The Impact of Digital Fabrication in Architecture

Dr. Ali Muhsen Jaafer Al-khafaji
Architectural Engineering Department, University of Technology/Baghdad
Email: alimkhafaji@yahoo.com
Haider Adnan Nseif Al-khafaji
Architectural Engineering Department, University of Technology/Baghdad
Email: hk_kz@yahoo.com

Received on:1/2/2016 & Accepted on:19/5/2016

ABSTRACT

The development of the digital technology has led to expand the design Capabilities of architects, especially in the field of generating curved forms with formal complexity which was unattainable with the traditional methods of construction, thus resulting in the need to research for new methods to realize them physically, so Digital Fabrication concept has appeared in architecture and its appear in a general framework that recognizes the concept and its beginnings in the other fields and the stages it went through to reach the field of architecture, for the purpose of reducing the limits of research to the specific frame which is summarized in (the role of digital fabrication as a link between the design process modeling and the realized architectural product which is represented by the fabricating of building parts), and thorough searching of studies which took into consideration the existence of the above-mentioned three-way relationship between (designing, fabrication, and production), the research problem was derived, which states that (the lack of a comprehensive conception describing how to achieve digital fabrication and its impact in contemporary architectural production) and thus to reach the aim of the research (creating a comprehensive conceptual framework regarding how to achieve digital fabrication in the field of architecture and its impact in contemporary architectural production), and achieving this approach requires forming a theoretical framework consisting of four main units; The methods of fabricated digital design generating, digital fabrication techniques, production strategies and to clarify its impact in contemporary architectural production, and by application these main units in three universal projects then, the research puts the results and its final conclusions, which represent the most important in displaying the most important criteria that the architect must take into his consideration when adopting digital fabrication in the production of his digital designs.

keywords: (Digital fabrication, digital design méthodes, techniques, Product stratégies).

أثر التصنيع الرقمي في العمارة المعاصرة

الخلاصة

ادى تطور التكنولوجيا الرقمية الى توسيع القدرات التصميمية لدى المصمم المعماري وخاصة في مجال توليد الاشكال المنحنية وذات التعقيد الشكلي والتي تتصف بصعوبة القدرة على تنفيذها بالطرق

https://doi.org/10.30684/etj.34.9A.20
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

التقليدية للبناء مما أدى الى البحث عن طرق جديدة تعمل على تحقيقها مادياً، لذلك برز مفهوم التصنيع الرقمي في العمارة وتم طرحه في إطار عام يتعرف على المفهوم وبداياته في الحقول الاخرى والمراحل التي مر بها وصولاً الى حقل العمارة لغرض تقليص حدود البحث الى الاطار الخاص والذي تلخص في (دور التصنيع الرقمي كحلقة وصل بين العملية التصميمية متمثلةً بالنماذج الاولية، والنتاج المعماري المتمثل في تصنيع اجزاء المبنى). ومن خلال تقصي مجموعة من الدراسات التي اخذت بنظر الاعتبار وجود العلاقة الثلاثية سابقة الذكر بين (التصميم والتصنيع والنتاج)، تم اشتقاق المشكلة البحثية التي تنص على **(عدم وجود تصور شامل حول كيفية توظيف التصنيع الرقمي وتأثيراته في النتاج المعماري المعاصر)** ليتحدد هدف البحث في (بناء اطار مفاهيمي شامل حول كيفية توظيف التصنيع الرقمي في حقل العمارة وتأثيراته في النتاج المعماري المعاصر)، وتطلب تحقيق ذلك منهجاً تضمن بلورة إطار نظري يتألف من اربعة مفردات رئيسية تمثلت في أساليب توليد التصميم الرقمي المصنع وتقنيات التصنيع الرقمي وإستراتيجيات إنتاجه وتوضيح تأثيراته في النتاج المعماري المعاصر وتطبيق هذه المفردات على ثلاثة مشاريع عالمية ثم طرح نتائج البحث والتوصل الى الاستنتاجات النهائية والتي تمثل اهمها في عرض اهم المعايير التي يتوجب على المعماري ان يأخذها بنظر الاعتبار عند اعتماده التصنيع الرقمي في إنتاج تصاميمه الرقمية.

الكلمات المفتاحية: (التصنيع الرقمي، أساليب التصميم الرقمي، تقنيات التصنيع الرقمي ، إستراتيجيات الإنتاج الرقمي).

المقدمة:

تعنى العمارة أساساً بجانبين أساسيين متمثلان بالتصميم والتنفيذ اللذان يتميزان بكونهما ليسا منفصلين بل غالباً ما يجري خلق حوار مستمر بينها من مرحلة توليد الفكرة الاولية لدى المصمم المعماري لحين تطور التصميم الى الشكل النهائي. وقد برزت أهمية التصنيع الرقمي في العمارة كمفهوم معاصر ظهر خلال العقدين السابقين يعمل على التحقيق المادي للافكار المعمارية المولدة بالحاسوب وخاصة للاشكال المنحنية وذات التعقيد الشكلي والتي اتصفت بصعوبة القدرة على تنفيذها بالطرق التقليدية للبناء. ورغم ظهور عدد من الطروحات التي حاولت توضيح المفهوم في العمارة ألا انها لم تعطه تعريفاً شاملاً أو تتناوله بشكل معمق، ومن هنا ظهر المحور العام المتمثل بـ (مفهوم التصنيع الرقمي في العمارة).

تم تقسيم البحث الى ثلاثة محاور، إختص المحور الاول منها بطرح الإطار المعرفي لمفهوم التصنيع الرقمي في العمارة من خلال طرح التعاريف اللغوية والاصطلاحية الخاصة بالمفهوم بهدف التوصل الى التعريف الاجرائي، ثم توضيح تاريخ العلاقة بين المصمم والبنّاء وعودة الاسطة Master builder الذي كان سائداً في العصور الوسطى فضلاً عن المراحل التي مرَّ بها التصنيع في مجال العمارة ولأجل استخلاص المشكلة البحثية تم تناول مجموعة من الدراسات السابقة بالوصف والتحليل، في حين ركز المحور الثاني على بناء مفردات الاطار النظري والتي شملت اربعة مفردات رئيسية تمثلت ثلاثة منها في كيفية تحقيق التصنيع الرقمي، أما الرابعة فناقشت تأثيراته في النتاج المعماري المتحقق. واخيراً، تناول المحور الثالث الجانب العملي من خلال عرض المشاريع المنتخبة للدراسة العملية مع مناقشة وتحليل النتائج التي تم استخلاصها وطرح الاستنتاجات النهائية والتوصيات.

المحور الاول : مفهوم التصنيع الرقمي في العمارة

تعريفات لغوية واصطلاحية

تهدف هذه الفقرة الى بناء قاعدة معرفية حول مفهوم التصنيع الرقمي في العمارة من خلال عرض اهم التعريفات التي وردت في المعاجم والادبيات السابقة ليتم فيما بعد التوصل الى التعريف الاجرائي وكما يلي:

تم طرح مفهوم **التصنيع** ضمن المصادر الاساسية للمعاجم العربية من حيث كونه يمثل وسيلة لتغيير شكل أو حالة المادة لخلق منتوج أو زيادة منفعتها للإنسان عن طريق العمليات الإنتاجية بأنواعها المختلفة حيث يتم تحويل المواد الإنتاجية الأولية أو نصف المصنعة إلى منتجات [١، ص١٥٤]. وفي اللغة الانكليزية مثّل **Fabricate** عمليات التشييد من قطع قياسية ومتنوعة Construct process

from diverse and usually standardized parts [٢]. أما اصطلاحاً فيتجلى في كونه عملية تهدف أساساً إلى رفع مستوى الإنتاج الصناعي وتطويره بهدف تلبية رغبـــات وحاجات الإنسان، مما ينتج عنه ترقيــة التنميــة الاقتصاديــة والاجتماعيــة [p3 ,٣]. أما الرقمي Digital، فقد اتفقت المعاجم على كون اصل كلمة الرقمي لاتيني وانه يمثل طريقة لخزن المعلومات [p222 ,٤]. أما مفهوم **التصنيع الرقمي digital fabrication** فقد تم التطرق اليهما مجتمعة ضمن طروحات بكونه يمثل عملية خلق إنموذج رقمي يتم تصنيعة بعد ذلك الى جزء مادي باستخدام آلة قادرة على صنع الناتج [p15 ,٥]. او بانه وسيلة للصنع تستخدم الرقميات للتحكم في عملية التصنيع، وهي تندرج تحت مظلة التصميم والتصنيع بمساعدة الحاسوب لأنه يعتمد على أدوات آلية يحركها الحاسوب لبناء أو قطع الأجزاء [p5 ,٦]. ووفقاً لكل ماسبق يمكن بلورة التعريف الاجرائي لمفهوم **التصنيع الرقمي** بانه يمثل: **وسيلة للصنع تستخدم فيها البيانات الرقمية المندرجة تحت مظلة التصميم والتصنيع بمساعدة الحاسوب كونه يعتمد على أدوات آلية متنوعة يحركها الحاسوب لقطع وتركيب الأجزاء لتكوين (الكل)، والتي يتم فيها تغيير شكل أو حالة المادة الاصلية لانتاج جزء مادي جديد من إنموذج رقمي مولد بالحاسوب.**

تاريخ العلاقة بين المصمم والبنّاء وعودة الاسطة Master builder :

كان التصميم والبناء في العمارة سابقاً وخاصةً في فترة عصر النهضة، عملية سلسة حيث كان سيد البنائين* عادة في الموقع يعمل مباشرة بالتخطيط مع زملائه الحرفيين الذين يصنعون المبنى وكانت عملية التصميم متداخلة مع عملية البناء، وتبعاً لذلك فقد أصبح (البنّاء) هو المسؤول عن كل من عمليتي التصميم والتصنيع، ونتيجة لذلك فقد كان في الغالب يتم تحقيق توازن مرغوب بين شكل ووظيفة العديد من المباني [p4 ,٧].

إستمر هذا الحال حتى نهاية القرن الثامن عشر والذي اطلق عليه (عصر الثورة الصناعية الاولى) عندما حدث انهيار بطيء لنظام نقابة سيد البنائين وتم عزل المصمم ببطئ عن من عملية صياغة وصنع القطع المادية (أجزاء البناء) في السعي لتحقيق كفاءة أعلى. بالتالي، وخلال هذه الفترة بدأ التفكير والتمثيل ينظر إليهما على انهما منفصلان عن عملية انشاء المبنى، حيث تطور رسم المنظور والتقنيات التمثيلية كوسيلة لاستكشاف التصميم وايصال (افكار المصمم) إلى (عامل البناء) عن بعد [, p13-14 ٥]. أما في القرن الواحد والعشرين ومن خلال دمج عمليات تصميم وتصنيع المباني حول التقنيات الرقمية، أصبح للمعماريين فرصة لإعادة الحياة لما يعرف بـ (سيد البنائين) وإعادة دمج التخصصات المنفصلة حالياً والتي هي العمارة والانشاء إلى مؤسسة تعاونية رقمية سلسة نسبياً، وبالتالي سد (الفجوة) بين التصميم والانتاج التي ظهرت عندما بدأ المعماري برسم التصـــــاميم المـــــعقدة [p11-12 ,٨].

المراحل التي مرَّ بها التصنيع في مجال العمارة :

التصنيع التقليدي في العمارة :

بدأ تأثير الصناعة في العمارة منذ أن اعتمد المعماري على الآلات في انتاج عمارته واستخدام قدرة تلك الآلات في إنشاءاته، فالتلاعب في المواد البنائية باليد ادى إلى ايجاد مباني جديدة من نوعها وقد طورت تلك الأدوات لتكون مساعدة لليد البشرية مثل الأزميل والمنشار والمثقاب اليدوي وقوالب تصنيع الطابوق [p152-153 ,٩].

تعد طرق التصنيع التقليدية بطيئة نوعاً ما، اذ يجب أن تأخذ بنظر الاعتبار توفير المواد الخام للقوالب التصنيعية والتي قد لا تكون محمية من العوامل الجوية وأيضاً انتظار التصلب وخاصة لتلك المواد التي يدخل الإسمنت فيها بالاضافة الى عدم مطابقة النتاجات مع التصاميم المعدة وخاصة للاشكال ذات التعقيد الشكلي، فضلا عن محدودية الاشكال المعمارية الناتجة بسبب محدودية عملية التصنيع الناتجة

* سيد البنائين : مصطلح اطلق على كل من يزاول مهنة التصميم و يقوم بتنفيذ ما صممه بشكل مباشر لتحقيق التوازن المرغوب بين العمليتين وجعلهما متداخلتين، وقد اشتهر هذا المصطلح في فترة عصر النهضة [Kolarevic, 2005, p.88].

عن كفاءة هذه الادوات، كما يتحدث المعماري Eero Saarinen عن ان هنالك أشكالاً هندسية منسية خسرناها بسبب صعوبة تمثيلها مادياً [١٠, p3].

الانتاج مسبق الصنع للعمارة:

يقصد بالمُنشأ مسبق الصنع الذي تتم صناعة عناصره المكوِّنة لأعمال هيكله أو إنهاءاته في موقع مختلف عن مكان التوظيف النهائي للمنشأ ليضمن مواصفات مواد البناء والعناية بها بشكل أفضل وإمكانية مراقبة المنتج، فيكون التحكم بالجودة من قبل الصانع اسهل مما يؤدي الى إنتاج عناصر ومفاصل ارتباط connection مسبقة الصنع دقيقة وذات متانة أكبر وإنهاء للسطوح بشكل جيد مقارنة بمثيلاتها بالكونكريت الموقعي [١١, p140].

تعد فكرة مسبق الصنع من المواضيع المهمة في عمارة القرن العشرين وحركة الحداثة في العمارة فقد رأى الحداثيون هذه الفكرة من خلال الانتاج الكمي* Mass Production باعتبارها وسيلة لتحقيق العمارة للجمهور ولمصالحة المهنة مع المجتمع الصناعي وخاصة بعد فترة الحرب العالمية الاولى [, p15١٢]. لقد زاد الإنتاج الكمي بشكل كبير من كمية المنتجات وخفض من تكاليفها، مما حدى بالحركة الحديثة اعتماد التصنيع المسبق كأداة وبرنامج لمتابعة عملية إعادة تنظيم الانشاء ولتقديم الذين يتدفقون على المدن مكاناً للعيش يتوافق مع معايير أعلى للبناء والمأوى لكن من مشاكله اقتصاره على الاشكال القياسية الاولية الموحدة platonic forms والتقيّد في انتاج الاشكال الحرة مما استوجب البحث عن نمط اخر في انتاجها مادياً [١٣, p11].

الانتاج الرقمي للعمارة :

أدى التوافر واسع النطاق، إلى جانب انخفاض تكاليف الإنتاج بشكل كبير، إلى تزايد استخدام الحاسوب في مجال العمارة للفترة من عام ١٩٩٦ الى ٢٠١٦، فانخراط الكثير من المعماريين بشكل مطلق مع التقنيات الرقمية اعطى بعض المؤشرات عن سهولة استيعابها في حياتنا اليومية [١٤, p14].

البدايات في حقول المعرفة الاخرى:

إن أُسس العديد من الاستخدامات الحالية للتكنولوجيات الرقمية كانت قد وضعت في مطلع القرن العشرين، حيث برز الحاسوب كأداة متقدمة للتعامل مع كميات كبيرة من المعلومات باستخدام المنطق الرياضي والعمليات الحسابية [١٥, p14]. ان اغلب هذه العمليات قد وضعت أساساً لصناعة المنتجات الاستهلاكية وان اهتمام المعماريين في إعادة استخدام التكنولوجيا والأساليب من الصناعات الأخرى ليس جديداً، فلطالما نظر المعماريون خارج حدود مجالهم وذلك للحصول على المواد والأساليب والعمليات من الصناعات الأخرى حسب الحاجة، ففي الوقت الحالي يتم تصميم وتطوير وتحليل وإختبار الأجهزة المختلفة كالسيارات والطائرات والسفن كلياً في البيئة الرقمية ومن ثم يتم تصنيعها وانتاجها باستخدام تقنيات رقمية [١٠, p15].

التصميم والتصنيع بواسطة الحاسوب CAD/CAM :

تنطوي عمليات التصميم والتصنيع بمساعدة الحاسوب CAD/CAM ✦على استخدامه فيها، اذ يستند الـ CAD أساساً على رسومات الحاسوب، وهو ما يعني الخلق والتلاعب في الصور على جهاز عرض بمساعدة جهاز الحاسوب [١٦, p2]. اما أهمية التصنيع بمساعدة الحاسوب CAM فتقع في نقطتين متميزتين هما؛ أنه يوفر وسيلة لصنع نماذج مادية من نماذج افتراضية بسرعة وفعالية وأنها تساعد على تحقيق التمثيلات الشكلية الناتجة من التصاميم والنماذج الافتراضية المعاصرة المنجزة بالحاسوب وذلك للامكانيات التصنيعية التي توفرها في الانتاج لصنع أجزاء وقوالب بالحجم الكامل من

*الانتاج الكمي : يمثل العمليات التي تعنى في انتاج الوحدات القياسية (modular) بكميات كبيرة تمتاز بالجودة العالية والتكاليف المنخفضة، وقد اعتبر بالأسلوب الأمثل للصنع في القرن العشرين بعد الثورة الصناعية [http://www.investopedia.com].

✦ CAD/CAM: يشير مصطلح CAD الى التصميم بمساعدة الحاسوب computer-aided design، بينما يشير مصطلح CAM الى التصنيع بمساعدة الحاسوب computer-aided manufacturing. إذ أستخدمتا في مجال تطوير وتشكيل البضائع الاستهلاكية الصغيرة.

مجموعة من المواد مثل الألمنيوم والحديـد والبلاســتك [١٠, p356-357]. فالمباني لها نفس الامكانية للتمثيل والإنتاج الرقمي وان هذه العمليـة الرقمية تبسط الإنتاج وتمزج العمليات التي عادة ما تكون مجزأة وتقضي على الخطوات الوسيطة بين التصميم والإنتاج النهائي [٦, p8].

الانتقالة الى العمارة :

لقد فتح التصنيع الرقمي من خلال التطور والتنوع في برامج التصميم والتصنيع CAD/CAM آفاقاً جديدة في ظهور الأشكال الهندسية على مستوى العملية التصميمية وانتاج المباني بالحجم الكامل، وما ينتج عنها من اعطاء تعريف جديد للعلاقة بين عمليتي التصميم والانتاج عن طريق جعل المعماريين أكثر مشاركةً في هذه العمليات:

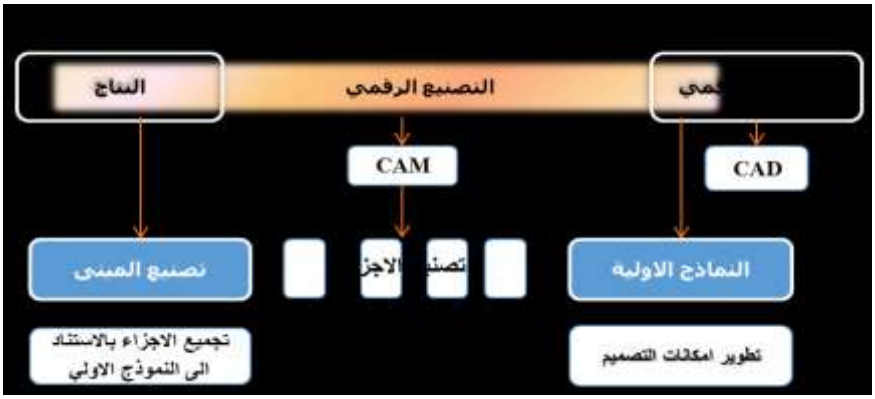
أولاً: التصنيع الرقمي على مستوى العملية التصميمية :

يؤثر التصنيع الرقمي في عملية التصميم المعماري من خلال دورهُ في تصنيع النماذج المعمارية Models، حيث إن هنالك أنواعاً مختلفة من آلات التصنيع الرقمي تشق طريقها إلى المدارس والمكاتب المعمارية، ويجري دمجها مع مجموعة من الأدوات التي يستخدمها المعماريون لخلق تمثيل مادي لتصاميمهم [١٧, p3]، ففي عملية وضع التصاميم لبعض المصممين مثل Frank Gehry فانه يترجم فكرته في الرسومات ثم إلى سطوح ثنائية الأبعاد يتلاعب بها رقمياً على شاشة الحاسوب ويحولها إلى نماذج رقميه ثلاثية الأبعاد، ثم يصنع إنموذج دراسي ثلاثي الأبعاد ذو أشكال هندسية منحنية في شكل مادي باستخدام طابعة ثلاثية الأبعاد [١٨, p360].

ثانياً: التصنيع الرقمي على مستوى النتاج :

وفر التصنيع الرقمي للمعماريين فرصة لبناء عمارتهم الواعية رقمياً لتكشف عالماً جديداً من الإمكانيات في استخدامات المواد والانهاءات والأهم من ذلك كله التنوع في ايجاد طرق لتجميع الاجزاء ، فالأشكال الهندسية المعقدة غير التقليدية مليئة بالاجزاء والعناصر اللاقياسية Irregularities وان السيطرة على انتاج هذه العناصر لا يؤثر على التصميم فقط، بل يتطلب اعتماد تقنيات الـ CAM وتحديد المواقع لتجميعها في الموقع، وبهذا المعنى، يمكننا أن نفهم التحول الذي قدمه التصنيع الرقمي في انتاج الأشكال الهندسية المعقدة وتحقيق فكرة انعدام النظام الشكلي ان صح التعبير بالمقارنة مع البناء الكلاسيكي ذو الأشكال الهندسية الاولية Platonic Form والتي لا تحتاج في انتاجها إلى مثل هذه الصرامة والدقة [١٩, p358]. ان فكرة عدم الانتظام هي التي تربط التصاميم الرقمية مع التصنيع الرقمي لأنها تمكننا من تصنيع عناصر حسب الطلب as order elements (وهو حلم معماري يتحقق)، فقد أدي ارتباط السطوح المعقدة أو الأشكال الهندسية المطوية إلى ضرورة وجود التخصيص لكل لوح من الألواح التي تشكل الجسم النهائي للمبنى، الأمر الذي كان لا يمكن تصوره من دون تقنيات التصنيع الرقمي [١٤, p51].

يتبين مما سبق دور التصنيع الرقمي كحلقة وصل مهمة بين العملية التصميمة متمثلةً بالنماذج الاولية لتجسيد الافكار المعمارية وبين عملية انتاج العمارة والمساعدة على بناء الاشكال المعقدة التي خلقتها وساهمت في ايجادها برامج التصميم المعاصرة من خلال المرور بعمليات التصنيع والتجميع، ليصبح المعماري اكثر مشاركة في عمليات التصنيع وانتاج المبنى (اعادة احياء دوره كسيد للبنائين) وكما موضح في المخطط رقم (١)



مخطط رقم (١) يوضح دور التصنيع الرقمي كحلقة وصل مهمة بين العملية التصميمة وبين عملية انتاج العمارة(الباحثين)

الدراسات السابقة

تبحث هذه الفقرة المشكلة البحثية من خلال تحليل مجموعة من الدراسات والتي اخذت بنظر الاعتبار وجود العلاقة الثلاثية سابقة الذكر بين (التصميم والتصنيع والنتاج). وعليه يمكن تناول الدراسات السابقة كالآتي:

دراسة Chris Abel,2004 Architecture, Technology and Process ()

تشير الدراسة الى تغير العلاقة بين العمارة والعمليات التكنولوجية لغرض مواكبة الحرية التشكلّية المتاحة بواسطة التقانة الرقمية وامكانية إنتقال العمارة من المنظور الميكانيكي الذي يقوم على أساس (نمذجة الطبيعة وفقاً للماكنة) وما نتج عنها من مفاهيم التقييس والانتاج الكمي Mass Production إلى منظور آخر يأخذ على عاتقه تكييف الانتاج المقيس للحاجات والمشاريع الخاصة (نمذجة الماكنة وفقاً للطبيعة) [٢٠, p7-8] لتؤكد على اهمية العملية Process في فن وحرفة صناعة العمارة، وتسمح للمعماري بالاهتمام بما هو خاص بمكانٍ ما لاجل تحقيق معاصرة حقيقية يسيطر فيها على الماكنة ويوجهها نحو الاستعمال الانساني، معلناً نهاية مثالية المكننة [٢٠, p13].

دراسة (Griffith, 2006) Design Computing of Complex-Curved Geometry using Digital Fabrication

تشير الدراسة الى دور الرقميات في ايجاد الحلول للاشكال المنحنية التي تتصف بالتعقيد الشكلي من خلال اليات تنفيذ النتاج، فبدلاً من استخدام الحاسوب في إيجاد حل لمشاكل التصاميم المعقدة شكلياً، يتم إجراء حوار بناء معه من خلال برامج تصميمية معيارية [٢١, p3]. كما أشارت الدراسة الى أن دمج التكنولوجيا وعمليات التصميم المعماري الحالية يتطلب حلولاً غير تقليدية للتصنيع، اذ انها تحرض المعماريون على تصميم أنظمة أقل تعامداً وتجاور أكثر تعقيداً للشكل والذي يتطلب تحليل الأشكال منحنية الأضلاع إلى مكوناتها الصغيرة من أجل التجميع [٢١, p12].

دراسة : (William,2008) Remaking in a Post– Processed Culture

ركزت الدراسة على عدة محاور منها العالم الرقمي والمادي هادفةً الى بيان دور إعادة التصنيع لعملية الصنع الذي يرتكز على فكرة التكرار المتعدد Multiple Iterations لغرض مساعدة المصمم على الاحاطة بالجوانب السلبية في تصميمة وتحسين جودة النتاج المتحقق ، حيث تُبنى الكتلة والفضاء ضمن البرمجيات الرقمية ومن ثم ينتقل الإصدار الى العالم المادي والذي يمكن اعادته مرة اخرى بواسطة اجهزة متخصصة الى العالم الرقمي [٢٢, p50-51]. كما أوضحت الدراسة إن هذه التكنولوجيا تقوم بتحسين دور العملية التصميمية في حالة تسمح بإعطاء المعماري إمكانية أكبر للتعامل مع المعلومات التي تزود الحاسوب لتتحول الى معالجة تشييد المباني [٢٢, p54].

دراسة (Kottas - 2010) Contemporary Digital Architecture, Design and Techniques

تطرح الدراسة التطور الحاصل في البرامجيات المستخدمة في العملية التصميمية من إستخدام للخوارزميات والمعايير بالاضافة الى الأليات والإستراتيجيات التي تدخل في عملية التصميم والتشكيل للمنتج، وكلاهما يمتاز بتشكيلات جديدة ذات تعقيد ونحتية عالية [٢٣, p18]. كما تطرح الدراسة التطورات الحاصلة في مجال إنتاج الاغلفة والهياكل المعقدة عن طريق طرح مفهوم تكنولوجيا التشكيل الرقمي Digital Formation Technology وهو مفهوم قد تم تطبيقه من قبل Frank Gehry في مشروعه متحف Guggenheim في بلباو والتي تتطلب إستراتيجيات إنتاجية جديدة وتأزر إستثنائي بين مرحلتي التصميم والإنتاج [٢٣, p24].

دراسة : (Miller, 2010) Digital Fabrication: Superseding Hand Crafted Techniques

طرحت الدراسة سؤالاً حول امكانية التقنيات الرقمية في تغيير عمليات التصنيع التقليدية فيما يتعلق بعمليات الانتاج المادي واستبدال دور العامل أو حتى الحرفي الماهر بها [٢٤, p7]، كما أشارت الدراسة الى ان التفكير الإبداعي سيعمل على التطور مع تكنولوجيا التصنيع المتزايدة وهذا ينطوي على الاعتراف بأهمية العمل اليدوي والفكري الماهر، فمن المهم استخدام الأدوات المناسبة للعمل من أجل الحفاظ على نهج التصميم الشامل وهذا يتطلب من المصمم التفكير في المتوسط بين العوالم الرقمية والمادية من أجل تطوير هذه العقلية الجديدة [٢٤, p60].

دراسة : (Marcos, 2011) New materiality and digital fabrication

تهدف الدراسة الى توضيح منطق الإنشاء الجديد للشكل الرقمي نتيجة التعقيد المتزايد الذي انجزته الادوات الرقمية الجديدة، والتي حسنت من إمكانات التصميم المعماري وبدأت أدوات التصميم والتصنيع بمساعدة الحاسوب بانتاج تآزر استثنائي في سياق التعقيد الشكلي [١٩, p1037]، إذ يتعلق بمحتوى التصميم (القرارات التصميمية) والأنشاء (مدخلات عملية التصنيع)، وقد تم تعزيز دوره في التصميم وتحسينه بشكل كبير عبر إدخال النمذجة ثلاثية الابعاد [١٩, p1040]. كما اشارت الدراسة الى ان الانفتاح المفاهيمي للتصاميم المعاصرة المتسمة بالتعقيد الشكلي (كالتصميم المعياري) له ما يوازيه في التخصيص الكمي وهو شيء لا يمكن أن يتحقق إلا من خلال CAM وتقنيات التصنيع الرقمي [١٩, p1044].

دراسة : (Kloft, 2014) Engineering of Freeform Architecture

تهدف الدراسة الى توضيح التعاون المشترك الواجب تحقيقه بين مرحلتي التصميم والتصنيع، اذ يمكن للانشائيين أن يتكلموا (لغة المعماريين) ويجب على المعماريين أن يظهروا اهتماماً في المبادئ الهيكلية عن طريق فهم طرق تحقيقها مادياً [٢٥, p110]. وقد صنفت الدراسة العملية التصميمية للاشكال الحرة الى ثلاث فئات تنظيمية فيما يتعلق بتحقيقها مادياً وهي: تشكيل الشكل، وإيجاد الشكل، وتوليد الشكل. اذ يمثل **تشكيل الشكل** عملية التصميم مع استخدام تقليدي للأدوات الرقمية في تمثيلها لغرض ايصال الفكرة المعمارية ويمكن وصف هذه العملية بأنها "عملية من (أعلى إلى أسفل). على النقيض من هذه العملية حيث لا يسمح للتحسين الهيكلي بإجراء التغييرات الشكلية، وبالنسبة الى **إيجاد الشكل** فهي عملية تفاعلية باستخدام الأدوات الرقمية حيث يكون التصميم المعماري عرضة للتغييرات الهندسية الدقيقة للشكل الأولي، وبذلك يسمح للسلوك الهيكلي أن يكون له تأثير على الشكل الهندسي النهائي [٢٥, p121]. أما **توليد الشكل** فتمثل عملية تصميم متكاملة، اذ يكون التصميم الهيكلي جزءاً من الفكرة المعمارية عن طريق الاستخدام التكاملي للأدوات الرقمية في التصميم والتصنيع في عملية (من أسفل إلى أعلى) [٢٥, p123]، والتي تسمح للمصممين بتحقيق نماذج تصاميمهم في جميع مراحل عملية التصميم لتسهيل التواصل بين التصميم والإنتاج [٢٥, p126].

بعد مناقشة اهم ماجاءت به الدراسات السابقة، يمكن إستنتاج الفجوات المعرفية:

١. تطرقت الدراسات الى جوانب متعددة ذات ارتباط مباشر مع عمليات التصنيع الرقمي مثل أساليب التصميم المصنع وإستراتيجيات الانتاج وهي بصورة ضمنية تحتاج الى تبويب.

٢. قلة الدراسات التي تناولت ماهية التقنيات المستخدمة في تحقيق التصنيع الرقمي وارتباطها مع البيانات الرقمية المولدة أثناء عملية التصميم.

٣. تناولت معظم الدراسات أثر التصنيع الرقمي على العملية التصميمية، الا أنها لم تتناول هذا التأثير بشكل واضح على النتاج المعماري المتحقق.

من الفجوات السابقة يمكن إستخلاص المشكلة البحثية والتي تنص على: **(عدم وجود تصور شامل حول كيفية تحقيق التصنيع الرقمي وتأثيراته في النتاج المعماري المعاصر)**، وتحديد هدف البحث بـ (بناء اطار مفاهيمي شامل حول كيفية تحقيق التصنيع الرقمي في حقل العمارة وتأثيراته في النتاج

المعماري المعاصر). وبالتالي يتحدد **منهج البحث** في بناء إطار نظري يوضح كيفية تحقيق التصنيع الرقمي من مرحلة الفكرة الأولية إلى العرض النهائي و تأثيراته في النتاج المعماري المعاصر ومن ثم تطبيق هذا الاطار على مجموعة من المشاريع العالمية لاستخراج إستنتاجات وتوصيات تعمل كقاعدة معلوماتية قابله للتطوير لتعزيز توجه المعماريين نحو التقنيات الرقمية بشكل عام والتصنيع الرقمي بشكل خاص.

المحور الثاني: إستخلاص مفردات الاطار النظري

يطرح هذا المحور عدة فقرات تعرض أهم المفردات التي ترتبط بالتصنيع الرقمي والتي تمثلت بأساليب توليد التصميم الرقمي المصنع، وتقنيات التصنيع الرقمي، واستراتيجيات إنتاجه، وتأثيراته في النتاج المعماري.

أساليب توليد التصميم الرقمي المصنع :

تغطي هذه الفقرة مجموعة من أساليب توليد التصميم الرقمي المتوفرة لدى المعماري عند تطوير وتواصل تصاميمهم من المفهوم الأولي إلى العرض النهائي وكيف انها تدعم الطرق الجديدة في التصنيع وتصنف الى :

أساليب تمثيل الأفكار:

يتضمن التصميم الرقمي أسلوبين أساسيين في تمثيل الأشكال رقمياً ضمن بيئة CAD والتي تتيح مستوى من السيطرة على الأفكار الإبداعية للمصمم بالإضافة الى المساعدة في التحكم بالمظهر والخصائص الشكلية الآخرى الخاصة بانتاجها مادياً، فظهرت NURBS والمشبكات MESHES وهي كما يلي:

التصميم باعتماد مفاتيح الترشيد غير الموحدة (NURBS)

يمثل NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) إنموذجاً رياضياً يستخدم عادة في التصميم الرقمي لتوليد وتمثيل الخطوط والسطوح المنحنية والتي توفر قدراً كبيراً من المرونة والدقة للتعامل مع الاشكال التقليدية وذات الشكل الحر والتي توفر أداة تصميم فعالة لإدماج الشكل الهندسي المنحني داخل التصميم المعماري بشكل قابل للتصنيع لكي تتيح للمصمم إمكانية تحقيق أفكاره الإبداعية [١٤, p40].

المشبكات MESHES :

يوفر هذا النوع من التصاميم طريقة لتوليد أشكال هندسية معقدة وعادةً ما تكون متعددة الأضلاع، والتي تكون اما منتظمة تتألف من الاشكال الهندسية المثلثة والمربعة والاشكال متعددة الاضلاع او تحتوي على تقسيمات فرعية غير منتظمة، حيث تستخدم تشكيلات ثانوية أكثر تعقيداً لتقريب الانحناء [٦, p58].

أساليب تصميمية مساعدة على توليد الأفكار:

تمثل التصاميم التي تعمل كعامل مساعد في توليد أفكار المصمم المعماري والتي تدعم طرق التصنيع الجديدة ويمكن تصنيفها الى صنفين هما: التصميم المعياري، والتصميم الخوارزمي والفرق بينهم يتمثل بماهية المدخلات اللازمة لتوليد الاشكال:

التصميم المعياري Parametric design :

يتيح التصميم المعياري* للمصمم تعريف العلاقات بين مجموعات من العناصر، فالمبدأ الأساسي هنا هو (الربط والعلاقة)، فبدلاً من تفاعل المصمم مباشرة مع عناصر التصميم الفردية (كما في عمليات CAD التقليدية) فإنه يخلق سلسلة من العلاقات التي تقوم من خلالها العناصر بربط وبناء التصميم التي تمكن العناصر من التواصل وتوليد التصميم نتيجة المحددات المؤثرة فيه [١٤, p55]، اذ يستطيع المصمم في أي وقت من تغيير القيم أو المعادلات التي تشكل العلاقات بين العناصر وستدرج آثار هذه التغييرات عبر النظام بأكمله [٢٦, p54].

* المعيار: هو كمية ثابته في حالة معينة ولكنه قد يختلف في حالات أخرى، فمع أنه قد يعتبر في بعض الأحيان حداً أو قيداً الا انه يمتلك قيمة معينه [Dunn, 2012, p.54].

التصميم الخوارزمي (الحسابي) Algorithmic design:

يستخدم كوسيلة لتوليد وتطوير الافكار التصميمية والتي تتطلب تحول في الطريقة التي تستخدم بها الحواسيب، فبدلاً من النظر الى الحاسوب كمجرد أدوات متقدمة تتيح إنتاج أشكال معقدة وتصورات ذات جودة عالية، يتم التعامل مع عملياته الداخلية من خلال البرمجة، حيث يتم استكشاف العمليات غير المحددة، والغامضة والتي غالبا ما تكون غير محددة بسبب طبيعته الإستكشافية والتي تعتمد على القدرات التصنيعية للماكنة فهي تستخدم كلغة للبرمجة أو كخوارزميات حسابية لتمكين المصمم من الوصول المباشر للقدرة الحسابية للحاسوب [١٤, p60-61].

تقنيات التصنيع الرقمي

تقوم هذه الفقرة اعتماداً على المعلومات التي تم طرحها في الفقرة السابقة، حيث تصف مجموعة متنوعة من التقنيات التي يمكن من خلالها دمج البيانات الرقمية المولدة أثناء عملية التصميم مع عملية التصنيع لتعزيز الفهم للمصمم قبل التنفيذ ولتوفير عمليات مثيرة ومبتكرة يمكن للمصممين من خلالها أن يحسنوا تصاميمهم المصنعة. تقع تقنيات التصنيع الرقمي في صنفين: يتضمن الاول تقنيات التصنيع التي تعمل من العالم الرقمي الى العالم المادي أما الصنف الاخر فيتمثل بتقنية المسح ثلاثي الابعاد والتي تكون عكسية لتحول الواقع المادي الى العالم الرقمي.

تقنيات التصنيع من العالم الرقمي الى العالم المادي:

تقنية التصنيع القطعي Cutting :

تعد هذه الطريقة الأكثر سهولة وتطبيقياً في التصنيع الرقمي ويشار إليها أحيانا باسم (التصنيع ثنائي الأبعاد) وهي تستخدم عمليتين للقطع؛ إما ميكانيكية تتمثل في مكائن CNC ثنائية الابعاد ومكائن المياه النفاثة *أو ألكترونية مثل قوس البلازما♦ وشعاع الليزر، وتتطلب إثنين من محاور الحركة لسطح المواد بالنسبة الى رأس القطع ويتم تنفيذها اما بطريقة رأس قطع متحرك أو تحرك المنصه التي توضع عليها المواد أو مزيج من الاثنين معاً [١٠, p35].

تقنية التصنيع الطرحي Subtraction :

تتضمن هذه التقنيات عملية استبعاد حجم معين من مواد الاجسام عن طريق عمليات حذف ميكانيكية او الكترونية (حذف متعدد المحاور) وهذا الحذف يمكن ان يكون مقيداً من حيث الحجم او السطح او المحور. وبالتالي يمكن لهذه الآلات من تصنيع السمات السطحية المعقدة من خلال توفير محاور إضافية للدوران بدرجة عالية من الدقة والتعقيد في السطوح والأشكال التي يمكن تصنيعها بأعتماد هذه الطريقة [٥, p13].

تقنية التصنيع بالإضافة Addition :

تعمل هذه الفئة من التصنيع الرقمي في تناقض مع التقنيات المذكورة أعلاه 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 او تعمل على خلق أنماط تستخدم بعد ذلك في استثمارها لاجل عمليات الصب [١٠, p36]. ولكن إستخدامها الأكثر شيوعاً يتمثل في إنتاج

* تستخدم مكائن المياه النفاثة في قطع المواد تدفق الماء بضغط عالي ويخلط مع مواد كاشطه للقطع .

♦ تستخدم تقنيات قوس البلازما غاز خامل يتم تمريره من خلال فوهة بسرعة عالية وبالتزامن مع قوس الكتروني، الأمر الذي يحول بعض من الغاز الى البلازما التي يمكن أن تقطع المعادن والمواد الاخرى.

النماذج الأولية السريعة أثناء عملية التصميم Rapid-Prototyping (RP) ، اذ ان نمذجة أفكار التصميم والتعقيد والسهولة النسبية والكلفة الاقتصادية للنماذج الأولية السريعة كلها عوامل قد سمحت للممارسين بإستخدام تقنياتها في جميع مراحل التصميم بدلاً من إنتاج النماذج النهائية فقط [٢٧].

تقنية التصنيع التكويني Formation:

تستخدم في عمليات التكوين قوى خارجية لإعادة تشكيل أو تشويه المواد إلى الشكل المطلوب بدلاً من إزالة أو بناء المواد وعادة ما تستخدم الحرارة أو البخار في تكوينها، ويمكن تقسيمها الى ثلاث عمليات؛ تتضمن الاولى عمليات (تغيير الطور) Change Processes-Phase والذي يمكن أن يكون محورياً أو مقيداً بالسطح (مثل صب مادة تم تحويلها إلى الحالة السائلة ثم تصلبها في شكل معين)، إما الثانية فتشمل عمليات (اللي والتدوير) Twisting And Rotation والتي تعمل على إجراء تغييرات في بنية العديد من المواد لخلق تشوهات مطلوبه فيها، وأخيراً عمليات (الربط والتصلب) Linking sclerosis and وتتمثل بتجميع الأجزاء الى قطعة واحدة لتحقيق الشكل أو البنية المطلوبة [p81-82 , ٢٨].

تقنية التجميع التصنيعي Assembling Fabrication وتشتمل على:

أ : تقنية التجميع الرقمي Digital Assembling Technique : بعد تصنيع المكونات رقمياً يتم تجميعها من خلال هذه التقنية الرقمية، حيث يمكن إستخدامها في تحديد موقع كل مكون بشكل دقيق وتحريك كل منها الى موقعه لتثبيتها في مكانها المناسب بشكل دقيق عن طريق إستخدام نظام تحديد المواقع العالمي GPS، أو المسح الإلكتروني وتحديد المواقع بالليزر في مواقع البناء لجميع أنحاء العالم ليحدد بدقة موقع مكونات المبنى [p173 ,٢٩].

ب : التجميع الروبوتي Digital Robotics : كانت الروبوتات حكراً على صناعة السيارات والصناعات الهندسية وقد تغيرت هذه الحالة من خلال العمل الريادي لعدد من المعماريين والباحثين الذين يحققون في تطبيق التجميع بالروبوتات للتصاميم المبتكرة، اذ ان هذه الروبوتات قادرة على القيام بإجراءات معقدة وعلى النقيض من أساليب التصنيع الرقمي الأخرى الثابتة نسبياً نظراً لموقع منصة الآلة أو قيود الأبعاد الخاصة بالمعدات، حيث توفر هذه التقنية قدراً كبيراً من المرونة التي تولد من قدرة الروبوت على العمل في مساحة غير مكعبة وقدرة تحديد موقعها بالنسبه للجسم المبني. ويمكن تصنيف هذه التقنيات الى روبوت التجميع المتوافق الانتقائي Selective Compliant Assembly لتجميع المكونات البنائية ذات الحجم الكامل، أو روبوت SCARA المثالي للعمليات القصيره المتمثلة بتفاصيل الزخارف البنائية [p4 ,٣٠].

تقنيات التصنيع من البيانات الرقمية الى العالم المادي:

المسح الضوئي ثلاثي الابعاد 3-D scaning

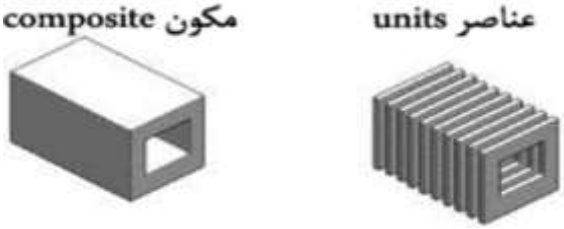
على النقيض من العمليات المذكورة أعلاه، يعكس المسح ثلاثي الأبعاد تلك العلاقة بين المعلومات الرقمية والكائن المادي، فهذه التكنولوجيا تقرأ المعلومات من المصادر المادية القائمة مثلاً إنموذج أولي أو قطع بنائية وتترجمها الى الحاسوب كبيانات لتشكيل نسخة رقمية ليوفر المسح الضوئي ثلاثي الابعاد (جسراً) يمكن أن تتدفق عبره أفكار التصميم في حوار بين التقنيات المادية للتمثيل وأدوات التصميم الرقمي [p108 ,١٤]. ويتم ذلك من خلال ثلاثة طرق؛ تتمثل الاولى في إستخدام مقراب ذو تموضع رقمي لتتبع خصائص سطح النموذج المادي باستخدام أذرع ثلاثيه الابعاد يدويه الشكل، أما الطريقة الثانية فتكون باستخدام ماكنه القياس الاحداثيه والتي لديها تحسس رقمي عند القياس بالتماس مع سطح الجسم الممسوح وهاتان الطريقتان غالباً ما تستخدمان على مستوى النماذج الاولية لتقيدهما بحجم المنتج، أما الطريقة الثالثة فتتمثل في إستخدام طرق مسح دون التماس والتي غالباً ما تستخدم على مستوى الابنية بالمقياس الكامل والتي تستخدم الضوء الليزري لاضاءه السطح الممسوح فتكون أسرع وادق وذات عمل يدوي اقل الا انها تكون أكثر كلفة [49-48 ,١٠].

استراتيجيات إنتاج * التصنيع الرقمي:

بعد مناقشة مجموعة أدوات التصميم الرقمية وتقنيات التصنيع المتوافقة معها، تقدم هذه الفقرة الاستراتيجيات التي يمكن من خلالها توليد ودمج أفكار التصميم مع تقنيات التصنيع بطريقة متماسكة وإستكشافية والتي تسمح بتحسين طرق التصميم المولد والتصنيع المتكامل لأقصى حد في العمارة مع وصف مزاياها المختلفة على النتاج، جنبا إلى جنب مع الاثار والقيود المفروضة على وسائل تحقيقها ويمكن تصنيف هذه الاستراتيجيات الى:

إستراتيجية الاجتزاء Sectioning :

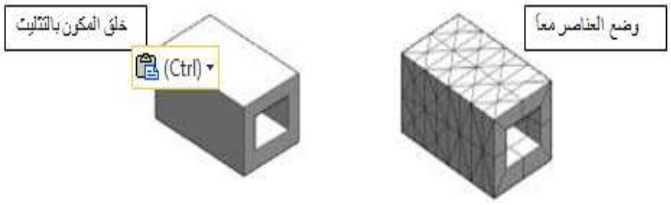
تمثل إستراتيجية تقسيم المكونات حسب الشكل الهندسي للسطح أو تجزئته الى مقاطع تتبع خطوط الأشكال الهندسية والتي يتم تزويدها بالمادة أو القشرة [٢٤, p14] وكما موضح في الشكل (رقم -١). وعادة ما توفر أوامر برمجيات النمذجة الرقمية مقاطع فورية من خلال الشكل ثلاثي الأبعاد، وباستخدام سلسلة من هذه المقاطع في موازاة ذلك سيصبح من الواضح على الفور كيف يمكن تحويله إلى هيكل وسطح مادي. ومع انها تقنية جديدة نسبياً في ربط التصنيع الرقمي مع العمارة، الا انها تعكس تقليداً اقدم بكثير في بناء السفن والطائرات [٦, p10-11].



شكل (رقم-١) يوضح إستراتيجية الاجتزاء، المصدر [Miller, 2010, p. 15].

إستراتيجية التثليث (القرمدة) Tiling :

يتمثل اعتماد التثليث والذي يعرف أيضاً بـ (القرمدة) الاستراتيجية التي يتم من خلالها وضع العناصر دون أي ثغرات أو تداخل فيما بينها لتشكيل قشرة سطحية أو نظام هيكلي مرتب ، حيث يمكن لهذا السطح أن يكون أي شكل هندسي شريطة أن تتوافق بعضها مع البعض وكما موضح في الشكل (رقم-٢). ومن المزايا العديدة لهذه الإستراتيجية الرقمية عن باقي إستراتيجيات الانتاج الاخرى هي القدرة على التغلب بشكل فعال على المشاكل المتعلقة بالوقت والتقليل من النفايات [١٤, p166].

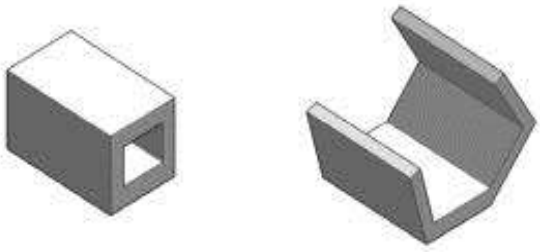


شكل (رقم-٢) يوضح استراتيجية التثليث، المصدر [Miller, 2010, p. 15].

إستراتيجية الطي Folding :

* سميت إستراتيجيات إنتاج التصنيع الرقمي لانها تتطلب مناهج معينة فيما يتعلق بالتكنولوجيا الرقمية التي تحققها وفعل يعمل على تحقيقها، المصدر (Dunn, 2012, p.148).

تعد هذه الاستراتيجية الأكثر انتشاراً لتطوير السطوح ثنائية الأبعاد إلى أشكال ثلاثية الأبعاد قشرية بالإضافة إلى تحويل المواد البسيطة المسطحة الى تكوينات شكلية معقدة التي لا تنتج حجماً مكانياً وحسب، لكنها تعطي خصائص هيكلية وصلابة من خلال الطي وكما مبين بالشكل (رقم-٣). اما برامج التصميم الرقمي فهي تمكن من حساب وتحديد أنماط الطيات المعقدة وتتيح للمعماري مجموعة أكبر من خيارات التصميم كونه يمثل عملية لتحويل السطح ثنائي الأبعاد إلى أشكال ثلاثية الأبعاد [-p140 , ١٤141].



شكل (رقم-٣) يوضح إستراتيجية الطي، المصدر [Miller, 2010, p.17].

إستراتيجية التشكيل Forming :

يمثل إستراتيجية تشكيل المكونات البنائية ذات الحجم الكامل والزخارف الفريدة غير المتكررة من خلال قالب أو شكل معين بواسطة تقنيات مثل مكائن الطرح او الاضافة. وعادة ما يتم تقييد شكل كل جزء بحدود القالب أو الشكل الذي يمكن إنتاجه، اذ تنتج قوالب إيجابية وسلبية يشار إليها أيضاً بـ (ذكر) و (أنثى) [٢٨, p92].

تأثير التصنيع الرقمي في النتاج المعماري:

يؤثر التصنيع الرقمي على النتاج المعماري المتحقق ضمن مستويات متعددة تتمثل في :

تحسين سطوح المباني (علاقة الشكل بالهيكل) :

يعمل التصنيع الرقمي على إنتاج أغلفة المباني التي لا تؤثر فقط في الصفات التعبيرية والجمالية الجديدة ولكن أيضاً في التعقيدات التكتونية، فليس من الضرورة أن يظهر التأثير الرقمي من الهيكل وانما قد يظهر من خلال السطح ليبرز في الطليعة ليصبح الهيكل جزءاً لايتجزء من الغلاف او يندرج ضمنياً معه في تكوين الغلاف، وعادة يمتص الغلاف كل او اغلب الاجهاد المتعرض له المبنى حيث ان الهيكل يختلط معه لينتج اشكال مكتفية ذاتياً لاتحتاج الى مصدر ثبات مستقل. أما النوع الثاني من السطوح المصنعة رقمياً فهي تتمثل في السطوح التي يتكامل فيها التركيب بين الهيكل والقشرة والذي يكون بصنفين؛ يتضمن الاول الموازنة بينهم الى تكوين طبقة خاصة بذلك التركيب وهذا النهج طبقه Frank Gehry في معظم مشاريعه كقاعة Desny Hall في لوس انجلوس عام ٢٠٠٣ [٣١, p64]. أما الصنف الآخر فيتضمن خلق فصل واضح بين القشرة والهيكل، حيث ينتج التجاور المكاني علاقة قوية بين المساحات البصرية. بينما تمثل النوع الاخير من السطوح المنتجة رقمياً بالتقليدي والذي يمكن تصنيفه الى صنفين؛ يمثل الصنف الاول إرفاق القشرة المتعرجة بشبكة هيكلية تقليدية والتي إذا ما طبقت بعناية يمكن أن تعطي نتائج مثيرة للاهتمام، أما الثاني فيتمثل بالجدران الحاملة ذات الأشكال المنحنية المنتجة من مواد تقليدية والتي تحقق نتاجات مبتكرة من خلال تصنيعها رقمياً بواسطة الروبوتات [١٤, p84].

تفرد النتاج Production Uniqueness :

قبل ظهور التكنولوجيا الرقمية ولا سيما أنظمة CAD/CAM، كانت عمليات البناء والتجميع المستخدمة في العمارة نتيجة مباشرة للصناعة التحويلية ومنطق الإنتاج الكمي والتوحيد القياسي Mass Production. فمن أجل أن تكون مجدية اقتصادياً، كانت مكونات المبنى طوال القرن العشرين تصنع في الغالب بشكل هندسي بسيط وكانت محدودة من حيث النوع لأن التعقيد الهندسي والتنوع يؤدي عادة

الى تكاليف عالية جداً ومن الصعوبة ان يتحقق، وقد تغير هذا الوضع من خلال طرق التصنيع الرقمي حيث (ظل الهدف بعد أن اعيد تفسيره)، اذ انه ليس لتعدد وتعقيد عناصر التصميم اي ارتباط مع العوامل الاقتصاديه أو الكفاءة في الإنتاج، فبدلاً من الإنتاج الكمي، أدى هذا التغيير الى تصنيع المكونات الفريدة والمتنوعه❋ بواسطة التخصيص الكمي Mass Customization والذي يمكن من خلاله على سبيل المثال من انتاج 1000 مكون فريد Unique وبأبعاد غير قياسية سواء على مستوى القشرة والمناطق المفصلية لها بالاضافة الى تحققه على مستوى الهياكل بنفس سهوله وفعالية إنتاجها بشكل متطابق [١٠, 275-276].

العمارة التنقلية Mobility Architecture:

أدى استخدام تقنيات التصنيع الرقمي الى ظهور نتاجات شكلية قابلة للتنقل، اذ تمتاز القطع المكونة لها بكونها قابلة للفك والشد لعدة مرات (وخاصةً للمباني المدعمة ذاتياً)، حيث يتم تثبيتها بواسطة قطع ومثبتات كالبراغي والصامولات والتي تعطيها هذه الامكانية كبديل عن عمليات الصب واللحام [, p40٣٢]. ويمكن تصنيف هذه المباني الى صنفين؛ يتضمن الاول المباني القابلة للتنقل بشكل كلي والتي يتم نقلها الى مناطق اخرى بعد انتفاء الحاجة منها كابنية المعارض ومراكز الفنون، اما الصنف الثاني فيتمثل في المباني التي فيها امكانية عزل الوحدات المتضررة ونقلها الى المصنع لغرض إجراء التعديلات الضرورية عليها وتثبيت القطع المحسنة أو لغرض تطويـــر أجزاء من المبنى دون المســاس بالاجزاء الاخرى [٣٢, p44].

المحور الثالث: الدراسة العملية

صياغة الفرضيات:

١. يعتمد التصنيع الرقمي على تكامل مستويات أساليب توليد التصميم الرقمي المصنع وتقنيات التصنيع الرقمي وإستراتيجيات إنتاجه.

٢. يؤثر اعتماد التصنيع الرقمي بمستوياته الثلاثة (أساليب التصميم، تقنيات التصنيع، إستراتيجيات الانتاج) بشكل إيجابي في النتاج المعماري المعاصر.

المستلزمات الأساسية للتطبيق

اسلوب القياس المستخدم :

أعتمد البحث على **المنهج الوصفي والدراسة التحليلية** ◊ لأختبار المشاريع المنتخبة للدراسة العملية.

مبررات اختيار العينة : تم انتخاب ثلاثة من المشاريع المعمارية بعد أن خضعت لمجموعة من المعايير وهي:

١. أن تكون هذه المشاريع منفذه على أرض الواقع ومنجزة حديثاً وتنتمي الى نفس الحقبة الزمنية والمتمثلة بالسنوات الخمس الاخيرة (من عام ٢٠١١ الى ٢٠١٥).

٢. تم اعتماد المشاريع الاخيرة المصممة من قبل أبرز المعماريين الذين يعتمدون على التصنيع الرقمي في انتاج عمائرهم الخاصة والتي تحتوي على وصف لفكر المصمم وكيفية تحقيقه رقمياً✦.

٣. تنوع المشاريع المنتخبة تبعاً لـتنوع أساليب التصميم وتقنيات التصنيع الرقمي المعتمدة في الانتاج؛ وكونها ذات توجه متقارب وظيفياً لغرض تسليط الضوء على الجوانب الشكلية والهيكلية الناتجة.

❋ التفرد يمثل مفهوم يعبر عن خصيصة أو سمة أو مجموع خصائص لشيء ما تميزه عن غيره لتعطيه التميز والاختلاف (www.merriam-webster.com).

◊ اعتمدت طريقة التحليل الوصفي المقارن لقلة المعرفة الحالية في الوسط المعماري المحلي حول مفهوم التصنيع الرقمي ولكون الباحث الاكثر إطلاعاً على المعلومات المختصة حوله.

✦تم اعتماد دراسة العمارة المصنعة fabricated architecture الطبعة الثانية لعام 2014 في محورها الاول التكنولوجيا الجديدة ومستقبل العمارة ودراسة Digital fabrication in architecture, engineering and construction لعام ٢٠١٤ والتي تم فيهما التطرق الى أبرز المعماريين الذين يعتمدون التصنيع الرقمي في إنتاج عمائرهم الخاصة ومن أهمهم: Zaha hadid، frank ghery، Daniel Libeskind، فريق الـ NOX.

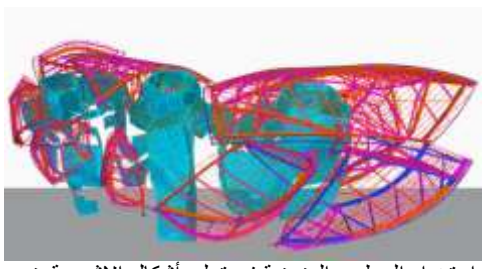
وصف المشاريع المنتخبة للتطبيق

مشروع معرض Chanel mobile art للمعمارية Zaha Hadid / ٢٠١١

افتتح جناح Chanel المتنقل المصمم من قبل Zaha Hadid في أول وجهاته في هونغ كونغ في عام ٢٠٠٨ ، وبعد جولة حول العالم بما فيها مدينة طوكيو ونيويورك طوال عامين إستقر بجانب معهد العالم العربي في باريس عام 2011. يتبع الشكل العام للجناح شكل Torus عن طريق سلسلة من العناصر المصممة معيارياًعلى شكل منحنيات مستمرة من السطوح والخطوط المنحنية [٣٣] تم تصنيع الهيكل المتموج المتكون من ٣٦ ذراع حديدية بطريقة لا تتشابة أي منها مع الاخرى بواسطة المكائن التي تستخدم شعاع الليزر ليتم بعد ذلك استخدام عمليات لي وتدوير لخلق التعديلات المطلوبه ليستند عليها الهيكل الرئيسي. أما تصنيع الالواح التي تغطي المبنى فيتم من خلال قوالب تشكيل مصنعة بواسطة عمليات حذف ميكانيكية متعدد المحاور لعمل ألواح التغليف الخارجية والداخلية للمبنى بطول ٦م وارتفاع ٢.٥م وبسطوح مموجة وملساء لتستقبل انعكاسات الوسائط الاعلانية media projection . ومن اهم مميزات هذا المبنى انه يتطلب ثلاثة أسابيع للتجميع وأسبوعين للتفكيك وهي خاصية ضرورية لجناح متنقل، بالاضافة الى ان عملية التجميع لا تحتاج الى خبرة البنائيين، حيث يمكن أن تنفذ من قبل عمال المســـرح [٣٤, p24-27] وكما موضح في الشكل (رقم-٤).

شكل (رقم-٤) مشروع معرض Chanel mobile art ، المصدر [www.designboom.com] hadid, 2011, p. 25]

٥-٣-٢ متحف Louis Vuitton في باريس،فرنسا للمعماري **Frank Gehry / ٢٠١٤**
استخدم في هذا المشروع عدة نماذج من التصميميات والتي تم تنظيمها في مجموعات تتبع تصميم مختلف جوانب الانشاء: كيف يتناسب المبنى مع الموقع والمساحات الداخلية وحجم الأشرعة الزجاجية. وقد استخدمت السطوح المنحنية في توليد أشكال الاشرعة غير القياسية، أما المضلعات غير المنتظمة فقد استخدمت في توليد أشكال الكتل الرئيسية الداعمة والتي سميت بالجبال الجليدية Icebergs. وقد تم إنتاج إنموذج أولي ذو قياس (١:٥٠) من خلال أدوات مسح ذو اذرع ثلاثيه الابعاد يدويه الشكل، وهذه الطريقة ميزت معظم اعمال Gehry [٣٥]. أما الأساس الهيكلي للمتحف فيتكون من سلسلة من الكتل الحديدة (الجبال الجليدية) التي تم ترتيبها حسب الشكل الهندسي للمجسم والتي تدعم الالواح الزجاجية العائمة التي تغطي المبنى بأكمله، حيث تم تصنيع هذه الجبال كأطر Frames من الفولاذ وتم تشكيل الواجهة من ١٦٠٠٠ لوح فريد من نوعه والتي تم تجميعها بنظام تحديد المواقع العالمي GPS. ومن اجل أن تبقى عملية تصنيع ألواح الكسوة الخارجية مقبولة من الناحية الاقتصادية والتقنية، فقد تم إنتاج الالواح الصحيحة هندسياً ذات المفاصل وملحقاتها من خلال مكائن تشكيلية مقيدة بقوالب ذات أشكال غير قياسية والتي تم تثبيتها في الموقع بواسطة رافعات مختصة بينما تطلب تثبيت وتجميع القطع الداخلية استخدام تقنية SCARA الرقمية لتحقيق النتائج المرجوة. أما الاشرعة الزجاجية والتي تعطي للمبنى رمزيته، فتطلب تنفيذها إيجاد وسيلة معقولة لتصنيع ٣٦٠٠ لوح زجاجي منحني يكمن في إنتاجها بطريقة معدلة بالحرارة لتحديد مستوى الحني والتي استندت على الهيكل الحديدي المعد خصيصاً لها لتخلق فصل واضح بين الهيكل والقشرة الداخلية [٣٦] وكما مبين في الشكل رقم (٥).


استخدام السطوح المنحنية في توليد أشكال الاشرعة غير القياسية

استخدام المضلعات غير المنتظمة في توليد أشكال الكتل الرئيسية الداعمة (الجبال الجليدية)

الترتيب المكاني للهياكل الرئيسية والثانوية وإرفاق الأشرعة المزججة إلى كتلة المبنى الرئيسية

تغير بنية الالواح الزجاجية قبل الحني ليتناسب شكلها مع الهيكل الحديدي الساند.

شكل (رقم-٥) متحف Louis Vuitton. المصدر [www.tekla.com]

مشروع معرض Vanke في ميلانو، ايطاليا للمعماري Daniel Libeskind / ٢٠١٥ :
مثل الشكل الملتوي للجناح والذي يعكس فكرة التنين عدداً من التحديات المعقدة والتي تم حلها من خلال خوارزمية حسابية لتوليد التخطيط وتقليل كمية ألواح التغليف المطلوبة [٣٧]. أما الهيكل فتوجب ان

يكون بسيطاً وعقلانياً للحد من التكاليف والتعقيد في الموقع، حيث تم تقسيم الشكل الهندسي الى مجموعة من المقاطع الحديدية المقطعة بمكائن CNC ليتم توليد هياكل ثانوية غير قياسية ويجري تغليفها بأكثر من ٤٠٠٠ لوح معدني والتي تم اعتماد مكائن اشعة الليزر فائقة الدقة في تقطيعها واعتماد الروبوتات في تنظيمها من خلال نظام تحديد المواقع العالميGPS وضمن عشرين تشكيل غير متطابق حجمياً ولكن ذا تشابه سطحي لخلق نمط تعبيري شبية بقشرة التنين، اذ تم تثبيت كل قطعة على منشأ معدني داعم تم تصنيعه بحيث لا تبدو الواحدة منها تلمس الأخرى بحيث تتشكل الظلال أسفل كلٍ منها [٣٣] وكما موضح في الشكل (رقم-٦).

شكل (رقم-٦) معرض Vanke. المصدر [www.ramboll.co.uk] [www.archdaily.com]

تطبيق مفردات القياس على المشاريع المنتخبة للدراسة العملية:

بعد عرض الوصف التفصيلي للمشاريع المنتخبة سيتم قياس المتغيرات لمفردات الاطار النظري على مشاريع الدراسة العملية باستخدام طريقة التحليل الوصفي المقارن بين المشاريع المنتخبة، وقد تم قياس المتغيرات عن طريق تحديد قيم تتراوح بيـــن ١-٠، حيث ان (٠ = قيمة غير متحققة، ١ = قيمة متحققة) كما في الجدول (رقم-١) ثم البدء بمناقشة النتائج.

النتائج الخاصة بالمشاريع المنتخبة للتطبيق.

النتائج المرتبطة بمفردة أساليب توليد التصميم الرقمي المصنع:

اظهرت نتائج التطبيق لهذه المفردة عن وجود تباين في نسب مفرداتها الثانوية، فبالنسبة لمفردة أساليب تمثيل الاشكال نجد تساوي في إستخدام المشبكات MESHES والـ NURBS، حيث حققت كل منهما نسبة (٦٦.٦٧%) من أساليب تمثيل الافكار، تمثلت NURBS في توليد سطوح منحنية وبنسبة ٤٤.٤٥% وتوليد مفاصل خطية وبنسبة ٢٢.٢٢%، اما MESHES فتمثلت في توليد اشكال هندسية مضلعة غير منتظمة الاضلاع وبنسبة ٤٤.٤٥% بالاضافة الى توليد الاشكال المنظمة الاضلاع وبنسبة ٢٢.٢٢%. أما بالنسبة الى الأساليب المساعدة على توليد الأفكار فقد حقق التصميم المعياري نسبة (٦٦.٦٦%) في المشاريع، بينما اقتصر إستخدام التصميم الخوارزمي على نسبة (٣٣.٣٣%) فيها، والذي تجسد من خلال التصميم استخدام خوارزميات حسابية والجدول (رقم-١) يبين النتائج الخاصة بالقيم التفصيلية.

النتائج المرتبطة بمفردة تقنيات التصنيع الرقمي:

كشفت نتائج التطبيق لهذه المفردة في مفردتها الثانوية الاولى المتضمنة التقنيات التي تعمل من العالم الرقمي الى العالم المادي تفوق واضح في إستخدام تقنيات التصنيع القطعي، حيث حققت نسبة (١٠٠%) في اعتمادها للمشاريع المنتخبة للدراسة العملية، اذ شملت نسبة (٥٠%) منها مكائن القطع الميكانيكي الثنائي الابعاد المتمثل بمكائن الـ CNC ونسبة (٥٠%) استخدام مكائن القطع الالكتروني ثنائية الابعاد من خلال شعاع الليزر. ثم تلتها كل من تقنية التصنيع بالاضافة والتصنيع التكويني وتقنيات التجميع والتي حققت نسبة (٦٦.٦٧%) في المشاريع، تمثل التصنيع بالاضافة من خلال استخدام مكائن تشكيلية بنسبة ٤٤.٤٥% واستخدام الطابعات ثلاثية الابعاد بنسبة ٢٢.٢٢% ، اما تقنية التصنيع التكويني فتمثل بعمليات تغير الطور واللي والتدوير بينما تمثلت تقنية التجميع في اعتماد التجميع الرقمي من خلال نظام GPS وبنسبة ٤٤.٤٥% واعتماد التجميع الروبوتي بنسبة ٢٢.٢٢% من خلال تقنية SCARA. اما تقنية التصنيع الطرحي فقد حلت أخيراً، اذ حققت نسبة (٣٣.٣٣%) في المشاريع تمثلت في عمليات الحذف الميكانيكية متعددة المحاور. أما تقنيات التصنيع التي تعمل من العالم المادي الى العالم الرقمي فحققت نسبة (٣٣.٣٣%) في المشاريع المنتخبة للدراسة العملية تمثلت في استخدام ادوات المسح ثلاثية الابعاد ذات الاذرع والجدول (رقم-١) يوضح النتائج الخاصة بالقيم التفصيلية.

النتائج المرتبطة بمفردة إستراتيجيات الإنتاج في التصنيع الرقمي:

اظهرت نتائج التطبيق لهذه المفردة عن وجود تباين في نسب مفرداتها الثانوية، حيث نلاحظ ان أكثر أستراتيجية تم اعتمادها في المشاريع المنتخبة للدراسة العملية هي إستراتيجية الاجتزاء، اذ حققت نسبة (١٠٠%) من مشاريع الدراسة العملية، شمل نسبة (٦٦.٦٧) منها تقسيم الشكل الهندسي للسطح الى مقاطع يتم تزويدها بالمادة أو القشرة في حين حققت نسبة (٣٣.٣٣%) في ترتيب المكونات حسب الشكل الهندسي للسطح. ثم تلتها كل من إستراتيجيتي التثليث والتشكيل والتي حققت كل منها نسبة (٦٦.٦٧%) في المشاريع، تمثل التثليث من خلال وضع العناصر معاً لتشكيل قشرة سطحية اما التشكيل فم خلال تشكيل المكونات البنائية بالحجم الكامل. وقد حلت اخيراً إستراتيجية الطي، اذ تم اعتمادها بنسبة (٣٣.٣٣%) عن طريق تطوير السطوح ثنائية الأبعاد إلى أشكال ثلاثية الأبعاد قشرية والجدول (رقم-١) يوضح النتائج الخاصة بالقيم التفصيلية.

وبذلك نلاحظ صحة الفرضية التي تشير الى ان 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.

٦-٤ النتائج المرتبطة بمفردة تأثير التصنيع الرقمي على النتاج المعماري:

بالنسبة الى مفردة تحسين سطوح المباني في علاقة الشكل بالهيكل نجد بان مفردة اعتماد السطوح التكاملية في المشاريع المنتخبة قد حققت نسبة (٦٦.٦٧%)، اذ شمل (٣٣.٣٣%) منها تحقيق الموازنة بين القشرة والهيكل الى تكوين طبقة خاصة بذلك التركيب، ونسبة (٣٣.٣٣%%) تم فيها خلق فصل واضح بين القشرة والهيكل. تليها السطوح التكتونية والتي حققت نسبة (٣٣.٣٣%) في المشاريع متمثلة بكون الهيكل يندرج ضمنياً مع القشرة. واخيراً، فقد حقق اعتماد السطوح التقليدية نسبة (٣٣.٣٣%) من المشاريع من خلال إنتاج المكونات البنائية من مواد تقليدية بواسطة الروبوتات. أما تفرد النتاج، فنجد انها حققت اعلى ظهور على مستوى إنتاج الهياكل غير قياسية وبنسبة (١٠٠%)، بينما حقق إنتاج المكونات غير القياسية نسبة (٦٦.٦٧%) تمثل (٤٤.٤٥%) منها على مستوى الاجزاء البنائية ونسبة (٢٢.٢٢%) في المناطق المفصلية. أما من حيث إنتاج عمارة تنقلية، فنجد انها حققت نسبة (١٦.٦٧%) في المشاريع من خلال نقل المباني الى مناطق اخرى بعد انتفاء الحاجة، وتحقيق نسبة (٦٦.٦٧) في المشاريع على مستوى نقل القطع البنائية لغرض إجراء التعديلات الضرورية، والتي تمثلت بنسبة (٣٣.٣٣%) في امكانية ابدال القطع البنائية وحققت نسبة (١٦.٦٧%) في امكانية تطوير القطع البنائية المنتجة موقعياً والجدول رقم (١) يوضح النتائج الخاصة بالقيم التفصيلية.

نلاحظ صحة الفرضية التي تشير الى ان اعتماد التصنيع الرقمي بمستوياته الثلاثة يؤثر بشكل إيجابي على النتاج المعماري المعاصر، اذا اظهرت النتائج دوره في تحسين سطوح المباني الناتجة من خلال إعتماد السطوح التكاملية والتكتونيـة والتقليدية. وكذلك دوره في إنتج عمائر متفردة، اذ بينت النتائج ظهور التفرد على مستوى الاجزاء البنائية أو الهياكل غير القياسية. واخيراً دوره الايجابي في انتاج عمائر تنقلية، حيث أظهرت النتائج غالبية المشاريع تعمد الى إستخدام التصنيع الرقمي في إنتاج مباني لها إمكانية نقل القطع البنائية لغرض إجراء التعديلات أو لنقل المبنى باكمله.

الاستنتاجات النهائية:

الاستنتاجات المرتبطة بالاطار النظري:

١. يعمل التصنيع الرقمي على سد الفجوة بين التمثيل والبناء والتي تتيح للمصمم الوصول إلى مجالات جديدة لم تستكشف وخاصة للاشكال الحرة وذات التعقيد الشكلي .

٢. يتحقق التصنيع الرقمي بثلاث مراحل تتمثل في:

١. اعتماد أساليب توليد التصميم الرقمي المصنع والتي تقوم على تمثيل افكار المصمم والمساعدة على التحكم بالمظهر والخصائص الشكلية الآخرى الخاصة بانتاجها مادياً، او اعتماد الاساليب التي تعمل كعامل مساعد في توليد افكاره والتي لايمكن حصر قدراتها وحدودها لانها تعتمد على قدرات وحدود الخيال لدى المصمم المستخدم لها.

٢. 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 لالات التصنيع الرقمي قراءتها والبدء بتنفيذها. أما مراحل انتاج اي مشروع رقمي فتتمثل في:

١. بعد القيام بعملية التصميم الرقمي يتم تقطيع المشروع المصمم الى اجزاء عن طريق برامج النمذجة الرقمية لكي يسهل تصنيعها باعتماد التقنية المناسبة لها.

٢. عند البدء بعملية التنفيذ الرقمي يفضل تصنيع إنموذج مصغر لما يراد انشاءه بحجمه الطبيعي، ويمكن تكرار هذه العملية عدة مرات لمراجعة التصميم من خلال استخدام الماسح الضوئي .

٣. انتاج المبنى يتم من خلال تصنيع القطع البنائية بشكل مباشر او يتم انجازه على شكل قوالب تصب فيها المواد البنائية لاحقاً ليتم بعد ذلك تجميعها وتركيبها في الموقع.

٤. إستراتيجيات إنتاج التصنيع الرقمي والتي تعمل على دمج أفكار التصميم مع تقنيات التصنيع بطريقة متماسكة وإستكشافية والتي تسمح بتحسين طرق التصميم المولد والتصنيع المتكامل لأقصى حد ممكن في العمارة، والتي تأتي بقيودها وإمكانياتها الخاصة.

٥. يؤثر التصنيع الرقمي بشكل ايجابي في النتاج المتحقق من خلال عدت جوانب تمثلت بمايلي:

١. تحسين سطوح المباني الناتجة والتي أدت الى اعادة التفكير في تصميم الهياكل والاكساء السطحي للنتاجات من خلال ثلاث طرق تتمثل؛ بتحقيق التعقيدات التكتونية، أو بتكامل التركيب بين الهيكل والقشرة، أو بالنوع المصنع من مواد تقليدية ولكن بأعتماد تقنيات ألكترونية (كالروبوتات).

٢. حقق التصنيع الرقمي نتاجات متفردة ومتنوعة من خلال تصنيع المكونات غير القياسية على مستوى القشرة والهياكل المنشئية.

٣. ظهور نمط جديد من العمائر ذات المزايا التنقلية Mobility Architecture وما تحققه من امكانيات جديدة تتعلق بالاستفادة القصوى من المبنى المنتج بعد انتفاء الحاجة منه في مكان معين ليتم نقله الى أخر يحقق الاحتياج المطلوب بالاضافة الى إمكانية إجراء تحسين وصيانة للقطع المتضررة وغير المرغوب فيها.

الاستنتاجات المرتبطة بالاطار العملي :

الاستنتاجات الخاصة بمتغيرات المفردة الاولى (أساليب توليد التصميم الرقمي المصنع):

١. يكون أكثر إستخدام للمشبكات في توليد أشكال هندسية مضلعة غير منتظمة الاضلاع لصعوبة توليدها في الطرق الاخرى ضمن بيئة CAD.

٢. يتمثل أكثر استخدام للاساليب المساعدة على توليد الافكار في التصميم المعياري لاحتواء برامجه التصميمية على واجهة تفاعلية تعمل كحلقة وصل بين المصمم وخوارزميات الحاسوب وهو

أمر لا يلقى فيه المصمم صعوبة في تعلم استخدامه بالاضافة الى نتائجه المتميزة والتي لايمكن توليدها بطرق التصميم التقليدية

الاستنتاجات الخاصة بمتغيرات المفردة الثانية (تقنيات التصنيع الرقمي):

١. تظهر الحاجة الى استخدام (الطابعات ثلاثية الابعاد) لانتاج النماذج الاولية لغرض دعم الفكرة التصميمية بالانموذج المادي من جهة وتحديد نقاط القوة والضعف في الشكل الناتج.

٢. يتمثل أكثر إستخدام للتقنيات التي تعمل على تحويل العالم الرقمي الى مادي في تقنية التصنيع القطعي نتيجة استخداماتها المتنوعة على مستوى الهيكل والقشرة وانتاج القوالب ولرخص ثمنها متمثلة باستخدام مكائن الـ CNC ودقة الاجزاء التصنيعية الناتجة منها متمثلة بمكائن القطع الالكتروني بالليزر.

٣. يتم استخدام تقنيات التصنيع الرقمي في المشاريع بحسب خصوصية وحاجة كل مشروع والتي تمثل الاستخدام الاكبر منها في إنتاج القطع البنائية بشكل مباشر وتلاها إنتاج القوالب التي يتم ملؤها بالمواد البنائية.

٤. يتمثل أكثر إستخدام للتقنيات التي تعمل على تحويل العالم المادي الى رقمي من خلال المسح الخاص بالنماذج الاولية لدوره المتميز في مراجعة التصاميم المعدة قبل الشروع في عملية التنفيذ.

الاستنتاجات الخاصة بمتغيرات المفردة الثالثة (إستراتيجيات التصنيع الرقمي):

١. تتنوع إستراتيجيات التصنيع الرقمي في تعاملها مع أساليب توليد التصميم وتقنيات تحقيقه لتوفير عمليات مثيرة ومبتكرة، ويمكن اعتماد أكثر من إستراتيجية لتمكن المصممين بأن يحسنوا تصاميمهم المصنعة.

٢. تتركز إستراتيجيات التصنيع الرقمي في المكونات البنائية ذات الحجم الكامل اكثر مما هي عليه في الهياكل الساندة أو الزخارف الفريدة غير المتكررة.

٧-٤ الاستنتاجات الخاصة بمتغيرات المفردة الرابعة (تأثير التصنيع الرقمي على إنتاج المباني):

١. يتركز العمل في تحسين سطوح المباني على اعتماد السطوح التكاملية وذلك بسبب سهولة إنشائها وقلة كلفتها خاصةً للفضاءات الواسعة دون الحاجة الى عناصر إسناد وسطية مثل المعارض ومراكز الفنون.

٢. يعتمد العمل بالسطوح التكتونية tectonics على طبيعة المواد المستخدمة في تدعيمها وخاصة بالنوع الذي يندرج فيه الهيكل ضمنياً مع القشرة.

٣. يتركز تفرد النتاجات في المشاريع المعمارية بشكل أكبر في الاجزاء المصنعة مقارنة مع القطع التصنيعية للمناطق المفصلية.

٤. تظهر ميزة العمارة التنقلية Mobility Architecture بشكل كبير في أجزاء المباني من خلال إمكانية إستبدال القطع المتضررة وغير المرغوب فيها أو تطوير لمناطق محددة دون غيرها، بينما يتم إنتاج مباني قابلة للتنقل بشكل كامل لتؤدي احتياجات خاصة كإستيفاء الحاجة من وجودها مثل المعارض المؤقته.

التوصيات:

١. يوصى البحث بشكل عام ان يلم المعماري بمعرفته حول أساليب التمثيل والتوليد التصميمي الرقمي والتي تعمل على تحرير أفكاره تصميمياً لمعرفته بامكانية تنفيذها رقمياً.

٢. 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.

٣. يوصى البحث بصنع نموذج مادي من المشروع المراد إنجازه رقمياً بتقنية الاضافة بواسطة الطابعات ثلاثية الابعاد للامكانيات التفصيلية التي يقدمها وامكانية ارتباطه رقمياً مرة ثانية مع الحاسوب.

٤. ينبغي للتجريب والتخصيص الذي توفره تقنيات التصنيع الرقمي أن يقدم ثروة من الفرص للراغبين في تنميتها، اذ ان الاستخدامات المتوقعة من إحدى الأدوات قد تؤدي إلى تطبيقات أخرى ولذلك ينبغي أن تعمق هذه الأدوات طبيعتنا الفضولية نحو التغيير والتجديد بدلا من أن تصبح مجرد مختزلة ومريحة.

٥. يرى البحث إن استخدام السطوح التكاملية من الالواح والهياكل الحديدية الداعمة لها هو الحل الامثل للاستخدام في الواقع المحلي لتوفر المواد وملائمة الكلف وقلة الحاجة الى خبرات كبيرة.

٦. اعتماد التصنيع الرقمي في إنتاج مباني تنقلية للاستفادة منها في قطاعات تخصصية تحتاج لمثل هكذا ميزة كقطاع السياحة.

جدول رقم(١) تحليل نتائج القيم الممكنة لمفردات القياس على المشاريع الثلاثة المنتخبة للدراسة العملية، المصدر (الباحثين)

المفردة الرئيسية	المفردات الثانوية		القيم الممكنة		المشاريع المنتخبة للدراسة العملية			مجموع القيم	نسبة التحقق المئوية في المشاريع المنتخبة	
					1	2	3		نسبة تحقق المفردات الثانوية	نسبة تحقق القيم التفصيلية
أساليب توليد التصميم الرقمي المصنع	أساليب تمثيل الأفكار	NURBS	توليد سطوح منحنية		١	١	٠	٢	%٦٦.٦٧	%٤٤.٤٥
			توليد مفاصل خطية		١	٠	٠	١		%٢٢.٢٢
		Meshes	توليد أشكال هندسية مضلعة منتظمة الاضلاع		٠	٠	١	١		%٢٢.٢٢
			توليد أشكال هندسية مضلعة غير منتظمة الاضلاع		٠	١	١	٢	%٦٦.٦٧	%٤٤.٤٥
	أساليب مساعدة على توليد الأفكار	التصميم المعياري	التصميم من خلال اعطاء بدائل متعددة للشكل الهندسي		٠	١	٠	١	%٦٦.٦٦	%٣٣.٣٣
			التصميم عن طريق عملية اختيار البديل الافضل		١	٠	٠	١		%٣٣.٣٣
		التصميم الخوارزمي	التصميم باستخدام لغات البرمجة		٠	٠	٠	٠	%٣٣.٣٣	%٠.٠٠
			التصميم باستخدام خوارزميات حسابية		٠	٠	١	١		%٣٣.٣٣
تقنيات التصنيع الرقمي	من العالم الرقمي الى العالم المادي	تقنية التصنيع القطعي	قطع ميكانيكي ثنائي الابعاد	مكائن CNC ثنائية الابعاد	٠	١	١	٢	%١٠٠	%٥٠
				مكائن المياه النفاثة	٠	٠	٠	٠		%٠.٠٠
			قطع ألكتروني ثنائي الابعاد	شعاع الليزر	١	٠	١	٢		%٥٠
				قوس البلازما	٠	٠	٠	٠		%٠.٠٠
		تقنية التصنيع الطرحي	عمليات حذف ميكانيكية متعدد المحاور		١	٠	٠	١	%٣٣.٣٣	%٣٣.٣٣
			عمليات حذف الكترونية		٠	٠	٠	٠		%٠.٠٠
		تقنية التصنيع بالاضافة	طابعات ثلاثية الالبعاد		٠	٠	١	١	%٦٦.٦٦	%٢٢.٢٢
			مكائن تشكيلية		٠	١	١	٢		%٤٤.٤٥
		تقنية التصنيع التكويني	عمليات تغيير الطور	محوري	٠	١	٠	١	%٦٦.٦٧	%٢٢.٢٢
				مقيد بالسطح	٠	١	٠	١		%٢٢.٢٢

			عمليات اللي والتدوير		١	٠	٠	١		%٢٢.٢٢
			عمليات الربط والتصلب		٠	٠	٠	٠		%٠.٠٠
		تقنيات التجميع	التجميع الرقمي	المسح الإلكتروني وتحديد المواقع بالليزر	٠	٠	٠	٠		%٠.٠٠
				نظام تحديد المواقع العالمي GPS	٠	١	١	٢	%٦٦.٦٧	%٤٤.٤٥
			التجميع الروبوتي	روبوت التجميع المتوافق الانتقائي	٠	٠	٠	٠		%٠.٠٠
				SCARA	٠	١	٠	١		%٢٢.٢٢
	من العالم المادي الى العالم الرقمي	مسح ضوئي ثلاثي الابعاد خاص بالنماذج الاولية	أدوات مسح ذو اذرع ثلاثيه الابعاد يدويه الشكل		٠	١	٠	١	%٣٣.٣٣	%٣٣.٣٣
			أدوات مسح تعمل بالتماس مع سطح الجسم الممسوح		٠	٠	٠	٠		%٠.٠٠
		مسح ضوئي ثلاثي الابعاد خاص بالابنية	أدوات مسح تستخدم الضوء الليزري		٠	٠	٠	٠		%٠.٠٠
استراتيجيات الانتاج في التصنيع الرقمي	الإجتزاء		ترتيب المكونات حسب الشكل الهندسي للسطح		٠	١	٠	٠	%١٠٠	%٣٣.٣٣
			تقسيم الشكل الهندسي للسطح الى مقاطع يتم تزويدها بالمادة أو القشرة		١	٠	١	٢		%٦٦.٦٧
	التثليث		وضع العناصر معاً لتشكيل قشرة سطحية		٠	١	١	٢	%٦٦.٦٧	%٦٦.٦٧
			وضع العناصر معاً لتشكيل نظام هيكلي مرتب		٠	٠	٠	٠		%٠.٠٠
	الطي		تطوير السطوح ثنائية الأبعاد إلى أشكال ثلاثية الأبعاد قشرية		٠	١	٠	١	%٣٣.٣٣	%٣٣.٣٣
			تحويل السطوح المسطحة الى تكوينات شكلية معقدة ذات خصائص هيكلية		٠	٠	٠	٠		%٠.٠٠
	التشكيل		تشكيل المكونات البنائية ذات الحجم الكامل	قالب معين	١	٠	١	٢	%٦٦.٦٧	%٦٦.٦٧
				شكل معين	٠	٠	٠	٠		%٠.٠٠
			ازالة المواد من سطح مستوي	قالب معين	٠	٠	٠	٠		%٠.٠٠
				شكل معين	٠	٠	٠	٠		%٠.٠٠
تأثير التصنيع الرقمي على النتاج المعماري	تحسين سطوح المباني(علاقة الشكل بالهيكل) تفرد النتاج		سطوح تكتونية	الهيكل جزء لايتجزء من القشرة	٠	٠	٠	٠	%٣٣.٣٣	%٠.٠٠
				الهيكل يندرج ضمنياً مع	١	٠	٠	١		%٣٣.٣٣

			القشرة						
		سطوح تكاملية	تحقيق الموازنة بين القشرة والهيكل الى تكوين طبقة خاصة بذلك التركيب	٠	٠	١	١	%٦٦.٦٧	%٣٣.٣٣
			خلق فصل واضح بين القشرة والهيكل	٠	١	٠	١		%٣٣.٣٣
		سطوح تقليدية	إرفاق القشرة المتعرجة بشبكة هيكلية تقليدية	٠	٠	٠	٠	%٣٣.٣٣	%٠.٠٠
			انتاج المكونات البنائية من مواد تقليدية بواسطة الروبوتات	٠	٠	١	١		%٣٣.٣٣
	تفرد النتاج	إنتاج مكونات غير قياسية	على مستوى الاجزاء	١	١	٠	٢	%٦٦.٦٧	%٤٤.٤٥
			على مستوى المناطق المفصلية	٠	١	٠	١		%٢٢.٢٢
		إنتاج هياكل غير قياسية		١	١	١	٣	%١٠٠	%١٠٠
	إنتاج عمارة تنقلية	نقل المباني الى مناطق اخرى بعد انتفاء الحاجة		١	٠	٠	١	%٦٦.٦٧	%١٦.٦٧
		نقل القطع البنائية لغرض إجراء التعديلات	ابدال القطع البنائية	١	٠	١	٢		%٣٣.٣٣
			تطوير القطع المنتجة	١	٠	٠	١		%١٦.٦٧

المصادر:

[١] القاموس المحيط، ٢٠٠٥، ص١٥٤

[2] www.merriam-webster.com

[3] Grube , Aswoldw, Industrial Building and Factories , germany,1999.

[4] oxford 8th edition, 2012.

[5] Kris L. Weeks, Fabricating A Future Architecture, master Thesis, University of Massachusetts, USA, 2012.

[6] Lwamoto, L., digital fabrication: architecture and material techniques. Princeton architectural press, New York, 2009.

[7] Barrow, L., Digital Design And Making - 30 Years After, Master Thesis, Mississippi State University, USA, 2006.

[8] Kashyap, S., Digital Making, Master of Science in Architecture Studies, Massachusetts Institute of Technology, USA, 2004.

[9] Corser, R., Fabricated Architecture: Selected Readind In Digital Design And Manufacturing, Second Addition, Princeton Architectural Press, USA, 2014.

[10] Kolarevic, B., Architecture in the digital Age: Design and Manufacturing, Taylor & Francis Group, second edition, New York and London, 2005.
[11] Macdonald, Angus, structural design for the architecture, architectural press, London, 1997.
[12] Anderson, M., Prefabricated Prototypes, Princeton Arch, 2006.
[13] Davies, C., The Prefabricated Home, Reaktion Books Ltd, UK, 2005.
[14] Dunn, N., Digital Fabrication In Architecture, Laurence King Publication Ltd., London, 2012.
[15] Picon, Antoine, Digital Culture in Architecture: An Introduction for the Design Profession, Birkhauser, Basel, 2010.
[16] Guney, F., The Influence Of Digital Technologies On The Interaction Of Design And Manufacturing Processes, Master Thesis, The Middle East Technical University, UAE, 2006.
[17] Seely, J., Digital Fabrication in the Architectural Design Process, Master Thesis, University of Massachusetts, USA.
[18] Fiona, J; Others, - Frank Gehry- Architect, USA.
[19] Marcos, C., New materiality and digital fabrication, International conference on Innovative Methods in Product Design, Venice, Italy.
[20] Abel, Chris, Architecture, Technology And Process. Architectural Press, 2004.
[21] Griffith, K., Design Computing of Complex-Curved Geometry using Digital Fabrication, Master Theses, Massachusetts Institute Of Technology, USA, 2006.
[22] William, M., "Remaking in a Post – Processed Culture ", Wiley – Academy, John Wiley & Sons Ltd., Italy, 2007.
[23] Kottas, D., Contemporary Digital Architecture: Design and Techniques, Barcelona, 2010.
[24] Miller, A., Digital Fabrication: Superseding Hand Crafted Techniques, master degree, University of Manchester, England, 2010.
[25] Kloft, H., Engineering of Freeform Architecture, "article in Fabricated architecture, prineceton architectural press, USA, 2014.
[26] Burry, M., between intuition and process: parametric design and rapid prototyping, Spon Press.
[27] www.reprap.org
[28] Caneparo, L., Digital Fabrication in Architecture, Engineering and Construction, Springer Dordrecht Heidelberg, New York & London, 2014.
[29] Linn, C., Creating Sleek Metal Skins for Buildings, Architectural Record, 2000.
[30] Mcgee, W., Robotic fabrication in Architecture Art and Design, 3th edition, USA, 2014.
[31] Johnson, J., Frank Gehry in Pop-Up, USA, 2007.
[32] Agkathidis, A., Digital Manufacturing: In Design and Architecture (Qr-Reader), Bis publishers, second printing, 2011.
[33] www.archdaily.com
[34] Hadid, Z., Zaha hadid un architecture, English edition, Canada, 2011.
[35] www.architectural-review.com
[36]www.tekla.com
[37] http://blog.ramboll.com/rcd