التصنيع بالأضافة ودورها في التصميم الداخلي المستدام المحاكي للطبيعة

Biomimetic Additive Manufacturing and Its Role in Sustainable Interior Design

هبـــــة ســـامي منصـــور

الاستاذ المساعد بكلية الفنون الجميلة

جامعة الأسكندرية

الملخص:

علي الرغم من التطور الهائل في التصميم و التصنيع الرقمي ،الا انه لازال هناك قصور في اساليب و انماط التصميم والتنفيذ التي لازالت تجري بنفس الأساليب والنظم التقليدية، و التي تكون في مثل هذه الحالة صعبة و مكلفة الي حد كبير. وفي حين تتسابق الأنظمة و المدن النامية في ايجاد اسرع طرق وارخصها لتنفذ التصميمات المعاصرة الرقمية و المعقدة التي تحاكي الطبيعة، و تسهم في خفض تكاليف كل من المواد الخام المستخدمة ، العمالة ، ووقت التنفيذ على حد سواء ، الا انه لم يتم الأستفادة بالشكل الكامل من هذا التطور، و التي اصبحت تستند الان الي تقنية التصنيع المضاف، و الذي يعد نموذج ونهج واعد قادر على تحسين عمليات التصنيع و التنفيذ للتصميمات الداخلية المعاصرة و المعقدة ، و لكن نتيجة لارتفاع اسعارهذه التقنية في الدول النامية، و عدم انتشارها بين المتخصصين وانتقاص الحدود المعرفية لانظمتها و خاماتها المختلفة، وعدم توضيح دورها في ايجاد البدائل التصميمية لعناصرالعمارة الداخلية المختلفة ، لا يتم استخدامها بشكل كبير.

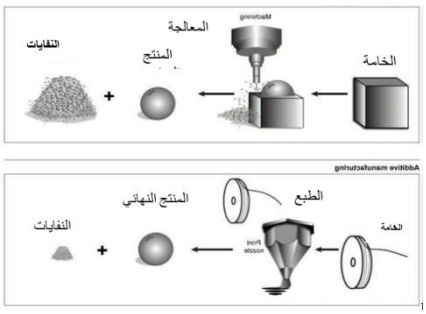
الهدف من البحث هو دراسة لانظمة و تقنيات الطباعة الثلاثية الابعاد، و تحديد مجالات و انماط تطبيقاتها في العمارة الداخلية و الاثاث، و دورها في تطورايجاد البدائل التصميمية المستوحاه من مبادئ المحاكاه البيولوجية والتصميم المستدام، الذي يحاكى الطبيعة من خلال محاكاه الشكل اوالوظيفة او النظم الطبيعة، تحليل تأثير المواد المختلفة الصديقة للبيئة و المعادة التدوير وهذه التكنولوجيا الذكية على التصميم الرقمي، و التي تستند علي فكرة الاستفادة العظمي من الخامات المستخدمة ، وعدم هدرها كاحد اهم مبادي التصميم المستدام، للوصول الي تصميمات تحاكي الطبيعة من خلال النماذج التي تم تصميمها رقميا، بدا من تصميم عناصر الحيزات الداخلية و الاثاث، الي طباعة الحيزات و المنشات بالكامل . و قد استند البحث علي المنهج التحليلي والوصفي لتغطية اساليب و انماط الفكر التصميمي المستند الي مستويات المحاكاه البيولوجيه في العمارة الداخلية وتطبيقها رقميا، و تنفيذها بواسطة اساليب الطباعة الثلاثية الابعاد المختلفة كنظم انشائية وتنفيذية غير تقليدية.

المقدمة:

يشهد العالم الان تحول هائل في اتجاهات التصميم المعتمدة علي البرامج الحاسوبية المطورة و المعقدة، و التي استندت برمجيتها وافكارها علي المحاكاه الحيوية Biomimicryفي مستوياتها المختلفة ، من محاكاه للشكل او الوظيفة او النظم البيئية، حيث جنح التصميم الداخلي و افكار العمارة نحو افاق غير محدودة من الفكر المتنامي والجيني و التوليدي و التخليقي والبارامتري و غيرها من الأتجاهات التصميمية التي يصعب تجسيدها وتنفيذها بالاساليب و التقنيات التقليدية ، و قد بدا يسهل تنفيذ نماذج كثيرة من هذه الأتجاهات من خلال برامج الحاسوب وتقنيات التصنيع بالأضافة. حيث اصبح التقدم و التطور المتلاحق فى تقنية الطباعة ثلاثية الابعاد امر مثير للغاية ،لانه من المتوقع في غضون السنوات القليلة المقبلة ان تكون الطابعات الثلاثية الأبعاد اقل تكلفة وأكثر انتشارًا ، وستعمل على تغيير عملية إدارة الأعمال إلى الأبد، حيث تعرف الطباعة ثلاثية الأبعاد باسم التصنيع الإضافي AM بانها عملية يتم فيها إنشاء نموذج حقيقي من تصميم ثلاثي الأبعاد، ليس نموذج تجريبي او ماكت فقط.

١. تعريف الطباعة الثلاثية الأبعاد :التصنيع بالإضافة والتصنيع بالإزالة

الطباعة الثُلاثية الأبعاد تشمل عمليتين رئيسيتين: التصنيع بالازلة(SM) عن طريق التحكم العددي بواسطة الحاسوب CNC Computer Numerical Control، والتصنيع بالإضافة(AM)، الذي كان أول استخدامه للإشارة إلى عملية التصنيع بنفث الرابط السائل binder jetting وهي تقنية تم تطويرها في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا MIT



شكل (١) رسم توضيحي لشرح الاختلافات بين التصنيع بالإزالة والتصنيع بالإضافة .

اولا: التصنيع بالا زالة: (SM)

التصنيع بالا زالة يشير إلى عمليات تشمل القطع والحفر والتفريز والخِراطة، والتي تعمل عن طريق

إزالة مواد من خامة صلبة من أجل صنع أشكال ومكونات، وبعد حدوث عمليات الإزالة، تجري معالجة مكونات التصنيع بالإزالة أو تجميعها في منتجٍ نهائي.

ثانيا : التصنيع بالإضافة: (AM)

يعتمد التصنيع بالإضافة على إضافة طبقاتٍ من أجل إنشاء جسمٍ ماديّ، وهي ليست تقنية جديدة و انما تم اختراعها في عام ١٩٨٤ من قبل (تشارلزهول) ، وقد استخدمت هذه التقنية لإنشاء نماذج أولية سريعة للتعبير عن الأفكار التصميمة Concepts، لكن التقدم التكنولوجي الأن يتيح للمصممين استخدام الطابعات ثلاثية الأبعاد للتصنيع النهائي لعناصر التصميم الداخلي، سواء كانت وحدات إضاءة ، طاولات ، مقاعد، فواصل ، واجهات ، حيزات او ابنيه كاملة. [١٣]

التصنيع بالإضافة و الذي يعرف ايضا بالتصنيع الأضافي او الصنع السريع للنماذج الأولية هي تكنولوجيا مستخدمة لتصنيع الاجسام المادية عن طريق ترسيب طبقات رقيقة من المواد فوق بعضها بناء علي وصف رقمي ، تبدا العملية بإنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد (٣D) من خلال استخدام برامج التصميم الرقمية ، يتم حفظ ملف النموذج ثلاثي الأبعاد عادة كملف لغة (TST) ، وهو تمثيل ثلاثي للنموذج، ثم يقوم البرنامج بتقطيع ملف البيانات إلى طبقات فردية Slicing، والتي يتم إرسالها كتعليمات إلى جهاز AM الذي يقوم بطباعه المجسم ، و تتكون العملية المادية داخل اي الة للتصنيع بالاضافة من مرحلتين:-

المرحلة الأولى: الأكساء، يجري مد طبقة رقيقة (تتراوح سماكتها بين0.3 مليمتر و 0.2 مليمتر) على السطح الذي يجري العمل عليه.

المرحلة الثانية: الألحام، يستخدَم مصدر للطاقة مثل مصباحٍ أو شعاعٍ من الليزر، أو شعاعٍ من الإلكترونات للحام الطبقة الجديدة بالسطح الذي دونها ، يتبع ذلك في أغلب الأحيان عملية

[١٣] Satwik Kumar Roll -2015: "3D PRINTING" http://www.slideshare.net/satwikshiri/3- MATERIALS dprinting-materials

معالجة لاحقة، باستخدام تقنيات مثل الصنفرة، أو الصقل، أوالمجانسة، أو المعالجة الحرارية والطلاء.[١٤]

انواع التصنيع بالاضافة AM – الطباعة ثلاثية الأبعاد:

تختلف التكنولوجيا المستخدمة في عمليات التصنيع بالاضافة من طابعة إلى أخرى من ناحية آلية العمل والخامات المستخدمة ، حيث تختلف طريقة بناء الطبقات بعضها فوق بعض، فبعض الطابعات تذيب المادة لتصبح لينة وقابلة للتشكيل وبعد تشكيلها تقوم بتبريدها، و بعض الطابعات تقوم باستخدام بوليمر حساس للضوء لبناء الطبقات، وأخرى تقوم باستخدام الخامات على شكل مسحوق، وقد صنفت الجمعية الأمريكية للفحص والمواد التكنولوجيا ASTM المستخدمة في الطباعة ثلاثية الأبعاد إلى ٧ فئات:-

١. **الطباعة باستخدام البلمرة الضوئية والتصليد الحراري**[١٥] Vat Photopolymerisation

في هذا النوع من الطباعة تستخدم مادة لزجة/هلامية تتكون من بوليمر حساس للأشعة فوق البنفسجية، وليزر من الأشعّة فوق البنفسجية ، حيث يسلط شعاع الليزر على سطح البوليمر حسب نمط معين، والذي هو المقطع العرضي للطبقة المراد طباعتها، وبعد أن يمر شعاع الليزر فوق سطح البوليمر، يتجمد ويصبح صلبا، وهكذا تبنى الطبقات الواحدة فوق الأخرى[٣]

الطباعة النقطية Material Jetting

يتم تطبيق المادة في هذه العملية في قطرات من خلال فوهة ذات قطر صغير، مشابهة للطريقة التي تعمل بها طابعة الحبر الثنائية الابعاد، ولكنها تطبق طبقة تلوالأخرى على منصة لبناء المجسم ثلاثي الأبعاد ثم يتم تقويته بواسطة ضوء الأشعة فوق البنفسجية.

٢. **الطباعة باستخدام المادة اللاصقة Binder Jetting**

[١٤] Mark Cotteleer,– 2014, the 3D opportunity, the basics of additive manufacturing primer.
[١٥] https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/#Vat-Photopolymerisation

يتم استخدام مادتين مسحوق و سائل رابط داخل غرفة الطباعة ، ينتشر المسحوق في طبقات متساوية ويتم تطبيق الرابط من خلال فوهات تلصق جزيئات المسحوق في شكل المجسم ثلاثي الأبعاد، يتم تنظيف المسحوق المتبقي واستخدامه لطباعة المجسم التالي.

٣. الطباعة بالتلين الحراري Material Extrusion

في هذه التكنولجيا يتم تزويد الطابعة بخامة على شكل أسلاك أو خيوط، تتصل برأس مدبب دقيق فيه فوهة ،يسخن هذا الرأس ليذيب مادة الطباعة، وعند حركته أفقيا ورأسيا تخرج المادة حسب الشكل المطلوب، وحال خروج المادة من الرأس تبرد في درجة حرارة الغرفة وتتصلب. واحدة من أشهر التقنيات التي بنيت على هذه التجربة هي نمذجة التسريب المنصهر(FDM) ،Fused Deposition Modeling التي تم اختراعها في نهاية الثمانينات من القرن الماضي. ومن أكثر المواد المستخدمة في هذه التقنية هي اللدائن الحرارية.[٣]

٢.٥ الأنصهار داخل مسحوق Powder Bed Fusion

يتم طباعة المجسم داخل مسحوق ، حيث يسلط شعاع من الليزر عالي الطاقة على سطح جزيئات الخامة سواء كانت زجاج او معدن او سيراميك ، بحسب المقطع العرضي من الشكل المراد طباعته، وبعد طباعة الطبقة على سطح البودرة، يهبط المصعد الخاص بالطابعة طبقة للأسفل ليسمح بتشكيل طبقة جديدة من البودرة حسب الطبقة التالية من النموذج. أشهر تقنية تستعمل هذه التكنولوجيا هي تقنية تلبيد الليزر الإنتقائي Selective laser sintering (SLS)، وأكثر المواد المستخدمة في هذه التقنية هي : اللدائن الحرارية (البلاستيك الحراري)، الزجاج، السيراميك ،المعادن.

٢.٦ الطباعة بالشرائح Sheet Lamination

المادة المستخدمة في الطباعة تكون علي هيئة صفائح معدنية أو ورق أو أحد أشكال البوليمر ويتم لصقها معا عن طريق اللحام بالموجات فوق الصوتية.

٢.٧ الطباعة بالطاقة الكهربائية الموجهةDirected Energy Deposition

تستخدم هذه العملية في تطبيقات التصنيع السريعة، عادة ما يعلق جهاز الطباعة ثلاثية الأبعاد على ذراع روبوتية متعددة المحاور ويتكون من فوهة ترسب مسحوقًا معدنيًا أو سلكا على السطح ويكون مصدر الطاقة شعاع ليزر أو شعاعًا إلكترونيا أو بلازما يقوم بتذويبها ويشكل جسما صلبا.[١٦]

الطباعة ثلاثية الابعاد الحرة : Free form 3D printing

هي شكل من أشكال التصنيع بالاضافة المطور، حيث يقوم روبوت بالطباعة من خلال بثق الخامات و تصلبها في الفراغ المفتوح من خلال الخوارزميات لكلا من الحركة الهندسية والروبوتية، لإنشاء أشكال هندسية معقدة، بواسطة تحديد هدف تلو الاخر، و الانتقال إلى النقاط المستهدفة علي مسارات و عجلات لتوفير حرية الحركة في مساحة فراغية ثلاثية الابعاد، على عكس الطباعة ثلاثية الأبعاد القياسية التي تقوم علي وضع طبقة تلو الاخرى بشكل افقي، مما يؤدي إلى إنشاء مصفوفة تشبه الخلايا في أي تصميم تقريبا، بدون استخدام مواد دعم أو هياكل انشائية عالية التحكم، و يمكن زيادة عدد الروبوتات إلى إثنين أو أكثر لتقليل زمن التصنيع والحصول على أشكال هندسية أكثر تعقيدا ، كما فى الشكل رقم (٣) . الذي يوضح حركة ذراع الروبوت من خلال 6 محاور مع وجود وصلة مثبته فى الرائس لبثق الخامة والتى تولد الأشكال الهندسية البلاستيكية فى شكل تصميمات حره، مستوحاه من مورفولوجيا الأشكال الطبيعية والتى يتم التحكم فيها من خلال برامج رقمية مثل:-

١. راينو Rhino Program برنامج للتصميم ثلاثى الأبعاد،
٢. جراس هوبر Grasshopper برنامج للتصميم الحدودى
٣. ميلبيـــــد : Millipede برنامج لإضافة تحسين على المجسم[١٧]

[١٦] Rajshree Mathur , 3D Printing in Architecture, IJISET - International Journal of Innovative Innovative Science, Engineering & Technology, Vol. 3 Issue 7, July 2016
[١٧] Freeform 3D Printing: A Sustainable, Efficient Construction Alternative

التصنيع المسبق: Pre -Fabrication :

التصنيع المسبق هو خيار مميز بالنسبة لمنهجيات البناء الحديثة, و التصنيع بالاضافة، من خلال الطباعة ثلاثية الأبعاد الحرة ولها ثلاثة فوائد أساسية:

أولا : الدمج بين التصميم المقترح وإستخدام البرامج البارامترية التى توفر قدرات و إمكانيات فائقة على تكوين الكتل.

ثانيا : يمكن التحقق من الجوانب القابلة للبناء بشكل مسبق قبل الشروع فى البناء الفعلى وإختيار افضل خطة للتنفيذ من خلال التجارب علي النماذج المطبوعة و برامج المحاكاة.

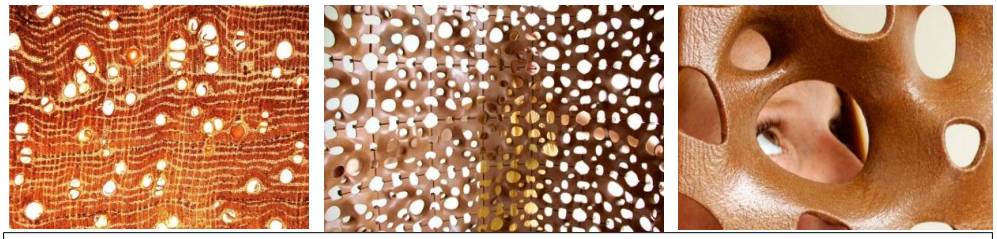
ثالثا: القدرة على إنتاج جميع الأجزاء المطلوبة فى التصميم فى بيئة محكمة ومنضبطة، بحيث يمكن تطبيق المواد المحسنة و إختبارها لضمان عدم تأثرها بالظروف المناخية الخارجية اوتحمل الاحمال المختلفة ,كما يتم تصميمها بحيث تستجيب للظروف المناخية المتوقعة بشكل أكثر كفاءة مقارنة بطرق البناء التقليدية.

الخامات المستدامة المستخدمة في الطباعة ثلاثية الابعاد :

برغم التطورالهائل في مجال ابحاث التصنيع بالاضافة خاصة في مجالات العمارة الداخلية وتصنيع الاثاث، الا انه مازال يتم استخدام بعض الراتنجات السامة في اساليب و تقنيات الطباعة ثلاثية الابعاد و لصق الطبقات فوق بعضها، و التي تعد ضارة بالبيئة ، هناك العديد من الابحاث لازالت تجرى للتحقق من جدوى إستخدام خامات ومواد طبيعية من مصادر وخامات محلية صديقة للبيئة للربط بين طبقات الخامات المختلفة، مثل المخلفات وبقايا رقائق الخشب والورق المعاد إستخدامه ،البلاستيك الخردة ،الطين أو الكربون بالاضافة الي السيراميك والبلاستيك ومساحيق المعادن كمادة وسيطة، بحيث يمكن فى نهاية حياة المنتج المطبوع فصل الخامات بواسطة الانزيمات التى تحدث بشكل طبيعى، ثم إعادة تغذيتها كمواد خام و إستخدامها لاعادة التدوير. كما يمكن تحسين الطباعة ثلاثية الأبعاد من خلال ربط الطبقات معا بأستخدام عوامل رابطة مثل الهيدروجين او الروابط الايونية وهذه الروابط القوية تقلل الحاجة إلى إستخدام الغراء السام للربط بين الطبقات للمجسمات

المطبوعة بتلك التقنية[١٨]. و فيما يلي بعض الخامات المستحدثة في الطباعة الثلاثية الابعاد الصديقة للبيئة والمستدامة و استخداماتها في العمارة الداخلية .

٣.١ الخشب : بواسطة استخدام نفايات الزراعة المعاد تدويرها او نشارة الخشب، يمكن طباعة مجسمات ثلاثية الابعاد تحاكي في شكلها ثمرة الخشب الطبيعية كخامة من خلال التصنيع بالاضافة، من الأمثلة لأستخدام خامة الخشب في الطباعة الثلاثية الابعاد، تصميم قاطوع شكل (٢,٣,٤) مستوحي تصميمه من المحاكاه الشكلية لتشريح اوعية الأخشاب الصلبة عند النظر اليها في المجهر،حيث تبدو مسام الأوعية كثقوب في خشب الشجرة الحية، والتقنية المستخدمة هي الطباعة باستخدام وعاء بودرة الطباعة Powder bed fusionو الذي يتميز بانتاج هيكل قوي ، استخدام حرارة عالية ومقاومة كيميائية ، سرعة



شكل (٢ و ٣ و٤) مثال يوضح الطباعة ثلاثية الأبعاد و محاكاه لنسيج الخشب مصنوع من نشارة الخشب و نفايات الز ر اعة. تصميم Virginia San Fratello المصدر :

عالية في التنفيذ ، الأسطح الناتجة لا تكون ملساء بدرجه عالية نتيجة لمقاس ذرات البودرة المستخدمة .

[١٨] Emily Kennedy, Daphne Fecheyr-Lippens, Biomimicry: A Path to Sustainable Innovation Issues: Volume 31, Number 3 Summer 2015 p.70 Design

٣.٢ **البامبو:** تم استخدام ألياف الخيزران(البامبو) في تجارب الطباعة ثلاثية الأبعاد لتحديد ما إذا كانت مواد وسيطة أساسها حيوي قابلة للتطبيق في التصنيع الإضافي. تمت

شكل (٥) تصميم مظلة طباعة شركة Branch Technology في ميامي بالولايات المتحدة المريكية .مصنوعة من مركب

إضافة ألياف الخيزران المفرومة إلى راتنجات بوليمرية حيوية لإنتاج خامة طباعة أساسها البامبو ، مما أدى إلى مادة أكثر استدامة يمكن استخدامها لتصنيع القوالب والنماذج الأولية للمجسمات والأثاث. و فيما يلي مثال لمظلة تم طباعتها بالكامل.[١٩] شكل (٥) .

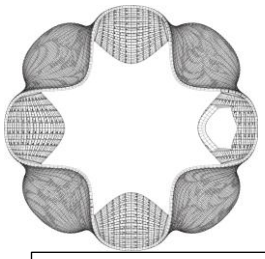
المظلة من تصميم شركة Branch Technology توضح تطوير مفهوم التصميم الذي استفاد من الطباعة ثلاثية الأبعاد على نطاق واسع. و قد كان الهدف من التصميم هو استلهام الشكل الديناميكي للشاطئ في ميامي، ووظيفة المدينة الناشئة كمركز للرؤية الإبداعية والاكتشاف التكنولوجي. و قد تم استخدام خامة البامبو في الطباعه كخامة مستدامة و صديقة للبيئة لما لها من خاصية امتصاص ثاني اكسيد الكاربون من الجو بنسبة٣٥%اكثر من الأشجار. تمت طباعة الهيكل بأكمله باستخدام ١٠٠% من المواد المركبة البيولوجية و القابلة للتحلل Bio Based– الياف الخيزران – تركيبة البوليمر الحيوي المعززة ، مع ٢٠% خيزران و% ٨٠ حمض polylactic (PLA) قابلة للتحلل البيولوجي بالحرارة. حيث يحتوي هذا المركب على ثلث الطاقة المتضمنة و اقل في الأثر كربوني بنسبة ٩٠% من مركب ألياف الكربون المقارن.و رغم انها ليس بقوة الياف

[١٩] Sara Shoemaker Manufacturing - 3-D printing with bamboo fiber, Oak ridge national library ٢٠١٦

الكربون ، لكنها مناسبة لانشاء المظلة وموفرة بنسبة ٤٠ الي ٥٠% من الياف الكاربون، ونعد اكثر استدامه .[٢٠]

٣.٣ الأسمنت البورتلاندي الخالي من أكسيد الحديد : الأسمنت المطبوع ثلاثي الأبعاد لا يتطلب صب الخرسانة، ولا ينتج عنه أي نفايات ويمكن إعادة استخدامه لإنتاج المزيد من الكتل، يخلط مع الأسمنت البورتلاندي الخالي من أكسيد الحديد بوليمر مشتق بيئيا مقاوم للأشعة فوق البنفسجية، و يقلل من انبعاثات الغازات الضارة اثناء عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد بنسبة ٥٠٪. تتم طباعة الكتل من الأسمنت البورتلاندي الخالي من أكسيد الحديد ، والذي يعطي الأسمنت لون افتح من المعتاد ، و اخف وزنا ومقاوم للعوامل البيئية. و قد تم استخدام هذه الخامة في طباعة جناح مبني Bloom من تصميم شركة Emerging Objectsللطباعة الثلاثية الابعاد. شكل (٦,٧,٨)

شكل (٦,٧) تصميم جناح بلوم من تصميم Emerging Objects



شكل (٨) المسقط الافقى لتصميم جناح بلوم

بلوم عبارة عن جناح من مبني قائما بذاته طوله ٢.٧ متر، صليبي في المخطط ، ويتحول إلى شكل ملتوي بـــ ٤٥ درجة على واجهة الجناح، يتكون من ٨٤٠ كتلة غير مماثلة ومطبوعة ثلاثية الأبعاد، تتم طباعة كل كتلة باستخدام مزرعة من ١١ طابعة 3D بواسطة مركب اسمنتي خاص يتكون من الاسمنت البورتلاندي الخالي من أكسيد الحديد. يضفي أكسيد الحديد اللون الرمادي على الأسمنت ، وإزالته تجعل الطباعة أخف وزناً بكثيرو افتح في اللون، يتم تجميع الكتل إلى ١٦ لوحة سابقة الصنع وخفيفة الوزن يمكن تجميعها في غضون ساعات قليلة. يمثل التصميم نموذجًا جديدًا في أساليب البناء المماثل لنظام الحوائط

[٢٠] composites Manufacturing , the official magazine of the American composites Manufacturing association , Nov/Dec/2017

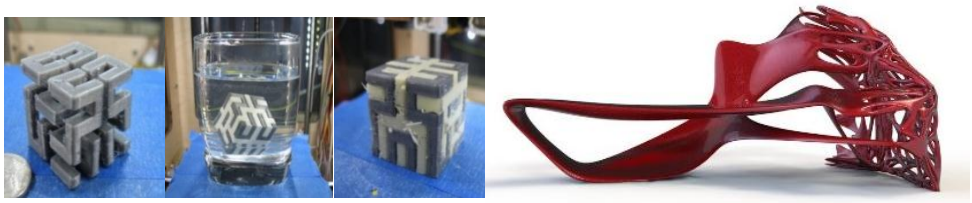
الحاملة ، يمنح الشكل المنحني مزيدًا من الصلابة للهيكل الرقيق والخفيف الوزن، يتم ترقيم كل كتلة مطبوعة ثلاثية الأبعاد لتعيين موضع الكتل في الهيكل العام. بدلاً من مجموعة من المخططات ، تم استخدام جدول بيانات يوضح موقع الكتلة، ويتم تجميع كل كتلة ووضعها في مكانها باستخدام وصلات من الصلب غير القابل للصدأ. سطح التصميم المطبوع يشتمل علي تفريغات بشكل أنماط الزهور التايلندية التقليدية، التي تخلق تأثيرًا بصريًا مذهلاً للضوء والظل على السطح الخارجي والداخلي.

٣.٤ **البلاستيك الحيوي** PLA: **البلاستيك المعاد تدويره :** من اكثر المواد استخداما في الطباعة الثلاثية الابعاد و الأكثر شيوعا و PLA و PVAو ABS و هم من امثلة البلاستيك اللدن بالحرارة–الثرموبلاستيك–المثالي للطباعة ثلاثية الأبعاد، نظرًا لقوتهم ومتانتهم.

ABS Acrylonitrile Butadiene Styrene من الخامات الغير قابلة للتحلل، وبالتالي فأن نفايتها تعد خامة مهدرة ، ولكن بواسطة التصنيع المضاف يمكن إعادة تدويرها عن طريق التسخين لاستخدامها مرة أخرى في صناعة خيوط الطباعة ، لذلك فهي تعد في هذه الحالة من الحلول المستدامة لاعادة تدوير مادة البلاستيك مما يجعل تلك التقنية والخامة إيسر بالنسبة لمجال صناعة الخيوط/الشرائط Filament التي تعتبر مكلفة للغاية حاليا بسبب تكاليف الانتاج و التصدير. توفر ماكينات إعادة تدوير البلاستيك تقنية تحويل تلك الخامة الى خامة أولية من خلال تقطيعة الى رقائق صغيرة وقد صممت تلك الالات لاعادة إستخدام النفايات البلاستيكية.

PLA PolyLactic Acid **البلاستيك الحيوى** : هو النوع الاكثر إستخداما فى الثلاثة أنواع وهو مصنع من مواد عضوية متجددة مثل نشا الذرة أو قصب السكر، و هو من اكثر الخامات الصديقة للبيئة استخداما في مجال الطباعة، حيث يوضع جص في غلاف الطابعة ثلاثية الأبعاد كمسحوق جاف ، ثم يرش الجهاز مادة ربط سائلة على الطبقة الأولى من

الجسم المطبوع. يعد إستخدام خيوط من البلاستيك المعاد تدويره أرخص و أوفر كثيرا من شراء خيوط خامة البلاستيك الجديدة .شكل (٩)

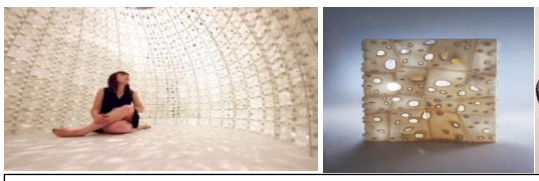


شكل (٩) مقعد مطبوع من تصميم بيتر دندورس. شكل (١٠) مثال للطباعه بواسطة خامة الـــ التي تذوب في

Polyvinyl Alcohol PVA : مادة بلاستيكية تذوب في المياه و تستخدم من أجل توفيردعم اثناء طباعه بعض التصميمات المعقدة التي تتضمن كثير من الأجزاء المعلقة. والتي تحتاج الي تدعيم حتي لا تشوه و تنهار، ثم يمكن وضع الجسم المطبوع النهائي في الماء حتى يذوب الـــ PVA تمامًا ، مما يحرر الجسم من هيكل الدعم ، دون الحاجة إلى أي علاج ما بعد الطباعة اليدوي المزعج.شكل (١٠)

٣.٥. المطاط : تعد طارات السيارات المستعملة من بين أكبر مصادر النفايات وأكثرها إشكالية في العالم. حيث يتم تصنيع عدد ضخم من الإطارات كل عام ، ولكنها ليست قابلة للتحلل الحيوي ، وتحتوي على عدد من المكونات التي تعتبر إشكالية بيئية، مثل المعدن الموجود في إطارات حديدية ذات الحزام الفولاذي. و قد قامت شركة Emerging Objects بأخذ هذه الإطارات ووضعها خلال عملية التبريد حيث يتم تجميدها ثم تحويلها إلى مسحوق شكل (١١)، تم استخدامه بعد ذلك في الطباعة ثلاثية الأبعاد. وجاري الابحاث حول امكانية استخدام هذا المطاط المطبوع ثلاثي الأبعاد كمواد بناء مستقبلية.

شكل (١١) المطاط المعاد تدويرها الي خامة للطباعة



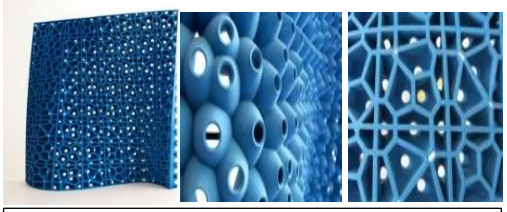
شكل (١٢) وحدة بلاطة مطبوعه من الملح لتصميم Saltygloo

شكل (١٣) التصميم الداخلي لغرفة مطبوعة الثلاثية الابعاد.

٣.٥ الملـــح:

تم استخدام الملح المستخرج محليا من خليج سان فرانسيسكو، والتي تنتج ٥٠٠٠٠٠ طن من ملح البحر كل عام – لإنتاج هياكل خفيفة الوزن باسلوب التصنيع بالأضافة مستوحيا الفكرة التصميمية من الأبنية الموجودة بالاسكيمو، Igloo من حيث الشكل والمفهوم. و قد قامت شركة Emerging Object بعمل Saltygloo و هي تجربة في الطباعة ثلاثية الأبعاد باستخدام الملح لعمل حيزات كاملة داخل مبني سكني ، مطبوع ايضا باستخدام الاسمنت كخامة طباعة ثلاثية الأبعاد. شكل (١٣,١٢)حيث تم طباعة ٣٣٦ لوحة شفافة ثلاثية الأبعاد باستخدام هذه النوعية الفريدة من الخامات . تعكس كل لوحة الشكل البلوري للملح ويتم تركيبها وتجميعها بشكل عشوائي لإنشاء هيكل أكبر، حيث تكون كل البلاطات في الهيكل فريدة من نوعها. وتتصل الألواح ببعضها لتشكل قشرة صلبة مدعومة بقضبان الألمنيوم المرنة خفيفة الوزن ، مما يجعل البناء خفيف الوزن يسهل نقله و تجميعه خلال ساعات قليلة فقط.

3.7 السيراميك :تم استخدام السيراميك في بلاطات سداسية الشكل مصنوعة من السيليكا ، ومسحوق الألومينا مغطاه بطبقة من الخزف. البلاطات المطبوعة مزهرة بشكل طبيعي



شكل(١٤) شكل يوضح فاصل جداري مصنوع من الرمل

شكل (١٥) بلاطات سيراميك لنمو النباتات

بنباتات مزروعه داخل البلاطات الثلاثية الأبعاد، لعمل تكسية خارجية لمبني.شكل (١٥)

٣.٨ الرمل : ADOBE

يمكن استخدام الرمل بأسلوب نمذجة الترسيب المنصهر FDM ، كما في المثال شكل(١٤)، لتصميم فاصل جداري – قاطوع– قائم بذاته، باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد في طباعة بلاطات من الرمال تسمي Picoroco Block من تصميم Branch Technology ،حيث يتم تجميع البلاطات لإنشاء سطح يتسم

بالعضوية والعشوائية المحاكية للطبيعة. الجانب الخلفي من التصميم يكشف عن سطح هندسي مكون من سلسلة من خماسيات مترابطة ، سداسيات ورباعيات الأشكال التي تكون نهايتها الامامية دائرة. مما يصعب تنفيذها الا من خلال تقنية التصنيع بالاضافة و الطباعة النقطية (Material Jetting)

٣.٩ الالومنيوم: الالومنيوم من الخامات المستخدمة في الطباعة الثلاثية الابعاد و تتم طباعته في مسحوق رمل باسلوب الطباعة داخل وعاء من البودرة Powder Bed

شكل (١٦) تفاصيل طباعة كرسي شيللي من تصميم بيتر دندورس.

شكل (١٧) كرسي فاينز من تصميم بيتر دندورس

Fusion، كرسي شيلي SHELLY شكل (١٦) و كرسي فاينز Viensشكل (١٧) من تصميم بيتر دندورس Peter Dondores من الامثلة المطبوعة من الالومنيوم، حيث يتكون من سطح الومنيوم بسمك ٨ مم و يبلغ وزنه ١٢ كيلو جرام . التصميم مصنوع من قطعة كاملة من الألومنيوم ولديه سيولة أنيقة مع تفاعل من المنحنيات العضوية التي تجعلها تبرز من الكراسي الوظيفية الأخرى.تم استيحاء التصميم من اعمال المصمم الشهير فيكتور هورتا مصمم اتجاه الفن الحديث art nouveuexو المستوحي من لفائف اغصان الأشجار الحية ، حيث لا يمكن تنفيذ مثل هذه التصميمات الا من خلال الطباعة الثلاثية الابعاد. من الامثلة الاخري لاستخدام المعادن في الطباعة، شكل (١٨) لشركة Branch Technologyالتي صممت دعائم مطبوعة بالمعدن،لإعادة التفكير في صنع روائع تصميم الأثاث في القرن الواحد والعشرين – لتصميمات شارلز ايمز و ميس فان درروه.

شكل (١٨) تصميمات لاشهر المصممين و اضافة التشعيب المعدنى بواسطة الطباعه الثلاثية الابعاد

٤- تطبيقات التصنيع بالاضافة في عناصرالعمارة الداخلية المحاكية للطبيعة:

الهدف من المحاكاة البيلوجية ليس خلق نسخة طبق الأصل من شكل أو وظيفة عنصر طبيعي فقط، بل الهدف هو إستخلاص نظم و مبادىء الطبيعة من علم الاحياء و الاستعانة بها كمحفز للأفكارفي ايجاد بدائل تصميمية لمعالجة مشكلات مماثلة في التصميم . و لذلك فان علماء الاحياء الان اصبحوا شركاء في العملية التصميمية و معالجة المشكلات المختلفة وفقا للحاجة و رغبة المستخدم، و يتاتي ذلك من خلال ثلاث مستويات للمحاكاة. و هي في مستوى الاول محاكاة الشكلForm ، يليها في المستوي الثاني المحاكاة الوظيفة/ العملية Process، ثم المستوى الثالث ومحاكاة النظام البيئىEcosystem ، و قد نتج عن هذه المحاكاه تصميمات معقدة يصعب تنفيذها بالاساليب التقليدية الا من خلال تقنيات التصنيع بالاضافة او الطباعة ثلاثية الابعاد.

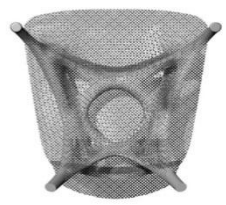
٤.١ تصميم الاثاث من خلال محاكاة الطبيعة: Biomimicry

ساهمت عمليات التصنيع بالاضافة في تغير عمليه التصميم التي تتطلب وقتا واستثمار مالي كبيرا، و ذلك لانه يجب عمل نماذج أولية واختبارها و اجراء تعديلات عليها للوصول إلى المنتج النهائي. فالطباعة ثلاثية الأبعاد يمكنها ان تبسط وتقلل من تكلفة تصميم الأثاث، من خلال القدرة على إنشاء نماذج خفيفة الوزن بسرعة وبتكلفة زهيدة، يمكن للمصمم من اجراء اختبارات المتانة والأبداع عليها بشكل أكثر شمولاً، وابراز مميزات التصميم قبل الوصول الي المنتج النهائي. و تشير المؤشرات الي نموصناعة الطباعة الثلاثية الأبعاد في مجال العمارة الداخلية و الاثاث بأكثر من ٤٥%سنوياً، لما تتيحه هذه التكنولوجيا من توفير

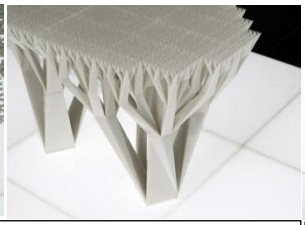
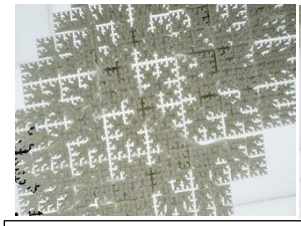
في الموارد و الطاقة،كما انها أكثر استدامة وملاءمة للبيئه من معظم الوسائل التقليدية في صناعة الأثاث.

١. **محاكاه الشكل و الوظيفة – الهياكل الدقيقة – الوحدات المكررة**

اعتمد المصمم فى فكره التصميمى على محاكاه شكل الخلية الدقيقة المتتدرجة الحجم بهدف اضفاء وظيفة الراحة، كرسي الألومنيوم المتدرج من تصميم جوريس لارمان شكل (١٩) مطبوع من خامة الألومنيوم ، باستخدام الطباعة الثلاثية الابعاد باسلوب انصهار الألومنيوم داخل مسحوق ، حيث يتم تشكيل التصميم من الألومنيوم الخفيف الوزن، لتلبية احتياجات وظيفية محددة لمناطق مختلفة في الجسم، بحيث تتم الطباعة بكثافات مختلفة ، تعطي الخلايا الصلبة في الطباعة قوة هيكلية وصلابة في التصميم بينما تقوم الخلايا الأكثر انفتاحًا بتخفيض المواد وتخفيف الوزن ، وكل ذلك ضمن تقنية طباعة واحدة. الكرسي جزء من



شكل (١٩) تصميم كرسي الالومنيوم المتدرج مستوحي من الخلاياي الدقيقة من تصميم جوريس

شكل (٢٠) منضدة من تصميم Wertel Oberfell عام ٢٠٠٨ تحاكي أنماط نمو كسورية وجدت فى الطبيعة.

المجموعة الدائمة للمعرض الوطني في فيكتوريا ، ملبورن أستراليا.

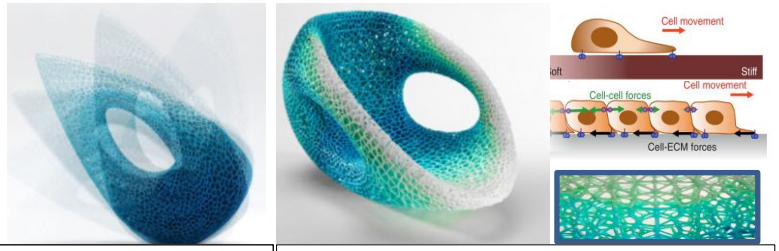
٢. **محاكاه الأنماط المتفرعة : Fractal design**

تكمن المعادلات الهندسية في جوهر كل عملية تصميم اثاث، خاصة عندما يصبح التصميم بمساعدة الكمبيوتر هوالأكثر شيوعا ، فإن الأنماط التي يمكن العثور عليها في الهندسة المعمارية والأثاث والديكور تزداد تعقيدًا. إن استخدام الهندسة الفركتارية، التي يتكرر فيها النمط الهندسي على مستويات أصغر وأصغر لإنتاج أشكال وأسطح غير منتظمة،مثل تصميم المنضدة الشجرية شكل(٢٠) المستوحاه من جذوع الاشجار التي تتفرع من فروع كبيرة إلى فروع أصغر حتى تصبح كثيفة للغاية نحو الأعلى علي النمط الكسوري

Fractalالمتبع في الطبيعة ، من المستحيل تصنيعها ما لم تكن النماذج الأولية السريعة مطبوعة، من قطعة واحدة SLA مصنعه باسلوب التصلد الحراري لراتنجات الايبوكسي.

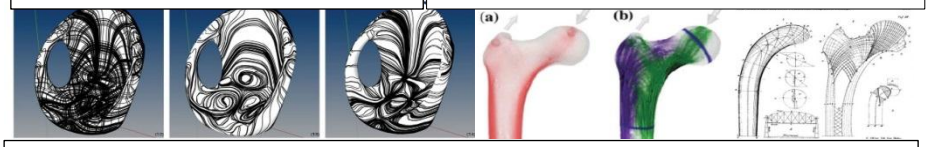
٣- محاكاه عمليات بيولوجية :

يمكن لتصميم الاثاث ان يستوحي فكره التصميمي من عملية بيلوجية مثل عملية الخلايا المهاجرة: حيث يعد التصميم نموذج معماري افتراضي يقوم بتحويل الذكاء المادي والتصنيعي لعملية التصنيع الإضافي إلى ذكاء شكلي و انشائي يستفيد من الطباعة ثلاثية الأبعاد كشكل من أشكال الحرف الرقمية. شكل (٢١,٢٢,٢٣,٢٤) هو مقعد بيضاوى الشكل يستخدم كمقعد هزاز فى وضعه الرأسى او كشازلونج فى وضعه الأفقى و يتكون من شبكة كثيفة و مزدحمة و معقدة تختلف فى الأحجام و الألوان و الصلابة من منطقة الى اخرى. في بعض الأجزاء يكون الكرسي أكثر سمكًا وأكثر صلابة، ولكن أرق ونعومة حيث يجب أن يكون تلبية للحاجة الارجونومية للمستخدم ، هذا يجعل العلاقة المثلى بين الشكل والأداء ، والتى كان يستحيل الحصول عليها بالطرق التقليدية ليس فقط بسبب تعقد الشكل و الكثافة ولكن ايضا بسبب امكانية الحصول على التوزيع المتدرج للخامة ، الخصائص ، اللون و الأداء،



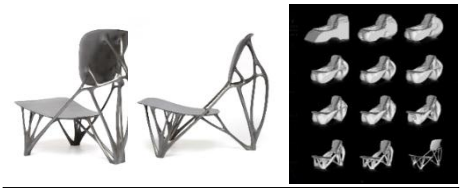
شكل (٢١)المحاكاه لحركة الخلايا في تصميم كرسي هزاز Durotaxis Chair by Alvin Huag

شكل (٢٢) دراسة للثبات باسفل الكرسي لكي يعود الى موضعه الاصلى بعد الميل



شكل (٢٣) محاكاة فكرة النمو العظمي حيث الكثافة الغير متجانسة في تسلسل هرمي، يزيد حيث الحاجة لها شكل (٢٤) تطبيق المحاكاه على تصميم الكرسى من خلال برامج مثل كامبيرا و راينو .

٤ **محاكاه فكرة التنامي: Bone chair**



شكل (٢٥) مراحل رسم تصميم الكرسي العظمي

الكرسي العظمي، المصنوع من ألالومنيوم هو الأول من نوعه في سلسلة من الأعمال التي تم تصميمها وفقًا لطريقة تطور و نمو العظام. تنمو حيث هناك حاجة إلى القوة وتقل حيث يقل التحميل.و قد طور لارمان عملية التصميم هذه بمساعدة البرامج التوليدي generativeالمستخدمة في صناعة السيارات لجعلها أخف وزنا. حيث يقوم البرنامج بحذف الخامة من المناطق القليلة الاحمال.

٥ **هياكل خلايا النباتات Branching Technology**

ابتكرت المصممة الصناعية ليليان فان دال Daal Van Lilian مقعد setting soft Biommicryمستوحى من البنية المعقدة للخلايا النباتية و هو يعد من الاثاث المستدام الذى يمكن إعادة تدويره بسهولة لانه يتكون من خامة واحدة ، حيث قامت ليليان بفحص خصائص و اشكال الخلايا النباتية القادرة على أداء العديد من الوظائف المختلفة، فالتقليل من كثافة المادة من شأنه إيجاد مناطق أكثر مرونة و نعومة للجلوس و الراحة ، ويشبه الى حد كبير بنية الخلايا النباتية المتلاصقة معا، بينما يمكن زيادة كثافة المادة فى المناطق التى تتطلب تحميل و صلابه اكثر مثل الساق، حيث أستخدمت كمية قليلة من الخامة و لكنها كافية للحصول على الصلابة المطلوبة، كما فى الشكل رقم (٢٦).

شكل (٢٦) مقعد من تصميم ليليان فان دال Lilian Van Daal مطبوعا بتقنية الطباعة ثلاثية الابعاد
شكل (٢٧) يوضح اتجاه نسيج الطباعة ليحقق القوة و الليونة محاكيا بذلك خلايا النبات .
شكل (٢٨) صورة لشكل الخلايا النباتية تحت المجهرمصدر الألهام للمصممة فان دال في تصميم Seat Soft "

قامت المصممة فان دال بتصميم المقعد ثلاثى الابعاد باستخدام احد البرامج المساعدة ثلاثية الابعاد يسمى برنامج Rhinoceros حيث قامت بتقسيمه الى عدد من الاجزاء و تكراراها.[٢١] و تم اختبار المرونة و الصلابة عن طريق طباعة النماذج و اجراء العديد من التجارب علي الهياكل المختلفة لتحديد نوع الخصائص التى يتميز بها كل هيكل فى الشكل رقم(٢٨)، و قد توصلت المصمة فان دال فى تبني مفهوم التعلم من الطبيعة، الي ايجاد افضل الحلول لتصميمها من خلال دراستها لخلايا النباتات المختلفة و كيف تحقق الخلايا فى كل نبات القوة مع الليونة فى كل جزء منها دون اهدار و بستخدام اقل خامة ممكنة لتحقيق ذلك.

شكل رقم (٢٩) يوضح التجارب التى مرت بها المصممة فان دال للحصول اشكال و هياكل مختلفة و تحديد نوع الخصاص التى يتميز بها كل هيكل من خامة ال Polyamideكما تبحث فى إمكانية إستخدام خامات بيلوجية لتكون أكثر أستدامة.

٢١ /http://www.homecrux.com/biomimicry-is-3d-printed-chair-inspired-by-plant-cell-structure/19180

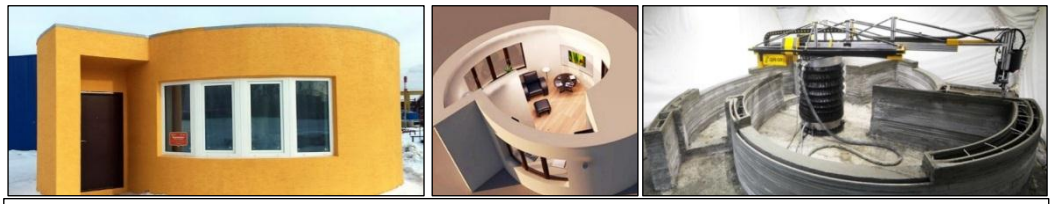
٦ **المحاكاه التصميمية لظواهر طبيعية:**

تصميم شلال يحاكي حدوث طبيعي في ذروته ويحوله إلى منحوتة واقعية وواسعة النطاق، يوطد التصميم العلاقة بين الأحداث المحاكية التي يخلقها Gever وتجسيدها المادي ، مع دمج عناصر عملية كثيفة ومبتكرة لتحقيق منحوتات تبدو حقيقية وغير حقيقية. يعكس العمل النحتي اللحظة والوضع البيئي الذي يحدد الحدود بين الحدث وتمثيله. شكل (٣٥) تم تطوير محاكاة السوائل باستخدام الجسيمات ، مستوحاة من "Étant donnés" للمارسيل دوشامب والتي يمكن أن تحاكي الجاذبية ، والسوائل ، وتدفق سطح الماء والتصادم.

شكل (٣٠) تصميم وحدة زخرفية داخل حيز متحفي لشلال يحاكي حدوث طبيعي .**WATERFALL**, 2014

٤.٢ إسكان لذوي الدخل المنخفض:

يمكن ان تسهم الطباعة الثلاثية الابعاد في حل مشكلة الاسكان في البلدان النامية فقد امكن طباعة وحدة سكنية مساحتها ٣٧ متر مربع، ذو شكل منحني غير عادي، خلال ٢٤ ساعة ،و قد تم طباعه مثال لهذه النوعية من المنشآت، حيث قامت طابعة متنقلة ثلاثية الأبعاد بطباعة الجدران الخرسانية للمبنى كهيكل متصل بالكامل ، يحتوي المنزل على قاعة وحمام وغرفة معيشة ومطبخ صغير. الطباعة ٣ الثلاثية الأبعاد لخلق واقع محاكاة بنفس الكثافة.



شكل(٣١) الشكل يوضح الوحدة السكنية اثناء الطباعة من الخرسانة

شكل(٣٢، ٣٣) الشكل يوضح تصميم الوحدة السكنية مطبوعة D٣ من المواد المعاد تدويرها الخضراء والاقتصادية.

٤.٣ الطباعة ثلاثية الابعاد و مستقبل المسكن المركب Composite Housing:

فتحت الطباعة الثلاثية الابعاد مجالا واعدا لطباعة وحدات سكنية كاملة معقدة التصميم تتبع نهج التصميمات المحاكية للطبيعة من حيث الأشكال العضوية و عدم التماثل ، حيث اصبح في الامكان طباعة منزل في خلال ٢٤ ساعة في الموقع مباشرة، دون الحاجة الي النظم الانشائية التقليدية، ومن الامثلة نموذج تصميم لمبني مطبوع 3d free form printed " structure " ثلاثى الأبعاد، حيث قد قامت بتصميمه شركة WATG المعمارية بلندن، وستقوم شركة برانش تكنولوجى بطباعته من خلال تقنية الطباعة الثلاثية الأبعاد الحرة من خامة البلاستيك حيث سيتم طباعة 82 جزء من الألواح الخارجية ليتم تجميعها فى الموقع فيما بعد لتكوين الجدران الخارجية و السقف و المسطحات والحيزات الداخلية، وسيتم إختبارها لضمان دعم الأحمال المطلوبة ،و اجراء إختبار مجموعات متنوعة من مواد الجبس التى يمكن إستخدامها لدعم الهيكل المطبوع و توفير الحماية من الحرائق[٢٢] .شكل (٣٤)

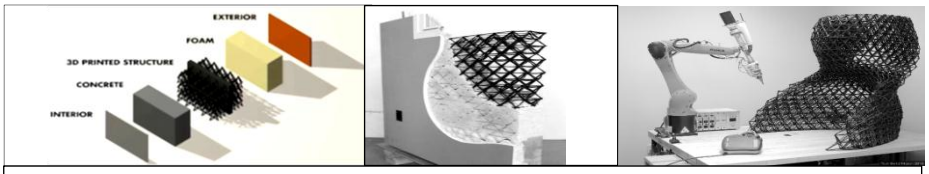
شكل(٣٤) التصميم الخارجي و الداخلي لمبني سكني مركب تم طباعتها باسلوب الطباعة الثلاثية الابعاد الحر.

٤.٤ طباعة منشآت خرسانية كاملة.

تم ابتكار تقنية " حديثة أطلقت عليها "التصنيع الخلوي " ™ Cellular Fabrication " وأختصارها C-FAB هدفها الدمج بين تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد الحرة و الخامات التقليدية" ، تستخدم شكل من أشكال محاكاة الطبيعة" Biomimicry form " حيث تقوم كثير من تلك الدراسات البيلوجية، على تحقيق متانة الهيكل مع الإقتصاد فى الخامة، فالطبيعة هى النموذج الأول التى يمكن استلهام الأشكال الهيكلية القوية منه، وقد استوحت فكرة التصنيع الخلوي من شكل الخلية، التى قد تحتوى إطارات على شكل المكعب أو الشكل الهرمى ،تقوم على تكوين بنية مصفوفة "

[٢٢] Freeform 3D Printing: A Sustainable, Efficient Construction Alternative . p ٩

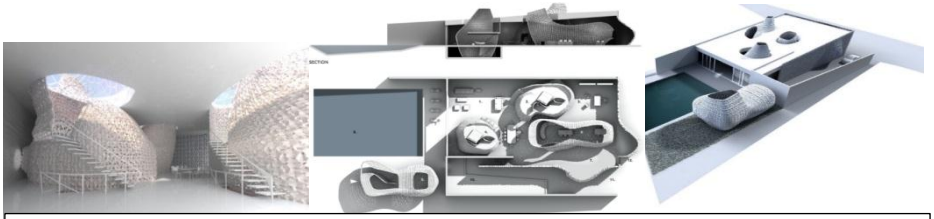
" Matrixتتكون من الخيوط البلاستيكية من خامة ABS المغلفة بألياف الكربون والتى يتم إضافتها من خلال الطباعة ثلاثية الأبعاد الحرة، ثم تدعم بالخرسانة والفوم, فإن الجمع بين تلك العوامل معا يعمل على إيجاد بنية قوية قادرة على تحمل اوزان تفوق وزنها الفعلى ولإستكمال الشكل الجمالى للجدران يمكن استخدام تشطيبات لتصبح بطانة داخلية وألواح للحماية من الطقس وإضافتها داخليا و خارجيا كما فى الشكل رقم (٣٥)



شكل(٣٥) التصنيع بالاضافة المستوحاه من الطبيعة في نظم التشييد – التصنيع الخلوي – و شكل الوحدات الجدارية المسقة التحوير

٤.٥ التصنيع بالاضافة لانشاء حيزات منفصلة داخلي الوحدة السكنية

قام مجموعة من المصممين Ronald Rael, Virginia San Fratello, Eleftheria Stavridi **بطباعة الحيزات** الرئيسية **في** منزل في بيكين عام٢٠١٣، وفق تخطيط العام و الخاص للحيزات السكنية، فقد تم فصل الحيزات الخاصه مثل النوم و الحمامات ومنطقة الطعام الخاصة في داخل حيزات نصف شفافة انبوبية مطبوعه، داخل اطار المبني الخرساني العادي بارتفاع طابقين، ومصنوعة من بوليمر الملح القابل للطباعة و محققا الخصوصية المطلوبة، محاكيا بذلك نظم البناء في مناطق الأسكيمو. و يوضح المنزل التكامل بين أساليب البناء التقليدية والتصنيع بالاضافة، حيث تتطلب طابعة ثلاثية الأبعاد كبيرة جدا،وتستخدم الطاقة المتجددة و المواد المبتكرة ،مثل الملح وبوليمر الأسمنت. يتم تصميم الأكساء الخارجي باستخدام بوليمر اسمنتي خاص مزود بالألياف المقواة المطبوعة ثلاثية الأبعاد، يسمح بالرؤية والضوء من بعض مناطق الجدار،تتغير جودة الضوء والظل باستمرار عبر السطح علي مدار اليوم.



شكل (٣٦) تصميم منزل في بيكين تم طباعه اجزاء منه مكونة الحيزات السكنية الخاصة.

٥- دور التصنيع بالاضافة في المعالجات البيئية للحيزات الداخلية:[٢٣]

على الصعيد العالمي ، فإن صناعة البناء لها تأثير سلبي كبير على البيئة من خلال استغلال الموارد الطبيعية ومن خلال توليد نفايات البناء. بالإضافة إلى ذلك ، فإنه يساهم بشكل كبير في الانبعاثات الضارة بيئيا، في حين انه من خلال التقنية الروبوتية و البناء بواسطة التصنيع بالاضافة، يتم بثق المواد بدقة متناهية وتقريبًا صفر نفايات،و يمكن أن تؤدي هذه التكنولوجيا إلى فوائد الصحة والسلامة البيئية.

٥.١ الواجهات الخرسانية المتكيفة مع الطبيعة: Bioreceptive Concrete Facade[٢٤]

ان تغير المناخ ، وزيادة مستويات التلوث ، وتهالك الأسطح القديمة في النسيج الحضري ،ادي الي بذل جهود متواصلة لجعل مدننا أكثر خضرة واستدامة من خلال انشاء الاسطح والواجهات الخضراء، والتي ثبت انها مكلفة في تنفيذها وصيانتها. بالاضافة الي فشل الجهود في مواجهة الزيادة في فقدان الاسطح المغطاه بالنباتات و الطحالب، والتي بسبب وجودها بنسبه صغيرة لم يلاحظها أحد في مدننا. لذلك يعد الاندماج الحيوي الرقمي للمواد، و التصنيع بالاضافة و التصنيع الرقمي مقترح بحثي متعدد التخصصات يجمع بين فريق تصميم يتمتع بخبرة عالية في الهندسة المعمارية والاحياء، يهدف إلى ابتكار نظام تجاليد للجدران و الواجهات قادرة على نمو الكائنات الدقيقة مباشرة على سطحها، من اجل تحسين أداء الواجهة والحاجة الملحة لتحسين الجودة البيئية لمدننا من خلال تنفيذ نوع جديد من الخرسانة المتقبلة بيولوجيًا.Biologically Receptive Concrete . والتغلب على العديد من القيود المفروضة على الحدائق الراسية vertical gardens ، و التي تحتاج الي انظمة ري و صيانة مكلفة، حيث تم تعديل المواد الأسمنتية المتلقية بيولوجيا، والمستخدمة في تصميمات رقمية ثلاثية الابعاد وتعديلها كيميائيا لزيادة أداء الواجهة من

---

٢٣ http://www.3ders.org/articles/20170817-3d-printed-facade-system-spong3d-could-hugely-improve-thermal-performance-of-offices-and-homes.html

٢٤ Richard Beckett and Marcos Cruz, Buildings, Materials, Moss , 2015 :

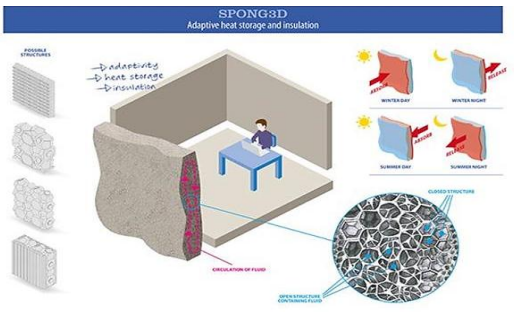
حيث امتصاص الماء ، والاحتفاظ والتوزيع ، والكتلة الحيوية ، والتنظيم الحراري مع مستوى عال من كفاءة التكلفة التي تكون ملائمة للكائنات الدقيقة للإنشاء والتتكاثر. إن اعتماد الخرسانة المتفاعلة بيولوجياً كوسيلة لتعزيز النمو الأخضر له القدرة على أن تصبح واجهة المبنى نفسها هي الأساس البيولوجي لنمو أنظمة التمثيل الضوئي.

شكل (٣٧) شكل الطحالب التي تنمو علي جدران الابنية شكل(٣٨) جيوب بالواجهة الخرسانية المطبوعة ثلاثية

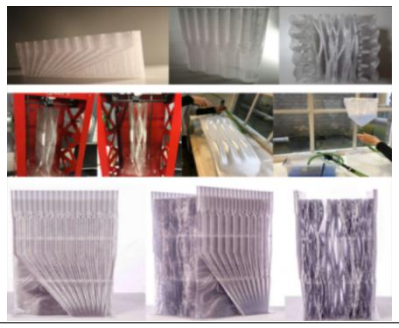
٥.٢ المعالجة الحرارية للواجهات : تسهم الطباعة الثلاثية الابعاد في تحقيق مبادئ الاستدامة من خلال المساهمة في تحسين الاداء الحراري للابنية، حيث استفادت الأبحاث الحديثة من تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد لإمكانية تغيير طريقة بناء المنازل في المستقبل من خلال طباعة نظام الواجهة الثلاثية الأبعاد بهيكل معقد يمكنه من تحسين الأداء الحراري للمبنى، يعرف باسم Spong3D ، وهي واجهه قابلة للتكيف مع الظروف المناخية المختلفة ، يمكن تثبيته داخل الجدار،تتيح تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد إنتاجها بهيكل معقد يجمع بين وظائف متعددة من عزل حراري بالإضافة إلى تخزين الحرارة، حيث يتم طباعة تصميم الواجهه بتجاويف هواء ذات أحجام مختلفة لتحقيق العزل اللازم ، بينما يتدفق سائل من خلال سلسلة من القنوات حول الحواف الخارجية لتخزين الحرارة عند الحاجة.شكل(٣٩,٤٠) لدراسة تحسين الأداء الحراري لتصميم الواجهه ، تم تصميم واختبار عدة عينات بتشكيلات هندسية مختلفة للهياكل المسامية.و من خلال برامج المحاكاه تم تحديد ان المقاومة الحرارية تعتمد على مسامية الواجهة ، أما بالنسبة للقنوات الحاملة للسائل، فقد كانت مبنية على شكل تكوينات طبيعية محاكية في ذلك الأوعية الدموية أو عروق الأوراق. يتم دمج المضختين المعكوسين في الطبقات الخارجية لألواح الواجهة. في حالة التبريد ، يتم وضع السائل في الداخل لاستيعاب أي حرارة داخلية ، ثم يتم ضخه إلى

الطبقة الخارجية لتصريف الحرارة إلى الهواء الليلي البارد في الخارج. وفي الحالة البديلة ، لتسخين الغرفة ، يتم وضع السائل في الخارج لاستيعاب أي حرارة شمسية خلال النهار. ويمكن بعد ذلك ضخها إلى الداخل لإطلاق الحرارة داخل المبنى ، من خلال الجدران. ترتبط المضخات أيضًا بخزان مياه ، يخزن الماء عند الضرورة.

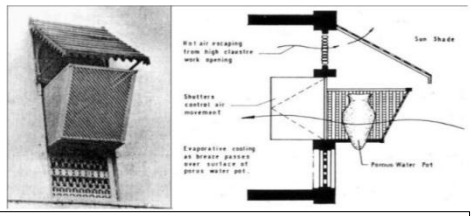
مثال اخر للمعالجة الحرارية باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد ، ابتكرت شركة Emerging Objects حلاً لتقليل استخدام أنظمة تكييف الهواء في الأجواء الجافة الحارة بشكل كبيربواسطة البلاطات الباردة، Cool Brick شكل (٤١)عن طريق تحديث فكرة نظام التبريد بواسطة تبخر المياه عبر الاواني الفخارية علي النوافذ و الذي تعود فكرته إلى أكثر من ٣٣٠٠ عام. من خلال تصميم بلاطات من السيراميك يمكنها امتصاص المياه مثل الأسفنج شكل(٤٢)،و طباعتها ثلاثي الأبعاد و تركيبهم مع بعض في تشكيلات متنوعة بالواجهات و النوفذ ، ثم عندما يمر الهواء الحار ، يمتص الهواء الماء من خلال التبخر ، ويصبح هواءًا رطبًا أكثر برودة.



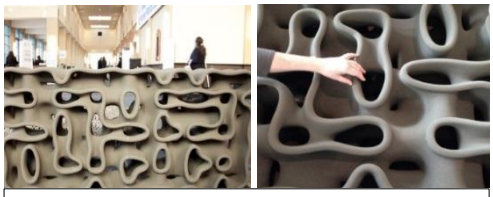
شكل (٣٩) يوضح الشكل تصميم الواجهة المفرغة التي تعمل على العزل الحرارى و القنوات التى تحمل سائل



شكل (٤٠) الطباعة ثلاثية الأبعاد للواجهه و يظهر بها شكل القنوات التى تحاكى الأوعية الدموية و اوراق



شكل(٤١) التبريد بواسطة الاواني الفخارية في العمارة التقليدية شكل (٤٢) بلاطات التبريد المستخدم في المناطق الحارة الجافة



شكل (٤٣) القاطوع الرملي من تصميم و طباعة Emerging Objects لتقليل الرنين في القاعات الموسيقية .

٥.٣ المعالجات الصوتية:

الجدار المطوي The involute wall هو تصميم رقمي لقاطوع يعمل علي التثبيت الصوتي والتلطيف الحراري ، مطبوع في بنية رملية ضخمة ثلاثية الأبعاد. فالأسطح الملتفه تقلل الرنين في الغرفة ، عن طريق امتصاص وإعادة توجيه الموجات الصوتية. توفر الطباعة بخامة الرملي ثلاثية الأبعاد الضخمة سعة ٦٠٠ ليتر الفرصة للاسطح لتكون بمثابة كتلة حرارية مع الحفاظ على قدر كبير من الحائط في الظل، وهي مثالية للاجواء الحارة في تغيرات درجة الحرارة الشديدة.[٢٥]

النتائج:

- تتعدد مميزات تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في انه يمكن تجسيد و تجريب التصميمات المعقدة المستوحاه من الطبيعة بالاضافة الي سهولة تعديل التصميم، مما يفسح المجال الي تطور هائل في مجالات متعددة .
- في ظل التتقنيات الحديثة و برامج الحاسوب المختلفة اصبح لا توجد حدود لمدى تعقيد التصميم و التي لايمكن تنفيذها الا بواسطة تقنيات الطباعة الثلاثية الابعاد.

[٢٥] https://www.branch.technology/projects-1/2017/9/1/freeform-challenge

- يتسم التصنيع بالاضافة بامكانية اعادة تدويرالخامات، لا تستخدم أدوات أو أجهزة كثيرة وبذلك يمكن ختصار الوقت والتكلفة و دورة إنتاج قصيرة جدا، والحصول على منتج مطابق لكل المواصفات القياسية.
- إمكانية طباعه حيزات سكنية كاملة بامكانها المساهمة في حل ازمة الاسكان الاقتصادي و المستدام.
- تتفوق طريقة الطباعة الثلاثية على طرق التشكيل التقليدية وذلك لأن مكونات المنتج في طريقة الطباعة الثلاثية تنافس أداء مثيلاتها التي صنعت بطرق التشكيل التقليدية .

التوصيات :

- استخدام الطابعات الثلاثية الأبعاد في مجالات العمارة و الديكور في المراحل التعليم الجامعية لرفع من مستوي الطلاب في مجالات التجربة و التخيل للتصميمات المعقدة لمواكبه التطور المتسارع في الافكار التصميمه عالميا.
- ضرورة توجيه و نصح المسؤلين بالحكومة و المستثمرين بضرورة اقتناء هذه التقنية و الأستفادة منها في تطوير التصميمات المعاصرة تحقيقا للتوفير الاقتصادي و الوصول الي الاستدامة المنشودة .
- ضرورة توجيه الأبحاث العلمية في تصنيع الخامات لتطوير هذه التقنيات .

المراجع:

1. Richard Beckett and Marcos Cruz, August19th2015 Buildings, Materials, Moss Composites manufacturing, the official magazine of the American composites Manufacturing association, Nov/Dec/2017.
2. Rajshree Mathur , 3D Printing in Architecture, IJISET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, Vol. 3 Issue 7, July 2016.
3. Soydan Ozcan, Sustainable Materials & Manufacturing ,2016
4. Satwik Kumar Roll , 2015 3D Printing Materials.
5. Mark Cotteleer, Jonathan Holdowsky& Monika Mahto – 2014, The 3D opportunity primer, The basics of additive manufacturing.
6. Emily Kennedy, Freeform 3D Printing: A Sustainable, Efficient Construction Alternative.
7. Daphne Fecheyr-Lippens, 2015 ,Biomimicry: A Path to Sustainable Innovation Design Issues: Volume no.31
8. Sara Shoemaker, Manufacturing - 3D Printing With Bamboo Fiber, Oak ridge national library ٢٠١٦
9. Composites Manufacturing , the official magazine of the American composites Manufacturing association , Nov/Dec/2017
10. Ruairi Glynn and Bob Shell fabricate , Making Digital Architecture, UCL press 2017
11. https://www.branch.technology/projects-1/2017/9/1/freeform-challenge
12. http://www.3ders.org/articles/20170817-3d-printed-facade-system-spong3d-could-hugely-improve-thermal-performance-of-offices-and-homes.html
13. http://www.slideshare.net/satwikshiri/3-dprinting-materials
14. https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/#Vat-Photopolymerisation
15. 3D printing .com

الرسائل العلمية:

1. Armando Papageorge . master thesis , Freeform 3D Printing: A Sustainable, Efficient Construction Alternative ,Victoria University of wellington , school of Architecture 2018