Journal of Engineering Sciences
Assiut University
Faculty of Engineering
Vol. 47
No. 5
September 2019
PP. 667–685

تكنولوجيا تطوير وتنفيذ البناء في العصر الرقمي

أحمد صالح عبد الفتاح علي اسماعيل

قسم الهندسة المعمارية - كلية الهندسة بالمطرية - جامعة حلوان
engasa@hotmail.com

Received 30 April 2019; Accepted 25 May 2019

الملخص

برز دور البرامج الرقمية في التصميم بالكمبيوتر CAD (Computer Aided design) وقدرتها على إنشاء اشكال ثلاثية الأبعاد للمباني و تحليل كيفية تنفيذ هذا المبني، وبالتالي مساعدة المعماريين على التنوع والابتكار في التصميم، وإمدادهم بالأفكار والإمكانيات التي طالما كانوا يحلمون بها قبل العصر الرقمي، مما ادي الي ظهور طفرات في تكوين وتشكيل الشكل الخارجي للمباني، وظهور أساليب وطرق تصميم جديدة اكثر تحرراً وتتطوراً، وظهور نظريات جديدة تسيطر على منابع الابداع لدي المعماريين الأن مثل التصميمات البرامترية (Parametric Designs) والتصميمات الخوارزمية (Algorithmic Designs) وغيرها من النظريات الحديثة. ومن ثم ومع هذا التطور بالعملية التصميمة بدأ اللجوء الي التصنيع الرقمي باستخدام الكمبيوترCAM (Computer Aided Manufacturing) كمنفذ للمعمارين لتنفيذ وتصنيع تلك الابداعات اللانهائية مما يتيح للمعماري تصنيع عناصر المبني المختلفة مثل الكسوات والعناصر الإنشائية بطريقة رقمية باستخدام البرامج والماكينات المختصة. ويعتبر استخدام التصنيع الرقمي في العمارة ظاهرة حديثه نسبياً، فمع ظهور العديد من تلك البرامج الحديثة وانتشارها من ناحيه، وتطور طرق التصنيع من ناحيه اخري أكثر من أي وقت مضي، يأتي علم التصنيع الرقمي ليسد الفجوة بين التصميم والتنفيذ، أذ يعمل التصنيع الرقمي على انتاج وتشييد مباني معقدة بشكل كامل، ويتعرض البحث للتصنيع الرقمي من خلال الاستراتيجيات والعمليات الخاصة بالتصنيع الرقمي، واستخداماته، وأخيراً التقنيات والأجهزة المستخدمة في التصنيع الرقمي. وأهميته في المشروعات الغير تقليدي وبالتالي استحالة تنفيذها بالطرق التقليدية. حيث يتم الاعتماد على الكمبيوتر في المراحل المختلفة للتصنيع تتيح عمليات استخدام الكمبيوتر التي يتم التحكم فيها رقميًا الترجمة المباشرة للبيانات من عملية التصميم إلى عملية التصنيع؛ مما يتيح للمعماري مساحة غير محدودة من الإبداع الذي لا يمكن تصوره أو تصنيعه بالطرق التقليدية. ومن ثم أصبح التصنيع الرقمي واحد من اهم الإمكانيات التي وجب على المعماري التسلح بها لإنتاج مباني متميزة.

الكلمات المفتاحية: التصنيع الرقمي، الانتاج الرقمي، تقنيات التصنيع الرقمي، الروبوتات، الطباعة ثلاثية الابعاد

1. مقدمة

اتاح العصر الرقمي تكوين العلاقة بين الفكر والإنتاج بشكل جذري، وخلق رابط رقمي مباشر بين ما يمكن تصوره وما يمكن بناؤه من خلال المعلومات الرقمية التي يمكن استخدامها في التصنيع والبناء لقيادة الآلات التي يتحكم فيها الكمبيوتر مباشرة، مما يجعل إنتاج الرسومات المستهلكة للوقت غير ضروري. تحولت منظومة العمل المعماري من منظومة تقليدية تعتمد فقط على المجهود البشري والعقلي إلى منظومة رقمية على كافة المستويات إستعان بها الفكر المعماري لتحقيق أهدافه وأفكاره، والذي ظهر في صورة عمارة فائقة التقنية، واشكال ذات تكوينات غير مسبوقة، ليكون ذلك شاهداً علي تطور الفكر المعماري، وتحول منظومة العمل المعماري في عصر تكنولوجيا المعلومات إلى منظومة رقمية. ففي ظل المتغيرات العلمية للألفية الثالثة، امتدت الثورة الرقمية لتشمل عمليات البناء والتنفيذ لضمان سرعة ودقة الانتاج بما في ذلك من

إدخال الإنسان الآلي (الروبوت) والطباعة ثلاثية الابعاد في تصنيع المباني كما يحدث في صناعة السيارات لما له من سرعة ودقة في التنفيذ، حيث يمكن أن نري في المستقبل القريب منشأ ينفذ بالكامل بدون عمال وبدلاً من البشر مجموعة من الروبوتات. وتبدأ مرحلة تصنيع الأجزاء الإنشائية بعد مرحلة تصميم المبنى مباشرة وعمل نموذج رقمي لهذا المبنى على الكمبيوتر، حيث تساعد المعلومات الرقمية بواسطة برامج خاصة في الإرشاد إلى الهيكل الإنشائي المناسب للمكونات المختلفة للمشروع، وكذلك تصنيع أجزاء إنشائية للمبنى بواسطة أجهزة مؤتمتة تستمد معلوماتها من النموذج الرقمي مباشرة.

1.1. الإشكالية البحثية

لم تعد طرق التصنيع التقليدية تتناسب مع التطور اللاحق بالعمارة في العصر الرقمي، حيث تغيرت الممارسة المعمارية بشكل جذري وأصبحت الرقمية سمة رئيسية في جميع جوانب الهندسة المعمارية ومن ثم اصبح التصنيع الرقمي يلعب دوراً مهماً في التطور المعماري، وتكمن المشكلة في انه بالرغم من أن التصنيع الرقمي قد مر بفترة رائعة من التطور السريع من الاستكشاف العملي، والإنتاج النظري والعملي، يبدو أن الأسس النظرية للتصنيع الرقمي في العمارة لا تزال منقوصة، وغير واضحة لدى كثير من المعماريين والاستفادة القصوى الفعلية من هذه التكنولوجيا وخصوصا المرتبطين بالمواقع العمل التقليدية.

2.1. الأهداف

فهم إستراتجيات وتقنيات، وأدوات التصنيع الرقمي للعمل بشكل متوازٍ ومتكامل مع عملية التصميم الرقمي؛ كتحول نموذجي ونمط جديد ناشئ في ممارسة مهنة العمارة، وفي نفس الوقت كأداة جديدة تساعد المعماريين في الحصول على أعلى طاقة إنتاجية وأقصى دقة ممكنة وأقل وقت وجهد وتكلفة ممكنة في عمليات الإنتاج والتصنيع.

3.1. منهجية البحث

أعتمد البحث في منهجيته على المنهج الاستقرائي والاستنباطي وتم جمع المعلومات من العديد من المصادر الثانوية. ومن خلال الإشكالية وبعد تحديد الأهداف إنقسم البحث إلى جزئين رئيسيين جزء نظري واخر تحليلي.

2. تكنولوجيا البناء الرقمي كادة تشييد إنتاج العمارة الرقمية

تعد الثورة الرقمية والتكنولوجيا المصحبه لها من أبرز القضايا المؤثرة في العمارة ونظريات العمارة المعاصرة بإعادة النظر في أكثر الأنماط الفكرية والمادية للعمارة في ضوء "الرقمنة" لتمثل العمارة الرقمية امتداد للتوجهات العقلانية للحوسبة في العمارة التي توظف العلوم والتكنولوجيا[25]. غيرت هذه الأدوات الرقمية لغة العمارة بجميع مستويتها بمفاهيم جديدة, بالإضافة للإدراك والتصور المختلف لفعل لتقنية الحاسوب في العمارة التي تستند علي معالجة شكلية سائلة (Fluid) للأنماط الهندسية ومنظوماتها التعبيرية للتكوينات المنتجة حاسوبيا لإنتاج أشكال لا مألوفة، ومبدعة ترتبط بالعمليات الخوارزمية والحسابية وعمليات البرمجة تحت مسمى (العمارة الرقمية) ، والتي هي نمط معماري جديد لا يرتبط بطراز محدد، أنتج باستعمال النمذجة والبرمجة والمحاكاة الحاسوبية لتكوين أشكال افتراضية وهياكل مادية يعبر عنها بتقنيات رقمية أو الغلاف الرقمي، ويظهر إبداع لمجموعة واسعة ومتنوعة من الأشكال المعقدة بتأثير الخوارزميات. تحولت فيها مناهج التعبير عن الأشكال، إذ لم تعد الرؤية التصميمة للبناية في ظل الرقمنة بنية اعتيادية مثلما كانت، بل أصبحت رؤيتها للبناية كبنية ديناميكية (Dynamic) تتخذ جسداً حياً (a alive body) [21].

1.2. التقييس التفعيلي لتكنولوجيا البناء (تكنولوجيا البناء الرقمية)

يعرف التقييس بمفهومه العلمي والتكنولوجي الحديث يعني ذلك النظام أو الأسلوب الذي يحقق وضع المواصفات القياسية التي تحدد الخصائص والأبعاد ومعايير الجودة وطرق التشغيل والأداء للسلع والمنتجات مع تبسيط وتوحيد أنواعها وأجزائها علي قدر الإمكان إقلالا للتعدد الذي لا داعي له وتيسيرا للتبادلية في إنتاج الجملة وقطع الغيار وخفضا للتكاليف. في ظل المستجدات المتلاحقة للألفية الثالثة وثوراتها العلمية المتتالية التي أثرت علي تكنولوجيا البناء وفتحت أفاقًا غير مسبوقة في صناعة التشييد وكان أبرز ما ظهر في هذا المجال ما سمي بالجين الرقمي والذي أحدث ثورة ابتكارية غير مسبوقة في مجال تكنولوجيا البناء [26] ، مما

سوف يغير من مسار العمارة بنتاجاتها البنائية بشكل يعد أساسًا للتغيير الجذري في النتاجات البنائية وذلك في ظل دمج الحاسب الآلي في التنفيذ بمستويات متعددة. فالآن فى الألفية الثالثة أصبح الإبداع المعماري وتكنولوجيا البناء عنصرين متكاملين مع كافة الأنظمة العلمية الإلكتروميكانيكية وغيرها [19].

1.1.2. الجين الرقمي في مقابل التوحيد القياسي

زخرت العمارة في الألفية الثالثة بالعديد من الابتكارات والانجازات العلمية في مجال التكنولوجيا، ويعد الجين الرقمي Cyber Genetics من أهم مدلولات الألفية الثالثة فى مجال تكنولوجيا البناء ولقد ظهرت الحاجة إليه كنتيجة لسببين أساسيين وهما [7]:

1) الاحتياجات الملحة للإنتاج على نطاق واسع.
2) التعقيدات التشكيلية للصياغات البنائية في إطار تنوع الحل المعماري.

وعليه ففي إطار تلك التحولات الفكرية والعلمية المحيطة بالعمارة منذ بدء العملية التصميمية وحتى التطبيق التنفيذي للصياغات البنائية وجب علي المعماري تغيير الصياغة التصميمية والتنفيذية للمبني[27]. فلقد كان المديول هو وحدة البناء الأصغر (جين البناء) قبل بدء عصر الثورة الرقمية، ولكنه تحول إلى (الجين الرقمي) Cyber Genetics. ويقصد بها وحدة البناء الأصغر الغير مديولية في عصر الثورة الرقمية[10].

فلكل عصر ابتكاراته العلمية المؤثرة على نتاجاته البنائية والحركة المعمارية بوجه عام، فكما أثرت الحرب العالمية الأولي على الصناعة وأوجدت التوحيد القياسي، والذي انتقل بالتبعية من الصناعة إلى العمارة كنتيجة للحاجة الملحة لبناء كثرة عددية من المباني في أقل وقت وتكلفة متوسطة، مما أوجد الانتاج بالجملة أو ما سمي بالإنتاج المكثف،Mass Production، فإن الثورة الرقمية أوجدت الجين الرقمي والذي أحدث تغييرًا جذريًا في العملية التصميمية وتكنولوجيا البناء والعمارة بوجه عام [1].

2.1.2. القياس والتوقيع ثلاثي الأبعاد 3D Real-Time Positioning

وهي أنظمة يمكنها إحداث تطور كبير في صناعة البناء عند تكاملها مع تكنولوجيا التصميم بالحاسب الآلي (CAD)حيث تساعد أنظمة التوقيع الثلاثية الأبعاد العاملين بالموقع على التكامل مع الرسومات الثلاثية الأبعاد وتربطها بموقع البناء، حيث تساعد تلك الأنظمة في تحديد مواقع البناء بدقة عالية وبتكلفة قليلة وسرعة وجودة أكبر مع إمكانية توقيع أشكال غير تقليدية وتخزين أماكن العناصر المركبة في قواعد البيانات As-built Database ثم يتم استخدامها عند الحاجة. وهناك العديد من تلك التقنيات الحديثة لتوقيع والقياس انظر جدول رقم (1)

جدول رقم (1): يبين التقنيات الحديثة لتوقيع والقياس [7]

أنظمة القياس والتوقيع	التوصيف العام له
جهاز Total Station	يستخدم في الرفع والتوقيع المساحي وهو مزود بباحث ليزر
أنظمة تستخدم نظام تحديد المواقع الدولي GPS	يستخدم هذا النظام في الرفع المساحي لتضاريس الموقع حيث يتم الرسم الثلاثي الأبعاد لهذا الكونتور بدقة كما يُستخدم في الحساب الدقيق لكميات الحفر والردم
نظام أوديسي Odyssey	وهو نظام لتحديد وتوقيع الإحداثيات باستخدام الليزر, ويقوم بتحديث البيانات خمس مرات في الثانية الواحدة وهو ذو مجال 100متر داخل الأماكن المغلقة و130متر في الأماكن المفتوحة وهو عال الدقة

2.2. الهندسة العكسية Reverse Engineering

وهي آلية تعنى باكتشاف المبادئ التقنية للأشياء من خلال تحليل بنيته، وطريقة عمله. غالبا ما تتم هذه العملية بتحليل نظام ما إلى أجزاء بغرض فهم التركيب التكويني له، أو محاولة إعادة تصنيع نظام مشابه له يقوم بنفس الوظيفة التي يقوم بها النظام الأصلي. تفيد الهندسة العكسية في تكرار عنصر موجود أو تعديل تصميمه أو إستخدامات أخري ويتم ذلك عن طريق مسح هذا العنصر سواء كان ثنائي أو ثلاثي الأبعاد[29].

1.2.2. المسح الثلاثى الأبعاد (من المادى إلى الرقمى)

تعتبر هذه الطريقة طريقة فرانك جيري التى يتبعها في مرحلة التصميم، حيث يقوم بوضع أسكتشات فكرة المشروع ودراسة الفراغات والسطح أو الغلاف الخارجي للمبنى بواسطة ماكيت، ثم يقوم بواسطة ذراع إليكترونية

بعمل مسح ثلاثي الأبعاد لجسم الماكيت بحيث يتكون هذا السطح من شبكة متقاطعة فى نقاط، ثم يتم نقل معلومات سطح الغلاف إلى الكمبيوتر لإكمال مراحل التصميم على النموذج الرقمى. ويقول جيري " إن إستخدامه للتكنولوجيا الرقمية فى هذه المرحلة ليس كوسط للفكر ولكن كوسط للترجمة من المادى إلى الرقمى"[10].

2.2.2. التصنيع الرقمي Digital Fabrication

التصنيع الرقمي "Digital Fabrication" وهو أسلوب تصنيع من الرقمى إلى المادى وهو خلق مجسم مادي" Physical Model " من نموذج رقمي "Model Digital "، وهي عملية تعتمد في الأساس على انشاء نموذج رقمي ومن ثم تحويلة الى مجسم مادي باستخدام ماكينة قادرة على الانشاء والإخراج مباشرة من النموذج الرقمي الذي تم انشاءه قبلا من خلال برامج الكاد"CAD". وكما ان مصطلح التصنيع الرقمي يستخدم عند انشاء عناصر أو مجسمات باستخدام الماكينات الرقمية، يستخدم أيضا عند تصنيع عناصر أو مجسمات يدوياً باستخدام عناصر مصنعة رقمياً قبلاً مثل تصنيع تكوين خرساني باستخدام قوالب "Molds" [7].

3.2.2. مصطلح الكاد والكام والكاتيا CAD-CAM-CATIA

مصطلح الكاد "CAD" Computer Aided Design وهو التصميم بمساعدة الحاسب الالي شاملاً تطبيقاته وأدواته، اما مصطلح الكام "CAM" والمرتبط بمصطلح الكاد وهو التصنيع بمساعدة الحاسب الاليComputer-Aided-Manufacturing"" ويعتبر هذا المصطلح ملازم ومرتبط بالكاد لضرورة وجود نموذج رقمي يتم من خلاله تحويله ليتوافق مع الكام وبرامجه ومن ثم تصنيعه بالماكينات الرقمية، فبرامج الكام تعمل على تحديد مسارات ادوات القطع المختلفة والتي من خلالها يتم تحويل مواد الخام الى مجسمات النماذج الرقمية ثلاثية الابعاد. اما مصطلح كاتيا CATIA هو برنامج تصنيع متكامل بالحاسب الآلي (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) [21]

3. استراتيجيات وعمليات وأدوات وتقنيات التصنيع الرقمي

وهي مجموعة العمليات التى تساعد على حل مشاكل التصنيع المختلفة، وهذه العمليات تمر في إتجاهين متعاكسين: الإتجاه الأول من النموذج الرقمى إلى المبنى الحقيقي، ويكون هذا الإتجاه هوالإتجاه الرئيسى للتصنيع. والإتجاه الآخر وهو عكس الأول، حيث يكون النقل من النموذج المصغر للمبنى (ماكيت بمقياس رسم كبير) إلى النموذج الرقمي بواسطة الماسحات الضوئية فى عملية يطلق عليها بالهندسة العكسية. (Reverse Engineering) [31]. وصف وليام ميتشل فهم المعماريين للعلاقة بين التصميم والبناء "أن المعماريين يرسمون ما يمكنهم بناؤه، ويبنون ما يمكنهم رسمة" هذه العلاقة المتبادلة بين وسائل الرسم والتمثيل والتصنيع لم تتوقف عند عصر بعينه، بل تطورت بشكل أكبر في فترة العمارة الرقمية، وهو ما ساعد المصممون على ابتكار أشكال أكثر تعقيدا، مستخدمين عدة استراتيجيات التصنيع[30].

1.3. استراتيجيات وعمليات التصنيع الرقمي ***Digital Fabrication Strategies***

وهو الاعتماد على عدة عمليات واستراتيجيات التصنيع باستخدام مجموعة من البرامج تقوم بإجراء عملية ترجمة للأشكال والبيانات من لغة للرسم إلى لغة التكويد Coding، وتعني لغة رقمية تفهمها الماكينات ليصبح كل عنصر من عناصر المبنى معّرف للحاسب الآلي، لكي يتم التعامل معه بما يتناسب مع طرق التنفيذ الرقمية شكل (1).

1.1.3. القطع Cutting

تعتبر إستراتيجية القطع في التصنيع الرقمي هي الإستراتيجية المشتركة بين جميع الاستراتيجيات، إذ تعمل على تحويل مواد الخام الى الواح يمكن إستخدامها مباشرة للتركيب أو تقطيعها بأدوات مثل السكين، المنشار أو الليزر، اذ يتم تحويل الاشكال الرقمية ثنائية الأبعاد الي مجموعة نقاط يتحرك من خلالها القاطع لإنتاج المسطحات المطلوبة[17].

2.1.3. الطحن Milling

هذه الإستراتيجية لها القدرة على انتاج اشكال وتكوينات ثلاثية الابعاد وليس فقط ثنائية الابعاد مثل القطع ولهذه الاستراتيجية ماكينات عديده وذات وظائف وإمكانيات متعددة مثل القطع في ثلاث أو أربع أو خمس محاور، كما تختلف تكلفة تلك الاستراتيجية بناء على درجة الخدمة والوقت المستغرق في الطحن [21].

3.1.3. الطي والثني Bending & Folding

استراتيجية الطي والثني هي استراتيجية تعتمد في الاساس على استراتيجية القطع، فبعد تجهيز الواح مواد الخام (ثنائية الأبعاد) يتم من خلال الطي والثني تحويل تلك الالواح الي مجسمات (ثلاثية الأبعاد)، فالثني يعمل على تشكيل التكوينات الأسطوانية مثل المواسير والتي تستخدم في العناصر الإنشائية، والطي يعمل تشكيل الالواح المسطحة عن طريق الوصلات سواء كانت وصلات جافة "Dry Joints" أو ملفوفة " Lapped Joints".

4.1.3. الصب والقوالب Casting & Molds

الصب هو القاء ماده سائلة أو شبة سائلة في قوالب ليتم تشكيلها بعد جفافها، كما تعتبر استراتيجية الصب في حد ذاتها ليست استراتيجية رقمية، ولكن عند استخدام قوالب للصب معده قبلاً بطريقة رقمية تكتسب تلك الاستراتيجية قدرات هائلة في التشكيل وتكوين الكتل من مواد خام تقليدية مثل الخرسانة .[21]

شكل رقم (1): استراتيجيات وعمليات التصنيع الرقمي (Nick, 2012)

2.3. تقنيات ونظم التصنيع الرقمي Techniques and digital manufacturing systems

دراسة العلاقة الوثيقة بين تقنيات التصنيع الرقمي والأجهزة الرقمية المرتبطة بالحاسب الالي والتي تعمل على تصنيع العناصر المعمارية بطريقة رقمية، استخدام هذه التقنيات في تصنيع وتصميم الكسوات الخارجية، وفي تصنيع الواح مواد الخام أو القوالب ليتم تركيبها على واجهات المباني أو الحوائط الداخلية ذات التشكيل التقليدي أو الغير تقليدي. وكذلك تصنيع الهيكل الانشائي للمبني ذاته ما يتطلب تصنيع كسوات مصنعة رقمياً[5]. وتنحصر تلك التقنيات في خمس تقنيات أساسية لكل منها دور في تحقيق تصنيع رقمي معين أو يشترك عدة تقنيات في تحقيق التشكيل الداخلي أو الخارجي المطلوب شكل رقم (2).

1.2.3. تقنيات النحت Contouring Techniques

هي التقنية التي تعمل على نحت أسطح مستوية من المواد الخام التقليدية لتعيد تشكيلها وتحويلها لمجسمات ثلاثية الأبعاد، عن طريق إزالة طبقات متتالية من هذه الأسطح، في هذه التقنية يتمكن المعمارين من تحقيق أشكال عديدة من مواد تقليدية مثل الخشب بجميع أنواعه،"Plywood"الأحجار، الفوم، اللدائن والمعادن الخفيفة، إذ تأتي هذه الخامات في بسمكات مختلفة لكنها في الأصل أسطح مستوية ثنائية الأبعاد[11].

2.2.3. تقنيات التشكيل Forming Techniques

هي تقنية عمل من تقنيات التصنيع الرقمي المختص بتصنيع كل ما يخص العمارة سواء كانت الغلاف الخارجي للمبني بمفرداته، أو الهيكل الإنشائي بمفرداته أو المبني نفسه ككل، عن طريق مجموعة قوالب يتم تشيدها بالطرق التقليدية أو بالطرق الرقمية[14].

3.2.3. تقنيات الطي Folding Techniques

تقنيات الطي هي تحويل الاسطح الثنائية الأبعاد الي أحجام ثلاثية الأبعاد عن طريق تحويل أسطح الخامات المختلفة الى اشكال عديدة للغلاف الخارجي للمباني، واستغلال خواص هذه الاسطح إنشائياً لقدرتها على توزيع أحمالها على نفسها "Self-Supporting" لما تملكه من كفاءه وصلابة مما يعطي التصميم إمكانية أكبر للتطوير والابتكار[24].

4.2.3. تقنيات الاجتزاء Sectioning Techniques

تقنية الاجتزاء هي تحويل تكوين الغلاف الخارجي الثلاثي الي عدة قطاعات ثنائية الأبعاد يسهل تصنيعها ومن ثم الربط بين تلك القطاعات بمسطحات الخامات والكسوات المختلفة للوصول لتكوين الغلاف الخارجي

النهائي. ومن ناحية اخري يمكن تعريفها بأنها مجموعة القطاعات التي يمكن تحويلها الي مسطحات للوصول لتكوين الغلاف الخارجي النهائي[5] .

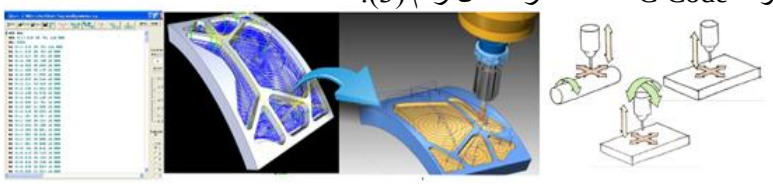
5.2.3. تقنيات النمطية *Tessellating Techniques*

تقنيات النمطية هي أدوات رقمي هتعمل على توليد قطع "Pieces" أو اللواح "Panels" متناسبة ومتناغمة دون ثغرات أو تداخل بالأسطح سواء كانت تلك الالواح متغيرة الابعاد أو ثابتة عن طريق إمكانيات التوليد للبرامج الرقمية المعمارية وترجمة تلك القطع والالواح الرقمية الى مسطحات يتم تنفيذها بالطرق المختلفة مثل القطع أو النحت أو الصب [11].

شكل رقم (2): تقنيات ونظم التصنيع الرقمي (Nick, 2012)

3.3. ماكينات التحكم الرقمي بالحاسب *CNC Machinery*

CNC هى اختصار لعبارة التحكم الرقمي بالحاسب Computer Numerical Control ويقصد بالتحكم الرقمي سلسلة التعليمات المدونة أو المشفرة في صورة أرقام وحروف أبجدية ورموز تستوعبها وحدة التحكم بالماكينة وتحولها إلى اشارات الكترونية توجه المحركات الكهربائية وأدوات القطع بالماكينة ومن ثم تنفيذ العمليات المطلوبة، وتنقسم أنواع الماكينات حسب نوعية التقطيع و حسب الخواص الفيزيائية للخامات المستخدمة، ويطلق عليها أحيانا طريقة التصنيع ثنائية الابعاد، تعد هذه الطريقة فى التصنيع من أهم الطرق المستخدمة فى التكوينات بصفة عامة، وهي إحدى الطرق التى طورها جيري لتساعد على تبسيط الأشكال المعقدة فالشكل المعقد يمكن تبسيطه عن طريق تجزئته إلى وحدات صغيرة يمكن عند تجميعها أن تصل إلى الشكل النهائي، وتعمل أجهزة "CNC" اعتمادا على التصميم الذي يتم عملة باستخدام احدى البرامج التصميمية المتوافقة مع برامج التصنيع الرقمي ثم تحويل هذه المدخلات الي شفرات يفهمها أجهزة "CNC" وتسمي بالجي كود" G Code" [22] انظر الشكل رقم (3).



شكل رقم (3): يبين رصد لحركة أداة المسارTool path" " بجهاز التحكم الرقمي بالحاسوبCNC" والمراحل الازمة بداية من مرحلة التصميم وحتى مرحلة التصنيع باستخدام شفرات الجي كود G.Code بجهاز التحكم الرقمي [27] [32]

1.3.3. التصنيع بطريقة الطرح *Manufacturing by subtraction method*

يعتمد التصنيع بطريقة الطرح على إزالة حجم معين من المواد الصلبة، وذلك بإستخدام عمليات تصنيع (متعددة المحاور) مختزلة بطريقة كهربائية وكيميائية أو ميكانيكية، ويمكن أن يكون التصنيع مقيد اً محوريا بالسطح أو بالحجم، ونجد الآلات المقيدة محورياً مثل المخرطة لها محور واحد فى حركة دائرية والرأس القاطعة لها محوران للحركة الناقلة، ويوجد أيضا ماكينات يطلق عليها Routers وهي ماكينة ذات محوريين[13]. ويعد التصنيع (بطريقة الطرح) للمواد الصلبة ثلاثية الأبعاد امتداد اً مباشر اً للقطع الثنائية الأبعاد بإضافة إمكانية رفع أو خفض الجزء الثاقب، أي تحريك ذراع القطع بموازاة البعد الثالث (محورZ) حيث أن ماكينات القطع ذات المحاور الثلاثة يمكنها نحت المادة الخام والتحكم فيها من خلال التحكم فى الحجم. وبسبب حركة الذراع بالموازاة للمحاور الثلاثة (Z،X ،Y) فإن معدل الأشكال التى يمكن إنتاجها بهذه الماكينات أكثر من الأشكال التي يمكن إنتاجها بالماكينات الثنائية الأبعاد وأحيانا أخرى تستخدم آلآت لها

أربع أو خمس محاور لتقطيع وتشكيل المواد بطريقة أسهل مع إعطاء إمكانيات تشكيل أوسع وزيادة كبيرة في الأشكال التى يمكن إنتاجها بإستخدام المحاور الرباعية والخماسية[20]، ومن أنواع هذه الماكينات [15]: -

- ماكينات الطحن باستخدام الحاسب الآلي CNC Milling Machine
- ماكينات تقطيع الليزر باستخدام الحاسب الآلي CNC Laser Cutter Machine
- ماكينات النفث بالماء باستخدام الحاسب الآلي CNC Water Jet Cutting Machine
- ماكينات القطع بالسلك الساخن باستخدام الحاسب الآلي Hot Wire Cutter Machine

2.3.3. التصنيع بطريقة التكوينات Manufacturing by Formative method

عمليات تشكيل يتم تطبيقها على الخامات المختلفة كالبثق والطرق والثقب والثني. [8]، وتختلف طرق التشكيل حسب كل خامة، حيث كل خامة لها عمليات تشكيل وماكينات خاصة بها تبعا لخواصها الكيميائية الفيزيائية. وهذه الطريقة مفيدة بشكل كبير فى تصنيع وتشكيل المواد المعدنية سواء كانت فى شكل لوحات معدنية Metal boardsمسطحة أو فى شكل مواسير معدنية أو قطاعات معدنية غير منتظمة الشكل وذلك عن طريق تعريض اللوحات المعدنية أو المواسير أو القطاعات المعدنية إلى درجات حرارة عالية مع شد العناصر المعدنية إلى أن تصل إلى مرحلة اللدونة ليسهل تشكيلها، وفى هذه الحالة تقوم الماكينة بتنفيذ الشكل المبرمج لديها عن طريق إعطاء التحكم فى الإنحناء أو تحويل المادة (الألواح أو القطاعات) إلى مجموعة من النقاط، والتحكم فى مستويات إرتفاعاً أو إنخفاض اهذه النقاط لإعطاء الشكل والتكوين المراد، ومن هذه الماكينات[5]:-

- ماكينة الطي والانحناء CNC Bending Machine
- ماكينة الثقب CNC Hole Punching Machine
- ماكينة التشكيل الهيدروليكي CNC Hydroforming Machine

3.3.3. التجميع Assembly

تأتي مرحلة التجميع بعد إحدى أو مجموعة من عمليات التصنيع السابقة، فبعد تصنيع أجزاء والعناصر المصنعة رقمياً، تأتى مرحلة تجميع هذه العناصر في الموقع لكي تعطى التكوين النهائي للمبنى، وهي المرحلة النهائية في تنفيذ المبني، ففي مرحلة التجميع يتم استخدام التكنولوجيا الرقمية والاعتماد عليها بشكل شبة كامل، دون تدخل أي من الطرق التقليدية 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 الإنشاء المحدد مسبقاً يحدد مكانه على بواسطة رقم مكوّد بحيث يكون لكل قطعة رقم لا يتكرر، وليكن مثلا(RwM012) فيكون رمز(R) يقصد به ماكينة التقطيع المستخدمة والرمز(w) يقصد به أن هذه القطعة توضع كتكسية للحوائط والرمز(M) يقصد به أن مادة الشريحة من المعدن (Metal) ويكون المقصود من الرقم(012) بأنه رقم الشريحة والذي يحدد خصائصها الشكلية، وموضعها علي الحائط، والذي يشمل أيضاً مكانه بالنسبة لمحاور ال (X,Y,Z) [1] وتستخدم أجهزة القياس الرقمية فى تحديد مكان كل قطعة أو شريحة، بحيث يتم وضع كل قطعة وفق اً للكود المحدد على النموذج الثلاثى الأبعاد، وبالتوافق مع النموذج الرقمى الثلاثي الأبعاد. ومن الممكن استخدام الإنسان الآلي أو الروبوت (Robot) فى هذه المرحلة. حيث يتم الاستفادة من النموذج الرقمى فى تحديد مهام الإنشاء والتنفيذ، وتسلسل العمليات فى الموقع[11].

4.3. أجهزة الروبوتات المستخدمة في التصنيع Robotic Fabrication

يُعرَّف الروبوت الصناعي بأنه منأور متعدد الأغراض يتم التحكم فيه تلقائيًا ويمكن برمجته في ثلاثة محاور أو أكثر. يتم تصميم الروبوتات الصناعية عمومًا لنقل المواد أو الأجزاء أو الأدوات من خلال حركات مبرمجة متعددة لأداء مجموعة متنوعة من المهام[23] . أكثر أنواع التصنيع شيوعًا، الذراع الآلي، إنه نوع من الأجهزة الميكانيكية القابلة للبرمجة مع وظائف مماثلة للذراع البشري، ويتكون عادة من سبعة قطاعات معدنية، مرتبطة بستة مفاصل تسمح إما بحركة الدوران (روبوت مفصلية) أو الإزاحة (الخطية) والقيام بعمليات التصنيع المضافة -على سبيل المثال التجميع، اللحام، التثبيت، الطلاء والرش؛ أو في عمليات طرح،

طحن، تقطيع، تلميع. يقوم الكمبيوتر بتحريك الذراع بدقة شديدة، مع تكرار نفس الحركة بينما تتأكد مستشعرات الحركة من التحرك في الاتجاهات الصحيحة فقط ما يميز الروبوتات عن الآلات العادية هو استقلاليتها الوظيفية وقدرتها على التكيف والاستجابة للتغيرات في البيئة كما انها قادرة الإنتاج والتصنيع بالحذف وبالإضافة وبالقطع والتجمع دون الحاجة إلى مساعدة بشرية[18].

1.4.3. الروبوتات في عمليات التجميع Robotic Assembly

التجميع المدعوم آليًا عبارة عن عملية يقوم فيها ذراع الربوات الآلي بوضع المواد المختلفة بشكل انتقائي وتوزيعها المكاني ومن ثم تشييد مكونات المبنى، يشيع استخدام هذه الطريقة في عناصر البناء الصغيرة نسبيًا، مثل البلوكات، والتي تستخدم في الجدران أو الهياكل الأخرى، وكذلك في مواد أخرى، مثل الألياف التي تطبق طبقة تلو الأخرى يمكن تنظيمها في طريقة معقدة لتشكيل مكونات البناء أو الهياكل واسعة النطاق. يوفر هذا النهج إنتاجًا دقيقًا وفعالًا للهياكل متعددة الاستخدامات مع تقليل هدر المواد. إلى جانب تطوير أساليب البناء التقليدية، واكتشاف تقنيات جديدة للتصنيع، والتي يصعب تحقيقها يدوياً شكل رقم (4). ومن العمليات التي يقوم بها[12]:

- روبوت التقاط الطوب ووضعه في المكان المحدد Pick-and-Placing
- روبوت تقنية لف تصنيع هياكل الألياف المركبة Winding

2.4.3. الروبوتات في عمليات التشكيل Robotic Formative Processes

تقنيات التشكيل الآلية تعتمد علي توليد اشكال تنتج من مجموعة من الإجراءات الآلية مثل الانحناء وطرق والتشكيل وإجراءات معقدة اخري، وعلى عكس ماكينات التصنيع الرقمي(CNC) السابقة التي تعتبر محدودة في حدود الاله وثابتة ومقيده بقيود الابعاد والحجوم، فأجهزة الروبوتات توفر قدرا كبيراً من المرونة بسبب استطاعة الروبوتات العمل في مساحة غير محدودة الحركة، كما ان ذراع الروبوت تتضمن مجموعة من الأدوات التي يتم برمجتها لتقوم بعمل عده مهام متطورة جدا تشمل جميع مجالات التصنيع؛ بتحويل العناصر ثنائية الأبعاد المسطحة إلى كائنات ثلاثية الأبعاد بدون أي مساعدة. عادة، تنطوي عمليات إعادة التشكيل هذه على القوى الميكانيكية وقوي الحرارة أو البخار. ويمكن استخدمها في العديد من التطبيقات في الهندسة المعمارية كما هو الحال في ألواح الكسوة أو بناء الغلاف الخارجي. ومن هذه الأنواع من الروبوتات هي[12]:

- روبوت تشكيل الصفائح المعدنية المتزايدة الآلية Robotic Incremental Sheet Metal Forming
- روبوت قضيب الانحناء Robotic Rod-Bending

3.4.3. الروبوتات في عمليات الطرح Robotic Subtractive Processes

على الرغم من أن فكرة استخدام التطبيقات الآلية لطرح المواد تبدو مكافئة للأداء الذي تقدمه ماكيناتCNC، فإن التصنيع الآلي يوفر حركات ثلاثية الأبعاد، وبالتالي مستوى أكبر من الحرية مع الحفاظ علي عدم الهدر في المواد، يمكن أن تقلل الذراع الآلية عامل الوقت بشكل ملحوظ وكذلك توفير وقت كبير في اعمل المعالجة بعد انتهاء عملية الطرح بالإضافة الي ميزة كبيرة أخرى تتعلق بإنتاج وحدات معمارية كبيرة الحجم غير قابلة للتحقيق مع آلات التقليدية. وكذلك لا يوجد مواد خام معينة، فلها من المرونة والقدرة على استخدام اغلب مواد الخام لأغلب عمليات واستراتيجيات التصنيع المختلفة[4]. ومن هذه الروبوتات التي تستخدم عملية الطرح هي[23]. -

- روبوت التقطيع بواسطة السلك الساخن Hot Wire Cutting Fabrication
- روبوت طحن متعدد المحاور Multiaxial Milling

شكل رقم (4): يبين العمليات التي يمكن أن تقوم بها الروبوتات في التصنيع الرقمي [3]

4.4.3. الروبوتات في الهندسة المعمارية والإنشاءات *Robotics in Architecture and Constructions*

خلال الثمانينيات من القرن العشرين في اليابان، بدأ كبار المقاولين بتجربة تطبيق الروبوتات على مقياس البناء. لقد تم تخصيصها لأداء أعمال مختلفة، مثل رش المواد، صب الخرسانة، تركيب الهيكل الصلب، طلاء الجدران الخارجية والتفتيش على واجهات المباني الشاهقة تم تطوير هذه المحاولات الأولى لإدخال الروبوتات في مجال الهندسة المعمارية والبناء لتحسين ظروف العمل وزيادة الإنتاجية، ولم يتم تطبيقها بعد على التصميم والإنتاج معا. [16] وبعد 30 عامًا، أعاد الباحثون والمصمّمون فحص موضوع الروبوتات في البناء، وقد اتبعوا هذه المرة استراتيجيات جديدة ووضعوا أهدافًا مختلفة ينصب التركيز الحالي على استخدام الروبوتات ذات الاذرع في البناء مع تطوير واجهات البرامج المخصصة والمؤثرات النهائية. بحيث لا تقوم بتكرار العمل البشري ولكن يمكن برمجتها بالفعل لتنفيذ استراتيجيات تتجاوز القدرات البشرية[3].

على الرغم من الإمكانات التي يوفرها التصنيع الرقمي مع آلاتCNC، ولكن ذو استخدام محدود في عمليات التشييد ذات المقياس الكبيرا نظرا لتكلفة العالية المرونة المنخفضة وزيادة الوقت في التنفيذ ومن هذا المنظور ظهر التصنيع الآلي في السنوات الأخيرة بشكل سريع لإمكانية دمج برنامج التصميم مباشرةً مع أدوات التصنيع في المشروع؛ حيث توفر الروبوتات، باعتبارها آلات قابلة للبرمجة، فرصة لمرونة عالية، مع تقليل في الوقت والتكلفة معقولة إذا ما قورنت مع آلات CNC متعددة المحاور[28]. كذلك مرنة في التحول من آلة التشكيل إلى الماسح الضوئي ثلاثي الأبعاد فقط عن طريق التبديل بين المؤثرات النهائية؛ مساحة عمل موسعة وقابلة للتخصيص هندسيًا؛ أسعار معقولة إذا ما قورنت مع آلات CNC متعددة المحاور. لم تتنافس هذه النظم بعد مع الإنتاج الضخم والاقتصادات ذات الحجم الكبير في تصنيع المنتجات الموزعة على نطاق واسع، لكنها أظهرت بالفعل إمكانية تمكين حلول مخصصة للغاية. بهذا المعنى، يجب أن يتجاوز استخدام الروبوتات الفكرة المحدودة عن الصياغة المتقدمة لتحقيق مستوى من التكامل بين التصميم والإنتاج على نطاق أوسع[22].

5.3. التصنيع بطريقة الإضافة *Additive Manufacturing*

تعمل هذه الفئة من التصنيع الرقمي عن طريق بناء المواد بشكل طبقات بدلاً من إزالتها بشكل تدريجي وينتج الجسم المادي من خلال عملية تراكمية للطبقات تنتج بواسطة طابعات ثلاثية الابعاد أو مكائن تشكيلية. ولكن بسبب الحجم المحدود للأجسام التي يمكن إنتاجها والمعدات المكلفة وأوقات الإنتاج الطويلة، فان تطبيقات عمليات التصنيع بالإضافة محدودة نوعاً ما في انتاج المباني، فهي تستخدم لإنتاج مكونات تفصيلية أو في عمل قوالب تستخدم في صب المواد المختلفة، هناك عدد كبير من العمليات المضافة المتاحة. تتمثل الاختلافات الرئيسية بين العمليات في طريقة إيداع الطبقات لإنشاء أجزاء وفي المواد المستخدمة[4]. كل طريقة لها مزاياها وعيوبها، ولكن إستخدامها الأكثر شيوعاً يتمثل في إنتاج النماذج الأولية السريعة أثناء عملية التصميم Rapid-Prototyping (RP) والمستخدمة في جميع مراحل التصميم لما تتميز به من سرعة عالية في التصنيع، حيث أنها تعتمد على تكوين الأشكال والأحجام التي يصعب تكونيها بالطرق التقليدية[4].

1.5.3. الطباعة ثلاثية الابعاد *3D Printing*

الطباعة ثلاثية الأبعاد هي احدى تقنيات التصنيع بالإضافة هو تعبير عن أي عملية تصنيعية قائمة على مبدأ اضافة المواد طبقة تلو الأخرى لصنع الأجسام[20] . تأتي هذه التقنية مع متطلباتها، فلابد من وجود الرسومات ثلاثية الأبعاد والتي من الممكن عملها باستخدام برامج حاسوبية متعددة فهي اللغة الوحيدة التي تفهمها الآلات. حيث يتم تقسيم هذه الرسومات الى شرائح صغيرة جدا عبر برامج التشريح و تحويلها الى شفرة يتم إرسالها الى الطابعة لتقوم بعملية التصنيع. تعبير التصنيع بالإضافة يضم عدد كبير من التقنيات، الفارق الرئيسي بين هذه التقنيات هي المواد المستخدمة و طريقة دمج الطبقات ببعضها لتكوين الأجسام شكل رقم (5). يمكن للطباعة ثلاثية الأبعاد انتاج قطع بأحجام تتراوح من عدة ملي مترات إلى عدة أمتار باستخدام مواد عديدة مثل: البوليمرات، المعادن، الخرسانة، الرمل، الشمع، المواد الحيوية[6].

شكل رقم (5): مراحل الطباعة ثلاثية الابعاد[6]

3.5.2. الطباعة ثلاثية الأبعاد في العمارة والبناء 3D Printing in Architecture and Construction

فى مجال العمارة ارتبطت الطباعة ثلاثية الأبعاد باستخدامها في دراسة النماذج المعمارية اما بالنسبة للبناء يعتبر نشاط البناء بشكل عام هو اجراء التصنيع بالإضافة، والذي يتكون أساسًا تكوين طبقات متتالية من المواد، ويمكن ان يكون ذلك بطرقتين انتاج الهيكل أو إنتاج مكونات فرعية يتم تجميعها وضمها لإنشاء، ويمكن أن تكون الطباعة ثلاثية الأبعاد على نطاق واسع مفيدة بشكل خاص لبناء أشكال هندسية معقدة بدون التكلفة المرتفعة للعمل اليدوي أو إضافة هياكل مؤقتة، مما يقلل بشكل كبير من وقت البناء ويسمح بمزيد من الحرية في تصميم وتنفيذ الأشكال[24]. ترتبط القيود الرئيسية للطباعة ثلاثية الأبعاد في الهندسة المعمارية بحجم الآلات المتاحة فيما يتعلق بحجم المباني شكل رقم (6). [19] استجابة لهذه القيود، خلال السنوات القليلة الماضية، تم إجراء ابحاث مهمة لتطوير طابعات ثلاثية كبيرة الحجم تتناسب مع انشاء المباني، جنبًا إلى جنب مع التجارب المتزامنة على مواد مختلفة تكون مناسبة للتطبيق مع الاحجام الكبيرة[9] .

3.5.3. الطباعة ثلاثية الأبعاد على نطاق واسع Large-Scale 3D Printing

في الأونة الأخيرة بدأت الدراسات تتجه لتطوير الطابعات الثلاثية الأبعاد لتصنيع مباني كاملة سواء بطريقة سبق التجهيز أو بالبناء الكامل في الموقع[2]. ويوجد نوعين من الطابعات الثلاثية الأبعاد، الأول مبني على فكرة التصنيع بالإضافة عن طريق استخدام طبقات من المواد الخام المنصهرة جزئياً بشكل مماثل للطابعات الثنائية الأبعاد، وتحتاج تلك الطبقات الى خامة داعمة "Support Material" لتدعيم الخامات المنصهرة ويتم إزالتها بعد الطباعة، ويعد هذا النوع المسمى بطابعات الإضافة ثلاثية الأبعاد "Additive 3D Printers" نوع محدود الإمكانات لصغر حجم الماكينات المستخدمة في الطباعة، لذلك يمكن إستخدامه في النماذج المصغرة أو في تفاصيل المبني الصغيرة نسبياً. النوع الثاني من الطابعات والذي يعتمد على مخزون من المسحوق ويتم ضخة وتجفيفة بالليزر في حالة النماذج الصغيرة أو في عمل قوالب تجهز للصب، وأحيانا تكون هذه المادة هي الخرسانة نفسها في حالة تصنيع حوائط أو عناصر إنشائية بطريقة سبق التجهيز أو بالموقع[22].

شكل رقم (6): يبين استخدام الخرسانة في طباعة ثلاثية الابعاد للحوائط واستخدام المعادن في طباعة الأجزاء المكملة وكقطع غيار تستعمل في أجزاء المبني المختلفة [26] [2]

4. الدراسة التحليلية

تم اختيار مجموعة من المشروعات المعمارية العالمية والتي يمكن من خلال تحليلها التعرف استراتيجيات التصنيع الرقمي وعمليات التصنيع الرقمي واستخداماته وأخيراً تقنيات التصنيع الرقمي. وتغطى المشروعات جميع اتجاهات تصنيع الرقمي. وان يكون المشروع غير تقليدي وبالتالي استحالة تنفيذه بالطرق التقليدية.

1.4. الهدف من الدراسة التحليلية:

- رصد استراتيجيات وعمليات واستخدامات التصنيع الرقمي والخامات المستخدمة، وكذلك رصد تقنيات التصنيع الرقمي المستخدمة في هذه المشروعات
- إظهار مدى التداخل بين العملية التصميمية والعملية التصنيعية، ومدي تأثير أجهزة التصنيع الرقمي ودور الخامات في العملية التصنيعية ودور تطبيقات التصنيع الرقمي في مساعدة المعماري.

جدول رقم (2): المشروع الأول مركز حيدر عليف الثقافي Heydar Aliyev Center تجميع (الباحث)*

استراتيجيات و عمليات التصنيع الرقمي	المشروع ١	مركز حيدر عليف الثقافي Heydar Aliyev Center		
	المكان	باكو - أذربيجان	المعماري	زها حديد Zaha Hadid
	سنة الانشاء	2012	الشركة المنفذة	DiA holding

صممت زها حديد المبني بحيث ان يكون المبني جزء لا يتجزأ من البيئة المحيطة وكأنه نابع منها، يتكون المشروع من ثلاث مكونات أساسية وهي المكتبة وقاعة المؤتمرات، والمتحف. تم تصنيع هيكل الغلاف الخارجي من الحديد الصلب "Space Frame" تم تغطية هذا الهيكل ب ١٧٠٠٠ لوح من الفايبر (FRP) تم تجهيزه بطريقة الصب في قوالب وتقطيعة بمكينات (CNC) وتركيبة ميكانيكيا.

تقنيات ونظم التصنيع الرقمي	القطع Cutting	الطحن Milling

مسقط افقي يبين المبني جزء لا يتجزأ من البيئة المحيطة واستمرارية الكسوات الخارجية مع الارضية

الكسوات الداخلية المنحنية المركبة في المدخل والكسوات الخشبية المراكبة في القاعة الرئيسية

تطبيق مبادي التصنيع الرقمي في تصنيع كسوات الحوائط عن طريق استخدام تقنيات التشكيل والنمطية والتقطيع وذلك بتحويل مسطحات الغلاف الخارجي الى وحدات صغيرة وتكويدها لتسهيل عملية التركيب في مكانها الصحيح

تقنيات النحت Contouring	تقنيات التشكيل Forming	

تقنيات الطي والاجزاء Folding&Sectioning	تقنيات النمطية Tessellating	الطي والثني Bending & Folding
		الصب والقوالب Casting & Molds

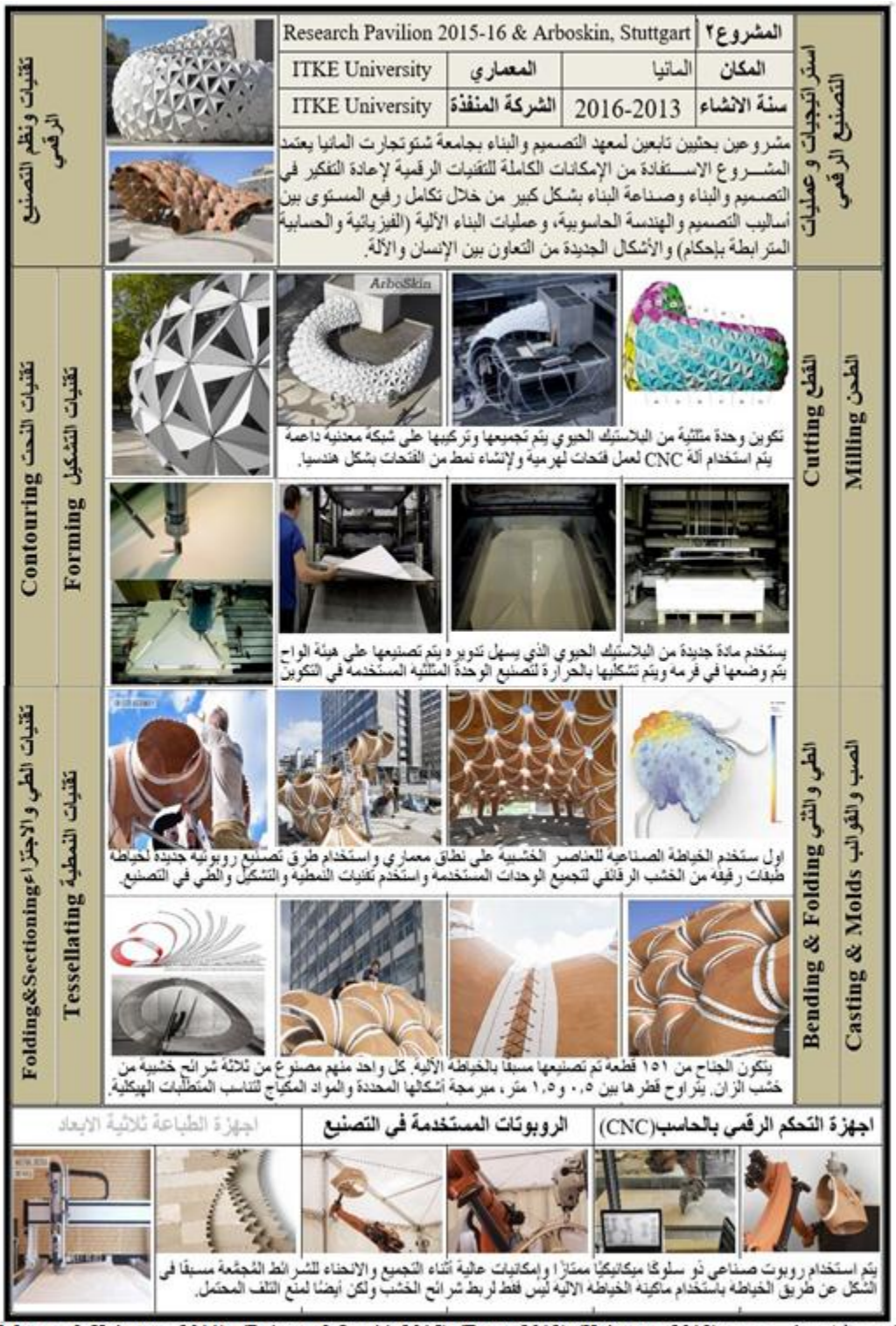
استخدام عملية التصنيع بالتكوينات لعمل الهيكل الانشائي المعدني باماكينات الطي والثني لوصول للشكل المطلوب

استخدام استراتيجية القطع استخدام ماكينات (CNC) وقوالب الصب في الكسوات لصب مادة (FRP) ومادة (GRC) بالمقاسات المختلفة طبقا لتصميم وتجميعها على الشاسية المعدني للحصول على الانحناءات المطلوبة.

اجهزة التحكم الرقمي بالحاسب(CNC)	الروبوتات المستخدمة في التصنيع	اجهزة الطباعة ثلاثية الابعاد

تم رصد الأجهزة المستخدمة في تصنيع الغلاف الخارجي وهي ماكينات (CNC) لتقطيع الواح الفيبر جلاس للكسوات الخارجية وتقطيع الالواح الخشبية المستخدمة في القاعة وماكينات الطي والثني لتشكيل الشاسيه الخارجي والداخلي تركيب الوحدات المستخدمة في الكسوات الداخلية والخارجية.

جدول رقم (3): المشروع الثاني Research Pavilion 2015-16 & Arboskin، Stuttgart (الباحث)*



* تجميع الباحث بتصرف من (Knippers, 2013)، (Dunn, 2012)، (Roberto & Ingrid, 2015)، (Menges & Knippers, 2011)

جدول رقم (4): المشروع الثالث الجناح الإيطالي Italian Pavilion (الباحث)*

استراتيجيات و عمليات التصنيع الرقمي	المشروع ٣	الجناح الإيطالي Italian Pavilion		
	المكان	اميلانو – ايطاليا	المعماري	نيميسى NEMESI
	سنة الانشاء	٢٠١٥	الشركة المنفذة	Italiana Costruzioni

يتكون مشروع الجناح الإيطالي مساحات عرض، قاعات، مكاتب ادارية، قاعات اجتماعات، ومطعم. وكذلك يحتوي المبنى الاخر على مطاعم وقاعات مناسبات ومنطقة ادارية. المشروع يعتبر تحدى معماري وإنشائي كبير بسبب الابتكار والتعقيد فى التصميم واستخدمت مادة جديدة سمحت بعمل الاشكال المعقدة للألواح عن طريق الصب في قوالب معدة قبلا بالتصنيع الرقمي.

تقنيات ونظم التصنيع الرقمي

القطع Cutting	الطحن Milling	
تقنيات التحت Contouring	تقنيات التشكيل Forming	

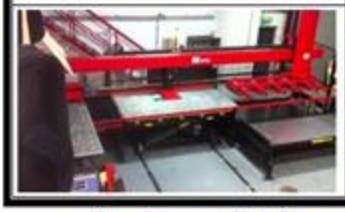
تتكون الحوائط الخارجية من طبقتين الاولى زجاجية والأخرى الغلاف الخارجي الذي به تشكيل من مادة البايوسيمنت "Biodynamic cement" بعد صبها في قوالب وهي مادة خفيفة الوزن، وتتميز بصلابه الخرسانه .

الطى والثنى Bending & Folding	الصب والقوالب Casting & Molds	
تقنيات الطى والاجتزاء Folding&Sectioning	تقنيات التمطية Tessellating	

يتم تثبيت الالواح الغلاف الخارجي على شاسية معدنى يتم تشكيلة بمكينات CNC بتقنيات الطى والتجميع.

استخدام عمليات التصنيع بالتكوينات لطى وثنى مواسير الهيكل الانشائي الخاص بالسقف الزجاجي وكذلك التصنيع بالحذف لتصنيع القوالب الخاصه بالكسوات الخارجية والداخلية.

اجهزة التحكم الرقمى بالحاسب(CNC)	الروبوتات المستخدمة فى التصنيع		اجهزة الطباعة ثلاثية الابعاد



استخدام تقنية التشكيل في تحويل الغلاف الخارجي للمبنى لمجموعة قمن الالواح بصبها داخل القوالب وتحتها بأجهزة التحكم الرقمي لتكوين الكسوات الخارجية بتجميعها على الهيكل المعدني.

* تجميع الباحث بتصرف من https://www.archdaily.com/630901/italy-pavilion-milan-expo-2015-nemesi

جدول رقم (5): المشروع الرابع متروبول باراسول Metropol parasol (الباحث)*

استراتيجيات و عمليات التصنيع الرقمي	المشروع ٤	متروبول باراسول Metropol parasol		
	المكان	اشبيلية -اسبانيا	المعماري	J. Mayer
	سنة الانشاء	٢٠١١	الشركة المنفذة	اروب - Arup

يعتبر متروبول باراسول من اكبر المباني الخشبية في العالم الهيكل عباره عن شكل حر "Free Form" شكلها يشبه الشجر ، تم استخدام مواد متنوعة بناء على المتطلبات الانشائية والمعمارية المتنوعة. الاساسات واعمدة المصاعد الاسطوانية مصنوعة من الخرسانة.

القطع Cutting	الطحن Milling

استخدام استراتيجيات القطع والطي والتجميع في الموقع باستخدام نقاط التجميع الخشبية لتجميع القطاعات الخشبية.

تقنيات النحت Contouring	تقنيات التشكيل Forming

استخدام تقنية القطع والاجتزاء والتشكيل في المراحل المختلفة لتصنيع الهيكل المعدني والغلاف الخشبي الخارجي.

الصب والقوالب Casting & Molds	الطي والثني Bending & Folding

يتكون الانشاء من شرائح الخشب تتراوح ابعادها بين ١,٥ م الى ١٦,٥ م وتتراوح ابعاد القطاعات الكلية من ٦٨ م الى ٣١١ م، كما تصل تلك القطاعات الى ارتفاع حوالي ٣م، في حين ان اكبر قطعه بناء كانت في "الجذع " بقياس ١٦,٥ م * ٣,٥ م * ٠,١٤ م. بأحجام حوالي ٣٥٠٠ م ٢ من قطاعات الخشب.

تقنيات الطي والاجتزاء Folding&Sectioning	تقنيات التمطية Tessellating

تم قطع العناصر بدقة إلى ملليمتر بواسطة روبوت متحكم فيه باستخدام الحاسب الآلي، باستخدام البرمجة الكلية في إنشاء عمليات شبه تلقائية للعناصر ووصلات الخشب الفريدة

اجهزة التحكم الرقمي بالحاسب(CNC)	الروبوتات المستخدمة في التصنيع	اجهزة الطباعة ثلاثية الابعاد

الاعتماد بالكامل على التصنيع الرقمي خلال المراحل المختلفة واستخدام أجهزة التحكم بالكمبيوتر في تصنيع الغلاف الخارجي واستخدام ماكينات CNC المستخدمة في التقطيع والحفر في الخشب.

* تجميع الباحث بتصرف من (ميتيل، 2016)،(Dunn, 2012)،(Achim, 2016) https://www.pinterest.com/search/pins/?q

جدول رقم (6): المشروع الخامس مبني WinSun مطبوع بطباعة 3D مبني (الباحث)*

* تجميع الباحث بتصرف من (Knippers, 2013) http://www.winsun3d.com/En/About

5. النتائج والتوصيات

من خلال الدراسة النظرية والتحليلية للنماذج المختارة تم التوصل الي مجموعة من النتائج وهي كالتالي: -

1.5. النتائج العامة

- لا يمكن الفصل بين التصميم وتقنيات وعمليات وأجهزة التصنيع الرقمي والخامات المستخدمة في الغلاف الخارجي، فالتصميم بالعصر الرقمي يعمل كوحده واحدة مع التصنيع بكل جوانبه تقنيات أو عمليات أو أجهزة أو خامات لعمل منتج يتناسب مع قدرات العصر الرقمي المتطورة تصميماً وتصنيعاً.

- يعمل التصنيع الرقمي على سد الفجوة بين التمثيل والبناء والتي تتيح للمصمم الوصول إلى مجالات جديدة لم تستكشف وخاصة للاشكال الحرة وذات التعقيد الشكلي.
- أظهرت الدراسة انه يمكن أن يكون المبني تقليدي في طرق وأساليب البناء، ولكن إضافة كسوات تم تصنيعها بتقنيات التصنيع الرقمي يضفي على المبني لمسه إبداعية وجمالية تليق بتصميم مبنى في العصر الرقمي.
- تقنيات التصنيع الرقمي والتي يجب على المصمم أن يكون على دراية بمدى التوافق التقني بين اساليب توليد التصاميم الرقمية وآلات التصنيع الرقمي لضمان حصول نقل مباشر لمعلومات التصميم ليتسنى لآلات التصنيع الرقمي قراءتها والبدء بتنفيذها. أما مراحل انتاج اي مشروع رقمي فتتمثل في:

1) بعد القيام بعملية التصميم الرقمي يتم تقطيع المشروع المصمم إلي اجزاء عن طريق برامج النمذجة الرقمية لكي يسهل تصنيعها باعتماد التقنية المناسبة لها.
2) عند البدء بعملية التنفيذ الرقمي يفضل تصنيع نموذج مصغر لما يراد انشاءه بحجمه الطبيعي، ويمكن تكرار هذه العملية عدة مرات لمراجعة التصميم من خلال استخدام الماسح الضوئي.
3) انتاج المبنى يتم من خلال تصنيع القطع البنائية بشكل مباشر أو يتم انجازه على شكل قوالب تصب فيها المواد البنائية لاحقاً ليتم بعد ذلك تجميعها وتركيبها في الموقع.

- لا يمكن الفصل بين تصميم المباني وتقنيات وعمليات وأجهزة التصنيع الرقمي والخامات المستخدمة في التصنيع الرقمي، فالتصميم بالعصر الرقمي يعمل كوحده واحدة مع التصنيع بكل جوانبه تقنيات أو عمليات أو أجهزة أو خامات لعمل منتج يتناسب مع قدرات العصر الرقمي المتطورة تصميماً وتصنيعاً.

2.5. استراتيجيات التصنيع الرقمي

- التصنيع الرقمي يعمل على تكامل مستويات أساليب توليد التصميم الرقمي المصنع وتقنيات التصنيع الرقمي وإستراتيجيات إنتاجه، اذ أظهرت النتائج وجود إستراتيجية واحدة أو أكثر تجمع كلاً من أساليب التصميم المصنع وتقنيات التصنيع الرقمي المستخدمة في كل مشروع من مشاريع الدراسة العملية ودورها في تحقيق التكامل بينهما.
- أظهرت الدراسة التحليلية ان استراتيجيات التصنيع الرقمي للغلاف الخارجي تعتمد بالأكثر على استراتيجية القطع بسبب سهولة تلك الاستراتيجية في التنفيذ وانتشار الأجهزة المسؤولة عن تحقيق تلك الاستراتيجية واقتصادية تلك الاستراتيجية في التعامل مع مواد الخام.

3.5. عمليات التصنيع الرقمي

- أظهرت الدراسة التحليلية مستوى متقارب للغاية في استخدام عمليات التصنيع الرقمي الخمس، مما يدل على ضرورة استخدام اغلب العمليات في تصنيع الغلاف الخارجي الواحد بكل مشروع.
- ارتباط عملية الحذف "Subtractive Fabrication بصناعة القوال بأكثر من ارتباطها بالتصنيع المباشر للغلاف الخارجي أو كسوات اغلاف الخارجي.
- ارتباط التصنيع بالتكويناتFormative Fabrication" بتصميم الغلاف الخارجي ذو اتجاه التصميم الانحنائي خصوصا في تصنيع الهيكل الإنشائي لحامل لكسوات الغلاف.
- ارتباط عملية التجميع Assembly" بجميع عمليات التصنيع الرقم ي، فهي المسؤولة عن تركيب عناصر الغلاف بالموقع وتكويد تلك العناصر رقمياً.

4.5. أجهزة التصنيع الرقمي

- أظهرت الدراسات انتشار استخدام الجهازين قواطع الليزرLaser Cutter" وجهاز التحكم الرقمي باستخدام الحاسوبCNC في التصنيع الرقمي.
- أظهرت الدراسة ظهور نادر لاستخدام الروبوتات Robotics"في التصنيع الرقمي على الرغم من انتشار الدراسات في الوقت الحالي لتعميق استخدامه بكثره في الفترة القادمة، اما بالنسبة لأجهزة النماذج الأولية السريع Rapid Prototyping فحتي الان يقصر إستخدامها على النماذج المعمارية الصغيرة.

- فقد وصلت التكنولوجيا إلى نقطة أصبحت فيها الطابعات كبيرة الحجم قادرة الآن على إنشاء إبداعات عمل بالحجم الطبيعي، مثل السيارات، في أيام معدودة.

5.5. تقنيات التصنيع الرقمي

- أظهرت الدراسة التحليلية ضرورة استخدام العديد من تقنيات التصنيع الرقمي في نفس الوقت.
- انحصار تقنيات النحتContouring في تصنيع الكسوات الخارجية.
- ارتباط تقنيات الطي بكلا من تقنيات التشكيل Forming" لتصنيع الهيكل الانشائي للغلاف، والنمطية Tessellating"لتصنيع الكسوات الخارجية.
- أظهرت الدراسة إنه على الرغم من ندرة الاعتماد على تقنيات النحتContouring" وحدها في تصنيع الغلاف الخارجي الا ان تقنيات النحت Contouring" تتداخل في Forming" وتصنيع الكسوات الخارجية لتقنيات النمطية Tessellating" وتصنيع القطاعات لتقنيات الاجتزاء.

6. التوصيات

- تحسين ثقافة المعماري حول التقنيات والاستراتيجيات التصنيعية في عملية التنفيذ الرقمي، اذ يجب على المعماري التوفيق بين إختيار الاسلوب التصميمي وما يختاره من تقنيات تصنيعية وإستراتيجيات لازمة لتحقيق ذلك.
- فرص التجريب التي توفره تقنيات التصنيع الرقمي يقدم ثروة من تنمية المواهب المعمارية والتشكيلية للراغبين في تنميتها، اذ ان الاستخدامات إحدى الأدوات قد تؤدي الابداع في التشكيل والتصميم، ولذلك ينبغي أن تعمق هذه الأدوات طبيعتنا الفضولية نحو التغيير والتجديد بدلا من أن تصبح مجرد مختزلة ومريحة.
- يجب توفير الأدوات والأجهزة الازمة لتدريب الطلاب على مبادئ التصنيع الرقمي.
- اعتماد التصنيع الرقمي كوسيلة تدريس فعاله لإطلاق المنابع الإبداعية لدي الطلاب
- تطوير الحس الانشائي لدي طلاب العمارة من خلال الاعتماد علي تقنياتالبناء الرقمي وبالتالي التعلم من خلال التجربة والخطاء.

المراجع

[1] Achim Menges, (2016), **Advancing Wood Architecture**: A Computational Approach, Routledge; 1 edition.
[2] Arup (2014), **Construction steelwork makes its 3D printing premiere**. http://www.arup.com/News_06_2014/June/05_June_Construction_steelwork_makes_3D_printing_premiere.aspx Accessed14 June 2014.
[3] Brell, Sigrid & Braumann, Johannes, (2012), **Robotic Fabrication in Architecture, Art, and Design** 2012, Springer, Austria.
[4] Burry M (2012) **Models, prototypes and archetypes**. Fresh dilemmas emerging from the 'file to factory' era. In: Sheil (2012) Manufacturing the bespoke. John Wiley & Sons Ltd,. Chichester.
[5] Caneparo, L. (2014), **Digital Fabrication in Architecture, Engineering and Construction**, Springer Dordrecht Heidelberg, New York & London, 2014.
[6] Christopher Beorkrem, (2017), **Material Strategies in Digital Fabrication**, Routledge.
[7] Corser, R. (2014), **Fabricated Architecture: Selected Readind In Digital Design And Manufacturing**, Second Addition, Princeton Architectural Press, USA, 2014.
[8] Dunn, N. (2012), **Digital Fabrication In Architecture**, Laurence King Publication Ltd,. London, 2012.
[9] Feringa J, Søndergaard A (2014), **Fabricating architectural volume: Stereotomic investigations in robotic craft**. In: Gramazio F, Kohler M, Langenberg S (2014) Fabricate: Negotiating, design& making. Gta Verlag, ETH Zurich, pp. 76–83.
[10] Gerber, David, (2014), **Paradigms in Computing: Making, Machines, and Models for Design Agency in Architecture**, EVolo, USA.
[11] Gershenfeld N (2013), **Manufacturing's future: effects of technology on industry**. http://fora.tv/2013/02/07/Manufacturings_Future_Effects_of_Technology_on_Industry. Accessed 5 /5/2014.

[12] Gramazio F, Kohler M, Willmann J (2014), **The Robotic touch: How robots change architecture**. Park Books, Zurich.
[13] Groover M P (2010), **Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems**. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.
[14] Hauschild M, Karzel R (2011), **Digital Processes** (Detail Practice). Birkhäuser GmbH, Basel
[15] Hopkinson N, Hague R, Dickens P (2006), **Rapid manufacturing: An industrial revolution for the digital age**. John Wiley & Sons Ltd., Chichester
[16] Khoshnevis B (2014), **Contour crafting. Robotic construction system**. University of Southern California. http://www.contourcrafting.org/, Accessed 13 June 2014.
[17] Knippers J (2013), **ArboSkin: Durable and recyclable bioplastics facade mock-up**. Faculty of architecture and urban planning University of Stuttgart, Germany. United news network GmbH.
[18] Kolarevic B (2003), **Architecture in the digital age: Design and manufacturing**. Spoon Press, New York 2003.
[19] Menges A, Knippers J (2011) **ICD/ITKE Research Pavilion 2011**. ICD Institute for Computational Design, Faculty of Architecture and Urban Planning. http://icd.uni-stuttgart.de/?p=6553,Accessed 5/5/2017.
[20] Mongeon, Bridgette, (2015), **3D Technology in Fine Art and Craft: Exploring 3D Printing**, Scanning, Sculpting and Milling, Focal Press, Abingdon.
[21] NICK DUNN, (2012) **DIGITAL FABRICATION IN ARCHITECTURE**, Laurence King Publishing Ltd 2012
[22] Philip F. Yuan, Neil Leach& Achim Menges, (2018), **Digital Fabrication**, Tongji University Press Co., Ltd 2018.
[23] Rob Arch (2014), **Robots in architecture. Robotic fabrication in architecture**, art and, design. http//:www.robarch2014.org/ Accessed 20 April 2014.
[24] Roberto Naboni & Ingrid Paoletti, (2015), **Advanced Customization in Architectural Design and Construction**, Springer Cham Heidelberg New York
[25] Sheil, B. (2012), **Manufacturing the Bespoke: Making and Prototyping Architecture**. John Wiley & Sons.
[26] Singh B, Sellappan N, Kumaradhas P (2013), **Evolution of industrial robots and their applications**.In: International Journal of emerging technology and advanced engineering.
[27] Stoutjesdijk P (2013), **An open-source building system with digitally fabricated components**. In: Stouffs R and Sariyildiz S (2013) Computation and Performance, vol.1 Digital fabrication – Proceedings of the 31st eCAADe Conference. Ecaade 260:719–722, Delft, the Netherlands.
[28] Wes McGee, Monica Ponce de Leon, (2014), **Robotic Fabrication in Architecture**, Art, and Design 2014, Springer, Austria.
[29] دينا الميليجي، (2008)، **تكنولوجيا البناء بين أبعاد الحاضر ورؤى المستقبل**، المؤتمر الدولي الثاني، العمارة ...العمران والزمان -رؤية مستقبلية -كلية الهندسة – جامعة عين شمس -قسم الهندسة,2008.
[30] علي محسن & هدير عدنان، (2016)، **أثر التصنيع الرقمي في العمارة المعاصرة**، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، الجامعة التكنولوجية / بغداد، المجلد(34) الجزء (A) العدد(9) , 2016.
[31] عمرو احمد رمضان(2014)، **الجماليات المعمارية في عصر الثورة الرقمية**، رسالة دكتوراه، كلية الهندسة – جامعة حلوان، 2014.
[32] ميشيل مقار (2016)، **تأثير نظم التصنيع الرقمي على تصميم الغلاف الخارجي للمبنى**، رسالة ماجستير جامعة حلوان، القاهرة.
- http://www.arch2o.com/bicentennial-civic-center-lucio-moriniggmpu-arquitectos/
- https://www.dezeen.com/
- https://www.pinterest.com/search/pins/?q=metropol%20parasol%20assembly&rs=typed&term_meta[]=metropol%7Ctyped&term_meta[]=parasol%7Ctyped&term_meta[]=assembly%7Ctyped
- https://www.3ders.org/articles/20150118-winsun-builds-world-first-3d-printed-villa-and-tallest-3d-printed-building-in-china.html
- https://www.archdaily.com/591331/chinese-company-creates-the-world-s-tallest-3d-printed-building
- https://icd.uni-stuttgart.de/?page_id=17790
- http://www.winsun3d.com/En/About/
- https://www.archdaily.com/288566/happy-birthday-zaha-hadid

TECHNOLOGY DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF CONSTRUCTION IN THE DIGITAL AGE

ABSTRACT

The role of Digital Computer Aided Design (CAD) has been demonstrated by its ability to create three-dimensional forms of buildings and to analyze how this building is implemented, thus helping architects to design diversity and innovation and providing them with the ideas and possibilities they dreamed of before the digital age. Leads to the emerge of new methods of design that are more liberal and developing, as well as the emerge of new theories that control the sources of creativity of architects such as Parametric Designs, Algorithms Designs and other theories Modern. Because of this development process, the Computer Aided Manufacturing (CAM) has been used as an outlet for architects to implement and manufacture these infinite creativities, allowing them to construct various building elements such as cladding and structural elements in a digital manner using appropriate software and machines. The use of digital processing in architecture is a relatively recent phenomenon. As for the raise of modern programs and their expansion as well as the evolution of manufacturing methods than ever before, Digital manufacturing comes to bridge the gap between design and implementation. Digital manufacturing used to produce and build fully complex Buildings. At this research we will deal with the strategies and processes for digital manufacturing, its uses, and finally the technologies and devices used in it. Also, we will deal with its importance in non-traditional projects and thus the impossibilities of implementing them in a traditional way. Showing that this process depends on computer -based system to allow digitally controlled translation of data from the design process to the manufacturing process, allowing the architect unlimited creative space that cannot be envisioned or manufactured in traditional ways. Thus, digital manufacturing became one of the most important possibilities that the architect had to arm to produce distinctive buildings.