Journal of Engineering Sciences
Assiut University
Faculty of Engineering
Vol. 47
No. 2
March 2019
PP. 236–249

إسترتيجيات وعمليات التصنيع الرقمى وتأثيرها على الفكر التصميمى للغلاف الخارجي للمبنى

عماد كامل فهيم متى

قسم الهندسة المعمارية - كلية الهندسة بالمطرية – جامعة حلوان
Email: emad_matta@m-eng.helwan.edu.eg, emad_k_f@yahoo.com

Received 10 December 2018; Accepted 30 December 2018

الملخص

يهدف البحث إلى دراسة تقليل الفجوة بين التصميم والتصنيع في العمارة، من خلال دراسة إمكانيات التصميم والتصنيع في العصر الرقمي، ولاسيما بسبب التداخل المتزايد بين عمليتى التصميم والتصنيع في الآونة الأخيرة مع تحول العمارة إلى صناعة شأنها شأن باقي المنتجات الأخرى، كما يهدف البحث إلى الوصول إلى طريقة عمل واضحة لتصميم الغلاف الخارجى المتأثر بتقنيات التصنيع الرقمي والتي بإتباعها يمكن تصميم غلاف خارجى يتناسب مع إمكانيات العصر الرقمى، وللوصول إلى هدف البحث تم تقسيم الدراسة إلى جزأين، الأول هو الدراسة النظرية لمعرفة اتجاهات تصميم الغلاف الخارجى واستراتيجيات وعمليات التصنيع في العصر الرقمى، والجزء الآخر هو الدراسة التحليلية والتى من خلالها تم دراسة أهم المشاريع التي أثر استخدام التصنيع الرقمى على تصميم الغلاف الخارجي بها، ومن خلال تحليل نتائج الدراسة النظرية والتحليلية أمكن التوصل إلى منهجية والتي يوصى البحث بإتباعها لتصميم غلاف خارجي يتناسب مع قدرات العصر الرقمي ويتناسب مع الإمكانيات الهائلة التي إتيحت للمعماريين من خلال التصنيع الرقمي.

الكلمات المفتاحية: التصنيع الرقمي، عمليات التصنيع الرقمي، إستراتيجيات التصنيع الرقمي، الفكر التصميمي.

1. المقدمة

في ظل عالم عنوانه السرعة وهويتـه التقدم، وفي ظل المضي قدماً للتطوير في جميع المجالات، كان للعمارة نصيباً من هذا التطور، ليس فقط في الفكر التصميمى ولكن أيضاً في التصنيع الرقمي، حيث لم تعـد العمارة تلك الكتلة الفنية النحتية والتي يعتمد نجاحها على قدرة المعمارى وحسه الفني والهندسي وحسب، بل أصبح جزءاً كبيراً من الفكر التصميمى يعتمد على الاستفادة من تطور الصناعة، مع الإحتفاظ بكونها علم هندسي وفن من أرقى الفنون.

ويمكن تلخيص العمارة في نشاطين أساسيين، هما التصميم والتصنيع، وفي الغالب يستمر الحوار بينهما على مدار العملية التصميمية، بدءاً من الفكرة إلى التكوين النهائي مروراً بجميع مراحل التصميم بسبب التأثير كل منهما على الآخر.

بالتالي أصبح من الضروري أن يستفيد المعماري من عمليات وإستراتيجيات التصنيع الرقمي لتطوير فكره التصميمي، حيث أنه يتيح من خلال عدة عمليات وإستراتيجيات إمكانيات كبيـــرة لتصنيع عناصر الغلاف الخارجي بمختلف اتجـاهاته التصميمية، مما يدفع المعماري لمساحة غيـر محدودة من الإبداع في الفكر التصميمي والذي لا يمكن تصوره أو تصنيعه بالطرق التقليدية، وبالتالي يصبح المعماري قادراً على إدراك آفاق جـديدة للإبـداع في الفكر التصميمى.

1.1. إشكالية البحث

تتلخص المشكلة البحثية في أن **أغلب الأفكار التصميمية في الوقت الحـالي عند العديد من المعمـاريين لا تستفيد من إمكانيات عمليات وإستراتيجيات التصنيـع الرقمي، مما يحد القدرة على الإبداع في تشكيل الكتل المعمارية.**

2.1. هدف البحث

الهدف الرئيسي للبحث هو دراسة أهم عمليات وإستراتيجيات التصنيع الرقمي التي يمكن أن يعتمد عليها المعمارى أثناء العملية التصميمية، واستخلاص أهم العمليات والإستراتيجيات التي تساعده على تطوير فكره التقليدى في التصميم.

3.1. منهجية البحث

تنقسم الدراسة إلى جزأين رئيسين، وهما الدراسة النظرية والدراسة التحليلية.

(أولاً) الدراسة النظرية: تتناول الدراسة التعرف على ماهية اتجاهات تصميم الغلاف الخارجى التعريفات المرتبطة به، وأهم عمليات وإستراتيجيات التصنيع الرقمى التي يمكن أن يستفيد منها المعماري خلال مراحل العملية التصميمية المختلفة.

(ثانيا) الدراسة التحليلية: تهدف الدراسة التحليلية إلى دراسة بعض الأمثلة العالمية الناجحة وتحليلها بهدف قياس نسب استخدام إستراتيجيات وعمليات التصنيع الرقمى في تلك المشروعات، واستخلاص أهم عمليات وإستراتيجيات التصنيع الرقمى وأكثرها استخداماً من قبل المعماريين العالميين، والتي تم الاعتماد عليها في تصميم الغلاف الخارجى لتلك المبانى.

2. الدراسة النظرية

1.2. الغلاف الخارجى للمبنى

الغلاف الخارجى لأي مبنى هو التعبير المباشر عن العنصر الوظيفي والعنصر الانشائي المستخدم في المبنى، وهو حلقة الوصل بين الداخل والخارج كالرؤية أو دخول وخروج المبنى، واتصال الخارج بالداخل كالتأثر بالضوضاء أو الحرارة أو ما غير ذلك من العوامل الخارجية[1].

2.2. تصميم الغلاف الخارجي في العصر الرقمي

أثرت الطفرة الرقمية وتطبيقات الحاسب الألى المستخدمة في العمارة تأثيراً مباشراً في فكر وطرق تصميم وتشكيل الغلاف الخارجى للمبانى، ومن هذه اللغات المعمارية الجديدة لتشكيل وتكوين الغلاف الخارجى:

1.2.2. التصميم التكرارى للغلاف الخارجى

يعتمد التصميم التكرارى على وحدات هندسية متكررة، والتى تجمع فكرتها بين تشابه الوحدات التكرارية الجزئية مع اختلاف المقياس الحجمى والتي تتسم بالديناميكية، والتكوينات المعقدة التي تعتمد على عدد هائل من الوحدات التكرارية[2].

2.2.2. التصميم الإنحنائى للغلاف الخارجى

أن دخول البرامج الرقمية لعمل النماذج في التصميم المعمارى أدى إلى استخدام أشكال وأسطح ذات أقواس متعددة ومنحنيات مزدوجة، وتتميز بقدرتها على تحويل الأشكال الهندسية والخطوط المستقيمة إلى أسطح منحنية وكتل نحتية[3].

3.2.2. التصميم الإنتفاخى للغلاف الخارجى

يعتمد على التشكيل الكروى كأساس للتشكيل وبإستخدام عمليات التشكيل الرقمية عن طريق الدمج بين مجسمين أو أكثر مع إختلاف أحجامهم ونسب كلاً منهم، وهذا الاختلاف يحدد كيفية التلاحم بينهم[2].

4.2.2. التصميم المنطوى للغلاف الخارجى

يعتمد على تصميم الغلاف الخارج للمبنى بطريقة طي الاسطح، وهى تعد من أشهر طرق التصميم في العصر الرقمي لما تتيحه من إمكانيات هائلة ومساحات إبداعية كبيرة وسهوله نسبية في التصنيع والتنفيذ[4].

5.2.2. التصميم الخوارزمى للغلاف الخارجي

هو أداه من أدوات التكوين تعتمد بشكل أساسى على تحويل الأشكال الهندسية إلى رموز وقيم بارامترية تتغير عشوائياً وينتج من ذلك مجموعة من الأشكال، ويتم الاختيار بين هذه الأشكال المولدة بواسطة بعض المعادلات[3].

6.2.2. التصميم البارامترى للغلاف الخارجي

تعتمد فكرة التشكيلات البارامترية على تقسيم الأشكال المعقدة إلى نسيج من الأشكال البسيطة يمكن إنشائها وتغيير أبعادها وتشكيلها من خلال التحكم في عدد من المتغيرات الرياضية التي تحكمها، مما يتيح الفرصة لتخيل وتصميم أعقد التشكيلات المنحنية والموجية من خلال التكوينات البارامترية القابلة للتحكم والتغيير خلال مراحل التصميم المختلفة[2].

شكل (1): نماذج للتصميمات المختلفة للغلاف الخارجى للمبنى فى العصر الرقمى

3. التصنيع الرقمى Digital fabrication

التصنيع الرقمى "Digital Fabrication" هو إيجاد مجسم مادى "Physical Model" من نموذج رقمى"Model Digital"، وهي عملية تعتمد في الأساس على إنشاء نموذج رقمى، ومن ثم تحويله إلى مجسم مادى بإستخدام ماكينة قادرة على الإنشاء والإخراج مباشرة من النموذج الرقمى الذى تم إنشاؤه مسبقاً من خلال برامج الكاد "CAD"، وكما أن مصطلح التصنيع الرقمى "Digital Fabrication" يستخدم عند إنشاء عناصر أو مجسمات باستخدام الماكينات الرقمية، يستخدم أيضاً عند تصنيع عناصر أو مجسمات يدوياً باستخدام عناصر مصنعة رقمياً مسبقاً مثل تصنيع تكوين خرساني باستخدام قوالب"Molds" معد رقمياً من خلال تطبيقات برامج الكاد "CAD".

ومن أهم المصطلحات المرتبطة بالتصنيع الرقمى هي مصطلح "CAD-CAM"، وهو من المتعارف علىه أن "CAD" هو التصميم بمساعدة الحاسب الآلي شاملاً تطبيقاته وأدواته، أما مصطلح "CAM" هو التصنيع بمساعدة الحاسب الآلي "Computer-Aided-Manufacturing"، ويعد هذا المصطلح ملازم ومرتبط بالكاد "CAD" لضرورة تحويل النموذج إلى نموذج رقمي ليتوافق مع مصطلح "CAM" وبرامجه، ومن ثم تصنيعه بالماكينات الرقمية، فبرامج "CAM" تعمل على تحديد مسارات أدوات القطع المختلفة والتي من خلالها يتم تحويل مواد الخام إلى مجسمات النماذج الرقمية ثلاثية الأبعاد[5].

4. إستراتيجيات التصنيع الرقمى Digital fabrication strategies

1.4. القطع Cutting

تعد إستراتيجية القطع هي الإستراتيجية المشتركة بين جميع الإستراتيجيات، حيث تعمل على تحويل المواد الخام إلى ألواح يمكن استخدامها مباشرة للتركيب في الغلاف الخارجى، أو تعمل على تحضير المواد الخام لإستخدامها بالإستراتيجيات الأخرى، وتعتمد على قطع المواد الخام بأدوات مثل السكين، المنشار أو الليزر، ويتم تحويل الأشكال الرقمية ثنائية الأبعاد إلى مجموعة نقاط يتحرك من خلالها القاطع لإنتاج المسطحات أو الألواح المصممة[6].

2.4. الطحن Milling

إستراتيجية الطحن هي إستراتيجية مشابهة للقطع ولكن لها القدرة على إزالة أجزاء من المواد الخام، أي حفر كميات معينه محددة رقمياً من مواد الخام، مما يُمكنها من القدرة على إنتاج أشكال وتكوينات ثلاثية الأبعاد وليس فقط ثنائية الأبعاد مثل القطع "Cutting"، ولهذه الإستراتيجية ماكينات عديدة وذات وظائف وإمكانيات متعددة مثل القطع في ثلاثة أو أربعة أو خمسة محاور، كما تختلف تكلفة تلك الإستراتيجية بناء على درجة النعومة والوقت المستغرق في الطحن[6].

3.4. الطى والثنى Bending & Folding

إستراتيجية الطى والثنى هي إستراتيجية تعتمد في الأساس على استراتيجية القطع، فبعد تجهيز ألواح المواد الخام (ثنائية الأبعاد) يتم من خلال الطى والثنى تحويل تلك الألواح إلى مجسمات (ثلاثية الأبعاد)،

فالثني يعمل على تشكيل التكوينات الأسطوانية مثل المواسير، والتي تستخدم في العناصر الإنشائية لهيكل الغلاف الخارجي، والطي يعمل على تشكيل الألواح المسطحة عن طريق الوصلات سواء كانت وصلات جافة "Dry Joints" أو ملفوفة "Lapped Joints "[6].

4.4. الصب والقوالب Casting & Molds

الصب هو إلقاء مادة سائلة أو شبه سائلة في قوالب ليتم تشكيلها بعد جفافها، كما تعد إستراتيجية الصب في حد ذاتها ليست إستراتيجية رقمية، ولكن عند استخدام قوالب للصب معدة مسبقاً بطريقة رقمية تكتسب تلك الإستراتيجية قدرات هائلة في التشكيل وتكوين الكتل من مواد خام تقليدية مثل الخرسانة[6].

5. عمليات التصنيع الرقمى Digital fabrication process

1.5. التصنيع ثنائي الأبعاد 2D Fabrication

واحدة من أسهل طرق التصنيع في العمارة وأكثرها انتشاراً، لما تمتلكه تلك الطريقة من مرونة في التصنيع واستهلاك رشيد نسبياً للمواد الخام، وكذلك أيضا توافر الماكينات المستخدمة في تلك العملية ورخصها بالمقارنة بباقي العمليات.

كما أن عملية التصنيع الثنائي الأبعاد تعتمد على تقسيم الأسطح المكونة للغلاف الخارجي للمبنى إلى عدد من الألواح والتي بتجميعها يتم الحصول على التكوين النهائي لسطح الغلاف الخارجي للمبنى، وهى طريقة بسيطة جداً في التصنيع ولكن يمكن استخدامها لإنتاج أسطح غاية في التعقيد للغلاف الخارجي[3].

فنجد مثلاً أن في مشروع الإحساس بالموسيقى للمعمارى فرانك جيرى الذى قام بتصميم الغلاف الخارجى للمبنى بإستخدام برنامج الكاتيا "CATIA" ومن ثم تصميم الهيكل الإنشائي للغلاف الخارجي بواسطة الحديد الصلب، وتحويل جميع أسطح المبنى إلى وحدات صغيرة من ألواح الألمونيوم والتي صممها بطريقه رقمية حيث أن كل وحدة أو لوح لها أبعاد مختلفة عن الأخرى، والجدير بالذكر أنه جارى أستخدم 21 ألف لوح لتكوين أسطح الغلاف الخارجى للمبنى[7].

شكل (2): استخدام التصنيع الثنائى الأبعاد في الغلاف الخارجى للمبنى [8]

2.5. التصنيع بالإضافة Additive fabrication

تعد طريقة التصنيع بالإضافة من أكثر الطرق استخداماً في تصنيع النماذج الأولية لدراسة تكوين الغلاف الخارجى وكتل المبانى، لما تتميز به من سرعة عالية في التصنيع، حيث إنها تعتمد على تكوين الأشكال والأحجام التي يصعب تكوينها بالطرق التقليدية، وذلك بطريقة تبسيط هذه الأشكال وتحويلها إلى مجموعة من الطبقات العديدة والتي عند تجميعها تكوّن الشكل أو الكتلة المراد تصنيعها، ومن أشهر طرق التصنيع بالإضافة[3]:

- تصنيع التكوينات المصمتة "Solid free form fabrication"
- التصنيع السريع للعناصر المتكررة "Rapid prototyping"
- التصنيع بطريقة سطح المكتب "Desktop manufacturing"

تجتمع هذه الطرق في مبدأ أساسى هو التصنيع بواسطة الطبقات على الرغم من الاختلاف في طرق تنفيذها، حيث يتم تقسيم النموذج الثلاثى الأبعاد المراد تصنيعه رقمياً إلى مجموعة من الشرائح أو الطبقات، والتي يخزن علها رقمياً مجموعة من المعلومات ومن ثم تصنيع تلك الطبقات واحدة تلو الأخرى، وصولاً الي المجسم النهائى[9].

تم استخدام ماكينات عديدة لهذه الطريقة في التصنيع، وتختلف كل ماكينة عن الأخرى وفقاً للغرض من عملية التصنيع أو المواد والمقاسات التي يتم تنفيذها عليها، حيث تم تشغيل أول ماكينة عام ١٩٨٨م، والتي أُطلق عليها " Stereo Lithography " والتي تعني الماكينة التي تقوم بتجسيم الأشكال والكتل عن طريق التصنيع، ثم أخذ التطور التكنولوجى في ماكينات التجسيم الثلاثي الأبعاد في التزايد والنمو بشكل كبير حتى استخدم الحفر بالليزر والإضاءة والمواد الكيماوية، ففي هذه الماكينة يتم استخدام البوليمرات السائلة، والتي يتم تحويلها إلى مادة صلبة عند تعرضها إلى أشعة الليزر، حيث يتم وضع المادة السائلة (البوليمرات) في وعاء كبير ويتم تصليبها ثم البدء في أخذ الشرائح العرضية الرفيعة جداً، والتي يمكن أن تصل إلى أجزاء من المليمتر للمادة وفي عدد كبير من الشرائح التي عند تجميعها يتكون الشكل النهائى المراد تكوينه[3].

شكل (3): إستخدام التصنيع بالإضافة [10]

3.5. التصنيع بالحذف *Subtractive fabrication*

يعتمد التصنيع بطريقة الطرح على إزالة حجم معين من المواد الصلبة بحيث تكون النتيجة هي التكوين المطلوب أو بإزالة هذا الحجم يتم تصنيع قالب "Mold" يمكن صب بداخلة مواد سائلة مثل الخرسانة، وللتصنيع بالحذف عدة مستويات بداية من المستوى الأول وهو الحفر أو الحذف أحادي البعد مثل المخرطة "Lathe" وثنائي البعد مثل أجهزة التوجيه "Routers"، والتي تشبه كثيراً طرق التصنيع ثنائية الأبعاد، ولكن لها القدرة على الحفر بعمق يتم تحديده رقمياً حيث يمكن تحريك قواطع تلك الأجهزة في المحورين (X-Y) لحفر أو حذف كتلة ما من المواد الخام، أما المستويات الأخرى بداية من الماكينات ثلاثية الأبعاد والرباعية والخماسية والسداسية الأبعاد فلها القدرة على تحريك أداة القطع في اتجاهات ومستويات عديده (X-Y-Z) مما يجعل تلك الطريقة في التصنيع الأكثر قدرة في تشكيل مواد الخام وتطويعها بل والتغيير في خواصها.

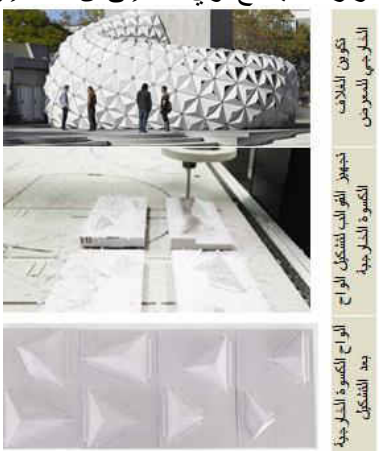
ومن مميزات تلك الطريقة هي المساحة الواسعة من المواد الخام التي تستطيع تلك الماكينات التعامل معها من الفوم إلي الحديد، مروراً بجميع الخامات الأخرى من الأخشاب والمعادن واللدائن[11].

ولقد قام فرانك جيرى بالنحت على الفوم لإنتاج قوالب يمكن صب الخرسانة بها للوصول لتكوين الغلاف الخارجى المصمم ببرج زولهوف "Zollhof" مستخدماً جهاز التحكم الرقمى بالحاسب الآلي "CNC"، ومن ثم تجهيز الحوائط سابقة التجهيز وتجميعها في الموقع[12].

شكل (4): تصنيع الحوائط الخرسانية لمبنى زولهوف "Zollhof" سابقة التجهيز[13].

4.5. التصنيع بالتكوينات Formative fabrication

تعتمد هذه الطريقة من التصنيع على البرمجة المسبقة للماكينات التي ستستخدم في تكوين الأشكال المطلوبة، إلى جانب الطاقة المؤثرة على المواد التيسيتم تعريضها لها لكي يسهل تشكيلها، وهذه الطريقة مفيدة بشكل كبير في تصنيع وتشكيل المواد المعدنية سواء كانت في شكل ألواح معدنية "Metal Panels" مسطحة أو في شكل مواسير معدنية أو قطاعات معدنية غير منتظمة الشكل"Tubes or Double curved surfaces, compound surfaces", ويتم تعريض تلك الألواح إلى درجات حرارة عالية مع قوي الشد إلى أن تصل إلى مرحلة اللدونة ليسهل تشكيلها[14].



شكل (5): استخدام التصنيع بالتكوينات في جناح أرب سكين [15]

- تشكيل الأسطح والألواح: في هذه الطريقة يتم استخدام ماكينة التحكم الرقمي بالحاسوب "CNC" في تشكيل قوالب من مواد مختلفة مثل الخشب عن طريق عملية الحذف، ومن ثم يتم تثبيت تلك القوالب وباستخدام إحدى القوى مثل ضغط الهواء أو البخار يتم استخدامها تشكيل الألواح المطلوبة[16].
- تشكيل المواسير والعناصر الإنشائية: في هذه الطريقة يتم استخدام ماكينة التحكم الرقمي الانحنائي " Numerically Controlled Bending"، والذي يتم تثبيت فيها المواسير المصنعة مسبقاً وعن طريق البرامج الرقمية تعمل الماكينة على تقويس "Bending" تلك المواسير وتحويلها للأشكال المطلوبة[3].

كما يوضح الشكل جناح أرب سكين "ArboSkin pavilion" بشتوتجارت، والذى تم فيه استخدام ألواح البلاستيك في الغلاف الخارجي المشكل بالتشكيل الحراري على قوالب خشب مُصنعة عن طريق ماكينة "CNC".

شكل (6): إستخدام عمليـــــة التجميع في تنفيذ الغلاف الخارجي [17]

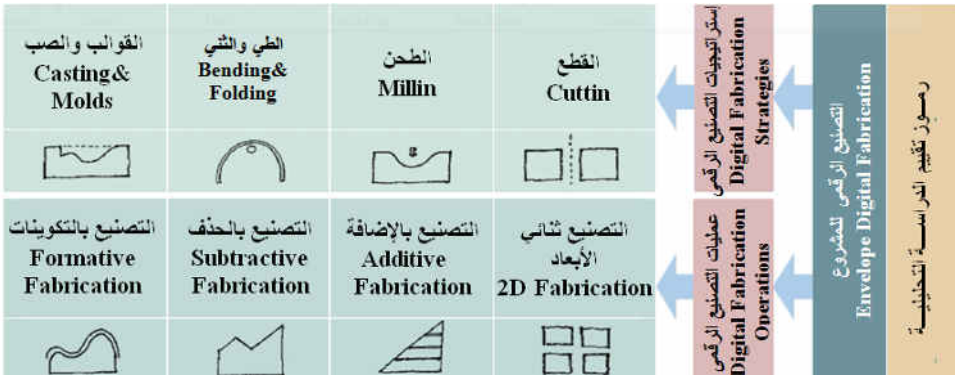
5.5. التصنيع بالتجميع Assembly

تأتي مرحلة التجميع بعد واحدة أو مجموعة من عمليات التصنيع السابقة، فبعد تصنيع أجزاء وعناصر الغلاف الخارجي، تأتي مرحلة تجميع هذه العناصر في الموقع لكي تعطى التكوين النهائي للمبنى، وهي المرحلة النهائية في تنفيذ المبنى، حيث يتم الإعتماد على التكنولوجيا الرقمية بشكل شبه كامل، دون تدخل أي من الطرق التقليدية (مثل القياس بواسطة شريط الأبعاد، أو استخدام المهارات الحرفية واليدوية)، فعملية التصنيع تعتمد على النموذج الرقمي الثلاثي الأبعاد المعد مسبقاً، وعلى مرحلة تكويد العناصر والأجزاء التي تم تصنيعها، بحيث يتم وضعها في مواقعها باستخدام التكويد "Coding" وبدقة عالية جداً، فكل عنصر من العناصر المحددة مسبقاً يحدد مكانه بواسطة رقم مكوّد بحيث يكون لكل عنصر رقم لا يتكرر، وليكن مثلا: (Rw M0125) 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 (0125) بأنه رقم الشريحة والذي يحدد خصائصها الشكلية، وموضعها على الحائط، والذي يشمل أيضاً مكانه بالنسبة للمحاور (X, Y, Z) [3]

وفي بعض الأحيان يتم إستخدام عدة بدائل لطرق التجميع بطريقة رقمية بإستخدام برامج وتطبيقات الحاسب، مثل استخدام عدة بدائل لتجميع الألواح المعدنية "Metal Panels"، ويظهر ذلك كما هو موضح بالشكل في مشروع الإحساس بالموسيقى "Experience Music Project Museum" للمعمارى فرانك جيرى[18].

6. الدراسة التحليلية

اختصت الدراسة التحليلية بدراسة إستراتيجيات وعمليات التصنيع الرقمى في عينة عشوائية من بعض المشروعات العالمية، وفيها يتم تحليل الإتجاه العام للتصنيع وتحديد العمليات المستخدمة في التصنيع، وفيما يلي النموذج المقترح لرموز التقييم الخاصة بالدراسة التحليلية.



1.6. مركز حيدر علييف الثقافي *Heydar Aliyev Center*

موقع المشروع	باكو–أذربيجان	سنة الإنشاء	2012
المعمارى	زها حديد	شركة التنفيذ	دايا

صمم المبنى بحيث يكون جزءً لا يتجزأ من البيئة المحيطة، وتم تصنيع الهيكل من الحديد الصلب للتعامل مع التكوين الحر، و تم تغطية الهيكل بألواح من الفايبر جلاس البوليستر والخرسانية. وجميع الألواح سابقة التجهيز بطريقة الصب في قوالب خشبية[19].

الغلاف الخارجي للمبني ذو تصميم انحنائى

إستراتيجيات التصنيع الرقمى Digital Fabrication Strategies	القطع Cutting	الطحن Milling	الطى والثنى Bending& Folding	القوالب والصب Casting& Molds	عمليات التصنيع الرقمى Digital Fabrication Operations	التصنيع ثنائى الأبعاد 2D Fabrication	التصنيع بالإضافة Additive Fabrication	التصنيع بالحذف Subtractive Fabrication	التصنيع بالتكوينات Formative Fabrication

استخدام إستراتيجية القطع باستخدام الماكينات لتصنيع قوالب لصب خامة " GFRP" للهيكل و" GFRC" لتشكيل الألواح متعددة الإنحناءات.

استخدام عملية التصنيع بالتكوينات لعمل الهيكل الخارجي باستخدام ماكينات طي وثني والمواسير المعدنية الإنشائية.

2.6. مركز مدينة قرطبة *Bicentennial civic Center*

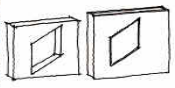
موقع المشروع	الأرجنتين	سنة الإنشاء	2012
المعمارى	لويسو موريني	شركة التنفيذ	مجموعة أياينج

أول مجمع إدارى بمقاطعة قرطبة يقع علي حافة المركز التاريخى للمدينة، تم تنفيذ الغلاف الخارجى عن طريق صب الخرسانة في قوالب معدة مسبقاً مصنعة من الواح معدنية، مع الاستعانة بقوالب موجبة من الفوم لعمل الفتحات معينة الشكل[20].

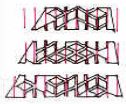
الغلاف الخارجي للمبنى ذو تصميم منطوى

إستراتيجيات التصنيع الرقمى Digital Fabrication Strategies	القطع Cutting	الطحن Milling	الطى والثنى Bending& Folding	القوالب والصب Casting& Molds	عمليات التصنيع الرقمى Digital Fabrication Operations	التصنيع ثنائى الأبعاد 2D Fabrication	التصنيع بالإضافة Additive Fabrication	التصنيع بالحذف Subtractive Fabrication	التصنيع بالتكوينات Formative Fabrication

تكمن إستراتيجية التصنيع للغلاف الخارجى للمبنى في التصنيع بواسطة الصب في القوالب.



استخدام التصنيع ثنائى الأبعاد في تصنيع القوالب المعدنية والإضافة في صب الخرسانة باستخدام قوالب الفوم لعمل الفتحات.



3.6. مشروع متروبول باراسول *Metropol parasol*

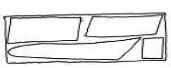
موقع المشروع	أسبانيا	سنة الإنشاء	2011
المعمارى	ج. مير	شركة التنفيذ	أروب

يعد المبنى أيقونة جديدة لمدينة أشبيلية التي تعد من أروع الواجهات الثقافية بأسبانيا. الشكل الهندسي للهيكل عبارة عن شكل حر يشبه الشجر، استخدام مواد خام متنوعة بناء على المتطلبات الإنشائية والمعمارية المتنوعة[21].

الغلاف الخارجي للمبنى ذو تصميم إنحنائى و اتفاخى

إستراتيجيات التصنيع الرقمى Digital Fabrication Strategies	القطع Cutting	الطحن Milling	الطى والثنى Bending& Folding	القوالب والصب Casting& Molds	عمليات التصنيع الرقمى Digital Fabrication Operations	التصنيع ثنائى الأبعاد 2D Fabrication	التصنيع بالإضافة Additive Fabrication	التصنيع بالحذف Subtractive Fabrication	التصنيع بالتكوينات Formative Fabrication

استخدام إستراتيجية القطع في تحويل المجسم مجموعة قطاعات للقطع من اللوح مواد الخام.



استخدام عملية التصنيع ثنائي الأبعاد في القطاعات الخشبية باستخدام أجهزة التحكم الرقمي (الحاسوب).

4.6. مركز بومبيدو ميتز *Centre Pompidou - Metz*

موقع المشروع	فرنسا	سنة الإنشاء	2010
المعمارى	شيجرو بان	شركة التنفيذ	ميتز متروبول

المشروع مستوحى من قبعة القش الصينية الكبيرة وهو فرع لمتحف الفنون المعاصرة والحديثة. المركز عبارة عن بنية هيكلية سداسية تغطي مجموعة من المساحات الداخلية، والسقف يتكون من وحدات سداسية تشبه انماط أعمال القش والخيزران تم غطاء الهيكل بطبقة من الالياف الزجاجية والسليكون PTFE [22].

الغلاف الخارجى للمبنى ذو تصميم إنحنائى و بارامترى

إستراتيجيات التصنيع الرقمى Digital Fabrication Strategies	القطع Cutting	الطحن Milling	الطى والثنى Bending& Folding	القوالب والصب Casting& Molds	عمليات التصنيع الرقمى Digital Fabrication Operations	التصنيع ثنائى الأبعاد 2D Fabrication	التصنيع بالإضافة Additive Fabrication	التصنيع بالحذف Subtractive Fabrication	التصنيع بالتكوينات Formative Fabrication

تكمن إستراتيجية القطع في التكوين ثلاثي الأبعاد لوحدات أو العناصر المكونة للغلاف الخارجي.

استخدام التصنيع بالتكوينات في تطويع العناصر الخشبية بعد استخدام عملية التصنيع ثنائي الإبعاد.

5.6. مشروع الجناح الإيطالى *Italian Pavilion*

موقع المشروع	أيطاليا	سنة الإنشاء	2015
المعمارى	نيميسي	شركة التنفيذ	إيطاليانا للإنشاءات

يعد المشروع تحدياً معمارياً وإنشائياً كبيراً بسبب الابتكار والتعقيد فى التصميم الذي بدوره تطلب انشاء أكثر تعقيداً. مادة البايوسيمنت "Biodynamic Cement" التي قدمتها شركة أسمنت ايطاليانا كانت هي المادة المبتكرة المستخدمة في عمل أكثرمن ٧٠٠ لوح للواجهة[23].

الغلاف الخارجى للمبنى ذو تصميم خوارزمى

إستراتيجيات التصنيع الرقمى Digital Fabrication Strategies	القطع Cutting	الطحن Milling	الطى والثنى Bending& Folding	القوالب والصب Casting& Molds	عمليات التصنيع الرقمى Digital Fabrication Operations	التصنيع ثنائى الأبعاد 2D Fabrication	التصنيع بالإضافة Additive Fabrication	التصنيع بالحذف Subtractive Fabrication	التصنيع بالتكوينات Formative Fabrication

استخدام استراتيجية الصب و القوالب للقدرة علي تنفيذ التكوين المعقد للكسوات.

استخدام التصنيع بالتكوينات لطي مواسير الهيكل الإنشائي للسقف والحذف لتصنيع قوالب لصب الكسوات والإضافة في عزل البايوسمنت في القوالب.

6.6. مشروع متحف سومايا *Museo Soumaya*

موقع المشروع	المكسيك	سنة الإنشاء	2011
المعمارى	فريناندو رومير	شركة التنفيذ	أي. جي. أر

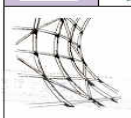
قام بإنشاء المتحف المكسيكى "كارلوس سليم" ليخلد ذكرى زوجته حيث كانت هوايتهم جمع الأعمال الفنية والتي بلغ عددها ٦٠ ألف عمل فني. تم تغطية الهيكل الخارجي للمتحف بحوالي 16 ألف من ألواح سداسية الشكل من الألمنيوم ذات اللون الفضى اللامع[24].

الغلاف الخارجى للمبنى ذو تصميم انحنائى

إستراتيجيات التصنيع الرقمى Digital Fabrication Strategies	القطع Cutting	الطحن Milling	الطى والثنى Bending& Folding	القوالب والصب Casting& Molds	عمليات التصنيع الرقمى Digital Fabrication Operations	التصنيع ثنائى الأبعاد 2D Fabrication	التصنيع بالإضافة Additive Fabrication	التصنيع بالحذف Subtractive Fabrication	التصنيع بالتكوينات Formative Fabrication

تكمن إستراتيجية القطع في تصنيع كسوات الغلاف الخارجي المصنعة من الإلمنيوم وإستراتيجية الطي والثني لتصنيع الهيكل الإنشائي للغلاف الخارجي.

استخدام التصنيع بالتكوينات لتشكيل و عمل الانحناءات اللازمة للهيكل الإنشائي المعدني للغلاف الخارجي.



7.6. مشروع إمتداد متحف الفن الحديث SFMOMA

موقع المشروع	سان فرانسيسكو	سنة الإنشاء	2016
المعمارى	سنوهيتا	شركة التنفيذ	كريسلروشركائه

المبنى توسع للمبنى الأساسى الذي صممه المعمارى السويسرى بوتا فى التسعينيات، الواجهة مستوحاة من مياه سان فرانسيسكو، تحتوي على أكثر من ٧٠٠ لوح مثبت على نظام حوائط ستائرية لعمل الأشرطة المتموجة الأفقية ذات التصميم الفريد، كل لوح من الألواح مصنوع من قالب بشكل هندسي مختلف[25].

الغلاف الخارجي للمبنى ذو تصميم انحنائى

إستراتيجيات التصنيع الرقمى Digital Fabrication Strategies	القطع Cutting	الطحن Milling	الطى والثنى Bending& Folding	القوالب والصب Casting& Molds	عمليات التصنيع الرقمى Digital Fabrication Operations	التصنيع ثنائى الأبعاد 2D Fabrication	التصنيع بالإضافة Additive Fabrication	التصنيع بالحذف Subtractive Fabrication	التصنيع بالتكوينات Formative Fabrication

استخدام استراتيجية الطحن للوصول للتكوين المطلوب في كسوات الغلاف الخارجي

استخدام عملية التصنيع بالحذف عن طريق إزالة طبقات من ألواح المادة الخام وألواح الالياف البلاستكية المقواه.

8.6. مشروع مول ليفربول Liverpool Department Store

موقع المشروع	المكسيك	سنة الإنشاء	2010
المعمارى	روجكيند اركيتكتوس	شركة التنفيذ	اكيمارت

مع افتتاح خط مترو أنفاق جديد بجانب موقع السوق التجاري، وما لاحقه من زيادة حركة المرور جعل من الضروري تغيير واجهة المبنى القائم التي تشبه"الصندوق". قام المعماري بعمل غلاف خارجي مزدوج علي شكل خلايا العسل السداسية مصنوعة من الألومنيوم والألياف الزجاجية حولها إطار من الصلب[26].

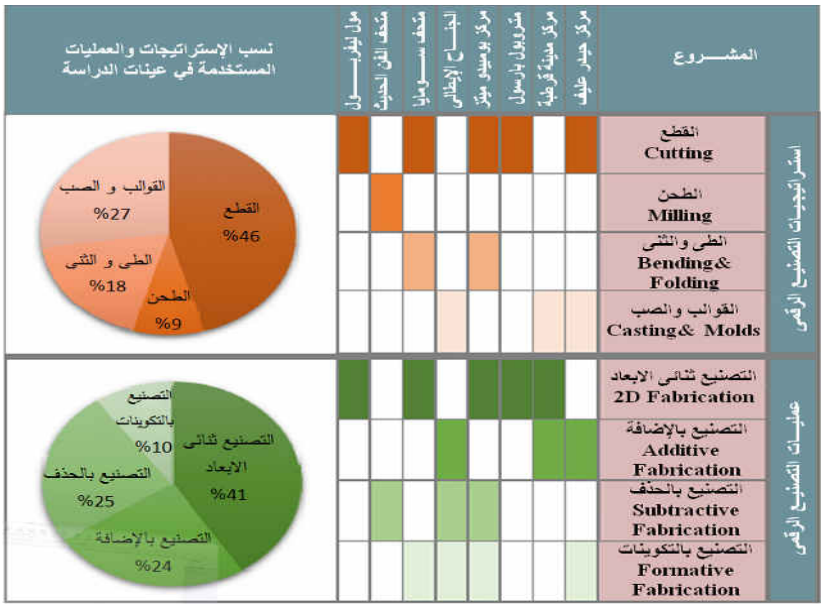
الغلاف الخارجي للمبنى ذو تصميم تكرارى

إستراتيجيات التصنيع الرقمى Digital Fabrication Strategies	القطع Cutting	الطحن Milling	الطى والثنى Bending& Folding	القوالب والصب Casting& Molds	عمليات التصنيع الرقمى Digital Fabrication Operations	التصنيع ثنائى الأبعاد 2D Fabrication	التصنيع بالإضافة Additive Fabrication	التصنيع بالحذف Subtractive Fabrication	التصنيع بالتكوينات Formative Fabrication

استخدام إستراتيجية القطع لتصنيع كسوات الغلاف الخارجي.

استخدام التصنيع ثنائى الأبعاد لعمل الكسوات من ألواح الألمنيوم وإنتاج تكوينات إنسيابية التشكيل.

6.6. تفريغ نتائج الدراسة التحليلية



7. النتائج

7.1. نتائج الدراسة النظرية

أ- أصبح التصنيع الرقمى من الأدوات الرئيسية في العملية التصميمية، كما أصبح من الضرورى مواكبة المعماريين للتطور اللاحق بمجال عمليات التصنيع الرقمى لتأثيرها المباشر على طرق التصميم وطريقة تفكير المصممين.
ب- أصبحت العمارة الآن صناعة تتأثر بكل تكنولوجيا جديدة وتتفاعل مع كل تطور في كل العلوم مثل باقى الصناعات كالسيارات والسفن والطائرات.
ج- التصنيع الرقمى أصبح من أهم الأدوات التي يجب على المعمارى التسلح بها للقدرة على إنتاج غلاف خارجى يتناسب مع قدرات العصر الرقمى، كما أصبح من الضرورة معرفة الإستراتيجيات والعمليات المستخدمة في التصنيع الرقمى ليس فقط للقدرة على تصنيع عناصر الغلاف الخارجى، ولكن لابتكار طرق تصنيع تتناسب مع فكرته التصميمية.
د- يعمل التصنيع الرقمي على تزويد المعمارى بالحس الإنشائي الذي بدأ يفقده بسبب انفصال المعماري عن طرق التصنيع والخامات المستخدمة.
ه- لا يمكن الفصل بين تصميم الغلاف الخارجي وعمليات وإستراتيجيات التصنيع الرقمي في الغلاف الخارجي، فالتصميم بالعصر الرقمي يعمل كوحده واحدة لعمل منتج يتناسب مع قدرات العصر الرقمي المتطورة تصميماً وتصنيعاً.

7.2. النتـــائج الدراسة التحليلية

أ . إستراتيجيات التصنيع الرقمى: أظهرت الدراسة التحليلية أن إستراتيجيات التصنيع الرقمى للغلاف الخارجى تعتمد بالأكثر على إستراتيجية القطع "Cutting" ٤٦ % بسبب سهولة تلك الإستراتيجية في التنفيذ، وانتشار الأجهزة المسؤولة عن تحقيق تلك الإستراتيجية واقتصادية تلك الإستراتيجية في التعامل مع المواد الخام.
ب. عمليات التصنيع الرقمي:
- أظهرت الدراسة التحليلية مستوى متقارب للغاية في استخدام عمليات التصنيع الرقمى الخمس، مما يدل على ضرورة استخدام أغلب العمليات في تصنيع الغلاف الخارجى الواحد بكل مشروع.
- استخدام التصنيع ثنائى الأبعاد "2D Fabriction" بأغلب المشاريع ٤١ %، بسبب فاعليته وتداخله مع أغلب اتجاهات تصميم الغلاف الخارجى بالعصر الرقمى.
- ارتباط عملية الحذف "Subtractive Fabrication" بصناعة القوالب أكثر من ارتباطها بالتصنيع المباشر للغلاف الخارجي أو كسوات الغلاف الخارجى.
- ارتباط التصنيع بالتكوينات "Formative Fabrication" بتصميم الغلاف الخارجى ذي اتجاه التصميم الانحنائى خصوصاً في تصنيع الهيكل الإنشائي الحامل لكسوات الغلاف.
- ارتباط عملية التجميع "Assembly" بجميع عمليات التصنيع الرقمى، فهي المسؤولة عن تركيب عناصر الغلاف بالموقع وتكويد تلك العناصر رقمياً.

7.3. مراجعة فرضية الدراسة

من خلال النتائج السابقة أثبتت الدراسة صحة الفروض الأتية:

- التصنيع الرقمى في العمارة لا ينفصل عن تصميم الغلاف الخارجى، حيث أصبحت الآن صناعة مكتملة الأركان.
- معرفة المعمارى بطرق ونظم التصنيع الرقمى المرتبطة بالعمارة تعمل على تطور قدراته وأفاقه الإبداعية في التصميم.
- معرفة المعمارى بالبرامج والآلات والخامات المستخدمة في التصنيع الرقمى يتيح له مساحة إبداعية غير تقليدية تتناسب مع قدرات العصر الرقمى.

4.7. منهجية تصميم وتصنيع غلاف خارجى في العصر الرقمى

من خلال تحليل نتائج الدراستين النظرية والتحليلية أمكن التوصل الى منهجية يمكن باتباعها تصميم غلاف خارجي متطور يتناسب مع قدرات العصر الرقمي والإمكانيات الهائلة التي أُتيحت للمعماريين من خلال التصنيع الرقمي.

تصميم الغلاف الخارجى	التصميم التكرارى Fractal Design	التصميم الإنحنائى Curvilinear Design	التصميم الإنتفاخى Blobs Design	التصميم المنطوى Folded Design	التصميم الخوارزمى Algoritlums design	التصميم البارامترى Parametric design
إستراتيجيات التصنيع الرقمى	إستراتيجية القطع	إستراتيجية القطع – الصب والقوالب – الطى والثنى	إستراتيجية القطع	إستراتيجية الصب والقوالب	إستراتيجية الصب والقوالب	إستراتيجية القطع – الطى والثنى
عمليات التصنيع الرقمى	- التصنيع ثنائى الابعاد. - التصنيع بالحذف.	- التصنيع بالإضافة. - التصنيع بالتكوينات.	- التصنيع ثنائى الابعاد.	- التصنيع ثنائى الابعاد. - التصنيع بالتكوينات.	- التصنيع ثنائى الابعاد. - التصنيع بالتكوينات.	- التصنيع ثنائى الابعاد. - التصنيع بالحذف.

10. توصيـــات البحث:

1/10 التوصيات العامة

أ - يحتـاج المعمـــارى أن يكـون علـى علـم بأحـدث مـا وصـلت إليـه عمليـات وإسـتراتيجيات التصـنيع الرقمـى وتطبيـق تلـك الـنظم بالممارسـة المعماريـة العمليـة، لمـا لهـا مـن تـأثير مباشـر على تنمية قدراته الإبداعية في التصميم.

ب- يجـب المعمـــارى أن يكـــون علـى علـم بخـواص المـــواد، لـيس فقـط لاستخدامـــها، ولكـن للابتكار طرق توظيفها.

ج- يـوصـــى البحـث بإتبـاع المنهجيـة المستنتجـة لتصـميم الغـلاف الخـارجى للمبنـى فـي العصـر الرقمـى وذلـك عـن طريـق إتبـاع إسـتراتيجيات وعمليـات التصـنيع الرقمـى المناسـبة لكـل نـوع مـن أنواع التصميم التالية:

- التصـميم التكـرارى والـذى يعتمـد علـى إسـتراتيجية القطـع وعمليـات التصـنيع ثنـائى الأبعـاد والتصنيع بالحذف.
- التصميم الإنحنائى والذى يعتمد على إستراتيجية القطع، الصب والقوالب والطى وعمليات التصنيع بالإضافة وبالتكوينات.
- التصميم الإنتفاخى والذى يعتمد على إستراتيجية القطع وعمليات التصنيع ثنائى الإبعاد.
- التصميم المنطوى والذى يعتمد على إستراتيجية الصب والقوالب وعمليات التصنيع ثنائى الأبعاد والتصنيع بالتكوينات.
- التصميم الخوارزمى والذى يعتمد على إستراتيجية الصب والقوالب وعمليات التصنيع ثنائى الأبعاد والتصنيع بالتكوينات.
- التصميم البارامترى والذى يعتمد على إستراتيجية القطع والطى والثنى وعمليات التصنيع ثنائى الأبعاد والتصنيع بالحذف.

المراجع

[1]Syed, Asif, (2012), **Advanced building technologies for sustainability**, Wiley, Canada.
[2] Peter Szalapaj, (2005), **Contemporary Architecture and the Digital Design Process**, Oxford: Architectural Press.
[3] Kolarevic, Branko, (2005), **Architecture in the Digital Age "Design And Manufacturing",** Taylor & Francis, Abingdon.
[4] Vyzoviti, Sophia, (2008), **Folding Architecture**, BIS Publishers, Amsterdam, London.
[5] KRIS L. WEEKS, (2012), **Fabricating a Future Architecture**, University of Massachusetts Amherst.
[6] Moacir. Mario, (2015), **Computational Methods for Fabrication-aware Modeling, Rationalization and Assembly of Architectural Structures,** Federal Institute of Technology in Lausanne.
[7] Lodidio, Philip, (2001**), Architecture Now Vol. 1** , Taschen,.London.
[8] http://www.fosterandpartners.com/projects/ pavilion-shanghai/access at 27-6-2018.
[9] Hazem M. N. Afify and Zeinab A. Abd El Ghaffar, (2007), **Advanced Digital Manufacturing Techniques In Architecture**, ASCAAD.
[10] http://www.tboake.com/SSEF1/rose2.shtml/ access at 19-11-2018.
[11] Tuba Kocaturk, Peter Brandon and Tuba, (2008), **Virtual Futures for Design**, Construction & Procurement, London, Wiley-Blackwell.
[12] Kolarevic, Branko, (2001), **Digital Fabrication**, Univ.of Pennsylvania.USA.
[13] Urquiza, R. (2009), **Designing by making**, Univ. Of Melboume.
[14] Szalapaj, Peter, (2005), **Contemporary Architecture and the Digital Design Process**, Oxford: Architectural Press.
[15] http://www.jewworldorder.org/compostable-geometric-pavilion-is-made-out-of-bioplastics-video/ access at 22-12-2017.
[16] Lwamoto, Lisa. (2012), **Digital Fabrications-Architectural and Material Techniques**, Princeton Architectural Press, New York.
[17] http://www.empmuseum.org/about-emp/the-emp-building.aspx/ access at 15-2-2018.
[18] http://www.azahner.com/portfolio/emp/ access at 18-2-2018.
[19] https://en.wikiarquitectura.com/index.php/ access at 4-3-2018.
[20] http://www.arch2o.com/bcivic -lucio-morini-ggmpu-arquitectos/ access at 18-10-2018.
[21] http://www.jmayerh.de/19-0-metropol-parasol.html/ access at 27-10-2018.
[22] http://www.detail-online.com/inspiration/centre-pompidou-.html/ access at 30-10-2018.
[23] http://www.arch2o.com/italian-pavilion-expo-milan / access at 5-11-2018.
[24] http://www.archdaily.com/museo-soumaya- fernando-romero / access at 30-11-2018.
[25] http://snohetta.com/project/16-sfmoma-expansion access at 22-11-2018.
[26] http://www.thecoolist.com/liverpool-insurgentes-department-store-rojkind-arquitectos/ access at 25-10-2018.

DIGITAL FABRICATION STRATEGIES AND PROCESSES AND ITS IMPACT ON DESIGN CONCEPT OF THE BUILDING ENVELOPE

ABSTRACT

The research aims to reduce the gap between design and fabrication in architecture, by studying the possibilities of design and fabrication in the digital age. It also aims to reach a clear way to use the digital fabrication strategies and processes through which the envelope elements are manufactured to reach a design that can fit with the possibilities and capabilities of the digital age.

The study is divided into two parts, the first is the theoretical study to find out strategies and processes of digital fabrication; and the second part is the analytical study, through which the effects of using digital fabrication on the envelopes designs are studied.