الطباعة الثلاثية الأبعاد كأداة للتصميم الصناعي المستدام

3D printing as a tool for Sustainable industrial Design

أ.م.د/ أحمد كمال علي

أستاذ مساعد بقسم التصميم الصناعي- كلية الفنون التطبيقية-جامعة حلوان

Assist.Prof.Dr. Ahmed Kamal Ali

Assistant professor in Industrial design Department-Faculty of Applied Arts – Helwan University

draka1974@gmail.com

ملخص البحث

تناولت الدراسات بالشرح والتحليل العديد من الأدوات التي يمكن للمصممين الصناعيين استخدامها لتحقيق مفهوم الإستدامة في تصميماتهم. يستخدم مصطلح الطباعة الثلاثية الأبعاد أو التكنولوجيا المضافة للإشارة إلى التصنيع على نطاق تجاري و هناك ارتباط بين تكنولوجيا الطباعة الثلاثية الأبعاد, والتصميم الصناعي المستدام نظراً لان الطباعة الثلاثية الأبعاد تعتبر أول تكنولوجيا تمهد لتبني المزيد من نماذج الإنتاج القائمة على محاكاة الطبيعة من خلال نموذج التصنيع المحلي المستلهم من سلوك العديد من الكائنات مثل النحل، و المحاكاة لسلوكيات الكائنات يعتبر من استراتيجيات التصميم المستدام كما اوضحت ايزابيلا أورسانو وآخرون (٢٠٢٢)، البحث لن يسلط الضوء على علاقة التصميم الصناعي المستدام بالطباعة الثلاثية الابعاد من هذه الزاوية وحدها بل يسلط الضوء على كيفية استفادة المصمم الصناعي من الطباعة الثلاثية الأبعاد بشكل تفصيلي وعملي.

الكلمات المفتاحية

الطباعة ثلاثية الأبعاد و التصميم، التصنيع بالإضافة، المستدام

Abstract

literature has reflected many tools that could be used by industrial designers to help them achieve sustainability in their designs.The concept of 3D printing or “additive Technology ,isterm commonly used to refer to manufacturing on a commercial scale using 3D printing technology” and sustainable industrial design are linked because 3D printing is considered the first technology that, by adhering to a basic principle of nature, “the inclination to manufacture locally”, has the potential to enable a more biomimetic production model meanwhile biomimicry is one of the strategies of sustainable design, as mentioned by Isabella Ursano et al. (2022). However, the focus of this study is not on additive manufacturing only but, concentrating on how industrial designers can benefit from 3D printing as a tool for sustainable industrial Design.

Keywords

3Dprinting, Additive manufacturing, Sustainable, Design.

المقدمة

من وجهة النظر التاريخية، تم تقديم مصطلح المحاكاة الحيوية لأول مرة في عام ١٩١٧ من قبل أوتو شميت Otto Schmitt في كتابه بعنوان "حول النمو والشكل""On growth and Form". يعتبر شميت مؤسس الهندسة الطبية الحيوية، كما ساهم ايضا في مجال الفيزياء الحيوية. ادعى شميت ان الطبيعة تعتبر مصدر للإلهام منذ حقبة زمنية طويلة تعود إلى العصر الحجري. اتجاهات التصميم الحيوي (القائمة على الحلول، القائمة على المشكلات) تمدنا بمجموعة كبيرة من اتجاهات الحلول التي تم اختبارها بواسطة الطبيعة.

كلمةBio-mimicry تعني المحاكاة الحياة، وهي أصـــلها يوناني مكونه من مقطعين بيوس (الحياة) وميميكو (التقليد) وفقا لتعريفات Benyus. ففي عام ٢٠٠٢ عرّفت جانين بينيوس Janine Benyus محاكاه الطبيعة Biomimicry بأنها دراسة العمليات والأنظمة الأكثر كفاءة في الطبيعة والتي تطورت على مدار ٣,٨ مليار ســنة من البقاء على الأرض وتطبيقها لحل المشاكل البشرية. يمكن حل مشكلة إدارة النفايات وترشيد الموارد من خلال محاكاة العمليات الطبيعية. ومن الجدير بالذكر أن عملية تصميم الحيوي تستخدم كنظام متكامل، وليس كعناصر منفصلة.

للحفاظ على الاستدامة، طورت الطبيعة مجموعة من "المبادئ" وهي: التعقيد، والتكاثر، والنمو، والاستشعار والتفاعل، والتكيف، والتمثيل الغذائي، والطاقة، وإصلاح الذات، والذكاء. يشير المفهوم الواسع للتصميم المستدام الى الاخذ في الاعتبار عند تصميم المنتج تقليل التأثيرات السلبية الاجتماعية والبيئية والاقتصادية. وتقليلها قدر الإمكان، حيث يشير التقليل من "الآثار الاقتصادية" إلى تعزيز استخدام الموارد الطبيعية المتجددة وتقليل استخدام الموارد الطبيعية القابلة للاستنزاف كمدخلات مادية للإنتاج الاقتصادي.

في تصميم المنتجات، يتم تغطية جانب "التأثير الاقتصادي" بشكل أساسي من خلال اتخاذ خيارات مفيدة للبيئة تقلل من استنزاف الموارد الطبيعية. على سبيل المثال، الأخذ في الاعتبار إعادة التدوير، وإعادة الاستخدام، والتركيز على جوانب التصميم الدائري الأخرى (القضاء على النفايات والتلوث، تصميم منتجات قابلة لإعادة التدوير وكذلك الاعتماد على خامات قابلة للتدوير) ، والاهتمام بتجديد الطبيعة.

التصميم المستدام ليس مفهومًا حديثًا، لأن المغزى منه يعود إلى أقدم المستوطنات البشرية حيث كان أسلافنا خبراء في عمل تصميمات للمنتجات التي يستخدمونها من خامات تتكيف مع بيئتهم المحلية، وباستخدام المواد الطبيعية المتوفرة بسهولة.

ذكرت Deniz DENİZ أن التصميم المستدام للمنتجات يهدف إلى تطوير العديد من المنتجات والعمليات الصديقة للبيئة. . ويتضمن تطبيق التصميم المستدام للمنتج إطارًا معيناً للنظر في القضايا البيئية وتجنب الإجراءات التقليدية للتصميم والتصنيع . نظراً لأن لتصميم بالمحاكاة الحيوية Biomimicryيعتمد على" حلول موجوده في الطبيعة، لذا امكن تصميم منتجات تتناغم مع البيئة وتعد محاكاة عمليات الطبيعة ذات فعالية في حماية نظامنا البيئي حيث يساعدنا في تحقيق التوازن البيئي الذي يساعد على الحياة المثلى، في الواقع، المحاكاة الحيوية biomimicry تُمكن المصممين من التركيز على استراتيجيات الاستدامة الكامنة في الطبيعة لابتكار منتجات قابلة للتكيف ومتعددة الوظائف.

يتم الجمع بشكل متزايد بين المحاكاة الحيوية biomimicry والطباعة ثلاثية الأبعادD printing 3 ، خاصة مع تطوير مواد جديدة أكثر طبيعية واتساع نطاق امكانيات الطباعة الثلاثية على تحقيق وتنفيذ تصميمات لم يكن من السهل تطبيقها من قبل وبالتالي اصبح من الممكن تنفيذ الأفكار المستلهمة من الطبيعة بما فيها من تعقيد .بالإضافة إلى ان الطباعة ثلاثية الأبعاد اجتذبت اهتمامًا كبيرًا لقدرتها على تقليل الهادر (waste)، واستخدام طاقة أقل، وخفض التكاليف، الى جانب ابتكار منتجات أكثر استدامة .

يهدف البحث إلى التعرف على الطرق المختلفة التي تجعل الطباعة ثلاثية الأبعاد وسيلة لمساعدة المصمم الصناعي على ممارسة الاستدامة، وكيف يتعامل المصممون الصناعيون مع هذه التكنولوجيا، وكيف يمكن أن تصبح الطباعة الثلاثية الأبعاد تقنية بإمكانها أن تغير قواعد اللعبة في عالم التصميم الصناعي وفي الوقت نفسه تضيف ابعاداً جديدة لتطبيقاتها في المحاكاة الحيوية باعتبارها تقنية مستدامة. المصمم الصناعي يستطيع الاستفاده من تكنولوجيا الطباعة الثلاثية الأبعاد أو كما يطلق عليها في المجال الصناعي Additive Manufacturing لتحقيق مبادئ الاستدامة التي يتبناها في تصميماته

مشكلة البحث

نظراً للتحولات الاقتصادية العالمية وزيادة الاهتمام العالمي بحماية البيئة فإن التصميم المستدام والتصنيع المستدام اصبحا هدفاً لا يمكن أرجائه والطباعة الثلاثية الابعاد من شأنها أن تمثل أداه هامة للمساهمة في تحقيق المصمم الصناعي لأهداف التصميم المستدام بأكثر من طريقة، ولترجمة ذلك الادعاء يسعى البحث لعمل دليل توضيحي شامل لكيفية تحقيق ذلك من خلال الإجابة على السؤال التالي: ما هي طرق توظيف التكنولوجيا الثلاثية الأبعاد كأداة لتحقيق التصميم الصناعي المستدام؟

هدف البحث

يهدف البحث إلى مساعدة المصمم الصناعي على النجاح بشكل اكبر في ابتكار وتصميم منتجات مستدامة باستخدام الطباعة الثلاثية الأبعاد.

فرض البحث

يفترض البحث ان دراسة اوجه الاستفادة من تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الابعاد وربطها بفكر التصميم المستدام ووضعها في اطار متكامل يساعد المصمم الصناعي في تحقيق مبادئ الاستدامة في تصميماته

منهجية البحث

يتخذ البحث المنهج الوصفي التحليلي والاستنباطي

اولا : محاكاة الطبيعة كاستراتيجية للتصميم الصناعي Biomimicry as an industrial Design Strategy

تُعرف لازارا إيليفا وآخرون (2022) المحاكاة الحيوية بأنها نهج متعدد التخصصات لدراسة ونقل نظم أوميكانيزمات عمل أو تركيبات خامات من الطبيعة لحل مشاكل التصميم، والتي غالبًا ما تتميز عن مداخل التصميم الأخرى Approaches من خلال تركيزها على الاستدامة من خلال محاكاة أنماط الطبيعة التي تم اختبارها وأثبتت فعاليتها عبر الزمن فالحياة على الأرض تطورت منذ ٣,٨ مليار سنة، في حين أن البشر كانوا موجودين منذ ٢٠٠ ألف سنة فقط. وهكذا، غالبًا ما يتم تصور الطبيعة على أنها "كتالوج للمنتجات والخامات والهياكل البنائية"، أو "موسوعة حية لاستلهام الابتكارات"، أو "قاعدة بيانات كبيرة من النظم والميكانزيم وعلوم الخامات" ، أو "مجموعة هائلة من الأفكار" التي تقدم ما يعادل ٣,٨ مليار سنة من حلول التصميم الهندسيه والتي اثبتت قدرتها على تحقيق التكيف للكائنات مع البيئة التي تعيش فيها ومع أنواع الكائنات الأخرى . يتمتع العالم الطبيعي بخصائص يمكن أن تساعد في التحرك نحو الاستدامة إذا تمت دراستها ونقلها بشكل منهجي. من الناحية العملية، يرى المصمم الصناعي أن حلول الطبيعة تقلل من الأضرار التي قد تلحق بالبيئة، وهذا يعتمد على فهمه

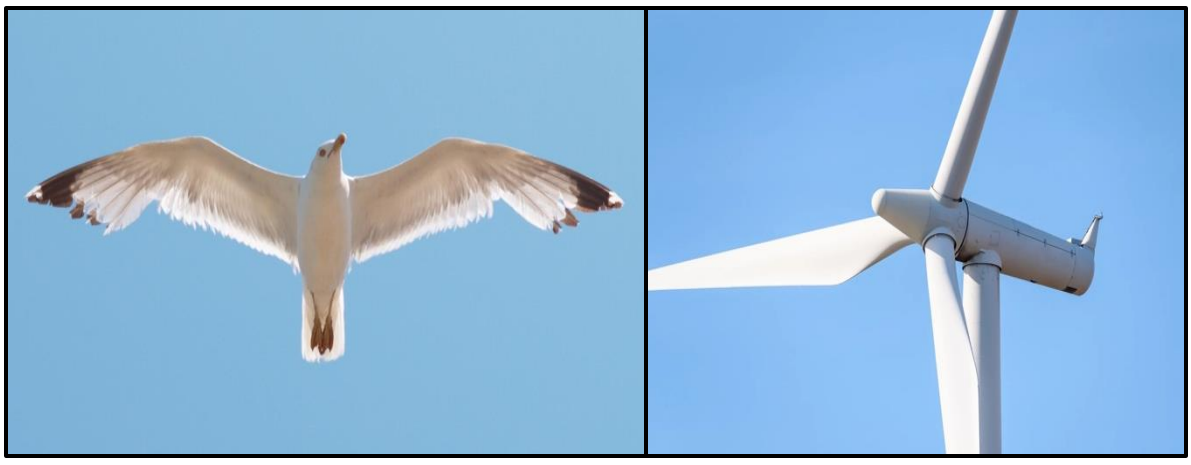
لتلك الأضرار الناتجة عن ابتكارات الجنس البشري والحلول التي توصل اليها بمعزل عن دراسة ما تقدمه الطبيعة من حلول لمشاكل شبيهة بمشاكل التصميم التي يقوم بحلها . في مجال التصميم الصناعي، أدت تصميمات المحاكاة الحيوية إلى تحسين كفاءة الطاقة والخامات وكذلك في استخدام المواد وصيانتها.

ذكر أندريس ميخيا فيلا ,Andres Mejía-Villa et Al(2023)، أن المحاكاة الحيوية هي استراتيجية تصميم مستدامة تسخر فهمها للطبيعة وتستخدم مواردها بشكل فعال ولهم دراسة منشوره تهدف إلى تقييم فعالية تدريس الدمج بين عمليات المحاكاة الحيوية وحل المشكلات الابتكارية (Creative Problem Solving) لطلاب تصميم المنتجات .

أشار المعماري دينيس أوتشي Denis Uche إلى أن المحاكاة الحيوية في جوهرها هي منهجية تتطلع إلى الطبيعة للإستلهام منها في حل التحديات البشرية المعقدة، وهي تتعلق بفهم المبادئ والانماط التي سمحت للحياة بالازدهار على الأرض لمليارات السنين.. يصف دينيس الطبيعة بأنها مُصمم بارع، ويؤكد أنها طورت استراتيجيات مبتكرة لتضمن تكيف الكائنات معها ومع أنواع الكائنات الأخرى مع الحفاظ على الموارد، كما أكد أن إحدى فوائد المحاكاة الحيوية هي قدرتها على تحقيق الاستدامة.

لقد تطورت الطبيعة ونقحت تصميماتها الخاصة عبر ملايين السنين لضمان بقاء واستدامة أنواعها. من خلال دراسة حلول الطبيعة، تهدف المحاكاة الحيوية إلى كشف أسرار الطبيعة وتطبيقها على التحديات المعاصرة التي يواجهها الإنسان. يمكن الاستفادة من حلول الطبيعة في مجالات مختلفة منها عمليات هندسية دقيقة، وخوارزميات، وخامات وتصميمات. إن الاستلهام من العمليات الطبيعية وتوظيفها بما يتلاءم مع التصميمات التي يضعها المصمم الصناعي، دليل على أن المحاكاة الحيوية تساهم في تطوير التقنيات المستدامة التي يمكن أن تساعد في التخفيف من التحديات البيئية.

يستفيد المصممون الصناعيون من الطبيعة كمصدر لحلول التصميم المستدام بعدة طرق. تأتي كفاءة الطاقة على رأس القائمة حيث أن الطبيعة فعالة بشكل لا يصدق في استخدام الطاقة. لقد قننت الطبيعة كفاءة استخدام الطاقة على مدى مليارات السنين. ومن خلال دراسة كيفية قيام الكائنات الحية والنظم البيئية بتحسين استخدام الطاقة، يمكننا تصميم أنظمة أكثر كفاءة، من وسائل النقل البسيطة إلى المنتجات المنزلية الموفرة للطاقة. على سبيل المثال، استلهم من الشكل الأنيق لجناح الطائر تصميم شفرات توربينات الرياح عالية الكفاءة (كما في شكل رقم١)



شكل (١) :تصميم التوربينات المستوحى من جناح الطائر

https://www.yahoo.com/tech/researchers-design-highly-efficient-wind-

وقد أدت أنظمة التهوية لتلال النمل الأبيض إلى تحسينات في أنظمة التدفئة والتبريد(كما في شكل رقم٢)

شكل (٢): يبني النمل الأبيض مداخن كبيرة لتدوير الهواء والتحكم في درجات الحرارة في تلالها.

الصورة: لوثار هيرزوج Wikimedia commons

كما ألهمت آلية التنظيف الذاتي لأوراق اللوتس، والتي تطرد الماء والأوساخ، تطوير الطلاءات الفائقة المقاومة للماء حيث تقلل هذه الطلاءات من الحاجة إلى مواد التنظيف الكيميائية وتمكن الأسطح من التنظيف الذاتي، وبالتالي الحفاظ على الطاقة وتقليل الآثار البيئية الضارة (كما في شكل رقم٣).

شكل (٣):الية التنظيف الذاتي لأوراق اللوتس

Retrieved from https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles

(.with permission of The Royal Society of Chemistry.

لقد أثبتت المحاكاة الحيوية في مجال ابتكار خامات جديدة مدى نجاح توظيف تلك الخامات في تطوير أفكار تصـــميم منتجات مســـتدامه تعمل على تقليص الاثار البيئية، وذات فعالية أداء وظيفي عالية، فالمواد القائمة على الطبيعة تعزز الخواص الميكانيكية للمواد، مثل القوة، والصـــلابة، والصـــلابة، والمتانة. هناك العديد من الأمثلة بما في ذلك الخرســـانة ذاتية الالتئام المستوحاة من الطريقة التي تعمل بها العظام على إصلاح نفسها، والمواد الانشائية القوية وخفيفة الوزن المستوحاة من تكوين الأصداف البحرية (كما في شكل رقم٤)

شكل (٤) :استلهم العلماء في مختبرات Sandia National Laboratories فكرة مادة جديدة متعددة الاستخدامات، فهي رخيصة الثمن وقوية وخفيفة الوزن ومقاومة للحرارة بشكل لا يصدق. ويمكن استخدام هذه المادة في حماية المركبات الفضائية أو مرافق الاندماج النووي.https://newatlas.com/materials/seashell-material-strong-light-spacecraft-shielding /

وفيلكرو نظام التثبيت المستخدم على نطاق واسع يوفر الفيلكرو حلاً فعالاً وقابلاً لإعادة الاستخدام للتثبيت والذي حل محل الطرق التقليدية في تطبيقات مختلفة،(كما في شكل رقم٥).

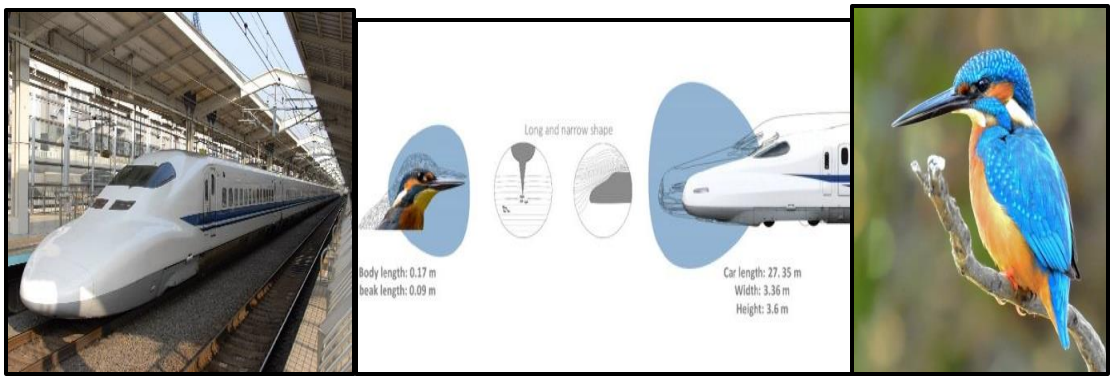
شكل (٥): يوضح شكل الفيلكرو والنبات المستوحى منه الفكره" Burr" وشكل شعيرات الفيلكرو تحت الميكروسكوب

/https://www.microphotonics.com/biomimicry-burr-invention-velcro

ابتكرت شركة Greenpod Labs أكياس تغليف مستوحاة من المواد العضوية تحاكي آليات الدفاع الموجودة في أنواع معينة من الفواكه أو الخضروات لإبطاء معدل النضج والحد من نمو الميكروبات تسمى هذه الأكياس مواد متطايرة نباتية، والتركيبة الصحيحة تقلل من الحاجة إلى التخزين في المبردات(كما في شكل رقم٦). .

شكل (٦) التغليف الذي تم ابتكاره بواسطة GreenPod https://www.learnbiomimicry.com/blog/Best-biomimicry-product

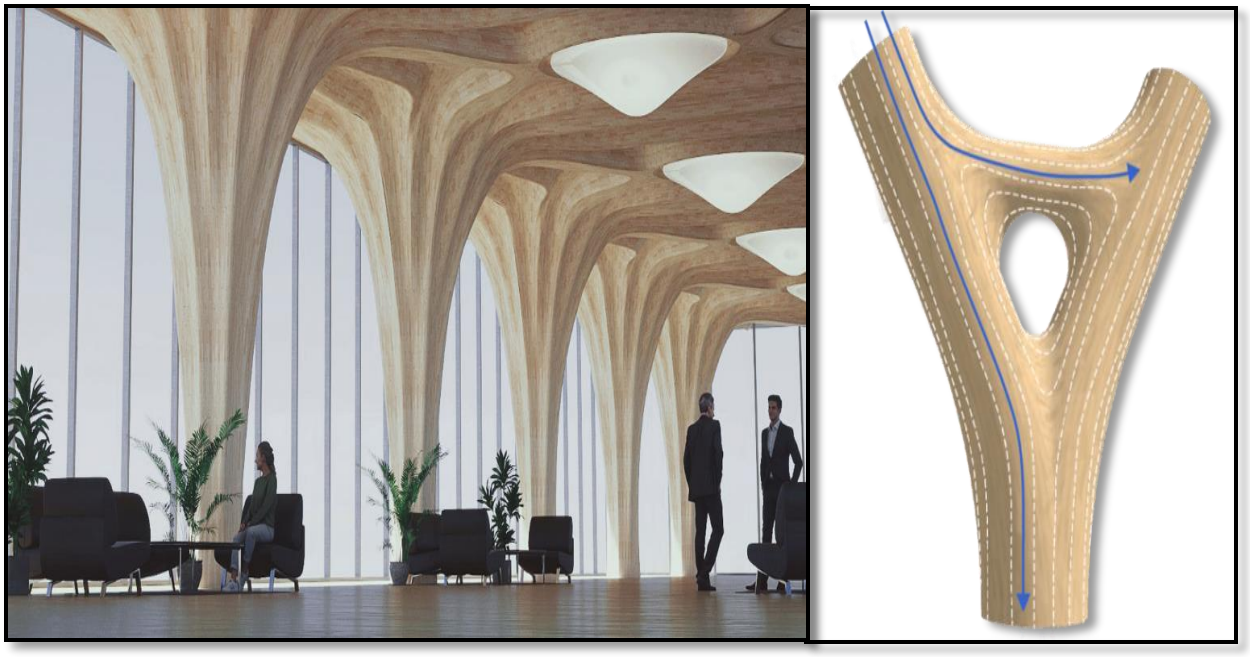
عندما يتعلق الأمر بالشكل الذي يتبع الوظيفة، فإن الطبيعة هي مصدر لا ينضب من الأفكار التي يمكنها الحفاظ على مبادئ المنتج المستدام ,على سبيل المثال أستلهم من شكل الأنف الضيق لطائر الرفراف kingfisher تصميم مقدمة قطارات الرصاصة اليابانية الحديثة شينكانسن Shinkansen bullet، مما وضع حداً للضجيج الصوتي الصاخب الذى ينشأ عندما يخرج القطار من النفق وايضاً زيادة كفاءته الاجمالية(كما في شكل رقم٧)



شكل رقم (٧) قطار مستوحى من منقار طائر Shinkansen bullet

https://www.researchgate.net/publication/354909240_Organismal_Design_and_Biomimetics_A_Problem_of_Scale/figures?lo=1 Available via license: CC BY 4.0

تمثل المرونة وسهولة التكيف جزءاً هاماً من قصة المحاكاة الحيوية كاستراتيجية تصميم مستدام نظرًا لحقيقة أن الأنظمة البيولوجية تشتهر بالتكيف والنمو في البيئات المتغيرة. يمكن للمصممين أن يتعلموا من مرونة الطبيعة وقدرتها على التكيف في وضع تصميمات مستدامة ذات قدرة على التحمل والاستجابة للظروف البيئية المتطورة . strong by form هو ابتكار لتركيب معقد لخامه تحمل مواصفات الخشب وليها قدرة على مواجهة الاحمال والضغوط والاجهادات وتم الاستلهام لعمل الخامة تحمل من خواص مرونة الأشجار وقدرتها على تحمل الرياح وتغيرات الطقس الشديدة من خلال الشكل المناسب والكثافة الصحيحة واتجاه الألياف Fiber orientation(كما في شكل رقم ٨)



شكل (٨) Strong by form https://strongbyform.com/

ذكرت هالة عامر وآخرون (٢٠٢٠) أن هناك نهجين تم تحديدهما عند تطبيق المحاكاة الحيوية في ممارسة التصميم:

- نهج قائم على المشكلات: تكون بداية هذا النهج قائمة على مشكلة التصميم موجودة بالفعل ثم دراسة الطرق التي تستخدمها الكائنات الحية أو النظم البيئية للتغلب على هذه المشكلة.
- نهج قائم على الحلول: تكون بداية هذا النهج قائمة على تحديد سمة أو سلوكًا أو وظيفة معينة داخل كائن حي أو نظام بيئي ثم يتم البحث عن مشكلة التصميم التي يمكن معالجتها من خلالها.

وفي نفس الدراسة أكدت هالة(٢٠٢٠) أن هناك ثلاثة مستويات للمحاكاة الحيوية:

- يشير مستوى الكائن الحي إلى كائن حي معين مثل نبات أو حيوان وقد يتضمن محاكاة جزء أو الكائن الحي بالكامل.
- مستوى السلوك الذي يشير إلى محاكاة سلوك الكائن الحي، ويتضمن تفسير جانب من جوانب سلوك الكائن الحي أو داخل محيطة الذى يعيش فيه
- مستوى النظام البيئي وهو محاكاة الأنظمة البيئية بأكملها والقواعد المشتركة التي تسمح لها بالعمل بنجاح.

أشـــار روبرت لامب[٢٤] Robert Lamb إلى كيفية الربط بين علم الأحياء والهندســـة من خلال المحاكاة الحيوية، حيث يصف"قوانين الطبيعة التسعة":

1. الطبيعة تعمل على ضوء الشمس.
2. تستخدم الطبيعة الطاقة التي تحتاجها فقط.
3. الطاقة تتناسب مع الشكل والوظيفة.
4. الطاقة تعيد تدوير كل شيء لتقليل المخلفات
5. الطبيعة تكافئ التعاون "فالكل يعمل بشكل متناغم مع الجزء"
6. الطبيعة تعتمد على التنوع لضمان الإتزان
7. تتطلب الطبيعة خبرة محلية لضمان استخدام الموارد بشكل مقنن دون افراط أو تفريط.
8. الطبيعة تُحد من الافراط
9. الطبيعة تستغل (الطبيعة تستغل قوة الحدود).

أوضحت أبو السعود (2019) أنه يجب على المصممين طرح مجموعة من الأسئلة حول تصورات التصميم المستوحاة بيولوجيا ،ذلك في ضوء ما ذكرته جانين بينيوس Janine Benyus الرائدة في أبحاث المحاكاة الحيوية:

- هل يعمل على ضوء الشمس؟
- هل يستخدم الطاقة التي يحتاجها فقط؟
- هل يتناسب شكله مع وظيفته؟
- هل يعيد تدوير مواده؟
- هل يكافئ التعاون في بعض الأحيان؟ - **هل يكافئ التعاون أحيانًا؟**
- هل يعتمد على التنوع البيولوجي؟
- هل يتطلب الأمر خبرة محلية؟
- هل يحد من التجاوزات من الداخل؟
- هل يراعى الحدود؟

من خلال فهم القوانين التسعة للمحاكاة الحيوية وربطها بأسئلة جانين بينيوس، تتضح الإشارة إلى ممارسة التصميم المستدام. ولمزيد من التأكيد، سنعود إلى بعض نقاط قواعد التصميم المستدام كما ذكرها ماكدونوغ الذي صاغ قواعد التصميم المستدام لمعرض إكسبو ٢٠٠٠(Mackcohnah2002)

- الاعتماد على التدفق الطبيعي للطاقة: على المصمم في ابتكاراته الاستفادة من الطاقة الشمسية ومختلف أشكال الطاقة المتجددة التي توفرها الطبيعة.
- فهم حدود التصميم: أي ابتكار انساني لا يدوم إلى الأبد ولا يحل التصميم جميع المشاكل. يجب أن يتواضع المصمم أمام قدرة الطبيعة على المحافظة على الاستدامة، أن يتعامل معها كمعلم ومصدر للاستلهام، وليس كاتجاه معقد يصعب فهمه.

ولتلخيص كل الأسباب التي تدعونا لاعتبار المحاكاة الحيوية استراتيجية تصميم مستدامة، يمكننا وضع كل ما سبق في العبارة التالية: "لا يستطيع أحد الحفاظ على الطبيعة كما تحافظ الطبيعة على نفسها، لذا إذا أردنا ابتكار تصميمات مستدامة، فيجب أن نحاكي تصميمات الطبيعة ونستلهم من حلولها المستدامة ".

ثانيا:الطباعة ثلاثية الأبعاد والاستدامة 3D printing and sustainability

في عام ١٩٨٩، تم اختراع أول طابعة ثلاثية الأبعاد بتقنية FDM (فيما يعرف بالنمذجة بالترسيب المندمج)، ومعها ظهر عصرجديد من الاحتمالات لتصميم المنتجات وتصنيعها. كانت المادة الأولى لتلك الطابعة عبارة عن مزيج من الشمع والبلاستيك.

وتقوم الطباعة ثلاثية الأبعاد بتصنيع مجسمات ثلاثية الأبعاد. وذلك عن طريق تكوين الشكل بواسطة طبقات بنائية خطية في ضوء الرسم الثلاثي الابعاد المعد لكي تفهمه الطابعة بواسطة برامج الحاسب الملائمة software. تتكون التقنية من إنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد باستخدام أحد برامج ال CAD الثلاثية الأبعاد مثل ال Solidوأحد برامج الslicer، لإعداد التصميم للطباعة عن طريق تقسيمه إلى طبقات رقيقة ويتم انشاء الشكل بإضافة طبقات متتالية، كل منها عبارة عن مقطع عرضي ثنائي الأبعاد للعنصر ولذا تعرف الطباعة الثلاثية الأبعاد بالتصنيع بالإضافة Additive Manufacturing ، و يتم اختيار خامة الطباعةFilament ، وتجهيز الطابعة ثلاثية الأبعاد . وبمجرد الانتهاء من ذلك تبدأ الطباعة. يتم إنشاء المجسم طبقة تلو الأخرى، مع اتباع الطابعة للتعليمات الواردة من برنامج تشغيل الطابعة والذي يقرأ اللغة التي تم اعدادها على برنامج الslicer مثل Prusa Slicer ثم تقوم بمعالجة المنتج النهائي في حالة الحاجة لتشطيبه، يمكن أن يشمل ذلك استبعاد العصب و الصنفرة أو التنظيف لإعطاء السطح النهائي المظهر المطلوب. الطباعة ثلاثية الأبعاد قابلة للتكيف مع العديد من الاستخدامات المتنوعة حيث يمكن استخدامها مع خامات مختلفة. مثل السيراميك والمعادن والبوليمرات وحتى الخامات البيولوجية.

يختلف التصنيع بالإضافة عن عمليات التصنيع التقليدية، مثل القولبة أو التصنيع الآليAutomated.. غالبًا ما تتضمن هذه العملية اجتزاء المواد لتحقيق الشكل المطلوب للعنصر. التصنيع بالإضافة هو طريقة تصنيع متعددة الاستخدامات، يمكنه بدقة تصنيع أشكال وهياكل (بناءات) صعبة باستخدام مجموعة متنوعة من الخامات وبالمقارنة مع طرق التصنيع التقليدية، فإنها تقلل من اهدار الخامات، مما يعني أنها عملية أكثر استدامة. طور علماء المواد مجموعة من المواد الجديدة والغريبة، في حين مكنت التطورات في الأجهزة والبرامج في الطباعة ثلاثية الأبعاد من استخدام هذه المواد الجديدة. كانت معظم الطابعات ثلاثية الأبعاد والمواد التي تم تطويرها في وقت مبكر متاحة فقط للشركات التي تستطيع تحمل أسعارها المكونة

من ستة أرقام (أو أكثر)، ولكن في الآونة الأخيرة اصبحت هناك نهضة حيث دخلت شركات تصنيع المواد الكبرى إلى هذا المجال، وتم تطوير عدد هائل من المواد الجديدة وتحسينها للطابعات ثلاثية الأبعاد.

في حين أن بعض هذه المواد تطبع بشكل مذهل، إلا أن البعض الآخر لا يزال لديه طريق طويل ليقطعه من حيث الاعتماد عليه أو جودة الطباعة أو أداء المواد. بعض المواد متوسط التكلفة والبعض الآخر يمكن أن يكون مكلفًا. مع كل هذه الخيارات والمتغيرات، قد يكون الأمر شاقًا بالنسبة لشخص جديد نسبيًا في مجال الطباعة ثلاثية الأبعاد ، يمكن تقسيم خامات الطباعة ثلاثية الأبعاد إلى

- البوليمرز، polymers (Maker Bot. 2022): مثل (PLA، TOUGH، PETG، ABS، ABS-R، ASA، NYLON، PC-ABS، PC-ABS FR).
- المركبات, Composites (Maker Bot. 2022) :مثل(NYLON CARBON FIBER, N12 KEVLAR CARBON FIBER, PETG CARBON FIBER, ABS)
- المعادن,Metals (Agashe et al2020): لعدة قرون كانت المعادن تستخدم في تطبيقات مختلفة حيث لا يكون البلاستيك أو البوليمرات خيارًا مناسبًالصنع الأدوات وأجزاء السيارات التي تتعرض لضغوط عالية جدًا.ومع الموارد المحدودة والحاجة إلى أجزاء معدنية خفيفة الوزن وعالية القوة,أظهرت الطباعة ثلاثية الأبعاد للأجزاء المعدنية إمكانات كبيرة لتنفيذ أجزاء أخف وزناً من الصلب وبقوة مماثلة وبتكلفة أقل وعمليات أقل قبل وبعد التصنيع. لقد أصبحت المعادن ثالث أكثر المواد شيوعًا في صناعة الطباعة ثلاثية الأبعاد بعد الطباعة من البوليمرز والمركبات.حيث يستخدم العديد من الباحثين والمصنعين البلاستيك لطباعة الأجزاء كنماذج أولية لتحسين التصميم بشكل أكبر. ثم يتم تصنيع المنتج النهائي عن طريق الطباعة المعدنية ثلاثية الأبعاد, و من خلال هذا النهج في السنوات الأخيرة كان هناك تحسن في سرعة تنفيذ المنتجات باستخدام أقل للمعادن للأجزاء والآلات المرتبطة بها المطلوبة لصنع المنتجات. الطباعة المعدنية ثلاثية الأبعاد نجد تطبيقاتها في العديد من الصناعات يومًا بعد يوم مثل المجال الطبي لإنتاج صمامات للقلب، وصناعة السيارات لإنتاج أجزاء تحتوي على مواد أخف ولكنها بنفس قوة الأجزاء المصبوبة أو صناعة المجوهرات لصنع قطع فنية أكثر تعقيدًا. هناك عدة طرق للقيام بالطباعة ثلاثية الأبعاد للمعادن البوليمرات أو البلاستيك. يمكن تصنيف عمليات الطباعة المعدنية ثلاثية الأبعاد في شكلين أساسيين مثل: -أ) عملية فراش المسحوقPoweder bed process: SLS / SLM و DML و LMF و EBM ب) الطباعة بالاضافةAdditive procedure : LMD و DED و DMD و Laser cladding و :.MPA مثل (- Stainless steel & tool steel- Titanium alloys- Cobalt-Chrome superalloy Aluminum alloy- Nickel superalloys (Inconel)- Precious metals)

تتمتع الطباعة ثلاثية الأبعاد بمزايا مهمة يمكن أن تحقق الاستدامة وبالتالي تشجع على تنفيذ ممارسات صديقة للبيئة، ويمكن تلخيص تلك المزايا في ثلاث نقاط عامة:

1. **التقليل من اهدار الخامات**

تُعد قدرة الطباعة ثلاثية الأبعاد على تقليل اهدار الخامات بشكل كبير مقارنةً بتقنيات الإنتاج التقليدية إحدى مزايا الاستدامة الرئيسية .علاوة على ذلك تتحقق الاستدامة ايضا من خلال المواصفات الجيدة للطابعة والتي تضمن جودة التنفيذ، ودقة اختيار طريقة وشكل ملئ الفراغ الداخلي للخامة وشكل العصب وتحديد مكانه الملائم ونتيجة لذلك، فهي تقلل من كمية المواد الإضافية المستخدمة .الى جانب إجراء آخر للحد من المخلفات يتمثل في الاستخدام المتكرر لمواد الربط القابلة لإعادة التدوير

أو القابلة للذوبان في المطبوعات المعقدة .بالإضافة إلى ذلك، تتيح هذه التقنية تحسين التصميم نظرا لكفاءة الخامات المستخدمة وامكانيات التنفيذ الواسعة وهذا يجعل من الممكن إنشاء أجزاء قوية وخفيفة الوزن. من المتوقع أن يؤدي إجراء المزيد من الأبحاث حول المواد الحيوية والمواد المعاد تدويرها للطباعة ثلاثية الأبعاد إلى تحسين الاستدامة في التصنيع بالإضافة بشكل كبير .ويمكن أن تساعد هذه المواد في تقليل الآثار السلبية لعمليات الطباعة ثلاثية الأبعاد ومنتجاتها على البيئة

تعد القدرة على تصنيع القطع الوظيفية والمعقدة في عملية طباعة واحدة ميزة أخرى للتقدم في تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد حيث ينتج عن ذلك تقليل خطوات التجميع وتقليل الهادر

2. التقليل من استهلاك الطاقة

قدرة الطباعة ثلاثية الأبعاد على تقليل استهلاك الطاقة في العمليات الصناعية يساعد على التقليل من الانبعاث الكربوني المصاحب لعمليات التصنيع التقليدية. ويزداد توفير الطاقة مع مستويات الإنتاج المتوسطة والكبيرة بالطباعة ثلاثية الأبعاد مما يدفع نحو تفضيل التصنيع بالإضافة .Additive Manufacturing وتزداد فعالية ترشيد استهلاك الطاقة في ضوء فكره عمل الطباعة الثلاثية الأبعاد والقائمة على التبريد والتسخين أثناء التنفيذ .التكامل ما بين عمليات الطباعة ثلاثية الأبعاد و الذكاء الاصطناعي(في مجال الذكاء الاصطناعي، يعد التعلم الآلي (ML) جانباً فرعياً يتم فيه صياغة، وتصميم الخوارزميات بحيث يتم التعرف على الأنماط في المعلومات والتنبؤ بسلوك الآله، مما يسمح لها بتحسين أدائها دون برمجة تفصيليه لكل حالة) يساعد على تحقيق مستويات اعلى لضمان جودة المنتج، ومن خلال القدرة على توقع أعطال الطباعة وتجنبها، يمكن لهذه التقنيات أن تقلل من الهدر واستهلاك الطاقة . علاوة على ذلك، فإن دمج تقنية التوأمة الرقمية (التوأمة الرقمية هي إعادة تمثيل رقمي لشيء مادي أو شخص أو عملية، في سياق نسخة رقمية مما يساعد على محاكاة المواقف الحقيقية ونتائجها، وبالتالي في النهاية باتخاذ قرارات أفضل) , وتقنية إنترنت الأشياء IOT(شبكة مجمعة تربط ما بين مجموعة من الأجهزة مع بعضها البعض ومع السحابة الالكترونية Cloud) مع تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد لتشكيل سلسلة الاستدامة sustainable supply chains (دمج الاعتبارات البيئية والاجتماعية والقواعد التي تنص عليها الحكومات للتعامل مع المواد الخام وتحويلها إلى منتجات وتسليمها إلى السوق ثم الاهتمام بدراسة كيفية التعامل مع الخامة أو المنتج بنهاية العمر الافتراضي) يزيد من فاعلية الاستفادة من كل تقنية على حدة مما يساعد على مراقبة عملية التصنيع وتعديلها في الوقت الفعلي الصحيح.

٣. عزل الكربون

تعتبر القدرة على تقليل انبعاث ثاني أكسيد الكربون من أهم مزايا استخدام التصنيع بالإضافة، حيث يمكن اختيار خامات الطباعة الثلاثية الأبعاد التي تستطيع امتصاص الكربون الذي يتم تكوينه مما يعني أن هذه الخامات يمكنها تجميع ثاني أكسيد الكربون من البيئة التي توجد بها. تتضمن هذ الخامات مكونات مثل الطحالب الدقيقة أو مركبات صناعيه مثل، خيوط الطباعة المصنوعة من كربونات الكالسيوم التي لا تخزن فقط ثاني أكيد الكربون اثناء تصنيعها، بل تستمر في امتصاصه وبالتالي فإن هذه الخامات، تشجع على طرق تصنيع أكثر صديقة للبيئة تصبح اداه فعالة للتقليل من مستوى ثاني أكسيد الكربون في الجو لمدن كاملة.

▪ ثالثا: الطباعة ثلاثية الأبعاد والمحاكاة الحيوية كأداة للتصميم الصناعي المستدام

العلاقة بين الطباعة ثلاثية الأبعاد والمحاكاة الحيوية هي عملية تبادلية. يمكن للطباعة ثلاثية الأبعاد أن تُحدث تحولاً في المحاكاة الحيوية والعكس صحيح، من ناحية أخرى أحدثت الطباعة ثلاثية الأبعاد ثورة في كل شيء، بما في ذلك اتجاه التصميم المحاكي للطبيعة. لقد حررت التكنولوجيا ومبادئها مجال التصميم، وحطمت العديد من حواجز التصنيع، والآن مكّنت المصممين من طباعة مكونات ثلاثية الأبعاد بأشكال معقدة للغاية. من ناحية أخرى تعمل المحاكاة الحيوية على تحويل الطباعة ثلاثية الأبعاد إلى الحد الذي تفتح فيه آفاقًا جديدة وتغيرات جديدة على المستوى الوظيفي.

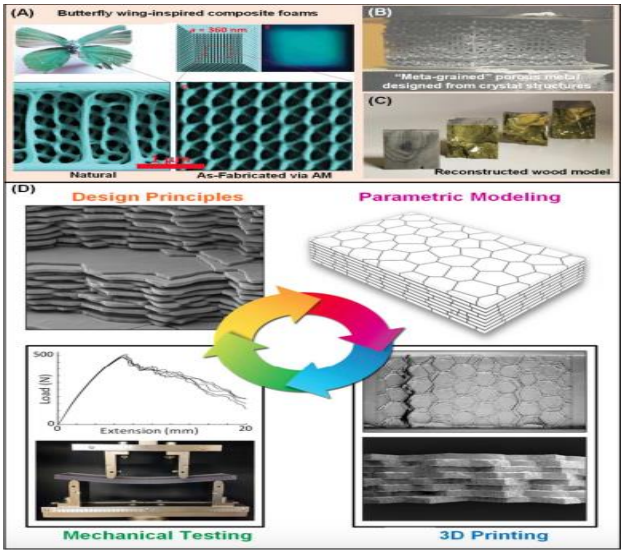
المحاكاة الحيوية تقوم على محاكاة حلول الطبيعة لابتكار منتجات مستدامة .ورغم ما توحيه هذه الحقيقة من إنجازات يمكن تحقيقها الا أن الأمر أكثر تعقيداً مما يبدو، فالقيود التي تنتج عن عمليات التصنيع التقليدية لا تساعد المصمم على تحويل تلك الحلول التصميمية إلى واقع .الا ان تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد تمثل الحل الأمثل ولذا يعتبر الدمج ما بين المحاكاه الحيوية والطباعة ثلاثية الأبعاد مصدراً لتحويل الابتكارات التي يضعها المصمم الصناعي إلى واقع يمكن تنفيذه والاحتمالات هنا لا يمكن حصرها. إن فكرة عمل الطباعة الثلاثية الأبعاد هي في أساسها محاكاه عضوية، فالبنائية التدريجية من العدم وحتى الاكتمال ومن عناصر بسيطة إلى عناصر متداخلة وأكثر تعقيداً هي أساس كل مخلوقات الطبيعة وبالمثل تقوم تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد بتنفيذ الأشكال والعلاقات الثلاثية الأبعاد بأسلوب بنائي تدريجي ومن عناصر بسيطة إلى عناصر متداخلة وأكثر تعقيداً متطابقة في ذلك بشكل دقيق مع فكر الطبيعة. .يمكن الآن تصنيع الأشياء(النماذج) المعقدة الموجودة في الطبيعة بسهولة من خلال تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد، مما قد يكون له أثر كبير على مجال التصميم بالمحاكاة العضوية. يمكن للتصميم بالمحاكاة العضوية أن يحسن وظيفة وجماليات الأجزاء المطبوعة ثلاثية الأبعاد، فلى سبيل المثال في ميناء سيدني، تعرضت الحياة البحرية والساحلية للاضطراب وانقراض عناصر كثيرة منها بشكل مطرد بسبب التلوث البشري، وقد أتاحت الطباعة ثلاثية الأبعاد إمكانيات جديدة لنسخ نماذج الطبيعة المتعددة المقاييس والمواد والوظائف ببراعة. إن قدرة الطباعة ثلاثية الأبعاد على تطوير الأشكال والتصميمات المعقدة دون أي متطلبات إضافية للتكلفة والمهارة والآلات والأدوات تجعل هذه التكنولوجيا مناسبة لتطوير الأجزاء المستوحاة من الطبيعة نظراً لأن الأنظمة الطبيعية معقدة الشكل. وبما أن تصميم الأجزاء المعقدة يمكن أن يتم باستخدام المسح ثلاثي الأبعاد (شكل رقم)3D Scanning واستخدام تكنولوجيا مثل اجهزة القياس الإحداثية، فإن تطوير الأجزاء المعقدة المستوحاة من الطبيعة أصبح من الممكن تنفيذه. تقوم الطباعة الثلاثية الأبعاد المستوحاة من الطبيعة على أربع اتجاهات التفصيلية وهي:

١- الطباعة ثلاثية الأبعاد لمواد مستوحاة من الطبيعة

يمكن للتعاون ما بين المحاكاة الحيوية والطباعة ثلاثية الأبعاد أن يوفر حلولًا لمواد فائقة القوة وخفيفة الوزن، مثل الجرافين، الذي هو أقوى بعشر مرات من الفولاذ. الطباعة ثلاثية الابعاد للمواد المستوحاة من المواد البيولوجية، تشمل كذلك المواد الاحادية مثل البوليمر والمعادن والهلاميات المائية .hydrogels أدى التعاون بين مختبرين من كلية فاينبرج Feinberg بجامعة نورث وسترن وكلية ماكورميكMcCormick للهندسة إلى دراسة ناجحة حول الأطراف الصناعية الحيوية. بدأ الباحثون بفحص الكولاجين. فهو يلعب الدور الرئيسي لدى البشر لأنه يعطينا البنية. وهو أيضًا المصفوفة خارج الخلية الوفيرة في أجسامنا، لكن بنيته معقدة للغاية.. ومن هنا يأتي الجيلاتين. الجيلاتين عبارة عن هيدروجيل مصنوع من الكولاجين المتحلل، مما يجعله أسهل في الاستخدام. وبفضل حقيقة ظهوره بشكل طبيعي في أجسامنا، فهو آمن للاستخدام على البشر.

٢- الطباعة ثلاثية الأبعاد لهياكل (بناءات) مستوحاة من الطبيعة

بينما تتطلب عملية تطوير وابتكار الخامات والهياكل البنائية الي يقوم الانسان بتصنيعها Man-made structures& materials توجيه عناية خاصة لبعض المقومات التي تساعد على نجاحها في أداء وظيفتها مثل القوه، والليونة، والصلابة ضد الكسر. العديد من الدراسات الحديثة أوضحت أن خامات وهياكل الطبيعة البنائية استطاعت تحقيق هذه المواصفات بدرجة أفضل بكثير مما صممه أو توصل اليه الانسان، ومن امثلة الهياكل البنائية المعقدة والتي توفر قدرة احتمال عالية رغم خفة وزنها الاشكال متعدده لل lattice . البنية الشبكية المستخدمة بشكل متكرر في الطباعة ثلاثية الأبعاد، لعمل المليء داخل الطبقاتFilling the layers هي نفسها مستوحاة من الطبيعة. هذا التصميم يذكرنا بالhoneycomb ، شائع في العديد من المنتجات ويوفر خصائص تخفيف الصدمات عند استخدامه في تطبيقات مختلفة.. يُرى هذا الهيكل أيضًا بشكل شائع في منتجات مثل الواح الدراجات، وحقائب الظهر ذات الشبكة الممتصة للصدمات، وبالإضافة إلى زيادة الراحة عند الاستخدام، ويقلل هذا الهيكل البنائي من حجم الخامة المستخدمة ويخفف الوزن الإجمالي للمنتج(كما في شكل رقم٩). وللطبيعة طرقها المحكمة في حماية نفسها، ومن أمثلة ذلك قشور الأسماك فهي تعطي مرونة وصلابة للجسم وقد وجد الباحثون أن هذه خاصية هامة جداً لعمل درع يحمي الجنود وكلا من تركيبات ال Lattice(C. de Pauwet al2012) وقشور الأسماك معروفين بصعوبة تشكيلهم البنائي في التصنيع وقد اصبح تصنيعهم أكثر سهولة وكذلك توظيفهم في التصميمات المستهدفة ويُعزى الفضل في ذلك للطابعات ثلاثية الأبعاد. اهتم علماء من كلية الهندسة بجامعة نورث إيسترن بدراسة قشور الأسماك واستوحوا من قشور الأسماك التركيز على مرونة الدروع المطبوعة ثلاثية الأبعاد في المستقبل(كما في شكل رقم١٠). وقال راناجاي غوش,Ranajay Ghosh ، الباحث في هذا المشروع: «إن الجيل القادم من أنظمة الدروع سيكون خفيف الوزن، ويؤدي الكثير من الوظائف، وفي نفس الوقت لا تتهاون في مسألة الحماية.. وتقدم الطبيعة معلومات مهمة للغاية فيما يتعلق بتطوير الدروع. وهذا يختلف كثيرًا عما كان الناس يعملون عليه من قبل، والذي يركز على طبيعة المقاييس ذاتها، وكيفية التصرف إذا ما كانت ستنكسر بسهولة أم لا .هنا، يكون التركيز ببساطة على تأثير المقاييس البسيطة واتصالها المتبادل وتفاعلها مع الركيزة الناعمة وخلص الباحثون إلى أنه إذا ما وضعوا قشورًا مصنوعة من الأسماك في أماكن محددة على طبقة المادة اللينة، فإن ذلك يجعل السطح صلبًا بدلاً من أن يكون مرنًا. والعامل الرئيسي في هذا البحث هو المزيج المثالي بين المقاييس المختلفة والركيزة(الطبقة). ولن يكون هذا ممكنًا بدون الطباعة ثلاثية الأبعاد وتنوع المواد التي توفرها، والتي تسمح للمصمم بالتغلب على حدود الطبيعة باستخدام أنماطها الخاصة. (كما في شكل رقم١١)



شكل رقم(٩) أمثلة للإبتكارات الجديدة للتصنيع بالإضافة اجنحة a)بواسطة محاكاة الخامات والتصميمات الطبيعية فراشة صناعية باستخدام النانو تم تصنيعها باستخدام معدن مقاوم للتلف من خيوط (bالطباعة ثنائية الاشعاع نماذج خشبية (C (قطاع عرضي مربع ٣٠مم) lattice ال قطاعات مختلفة تم طباعتها الوان بواسطة تكنولوجيا رسم (Polyjet processing technology D ايضاحي يوضح المتبع في تحليل الهياكل البنائية المستوحاة من الطبيعة

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/artides/PMC8112572

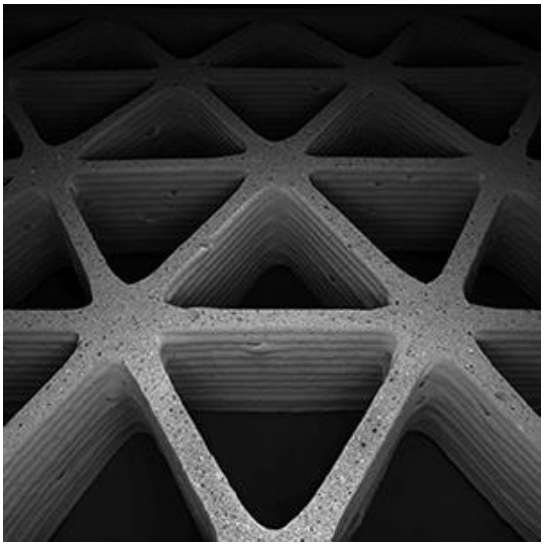
شكل رقم(١٠) درع للجنود مضاد للرصاص تم تصميمه بالاستلهام من قشور الاسماك bio inspired armor from fish Scales
((١ https://www.frontiersin.org/journals/materials/articles/10.3389/fmats.2021.649456/full

شكل رقم(١١): الباحث رانجاي جوش يبتكر بالاستلهام من القشور على جلد الثعابين(٢١)

أبدى باحثون من جامعة هارفارد للهندسة والعلوم التطبيقية Harvard John A. Paulson School of Engineering and Applied Sciences (SEAS)، ومعهد وايس للهندسة المستوحاة بيولوجيًا بجامعة هارفارد Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering at Harvard University ، ومعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا MIT ، بتطوير مواد قابلة للتكيف مع الأحمال للطباعة ثلاثية الأبعاد. لقد استوحوا الفكرة مما نراه كل يوم، وهو العشب. فهو خفيف الوزن للغاية، ولكنه في الوقت نفسه قوي للغاية. سوف ينحني عندما نخطو عليه، ولكنه بعد ذلك يعود إلى شكله الطبيعي.. وذلك بفضل بنيته الخلوية الدقيقة المساميةporous cellular microstructure بالإضافة إلى بنيتها الكبيرة المجوفة hollow macrostructure. وقد ساعد وضع هاتين الخاصيتين العالم على العمل على حبر رغوي من السيراميك ceramic foam ink. إنها خطوة مهمة إلى الأمام حيث يمكن تعديل المادة على النطاق الكلي والمجهري مما يسمح بإنتاج هياكل الأنسجة Tissue scaffolds والعزل الحراريthermal insulation والمواد الهيكلية خفيفة الوزن. في وقائع اجتماعات الأكاديمية الطبيعية للعلوم، نشر العلماء النتائج التي توصلوا إليها وقدموا طريقة جديدة للطباعة ثلاثية الأبعاد باستخدام حبر

رغوة السيراميك. قالت جينيفر لويس، أستاذة الهندسة بالمحاكاة الحيوية بكلية الهندسة والعلوم التطبيقية بجامعة هارفارد والمؤلف الرئيسي للبحث: "من خلال توسيع المساحة التركيبية للمواد القابلة للطباعة، يمكننا إنتاج هياكل خفيفة الوزن ذات صلابة استثنائية". تم تصنيع رغوة السيراميك التي طورها مختبر لويس مصنوعة من مواد طبيعية مثل الماء والهواء وجزيئات الألومينا.

يمكن تصنيع أحبار رغوية ليس فقط من السيراميك ولكن أيضًا من المعادن والبوليمرات. لا تأتي المحاكاة الحيوية هنا فقط فيما يتعلق بما يحتويه الحبر، ولكن أيضًا في طريقة تكوينه وهي فكره بسيطة وشبيهه برغوة الفوم التي نتناولها على فنجال قهوه ."إن الأحبار الرغوية مثيرة للاهتمام لأنه يمكن بواسطتها تصميم الهياكل المجهرية الخلوية رقميًا داخل الهياكل الخلوية الكبيرة." عندما تقوم بدمج المسامية في البنية، فإنك تنقل خصائص لم تكن لتتمتع بها لولا ذلك يسمح حبر الرغوة للمادة بأن تكون متعددة الوظائف وتحتفظ بخصائص مختلفة مثل الحرارية والميكانيكية، وقد قامت مجموعة الباحثين باستخدام ال ceramic foam ink ، لطباعة هياكل خفيفة الوزن على شكل honeycomb ثلاثي وسداسي الخلية ذات هندسة وكثافة وقوة قابلة للتغيير من خلال تغيير ملفات الرسم الخاصة بالطباعة بما يتلاءم وطبيعة المواصفات المطلوبة من الخامة في المنتج(كما في شكل رقم١٢).

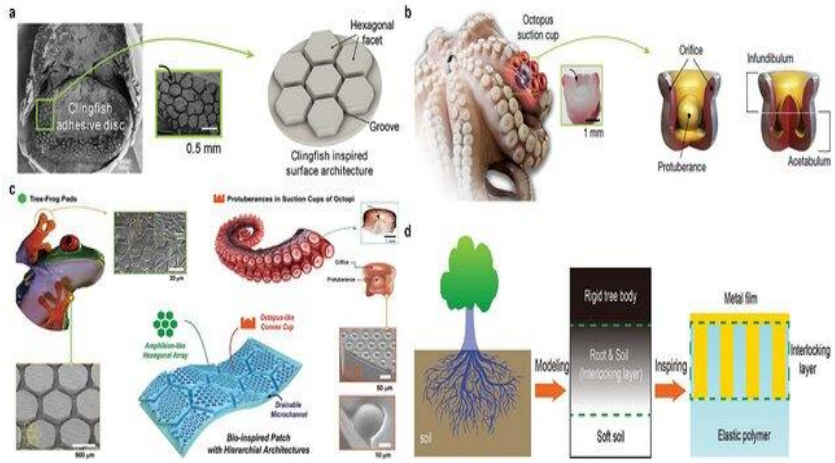


شكل رقم (١٢):قام الباحثين من جامعة هارفارد بابتكار اشكال ثلاثية وسداسيةhoneycombs خفيفة الوزن باستخدام احبار السيراميك الرغوية(٤)،

٣- الطباعة ثلاثية الأبعاد للمواد الذكية المستوحاة من الطبيعة

المواد الذكية هي مواد تتميز بالذكاء والحساسية، وهي مواد مصممة هندسيًا ذات خاصية واحدة أو أكثر يمكن تغييرها بشكل كبير عن طريق المحفزات الخارجية، مثل الإجهاد، أو الرطوبة، أو الضوء، أو درجة الحرارة بطريقة يمكن التحكم فيها. المواد الذكية المصنعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد، كما يوحي الاسم تم تصنيعها بالاستلهام من الطبيعة. الجرافين هو المادة الأكثر صلابة في العالم ، ويمكن استخدامه لتدعيم قوة المواد الأخرى. ويرى العديد من الباحثين أن الاستعانة حتى بكمية صغيرة من الجرافين مع البلاستيك أو المعادن أو غيرها من المواد سيجعل هذه المواد اقوى بكثير ونظرًا لمساحة سطحه العالية الدقة وخصائصه الميكانيكية والكهربائية والبصرية والحرارية المتميزة، فهو مكون مرغوب فيه للمواد الذكية عالية الأداء المستجيبة للمحفزات. ومن أمثلة المواد الذكية المستلهمة من الطبيعة والتي تصنع بال،Additive manufacturing

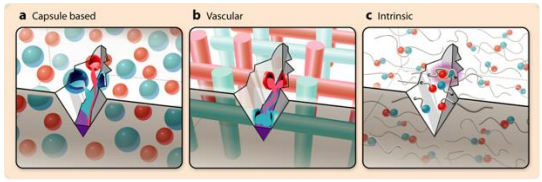
ال Biomimetic adhesives(كما في شكل رقم١٣)- self-healing materials,(كما في شكل رقم١٤) -- self-cleaning materials, (كما في شكل رقم١٥).



شكل رقم(١٣) مواد لاصقة ذكية مستوحاه من الطبيعة

https://www.researchgate.net/publication/364369187_Bridging_wounds_tissue_adhesives%27_essential_mechanisms_synthesis_and_characterization_bioinspired_adhesives_and_future_perspectives/figures?lo=1

Available via license: CC BY-NC 4.0



https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=DAUl6upA3q4, self healing materials by steve mould on youtube

https://atriainnovation.com/en/blog/self-

شكل رقم(١٤) خامات لها القدرة على الإلتئام

شكل رقم (١٥)جمبري مانتس stomatopod

Credit: unsplash/CC0 public domain[18]

https//Phys.org/news/2020

٤-الطباعة ثلاثية الأبعاد لتصميمات كاملة مستوحاة من الطبيعة

١/٤- جهاز تبريد من الطمي

جهاز تبريد مستوحى من تقنيات البناء في الشرق الأوسط والمناطق الأكثر حرارة في الهند، يستخدم المبرد مواد بناء مسامية .ويعتمد على مبدأ ملئ وعاء من الطين المسامي بالماء، ناهيك عن أن المصريين استخدموا أيضًا طريقة التبريد التبخيري من خلال تعليق حصائر القصب المبللة فوق المداخل والنوافذ، وتشكل هذه المستلهمات الطبيعية المتنوعة أساس هذا الحل للمبرد المبتكر.

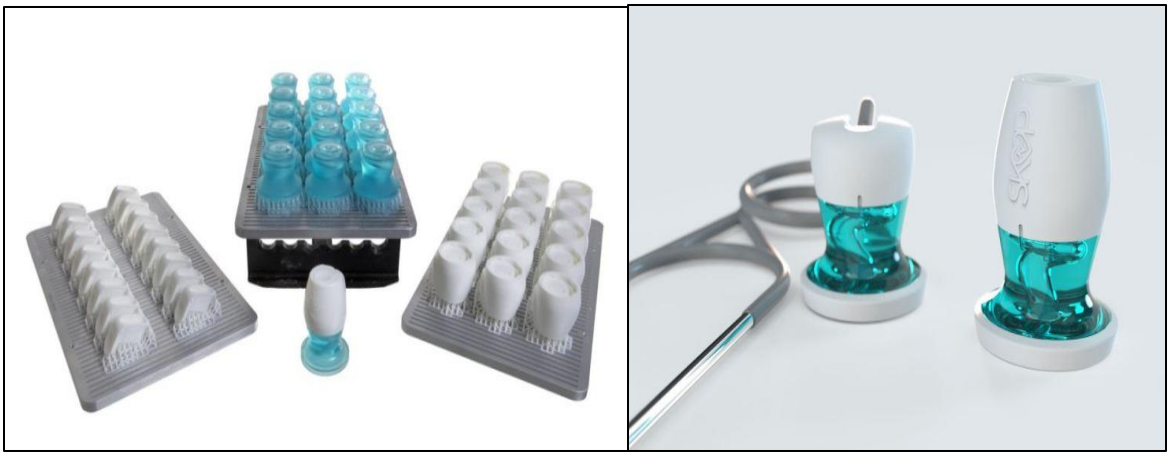
في هذه التصميمات التقليدية، لا تضيف الأنماط الهندسية المعقدة لمسة زخرفية فحسب، بل تلعب أ دورًا محوريًا في ابتكار تأثير التبريد .فمع مرور الهواء الدافئ عبر فتحات ضيقة، فإنه يخضع لتحول تبريدي بسبب التحول من مناطق الضغط العالي إلى مناطق الضغط المنخفض، مما يمكنه من امتصاص الحرارة بشكل فعال. وعلى نفس المنوال، تم تجهيز المبرد بنظام تهوية يعرف باسم تأثير المبخر المائي التبخيرى (Water Evaporative Evaporator Effect WEEE) ,يتيح النظام تلامس الهواء المتدفق مع السطح الرطب لوعاء الطين بينما يخضع الماء لعملية تبخر طبيعية مما ينتج عنه تدفق هواء بارد منعش, يوضح هذا النهج قوة الحلول المستوحاة من الطبيعة في معالجة التحديات الحديثة. استخدم فريق التصميم برنامج Grasshopper، " لغة برمجة مرئية ثلاثية الأبعاد مرتبطة بـ Rhino 3D"،بالنسبة للتصنيع استخدموا تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للسيراميك التي ابتكرها أوليفيير فان هربرتOlivier Van Herpt’s ceramic 3D printing technology والتي تعمل مثل الطابعات البلاستيكية ثلاثية الأبعاد التقليدية ولكنها تفرز التراكوتا (الطين الحرارى الفخاري) terra-cotta كخيوط رقيقة طبقة تلو الأخرى هذه العملية التي تحاكي أنواع النمو العضوي في الطبيعة، لم تُحسن أداء المبرد فحسب، بل منحته أيضًا تصميمًا جماليًا مبهجًا(كما في شكل رقم١٦)..

شكل رقم(١٦):تنفيذ تصميم مبرد هاء على الطابعة ثلاثية الابعاد[٢٣]

https://3dadept.com/designer-develops-an-eco-friendly-alternative-to-air-conditioning

٢/٤- جهاز طبي لمتابعة الوظائف الحيوية للرياضيين والمرضى عن بعد

قام فريق التصميم أولاً بإجراء تصميم محاكاة حيوية للمنتج قبل طباعة النموذج ثلاثي الأبعاد على طابعة NXE400 فائقة السرعة ثلاثية الأبعاد، ويكشف تصميم المحاكاة الحيوية عن أن SKOP مستوحى من الطبيعة. فهو يعتمد على الأذن البشرية لتحقيق أقصى قدر من الأداء. ووفقاً للفريق الهندسي، لا يمكن تصنيع هذا الشكل الهندسي إلا بالتصنيع بالإضافة باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد فائقة السرعة. يوصف جهاز SKOP بأنه جهاز طبي للسمع عن بُعد يوفر جودة استماع ممتازة، وهو ضروري لحالات الطوارئ والمرضى المعزولين. ووفقًا لبيان صحفي، فقد تم اختبار الجهاز بالفعل واعتماده كجهاز مفضل لدى أطباء القلب وأطباء الرئة والممارسين العامين وأطباء الطوارئ والممرضين(كما في شكل رقم١٧).

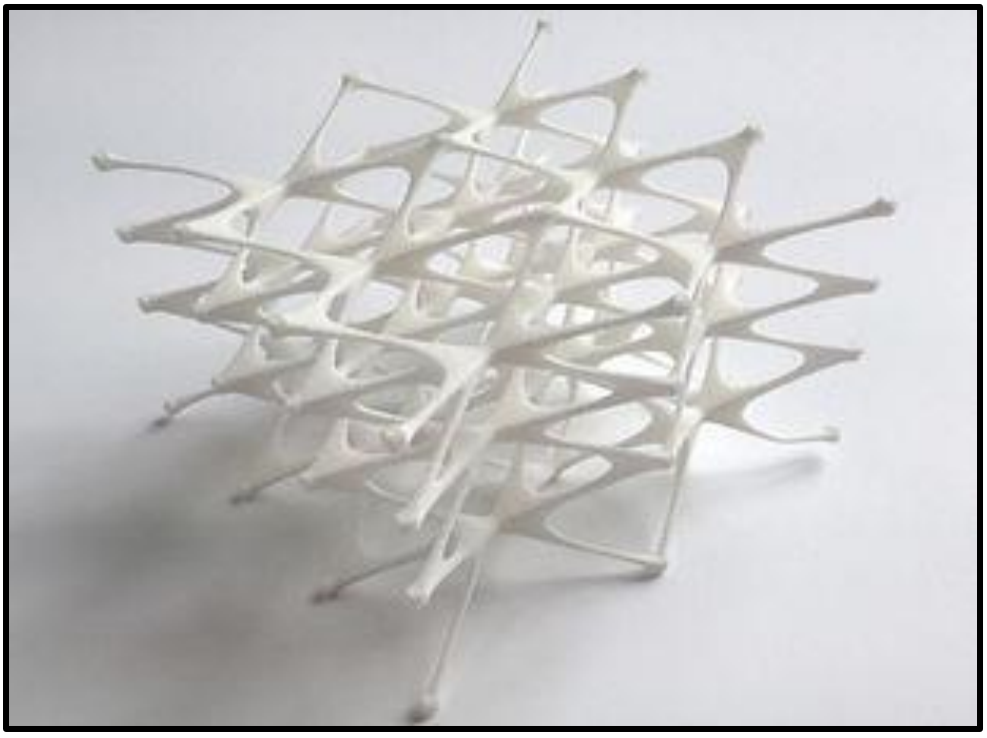


شكل رقم(١٧) تصميم جهاز طبي لمتابعة الوظائف الحيوية للرياضيين والمرضى عن بعد[١٦]

https://3dadept.com/skop-a-3d-printed-connected-stethoscope-for-tele-medicine

٣/٤- مقعد مستوحى من الهياكل البنائية للنبات

استوحت المصممة ليليان فان دالLilian Van Daal أفكارها من الطبيعة، وفحصت خصائص الخلايا النباتية، التي يمكنها أداء العديد من المهام المختلفة إن تقليل كثافة المادة من شأنه أن يخلق مناطق أكثر مرونة للجلوس ، في حين يمكن زيادة كمية المادة حينما تكون هناك حاجة إلى قوة هيكلية أكبر. بدأت في البحث عن طرق لطباعة الهياكل ثلاثية الأبعاد التي تتصرف بشكل مختلف اعتماداً على كيفية توزيع المواد، مما يتيح لبعض الأجزاء أن تكون لينة والبعض الآخر صلبة. تتيح لنا الطباعة ثلاثية الأبعاد محاكاة الهياكل من الطبيعة بكل دقة .ليليان ابتكرت مقعد للجلوس لين يمكن إنتاجها محليًا مستوحى من هياكل الخلايا النباتية .والنتيجة هي مقعد ناعم قابل للتكيف مع الاحتياجات الشخصية والمريحة للمشتري والذي يحتوي على جميع الوظائف المصنوعة من مادة واحدة. إن إنتاج الأثاث باستخدام هذه الطريقة يمكن أن يقلل أيضًا من الانبعاثات الناتجة عن النقل المطلوب عادةً لنقل المواد والمنتجات أثناء عملية الإنتاج، حيث سيتم طباعة الأثاث في مكان واحد(كما في شكل رقم١٨)



شكل رقم(١٨) تصميم ليليان فان دال لمقعد مستوحى من تركيب النباتات تحت المجهر[٢٥]

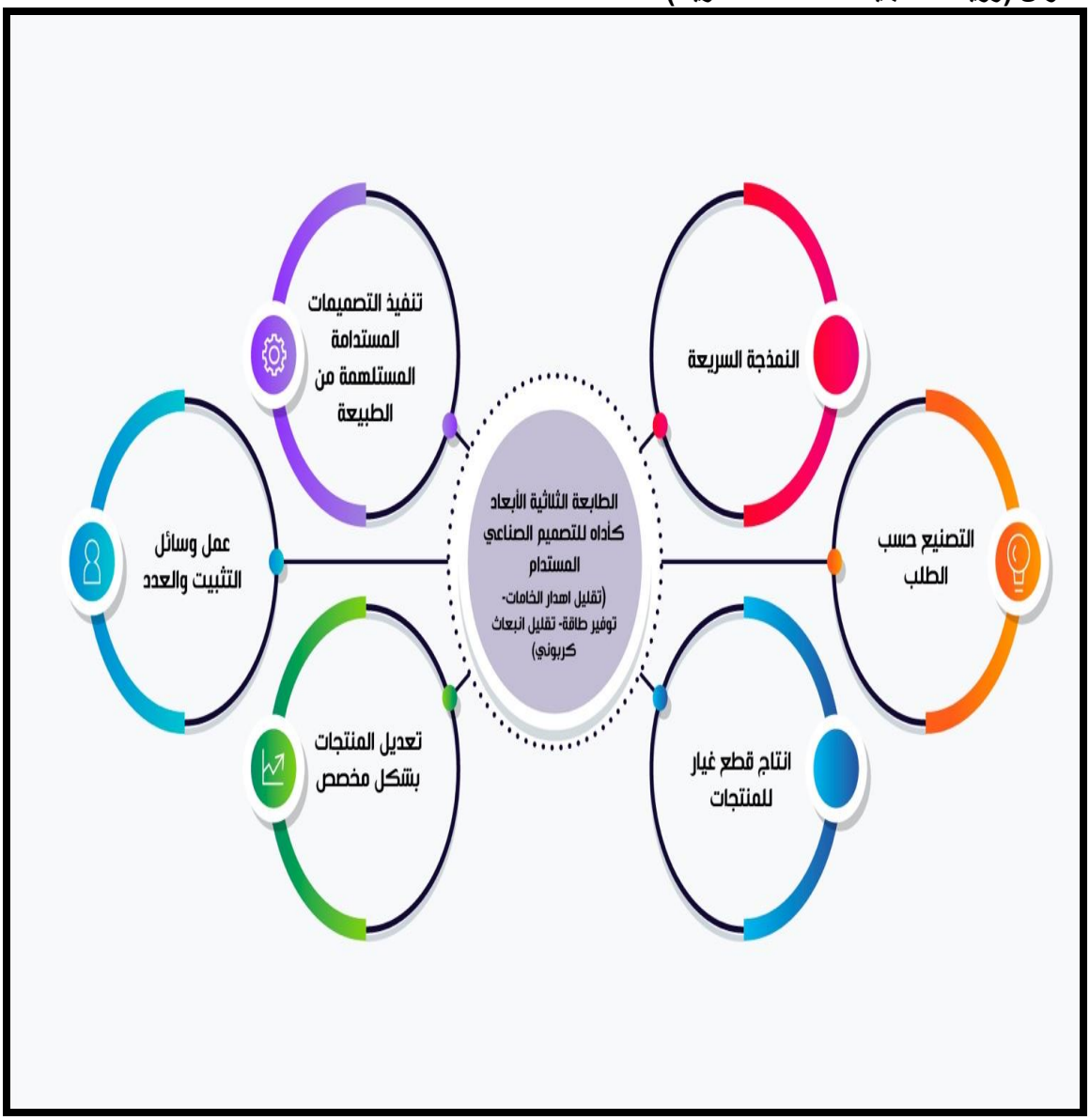
https://www.lilianvandaal.com/biomimicry3dprintedsoftseat

نتائج البحث

تكنولوجيا الطباعة الثلاثية الابعاد أو كما يطلق عليها التصنيع بالإضافة يمكن أن تكون أداة فعالة في تحقيق التصميم الصناعي المستدام بشكل عام من منطلق قدرتها على التقليل من اهدار الخامات والتقليل من استهلاك الطاقة وعزل الكربون ويتحقق ذلك تفصيلياً بعدة وسائل وهي :

1. النمذجة السريعة Rapid prototyping(باستخدام خامات صديقة للبيئة ومستلهمه من الطبيعة) حيث يستطيع المصمم الصناعي الاستعانة بالطابعة ثلاثية الأبعاد كأداة مساعده لتنفيذ نماذج الأفكار سواء الأولية أو التجريبية في العينة الأولى للمنتج، حيث تساعد هذه النماذج على التوفير في اهدار الخامات وتقليل استهلاك الطاقة والانبعاث الكربوني
2. التصنيع حسب الطلب Manufacturing on demand (تستطيع الطابعات الثلاثية الابعاد تنفيذ التصميمات المعقدة وعمل تصميمات خاصة حسب ملف الرسم الثلاثي الابعاد بخطوات تصنيع أقل وخامات اقل مما يعني انبعاث كربوني أقل وتوفير طاقة) ومن أمثلة ذلك تصميم الأجهزة التعويضية لبعض ذوي الاحتياجات الخاصة والأجزاء ذات الصلة بمنتجات الحياة اليومية لكبار السن والتي يمكن تنفيذها كمنتج نهائي باستخدام الطابعة ثلاثية الابعاد بعد تصميمها واعداد ملفات الرسوم الخاصة بالتنفيذ
3. انتاج قطع غيار للمنتجات Producing Spare Parts (الطباعة ثلاثية الأبعاد جعلت إصلاح وتجديد المنتجات أسهل وذلك من خلال التمكن من انتاج قطع الغيار الدقيقة. بسرعة وبتكلفة مناسبة هذه الميزة تعمل على إطالة العمر الافتراضي للمنتج (longevity) والتي تعد أحد استراتيجيات التصميم المستدام (أبو السعود٢٠١٩) ففي الغالب يضطر المستخدم للتخلص من المنتج عند حدوث أعطال عندما يعجز مهندس الصيانة عن استبدال قطعة غيار في المنتج مما يمثل عبئاً بيئياً لا يستهان به وصعوبة انتاج قطع الغيار بشكل كمي لعدم وجود جدوى اقتصاديه لذلك، إلى جانب مشاكل التصنيع البيئية، وتصنيع قطع الغيار من خلال الطباعة ثلاثية الأبعاد يسهم في حل هذه المشكلة
4. تعديل المنتجات بشكل مخصص Customizing products(مما يساعد على تقليل الحاجه لتصميم منتجات للفئات الخاصة حيث يمكن عمل تعديلات تلائم الظروف وحدود القدرات المختلفة للمستخدمين من خلال إضافة أجزاء أو عمل تعديلات على ملفات الرسم الثلاثي الابعاد قبل التنفيذ على الطابعة مما يساعد على تجنب التكلفة العالية واستهلاك الخامات والطاقة حيث يمكن تصميم أجزاء من شأنها عمل تعديل في التصميمات الأصلية بما يتلاءم واحتياجات فئات معينة، كما في حالة تصميم مقابض لأواني الطهي وأدوات المائدة والأقلام بحيث تضاف للمنتجات الأصلية فتساعد هذه الفئات على استخدام هذه المنتجات بسهولة وراحة وأمان.
5. عمل وسائل التثبيت والعددMaking fixtures and tools وذلك من خلال عمل joints ووسائل ربط في اطار نفس التصميم ومن نفس الخامة المستخدمة في التصميم فمثلاً عند إعادة التدوير لبعض الخامات مثل الخشب يقف تجميع الأجزاء مع بعضها كعائق دون نجاح إعادة التدوير حيث أن استخدام الطرق التقليدية كالتجميع بالمسامير والغراء في الخشب المعاد تدويره مثلاً لا يكون ناجحاً وفي هذه الحالة يمكن تنفيذ التجميع من خلال jointsتصمم بواسطة الطابعة وتثبت من خلال أدوات تنفذ على الطابعة أيضاً.

٦. تنفيذ التصميمات المستدامة المستلهمة من الطبيعة The making of biomimicry designs: سبق الإشارة لهذه النقطة بشكل مستفيض في متن البحث، ويمكن تلخيص ذلك في تحقيق الصعوبة الموجودة في تنفيذ التصميمات المستلهمة من الطبيعة بشكل مثالي وخالي من التعقيدات وفي حدود ما يتطلبه التصميم المستدام من المحافظة على البيئة من خلال استخدام الطابعات ثلاثية الأبعاد



شكل رقم(١٩) يوضح دور الطباعة الثلاثية الابعاد كأداة تساعد المصمم الصناعي على تطبيق التصميم المستدام.

المراجع

Agashe, Kustubh & Sachdeva, Amit & Chavan, Sachin. (2020). 3D Printing And Advance Material Technology. International Journal of Grid and Distributed Computing. 13. 1899-1936.

1. Asim Asghar Yaseen*, Taha Waqar, Muhammad Azhar Ali Khan, Muhammad Asad and Faramarz Djavanroodi.(2021). Fish Scales and Their Biomimetic Applications. published: 11 June 2021. doi: 10.3389/fmats.2021.649456

2. Abouelsoud,Aziza. (2019). The Strategies of Sustainable Design, for better Product Design Future. Journal of Applied Arts&Sciences,volume6, 3rd issue,July.
3. Andres Mejía-Villa, Luz Elba Torres-Guevara, Vanessa Prieto-Sandoval, John Cabra, Carmen Jaca.(2023). Training for sustainability through biomimicry
4. Bandyopadhyay A, Traxel KD, Bose S. Nature-inspired materials and structures using 3D Printing. Mater Sci Eng R Rep. 2021 Jul;145:100609. doi: 10.1016/j.mser.2021.100609. Epub 2021 Apr 2. PMID: 33986582; PMCID: PMC8112572.
5. Benyus, J. M. (1998). *Biomimicry: innovation inspired by nature.* New York, Quill.
6. C. de Pauw, E. Karana and P. V. Kandachar,(2012.)Nature-Inspired Design Strategies in Sutainable Product Developement a case study of students' projects
7. Eliades T, Panayi N, Papageorgiou SN. From biomimetics to smart materials and 3D technology: Applications in orthodontic bonding, debonding, and appliance design or fabrication. Jpn Dent Sci Rev. 2023 Dec;59:403-411. doi: 10.1016/j.jdsr.2023.10.005. Epub 2023 Nov 10. PMID: 38022388; PMCID: PMC10665594.
8. Hala S. Aamer, Ahmed F. Hamza, Mohamed khairy, Islam Ghonimi. (2020). Biomimicry as a Sustainable Design Methodology For Building Behavior. Engineering research journal, vol. 1 No.46, pp.191-201.
9. Ikshita Chaturvedi, Anketa Jandyal, Ishika Wazir, Ankush Raina, Mir Irfan Ul Haq. (2022). Biomimetics and 3D printing - Opportunities for design applications. Sensors International journal, Science Direct, Publishing services by Elsevier B.V. on behalf of KeAi Communications Co.
10. Lazaara Ilieva, Isabella Ursano, Lamiita Traista, Birgitte Hoffmann, Hanaa Dahy. (2022). Biomimicry as a Sustainable Design Methodology. Biomemtic Journal, 7, 37 https://doi.org/10.3390/
11. Maker Bot. (2022). 2022 Guide to 3D printing Materials. Retrieved from" MAKERBOT.COM/METHOD"
12. Marcelo Vicente da Silva Junior1, Luiz Valdo Alves Maciel Filho, Thamyres Oliveira Clementino, and Amilton Arruda. (2023). Inspirations for more sustainable practices in Design: Potential of Biomimicry, Material selection& 3D Technology. Ergonomics In Design, Vol. 77, 2023, 40–49, https://doi.org/10.54941/ahfe1003361
13. Marcelo Vicente da Silva Junior, Luiz Valdo Alves Maciel Filho, Thamyres Oliveira Clementino, Amilton Arruda, Inspirations for More Sustainable Pra

14. Tala Daya. (2017). Facilitating Sustainable Material Decisions: A Case Study of 3D Printing Materials. Doctor of Philosophy in Engineering- Mechanical Engineering, University of California, Berkeley. Retrieved from https://escholarship.org/content/qt2mk4x85f/qt2mk4x85f_noSplash_582cad3cacf4d0886bf735f2dd1728c7.pdf
15. Taiwen Zhang , Jiayuan Lyu. (2023). 3D Printing Technology and Sustainable Design. Proceedings of the 2nd International Conference on Culture, Design and Social Development, DOI:10.2991/978-2-38476-018-3_68
16. William McDonough(1992). The Hannover Principles Design for Sustainability. Prepared for EXPO 2000, The World's Fair. Hannover, Germany

Websites:

17. https://www.linkedin.com/pulse/biomimicry-nature-inspired-design-sustainable-denismarie-uche-k2cvf/
18. https://3dadept.com/does-nature-hold-the-answer-to-sustainability-a-look-at-biomimicry-and-its-practical-use-within-the-3d-printing-sphere/
19. https://www.ibm.com/blog/what-is-supply-chain-sustainability/
20. https://aws.amazon.com/whatis/iot/#:~:text=The%20term%20IoT%2C%20or%20Internet,as%20between%20the%20devices%20themselves.
21. https://3dprint.com/164218/3d-printable-ceramic-foam-ink/
22. https//Phys.org/news/2020
23. https://projects.directindustry.com/project-11687.html
24. https://3dadept.com/designer-develops-an-eco-friendly-alternative-to-air-conditioning- systems-the-3d-printed-terracotta-cooler
25. https://science.howstuffworks.com/life/evolution/biomimicry.htm
26. https://www.lilianvandaal.com/biomimicry3dprintedsoftseat