هندسة التخيل والتكنولوجيا ودورهما فى مواجهة التصميم الداخلى لتحديات القرن الحادى والعشرون

فايزة محمد أحمد الدلال
أستاذ مساعد قسم الديكور، كلية الفنون الجميلة ، جامعة الاسكندرية .

مقدمة

يعيش العالم الآن ثورة تقنية وتكنولوجيا هائلة،وقد عرفها العديد بأنها وسيلة لزيادة القدرة التنافسية للصناعات التحويلية من خلال زيادة دمج الأنظمة الإلكترونية الفيزيائية في عمليات التصنيع. و زيادة دمج أنظمة الآلات التى يتم التحكم بها إلكترونياً ، لذلك سوف يظهر ما يمكن أن نطلق عليه أنتاج الحيز من خلال عملية تقوم على الآلات بأقل قدر من الأخطاء وأعلى قدر من الكفاءة.وبالتالى سيتغير شكل حيزاتنا وألوانها وخاماتها خاصة بعد دخول الفيزياء والكيمياء الأفتراضية إلى مجال التصميم الذى تبعه أعادة جديدة لمعنى وهدف عملية التصميم ، كالمقاربات بين جسيمات الخامة وهو ما يعرف بالبيولوجيا التركيبية القائمة على الروبوتات النانوية والتى تولد بنى محسنة مبنية من المقياس الميكروسكوبي الذي يمكن حسابه وتحويله إلى عدد لا نهائي من التكوينات البنيوية المختلفة ، والتى تتغير معها الخامات المشكلة للحيز الداخلى وبالتالى محدداته ومفرداته فى محاكاة التشطيبات التركيبية، فبمقدور هذه الثورة أن تصنع حيز يتفاعل مع المتلقى ويتغير تبعا" للوظيفة أو الحالة المزاجية له ؛ وفقا" لما يتم تقديمه من التغذية الراجعة الخاصة بالمتلقى لتنفذ مفهوم وفكر جديد يتناسب وطبيعة المتلقى . هذه المرادفات الجديدة والربط بين العلوم المختلفة حاول البحث أن يسلط الضوء عليها وعلى أهمية وجود عملية تصميمية جديدة للحيز الداخلى تحتوى هذه العلوم المختلفة فى بوتقتها.

مشكلة البحث Statement of the Problem:

تمر عملية التصميم الداخلى حاليا" بأختبار حقيقى حيث الزيادة فى دمج"الأنظمة الإلكترونية الفيزيائية في عمليات التصنيع. حيث يتم التحكم فى هذه آلات إلكترونياً ، هذه الآلات الذكية المتصلة بالإنترنت تغير بشكل مستقل وذاتي أنماط الانتاج وفقاً للمدخلات الخارجية مع أحتفاظها بدرجة عالية من الكفاءة ،لذلك أصبحت الصراعات الحديثة فى عملية التصميم والتصنيع تمزج كلا" من الطرق التقليدية بغير التقليدية فى طرق التفكير والتصميم ، وأصبحت تكشف عن المزيد من التداخل بين العلوم الهجينية والثقافات المختلفة وأفكار الفن ، هذه الثورة التى دفعت التصميم الداخلى الى أهمية أن يمتلك المزيد من الحيوية ويحدد أسسه التاريخية والنظرية من وجهة نظر كلا" من الفنانين والمهندسين المعماريين والمصممين والعلماء والمؤرخين كى يظهر مصمم يتفوق على تلك الآلات بمزيد من التخيل والتدبر والتفكير والتعبير عن الوقائع الفكرية من خلال منطق الهندسة التخيلية والعلوم المهجنة.

أهمية البحث Significance of the Study :

تتطلب الحيزات الداخلية فى أطار التقدم التكنولوجى الهائل والرقمنة وبرمجة الآلات الذى يشهده هذا العصر وجود منهج تصميمي جديد ينتقل معه المصمم ءالى هذه الحدود الجديدة التى رسمتها مبادىء وأفكار الثورة الصناعية الرابعة ؛ وبذلك يعد البحث محاولة لوجود أبحاث تتعلق بمحور التطبيقات التكنولوجية والعلوم المستقبلية ضمن مشروعات و دراسات أستراتيجية مصر للعلوم والتكنولوجيا والأبتكار 2030م للتنمية المستدامة فى محاولة لرؤية جديدة مستقبلية لعملية التصميم الداخلى فى مصر لتتماشى مع ما يتجه إليه التصميم الداخلى فى العالم حاليا"،والذى يتطلب وجود أساليب جديدة لعملية التصميم الداخلى تستطيع أن توجود تجارب مفيدة تربط بين المصمم وتقنيات عصره من خلال نافذة في عالم الإبداع التصميمى والتى تتطلب مزيد من الخيال وطرق التفكير التى تربط بين العديد من الأتجاهات العلمية المختلفة .

التساؤلات Question of Study :

فرضت الدراسة عدة تساؤلات و هي كالآتي :-

-كيف تقدم هندسة التخيل أسس تصميمية لبنية داخلية جديدة ؟

-ماهو دور كلا" من هندسة التخيل والتكنولوجيا فى مواجهة التصميم الداخلى لتحديات الثورة الصناعية الرابعة؟

-كيف يمكن تحقيق فوائد متبادلة بين عملية التصميم الداخلى وبين العلوم المهجنة ؟

-كيف تعمل المحاكاة البيولوجية لوجود مفردات تصميمية للبيئة الحيز الداخلى ؟

-مدى استجابة الكيمياء الأفتراضية لتصنيع خامات الحيز الداخلى القابلة للبرمجة ؟

-كيف يتوافق التصميم الكلايترونك " claytronics" والحيز الداخلى ؟

الفروض Hypo theses:

توفر قيمة الأبتكار والتخيل لدى المصمم ، والعلوم المهجنة لغة مفاهيمية مفيدة لوجود نهج أكثر واقعية لمواجهة المصمم المعاصر لتحديدات القرن الحادى والعشرون فى عملية التصميم الداخلى وإيجاد المزيد من السبل لإجتياز هذه المرحلة من الثورة الصناعية الحالية والتى تتفوق فيها الآلات والربوتات المبرمجة وبيولوجيا الخامات فى مشهد من الصراع بين الإنسان و الألة .

منهج البحث Methodology :

أتجه البحث ليستعرض التحديدات التى تقابل عملية التصميم الداخلى من خلال أطار معرفى مبنى على المنهج الوصفى التحليلى مع عرض للعديد من النماذج التى تشير إلى دور المصمم فى ضرورة أستخدامه للعلوم الفيزيائية والكيميائية والبيولوجيا التركيبية ، ومزجها بفنه من خلال تقنيات وتكنولوجيات ليظهر ما يطلق عليه التخيل الأبتكارى أو هندسة التخيل.

الدراسات المرتبطة Related Studies

جاء البحث ليكون حلقة الوصل بين مجموعة من العلوم المختلفة الكيميائية منها والفيزيائية والبيولوجية وعلم جديد وهو هندسة التخيل كمحاولة لوجود رؤية تصميمية جديدة للحيز الداخلى وتصميم داخلى يواجهه طغيان الميكنة والروبوتات النانوية ، والعديد من أجازات مجموعة من المختبرات كمختبر كورنيل للمعدات الإبداعية ، و مجموعة وايتسيدس ، ومختبرات إنتل ،و أوتوديسك .

حدود البحث Delimitation :

جاء البحث ليوضح العلاقة بين الفكر التصميمي ومخيلة المصمم وبين مفردات جديدة لعملية التصميم الداخلى مثل الأنظمة الإلكترونية الفيزيائية في عمليات التصنيع، وزيادة دمج أنظمة الآلات التى يتم التحكم بها إلكترونياً ،والكيمياء الأفتراضية وربطهم جميعا" فى وحدة واحدة مرجعيتها التغذية الراجعة الخاصة بالمتلقى ، لذلك تناول البحث مجموعة من المحاور كالآتى :

1- هندسة التخيل " التخيل الابتكارى "Imagineering

هو دمج بين لفظي "الخيال" و"الهندسة" أنتشر أستخدام لفظ "التخيل الابتكاري" في العالم بفضل شركة ألوكا قرابة عام 1940 م1 ؛التى أكدت على أن العالم يتطور؛ وهذا التطور يجلب لنا العديد من التغييرات في جميع المجالات. وإذا أردنا مواكبة كل هذه التطورات والأبتكارات ، فيجب علينا التكيف مع هذا العالم الجديد ومع تعديلاته. وتعتبر هندسة الأبتكار وسيلة للتحرك وتحويلنا إلى أناس جدد وعصريين[2] إذ يفتح نافذة على عالم الإبداع والخيال[3](شكل 1) .

2- مستقبل الخامات داخل الحيز الفراغى

2-1 التصميم الكلايترونك " claytronics" والحيز الداخلى

بسرعة إلى الأمام عشرون عاما في بيتسبرج ، تقوم مجموعة من علماء الكمبيوتر في جامعة كارنيجي بتطوير ما

شكل 1: الهيكل المملوء بالهواء المضاف وسيلة المصمم للتطور للحيز التقليدى لمتحف Hirshhorn وحديقة Sculpture – واشنطن،صممه Gordon Bunshaft عام 1974. حيث يتحدى هذا الهيكل التصورات القديمة حول ما يعنيه المتحف كمساحة عامة ، ويشجع على أقبال الجمهور ،ويؤكد على أن وجوده نقلة نوعية فى شكله المعمارى ، والذى يجعل أهمية المتحف كمكان للحوار والتعليم الذى يمتد إلى ما وراء عالم الفن التقليدي.

صاغوه "claytronics". ويؤكدون على إنها مسألة قابلة للبرمجة تنطوي على إمكانية إحداث ثورة في علاقتنا بالأشياء والهندسة المعمارية، في يوم من الأيام ستكون هناك أجهزة كمبيوتربحجم الذرات يمكنها التواصل مع بعضها البعض،وسيكونون قادرين على ربط أنفسهم معا" ولهذه العملية جانبين مادية وأخرى رقمية، بالتالى ستغيرهذه الثورية التكنولوجية طريقة صنع المنتجات الاستهلاكية[4]؛ التى يمكنها أن تغير الشكل واللون والملمس حسب طلب المستخدم ،فيمكن للمباني والجسور إصلاح ذاتها في المواقف الحرجة، ويمكن للخامات داخل الحيز تغير تصميمها وخصائصها الحرارية في تناغم مع الطقس . هذه ثورة تكنولوجية

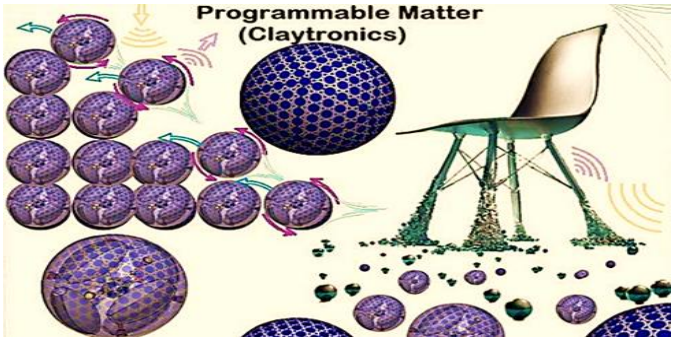
[1]https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AA%D8%AE%D9%8A%D9%84_%D8%A7%D9%84%D8%A7%D8%A8%D8%AA%D9%83%D8%A7%D8%B1%D9%8A

[2] https://www.homedit.com/amazing-warmpath-by-michael-harboun

[3]Gabrielle Kuiper, Bert Smit. Imagineering: Innovation in the Experience Economy. CABI, ISBN: 1780644655, 9781780644653. 2014. P.7.

[4]Detorreon Pla . Claytronics: When Atoms Themselves Become Computers. Booktango, ISBN: 1468938916, 9781468938913. 2013. P.7.

بقدر ما هي سلوكية؛ إذا كان أي كائن يمكن أن_يتحول إلى أي كائن آخر ، فإن هذا يثبت وضعًا جديدًا جذريًا على كيفية تعاملنا مع العالم من حولنا. لم تعد الأشياء تملي وظيفة ما بالطريقة التي تم تشكيلها بها (شكل 2)، بدلاً من ذلك ، تتكيف أشكالها اعتمادًا على ما نحتاجه. هذا سيجلب مجموعة جديدة كاملة من الفرص لجيل هجين من المصممين في مجال الصناعة والتفاعل ، الذين سيضطرون إلى النظر في ديناميكيات الكائن الثابتة والعلاقة مع أحتياجات العميل؛ فيمكن للعميل توسيع وحدات التخزين ودمجها وإنحنائها من قبل المستخدمين لتتناسب مع متطلباتهم ، أو تشكيلهم لها بأنفسهم (شكل3) . يمكن للمستخدمين حتى تحميل الأشكال من المكتبات ؛ فهذا مشروع " living kitchen" –جامعة كارنيجي ميلون ، وهى تقدم تصورات مستقبلة للحيز الداخلى المستقبلى من خلال "claytronics " حيث يعمل العلماء جاهدين على إدخال المادة القابلة للبرمجة إلى الحياة.



شكل3 :يوضح كيفية تجميع جسيمات المادة المصنع منها المقعد بروابط كهرومغناطيسية فى عالم الكلايترونك [5]

شكل 4:Living Kitchen ،في البداية يظهر صنبور يليه حوض ، والذى يمتد مع وصول الماء إلى السطح ، وينتهي به مكان لإعادة النفايات إلى التجاويف الخفية لهذا النانو الرائع.أما أسطح العمل داخل المطبخ فيشبه إلى حد ما شاشة تعمل باللمس في ثلاثة أبعاد – ربما يكون مثل جهاز iPad وتكنولوجيات الكمبيوتر الأخرى ، والذي يستطيع توفير المساحة المطلوبة من المستخدم وبذلك يصبح الحيز وأسطحه المختلفة متعدد الوظائف والأستخدام[6] [7].

ويقول جولدشتاين ، أحد علماء الكمبيوتر في جامعة كارنيجي ميلون: "إن الحصول على الروبوتات للحساب ، والتجمع الذاتي ، وتغيير الخصائص الفيزيائية للهيكل الكلي ، هي الخطوة التالية.مع هذا المشروع ، كنت أرغب في نشر الوعي بهذه التكنولوجيا الحديثة. على الرغم من أن مفاهيم مثل Living Kitchen هي تصورات تصميمية لليوم ، ولذلك يجب أن نبدأ بالمحادثة حول ما هي السيناريوهات والتطبيقات التي ستكون مرغوبة غدًا ".(شكل4).[8]

المكتب المورفوجيني – جامعة أكسفورد بروكس ، المملكة المتحدة؛ قدم فى مشروعه لعام 2013 وهو بحث ممول من إنتل ؛ و يعتبر تجربة كلايترونيكية جديدة تقوم على التواكب مع التطور المستمر لقانون مور ، مؤكدين على أن نتوقع أن الأجهزة سوف يتقلص في يوم من الأيام إلى حجم النانو الصغير. سوف يصبح العالم المحيط بنا بيئة ذكية محوسبة تجمع بإستمرار المعلومات ومعالجتها، حيث يستكشف الكمبيوتر إمكانات المادة القابلة للبرمجة الميكروسكوبية ، وبذلك يمكن برمجة الجسيمات المشكلة للخامات والتفاعل مع بعضها البعض لتشكيل روابط كهرومغناطيسية[9] ،

شكل 5 : قطاع فى مادة الجرافين المشكلة لهيكل البرج الجديد – ساحة كندا 1 .

يتوليد منها خامة جديدة ذات بنية محسنة مبنية من المقياس الميكروسكوبي الذي يمكن حسابه وتحويله إلى عدد لا نهائي من التكوينات البنيوية المختلفة ، فيمكن تغيير اللون والعتامة لتكرار خصائص المواد المختلفة . "شكل 5 " .

---

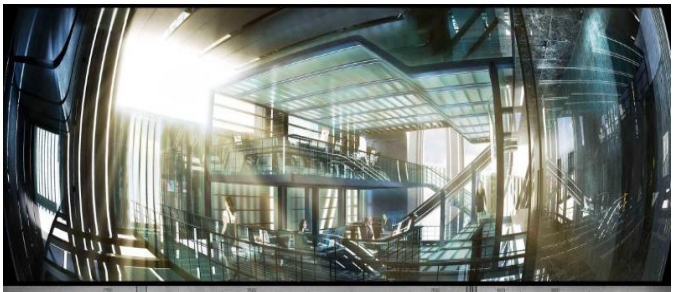
[5] https://twitter.com/autopiamotor/status/638274246377082880
/[8] https://strate.in/projects/living-kitchen-project-michael-harboun-student-3rd-year-interaction-design-program

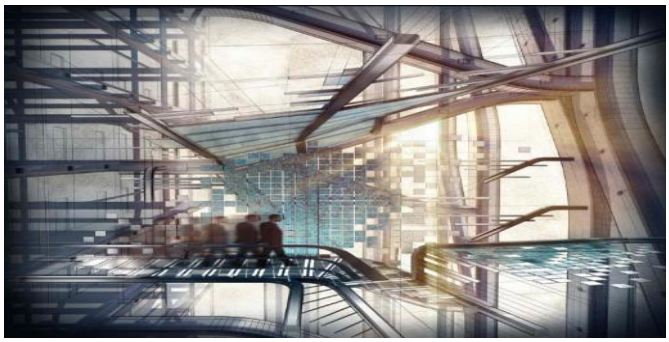
[9] https://dornob.com/living-kitchen-wall-uses-multi-touch-nanotechnology
[6]https://michaelharboun.com/livingkitchen.html

[7] http://www.presidentsmedals.com/Entry-33591

تتكون Claytronics من مجموعة من المكونات الفردية تسمى ذرات claytronic ، أو catoms. ومن أجل أن تكون قابلة للتطبيق تحتاج مجموعة من المعايير. فيجب أن تكون قادرة على التحرك في ثلاثة أبعاد بالنسبة إلى بعضها البعض وتكون قادرة على الأنضمام إلى بعضها لتشكيل شكل ثلاثي الأبعاد، و يتطلب تنظيم جميع الأتصالات والإجراءات بين ملايين القواسم ذات المليمتر الفرعي لغات برمجة متقدمة، ولقد ظهر تبعا" لهذا المصطلح العديد من المصطلحات الأخرى أهمها أعادة برمجة الخامات " programmable matter " .

شكل 6 : كروكيات للحيز الداخلى الجديد





يستكشف المكتب المورفوجي الإمكانات المستقبلية للمادة القابلة للبرمجة في البيئة المبنية والاحتفاظ بالشخصية الرمزية للموقع " ساحة كندا ون" من خلال عملية إعادة التخصيص للبرج. حيث يصبح النظام الهيكلي الجديد شبكة تداول لجزيئات Claytronic بالإضافة أنه لايخفى ولا ينفصل على الواقع الحضارى المحيط ، مع وجود مصنع ضخم ، يقع أسفل المبنى القائم يقوم بإعادة تدوير مواد الخردة الناتجة من هدم البرج القديم من خلال عملية ترسيب البخار الكيميائي لإنتاج الجرافين ؛ مادة عالية التوصيل وقوية وخفيفة الوزن مع خصائص تفوق بكثير أي مادة أخرى معروفة. وذلك من خلال نظام إنتاج عالي الكفاءة على نطاق النانو. يتم بعد ذلك تعميم الجسيمات المصنعة ضمن الإطار الهيكلي للبرج المعاد تخصيصه مما يوفر إمدادًا مستمرًا من المادة القابلة للبرمجة."

2-1-1الخامات القابلة للبرمجة

هناك دائما فكرة رائعة وراء كل اختراع عظيم ، والمادة القابلة للبرمجة " programmable matter " هي واحدة من تلك الأفكار ولكن العلم وراء هذا المفهوم معقد للغاية ؛ قام طلاب معهد ماساتشوستس ببحث بمساعدة إنتل؛ وكان الغرض من هذا المشروع هو تصميم مثل هذه المواد الرقمية وجود كتلة بناء أساسية قابلة للحساب ، والأستشعار ، والتشغيل ، والتوجيه ، والأتصال.

تحتوي المادة القابلة للبرمجة على العديد من التطبيقات مثل النماذج الأولية ، وروبوتات تغيير الشكل حتى المنازل والمباني التى تم تطويرها يمكن تغيير شكلها دون الحاجة إلى هدم المادة بأكملها.وهذا المجال له علاقة بالعديد من المجالات الهندسية الهامة ، ويوفر تصميمًا شاملاً لتحقيق التصميم المعمارى والداخلى[10] .

تتكون المادة القابلة للبرمجة من جزيئات microsystem مستقلة ذات مقياس مليمتر ، بدون أجزاء متحركة داخلية ، مرتبطة بالقوى الكهرومغناطيسية بدون مادة رابطة لاصقة.و يمكن للجسيمات أن تبدد حرارة 10 ميجاواط ، والأنتشارالسريع للمادة كافى لنقل المواد المتفاعلة إلى الجسيمات.وتسمح الأنظمة البصرية بالتواصل مع جسيمات المساحة المنخفضة (دون المليمتر) عند 24 bit / pJ. وهناك مجال كهرومغناطيسي قريب وآخر بعيد ، المجال القريب عند37 bit / pJ. أما المجال كهرومغناطيسي البعيد لجسيمات المادة يمكن أن يكون الاتصال

المقاربات بين جسيمات الخامة تكون قائمة على الروبوتات النانوية (إعادة تشكيل الروبوتات المعيارية ، claytronics ، الأوتومات الخلوية ، الآبار الكمومية ، البيولوجيا التركيبية) ،وهناك العديد من مختبرات الأبحاث الذي تقوم بتطوير هذا المفهوم ،

[10].Muhammad Ubair Riaz, Zain Javaid. Programmable Matter. Lap Lambert Academic Publishing GmbH KG. 2012.

مثل مختبر كورنيل للمعدات الإبداعية ، وأبحاث مجموعة وايتسيدس ، ومختبرات إنتل ، وأبحاث أوتوديسك وهلم جرا. قامت أبحاث Autodesk بتطوير تقاطع المادة الحيوية / النانوية / القابلة للبرمجة ومساحات التصميم المدعومة حاليًا ببرامج Autodesk مثل التصنيع وصناعة البناء. بنفس القدر من الأهمية ، فهي تستكشف وتدفع مساحات التصميم الناشئة التي تم تمكينها بواسطة مادة حيوية / نانو / قابلة للبرمجة مثل البيولوجيا التركيبية[11]أن تكون متطورة قابلة للتغيير تبعا" لأحتياجات العميل سواء أكان وظيفيا" أوتبعا" لعدد أفراد الأسرة ، ويعمل علماء الفيزياء الصلبة في المختبرات الشهيرة على جعل هذه الأبحاث حقيقة مثل ليفي شتراوس وآي بي إم [12] (شكل7) .

شكل 7 : تطور شكل الحيز ومفرداته التصميمية تبعا " لوظيفة الحيز والتى يمكن أن تتغير تبعا" للنشاط اليومي[13].

أستطاع مختبر التجميع الذاتي التابع لمعهد ماساشوستس للتكنولوجيا (كامبريدج ، ماساشوسيتس ، تأسست عام 2013) صنع الأشياء التي يمكنها تجميع نفسها" self–assemble " بشكل جيد بين حزمة من ألياف الكربون 'Tibbits وألواح الأخشاب؛ بشكل يجمع بين أجهزة الأستشعار والمنطق والمخرجات بطرق يمكن أن تحول كل شيء ،حيث تعلن كل من Demaine Erik وChristophe Guberan عن التغيرالشكلى للأخشاب عند تعرضها للرطوبة وذلك يضع المزيد من الخطوات الإيجابية نحو تحول الخامات تبعا" للظروف البيئية مما يدفعها للأستدامة ؛ وبالتالى إلى أستدامة الحيز[14].

في حالة مشاريع ألياف الكربون ؛ تكون عملية التصنيع ثنائية الأبعاد تمامًا،ثم يبدأ الفريق بلف ألياف الكربون والتى تتبع نمط الألتفاف النموذجي ، ثم تتم طباعة المادة الثانوية ، التي تمت صياغتها في مختبر Tibbit للأستجابة للتغيرات في درجة الحرارة ، على شبكة الاتصال بأستخدام ماكينة CNC، وبما أن ألياف الكربون تتعرض للحرارة ؛ فإن المواد الحساسة لدرجة الحرارة تتغير وتتسبب في تغير شكل الألياف الخشبية بطرق يحددها المصمم (شكل 8) .

شكل 8 : التغلب على القيود المسبقة لتشكيل الخشب. حيث تم تصميم أوراق مسطحة من مركب الخشب المطبوع قابلة للتحويل الذاتي

تم أستخدام الخواص الشفافة والناعمة والخفيفة من المنسوجات منذ قرون في الهندسة المعمارية وتصميم الأثاث؛وعادة يتطلب تمدد النسيج إلى إطارات هيكلية صلبة معقدة وطرق ميكانيكية. فهناك طريقة جديدة لأستخدام المنسوجات التي يمكنها الأستفادة من خصائصها الفريدة مع تقليل تعقيد عمليات التشكيل. من خلال طباعة المواد بسماكة متنوعة على المنسوجات الممتدة ،

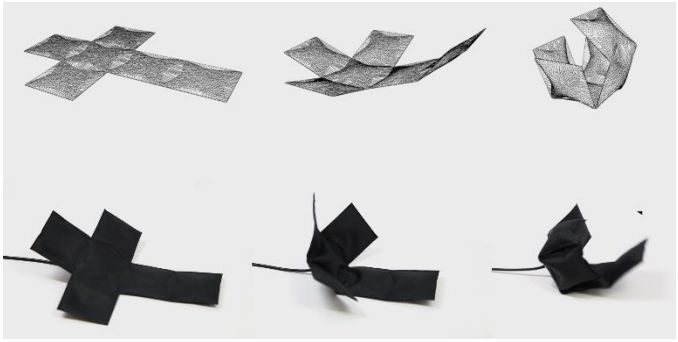
[12] http://www.studioflorian.com/projekty/252-monika-rafajova-programmable-matter

[13]Wil Mccarthy. Hacking Matter: Levitating Chairs, Quantum Mirages, And The Infinite Weirdness Of Programmable Atoms. Hachette UK, ISBN: 0786723416, 9780786723416.2008.

[14] http://www.studioflorian.com/projekty/252-monika-rafajova-programmable-matter

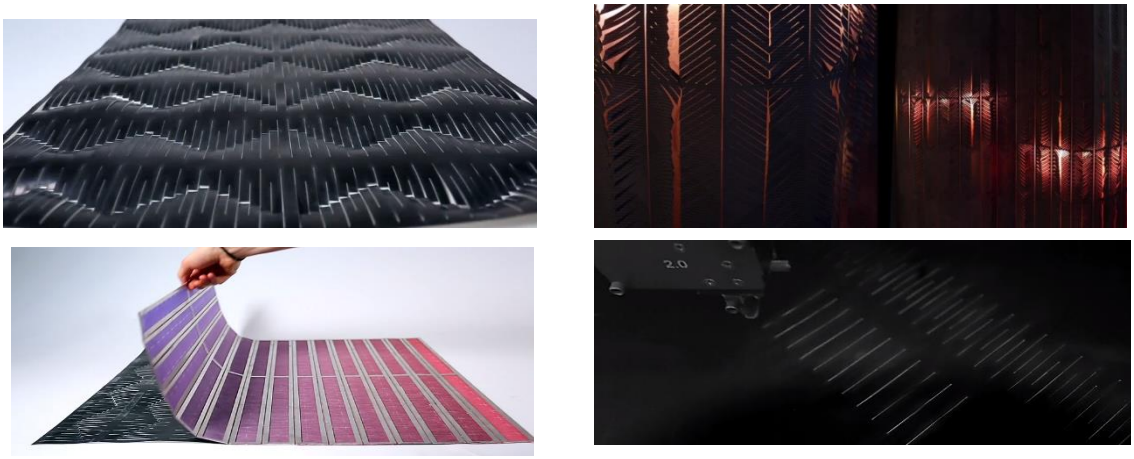
[15] https://www.wired.com/2014/11/skylar-tibbits

وبذلك يستطيع المصمم إنشاء هياكل ذاتية التغيير عن طريق برمجتها مسبقًا لإعادة تشكيلها. وتفتح المنسوجات القابلة للبرمجة إمكانيات جديدة لتصنيع الأثاث الذى يتجمع ذاتيا" ويتفاعل مع المستخدم(شكل 9).



شكل 9 : النسيج المتحول " تعمل "aeroMorph" التابعة لمجموعة MIT بتصميم برمجية يمكنها إنشاء آليات انحناء هندسية محددة ، من خلال مجموعة من أساليب التصنيع والطباعة و آلات CNC لوجود نسيج لمواد متحولة.[15] "

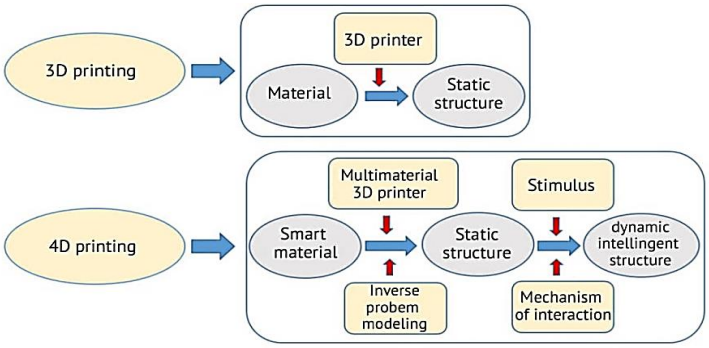
النسيج المركب من النحاس " ACTIVE TEXTILE " –2018 م ، والذى يمكن أن يغلق ويفتح الثقوب الموجودة به أستجابة لمصدر الضوء من خلال المواد القابلة للبرمجة التي يمكنها "الإحساس" والإستجابة لبيئتها بدون آليات روبوتية، هذاالنسيج النشط الذي تم تصميمه باستخدام Designtex و Steelcase للمعرض ، ويوضح هذا المنتج أمكانية المواد القابلة للبرمجة أن تدخل حيز المعيشة والعمل كنسيج في نافذة ، و يمكن برمجة ثقوب المادة لإغلاقها أستجابة لأشعة الشمس الساطعة ؛ مما يوفر التظليل اللازم للحيز الداخلى، أو أن يفتح في يوم غائم (شكل10).



شكل 10 : النسيج النشط – لمعهد ماساشوستس للتكنولوجيا" يوضح الشكل مرور خامة النحاس بعملية التصفح " lamination process " بعد عملية التقطيع بمكن " "CNC ومن عملية أعادة تهيئة الشاشة " screen "Reconfiguration " إلى تتطابق وتجميع الخامات معا" لتظهر خامة تسمح بحركة الثقوب الموجودة بها تبعا" لحركة الشمس

<u>– تحول الخامات شكليا" وحركيا"وتاثيرهاعلى الحيز الفراغى</u>

<u>3–1 الطباعة رباعية الأبعاد</u>



يشير Tibbits "مدير مختبر التجميع الذاتي التابع لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا "، Skylar إلى هذه العمليات باسم "طباعة 4D". أنها مثل الطباعة ثلاثية الأبعاد ولكن مع البعد الرابع: الوقت ، والتى يمكن أن نسميها "الديناميكية" ؛ ففي المستقبل يعتقد "Tibbits " أنه سيكون من الممكن برمجة جميع أنواع المواد.

هذه الطباعة التي يتحول من خلالها كائن مطبوع ثلاثي الأبعاد إلى بنية أخرى نتيجة تأثير مدخلات

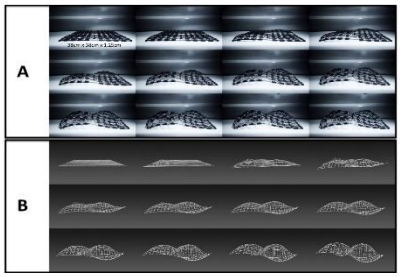
[16] https://www.designboom.com/technology/mit-aerofold-origami-12-19-2016

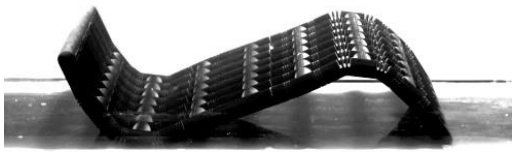
الطاقة الخارجية كدرجة حرارة أو ضوء أو محفزات بيئية أخرى ؛ فالطباعة ثلاثية الأبعاد هي عبارة عن تكرار بنية ثنائية الأبعاد طبقة تلو الأخرى في مسار الطباعة من القاع إلى القمة،حتى يتم إنشاء وحدة تخزين ثلاثيةالأبعاد. وتتحول الطباعة من ثلاثية الأبعاد إلى الطباعة رباعية الأبعاد بمرورالوقت، يتم إضافة البعد الرابع: الوقت؛ أى قدرتها على تغيير الشكل بمرور الوقت[16] (شكل 11،12).

شكل 11:عملية التحول من الطباعة ثلاثية الأبعاد الى رباعية الأبعاد بأضافة المدخلات الخارجية .

هذه التكنولوجيا توفر طباعة المجسمات الكبيرة والتى لايمكن طباعتها بالطباعة ثلاثية الأبعاد مثل طباعة لوحة مسطحة سوف تنحني إلى كرسي بمجرد إضافة الماء أو الضوء إليها ، وكذلك أمكانية أستخدام مجموعة متنوعة من المواد الذكية[17] التي لا يمكننا حتى اليوم تخيلها! مثل البوليمرات" Polymers" والتى تتغير بالتمدد أو الأنكماش تبعا" للمدخلات البيئية أو أصلاح نفسها عند الكسر.

شكل[18] 12 : نحناء مزدوج.



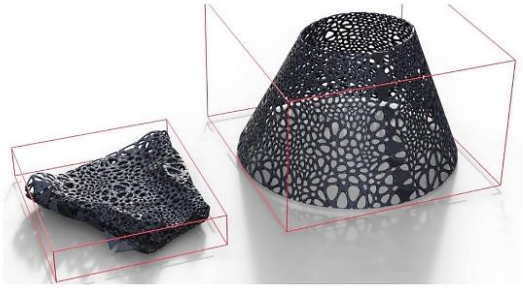


(أ) صور حقيقية لتغير الشكل المسطح بفعل الماءالساخن (ب) المحاكاة ، مشروع مختبر التجميع الذاتي MIT.

طورمعهد جورجيا للتكنولوجيا نسيجًا هجينًا مولّدًا للطاقة يستخدم لتصميم الملابس والستائر والخيام ، أستخدم الفريق آلة نسيج تجارية لنسج الخلايا الشمسية المأخوذة من ألياف خفيفة الوزن ، من البوليمر مع المولدات النانوية الكهروحرارية (نوع من التكنولوجيا التي تحول الطاقة الميكانيكية / الحرارية التي ينتجها التغير المادي الصغير إلى كهرباء)،وتبلغ سماكة القماش الجديد 320 ميكرومتر وتنسج مع خيوط من الصوف. ومن خلال السماح بضرب الريح للنسيج فإنه يولد طاقة كافية لشحن مكثف تجاري سعته 2 مليمتر إلى فولتين في دقيقة واحدة.[19] (شكل 13)[20].

3-2 الطباعة السائلة Rapid Liquid Printing

هي طريقة تصنيع أبتكرها وطورها مختبر التجميع الذاتي طريقة لتصنيع منتجات ديناميكية كبيرة بأشكال معقدة قابلة للنفخ مثل أنتاج غرف داخلية وأسطح معقدة وأثاث داخل هذا الحيز في غضون دقائق ، تتكون الطباعة السائلة السريعة من إنسان آلي "يرسم" جسمًا بمواد سائلة داخل خزان من الهلام. ثم يتم إزالة المجسم المطبوع من الخزان ، وغسله بالماء ، ويخضع لعملية التمدد لتتخذ شكله المقصود. يمكن تفريغ كل منتج وتخزينه وشحنه ثم تشغيله مرة أخرى. مع هذه الطباعة، يمكن إعادة تعريف لعملية تصميم التصنيع كخبرة فنية غير محدودة وهذا يتطلب منا إعادة التفكير في التصميم والإنتاج ودورات حياة المنتج[21] (شكل14،15) .



شكل 14 :الطباعة السائلة "MIT [22]والمصممة السويسرية كريستوف Guberan ، عرضت في معرض باتريك باريش –مدينة نيويورك.

[17] https://www.sculpteo.com/blog/2017/10/25/4d-printing-a-technology-coming-from-the-future

[18]Mohammed Maniruzzaman. 3D and 4D Printing in Biomedical Applications: Process Engineering and Additive Manufacturing. John Wiley & Sons, ISBN: 3527344438, 9783527344437.2019.P.39.

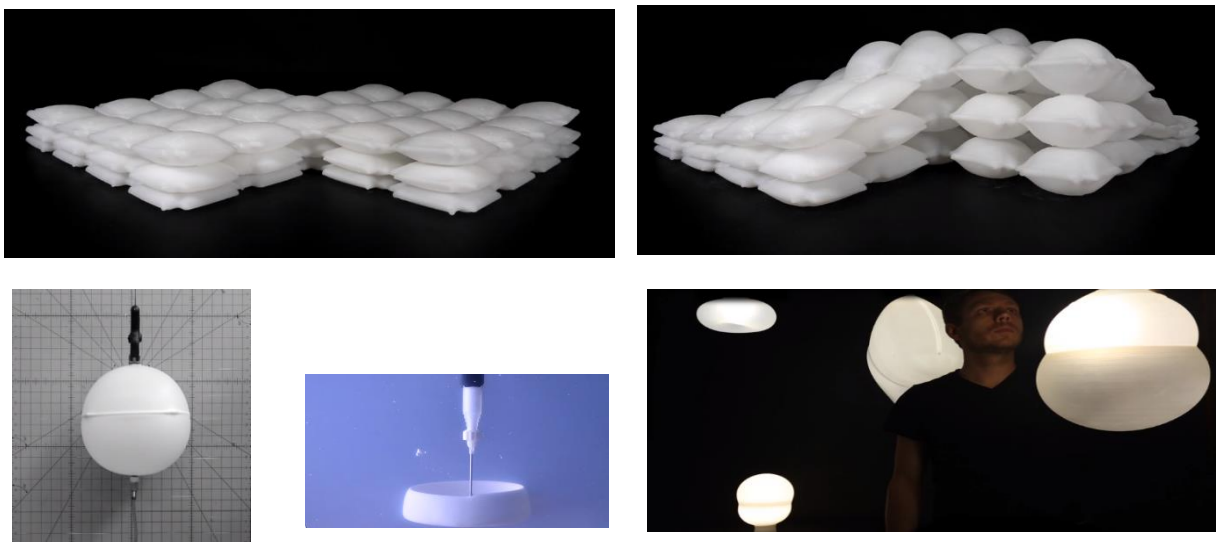
[19]http://alumni.media.mit.edu/~darav/Self-Evolving/Self-Evolving.html

[20] https://www.designindaba.com/articles/creative-work/5-innovations-broke-mould-2018

[21]https://vimeo.com/111595155

[22] https://vimeo.com/279120777?from=outro-embed

[23]George Shultz, Jim Hoagland, James Timbie. Beyond Disruption: Technology's Challenge to Governance. Hoover Press, ISBN: 081792146X, 9780817921460.2018.

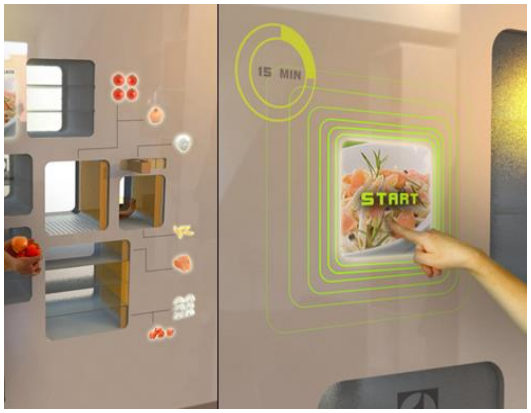


شكل 15 : مشروع" Liquid Liquid Pneumaticatics "؛ نجحت إدارة التصميم في BMW بالتعاون مع مختبر التجميع الذاتي التابع لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا التابع لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا في تطوير تقنيات المواد القابلة للنفخ المطبوعة التي تقوم بتحويل نفسها ، معرض The Future Starts Here – لندن – 2018 م ، الذي يستكشف قوة التصميم في تشكيل عالم الغد.

4- الكيمياء الأفتراضية وتصنيع خامات الحيز الداخلى القابلة للبرمجة

نشر ك. إريك دريكسلير كتابه الذي صدر عام 1987 بعنوان "محرك الإبداع" ، والذى أكد من خلاله أن الخيال العلمي على قيد الحياة مع تكهنات حول "تكنولوجيا النانو" – البناء المستقبلي وتطبيق الآلات ذات الحجم الجزيئي القادرة على معالجة المادة على مستوى الذرات الفردية. إحدى الأفكار التي أقترحها دريكسلر كانت "الموادالذكية" القابلة للبرمجة بدلاً من جزيئات الخامات الخاملة العادية. ولكن أقتراح دريكسلر تضمن التقدم المستقبلي مثل "الطلاء" الذي يمكن أن ينتشر تلقائيًا ، ويغير اللون والملمس ، وحتى "الجدران الذكية" حيث يمكن تحريك النوافذ والأبواب بسهولة مثل إطارات الصور، و تساعد الميكانيكا النانوية على تشكيل "المادة الذكية" ؛وتحتاج إلى مصدر للطاقة (ربما وقودًا كيميائيًا متخصصًا) ومصدرًا للمواد الخام (ربما مواد كيميائية متخصصة على وجه التحديد) ، كما هو الحال في البيولوجيا، حيث تتلاءم مع الوقت والموارد(شكل 16).

شكل 16 : 2D Smart Kitchen – معمل الكترولوكسElectrolux Design Lab 2013 م "هو مفهوم مطبخ معلق على الحائط يستضيف وحدات وأجهزة تفاعلية. هذه المجموعة الكاملة من أدوات المطبخ تعد الطعام تلقائياً وتوفر المساحة والوقت، الجدار بأكمله عبارة عن شاشة تفاعلية تعمل باللمس و تعرض وصفات الطعام والمكونات ، مصنوعة جميع أبواب الآلات من الزجاج المضاء ، و تعمل شاشات الحائط باللمس ويمكن التحكم فى الألوان ومستويات السطوع لتناسب الحالة المزاجية للمستخدم[23] ، وعلى اليمين يظهر مطبخ أكيا 2050 [24].



ومع وضع هذه الصعوبات في الأعتبار ، قام الدكتور جيه. ستورز هول Dr. J. Storrs Hall – جامعة روتجرز بتطوير مفاهيم دريكسلر في أوائل التسعينيات من خلال اقتراح [25] ""utility fog" لتطوير خامة السليكون "لإنشاء مادة قابلة للبرمجة يمكن أن تتحمل التشكيل ، وتختلف كثافتها لتصل لصلابة الخشب أو البلاستيك وتكون أخف منهما ؛ وهو ما يمكن أن نطلق عليه نظام الترقيه ثلاثية الأبعاد أو وجود عناصر هيكلية صالحة لتأثيث للمنازل والمصانع ؛ وذلك بإصلاح الخواص الكهربائية

[24] http://www.yankodesign.com/2013/09/09/the-great-wall-of-cooking
[25] http://sirasa.com/concept-kitchen-2025-ideo-ikea_dezeen_10_644/

[26]J. Storrs Hall. Nanofuture: What's Next for Nanotechnology? Prometheus Books, ISBN: 1591022878, 9781591022879.2005.P.192.

للسيليكون بواسطة قوانين الفيزياء عن طريق العناية بالشوائب داخلها ، وذلك عن طريق يمكن ضبط بلوراته ؛ بحيث أن الإلكترونات المحصورة داخلها ستقوم بترتيب نفسها كما لو كانت جزءًا من ذرة السيليكون ، على الرغم من عدم وجود نواة ، والإلكترونات في نقطتي كمّية متجاورة ستتفاعل تمامًا كما تتفاعل في ذرتين حقيقيتين موضوعة على نفس المسافة ، مما يعني أن النقطتين يمكن أن تشتركا الإلكترونات بينهما ، مما يمكن أن يؤدى ذلك إلى وجود روابط كيميائية حقيقية.

هذه هي الكيمياءالأفتراضية ؛فالنقاط الكمومية يمكن أن تعقد عدة مرات هذا العدد من الإلكترونات بالمئات ، وهو ما لا يمكن أن يتخيله الكيميائيون الكلاسيكيون[26] . وبذلك تتشكل الخامات ويطلق عليها قابلة للترجمة . وعلى الجانب الآخر يتجه المصمم أن تبدأ صناعة البناء والخامات المستخدمة فى عملية التصميم الداخلى للحيز في الجمع بين الأبتكار مع مراعاة البيئة والبدء في "التفكير خارج الأساليب التقليدية للتصنيع والمادية".ومن هنا ظهر ما يعرف بأسم المحاكاة البيولوجية ، فالتحول نحو أعتماد نموذج بيولوجي في عملية التصميم ، تجعلنا نتخلى عن السيطرة الحتمية لعملية التصنيع والبناء المعتادة و وبذلك تهتم بخصائص هذه البنية الجديدة للمادة ، لتحل محل السيطرة المعلمية على المواد لتحقيق الأداء وهو ما يعرف بالمحاكة البيولوجية .

5-المحاكاة البيولوجية والتصميم الداخلى

المحاكاة البيولوجية هى التى تقوم بإجراء عمليات محاكاة متكررة للأنظمة بيولوجية ، وهى مجموعة متنوعة من أفكار الفن والعلوم الهجينة ، وتكشف كيف تتشابك العلوم والثقافة في مجال موسع لعلم الأحياء في الفن والهندسة المعمارية والتصميم[27] ، يفحص مؤرّخ الفن جورج هيرسي العديد من الروابط بين العلوم البيولوجية وفنون البناء. فمواد البناء الطبيعية مثل الخشب والحجر الجيري تنشأ في العمليات البيولوجية. والكثير من الزخارف المعمارية تستنبط من علم النبات والحيوان. ويؤكد العلاقة بين الهياكل المادية والكائنات الحية ، من الجسور إلى المساجد ، ويؤكد هيرسى على أن دراسة العمارة على صعيد المورفولوجيا البيولوجيبة سوف تأتى بعا" جديدا" لعملية التصميم والتى سوف تعطى دفعة جديدة قوية للدراسة فى هذا المجال[28] .

تكشف سلسلة Dezeen x MINI Living مفهوم المصممة ماريا فيرغوبولو Maria Vergopoulou عن البيوت الصغيرة ذات البناء الذاتي المصنوعة من البلاستيك الحيوي ، والتي جاءت في المرتبة الثالثة في مسابقة Dezeen x MINI Living Future Home Home،ويجمع المقترح الذي أطلق عليه Cocoon BioFloss ، مجموعات من البيوت الشبيهة بالجبس مصنوعة من ألياف بيولوجية رقيقة" bioplastic fibres " تشبه خيوط الحلوى. يتم أستبدال مواد البناء التقليدية مثل الطوب والخرسانة بواسطة البلاستيك الحيوي ، وهي مادة متجددة مشتقة من المنتجات الزراعية الثانوية.يتم حصاد مكونات المادة من المادة العضوية مثل عباد الشمس، والتي يمكن زراعتها في الموقع ،وقد قدمت هذا الأقتراح المصممة لوجود منزل من شأنه أن يعالج التحديات التي قد تواجهها المدن خلال 100 عام.

سوف يتم الأنتهاء من إنشاء مباني" Cocoon BioFloss" على مرحلتين. سوف يتم وضع طبقات من المواد على إطارات الأسلاك لإنشاء غلاف شفاف. ثم رش سطحه الداخلي بأستخدام ألياف دقيقة ، سيتم تصميم غرف المنزل لتحقيق أقصى استفادة من مسار الشمس في الموقع والموارد الطبيعية ،وسيتضاعف مطبخ كل مسكن ، الذي يقع في قلب مخطط الوحدة ، والذى يعتبركمختبر يجري فيه الإنتاج الحيوي، ستكون الغرف الأخرى في المنزل ذات موقع أستراتيجي حول المطبخ (شكل17).

[27]http://korrekt.com/technology/the_heart_of_programmable_matter/the_heart_of_programmable_matter.htm

[28]Charissa N. Terranova, Meredith Tromble .The Routledge Companion to Biology in Art and Architecture. Taylor & Francis, ISBN: 1317419510, 9781317419518.p.5.

[29]George Hersey. The Monumental Impulse: Architecture's Biological Roots. MIT Press, ISBN: 0262582031, 9780262582032.2001.p.180.

شكل 17 :Cocoon BioFloss – التصنيع لخامت البناء والتشطيب للعمارة الداخلية داخل مطبخ الحيز من المنتجات الزراعية الثانوية وذلك لضمان أستدامة الحيز بأستخدام المحاكاة البيولوجية.

سيتأثر تكوين هذه الأبنية بمسار الشمس للموقع وموقع الموارد الطبيعية ، سيكون التصميم الداخلي لكل وحدة سكنية فريداً لكل من الموقع والمتطلبات الفردية لشاغليها، وبسبب طبيعته المرنة ذات الأكتفاء الذاتي يمكن تعديل مادة BioFloss "للتكيف مع العديد من المواقع والظروف المناخية"[29] .

ظهرت الخوارزميات فى العمل التصميمى" LifeObjec " ؛ والذى أستخدم كخامة لعمل قاطوع يتكون من1400 عود من الألياف الصناعية ، يتراوح قطرها من 1 سم إلى 5 سم ، تغطي تقريبا 27.13 متر مكعب. هذه هي الترجمة الرقمية للبيانات التي تم الحصول عليها من عش الطائر ، والأعواد المستخدمة عبارة عن مادة حيوية مصنوعة من مركبات الألياف الأصطناعية (FRP) التي يتم تنظيمها و يتم تحويل ألياف السليلوز الطبيعية للأغصان إلى ألياف متطورة مثل الألياف الزجاجية و يتم دمج الألياف مع راتنجات الأيبوكسي وبذلك يتشكل مادة مركبة ذات خصائص جديدة .

بأستخدام البيانات المستخرجة من الخوارزميات ، تم تصنيع جميع أعواد القاطوع وذلك بالحفاظ على نفس الأنحراف الإحصائي المستمد من تحليل العش. بدأت الخوارزميات لإنتاج وتركيب هذه الأعواد بفحص وتحليل العش ، لأستخلاص العلاقات بين الأغصان والأبعاد الإحصائية ، ثم فحص البيانات الكمية والبيانات النوعية والسلوك المادي لتحديد العلاقات فيما بينها. ثم دمج مجموعة من هذه الجوانب الثلاثة المختلفة في خوارزمية تكرارية واحدة والتي تم تنفيذها بعد ذلك على خامة القاطوع المخطط لها؛ وحدّدت كثافة الأعواد وتكرارها وفقًا لكثافة الأغصان في العش[30] (شكل18).

شكل 18 :" LifeObjec " ، يحقق شكلًا معقدًا وبنية مرنة بمكونات بسيطة. "

" تم بناء هذا القاطوع ، ليتشابك فيه أكثر من 1500 من الأغصان الأصطناعية" مركبة معا" لتشكل حجمًا مستقرًا للغاية (10 كجم / م ^{3}). يتم تحقيق الأستقرار على المستوى الجزئي للمكون وكذلك على المستوى الكلي للهيكل عن طريق التكيف مع الإجهاد ، من خلال عمليات التنظيم الذاتي. وعلى النقيض من عمليات تصنيع FRP القياسية ، فإن تصنيع وتشكيل العناصر يعتمد على نوعية النسيج للمركب وليس على القوالب. وبالتالى فإن الشكل العام هو نتيجة للتفاعلات المحلية بين العديد من المكونات المتنوعة ومرونتها النسبية ، بدلاً من عمل المواد اللاصقة كما هو الحال في علم الأحياء .

إن التنظيم الذاتي للكائنات الحية والقدرة على التكيف والتباين والتكرار والتصنيع منخفض الطاقة يقدمان نماذج تصميم بديلة للنهج المعتاد ، يضفى الحيوية عليها حيث إنها توفر تغذية راجعة للوجود البشري ، حيث تعمل على تنشيط البنية والحيز الداخلى(شكل19) .

---

[30] https://www.dezeen.com/2019/02/08/cocoon-biofloss-maria-vergopoulou-biopastic-micro-home-movie/?li_source=LI&li_medium=recommended_movies_block

[31] https://technarte.org/en/breathing-architecture-integrating-architecture-and-biology/

شكل 19 : كرسى الكتان – للمصممة كرستيان مندرستما –2016م والتى ترى: " ان المصمم يجب أن ينشئ منتجات يمكن أن تكون جزءًا من نظام قابل لأعادة التدوير ." وقد أستخدمت البلاستيك الحيوى لأبتكارخامة تحاكى خامة الكتان [31] ، أما مقعد الصوف للمصممة ديزين – أسبوع التصميم الهولندي 2016م. والتى تؤكد على : "كل شيء يبدأ بأبحاث حول القيمة المنسية للنباتات والتقنيات " ،فقامت بتدوير ألياف الصنوبر بأستخدام عملية التكسير و التبخير والضغط لتظهر خامة تحاكى الشكل الطبيعى للصوف الطبيعى فى الملمس [32] .

ومن هنا حاول البحث ليؤكد على مقولة ألفين توفلير في كتابه "صدمات المستقبل" : إن الأميين هم الذين لا يستطيعون التخلي عما تعلموه، أو لا يستطيعون إعادة التعلم .لذلك نحن فى حاجة الى أعادة تعريف جديد لعملية التصميم يتناسب وطبيعة الحياة التى يعيشها المتلقى ويشهدها العالم من تكنولوجيا وبرمجيات ، وعلوم تتطور دائما" لخدمة الانسان .

النتائج

1–اعتمدت الثورة التقنية الصناعية الرابعة الحالية على البنية التحتية وتقنيات الثورة الصناعية الثالثة، إلا أن حجم التحول سيكون مختلفاً ، وبذلك فالتصميم الداخلى يمر بمرحلة أنتقالية وقفزة كبيرة نحو عالم تكنولوجى رقمى عالى التقنية مدعما" بالعلوم الفيزيائية والبيولوجية والكيميائية المتطورة التى يتطلب معه مصمما" متميزا" قادر على مواجهة هذه التحديدات .

2–يتطلب التصميم الداخلى الحالى الدعم والمساعدة من تكنولوجيا المعلومات والأتصالات والتى تؤدى إلى وجود تطبيقات مبتكرة تحتاج دائما" إلى الذكاء الأصطناعي وشبكات الأستشعاراللاسلكية والحوسبة ونظم المعلومات ، ووجود خامات جديدة ذات بينية محسنة مبنية من المقياس الميكروسكوبي الذي يمكن حسابه وتحويله إلى عدد لا نهائي من التكوينات البنيوية المختلفة ،وأفكار أكثر استجابة للظروف البيئية والفكرية الحالية وذلك فى ظل ما يشهده من تحولات على كافة الأصعدة. .

3– أهمية أن يضع المصمم رؤية شاملة ومشتركة لأعماله تتناسب وتدور حول تأثير التكنولوجيا على حياة المتلقى وكيفية أن تعيد صياغة بيئاته الداخلية وما تنعكس على حياته الأقتصادية والأجتماعية .

4–للثورة التقنية التى يشهدها العالم حاليا" العديد من التأثيرات فى عملية التصميم كتحسين المنتج، وتخفيض التكاليف والوقت والكفاءة العالية ، وذلك من خلال التقنيات الرقمية التى توفر تغيّر فى البيانات لحدوث تطور مستمر لتلبية أحتياجات التصميم والبيئة المحيطة به مثل البوليمرات والتى تتغير بالتمدد أو الأنكماش تبعا" للمدخلات البيئية أو اصلاح نفسها عند الكسر ، والطباعة رباعية الأبعاد والطباعة السائلة والتى يمكن إعادة تعريف لعملية تصميم ، وهذا يجعل من لايمتلك هذه التقنيات سيواجهه مشاكل مستقبلية.

التوصيات

1–تكثر المخاوف حول عدم أمكانية الدول النامية من الوصول إلى البنية التحتية التى تمكنها من الدخول فى السباق التكنولوجى للثورة التصميمية الجديدة ، لذلك يوصى البحث لوجود المزيد من تضافر لجهود الهيئات والمنظمات والباحثين، لكى يستطيع الانسان السيطرة على الألة وتشكيل ثورة فكرية تصميمية وليست ثورة صناعية رابعة وحسب .

2–يوصى البحث لمزيد من المشاركة المجتمعية وتأسيس مجموعات العمل المجتمعية والتى يجب أن تعمل على نشر الفكر التكنولوجى الجديد الذى يسود العالم مثل التصميم الكلايترونك وما يتبعه من وجود الخامات القابلة للبرمجة واستخدام الخامات

[32] https://www.dezeen.com/2016/11/14/christien-meindertsma-flax-chair-furniture-design-biodegradable-dutch-design-week-2016-awards/

[33] https://www.dezeen.com/2016/11/07/tamara-orjola-forest-wool-pine-needle-furniture-textiles-sustainable-dutch-design-week-2016/

الذكية والتى تهدف جميعها لمزيد من التفاعل مع المتلقى بما تحمله من مزايا بيئية ، وبالتالى يظهر هنا دور كليات الفنون الجميلة الهام فى مشاركتها فى هذا الدور من خلال الندوات والورش الفنية لنشر مزيد من المعرفة فى هذا المجال.

3- كما توصى الباحثة بأهمية وجود نوع جديد من التعلم يقوم على عمل الطلاب على مشاريع واقعية لإيجاد حلول جذرية وحقيقية لبعض مشكلات المجتمع المحلى وربطه بالتكنولوجيا التى تسود العالم لوجود جيل من الخريجين قادرا" أن يتعامل مع هذا التقدم ، حيث يؤكد الخبراء أن قريبا" ستحل الروبوتات محل الإنسان .

4-إذا أردنا تغيير النظام التعليمي المتبع فى كليات الفنون الجميلة لكى يستطيع الطالب مواجهة العالم بتحدياته وتقنياته الحالية والمستقبلية يجب أولا" التركيز على تطوير شخصية الطالب ودفعه للأبتكار ، وذلك بربطه بما يحدث فى العالم من تقدم بيولوجى وفيزيائى وما ترتب عليه من تدخل لتلك العلوم فى عملية التصميم ، فالخيال العلمى أصبح حقائق يعيشها الطالب فى حياته .

5- يوصى البحث لوجود المزيد من الأبحاث والدراسات والتى تتعلق بمحور التطبيقات التكنولوجية والعلوم المستقبلية ضمن مشروعات و دراسات أستراتيجية مصر للعلوم والتكنولوجيا والأبتكار 2030م للتنمية المستدامة لوجود فكر جديد للعملية التصميمية للحيز الداخلى فى مصر.

المراجع

أولا": المراجع الأجنبية

Ara Nerses Knaian. Design of Programmable Matter. Massachusetts Institute of Technology. Department of Architecture. Program in Media Arts and Sciences.2008.

Charissa N. Terranova, Meredith Tromble .The Routledge Companion to Biology in Art and Architecture. Taylor & Francis, ISBN: 1317419510, 9781317419518..

Detorreon Pla . Claytronics: When Atoms Themselves Become Computers. Booktango, ISBN: 1468938916, 9781468938913. 2013.

Gabrielle Kuiper, Bert Smit. Imagineering: Innovation in the Experience Economy. CABI, ISBN: 1780644655, 9781780644653. 2014.

George Hersey. The Monumental Impulse: Architecture's Biological Roots. MIT Press, ISBN: 0262582031, 9780262582032.2001.

George Shultz, Jim Hoagland, James Timbie. Beyond Disruption: Technology's Challenge to Governance. Hoover Press, ISBN: 081792146X, 9780817921460.2018.

J. Storrs Hall. Nanofuture: What's Next for Nanotechnology? Prometheus Books, ISBN: 1591022878, 9781591022879.2005.P.192.

Muhammad Ubair Riaz, Zain Javaid. Programmable Matter. Lap Lambert Academic Publishing GmbH KG. 2012.

Muhammad Ubair Riaz, Zain Javaid. Programmable Matter. Lap Lambert Academic Publishing GmbH KG. 2012

Mohammed Maniruzzaman. 3D and 4D Printing in Biomedical Applications: Process Engineering and Additive Manufacturing. John Wiley & Sons, ISBN: 3527344438, 9783527344437.2019.

Wil Mccarthy. Hacking Matter: Levitating Chairs, Quantum Mirages, And the Infinite Weirdness Of Programmable Atoms. Hachette UK, ISBN: 0786723416, 9780786723416.2008.

ثانيا": المواقع على الشبكة العنكبوتية

https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AA%D8%AE%D9%8A%D9%84_%D8%A7%D9%84%D8%A7%D8%A8%D8%AA%D9%83%D8%A7%D8%B1%D9%8A

https://www.homedit.com/amazing-warmpath-by-michael-harboun

https://twitter.com/autopiamotor/status/638274246377082880

https://michaelharboun.com/livingkitchen.html

http://www.presidentsmedals.com/Entry-33591

https://strate.in/projects/living-kitchen-project-michael-harboun-student-3rd-year-/interaction-design-program

https://dornob.com/living-kitchen-wall-uses-multi-touch-nanotechnology
http://www.studioflorian.com/projekty/252-monika-rafajova-programmable-matter
http://www.studioflorian.com/projekty/252-monika-rafajova-programmable-matter
https://www.wired.com/2014/11/skylar-tibbits
https://www.designboom.com/technology/mit-aerofold-origami-12-19-2016
https://www.sculpteo.com/blog/2017/10/25/4d-printing-a-technology-coming-from-the-future
http://alumni.media.mit.edu/~darav/Self-Evolving/Self-Evolving.html
https://www.sculpteo.com/blog/2017/10/25/4d-printing-a-technology-coming-from-the-future
https://vimeo.com/111595155
https://vimeo.com/279120777?from=outro-embed
http://www.yankodesign.com/2013/09/09/the-great-wall-of-cooking
http://sirasa.com/concept-kitchen-2025-ideo-ikea_dezeen_10_644/
http://korrekt.com/technology/the_heart_of_programmable_matter/the_heart_of_programmable_matter.htm
https://www.dezeen.com/2019/02/08/cocoon-biofloss-maria-vergopoulou-biopastic-micro-home-movie/?li_source=LI&li_medium=recommended_movies_block
https://technarte.org/en/breathing-architecture-integrating-architecture-and-biology/
https://www.dezeen.com/2016/11/14/christien-meindertsma-flax-chair-furniture-design-biodegradable-dutch-design-week-2016-awards/
https://www.dezeen.com/2016/11/07/tamara-orjola-forest-wool-pine-needle-furniture-textiles-sustainable-dutch-design-week-2016/

مراجع تم الرجوع اليها :

Ara Nerses Knaian. Design of Programmable Matter. Massachusetts Institute of Technology. Department of Architecture. Program in Media Arts and Sciences. 2008.
Iosias Jody. Claytronics. Cred Press, SBN: 6136584166, 9786136584164.2012.
Ljupco Kocarev. ICT Innovations 2011, Advances in Intelligent and Soft Computin, N: 150. Springer Science & Business Media, ISBN: 364228664X, 9783642286643.2012.
Robotics series. From Additive Manufacturing to 3D/4D Printing 1: From Concepts to Achievements, book: 1. John Wiley & Sons, ISBN: 1786301199, 9781786301192.2017.
Russell Schwartz. Biological Modeling and Simulation: A Survey of Practical Models, Algorithms, and Numerical Methods,Computational Molecular Biology. MIT Press, ISBN: 0262195844, 9780262195843.2008.
The Imagineers .The Imagineering Way*A Walt Disney Imagineering Book*. Disney Editions, ISBN: 0786856319, 9780786856312.2005.
https://technarte.org/en/breathing-architecture-integrating-architecture-and-biology/
/https://dornob.com/see-through-the-future-10-cutting-edge-glass-concepts
https://www.architectmagazine.com/awards/p-a-awards/award-hirshhorn-museum-and-sculpture-garden-seasonal-expansion_o
http://theconversation.com/explainer-what-is-4d-printing-35696
https://www.slideshare.net/itworks/3-d-printingfredericdemeyer
https://www.pinterest.com/hadarmenashe/3d-print-4d-printing
https://www.smithsonianmag.com/innovation/Objects-That-Change-Shape-On-Their-Own-/180951449
http://mqignitors.blogspot.com/2015/04/4d-printing-whatever-you-like-whatever.html
/https://piek.international/4d-printing-hot-3d-printing-not
https://3dprintingindustry.com/news/concordia-4d-printing-makes-moldless-composites-faster-cheaper-131469
https://www.core77.com/posts/25689/skylar-tibbits-4d-printing-energy-materials-geometry-self-assembly-25689
/http://sirasa.com/concept-kitchen-2025-ideo-ikea_dezeen_10_644