مجلة البحث في التربية وعلم النفس
كلية التربية – جامعة المنيا
كلية مُعتمدة من الهيئة القومية لضمان جودة التعليم

تقنيات التصنيع الرقمي وأثرها على العمارة الداخلية في القرن ٢١

Digital Fabrication Techniques and Its Impact on Interior Architecture in the 21st century

إعداد

أ/ بسمه نبيل احمد حسن

المعيدة بقسم الديكور

شعبة العمارة الداخلية - قسم الديكور - كلية الفنون الجميلة - جامعة المنيا

د. نادر بدوي احمد سنبل
مدرس العمارة الداخلية
قسم الديكور كلية الفنون الجميلة
كلية الفنون الجميلة - جامعة المنيا

أ.د. وفاء عمر مسلّم
أستاذ العمارة الداخلية المتفرغ
والعميد الأسبق لكلية الفنون الجميلة
كلية الفنون الجميلة - جامعة المنيا

ملخص البحث

ظهرت العديد من تقنيات التصنيع الرقمي في القرن ٢١ والتي أرتبطت إرتباطاً وثيقاُ ببرامج التصميم الرقمية والتي منها : عملية التصنيع بالقطع وتتم بالإعتماد على عدة تقنيات من اهمها تقنية التقسيم المتعاقب (التجزئة) Sectioning والتي تعمل على تقسيم الكتل إلى مقاطع عرضية متوازية فيتحول المجسم إلى مجموعة من المقاطع المسلسلة. وتقنية التصنيع بالحذف عن طريق إزالة حجم محدد من المادة الخام من المجسم بإستخدام ماكينات القطع بواسطة التحكم الرقمي بإستخدام الكمبيوتر "CNC" Control Computer Numerical . وتقنية التجميع القِطَعي Tessellating حيث يقسّم التصميم إلى قطع غير قياسية يتم تجميعها بشكل متلاصق فيتكون التصميم. بالإضافة إلى ظهور تقنية التصنيع المنطبق (الأوريجامي) Folding التي تعمل على تحويل سطح مستوي إلى سطح ثلاثي الأبعاد من خلال إدخال الطيات الى المواد المسطحة. و تقنية التشكيل النحتي Contouring التي تعمل على إعادة تشكيل السطح لتكوين مجسم ثلاثي الأبعاد عن طريق إزالة طبقات متتالية من المادة الخام بالحذف. كما ظهرت تقنية التصنيع التشكيلي Formative Fabrication من خلال إستخدام القوى

الميكانيكية لتكوين الأشكال و تقنية التصنيع بالإضافة Addictive Fabrication حيث يتم تشريح النموذج الرقمي للمجسم إلى طبقات وشرائح ثنائية الأبعاد ثم طباعتها بإستخدام الطابعة ثلاثية الأبعاد 3D Printer . ثم تجميع المواد الناتجة جميعها بإستخدام تقنية التجميع الرقمي Assembly.

- كلمات مفتاحية : التصميم الرقمي، الإسطح الغير منطقية معقدة الإنحناء، التصنيع الرقمي، ماكينات القطع بواسطة التحكم الرقمي بإستخدام الكمبيوتر، الأوريجامي، الطباعة ثلاثية الأبعاد، نماذج الكتلة الأولية للتصميم .

Numerous digital manufacturing techniques have emerged in the 21st century and have been closely associated with digital design programs. These include: machining process, which is based on several techniques, including division technology, which splits blocks into parallel cross sections, Serial sections. And the technology of manufacturing by deletion by removing the specific size of the raw material from the stereogram using CNC computer numerical control machines. And Tessellating, where the design is divided into non-standard pieces that are assembled together and form the design. In addition to the emergence of the applicable technology (Folding), which works to convert a flat surface to a three-dimensional surface by the introduction of folds to flat materials. Contouring, which works to reshape the surface to form a three-dimensional model by removing successive layers of raw material by deletion. Formative Fabrication has also been demonstrated by the use of mechanical forces to form shapes and manufacturing technology, as well as Addictive Fabrication, where the digital model of the object is sliced into two-dimensional layers and segments and then printed using the 3D printer. All the resulting materials are then assembled using assembly technology .

-Keywords: Digital ultraviolet printing, Complexes orthopedic for bending, Digital processing, Machine tools for cutting by computer numerical control, Origami, 3D printing, Preliminary design models for concrete .

مقدمة

"تعد التكنولوجيا الرقمية من أهم العوامل المؤثرة على العمارة والتصميم الداخلي بصفة خاصة ؛ فالتطور التكنولوجي كان لابد له أن ينعكس بشكل أو بآخر على مجال التصميم الداخلي فكان لذلك الإنعاكس تأثيراً مباشراً على الإبداع التشكيلي وتطوره ؛ كما كان له الأثر الأكبر في تطور وسائل التعبير وأساليب التصنيع لعناصر التصميم الداخلي.[1]

ولما أصبحت تكنولوجيا التصميم بواسطة الكمبيوتر والتصميم البارامتري هي المحرك الرئيسي للتطورات الحادثة في مجال التصميم الداخلي ؛ فلقد أصبح من الممكن تنفيذ أصعب التصميمات المعقدة متعددة الإنحناءات عن طريق توظيف التطور في تقنيات الكمبيوتر مع تطور الخامة وتقنيات التصنيع الرقمي في القرن ال٢١. في هذا البحث سيتم إلقاء الضوء على التقنيات الحديثة للتصنيع الرقمي وعمليات التجميع الرقمية للتعرف على كيفية إستغلالها لتحويل النماذج الافتراضية للتصميمات الرقمية الثورية المعقدة إلى واقع مادي ملموس.

مشكلة البحث

- عجز طرق التصنيع التقليدية للمواد الخام على تنفيذ التصميمات الرقمية الحديثة معقدة الإنحناء في مجال العمارة الداخلية ؛ مما أدى إلى الحاجة لإستحداث أساليب تصنيع جديدة تواكب الطفرة التصميمية الحادثة في القرن ٢١.

من هنا كان هدف البحث ما يلي :

- التعرف على أحدث ما وصلت إليه تقنيات التصنيع الرقمي في القرن ٢١ لتوضيح أثر تقنيات التصنيع الحديثة على عملية تنفيذ التصميمات الرقمية معقدة الإنحناء وخامات التنفيذ في مجال العمارة الداخلية.

أهمية البحث

لقد أتت الثورة الرقمية بتحديات لا تتعلق بكيفية تصميم الحيزات الداخلية فحسب، بل وبكيفية تنفيذها وتصنيع مكوناتها. فالإمكانيات الخلاّقة التي توفرها تقنيات التصميم الرقمي في مجال التصميم الداخلي تفتح لنا أفاقاً جديدة لإعادة صياغة آليات إنتاج المواد بالإستعانة بالحاسب الآلي. من هنا أصبح التصنيع الرقمي هو عصب التصميم الصناعي والهندسي لأكثر من نصف قرن. وهو ما

[1] Thomas&Hudson - The Mathematics of Architecture - Jane Burry, Mark burry - 2010.P.63

إنعكس على مجال التصميم الداخلي والمعماري بشكل كبير، خاصة بعد ظهور التصميمات الرقمية الثورية ذات الإنحناءات المزدوجة والمعقدة التي كان لزاماً فيها البحث عن تقنيات غير تقليدية لتنفيذها. فأصبح التصنيع الرقمي هو وسيط يتيح تضييق الفجوة بين الممارسات الرقمية في مجال التصميم الافتراضي وبين عملية البناء، كما يعمل على توفير اتصال سلس بينهما.

١- <u>التصميم الرقمي والتصنيع الرقمي</u>

"في السنوات الأخيرة ظهرت طفرة نتجت عن التطور في برامج التصنيع بواسطة الحاسب الآلي "Computer Aided Manufacture CAM" ؛ والتي أتاحت الفرصة لإنتاج التشكيلات المركبة التي كانت حتى وقت قريب على درجة عالية من الصعوبة وذات تكلفة مرتفعة في التنفيذ بإستخدام تقنيات التصنيع التقليدية، مما قد يشّكل عائقاً أمام إنتشار التصميم الرقمي القائم على إستخدام برامج الكمبيوتر الرقمية في عملية التصميم بشكل كلي والتوسع في إستخدامه. فالعلاقة التاريخية بين العمارة والتصميم الداخلي ووسائل الإنتاج تتعرض بصورة متزايدة الى تحديات من قبل عمليات التصميم والتصميع والإنشاء المنفذة عن طريق الإستعانة بالوسائل الرقمية[١]."

٢- <u>تقنيات التصنيع الرقمي</u>

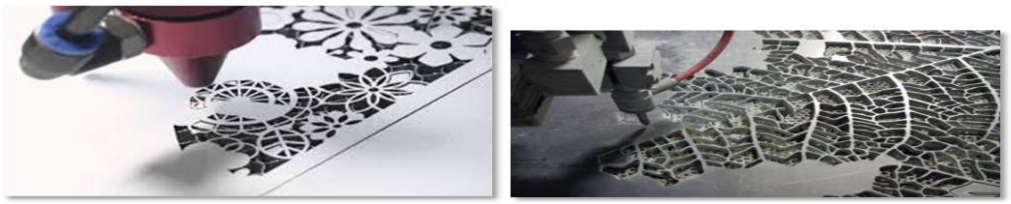
لقد أثارت الإسطح الغير منطقية معقدة الإنحناء NURBS - non-uniform rational B-splines - وهي احد النماذج لتوليد وتمثيل المنحنيات التي توفر قدرا كبيرا من المرونة ودقة التعامل مع الأشكال الحرة في برامج الكمبيوتر- التساؤل حول كيفية تنفيذها، وهو ما كان يثير الكثير من الإنتقادات حول مدى واقعيتها. ولكن الثورة الرقمية وتقنياتها قد إستطاعوا تنفيذها وذلك من خلال ما عُرف بالتصنيع الرقمي. من هنا يمكننا تعريف التصنيع الرقمي بأنه: طريقة لمعالجة مواد البناء بإستخدام البيانات الرقمية المخرجة من برامج التصميم بإستخدام الكمبيوتر للتحكم في عملية التصنيع؛ إعتماداً على الآلات والماكينات التي يقودها الكمبيوتر؛ فيما عرف ب "التصنيع بمساعدة

[١] kolarevic,Banko - Designing & manufacturing Architecture in the Digital Age - puplished parper- Universuty of Pennsylvania,USA- P.117.بتصرف

الكمبيوتر CAM " Computer Aided Manufacturing ". وذلك لبناء أو قطع أجزاء المواد الخام من خلال عمليات صناعية رقمية منها عمليات القطع والحذف والإضافة.

٢- ١- التصنيع بالقطع Cutting Fabrication

" تعد من أكثر تقنيات التصنيع الرقمي إنتشاراً ؛ حيث تتم بواسطة برامج الرسم بمساعدة الكمبيوتر وتقنيات التصنيع ثنائي الأبعاد 2D fabrication ؛ وذلك من خلال إستخدام قوس البلازما plasma-arc أو بإندفاع ضغط الماء water-jet أو بإستخدام أشعة الليزر LASER beam (شكل ٤- ١)[١] " وتعتمد التقنية على إستخدام الحركة ذات محورين (الرأسي والأفقي) وذلك لقطع شرائح المواد الخام المتصلة برأس التقطيع المتحركة بشكل ثنائي المحور double- axis milling.



(أ) تقنية القطع بإندفاع ضغط الماء water-jet (ب) تقنية القطع بإستخدام أشعة الليزر LASER beam

شكل (١) - يوضح القطع بإستخدام رأس التقطيع المتحركة بشكل ثنائي المحور

google search for Cutting Fabrication.

وقد ظهرت بعض التقنيات التصنيعية إعتماداً على مبدأ التصنيع بالقطع، ومن أهمها مبدأ التقسيم المتعاقب (التجزئة) Sectioning ، " وهو مبدأ يعتمد على تقسيم الكتل إلى مقاطع عرضية متوازية بدلاً من تصنيعها ككتلة مجمعة الإنحناء ككل، ويتم ذلك عن طريق إعطاء الأمر بالتقسيم المتعاقب في برنامج التصميم البارامتري فيتحول المجسم إلى مجموعة من المقاطع المسلسلة بشكل سريع وفعال. وقد تم اعتماد هذه التقنية في عصر التصنيع ما قبل الرقمي من قبل العديد من المعماريين .

ويظهر مبدأ التقسيم المتعاقب (التجزئة) Sectioning من خلال *مشروع جناح عرض النسيج الرقمي Digital Weave* المصمَم من قبل جامعة كاليفورنيا بباركلي University of California, Berkeley للعرض ليوم واحد في معرض the San Francisco Museum of

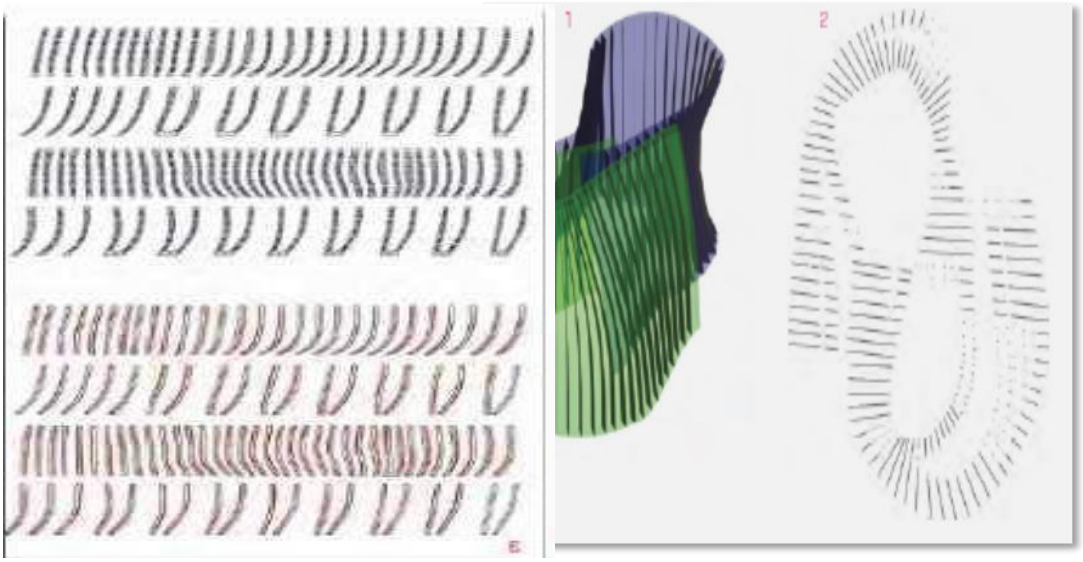
[١] kolarevic,Banko- Ibid - P.120

Modern Art Contemporary Extension، ولهذا كان يجب أن يتم تجميعه في مكان العرض في ساعات معدودة.

كل (٢)- يوضح جناح عرض النسيج الرقمي Digital Wave المكون من أضلاع.
Lisa Iwamoto -Digital Fabrications Architectural and Material Techniques- Princeton Architectural Press-,NewYork -2009- P20.

وقد تم إستخدام تقنية التقسيم المتعاقب فيه فجاء الجناح على هيئة أضلاع مغزولة من البلاستك تم تجميعها بواسطة قطع من الألمونيوم يتم تثبيتها في الأضلاع بواسطة تعاشيق النقر واللسان المحدد مكانها رقمياً بمنتهى الدقة . وإستخدم لتصنيع هذا الجناح ماكينات القطع بإستخدام ضغط الماء water-jet milling وهو ما مكن من تجميع أجزاء التصميم بسلاسة كبيرة إعتماداً على التعاشيق الموجودة بها[١]."

شكل(٣) - يوضح مراحل عملية التصميم وإعطاء الأمر بالتقسيم التجزيئي للأضلاع في برنامج التصميم الرقمي Rhinoceros وإعداد أضلاع



التصميم للتجميع عن طريق تحديد أماكن التعاشيق و

إعطاء رمز لكل منها.(١)

شكل (٤)- يوضح مراحل التصنيع إستخدام ماكينات القطع بإستخدام ضغط الماء وعمليات التجميع.Lisa Iwamoto -Digital Fabrications Architectural and Material Techniques-Princeton Architectural Press,NewYork -2009-P.18-19

٢- ٢- التصنيع بالحذف subtractive Fabrication

"ويتم عن طريق إزالة حجم محدد من المادة الخام بإختلاف نوعها من ا لمجسم ؛ حيث تقوم برامج التصميم الرقمي الحديثة بضبط مهام التحكم الرئيسية في حركة أدوات الماكينة مستخدمةً مجموعة من الأكواد . والتي تستخدم تقنية القطع في عدة محاور multi-axis milling ؛ وذلك بإستخدام ماكينات القطع بواسطة التحكم الرقمي بإستخدام الكمبيوتر "Control Computer Numerical[١]"

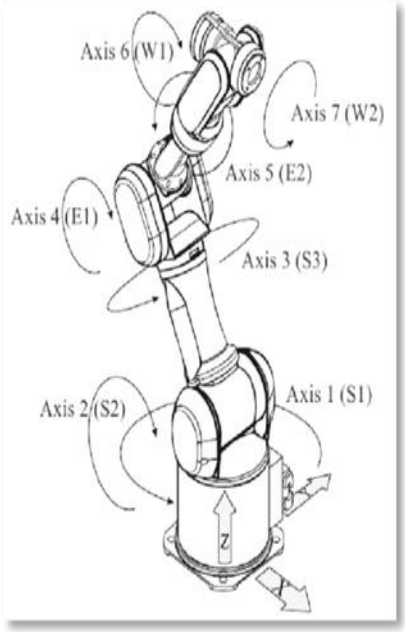
- التحكم الرقمي بإستخدام الكمبيوتر CNC " Computer Numerical Control

هي تقنية ظهرت في أوائل السبعينات ؛ ويقصد بها سلسلة التعليمات المشفرة coded instructions في صورة أرقام وحروف ورموز تخرجها برامج التصميم الرقمي لتستوعبها وحدة التحكم في الماكينة وتقوم بتحويلها إلى إشارات إلكترونية توجة المحركات الكهربائية ومحاور القطع المتعددة لتنفيذ العمليات المطلوبة على الخامة بعد تعريفها على ماكينة القطع. وفي تقنية التصنيع بالحذف بإستخدام CNC تبدأ الماكينة بإزالة قدر من المادة من قوالب أو ألواح الخامات المختلفة من خلال حركات محكومة وفقا للإتجاهات والقياسات والتعليمات المشفرة الصادرة من برامج التصميم الرقمي[٢]."

وقد تطورت ماكينات القطع عن طريق التحكم الرقمي بإستخدام الكمبيوترCNC إلى أن أصبحت روبوتات ضخمة يصل عدد محاور القطع فيها إلى ٧ محاورrobot 7 axes milling مما يمكنها من العمل بمنتهى الدقة وفي أقل وقت ممكن والذي يقوم بالثني وعمليات الدهان بالرش بالاضافة للقطع عالي الدقة.

[١] Chris Mcmahon and Jimmie Browne - CADCAM: Principles, Practice and Manufacturing Management - Prentice Hall; 2 edition - 1998

[٢] kolarevic,Banko - Ibid- P.121



شكل(٥) - يوضح الروبوت ذو محاور القطع ال٧ 7 axes milling robot والذي يقوم بالثني وعمليات الدهان بالرش بالإضافة للقطع عالي الدقة. https://www.kuka.com/

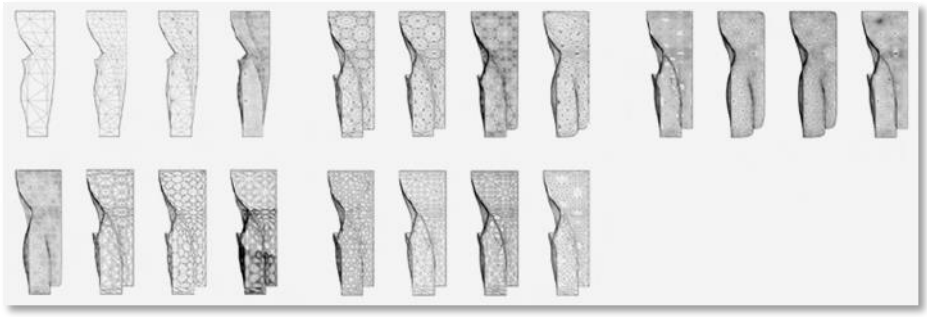
ولقد ظهرت خلال الخمسة عشر عاما الماضية العديد من أشكال التجميع المعتمدة على تقنيات التصنيع الرقمي وماكينات القطع الرقمي في عدة محاور بإستخدام الكمبيوتر multi-axis CNC milling والتي كان من أهمها :

أ- التجميع القِطَعي (الفسيفسائي) Tessellating

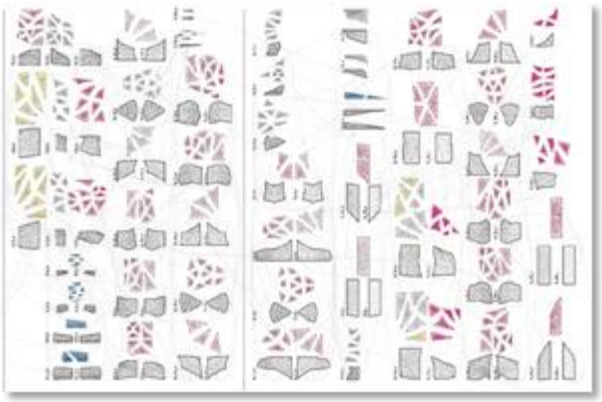
"وتعتمد على تقسيم التصميم إلى قطع يتم تجميعها بشكل متلاصق (فيما يشبه تقنية الفسيفساء) فيتكون التصميم. ويسمح ذلك للتصميم أن يتخذ أشكالاً معقدة مزدوجة الإنحناء موفراً المزيد من التباين والتشكيل من خلال التصنيع غير القياسي للقطع المتراصه المكونة للتصميم. وتتضح تقنية التجميع القِطَعي Tessellating من خلال *مشروع تصميم تغطية داخلية بإسم Technicolor Bloom*، الذي جاء مزدوج الإنحناء من الخشب المصنع رقميا على ماكينات القطع الرقمي في عدة محاور multi-axis CNCmilling لعمل النمط الهندسي ثلاثي الأبعاد المستمر والغير متماثل للتصميم في كل قطع التجميع[1]."

شكل(٦)يوضح تغطية Technicolor Bloom ذات الإنحناء المزدوج و الألوان المتدفقة والأنماط الهندسية ثلاثية الأبعاد-Lisa Iwamoto -Digital Fabrications Architectural and Material Techniques Princeton Architectural Press,NewYork -2009- P.58-59.

١ Lisa Iwamoto -Digital Fabrications Architectural and Material Techniques-Princeton Architectural Press,NewYork -2009- P.36-56. بتصرف



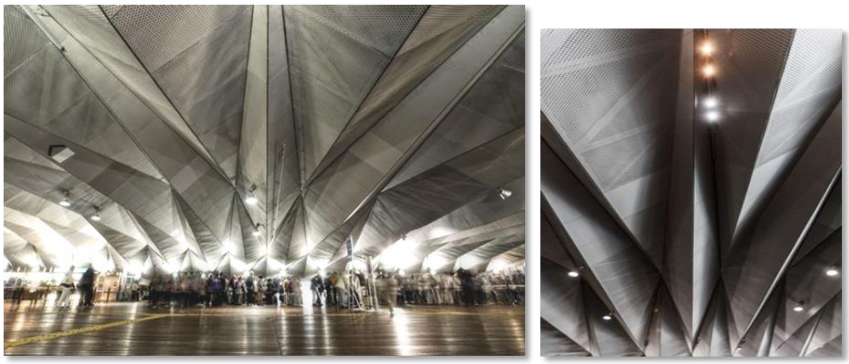
شكل(٧) يوضح عملية إختيار وضع التجميع القِطَعي Tessellating للتغطية أثناء عملية التصميم بإستخدام برامج التصميم الرقمي الحديثة لإختيار الوضع الأمثل (Ibid) ص٥٧



شكل(٨) - يوضح عملية إستخراج القطع المكونة للتغطية وإفرادها تجهيزاً لعملية التصنيع الرقمي بإستخدام ماكينات القطع الرقمي في محاور متعددة multi-axis CNCmillin والتي وصل عددها إلى ١٤٠٠ قطعة(على الشمال)، كما يوضح عملية تجميع وتركيب قطع التغطية في الموقع بشكل متراص محكم ويظهر قطع التغطية ذات الرموز اللازمة لتجميعها بالشكل الصحيح (على اليمين). (Ibid) ص٥٧و٥٨

ب- التصنيع المنطبق (الأوريجامي) Folding

"إن عملية طي المادة هي أيضا أداة تصميمية إبداعية ناتجة من عمليات التصنيع الرقمي، فمبدأ الأوريجامي[١] يقوم على تحويل سطح مستوي إلى آخر ثلاثي الأبعاد. فهو مبدأ هام ليس فقط لصنع شكل ولكن أيضا لخلق هيكل هندسي، وفي عملية التصنيع فإن التصنيع المنطبق هو إدخال الطيات الى المواد المسطحة لتكتسب تلك المواد صلابة ومتانة لتصبح في كثير من الأحيان ذاتية الدعم إعتماداً على طياتها. ولهذا تزايد الإتجاه لإستخدام التصنيع المنطبق في عصر التصميم و التصنيع الرقمي لكونه إقتصادي مادياً وجذاب بصرياً بالإضافة إلى فعاليته إنشائياً؛ حيث أن الصلابة الهيكلية الناتجة عن إدخال الطيات الى المواد تعد ميزة هامة لهذه النوع من التصنيع[٢]



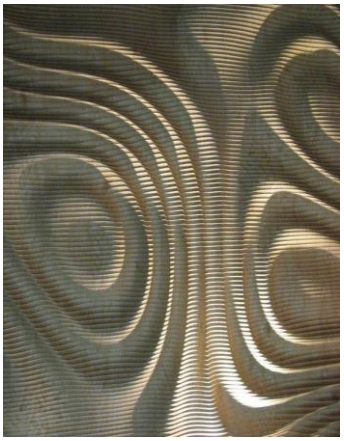
شكل(٩)- يوضح تغطية صالة الركاب في مطار يوكوهاما الدولي المنفذة بإستخدام التصنيع المنطبق
https://www.pinterest.com/pin/498210777517826521/ Folding

ج- التشكيل النحتي Contouring

"هو إعادة تشكيل السطح لتكوين مجسم ثلاثي الأبعاد عن طريق إزالة طبقات متتالية من المادة الخام بالحذف، وهو نوع من النحت ولكن في أنماط منظمة رقمياً، لكن التشكيل النحتي الرقمي يمكنها إنتاج تشكيلات متنوعة معقدة الإنحناءات بتكلفة أقل وبدقة أكبر وفي وقت أقل بإستخدام تقنيات التصنيع الرقمي وماكينات القطع الرقمي في محاور متعددة multi-axis CNCmilling (أكثر

[١] الاوريجامي: فن طي الورق وتحويل الورقة المسطحة إلى مجسم ثلاثي الأبعاد، وكثيرا ما يرتبط بالثقافة اليابانية
[٢] بتصرف Lisa Iwamoto Ibid - P62-63.

من ٥ محاور)، بالإعتماد على البيانات المخرجة من برامج التصميم الرقمي الحديث لتحديد المسار النحتي للماكينات على شكل منحنيات في مسارات متوازية أو حلزونية أو سلسلة أو مخرزة أو منحدرة، والتحكم في سرعة وعمق ذراع النحت. وهو ما يتضح في شكل(١٤) و (١٥) للمعالجات الداخلية بتشكيلات مختلفة[١].



شكل (١٠) - يوضح دقة عملية التصنيع إعتماداً على التشكيل النحتي Contouring بإستخدام ماكينات القطع الرقمي CNCmilling. https://www.pinterest.com/pin/269371621446761967/

شكل (١١)- يوضح إستخدام مبدأ التشكيل النحتي في صنع قوالب صب اللدائن للحصول على الشكل المطلوب بدقة.
https://hannahslaterdesign.wordpress.com/digital-fabrication

[١] Lisa Iwamoto Ibid – P90-93. بتصرف

٢- ٣- التصنيع التشكيلي Formative Fabrication

"ويتم فيه إستخدام القوى الميكانيكية لتكوين الأشكال مثل الحرارة أو البخار أو الضغط التي يتم تركيزها على المادة لتشكيلها وفقا للتصميم المطلوب ؛ ويتم ذلك من خلال عمليات إعادة التشكيل reshaping والتشوية deformating بشكل محوري او مسطح . فيتم مثلاً ضغط المعادن فيما يتعدى معامل مرونتها أو تسخينها وثنيها فيما لا تزال لينة أو لي الألواح بإستخدام البخار. فبإستخدام التصنيع التشكيلي يمكننا إنتاج ألواح الزجاج المُقولب molded glass وبلاطات المعدن المطبوع المنحني curved stamped metal وألواح البلاستيك معقدة الإنحناء وذلك عن طريق تقسيم الأسطح المركبة ثنائية الإنحناء إلى أجزاء مفردة الإنحناء بالإستعانة بعمليات الإنحناء المتحكم بها عددياً CNC"[١].

"وهو ما ظهر في التغطية الخارجية لجناح عرض شركة BMW المسمى بالفقاعة "The Bubble "Pavilion من تصميم برنارد فرانكن[٢] Bernhard Franken في فرنكفورت – ألمانيا ، والمستوحى من شكل قطرة الماء. حيث تم تطبيق تقنية التصنيع التشكيلي على قضبان الألومنيوم الرفيعة الحاملة لألواح التغطية الخارجية المكونة من وحدات الأكريليك المنحنية فيما يعرف بنظام الهياكل ذاتية التدعيم monocoque structure ؛التي لا تتطلب بناء دعامات رأسية أو أعمدة لحمل التغطية"[٣].

شكل(١٢) - يوضح جناح عرض شركة BMW المسمى بالفقاعة"The Bubble Pavilion"
http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.060/460

١ kolarevic,Banko - Designing & manufacturing Architecture in the Digital Age - puplished بتصرفparper- Universuty of Pennsylvania,USA- P.122.

٢ برنارد فرانكن Bernhard Franken : مهندس معماري ولد في فرانكفورت بألمانيا

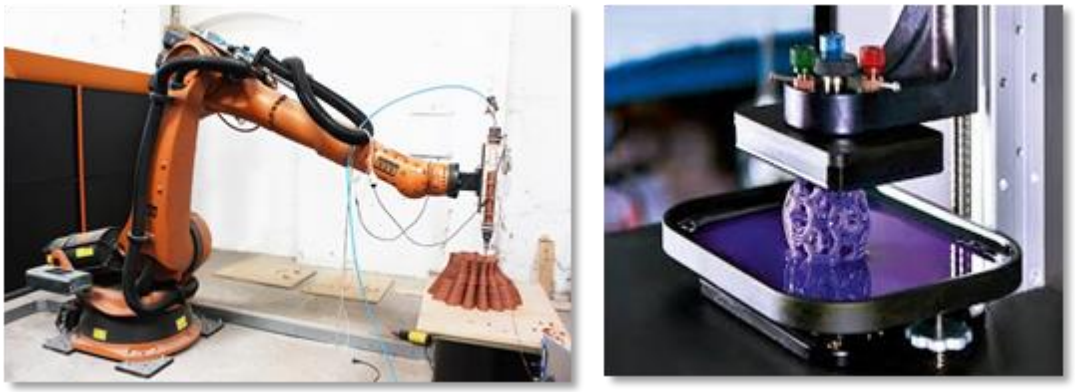
٣ http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.060/460

شكل(١٣) – يوضح عملية التصنيع الهيكل الخارجي لجناج العرض خارج الموقع بإستخدام عمليات التصنيع التشكيلي بالحرارة والتحكم العددي بواسطة الكمبيوتر CNC.
http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.060/460

٢- ٤- التصنيع بالإضافة Addictive Fabrication

"وهو ما يعرف أيضا بالتصنيع بالطبقات المتعددة layered manufacturing **؛وهو ما يتم إستخدامه بكثرة في مجال التصميم الداخلي ؛ حيث يتم إستخدامه لعمل النماذج الكتلية** massing models **ذات الإنحناءات المعقدة. حيث يت فيه تشريح النموذج الرقمي للمجسم إلى طبقات وشرائح ثنائية الأبعاد من خلال برامج التصميم ؛ ثم تنقل أبعاد كل طبقة إلى الرأس المعالج للآلة المصنعة والتي تعرف بالطابعة ثلاثية الأبعاد** 3D Printer **فيتم إنتاج المجسم من خلال إضافة طبقة تلو الأخرى[1]."وتعد تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد طفرة في مجال التصنيع الرقمي ؛ حيث يتم تصنيع القطع عن طريق تقسيم التصاميم ثلاثية الأبعاد لها إلى طبقات صغيرة جدا باستخدام برامج التصميم الرقمي ؛ ثم يتم تصنيعها عن طريق طباعة طبقة فوق الأخرى حتى يتكون الشكل النهائي محولة إياها إلى مجسمات ملموسة ثلاثية الأبعاد. وقد تم تطويرأول طابعة ثلاثية الأبعاد بواسطة شركة** 3D System **عام ١٩٨٨م ثم إنتشرت بشكل كبير ومازال التطور بها مستمر حتى الأن**

١ kolarevic,Banko - Designing & manufacturing Architecture in the Digital Age - puplished parper- Universuty of Pennsylvania,USA- P.272.بتصرف



شكل (١٤)- يوضح تطور الطابعة إلى روبوتات للطباعة الثلاثية الابعاد.
https://www.dezeen.com/2014/02/21/3d-printing-robot-by-joris-laarman-draws-/freeform-metal-lines

شكل (١٥)- يوضح تقسيم الشكل إلى طبقات في عملية الطباعية ثلاثية الأبعاد، ويتضح زيادة جودة الهيكل الناتج كلما قل سمك الطبقات المكونة لها. http://www.mdpi.com/2227-7080/5/3/50

- أنواع الطباعة ثلاثية الأبعاد

"منذ تصنيع أول طابعة ثلاثية الأبعاد التي تستخدم تقنية تشريح النموذج إلى طبقات؛ ظهرت العديد من التقنيات المنافسة لها والتي تستخدم العديد من الخامات وعمليات المعالجة القائمة على الضوء أوالحرارة أو الكيماويات والتي منها :

- الطباعة الليثوجرافية Stereo Lithogarphy (SLA): وتقوم على إستخدام البوليمرات السائلة التي تتصلب عند تعرضها لشعاع الليزر.
- الطباعة بإستخدام تقنية التصلب الإنتقائي بالليزر Selective LASER Sintering (SLS): حيث يقوم شعاع الليزر بصهر مسحوق المعدن طبقة تلو الأخرى لتكوين المنتجات الصلبة
- الطباعة بإستخدام الصفائح Laminated Object Manufacture (LOM): يتم فيها لصق شرائح المادة مع بعضها البعض قبل القطع ثم قطعها بواسطة شعاع الليزر.
- الطباعة بإستخدام ترسيب المصهور Fused Deposition Modeling (FDM): يتم فيها إنتاج المجسم عن طريق صهر شعيرات من البوليمر التي تتصلب بالحرارة."
- الطباعة بإستخدام التصنيع النفاث المتعدد Multi-jet Manufacture (MJM) :يشتخدم رأس طباعة معدل ليرسب مادة الشمع المتلدن بالحرارة والمصهور في طبقات متناهية الرقة ليتكون المجسم ثلاثي الأبعاد[1].

"وتستخدم الطباعة ثلاثية الأبعاد بشكل أساسي في إنتاج المكونات الهيكلية التي تتميز بوجود عدد كبير متسلسل ومتماثل منها، وفي التصنيع السريع للنماذج الأولية المصغرة للتصميمات معقدة الإنحناء فيما يعرف بال rapid prototyping، وهو ما يمكن المصمم من رؤية التفاصيل والقيام بكافة التعديلات الضرورية في مراحل مبكرة"[2]

١ kolarevic,Banko- Ibid-P.272

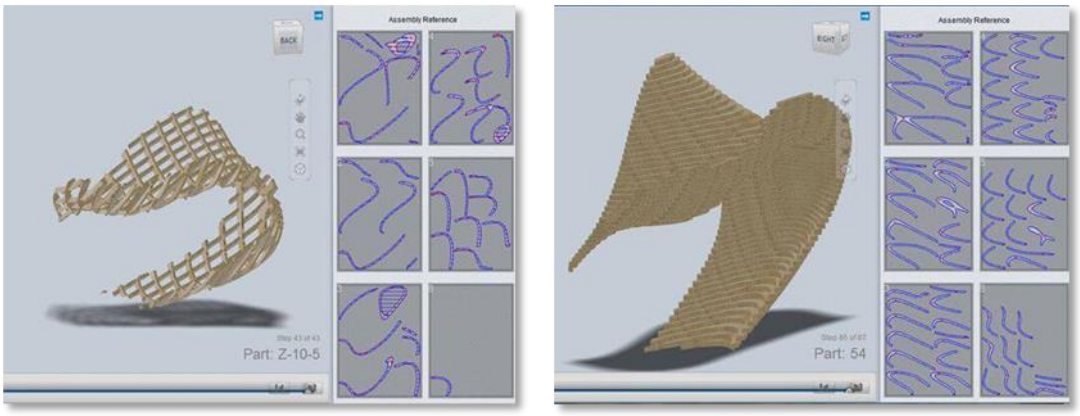
٢ Baker,Robin-Desiging The Future- Thomes and Hudson - 1993- P.180

شكل(١٦) - يوضح مفهوم عملية التصنيع الرقمي القائمة على تقنيات التصميم البارامتري بالكمبيوتر .
https://www.hypertherm.com/en-US .CAD/CAM

٣- عمليات التجميع في التصنيع الرقمي Assembly

"أثناء عملية التصميم الرقمي يتم إخراج بيانات التصنيع والتجميع لكل مكون وفقاً لنوع عملية التصنيع الذي سيمر به بشكل تلقائي؛ بالإضافة الى وضع رمز لكل مكون من مكونات البناء بشفرة خاصه bar code وتمييزها بعلامة عن نهاية تقاطعها مع القطعة التي تليها وبذلك يمكننا تحديد موقع كل مكون من المكونات المصنّعة داخل الحيز لتثبيته مكانه المناسب. هن طريق فك هذه الشفرات للتعرف على إحداثيات كل قطعة بمساعدة نماذج الكتلة الأولية للتصميم rapid prototype، ووضع كل قطعة بدقة في مكانها الصحيح[١]." وقد تم تبني الإتجاه إلى إستخدام تقنيات التصنيع الرقمي القائمة على ربط عملية التصميم بالكمبيوتر بالتصنيع CAD/CAM بشكل واسع في العقدين الأخيرين في مجالي التصميم الداخلي والعمارة بشكل خاص.

١ kolarevic,Banko- Ibid.P. 274



شكل ١٧)- يوضح إخراج بيانات التصنيع والتجميع لمكونات التصميم وترميزها وفقاً لنوع عملية التصنيع الرقمي (على اليمين). ليتم وضع كل قطعة بدقة في مكانها الصحيح بالموقع. صور مستخرجة من برنامج Rhinoceros

٣- ١- مميزات عملية التصنيع الرقمي في مجال التصميم البارامتري

إن لعملية التصنيع الرقمي القائمة على تقنيات التصميم البارامتري بالكمبيوتر CAD/CAM العديد من الميزات التي دفعتها لتحقيق الإنتشار الكبير في القرن الواحد والعشرين والتي من أهمها :

١- التغلب على صعوبة تنفيذ التصميمات المعقدة متعددة الإنحناء.

٢- سهولة إجراء التعديلات على التصميم في مراحل مبكرة بعد معاينة نماذج الكتلة الأولية للتصميم rapid prototype، مما يساعد على التطوير المستمر.

٣- توفير الرسومات التنفيذية لأي تصميم مهما بلغت درجة تعقيدة بمنتهى الدقة وبشكل تلقائي، فالأجزاء كبيرة الحجم والأجزاء المتداخلة والأجزاء المعشقة بزوايا أقل من ٩٠° التي يصعب عمل رسوم تنفيذية لها بالطرق التقليدية أصبحت متوفرة بسهولة.

٤- الإستخدام الأمثل للموارد والمواد الخام من خلال تطبيق عمليات تصنيع متطورة ومبتكرة.

٥- الوصول بمكونات التصميم والبناء لأعلى جودة من خلال علميات التصنيع الرقمي المتقدمة.

٦- تقليل الوقت المستهلك لإعداد وتصنيع المادة المكونة للتصميم وتقليل معامل الخطأ

٧- العمل على التأكد من ملائمة التصميم لتقنيات التصنيع المتوفرة .

٨- توفير كافة المعلومات المتعلقة بالتكلفة الإنتاجية بشكل دقيق تبعاً لمعلومات التصميم والتصنيع.

نتائج البحث

- كان للتكنولوجيا الرقمية أثر كبير على تطور تقنيات التصنيع الرقمي في القرن ٢١.
- كانت الأسطح المتدة معقدة الإنحناء highly curvilinear surfaces ؛ والتي تنتج من التصميم ببرامج التصميم الرقمي السبب الرئيسي وراء ظهور العديد من تقنيات التصنيع الرقمي الجديدة في محاولة لمواكبتها .
- ظهرت العديد من تقنيات التصنيع الرقمي في القرن ٢١ والتي أرتبطت إرتباطاً وثيقاُ ببرامج التصميم الرقمية والتي منها :

١. التصنيع بالقطع Fabrication cutting ومن أهم أنواعه التقسيم المتعاقب (التجزئة) Sectioning.

٢. التصنيع بالحذف subtractive Fabrication والذي يعتمد على تكنولوجيا التحكم الرقمي بإستخدام الكمبيوتر CNC " Control Computer Numerical .

٣. التشكيل الفسيفسائي Tessellating وهو تقسيم التصميم إلى قطع يتم تجميعها بشكل متلاصق (فيما يشبه تقنية الفسيفساء).

٤. التصنيع المنطبق (الأوريجامي) Folding وهو تحويل سطح مستوي إلى آخر ثلاثي الأبعاد من خلال إدخال الطيات الى المواد المسطحة.

٥. التشكيل النحتي Contouring وهو إعادة تشكيل السطح لتكوين مجسم ثلاثي الأبعاد عن طريق إزالة طبقات متتالية من المادة الخام بالحذف.

٦. التصنيع التشكيلي Formative Fabrication ويعتمد القوى الميكانيكية لتكوين الأشكال مثل الحرارة أو البخار أو الضغط التي يتم تركيزها على المادة الخام لتشكيلها.

٧. التصنيع بالإضافة Addictive Fabrication والذي يعتمد على الطباعة ثلاثية الأبعاد 3D Printing فيتم إنتاج المجسم من خلال طباعة طبقة تلو الأخرى.

- تعد تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد 3D Printing طفرة في مجال التصنيع الرقمي، حيث تقوم بنحت الأجسام عن طريق تقسيمها إلى طبقات ذات سمك صغير وإنتاجها طبقة تلو الأخرى لتنتج مجسمات ثلاثية الأبعاد.
- ظهرت تقنية التجميع في التصنيع الرقميAssembly والتي أحدث ثورة في عملية ربط التصميم الرقمي الداخلي بعملية التصنيع والتنفيذ الفعلي.

المراجـــــــــــــــــع

-Thomas&Hudson - The Mathematics of Architecture - Jane Burry, Mark burry - 2010.

- kolarevic,Banko - Designing & manufacturing Architecture in the Digital Age - puplished parper- Universuty of Pennsylvania,USA.

-Lisa Iwamoto -Digital Fabrications Architectural and Material Techniques-Princeton Architectural Press,NewYork - 2009.

- Chris Mcmahon and Jimmie Browne - CADCAM: Principles, Practice and Manufacturing Management - Prentice Hall; 2 edition - 1998.

Baker,Robin-Desiging The Future- Thomes and Hudson - 1993-

شبكة الأنترنت

https://www.kuka.com. .-

- https://hannahslaterdesign.wordpress.com/digital-fabrication.

- http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.060/460.

https://www.hypertherm.com/en-US. -