في شكل بحث وتحليل لما يحدث اليوم، فقد تم الإعتماد علي كل من: المنهج الإستقرائي (للكتابات، والإبحاث، والدراسات التي تناولت موضوع البحث)، كما تم الإعتماد علي المنهج التحليلي، ومنهج دراسة الحالة للعديد من المشاريع المعمارية التي تم تنفيذها بالتقنيات الرقمية.

- **ولذلك فإن محتويات البحث تأتي في أربعة أجزاء :**

١ -**الجزء الأول:** المدخل التمهيدي، ويبحث في ماهية تكنولوجيا المعلومات، وماهية عملية التصنيع الرقمي، مع توضيح لبعض المصطلحات المتعلقة بموضوع البحث.
٢ - **الجزء الثاني:** يتناول توضيح لطرق وعمليات التصنيع الرقمي، والماكينات المستخدمة لكل طريقة، مع توضيح لبعض الأمثلة المعمارية التي تم إستخدام التقنيات الرقمية في مراحل تنفيذها.
٣ -**الجزء الثالث:** النتائج البحثية.
٤ - **الجزء الرابع:** الخلاصة والتوصيات والمراجع.

١ -المدخل التمهيدي: البحث في ماهية المصطلحات

من خلال المدخل التمهيدي يمكن توضيح ماهية كلا من: **١) تكنولوجيا المعلومات، ٢) وعملية الإنتاج والتصنيع الرقمي، ٣) ماهية البرامج المساعدة علي التصنيع، ٤) فرانك جيرى ودوره فى تطوير منظومة البناء. ٥) طرق وعمليات الإنتاج والتصنيع والتنفيذ الرقمي.**

١ ـ١ ماهية تكنولوجيا المعلومات (INFORMATION TECHNOLOGY (IT :

هي التكنولوجيا التي تجمع فى كيانها كلاً من الحاسب الآلي، والإتصالات، ونُظم التحكم الأتوماتيكي في آن واحد.[١]

١-٢ عملية التصنيع والتنفيذ الرقمي :

المقصود بعملية التصنيع والتنفيذ الرقمي هي العملية التي يستخدم فيها تكنولوجيا المعلومات بكافة صورها (الحاسب الآلي، وأنظمة الإتصالات، ونظم التحكم الأتوماتيكي)، وهي عمليات تم استعارتها من عمليات الإنتاج والتصنيع في صناعة السيارات والطائرات والسفن، وتم تطويرها لتدخل في العمارة علي يد العديد من المعماريين ومن أبرز هؤلاء الرواد المعماري فرانك جيري والمعماري نورمان فوستر.[٢]

---

* أستاذ العمارة والتخطيط العمراني - كلية الهندسة - جامعة الأزهر.
** الأستاذ المساعد بقسم العمارة – كلية الهندسة – جامعة الأزهر.
*** المعيد بقسم العمارة - كلية الهندسة - جامعة الأزهر

[١] **نبيل علي**. تحديات عصر المعلومات. القاهرة: دار العين للنشر، ٢٠٠٣،ص١٤.

(2) **zellner, peter** .Hybrid space :New forms in digital age .London :Thames & hudson, 1999, P22.

وتستخدم عملية الإنتاج والتنفيذ الرقمي في تسهيل تنفيذ الاشكال والتركيبات والمنحنيات المعقدة، وذلك عن طريق ربط برمجيات التصميم ببرمجيات التصنيع والتنفيذ. و يطلق علي أدوات التصميم فى عصر المعلومات البرامج المساعدة على التصميم الكاد (Cad)، والتي لكي يتم تنفيذها وتحقيقها فى الواقع يحتاج إلى مرحلة من التطوير لكي تساعد علي تسهيل عملية التصنيع والتنفيذ. ويكون هذا التطوير من خلال برامج تربط النماذج الثلاثية الأبعاد (3D Models) بماكينات التصنيع، وهذه البرامج يطلق عليها البرامج المساعدة علي الإنتاج والتصنيع والتنفيذ. [١]

١-٣ ماهية البرامج المساعدة على التصنيع: [٢]

هي برامج تقوم بإجراء عملية ترجمة للأشكال والبيانات من لغة الرسم إلي لغة التكويد (التشفير)، والتى تعد لغة رقمية تفهمها الماكينات ليصبح كل عنصر من عناصر المبنى مُعّرف للحاسب الآلي ، لكي يتم التعامل معه بما يتناسب مع طرق التنفيذ الرقمية.

ويوجد العديد من البرامج المساعدة علي التصنيع واشهرها **برامج الكام CAM، وبرنامج الكاتيا CATIA.**

١-٣-١ برامج الكام أو (CAM) :

وكان أول استخدام لهذه البرامج عام (١٩٧١م) فى صناعة الهيكل الخارجى للسيارات من قبل شركة رينو الفرنسية. وهي إختصار لكلمة (Computer aided manufacturing). والتى تعنى الأدوات التى تساعد المهندسين والمصنعين على تسهيل الأنتاج للعناصر والأشكال المعقدة عن طريق لغة البرمجة والتشفير أو التكويد (Coding) . [٣]

١ ٣ ٢ برنامج CATIA : [٤]

وظهر هذا البرنامج فى عام ١٩٧٦م عندما قامت شركة أفينوس مارسيل داســول الفرنسية (A vinos Marcel Dassault)* فى إنتاج برنامج يساعد على تصنيع الطائرات، والذى تم تطويره فيما بعد ليساعد على تصنيع السيارات والسفن – ثم تم بيعه لشركة (IBM) لتكون صاحبة الحقوق والملكية لتطويره، ثم إنتقل التطوير فيه إلى مجالات عديدة ومنها العمارة عن طريق المعمارى فرانك جيرى Frank Gerry.

١-٤ فرانك جيرى ودوره فى تطوير منظومة البناء :[٥]

لعب فرانك جيري دوراً هاماً في تطوير منظومة البناء من خلال أفكاره غير التقليدية. وقد كان من أبرز وأهم تلك الأفكار تصميم فيلا أوليمبكا في برشلونة بأسبانيا عام ١٩٩٢(شكل :١). فقد كان هذا التصميم من أوائل إبداعات فرانك جيري، وكان علي شكل تمثال سمكي كبير، وقد واجه جيري العديد من المشاكل والصعوبات في تنفيذه ، بالإضافة إلى القيود المالية لمقاول المشروع وشريك جيرى مما دفع جيرى للبحث عن إسلوب جديد لتسهيل التنفيذ. وبالفعل إقترب جيرى من تكنولوجيا تصنيع الطائرات ، وقام بدراستها وتطوير برنامج الـ CATIA ليسهل الأستفادة منه فى البناء. ولكن وجد أن إستخدام هذا البرنامج يستلزم مجموعة من إجراءات ومراحل التطور لا تتناسب مع العمارة ، فكان الحل فى إعادة إعداد خطوات التصميم وإجراءات التنفيذ فى شكل معلوماتى بنائى، ومن خلال دراسة ماكينات التصنيع وأسلوب توقيع الأسطح رقميا إستنتج الآتي :

أ) مراحل التصميم لها تداخل مع إجراءات وعمليات التصنيع والتنفيذ ومن ثم إستلزم تطوير عملية التصميم لتكون عملية رقمية لا ورقية .

ب) أهمية النماذج الرقمية ودورها فى تنفيذ المبنى .

---

* وهي شركة تعمل على صناعة الطائرات بواسطة برامج الكاد والكام.

(1) **Kolarevic, Branko. 2005.** Architecture in the digital age . Design and manufacturing. London : Taylor & Francis, 2005, P31 .

(2) **Kolarevic, Branko. 2005.** Architecture in the digital age . Design and manufacturing. London : Taylor & Francis, 2005, P03 .

(3),(4) **Steele, James.**Architecture and Computers *:Action and Reaction in the Digital Design Revolution* .London : Watson-Guptill, 2002, P122, P123.

(5) **Steele, James. 2002.** *Architecture and Computers: Action and Reaction in the Digital Design Revolution .* London : Watson-Guptill, 2002, P129.

ت) أهمية فهم خصائص وقواعد الأشكال والمنحنيات حتى يسهل إجراء التمثيل رقميا فى العملية التصميمة والتنفيذية.

ث) يجب وضع خطة واضحة لإدارة منظومة البناء .

ج) ومن خلال هذه الإستنتاجات تم وضع خطة توضح مراحل التصنيع المختلفة لتبسيط الأشكال المعقدة وتطوير المواد المناسبة لهذه الأشكال.

١-٥ طرق وعمليات التصنيع والانتاج والتنفيذ الرقمى :

وهى مجموعة العمليات التى تساعد على حل مشاكل التصنيع المختلفة، وهذه العمليات تمر فى إتجاهين متعاكسين: **الإتجاه الأول** - من النموذج الرقمى إلى المبنى الحقيقى، ويكون هذا الإتجاه هوالإتجاه الرئيسى للتصنيع **والإتجاه الآخر** - وهو عكس الأول، حيث يكون النقل من النموذج المصغر للمبنى (ماكيت بمقياس رسم كبير) إلى النموذج الرقمى بواسطة الماسحات الضوئية فى عملية يطلق عليها بالهندسة العكسية (Reverse Engineering). شكل (٢)،شكل (٣)

١-٥-١ المسح الثلاثى الأبعاد (من المادى إلى الرقمى) :

تعتبر هذه الطريقة (المسح الثلاثى الأبعاد من المادى إلى الرقمى) طريقة فرانك جيرى التى يتبعها فى مرحلة التصميم. حيث يقوم بوضع أسكتشات فكرة المشروع ودراسة الفراغات والسطح أو الغلاف الخارجى للمبنى بواسطة ماكيت، ثم يقوم بواسطة ذراع إليكترونية بعمل مسح ثلاثى الأبعاد لجسم الماكيت بحيث يتكون هذا السطح من شبكة متقاطعة فى نقاط ثم يتم نقل معلومات سطح الغلاف إلى الكمبيوترلإكمال مراحل التصميم على النموذج الرقمى. **ويقول جيرى " إن إستخدامه للتكنولوجيا الرقمية فى هذه المرحلة ليس كوسط للفكر ولكن كوسط للترجمة من المادى إلى الرقمى"** [(١)] وبعد ذلك يتم تقريب نسبة الشكل الهندسى عبر التعديل بإستخدام وسائل التحكم فى الشكل والمنحنيات بطريقة الـ (NURBS)* ، وهى طريقة تساعد على التحكم فى الأشكال المنحنية والمجسات الدائرية غير المنتظمة .

- **طرق نقل الأشكال من المادي إلي الرقمي:** [(١)]

وتتم هذه الطرق من خلال ثلاث مراحل تستخدم فيها أجهزة المسح الرقمي كالتالي:

أ -حيث يمكن إجراء عملية النقل من المادى إلى الرقمى يدويا بواسطة ذراع رقمية ثلاثية الأبعاد يطلق عليها [The Micro scribe three dimension digitizer] أو أوتوماتيكيا بإستخدام آلة قياس منسقة (CMM) أو [Coordinate Measuring Machine]. والتى يوجد بها Sensor موضعى رقمى، والذى يعمل بطريقة ميكانيكية على إتصال هذه الماكينة بالسطح الذى تم مسحه، (شكل٤).

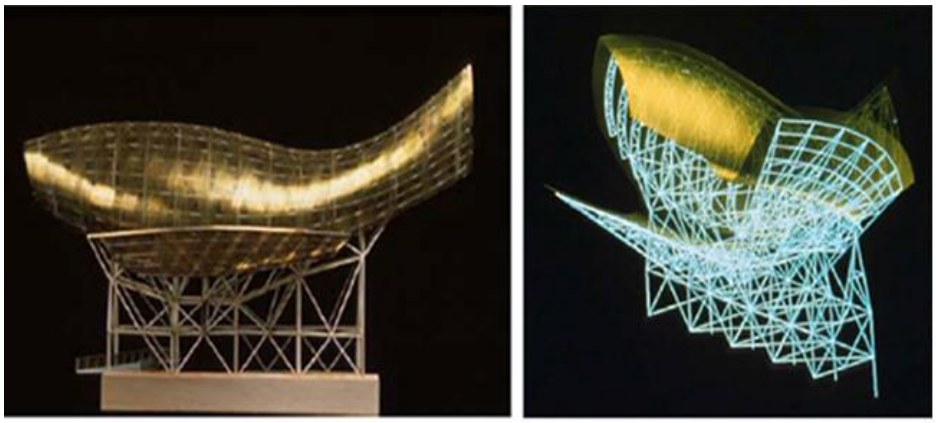
ب - وهناك بديلا لذلك بإستخدام المسح الغير متصل Non contact Scanning، وهو بديل أعلى فى التكلفة ، ولكن أسرع وأكثر دقة وأقل صعوبة فى العمل، وغالبا ما يكون أكثر كفاءة عند مسح الأشياء ذات المقياس الصغير. ويعتمد هذا البديل على إستخدام أشعة الليزر لإضاءة سطح الأجسام الممسوحة، والتى تنعكس لتلتقطها الكاميرات الرقمية (عادة ماتكون كاميرتان)، ثم يقوم الحاسوب بتسجيل هذه الصور. وبواسطة برامج رقمية متطورة يتم تحويل هذه الصورإلى نموذج ثلاثى الأبعاد، والذى يمكن فيما بعد تصديره فى شكل معلومات لاجراء التحليل الرقمى أو وضع نماذج للتحليل، (شكل٥).

ت - كما يوجد تقنيات للمسح ثلاثية الأبعاد تستخدم لرصد النماذج المادية بطريقة رقمية، وأيضاً الظروف الموجودة والمحيطة بالنموذج المادى من مناظر طبيعية وطبوغرافيا وتضاريس. وتستخدم تكنولوجيا المسح بواسطة الليزر، والمعتمدة على تقنيات القياسات المختلفة بطريقة شائعة فى مسح مواقع الإنشاء فى جميع أنحاء العالم .

---

* وهذا الاختصار يرمز الى (Non –Uniform Rational B – Splines)، والذى بدأ التعرف على هذا النوع من الأسطح عام ١٩٥٠ بواسطة المهندسين الذين كانوا فى حاجة الى طريقة تسهل التعامل مع الأسطح الحرة (Freeform Surfaces) شكل (٣-٥) ، (٣-٦) ، وخاصة للمتعاملين مع صناعة السفن والسيارات فى تصنيع الأسطح الخارجية لجسم السيارة ..والذين احتاجوا الى طريقة أو تقنية تسهل التعامل مع هذه الأسطح التى يقوم المصممون برسمها.

(1) **Kolarevic, Branko** .Architecture in the digital age .Design and manufacturing .London :Taylor & Francis, 2005, P31.



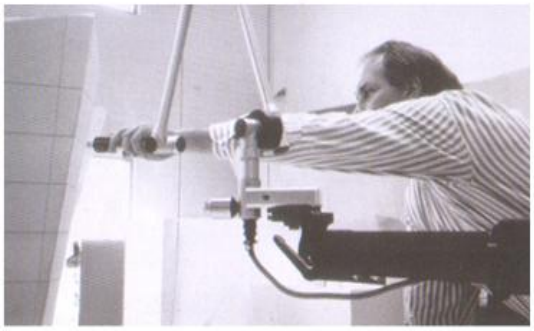
شكل : ١
شكل يوضح الشكل الإستعاري لشكل سمكة فوق مشروع فيلا أوليمبكا ، ببرشلونة، أسبانيا.

المصدر:
Gehry, Frank .
Digital Architecture,
Hyper bodies
12 October 2007 :10-12.

The Microscribe three -dimensional digitizer .

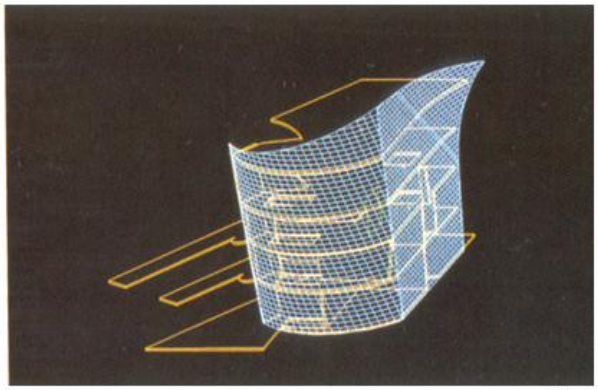
Three - dimensional laser acanner.

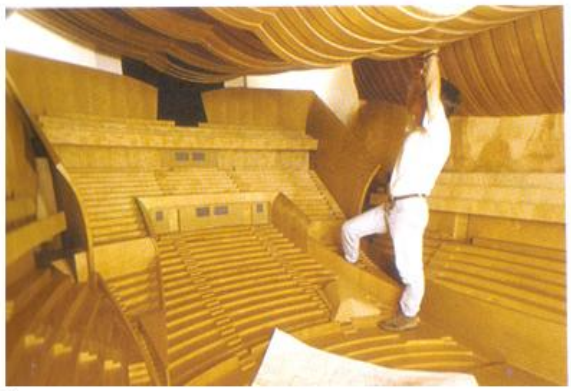
Three - dimensional laser for sit surveying.



شكل : ٢
شكل يوضح عملية المسح الرقمي على المجسمات (الماكيت) لتحويلها إلي نماذج رقمية، وبعض الماكينات المستخدمة.

المصدر:
Kolarevic, Branko .Architecture in the digital age.
Design and manufacturing .London :Taylor & Francis, 2005.



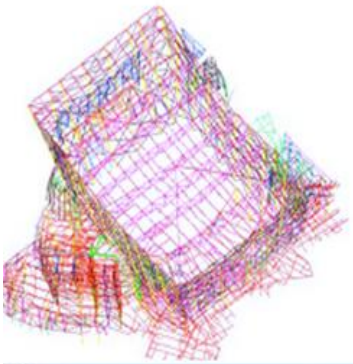


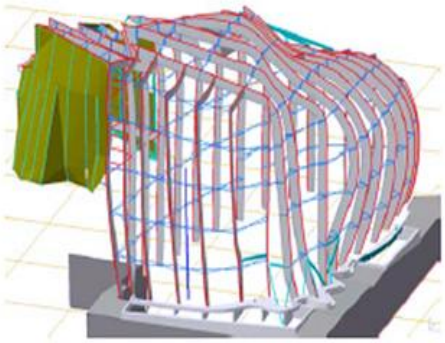
شكل : ٣
شكل يوضح النموذج المادي (الماكيت) لقاعة الموسيقي بمشروع والت ديزني ، والنموذج الثلاثي الأبعاد بعد عملية التحويل الرقمي.

المصدر:
Kolarevic, Branko .Architecture in the digital age. Design and manufacturing .London :Taylor & Francis, 2005.

شكل : ٤
شكل يوضح : مشروع الإحساس بالموسيقي، من تصميم فرانك جيري، بسياتل بواشنطن، الولايات المتحدة.

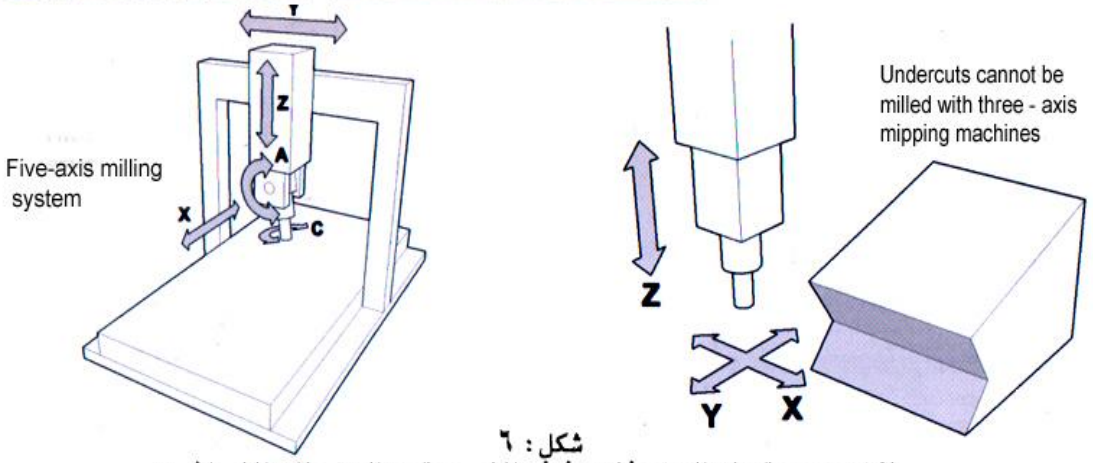
المصدر:
http://en.wikipedia.org/wiki/Frank_Gehry





شكل : ٥
شكل يوضح : الهيكل الإنشائي لمشروع الإحساس بالموسيقي،والذي استخدمت طرق التقطيع الثنائي والثلاثي الأبعاد، في تنفيذه.

المصدر:
Gehry, Frank" . Digital Architecture ".
Hyper bodies 12 October 2007 :10-12.



شكل : ٦
شكل يوضح : ماكينات التقطيع ثنائية وثلاثية المحاور ، وماكينة التقطيع ذات المحاور الخمسة

المصدر:
Kolarevic, Branko .Architecture in the digital age. Design and manufacturing .London :Taylor & Francis, 2005.

ث - تصدر هذه التقنية شعاع الليزر عن طريق الماسح (Scanner)، ويتم إلتقاط الضوء المنعكس وتحليل خصائصة لحساب المسافات بالنسبة إلى الشئ الذى يتم قياسه. وهناك ثلاث معلومات لكل من نقط القياس الفرديه الهامة وهي محاور الحركة الثلاثة (X , Y , Z)، بالإضافة إلى تكثيف الضوء المنعكس والذى يمكن إستخدامه لتحديد تكثيفات الإضاءة المختلفة أو حتى الألوان بالنسبة إلى لون سطح الجسم المراد مسحه. ومن مميزات المسح بالليزر إلى جانب الدقة والسرعة، الاكتشاف الوقتى للإنحرافات القياسية التى قد تحدث أثناء المسح أو فى مرحلة البناء.

١-٥-٢ التصنيع الرقمى- من الرقمى إلى المادى :

تأثرت العمارة بالأدوات والتكنولوجيا المصاحبة للعصر فى الفترة التى سبقت تكنولوجيا المعلومات، والتى إستخدم كلمة العمارة الأقليدسية (التى إستخدم فيها الأشكال الأساسية للتصميم مثل المكعب والدائرة والهرم ويستخدم فى رسمها القلم والمسطرة والبرجل)، وكانت النتيجة - كما لاحظ **وليام ميتشل - " أن المعماريين يرسمون ما يمكنهم بناؤه، ويبنون ما يمكنهم رسمه "**[١]. هذه العلاقة المتبادلة بين وسائل الرسم والتمثيل والإنتاج والتنفيذ لم تتوقف عند عصر بعينه، بل تطورت بشكل أكبر في فترة العمارة الرقمية، وتطورت وهو ما ساعد المصممون علي إبتكار أشكال أكثر تعقيداً.

ومثال ذلك عملية تصنيع الألواح الزجاجية غير المنتظمة الشكل فى أعمال فرانك جيرى، حيث يتم تقطيعها بإستخدام آلآت قطع رقمية تعتمد على المعلومات القادمة من النموذج الرقمى كما هو الحال أيضا فى الألواح المعدنية. فنجد فى مشروع تجربة الإحساس بالموسيقى (Experience Music Project) فى مدينة سياتيل (Seattle) قام بتقطيع ٢١ ألف لوح معدنى كل لوح مشكل بطريقة مختلفة من أجل تكوين الشكل المائل المنحنى للواجهة الخارجية .[٢] شكل (٦)، شكل (٧).

١-٥-٣ مرحلة التصنيع الثنائى الأبعاد :

تعد هذه الطريقة فى التصنيع من أهم الطرق المستخدمة فى تطبيقات تكوين الغلاف الخارجى أو التكوينات بصفة عامة، وهى أحدى الطرق التى طورها جيرى لتساعد على تبسيط الأشكال المعقدة فالشكل المعقد يمكن تبسيطه عن طريق تجزيئه إلى وحدات صغيرة يمكن عند تجميعها أن تصل إلى الشكل النهائى. وطريقة التصنيع الثنائى الأبعاد المقصود بها: **"أساليب وطرق التقطيع للعناصر المكونة للأشكال المعقدة"** ولذلك نجد أن جيرى طور طريقة التقسيم الشبكى المنتظم أو غير المنتظم لكى يسهل تحديد هذه العناصر وإعادة تجميعها، شكل (٨).

- ولذلك نجد أن من أهم مراحل هذه الطريقة هى مرحلة التكويد (التشفير) للعناصر الصغيرة فهى تساعد على ثلاثة أشياء :[٣]

أ -سهولة تمييز العناصر وتكوين مواصفات وأبعاد لكل عنصر .
ب سهولة وضع كل قطعة فى مكانها فى المشروع عن طريق التكويد (التشفير).
ت إمكانية حصر المواد المستخدمة بواسطة الحاسب بشكل أتوماتيكي أو تلقائي.

- **التصنيع بواسطة ماكينات ال CNC:**

ماكينة CNC* أوالتصنيع الثنائى الأبعاد من أكثر تقنيات التصنيع شيوعاً، وتتضمن تقنيات التقطيع المختلفة مثل plasma arc ، وشعاع الليزر ، وماكينة التقطيع بواسطة دفع المياه النفاث water jet.**

---

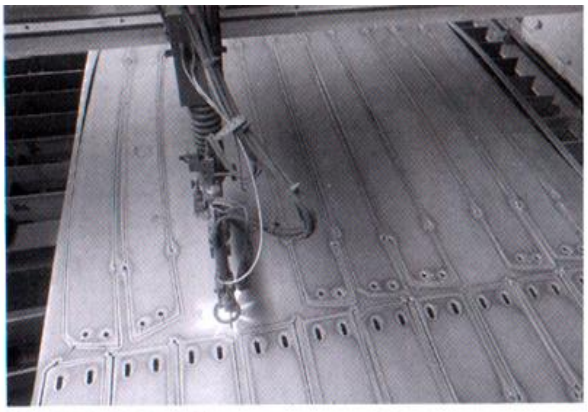
* ماكينة تستخدم لتقطيع المواد بتقنية رقمية حيث يتم ربطها بالكمبيوتر لتنفيذ عمليات الأخشاب المراد تشكيلها في صورة ثنائية الأبعاد وهناك ماكينات أُخري تستخدم في التقطيع ثلاثي الأبعاد.

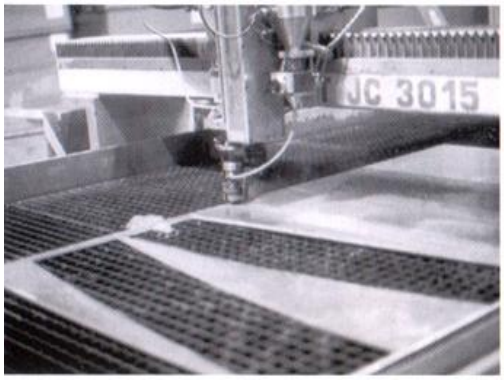
**ماكينة تستخدم لتقطيع المواد بتقنية رقمية حيث تستخدم قوة دفع الماء في تقطيع الرخام والألواح المعدنية ويتم ربطها بالكمبيوتر لتنفيذ العمليات المطلوبة.

(١) د.علي رأفت .عمارة المستقبل. القاهرة: مركز أبحاث انتركونسلت، ٢٠٠٧.

(2) **Iodidio, Philip** .Architecture Now .London :Taschen, 2001.

(3) **Kolarevic, Branko** .Architecture in the digital age .Design and manufacturing .London : Taylor & Francis, 2005, P34.





A simple CNC program.

نموذج لبرمجة ماكينة التقطيع CNC بلغة التكويد (التشفير)

```
00001
N005 G00X1. Y1.
N015 G43 H01 Z.1 M08
N0220 G01 Z-1.25 F3.5
N025 G00 Z.1
N030 X2.
```

شكل: ٧
شكل يوضح ماكينة التقطيع بواسطة الماء (WaterJet)

المصدر:
Kolarevic, Branko .Architecture in the digital age. Design and manufacturing .London :Taylor & Francis, 2005.

شكل: ٨
شكل يوضح: ماكينة الحفر ذات المحاور الثلاثة
والتي إستخدمات في مشروع Azholf Tower بألمانيا،من أعمال فرانك جيري،
وذلك في أعمال الحوائط الخرسانية.

المصدر:
Kolarevic, Branko .Architecture in the digital age. Design and manufacturing .
London :Taylor & Francis, 2005.

- وأنواع التقطيع بواسطة ماكينة ال CNC متنوعة وفقاً للأسلوب المستخدم في التقطيع كالتالي:

أ) طريقة التقطيع بطريقة ال Plasma arc وتتم عن طريق تمرير قوس كهربى من خلال إنبثاق الغاز المضغوط فى فتحة القطع، حيث يتم تسخين الغاز إلى البلازما بدرجة عالية جداً مما يجعلها تتحول إلى غاز عند تمرير الحرارة إلى منطقة القطع.

ب) أما طريقة قاطعات الليزر فتعتمد على إصدار ضوءا مركزاً ذا تكثيفا عاليا من الأشعة تحت الحمراء، وذلك لكي يتم دمج الغاز المضغوط عن طريق درجة حرارة عالية وثانى أكسيد الكربون لإذابة أو حرق المادة التى يراد تقطيعها. وهناك إختلافات كبيرة بين هذه الأنواع على مستوى التقنية، ومدى قدرتها على إختراق سمك المواد لتقطعيها.

ت) أما طريقة التقطيع بواسطة دفع المياه النفاث Water Jet : فهي طريقة تعتمد علي تركيز المياة ودفعها بقوة عالية جداً. ثم يتم مزجها مع الجزيئات الكاشطة ويتم دفعها من خلال فتحة ضيقة علي شكل تيار مركز بدرجة عالية، مما يجعلها تسبب التآكل السريع للمادة التى يراد تقطيعها، ومنتجة قطع واضحة ودقيقة. وهذه الماكينة (Water Jet) إستخدمت في تقطيع الهيكل الخارجي لجناح عرض السيارات يشركة BMW بمعرض فرانكفورت بألمانيا، حيث قطعت الألواح مباشرة من الملف الرقمي (شكل: ٩). ففي الوقت الذي تستطيع قاطعات الليزر أن تقطع الخامات التى تستطيع أن تمتص **طاقة الضوء فقط** ، فإن قاطعات الـ water jet تستطيع قطع **أي مادة** .

١-٥-٤ التصنيع بطريقة الطرح :[1]

يتضمن التصنيع بطريقة الطرح علي إزالة حجم معين من المواد الصلبة، وذلك بإستخدام عمليات تصنيع (متعددة المحاور) مختزلة بطريقة كهربائية أوكيميائية أوميكانيكية .

ويمكن أن يكون التصنيع مقيداً محوريا بالسطح أوبالحجم، ونجد الآلات المقيدة محورياً مثل المخرطة أن القطعة من الخامة التى يتم تصنيعها (تقطيعها) لها محور واحد فى حركة دائرية، والرأس القاطعة لها محوران للحركة الناقلة . ونجد أن آلآت التصنيع المقيدة بالسطح متطابقة من ناحية المفهوم لآلات القطع التى تم تناولها سابقا. ويوجد أيضا ماكينات يطلق عليها Routers أو الموجهات وهى ماكينة ذات محورين ، وتدار القطعة الثاقبة الدوراة موازية لمحاورال (Y , X) بحيث يتم إعطاء تشكيل أو حفر عناصر ثنائية الأبعاد على الخامة .

فنجد أن المعماري فرانك جيري إستخدم هذه الطريقة في نحت التكوينات الغير منتظمة علي الخرسانة لتكوين حوائط يمكن تجميعها وتركيبها في الموقع (بطريقة لعبة البازل Puzzle) لكي يحصل علي تكوين كتلي بكامل إرتفاع المبني، وذلك في مشروع برج زولف بألمانيا Tower (Zollhof) حيث تم رش الخرسانة المسلحة علي الفوم والحفر علي الخرسانة وهي رخوة لتعطي التكوين المراد (كما بالشكل ١٠).

وتستخدم آلآت لها أربع أو خمس محاور لتقطيع وتشكيل المواد بطريقة أسهل مع إعطاء إمكانيات تشكيل أوسع، ففى أنظمة المحاور الرباعية يتم تزويد محور إضافى للدوران ، إما من أصل الرأس القاطعة أو القاعدة القاطعة التى تمسك بالقطعة (محور A) . وفى الأنظمة خماسية المحاور يتم إضافة محور اخر للدوران (محور B)، وفى هذا التحديد تستطيع الرأس القاطعة أن تقوم بقطع الأجزاء السفلى وتستطيع بشكل كبير زيادة الأشكال التى يمكن إنتاجها بإستخدام المحاور الرابعية والخماسية.

١-٥-٥ التصنيع بطريقة الإضافة Additive Fabrication :

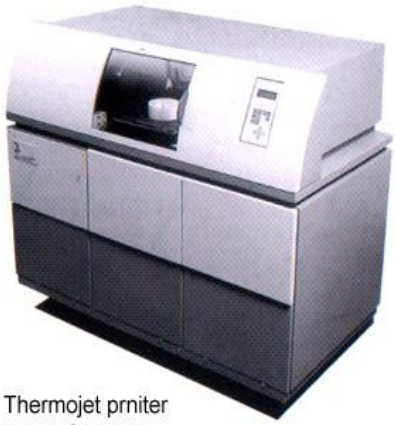
تعتبر طريقة التصنيع بالإضافة عكس طريقة التصنيع بالطرح، حيث أنها تعتمد على تكوين الأشكال والأحجام التى يصعب تكونيها بالطرق التقليدية، وذلك بطريقة تبسيط هذه الأشكال وتحويلها إلى مجموعة من الطبقات العديدة " Layer- by-Layer Faison " ، والتى عند تجميعها تكوّن الشكل أو الكتلة المراد تصنيعها، ويمكن تنفيذ هذه الطريقة بأكثر من أسلوب للتصنيع مثل :

١) تصنيع الطبقات Layered manufacturing. ٢) تصنيع التكوينات المصمتة Solid Free Form Fabrication.
٣) التصنيع السريع للعناصر المتكررة Rapid Proto Typing.
٤) التصنيع بطريقة سطح المكتب Desktop manufacturing.

(1) **Kolarevic, Branko. 2005.** *Architecture in the digital age . Design and manufacturing.* London : Taylor & Francis, 2005, P34.

The SLA 250 stereolithography system by 3D systems.

ZCorp's Z406 3D printer.



Thermojet prniter by 3D Systems.

شكل : ٩

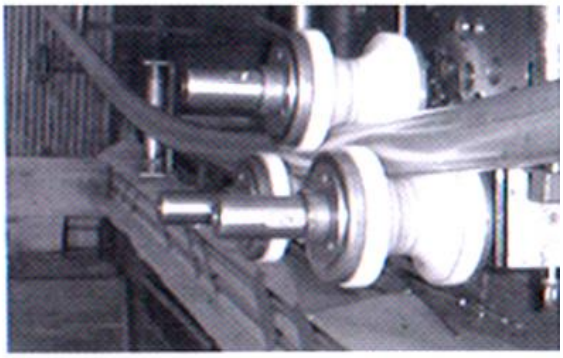
شكل يوضح : بعض ماكينات التقطيع بالليزر، المستخدمة في طريقة التصنيع بالإضافة.

المصدر:

Kolarevic, Branko .Architecture in the digital age. Design and manufacturing .London :Taylor & Francis, 2005.

(أ) مشروع معرض سيارة BMW من الخارج.

(ب) قاعة عرض سيارة BMW من الداخل ، وتظهر القطاعات المعدنية المستخدمة كأسلوب عرض للسيارات.



(ج) القطاعات المعدنية اثناء مرحلة التشكيل بواسطة ماكينة CNC والتي تشكل الإنحناءات علي المواسير المعدنية.

(د) القطاعات المعدنية أثناء مرحلة التجميع في الموقع.

شكل : ١٠

شكل يوضح : مشروع معرض سيارات BMW ، بجينيفيا بسويسرا.

المصدر:

http://www.franken-architekten.de/ 2010

وهذه الطرق تجتمع فى مبدأ أساسى هو التصنيع بواسطة الطبقات على رغم الإختلاف فى طرق تنفيذها.
حيث يتم تقسيم النموذج الثلاثى الأبعاد المراد تصنيعه رقميا إلى مجموعة من الشرائح أو الطبقات، والتى يخزن عليها رقميا مجموعة من المعلومات، وسيتم عن طريقها تقطيع هذه الشريحة ولكن بطريقة التقطيع الثنائى الأبعاد.

- **الماكينات المستخدمة فى طريقة التصنيع بالإضافة :**[1]

تم إستخدام ماكينات عديدة لهذه الطريقة فى التصنيع، وتختلف كل ماكينة عن الأخرى وفقا للغرض من عملية التصنيع أو المواد والمقاسات التى سيتم تنفيذها عليها. حيث تم تشغيل أول ماكينة عام ١٩٨٨م، والتى أُطلق عليها Stereo Lithography، والتى تعنى الماكينة التى تقوم بتجسيم الأشكال والكتل عن طريق التصنيع، ثم أخذ التطور التكنولوجى فى ماكينات التجسيم الثلاثى الأبعاد فى التزايد والنمو بشكل كبير إلى أن إستخدم الحفر بالليزر والإضاءة والمواد الكيماوية ، ففى ماكينة الـ Stereo lithography يتم إستخدام البوليمرات السائلة والتى يتم تحويلها إلى مادة صلبة عند تعرضها إلى أشعة الليزر. حيث يتم وضع المادة السائلة (البوليمرات) فى وعاء كبير ويتم تصليبها ثم البدء فى أخذ الشرائح العرضية الرفيعة جداً (تصل إلي أجزاء من المليمتر) للمادة وفى عدد كبير من الشرائح التى عند تجميعها يتكون الشكل النهائى المراد تكوينه، شكل (١١).

- **ماكينة التصنيع ثلاثى الأبعاد بواسطة التصليبد الحرارى :**[2]

التصنيع بواسطة التصليبد الحراري يطلق عليها أيضاً عملية التلبيد الحرارى (Sintering)، وتستخدم هذه الطريقة للحصول على منتجات أو عناصر معمارية (حوائط أو أسقف أو بلاطات) من المساحيق أوالبودرة، وذلك من خلال تسخين المادة إلى درجة أقل من درجة الإنصهار، وبذلك تلتصق ذرات المادة التى هى على شكل مسحوق بعضها ببعض. وتعتبر هذه العميلة تقليدية فى عملية تصنيع السراميك، حيث يمكن تطبيق هذه العملية بنفس طريقة الطبقات، وتقطع المادة المكونة فى شكل طبقات وتجميعها ولصقها بالتسخين. ويمكن إجرائها على مواد مثل: البلاستيك والورق، الحديد، والمعادن، فى طريقة مشابهه لتصنيع الشمع ولكن بشكل طبقات (وهذه الطريقة تمر بمرحلتين الأولي الإضافة عن طريق صب كتلة كبيرة من الخرسانة والثانية عملية الطرح بجعل ذراع الماكينة تمرعلي الكتلة الكبيرة ثم تقوم بنحتها) شكل (١٢). وبسبب إرتفاع تكلفة طرق التصنيع بالإضافة ولمحدودية مقاسات العناصر التى يمكن تكوينها داخل الماكينات، وكذلك الوقت الطويل الذى يستغرقة تكوين المجسمات، فإن إستخدامها فى التصميم قاصرعلى الأشكال أو الكتل المعقدة، والتى تعد أشكال منحنية غير منتظمة (Curvilinear geometries). وفى التنفيذ يتم إستخدامها فى العناصر التى سيتم تكرارها فى أماكن عديدة بالمشروع مثل: عناصر تجميع الوحدات الإنشائية فى الجمالونات، والقبب السماوية عن طريق تصنيع وحدات ثابتة تساعد على سرعة التنفيذ (Rapid Prototyping). وحالياً تم إستحداث أساليب جديدة عن طريق تجريب تقنيات مختلفة تساعد على تصنيع أو إنتاج المسطحات الكبيرة بإستخدام وحدات خرسانية يتم تصنيعها وتجميعها رقميا بطريقة يطلق عليها الـ Contour Crafting، **والتى تم إبتكارها بواسطة بيروك كوشينفز(Behrok khoshnevis)، من جامعة كاليفورنيا الجنوبية (University of southern California).**
حيث تم إعداد الشكل أو المسطح المراد تكوينه فى صورة تجميعية تعتمد على تقسيم المسطح إلى عدة أقسام يتم تنفيذ كل قسم على حدى، وتحديد أماكن الربط فى الحواف لكل سطح بحيث يسهل تجميعها وتركيبها فى الموقع.

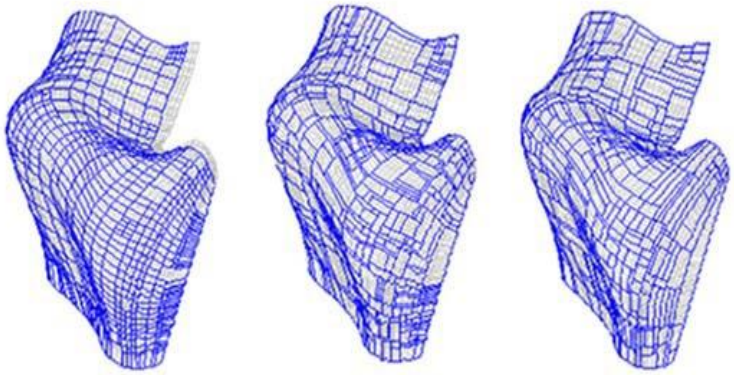
١-٥-٦ طريقة تصنيع التكوينات Formative Fabrication :

تعتمد هذه الطريقة من التصنيع على البرمجة المسبقة للماكينات التي ستستخدم في تكوين الأشكال المرادة، إلى جانب الطاقة المؤثرة على المواد التى سيتم تعريضها لها لكى يسهل تشكيلها. وهذه الطريقه مفيدة بشكل كبير فى تصنيع وتشكيل المواد المعدنية سواء كانت فى شكل لوحات معدنية (Metal boards) مسطحة أو فى شكل مواسير معدنية أو قطاعات معدنية غير منتظمة الشكل (Tubes or Double curved , compound surfaces). وذلك عن طريق تعريض اللوحات المعدنية أو المواسير أو القطاعات المعدنية إلى درجات حرارة عالية مع شد (اللوحات المعدنية أو المواسير أو القطاعات المعدنية) إلى أن تصل إلى مرحلة اللدونة والإستيكية ليسهل تشكيلها.

---

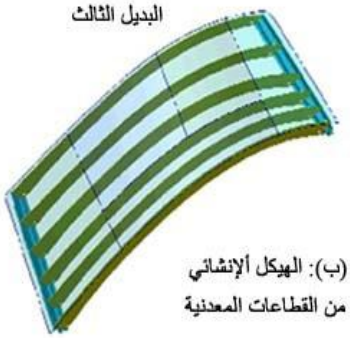
(1)**,(2) Kolarevic, Branko** .Architecture in the digital age .Design and manufacturing .London : Taylor & Francis, 2005, P36, P38.

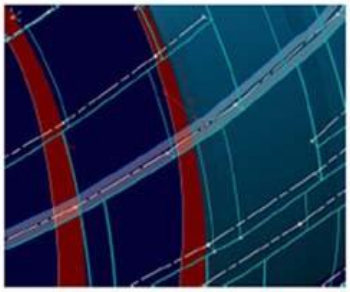
شكل : ١١
شكل يوضح: مطعم جورجيس، بمركز بومبيدو، باريس، فرنسا.
المصدر:
http://www.floornature.com/ 2010



البديل الأول البديل الثاني البديل الثالث

(أ): ثلاثة بدائل لتجميع الألواح المعدنية، يتم اجراء عملية تبادل وتوافيق بواسطة البرامج المعمارية واعطاء بدائل يمكن للمصمم اختيار الأفضل بواسطتها





(ب): الهيكل الإنشائي من القطاعات المعدنية

(جـ): الشكل النهائي لتجميع الألواح المعدنية

شكل : ١٢
شكل يوضح : مراحل إختيار الشكل النهائي لأحد أسطح مشروع الإحساس بالموسيقي، بسياتل، بالولايات المتحدة.
المصدر:
Gehry, Frank" .Digital Architecture ".
Hyper bodies 12 October 2007 :10-12.

وفى هذه الحالة تقوم الماكينة بتنفيذ الشكل المبرمج لديها عن طريق إعطاء التحكم فى الإنحناء أوتحويل المادة (الألواح أو القطاعات) إلى مجموعة من النقاط، والتحكم فى مستويات (إرتفاعاً أو إنخفاضاً) هذه النقاط لإعطاء الشكل والتكوين المراد . وهذه العملية تعد من أكثر العمليات التصنيعية التى يعتمد عليها فرانك جيرى فى تصنيع الأسطح والتكوينات نظراً لكثرة إستخدامه الألواح المعدنية فى أغلفة مشروعاته (الكسوات والتجاليد الخارجية). وكذلك إستخدام المواسير والقطاعات المعدنية كنظام إنشائى لمعظم مشروعاته.ويوضح شكل (١٠) عمليات تصنيع القطاعات والمواسير المعدنية في مشروع معرض سيارات BMW بجينيفيا، بسويسرا،(١) من تصميم Bernhard Franken and Abb Architekten، والتي إستخدمت ماكينة (CNC Bending) في عملية تصنيع الإنحناءات لقطاعات الألومنيوم وفقاً لملفات الكاد وتصميم المصمم.

١-٥-٧ إستخدام برمجيات الحاسب الألي في تكوين الأسطح:

تركز هذه النقطة علي جزء خاص من تطور طرق التعامل مع الأسطح الخارجية للمبني، فكما ذكر في النقاط السابقة من طرق مختلفة للتصنيع والتنفيذ الرقمي، تنوعت بين مراحل نقل النموذج من المادي إلي الامادي، ومراحل التنفيذ عن طريق التقطيع بالطرح والتنفيذ بالإضافة، ومرحلة التصنيع للتكوينات. ننتقل في هذه النقطة إلي مرحلة متقدمة من تطور عمليات الإنتاج والتصنيع والتنفيذ الرقمي علي مستوي تكوينات الأسطح، وهي مرحلة كانت نتيجة للحاجة إلي تطوير طريقة واضحة وسهلة للتعامل مع تنفيذ الأسطح، وبخاصة الأسطح المعقدة و الغير منتظمة وذلك علي صعيد عمليات التصميم والتنفيذ أيضاً. فنجد أن ظهور مجموعة من الأفكار التي أطلق عليها الإستراتيجيات التى تتعلق بالأسطح (Surface strategies) والتي تعنى: دراسة تكوين الأسطح (حوائط خارجية أو داخلية) ومواد التنفيذ (سواء مواد إنشائية أو تكسيات للأسطح) **في إطار موحد**. والمقصود هنا بكلمة **إطار موحد** : هو ظهور السطح أو الغلاف الخارجي للمبني وكأنه قطعة واحدة، بحيث لايمكن الفصل فيه بين المواد و العناصر الإنشائية وهي التقنية المستخدمة في تكوين الأسطح المستخدمة فى الطائرات والسيارات بغرض ملائمة الشكل للوظيفة، والتى يطلق عليها (Monocoque Structures) و (Semi Monocoque)*. فنجد أنه تم إستخدام هذه التقنية فى الطائرات والسيارات لمواجهة تأثير الرياح على حركة الطائرات أثناء الطيران، وكذلك السيارات. ولتفادى هذه الأحمال كان التصميم يحتاج إلى خطوط إنسيابية لتفادى مقاومة الأسطح لضغط الهواء. وكان توفيق المواد مثل الحديد والالومنيوم مع هيكل السيارة أو الطائرة يحتاج إلي تكنولوجيا تسهل هذه العملية وهى تكنولوجيا الـ (Monocoque)(٢) شكل (١١). ولذلك نجد أن المواد المستخدمة فى هذه التكنولوجيا لها خصائص تميزها عن المواد التقليدية للبناء (الحجر ، الطوب ، الطين، والأخشاب،و..إلخ) وهى المرونة فى التشكيل والمقاومة للظروف المناخية. مثل الألمنيوم والذى يقاوم الصدأ، وكذلك المطاط (Rubbers) والبلاستيك، والمواد المركبة (Composites). ومن المواد المركبة آلياف الزجاج ، آلياف الكربون ، الخشب الرقائقى ، والأسمنت المسلح والممزوج بمواد كيماوية .

ويظهر أهمية إستخدام الحاسب الآلي في هذه المرحلة من خلال البرمجيات، والتي نجحت العديد من البرامج المعمارية في إعداد العديد من أدوات للتحكم في إنتاج الأشكال، والتحكم فيها عن طريق التعديل والتطوير بواسطة إدراج كافة المتغيرات التي يمكن أن تؤثر علي الأسطح، ويتميز إستخدام الحاسب الآلي في هذه المرحلة في أنه يمكن المصمم من التحكم في الأسطح بإستخدام المواد المختلفة، والتعامل معها وفقاً لخواصها الطبيعية، كما أنه يساعد المصمم علي إعطاء العديد من البدائل والمقترحات لتكسية الأسطح حسب شكل المواد المستخدمة.

ومن الأمثلة التي تم فيها إتخاذ إستراتيجيات معالجة وإختيار إسلوب تجميع للأسطح: مشروع الإحساس بالموسيقى فى سياتيل،بواشنطون، بالولايات المتحدة (Experience Music project in Seattle)(٣) . والذي قام فرانك جيري

---

*وهو مصطلح مكون من كلمتين هما: **Mono** وهى كلمة إغريقية وتعنى الأوحد ، وكلمة **Coque** :وهى كلمة فرنسية تعنى الهيكل، والتى تعتمد فى فكرتها الأساسية على تكوين هيكل إنشائى واحد تأخذ فيه العناصر الإنشائية و المواد شكل واحد ويطلق أيضا على هذه التقنية أسماء أخرى مثل الكسوات الإنشائية أو الأسطح (Structural skin) ، والأسطح المضغوطة (Stressed skin) ، وحدة الهيكل أو الكتلة Unit body ، البناء الوحدوى Unitary Construction.

(1)**,(3)Szalapaj, Peter** .Contemporary Architecture and the Digital Design Process .Oxford : Architectural Press, 2005. P31,P211.

(2)http//:en.wikipedia.org/wiki/Monocoque. 1-2011.

وفريق العمل بالإستعانة ببرنامج الكاتيا (CATIA) في إختيار الإسلوب الأمثل لتجميع وتشكيل الأسطح، حيث تم برمجة الكمبيوتر بالمعلومات الخاصة ببدائل أبعاد الألواح المعدنية ومقاساتها المختلفة **(عملية إدخال المعلومات)** ثم تم طلب إعطاء بدائل حلول لإختيار البديل الأمثل والذي يكون للمصمم حرية إختيار هذا البديل **(عملية إخراج المعلومات)**، وكان إختياره بين ثلاثة بدائل، إلي ان إستقر علي البديل الأمثل، والذي تم إخراج رسومات التنفيذ تلقائياً بواسطة الحاسوب، شكل (١٢).

وهناك مثال آخر يوضح فاعلية إستخدام برمجيات الحاسب في تكوين الأسطح وهو: مشروع منزل (Kolatan and Mac Donald s Rayboulal)[١] ، والذى تم بناؤه عام (٢٠٠٣) ، بولاية كونيتيكت، مثالاً واضحاً علي إستخدام الأسطح الموحدة مع المواد (Monocoque) في عملية البناء. حيث تم بناء الهيكل الخارجى للمبنى على شكل قفص بيضاوى الشكل بواسطة برامج الكاد CAD. ودراسة إستخدام المادة المناسبة للتأكيد علي الشكل البيضاوي، والذي كان الإختيار الأفضل هو تغطتيه بمادة البولى يوريثان الرغوية (مادة عازلة ومقاومة للظروف الجوية وتساعد على عدم تآكل المواد). ونتيجة لذلك نجد أن الهيكل إنصهر مع المادة فى شكل واحد، كما أن توزيع الأحمال الإنشائية كان موزع على جميع عناصرالهيكل القفصى. والمادة لها دور كبير فى إعطاء التكوين البيضاوى الذى أراده المصمم. بالإضافة إلى مقاومتها للظروف التى قد تؤثرعلى الغلاف. كما أنها أصبحت مادة تكسو كامل المبنى (أسقف وحوائط فى إستمرارية شكلية تربط جميع الأوجه لتكون شكل متصل) .

١-٥-٨ التجميع Assembly :

بعد أن تحدثنا عن طرق تصنيع أجزاء ومواد البناء المختلفة بأكثر من طريقة تصنيع رقمية، تأتى مرحلة تجميع هذه العناصر فى الموقع لكى تعطى التكوين النهائى للمبنى، وهي المرحلة النهائية في تنفيذ المبني. ففى مرحلة التجميع تستخدم التكنولوجيا الرقمية فى هذه المرحلة بكاملها دون تدخل أى من الطرق التقليدية (مثـــل القياس بواسطـــة شريط الأبعاد، أو إستـخدام المهـــارات الحرفية واليدوية). فالعملية التى تتم كلها تعتمد على النموذج الرقمى الثلاثى الأبعاد، وعلى مرحلة تكويد وتشفير العناصر والأجزاء التى تم تصنيعها، بحيث يتم وضعها فى أماكنها بإستخدام التكويد والشفرة وبدقة عالية جداً حيث أنه لايُسمح بالخطأ. فكل قطعة أو عنصر من عناصر الغلاف أو الإنشاء المحدد مسبقاً يحدد مكانه على الغلاف بواسطة رقم مكوّد بحيث يكون لكل قطعة رقم لا يتكرر، وليكن مثلاً: **(R W M 0125)** فيكون رمز **(R)** يقصد به ماكينة التقطيع المستخدمة والرمز **(S)** يقصد به أن هذه القطعة توضع كتكسية للحوائط والرمز **(W)** يقصد به أن مادة الشريحة من الميتال **(Metal)** ويكون المقصود من الرقم **(0125)** بأنه رقم الشريحة والذي يحدد خصائصها الشكلية، وموضعها علي الحائط، والذي يشمل أيضاً مكانه بالنسبة لمحاور ال **(X,Y,Z)** [٢] .

وتستخدم أجهزة القياس الرقمية فى تحديد مكان كل قطعة أو شريحة، وهذه الأجهزة مثل الماسح الإليكترونى (Electronic Surveying)، وليزر تحديد المواقع (Laser Positioning)، والتوتال ستيشن (Total Station) من الأجهزة الأكثر إستخداماً فى مرحلة التنفيذ. وتكون هذه الأجهزة متصلة بكل من: البرامج (مثل كاتيا CATIA)، وموقع التنفيذ، بحيث يتم وضع كل قطعة وفقاً للكود المحدد على النموذج الثلاثى الأبعاد، وبالتوافق مع النموذج الرقمى الثلاثي الأبعاد. وتأتى مرحلة التركيب التى سيتم فيها تجميع عناصر الغلاف معا لنجد أن الإنسان الآلى أو الروبوت (Robot) له دور هام جدا فى هذه المرحلة. حيث يتم الإستفادة من النموذج الرقمى فى تحديد مهام الإنشاء والتنفيذ، وتسلسل العمليات فى الموقع، وتعد اليابان من البلدان الرائدة في هذا المجال. حيث إستفادت اليابان من تطور صناعة الروبوت لديها، وقامت بتوظيفه في تكنولوجيا البناء وبخاصة عمليات التنفيذ المسبق أو فى الموقع، والتحكم فى تنفيذ العمليات الصعبة مثل التجميع للعناصر الثقيلة، وكذلك لحامها معا أو تركيب ودهان الأماكن التى يصعب الوصول إليها، ومستفيده من نفس العملية التى يتم إستخدام الانسان الآلى فيها فى صناعة السيارات للتحكم فى السرعة والدقة وتوفير الوقت.[٣]

---

(1)**Kolarevic, Branko** .Architecture in the digital age .Design and manufacturing .London :Taylor & Francis, 2005.

(2)**Simonot, Marie - Ange Brayer and Beatrice. 2002.** *Archilab's Earth Buildings: Radical Experiments in Land Architecture.* United Kingdom : Thames & Hudson, 2002,P 130

(3)**zellner, peter** .Hybrid space :New forms in digital age .London :Thames & hudson, 1999, P82.

وتعد هذه الأنظمة التى يستخدم فيها الأنسان الآلى (Robot) من أنظمة البناء التي يطلق عليها الأنظمة الذكيه Smart Systems، وجارى تطوير هذه الانظمة بسرعة كبيرة لما لها من فوائد متعددة خاصة فى المنشأت المرتفعة، والمستخدم بها عناصر أو مواد مثل الحديد والخرسانة ذات الأوزان الثقيلة، والتى يصعب التحكم بها خاصة فى ظروف موقع به أشكال حرة، وهو ما تم في عملية تنفيذ مشروع بنك جوروكو باليابان، بمدينة مجاوايا. وهو مبنى بإرتفاع عشرون طابقاً. حيث إسُتخدم فيه الروبوت فى تجميع العناصرالإنشائية والتى إعتمدت على المنشآت المعدنية (The Steel structural frame)، كما قامت الروبوتات بتجميع هذه العناصر ووضعها فى أماكنها ولحامها ومعالجتها، وتركيبها مع العناصرالخرسانية، والتحكم فى وضع الحوائط والأسقف إعتماداً على أنظمة الإدارة بإستخدام معلومات الحاسوب (A Computerized Information Management System).[1]

١-٦ الخلاصة والنتائج :

ناقش البحث موضوع : (عملية الإنتاج والتنفيذ في عصر تكنولوجيا المعلومات) وكان ذلك **بهدف:**

أ) أولاً: التعرف علي الإمكانيات التي أتاحتها تكنولوجيا المعلومات للمعماري في مرحلة الإنتاج والتنفيذ.

ب) ثانياً: التعرف علي مراحل وخطوات التصنيع والتنفيذ الرقمية، من مرحلة الإنتهاء من وضع الأفكار إلي مرحلة تجميع وتنفيذ عناصر المشروع في الموقع.

وكانت النتائج كالتالي:

أ - تم رصد كافة مراحل الإنتاج والتنفيذ الرقمي والتي تضمنت سبعة مراحل هي:

١) **التصنيع الرقمى- من الرقمى إلى المادى.**
٢) **مرحلة التصنيع الثنائى الأبعاد.**
٣) **التصنيع بطريقة الطرح.**
٤) **التصنيع بطريقة الإضافة.**
٥) **التصنيع للتكوينات.**
٦) **إستخدام برمجيات الحاسب الألي في تكوين الأسطح.**
٧) **التجميع.**

ب -أهمية التعرف على مراحل الإنتاج والتصنيع الرقمي وفنياتها ، وإستراتيجية التعامل مع الأسطح والتكوينات، ومدي تأثير دور تكنولوجيا المعلومات في هذه المراحل، ودورها في الربط بين عمليتي التصميم والتصنيع، حيث أن العديد من المعماريين وعلى رأسهم فرانك جيري طوروا إتجاهاتهم المعمارية وأوجدوا حلولاً ومعالجات جديدة كانت نتاج التفاعل مع هذه العملية.

ت -ظهورمبادئ جديدة للتصميم بناءً على تطور تكنولوجيا المعلومات في مجال الانتاج والتصنيع، وظهور ثقافة البرمجة Programming Culture التي أتاحت التعامل مع الأشكال والأسطح وفقاً لأسلوب ومراحل التنفيذ، ودور البرمجيات ومنها برنامج (CATIA) في ربط المصمم بالشكل النهائي للمشروع، والذي أدي إلي إجراء وتجريب بدائل متعددة لتركيب الغلاف والتكسيات المستخدمة للمبني للوصول إلي استخدام المواد المناسبة لتشطيب هذه الأسطح، كما ساعد علي تنفيذ العديد من الأعمال التي لم يكن لتنفذ لولا تكنولوجيا المعلومات.

ث -أهمية متابعة أدوات التصنيع والتنفيذ في المجالات الأخري، وذلك بهدف الإستفادة منها وتوظيف المناسب منها في تكنولوجيا البناء، وهو ما حدث في العديد من المشروعات بدءاً بإستخدام تكنولوجيا تصنيع السفن والطائرات إلي إستخدام الإنسان الآلي (الروبوت) في مجال التنفيذ.

---

(1)**Szalapaj, Peter** .Contemporary Architecture and the Digital Design Process .Oxford : Architectural Press, 2005, P83.

١٧ التوصيات:

بعد طرح الخلاصة والنتائج وتوضيح أهمية دور تكنولوجيا المعلومات في التأثير علي عملية الإنتاج والتصنيع والتنفيذ يوصي البحث بالآتي:

١ - أهمية زيادة الأبحاث النظرية والعملية والتطبيقية في عمليات الإنتاج والتصنيع والتنفيذ الرقمي. حيث أنه مجال خصب، وبه العديد من المميزات التي لها مردود علي صناعة البناء ككل ، كما لها مميزات ومردود كبير علي الإقتصاد.

٢ - ضرورة وأهمية تطوير مناهج التعليم المعماري بما يتوافق مع التطور السريع الحاصل علي عملية الإنتاج والتصنيع والتنفيذ الرقمي ، وربط هذا التطور بعمليات التصميم.

٣ - توجيه المصنعين العاملين بمنظومة العمل المعماري نحو دراسة ماكينات التصنيع الرقمية واستخلاص المفيد منها للسوق المصري لما له من مردود علي سرعة الإنجاز في عملية التصنيع المسبق لمواد ومنتجات البناء.

٤ - أهمية عقد العديد من المؤتمرات والندوات والمعارض التي تتناول أبعاد الإنتاج والتصنيع والتنفيذ الرقمي لنشر ثقافة البناء علي الساحة المعمارية المحلية، لكي نلحق بالركب العالمي بدلاً من الإعتماد علي الإستيراد من الخارج.

٥ - تسليط الضوء علي ربط المصممين بتعلم المميزات التي من الممكن الحصول عليها عند الإستعانة بالتقنيات الرقمية ومردود ذلك علي منظومة العمل المعماري ككل، لكي يتم تطوير مراحل التصميم المبكرة وربطها بعمليات الإنتاج والتصنيع والتنفيذ الرقمي.

المراجع العلمية Bibliography

أولاً: المراجع العربية

١- نبيل علي . تحديات عصر المعلومات .القاهرة :دار العين للنشر،٢٠٠٣ .

٢- د.علي رأفت .عمارة المستقبل .القاهرة : انتركونسلت، مركز أبحاث .

ثانياً: المراجع الأجنبية

3- **Kolarevic, Branko. 2005. Architecture in the digital age . Design and manufacturing. London : Taylor & Francis, 2005.**

4- **Woodward, Christopher and Jaki Howes. Computing in Architectural Practice. London: Spon Press , 1998.**

5- **Steele, James. 2002. Architecture and Computers: Action and Reaction in the Digital Design Revolution . London : Watson-Guptill, 2002.**

6- **zellner, peter. Hybrid space: New forms in digital age. London: Thames & hudson, 1999.**

7-**Iodidio, Philip. Architecture Now. London: Taschen, 2001.**

8- **Kocat¨urk, Peter Brandon and Tuba. Virtual Futures for Design,Construction & Procurement. London: Wiley-Blackwell, 2008.**

9- **Simonot, Marie - Ange Brayer and Beatrice. 2002. Archilab's Earth Buildings: Radical Experiments in Land Architecture. United Kingdom : Thames & Hudson.**

10- **Steele, James.**Architecture and Computers *:Action and Reaction in the Digital Design Revolution* .London : Watson-Guptill, 2002, P122, P123.

ثالثاً: المواقع الإليكترونية Internet

11-**http://en.wikipedia.org/wiki/Monocoque.**