Journal of Al-Azhar University Engineering Sector

Vol. 17, No. 62, January, 2022, 390-405

Classification of Parametric Design Tools

Ayman Shawki[1, 2], Samir Sadek Hosny[2], Hazem El-Daly[1]

(Arch.ayman-shawki@hotmail.com), (ssadek@fue.edu.eg), (hazemeldaly@yahoo.com)

Corresponding Author E-mail: Arch.ayman-shawki@hotmail.com

Received :13 Sept. 2021 Accepted:23 Sept. 2021

ABSTRACT

The technological developments that occurred in the field of architectural design caused the emergence of new design trends and methods, which in turn led to the emergence of new, unconventional ideas that resulted in unconventional design solutions.

This was recently reflected clearly in the parametric design approach, which is characterized as a powerful tool in the field of design in general and architectural design in particular. This paper aims to present various parametric tools in a way that helps the designer to understand and choose the appropriate tool for the design using the parametric approach, and to assist the design objectives considering the integration of multiple groups of elements and properties of the parametric tools.

KEYWORDS: Parametric Design, Parametric Tools.

تصنيف أدوات التصميم البارامتري

أيمن شوقى، سمير صادق حسنى،حازم الدالى

أدت التطورات التكنولوجية التي حدثت في مجال التصميم المعماري إلى ظهور اتجاهات وأساليب تصميم جديدة، والتي بدورها أدت إلى ظهور أفكار جديدة غير تقليدية نتج عنها حلول تصميمة غير تقليدية.

وقد انعكس ذلك مؤخرًا بشكل واضح في ظهور منهج التصميم البارامتري، والذي يتميز بأنه أداة قوية في مجال التصميم بشكل عام والتصميم المعماري بشكل خاص. تهدف هذه الورقة البحثية إلى تقديم بعض الأدوات البارامترية المختلفة وهي طرق تصميم تحدد بمتغيرات ومعادلات رياضية للوصول الى شكل معين في التصميم ويكون المصمم أكثر حرية والنموذج التصميمي أكثر ترابطا بسبب العلاقات التي تربط بين أجزاء التصميم بناءً على الترابط الذي حدده المصمم بين هذه العلاقات، ويستقر على التصميم النهائي من خلال تجاربه لترابط تلك العلاقات ومراقبته لها، وتشرح بطريقة تساعد المصمم على فهم واختيار الأداة المناسبة لحالة التصميم بإستخدام المنهج البارامتري، لتحقيق أهداف التصميم.

الكلمات المفتاحية: التصميم البارامتري، الأدوات البارامترية.

المقدمة:

زادت الأدوات البارامترية في الآونة الأخيرة بشكل بارز في الممارسة المعمارية مع العديد من التأكيد حول إمكاناتها كأداة تساعد على الإبداع في التصميم ودعم وصنع القرار وحل المشكلات. يقدم هذا البحث تحليلاً لعدد من الأدوات البارامترية والتي يمكن أن تساعد بقوة في مراحل التصميم المبكرة. وتؤدي الى بزوغ أفكار غير تقليدية.

يتميز التصميم البارامتري بأنه أداة تصميمية قوية في مجال التصميم المعماري، و كان لأجهزة الحاسوب وبرامج التصميم الرقمية مثل: كاتيا (CATIA) واستخدامه الأولي كان في هياكل الطائرات، راينو- الجراس هوبر – (Rhino Grasshopper) دوراً فاعلاً في التطور الذي طرأ على التصميم المعماري بصفة عامة مما أدى الى تطوير الأفكار الأولية في المراحل الاولى للتصميم و تعدد الإقتراحات المقدمة للتصميم وتعدد الحلول الممكنة لحل المشاكل التي يواجهها المصممون أثناء التصميم بالإضافة الى الدقة في الحلول وسرعة الإنتاج.

ويمكن أن يكون التفكير البارامتري هو الاداة التي ادت الى تغير الطرق التقليدية التي تستخدم لحل مشاكل التصميم التي كانت تكمن في:

- صعوبة تكوين الشكل المعقد أو الأشكال العضوية بسبب حسابات النظام الانشائي المعقدة.
- صعوبة تقسيم الأسطح على الاجسام الدائرية وعمل قوائم تقطيع للأسطح باختلاف الخامات.
- الحسابات البيئية الدقيقة التي تحدد درجات انتشار اشعة الشمس داخل المبنى.
- اهدار كثيرا من الوقت في انتاج مقترحات تترجم الحلول المقترحة للمعالجات البيئية والانشائية أوالجانب التشكيلي، لاختيار أفضل الحلول التصميمية المقترحة.

تحديد العلاقات بين المتغيرات في النموذج البارامتري هو عمل ذهني معقد يتضمن استراتيجيات ومهارات رياضية (Mathematical) محددة، بعضها جديد للمصممين. يوضح البحث بعضًا من هذه الاستراتيجيات ويربطها بما يمتلكه المصممون بالفعل في ذخيرتهم، وتكيفها مع أوضاع التصميم المختلفة. سوف تلعب هذه الاستراتيجيات الجديدة دورا فعالاً في التصميم لرسم المهام المعقدة التي يمكن للمصممين القيام بها بالأدوات الجديدة. بذلك يعتمد المصممون على المراقبة والعمل باستخدام نماذج بارامترية، وليس على تخمين ما قد يحتاجه التصميم من توليد أفكار جديدة أو معالجات. وفيما يلي نقدم بعض الأدوات البارامترية التي يمكن من خلالها خدمة الاتجاهات التصميمية المختلفة:

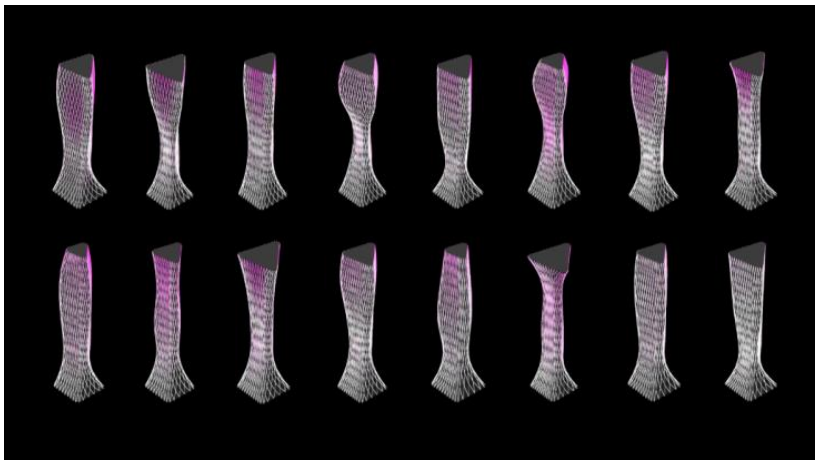
1- الإستمثال **(Optimization)** :

الإستمثال أو التحسين (Optimization) هو مصطلح عام في علم الحاسوب والرياضيات ويعني الوصول للأحسن او الأمثل أو الأفضل. وفي الهندسة المعمارية الاستمثال أو ايجاد أفضل الحلول بشكل مطلق صعب جداً، وغالباً ما يكون غير ممكناً إلا من وجهة نظر معينة، لذلك يجب استخدام خوارزميات معينة. وعموماً فإن الحالة المثلى تكون دائماً نسبة إلى تفاصيل النظام الذي يتم البحث عنه. تم استخدام الإستمثال في الهندسة المعمارية كأداة للبحث عن النموذج الأمثل بدءًا من النموذج في حالة ملائمة تقريبًا للغرض، ويتم إجراء تعديلات عليه، ويتم تقييم النموذج لمعرفة ما إذا كان الأداء الكلي قد اقترب من الهدف. ويتم إجراء التغييرات بشكل متكرر، بحثًا عن تحسن تدريجي في الحالة المؤقتة الجديدة للنموذج. وتقدم الحوسبة الإلكترونية طرقًا آلية عالية السرعة لنشر مجموعات مختلفة من الخوارزميات لإجراء هذا المسار لإنتاج النموذج المطلوب.نقدم فيما يلي بعضاً منها: (Burry, 2010)

1-1 اتجاهات حتمية **(deterministic Patterns)**:

1-1-1 مجال القوة (Force field) :

عند التفكير في ما يؤثر على شكل جسم أو مبنى، من الطبيعي أن نتخيل مجازاً القوى المختلفة أو المتجهات التي تؤثر عليه. تقوم هذه المتجهات بتغيير الاتجاه أو الشكل أو الشدة بشكل إيقاعي بناءً على موقعها في مجال القوة ووجود أو عدم وجود قوى مختلفة تعمل عليها. (Jabi, 2013)



شكل (1): باستخدام برنامج الجراس هوبر لإجراء تحليل النظام الإنشائي الذي يغلف البرج بناءًعلى ما يغيره المصمم من متغيرات في شكل القطاعات الأفقية التي يتكون منها البرج وبالتالي يبحث على أفضل تركيبة ممكنة من المنحنيات التي تتحكم في الشكل التي تبحث عن التوازن الأمثل بين الشكل والهيكل.

المصدر : http://www.iaacblog.com/programs/structural-form-finding-genetic-optimization/ **الولوج للموقع: 2020/5/11**

2-1-1 حركة السرب (Swarming):

تحاول الخوارزمية الحسابية لتحسين جزيئات السرب (Particle Swarm Optimization) محاكاة السلوك الاجتماعي لسرب من الطيور أو الأسماك (تتحرك بحثًا عن الطعام)، يتصرف الفرد في هذه المجموعة وفقًا لذكائه المحدود وكذلك لذكاء المجموعة. يلاحظ كل فرد سلوك الأفراد المجاورة ويعدل سلوكه وفقًا لذلك. إذا اكتشف أحد الأعضاء مسارًا جيدًا للطعام، فإن الأعضاء الآخرين يتبعون هذا المسار بغض النظر عن مكان تواجدهم في السرب **شكل (2) وشكل(3).** (Dufour, J-M, J Neves, 2019)

شكل (3): جناح صممه فريق MSA في جامعة مازاندران في ديسمبر 2017 والذي تم فيه استخدام خوارزمة حركة السرب.

المصدر: https://parametric-architecture.com/pavilion-number-2-msa-team/ **الولوج للموقع: 2020/5/3**

شكل (2): يوضح شكلاً من أشكال سرب الطيور المهاجرة

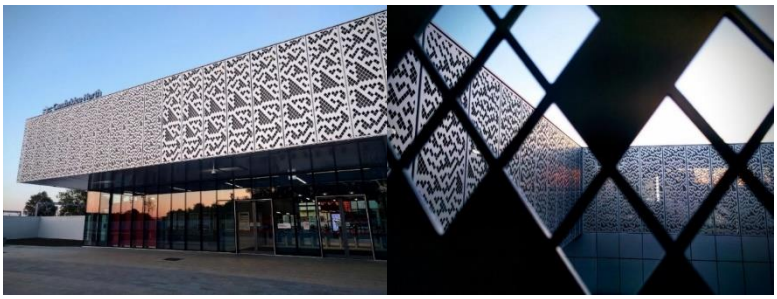
المصدر: https://unanimous.ai/two-new-patents/ **الولوج للموقع: 2020/5/3**

2-1 اتجاهات عشوائية **(Random Patterns)**:

1-2-1 الآلية الخلوية (Cellular Automata):

الآلية الخلوية هي الطريقة الحسابية التي يمكنها محاكاة عملية النمو من خلال وصف نظام معقد من قبل وحدات مفردة بسيطة تتبع قواعد بسيطة.

سبب اتصال هذه الآلية بالهندسة المعمارية هو قدرة الآلية الخلوية على توليد الأنماط، هذه الأنماط المنظمة قد تعطي لنا القدرة على تكوين أشكال معمارية. تختلف الآلية الخلوية التي تظهر على أنها اتجاه حسابي، عن الأساليب المحددة التقليدية في أن النتائج الجارية هي أساس للمجموعة التالية من النتائج. تستمر هذه الطريقة التوليدية حتى تتحقق بعض الحالات، تُنشأ الأنماط الهندسية المتكررة أو الكسوريات (Fractals) وراد الفعل (Reactor) المختلف بطريقة مماثلة. يتم تشغيل العديد من الطرق الرقمية في الهندسة المعمارية بشكل أساسي (Krawczyk R. , 2000)، وتستخدم مجموعة أولية من المتغيرات لإنشاء نتيجة واحدة. إذا كان هناك بديل مطلوب، يجب تعديل المتغيرات ويتم تكرار الجيل من جديد. في الطرق البارامترية يمكن توقع النتائج بسهولة، بينما في الطرق التعاودية (Recursion) لا يمكن أن تكون النتيجة عادية. وهذا يوفر منصة مثيرة وغنية يمكن من خلالها تطوير أنماط معمارية محتملة، **شكل (4)** مثال للتوضيح. (Krawczyk R. J., January 2003)



شكل (4) عندما نظر ولفرام إلى مبنى كامبريدج نورث، أدركه كنمطه المفضل دائماً "القاعدة 30" تشتهر القاعدة 30 بإنتاج نتائج عشوائية فوضوية، والتي يمكن رؤيتها في العشرات من التكرارات الأولى فقط، إذا نظرنا بعناية إلى الجهة اليمنى لنمط القاعدة 30 ، من الواضح أنه يتكرر. وتتزايد فترة التكرار بشكل كبير مع قرب النمط من الحافة اليسرى.

المصدر : https://boingboing.net/2018/01/04/a-train-station-with-walls-des.html - **بتاريخ: 2020/6/14**

2 التكرار **(Repetition) :**

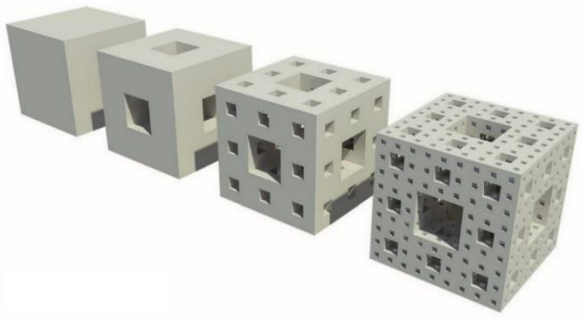
يمكن اعتبار التكرار بمثابة فعل بسيط لنسخ عنصر ما عدة مرات. في الأنظمة البارامترية، يمكن أن تصبح أداة التكرار أكثر إثارة للاهتمام، لأن العنصر المتكرر يمكن أن يتغير مع الحفاظ على الهيكل الأساسي له دون الحاجة إلى أن يكون مطابقًا تمامًا له. باستخدام نظام قائم على القواعد، يمكن للمصمم تغيير العنصر المكرر وفقًا لأي عدد من المتغيرات (مثل المسافة والوقت والموقع وما إلى ذلك). من الناحية الرياضية، يمكن أن يكون التكرار البسيط في شكل 2 ، 2 ، 2 ، 2 ، 2 كمقدار حركة **شكل (5).**

تستخدم سلسلة فيبوناتشي، والتي تنص على أنه، بالنظر إلى أول رقمين 0 و 1 ، فإن أي رقم لاحق هو مجموع الرقمين السابقين (0 ، 1 ، 1 ، 2 ، 3 ، 5 ، 8 ، 13 ، 21 ...) ، بهذه الطريقة فإن التكرار يمكن أن يصبح أكثر إثارة للاهتمام وربما أكثر فائدة من منظور التصميم ويساعد على انتاج تفرعات أخرى لآلية التكرار . (Woodbury, 2010)

المصدر: https://www.archdaily.com/84165/passive-house-karawitz-architecture - **الولوج للموقع: 2020/5/3**
شكل (5) يوضح تكرار عيدان نبات البامبو على واجهة منزل من تصميم كارويتز Karawitz Architecture

3 التعاودية **(Recursion):**

تعمل هذه الاداة عن طريق تكرار الفكرة بشكل متكرر مع دمج التسلسل الهرمي في التصميم بين جميع أجزائه. هذه الأجزاء تنسخ وتحول الكل. يؤدى هذا بشكل طبيعي إلى طبقات من المعلومات ذات التركيب الهرمي، حيث تشتق خصائص كل طبقة من الطبقة الأعلى منها على الفور. الخوارزميات التعاودية **(Recursion)** هي الممثل الطبيعي لمثل هذه الهياكل الهرمية، و يتم استخدام هذه الأداة عندما يحتاج المصمم العمل بالتسلسل الهرمي في التصميم **شكل (6)**.



شكل (6) ثلاث تكرارات تعاودية لبناء اسفنجة منجر *Menger sponge*

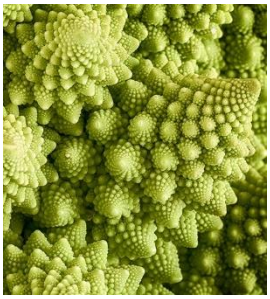
المصدر: (Jabi, Parametric Design for Architecture, 2013)

تستخدم الأداة التعاودية قاعدة نسخ توليدية لاستنساخ الفكرة. ثم تستدعي نفسها عند كل استنساخ، بنفس قاعدة النسخ المتماثل. لذا، في كل خطوة، تأخذ الأداة التعاودية فكرة موجودة وتكررها وتطبقها على نفسها. تتطلب كل وظيفة تعاودية شرط إنهاء لتحديد متى يتم إيقاف هذه العملية و يمكن أن يكون هذا الشرط في شكل اختبار حجم النمط المراد إنشاؤه (أي تحديد الحد الأدنى للحجم)، أو العدد الإجمالي للعناصر المولدة أو مستوى التعاودية الذي حدث حتى الآن (بمعنى تحديد الحد الأقصى لعدد التكرارات التعاودية). (Woodbury, 2010)

4 النمط الهندسي المتكرر/ الكسوريات **(Fractals) :**

النمط الهندسي المتكرر (Fractals) هي مثال كلاسيكي آخر على التعاودية. يعتمد انتشار هذا النوع من النمط على نفس الإجراء الذي يتم القيام به على نمط التفرع (branching).

على سبيل المثال، إذا كان النمط يتطلب إنشاء مربع ثانٍ يكون طول ضلعه نصف مساحة طول ضلع المربع الأصلي، فعند التكرار التالي، سيكون المربع الذي تم إنشاؤه حديثًا هو ربع حجم المربع الأساسي. في الطبيعة عادة ما يكون النمط التعاودي محرف ومحدود بالبيئة التي يحدث فيها وعندما يتكرر النمط، فإنه يأخذ في الاعتبار بشكل أساسي ظروف النمط الأم بالإضافة إلى قوى الطبيعة التي تعمل عليه، كما هو موضح في نبات براسيكا رومانيسكو (Brassica Romanesco) شكل (7)، وكما هو موضح بالمعبد الهندوسي بشكل (8) (Jabi, 2013)



شكل (7): نبات براسيكا رومانيسكو (Brassica Romanesco)
الوصول بتاريخ: 2020/5/5

المصدر : https://www.architecturaldigest.in/content/8-temples-india-architecture-lessons-design-tungnath-

شكل (8): المعبد الهندوسي كنموذج لعلم الكونيات الكسورية، بالهند

المفهوم الرئيسي الآخر في الهندسة الكسورية هو التشابه الذاتي، والتي تم تمثيلها في الواجهة الكسورية لمشروع ساحة الاتحاد في ملبورن باستراليا من خلال نظام مثلث التماثل المتشابه (self-similar) **شكل(9)**. هناك طريقتان رئيسيتان لتوليد بنية كسورية: نموها بشكل متكرر من بنية واحدة، أو بناء أقسام في الوحدات الأصغر على التوالي من الشكل الابتدائي المقسم كما في قاعدة سيربينسكي والتي سيرد ذكرها فيما بعد. (Burry, 2010)

شكل (9) ساحة الاتحاد Federation square في أستراليا من تصميم LAB-architecture-studio, 2014

المصدر: https://www.broadsheet.com.au/melbourne/city-file/article/federation-square-has-been-added-victorian-heritage-register
الولوج للموقع: 2021/5/6

5 السلسلة والتسلسل (**Series and Sequences**):

في علم الرياضيات، السلسلة هي مجموع كل الإجراءات في تسلسل لا نهائي. التسلسل الرياضي هو قائمة مرتبة من الأشياء (أو الأحداث) والتي قد تكون لانهائية. الترتيب الذي تظهر به الإجراءات مهم، وقد يظهر الإجراء نفسه عدة مرات في الترتيب.

تسلسل الفيبوناتشي (Fibonacci) (0،1،1،2،3،5،8،13،21،34،55،89 .....) **شكل (10)** هو مثال معروف للتسلسل الرياضي، حيث يكون كل إجراء هو مجموع الإجراءين السابقين. يمكن تفسيره شكليا، ويوجد بشكل شائع مؤثرًا على الهندسة المعمارية، خاصة في علاقته بالنسبة الذهبية **شكل (11)** (Burry, 2010)

شكل (10) تسلسل فيبوناتشي .

المصدر: http://vidaday.onlearning.us/?p=191
الولوج للموقع: 2020/5/5

شكل (11) يلعب تسلسل فيبوناتشي دورًا هاماً في الشكل الذي يبدو عليه الدرج الحلزوني الذي هو من أبرز المعالم على متن يخت كوزموس.

المصدر: https://www.boatinternational.com/yachts/news/project-cosmos-heesen-flagship--36337 **الولوج للموقع: 2021/7/23**

6 سيربينسكي (**Sierpinski**):

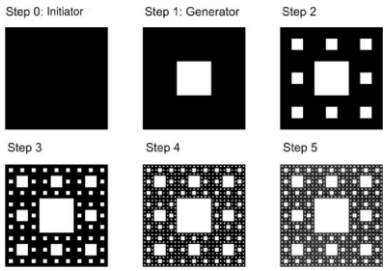
مسطح **سيربينسكي (Sierpinski)** هو كسورية (**Fractals**) مستوية، وهي شكل تعاودي ومماثل.اكتشفه Wadaw Sierpinski في عام 1916. ويبدأ بنائه بمربع. من الناحية النظرية، يتم قطع المربع إلى تسعة مساحات فرعية متطابقة في شبكة 3 × 3 ، ويتم إزالة المربع الفرعي المركزي. ثم ينطبق الإجراء نفسه بشكل متكرر على الأقسام الفرعية الثمانية المتبقية كما في **شكل (13)** ويمكن تطبيق القاعدة على أشكال أخرى غير المربع كم في **شكل(13).**

في كل مستوى تكراري، يتكون المسطح من شكل: مربع بحجم 3/1 حجم المسطح عند هذا المستوى ويوضع كمركز للمسطح. ثم يتولد لدى الدالة ثمانية مسطحات إضافية مرتبة حول المربع الأساسي. و تعكس كل من الوظيفة التعاودية وبنية البيانات هذا الترتيب.

عدد المرات التي تطلق فيها الدالة التعاودية نفسها على مستوى واحد تسمى التفرع. الخطوة صفر من المسطح صفر له زخرف واحد، المسطح من المستوى 2 له تسعة زخارف. الرقم ينمو بسرعة كبيرة. فبالتالي مسطح من المستوى 6 له: 1 + 8 + 64 + 512 + 4096 + 32768 + 262144 = 299593 عنصر زخرفي، في النهاية للمصمم الحرية في الوصول الى أي مستوى من مستويات هذه الآلية للحد من عمق التعاودية عند مواجهة عوامل التفرع العالية. (Woodbury, 2010)

شكل (12) واجهة المتحف المصري الكبير طبقت القاعدة على شكل المثلث

المصدر:-https://magazin.mannesmann-linepipe.com/en/04/2016/projects/grand-egyptian-museum-kairo
الولوج للموقع: 2021/5/2



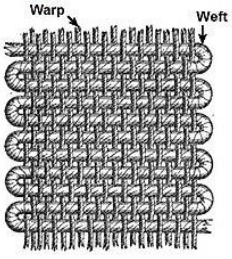
شكل (13): في كل مستوى تعاودي "يقطع" مسطح سيربينسكي 9/1 من المربع المتبقي وتطبق الخوارزمية نفسها على البقية

المصدر: https://www.researchgate.net/figure/Sierpinski-carpet_fig15_254559207 **الولوج للموقع: 2020/5/4**

7 النسيج **(Weaving)**:

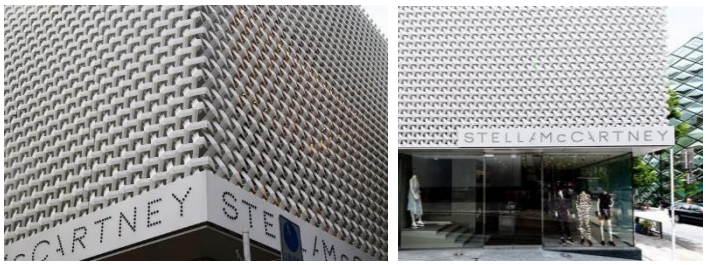
يتكون **النسيج** من تشابك خيطين بزاوية قائمة لبعضهما البعض. الخيوط العرضية لا تتموج وتسمى "اللُحمة" "Weft" بينما الخيوط الطولية تشابك اللحمة وتسمى "السداة" "Warp" **شكل (14).** لا تزال هذه الطريقة هي الطريقة الأساسية لإعطاء القوة السطحية الهيكل النسيجي.

النسيج الرقمي البارامتري مثال ممتاز، لا يتم إنشاء النموذج بشكل حدسي، بل ينتج عن فهم ذكي وترميز لعملية إنشائه. ومع ذلك، فإن إنشاء آلية النسج رقميًا يمثل تحديًا، حيث يجب أن يستوفي العديد من الشروط. أولاً، يجب أن يكون النسيج قادرًا على احتواء أي سطح منحني أو متموج وليس فقط المستويات المسطحة البسيطة. ثانيًا، تحتاج خيوط النسج إلى الحفاظ على استمراريتها على طول السطح. وعلى عكس التغطية/التبليط (Tiling) والتقسيم (Subdivision) والتي سيأتي شرحها فيما بعد، لا يمكن للنسيج في حالة الإلتواء تقسيم السطح إلى وحدات قابلة للتكرار ومتشابهة. يجب الأخذ بعين الإعتبار ظروف الدوران والإنحناءات ووضع السطح من أجل ربط السطح بالكامل بإستمراره بطريقة سلسة. لإضافة المزيد من التعقيد، يعكس الالتواء اتجاهه مع كل صف. ثالثاً، لا يمكن أن تتقاطع خيوط الحياكة، وهو الوضع الذي يحدث بسهولة في عالم النمذجة ثلاثية الأبعاد **شكل (15)**. (Jabi, 2013)



شكل (14): مكونات النسيج.

المصدر: - https://en.wikipedia.org/wiki/Weaving https://www.technicaltextile.net/articles/smart-textile-2592 **الولوج للموقع: 2020/5/10**



شكل (15): واجهة لمبنى Stella McCartney بطوكيو عبارة عن شبكة خارجية للمبنى توضح فكرة النسيج.

المصدر : https://www.architecturaldigest.com/gallery/tokyo-best-designed-stores **الولوج للموقع: 2020/5/10**

8 انتشار التفاعل (Reaction Diffusion) :

انتشار التفاعل هو عملية تنطوي على نوع من التفاعل بين مكوناتها أو مزيج منها، في حين أنها تتحرك من خلال الانتشار العشوائي. قد تولد هذه الأنظمة مجموعة متنوعة من الأنماط مثل الموجات المتحركة أو البقع الثابتة.

كان التفسير الوحيد لشرح لماذا الحيوانات لديها هذه العلامات هو التمويه **شكل (16)** وبصورة أخرى لشرح كيف يحدث ذلك مع نمو المخلوق. التفسير المقبول الآن على نطاق واسع هو أن هذه الأنماط يتم إنتاجها في عملية التنظيم الذاتي (self-similarity) التي تعمل أيضًا في أنواع مختلفة جدًا من الظواهر الطبيعية. إنها تشبه المقارنات في الطريقة التي تتكون بها تموجات الرمال أو ترتب الحيوانات أعشاشها في المستعمرات. وبعبارة أخرى، فإن الوصف في النهاية وصف رياضي لا يعتمد على التفاصيل البيولوجية حتى لو تم تكييفه وضبطه عن طريق الإنتقاء الطبيعي شكل(17). (Ball, 2016)

شكل (16): أنماط مختلفة لجلود الحيوانات في الطبيعة، وتتبع آلية انتشار التفاعل

المصدر : https://www.gorananastasovski.com/Photography/Animals- https://www.deviantart.com/azany/art/Sumatrian-tiger-367368708 2/i-W3McdML/A ، **الولوج للموقع: 2020/6/2**

شكل (17) يمكن استخلاص آلية انتشار التفاعل في تصميمات بعض مشاريع المعمارية زها حديد.
Major leisure and entertainment venue in Sharjah

المصدر : http://www.designmag.cz/architektura/77689-zaha-hadid-architects-stavi-oddechovy-aljada-central-hub-s-tvarem-kapek-vody.html
الولوج للموقع: 2020/6/2

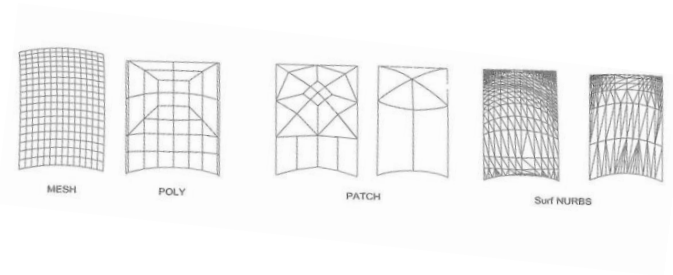
9 التقسيم (Subdivision) :

في كثير من الحالات، يحتاج المصممون الذين يتعاملون مع الأسطح والأشكال الملساء إلى تقسيمها من أجل فصلها إلى مكونات مستوية يمكن تصنيعها رقميًا على آلات CNC أو قواطع الليزر.

إنها عملية فصل سطح متواصل إلى مكونات أصغر من خلال تتبع الخطوط أو تسجيلها أو قطعها عبر السطح. يمكن لمعظم برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد الحديثة تقديم أسطح ناعمة والسماح بتقسيمها وتقريبها التلقائي.

ومع ذلك، بدون قوة البرمجة النصية، لن يكون لدى المصمم سيطرة تذكر على طريقة التقسيم الفرعي وسيكون عليه قبول ما يقدمه البرنامج. على سبيل المثال، يمكن أن يؤدي تحويل سطح NURBS في 3Ds Max بإستخدام إحدى تقنيات تقريب السطح القياسية إلى العديد من التقسيمات الطوبولوجية المثيرة للاهتمام، ولكن يمكن أيضًا إنشاء تقسيمات غير مرغوب فيها **شكل (18)، شكل (19).**

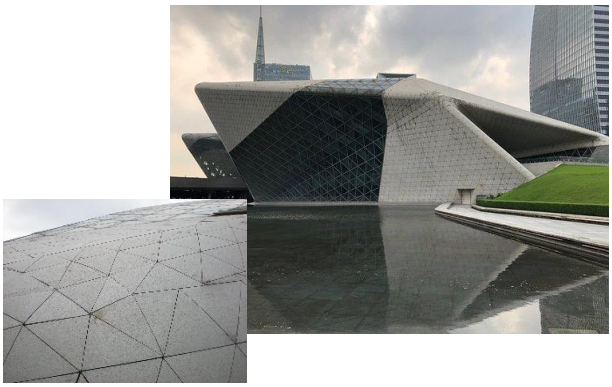
إذا كان التحكم الدقيق في التقسيم الطوبولوجي مطلوبًا، وعلى وجه الخصوص، إذا كان الحل المطلوب هو الحل الذي لا يمكن تحقيقه بسهولة من خلال معالج ة واجهة المستخدم لبيئة النمذجة، فيجب كتابة برنامج نصي مخصص كما تم عمله في مبنى المرطز الثقافي من أعمال زاها حديد **شكل (20)**. (Jabi, 2013)



شكل (18): طرق مختلفة لتقسيم السطح.

المصدر: https://www.researchgate.net/figure/Different-methods-of-surface-modeling-mesh-Poly-Patch-NURBS_fig22_228793186

الولوج للموقع: 2020/5/7



شكل (19): تقسيم السطح الخارجي لدار أوبرا قوانغتشو Guangzhou Opera House.

المصدر: https://www.researchgate.net/figure/Different-methods-of-surface-modeling-mesh-Poly-Patch-NURBS_fig22_228793186

الولوج للموقع: 2020/5/7

شكل (20): آلية التقسيم للأسطح من الآليات البارامترية القوية التي ساعدت على سهولة تنفيذ الخطوط المنحنية بشكل دقيق جداً في مبنى حيدر حليف الثقافي من أعمال المعمارية زها حديد.

المصدر: https://www.azernews.az/travel/129613.html https://homesthetics.net/azerbaijan-cultural-centre-by-zaha-hadid/notorious-fluid-design-the-azerbaijan-cultural-centre-by-zaha-hadid-architects-homesthetics-2/ **- الولوج للموقع: 2020/5/7**

10 التعبئة (Packing):

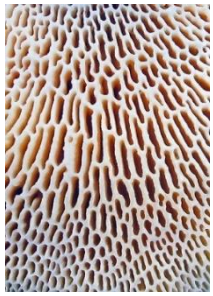
ترتبط فكرة **التعبئة (Packing)** ارتباطًا وثيقًا بإثنين من الاعتبارات العامة الأخرى وهما : ملء الفراغ والتناظر.

يتعلق ملء الفراغ بتقسيم المساحة بطرق لا تترك سوى أقل قدر ممكن من الفراغات، أو لا شيء على الإطلاق، حتى لو استمرت هذه التقسيمات إلى ما لا نهاية. يأخذ التناظر معناه الأكثر شمولاً بدلاً من أكثر مظاهره شيوعًا في الهندسة الإقليدية (المرآة، التناظر الدوراني والتقليدي). عندما لا تكون هناك أهمية للحجم، وعندما تتكرر نفس الأجزاء، يتم العثور على نفس الشكل في العديد من المقاييس، وهناك أنماط أساسية تشهد على الروابط الأعمق بين الأشياء. كما هو الحال في كثير من الأحيان. تحدث **التعبئة (Packing)** في الطبيعة بمقاييس مختلفة وتؤدي القوة الطبيعية للنمو داخل مساحة مقيدة إلى مفهوم التعبئة، في كل من **شكل (21)** ويمكن النظر إلى التجويف والتآكل على أنها عكس التعبئة - يمكن أن نعتبر ونفكر في التجاويف الفارغة كمواد معبأة، كما في نبات الفطر **شكل (22)**. وفي مرجان البحر **شكل (23).**

المصدر: https://www.pinterest.com/pin/126804545738427080/

الولوج للموقع: 2020/5/8

شكل (21): السطح الخارجي لجلد الزرافة.



المصدر : *https://www.pinterest.com/pin/744502000604799 89/*

الولوج للموقع: 2020/5/8

شكل (22): صورة قريبة لنبات الفطر.

المصدر: https://www.pinterest.co.uk/pin/153122456054125569/

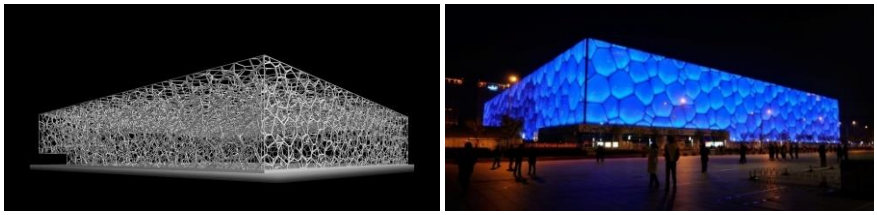
الولوج للموقع: 2020/5/8

شكل (23): شكل مرجان البحر.

يبحث علم الرياضيات عن الحقائق المخفية، بينما تطبق الهندسة المعمارية هذا العلم وتستغل هذه الحقائق وتستثمرها بشكل فعال. إن اهتمام الرياضيات بالتعبئة لا علاقة له بالتعبئة غير المتجانسة للأشياء المتباينة، أو حتى مع الفراغات في المساقط الأفقية والقطاعات، ولكن الدافع مكون من اتجاهين هما: القدرة على تحديد عدد الأشياء المماثلة في مجموعة من نفس العناصر المتشابهة، وتطوير فهم أفضل لهيكل المواد على المستوى الجزيئي والذري.

غالبًا ما تكون التعبئة عملية انتهازية. أي أن المكونات في نظام التعبئة تبحث عن مساحة فارغة لشغلها، وتحكم عملية من يأتي أولاً يخدم أولاً نمط النمو. وبالتالي، لا تكون نتائج التعبئة دائمًا مغطاه أو محسنة بشكل كامل.

تختلف خوارزميات التعبئة أيضًا في كفاءتها لأنها تحتوي على مقايضات بين عدد العناصر المراد حزمها والوقت اللازم لإنشاء حل. ويجب على المهندسين المعماريين أيضًا إيجاد طرق لتقسيم المساحة التي لا تترك أي مساحة داخل الحدود غير المستخدمة. تختلف المحددات، وتتعلق بالتكرار الدقيق للشكل أو الحجم داخل الخلايا الفردية. قد تكون الخلايا نفسها صالحة لتكوين المبنى، كما هو الحال في الاطار الانشائي فخلايا الفراغات الذي يسمح بخدمة المساحات الكبيرة المغلقة، والتي تكون غير مزودة بالدعم الهيكلي، مثل تلك الموجودة في مبنى مكعب الماء لأولمبياد بكين 2008 **شكل (24)** . (Burry, 2010)



شكل (24): مبنى مكعب الماء لأولمبياد بكين 2008

المصدر: https://www.ptw.com.au/ptw_project/watercube-national-swimming-centre/

الولوج للموقع: 2020/5/8 - https://www.flickr.com/photos/8996989@N02/8143294869/

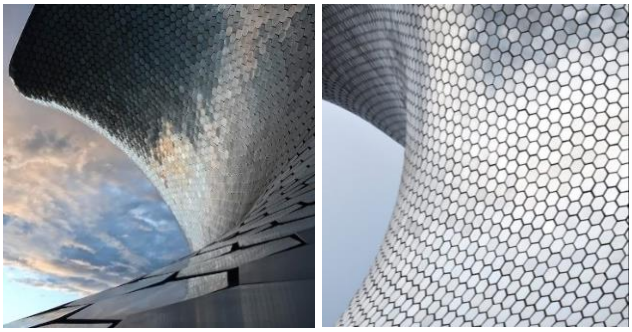
11 التغطية/التبليط **(Tiling) :**

التغطية/التبليط (Tiling) هو تقليد معماري، حيث يتم استخدام الأشكال لتغطية سطح الأجزاء الداخلية المبنية والواجهات الخارجية بالسيراميك والجص والطوب والحجر والأخشاب، وتكرار الوحدات العادية ومجموعات الأشكال، أو الشرائح غير المنتظمة في المساحات المعمارية. (Burry, 2010)

في الرياضيات، يتم تعريف **التغطية/التبليط (Tiling)** على أنه ترتيب الأشكال المستوية المتطابقة لتغطية منطقة معينة تمامًا دون تداخل **شكل (25).** وبالتالي، يمكن للمصمم أن يفكر في التبليط باعتباره امتدادًا طبيعيًا لمفهوم التكرار، ولكن

ثنائي الأبعاد. في كثير من الأحيان، يعتمد نمط التبليط على شبكة أساسية من الصفوف والأعمدة. يمكننا استخدام هذه الدورات لإنشاء التكرار.

من أجل إنشاء نمط **التغطية/التبليط** (Tiling)، يمكن الاستفادة من عدة دورات متداخلة لتكرار نص برمجي ينشئ وحدة التبليط الواحدة على العدد المطلوب من الصفوف ولكن ذلك أيضًا، داخل كل تكرار إنشاء صف، يكرر وحدة التبليط على العدد المطلوب من الأعمدة. سيؤدي هذا إلى مستوى ثنائي الأبعاد من وحدات التبليط. بشكل جزئي، يمكن تغيير أي جانب من جوانب التكرار والوحدة أثناء تكرارها مثل : حجم الوحدة الفردي، وعدد الصفوف والأعمدة، والتباعد بين الوحدات **شكل (26)**. (Jabi, 2013)



شكل (25): واجهة متحف Museo Soumaya في المكسيك من أعمال المصمم Fernando Romero

المصدر: https://cfileonline.org/architecture-tile-museo-soumayas-facade-may-be-its-best-feature-contemporary-/ceramics-cfile **- الولوج للموقع: 2020/5/9**

شكل (26): واجهة أبراج البحر في أبوظبي

المصدر: https://www.livinspaces.net/ls-tv/discussing-the-design-an-indepth-look-at-the-design-of-the-al-bahar-towers-in-abu-/dhabi-by-aedas-architects

الولوج للموقع: 2021/4/16

1-11 التغطية بالمضلعات **(Tessellation) :**

عندما يتكرر الشكل الهندسي مرارًا وتكرارًا، ويغطي سطحًا من الوحدات بدون أي فجوات أو تداخلات، فإنه يؤدي إلى التغطية بالمضلعات **(Tessellation)**، وهو نمط ذو تأثير بصري متميز. على الرغم من أنها مستمدة من مجموعة واضحة من القواعد القائمة على الأشكال الهندسية الرياضية والحسابات، وهي في الحقيقة قد تعطي الانطباع بأنه لا يوجد مساحة للإبداع، إلا أنه تم قبول هذا النوع من التغطية أو الكسوة بالمضلعات على نطاق واسع في عدد كبير من الثقافات، ويتم توظيفها في العديد من المجالات من الحياة مثل التصميم والفن **شكل (27).**

يسمى أحد أشكال التبليط في التغطية بالمضلعات بالنموذج الأولي. من حيث عدد النماذج الأولية المستخدمة، ويُسمى **التبليط (Tiling)** الذي يحتوي على نموذج أولي واحد فقط بالتبليط الأحادي. يتكون هذا النوع من التبليط من شكل واحد، مما يعني أن جميع البلاطات المستخدمة متطابقة مع بعضها البعض. يمكن أن يكون التبليط أيضًا ثنائي السطوح. في هذه الحالة، تنسجم كل بلاطة مع الأخرى لتكوين نموذجين متميزين، مما يعني أن التبليط يتكون من شكلين مختلفين. وبالمثل، هناك تبليط ثلاثي السطوح أو رباعي السطوح أو متعدد السطوح n.

شكل (27): الأنماط الإسلامية والفسيفساء في مدخل ايوان مسجد الإمام أصفهان بإيران.

المصدر: https://www.amazon.com/Laminated-Islamic-Patterns-Entrance-Poster/dp/B07K83D2D7 **الولوج للموقع: 2020/5/9**

التصنيف الأساسي من أنماط التغطية بالمضلعات (Tessellation patterns) :

استنادًا إلى أنواع الوحدات، يتم تصنيف التغطية بالمضلعات **(tessellation)** على أنها مضلعات منتظمة و مضلعات شبه منتظمة و مضلعات غير منتظمة.

المضلعات المنتظمة قطعها متناظرة للغاية و تتكون من مضلعات منتظمة كلها من نفس الشكل وكلها تلتقي في قمة الرأس. المضلع المنتظم هو (الشكل الذي تتساوى فيه جميع الجوانب والزوايا). يوجد أشكال مختلفة للمضلعات المنتظمة وهي مصنوعة من شبكة مثلثات ومربعات وسداسيات متساوية الأضلاع. يشكل مجموع زوايا المضلعات في التغطية بالمضلعات العادية 360 درجة حول كل نقطة تلاقي **شكل (28)**.

تتكون التغطية **بالمضلعات شبه المنتظمة** من نوعين أو أكثر من المضلعات العادية. يتم ترتيب هذه المضلعات المنتظمة بطريقة تتطابق فيها كل نقطة تلاقي، مما يعني أن كل نقطة تلاقي محاطة بنفس المضلعات مرتبة بنفس الترتيب الدوري. هناك ثمانية مضلعات شبه منتظمة تشمل مجموعات مختلفة من المثلثات، المربعات، السداسيات، المثمنات وذات الإثني عشر ضلعاً **شكل (29).**

التغطية **بالمضلعات غير المنتظمة** هي تلك التي لا توجد فيها قيود فيما يتعلق بالأشكال المستخدمة أو ترتيبها حول نقطة التلاقي. يعتقد أن هناك عدد لا نهائي من المضلعات غير النظامية **شكل (30).**

شكل (28): مثال على التغطية المنتظمة.

المصدر:

https://www.archdaily.com/892991/tri-tessellate-akda?ad_medium=gallery#

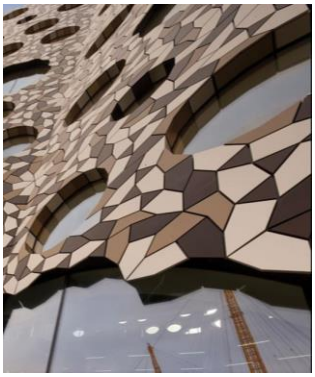
الولوج للموقع: 2020/5/10

شكل (29): مثال على التغطية شبه المنتظمة.
مبنى مكتب Tri-Tessellate في نويدا، الهند صممه مكتب أميت خانا.

المصدر:

https://www.behance.net/gallery/62082093/Blue-Hexagon-Tiles

الولوج للموقع: 2020/5/10



شكل (30): **مثال على التغطية غير المنتظمة. كلية التصميم والاتصالات في شمال Greenwich**

المصدر:

https://www.building.co.uk/buildings/seeless-acts-of-beauty/5005822.article ns

الولوج للموقع: 2020/5/10

2-11 فورونوي (Voronoi):

في أبسط صورة، يُعد مخطط **الفورونوي (Voronoi)** هو تقسيم المساحة إلى خلايا متجاورة. ترتبط الخلايا بمجموعة من النقاط (مواقع Voronoi) في تلك المساحة. تحتوي كل نقطة على خلية مرتبطة تتكون من جميع النقط الأقرب. يُعرف مخطط Voronoi، الذي سمي بإسم عالم الرياضيات (1868 -1908) Georgy Voronoi، أيضا عرف بإسم فسيفساء Dirichlet بعد Lejeune Dirichlet (1805-1859)، الذي استخدم مخططات Voronoi ثنائية وثلاثية الأبعاد في دراسته للمعادلات الرباعية. تحتوي مخططات Voronoi على العديد من التطبيقات: المحاكاه في العلوم المكانية **وشكل(31)**.

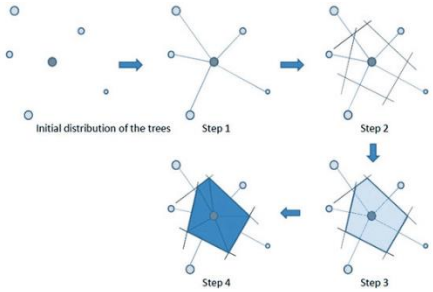
(Burry, 2010)

تتضمن كل تجربة من هذه التجارب إنشاء نمط من ال Voronoi من مجموعة نقاط. ينتج عنها أنماط خلوية حيث تحتوي كل خلية على كل المساحة الأقرب إلى نقطتها من أي نقطة أخرى. إنها تشكل مجموعة من الأشكال التي يمكن أن تبدو مثل المربعات، أو خلايا النحل، أو البلورات، أو الصخور **شكل (32)** . (Lasch, 2006)

شكل (31): أنماط مختلفة من الطبيعة لمخطط ال Voronoi

المصدر: https://blogs.scientificamerican.com/observations/voronoi-tessellations-and-scutoids-are-everywhere/
https://spring-of-mathematics.tumblr.com/post/85519358219/the-beauty-of-voronoi-diagram-in-nature-how

الولوج للموقع: 2020/5/24



شكل (31): خطوات مخطط الفورونوي Voronoi

المصدر: https://www.researchgate.net/figure/Steps-involved-to-construct-a-Voronoi-diagram-and-its-subdivisions-around-a-selected-tree_fig4_304370883 - **الولوج للموقع: 2020/5/10**

شكل (32): في المقر الرئيسي لشركة Alibaba في هانغتشو في الصين، قام المهندس المعماري بتجسيد نمط مخطط Voronoi لتظليل الواجهات والفناء

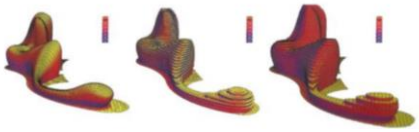
المصدر:
https://tomaszjaniak.files.wordpress.com/2011/04/15154_2_0_2_alibaba_peterbennetts_1000.jpg - **الولوج للموقع: 2020/7/23**

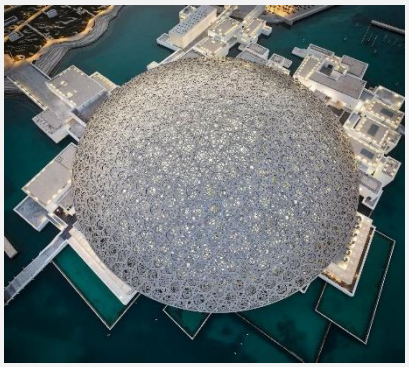
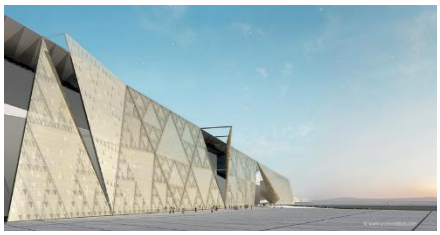
النتائج:

استعرضت الورقة البحثية مجموعة من آليات التصميم البارامتري التي يمكن أن تساعد المصمم المعماري في التحكم في العملية التصميمية وتحقيق أهدافها، والوصول الى أفضل نتيجة وأداء للتصميم. ولقد تم شرح المفاهيم الخاصة بهذه الآليات وكيفية العمل بها مع عرض بعض التطبيقات لها.

سهلت هذه الآليات على المصممين المعماريين الوصول الى أفكار غير تقليدية بسهولة وسرعة، وعملت على ايجاد نتائج تصميمية مختلفة ومنتج تصميمي فريد عن التصميمات والأفكار التقليدية، من خلال مميزاتها في انتاج مقترحات عدة للمنتج التصميمي وايجاد الحلول المختلفة للمشاكل التصميمة،واختيار أفضل الحلول.

من السهل تخصيص هذه المجموعة من الآليات المختلفة لخدمة جوانب التصميم المعماري المختلفة، وهذا يدل على مرونة تلك الآليات في تعزيز التصميم في كل الجوانب والوصول الى المنتج المعماري الفريد والمميز والأفضل في أدائه للمستخدمين، وفيما يلي جدول يشمل على الآليات التي تم ذكرها في الورقة البحثية مع أمثلة معمارية لها:

الآليات المشاركة في تصميم المثال	وصف المثال	صورة المثال
الاستمثال التكرار التعبئة	**مبنى Smithsonian American Art Museum حالياً، والمظلة الزجاجية أعلى المبنى والمصممة من قبل المهندس نورمان فوستر، واشنطن، أمريكا.** **تمت دعوة SMG للانضمام إلى فريق التصميم في وقت مبكر من مرحلة المسابقة لإنشاء نموذج بارامترى للمظلة ومنحنياتها الملتوية، من خلال انشاء برنامجًا حاسوبيًا لرسم الأشكال الهيكلية الملتوية، و آخر لإنشاء ألواح الزجاج، ومن ثم تحليل الألواح لحساب انحناء اللوحة ومساحتها ودرجة ميلانها.**	
التكرار	**التنمية المقترحة لشاطئ الراحة في أبوظبي، مشهد عبر المياه من الجنوب الغربي.** **تأثير التغيرات البيئية على النموذج وذلك باستخدام آلية حركة السرب (Swarming)**	
الآلية الخلوية	**مبنى كامبريدج نورث لمحطة قطار بجدران مصممة باستخدام نظام التشغيل الآلي الخلوي "القاعدة 30" من القواعد ال 256 التي أنشأها عالم الرياضيات Wolfram**	
التكرار التعبئة	**أبراج البحر في أبوظبي تتكون "المشربية" في أبراج البحر من سلسلة من المكونات الشفافة المكررة التشكيل التي تشبه المظلة التي تفتح وتغلق استجابة لمسار الشمس. يتكون كل برج من أكثر من 1000 جهاز تظليل فردي يتم التحكم فيه عبر نظام إدارة المبنى، مما يخلق واجهة قوية.**	
التعاودية	**يلعب تسلسل فيبوناتشي دورًا هاماً في الشكل الذي يبدو عليه الدرج الحلزوني الذي هو من أبرز المعالم على متن يخت كوزموس.**	

التكرار الكسوريات	**متحف اللوفر في أبوظبي، تم إجراء فترة طويلة من ورش العمل وتكرار التصميم (Optimization)، مع تجربة أنماط هيكلية مختلفة، وتطوير الهيكل بعيدًا عن الترتيب المستقيم. في النهاية، تم دمج النمط الهندسي الأساسي للقبة والشبكة الهيكلية الأساسية، مما أدى إلى إنشاء إطار فضاء هيكلي يعمل في حد ذاته كواحد من طبقات التظليل العديدة للقبة.**	
سيربينسكي	**واجهة المتحف المصري الكبيراتخذ الجدار الخارجي المتحف تشطيل نمطي يسمى بقاعدة سيربينسكي، إنه تقسيم فرعي متكرر للمثلثات بواسطة مثلثات فرعية مع الرؤوس الجديدة في وسط كل حافة، حيث يتم حذف مثلث مكون واحد (المثلث المركزي) في كل جيل**	
النسيج	**واجهة لمبنى Stella McCartney بطوكيو عبارة عن شبكة خارجية للمبنى توضح فكرة النسيج**	
انتشار التفاعل	**آلية انتشار التفاعل في تصميمات بعض مشاريع المعمارية زها حديد.**	
التقسيم	**معرض بي ام دبليو ويلت بألمانيا. إعداد نموذج رقمي شامل لهيكل السقف الكامل بما في ذلك جميع العناصر الحاملة. أي تغيير كبير في صلابة أحد النوى، على سبيل المثال، كان له تداعيات خطيرة على السلوك العام للهيكل مما يستلزم إعادة تقييم وإعادة حساب نظام.** **و الذي ساعد على تنفيذ السطح هو تقسيم السطح والنطام الانشائي الى مثلثات مترابطة بعضها ببعض لسهولة تكوين المنحنيات بسبب المرونة في التشكيل بالمثلثات.**	

التعبئة	**الجناح الاسباني Spanish pavilion، الزخرفة الشبكية غير المتكررة على واجهة الجناح، تتكون الشبكة الجديدة من ستة بلاطات مختلفة، مرتكزة على شبكة سداسية (مثل معظم الزخرفة القوطية والإسلامية)، مشفرة بالألوان**	
التغطية بالمضلعات/التبليط	**دونغ ديمون ديزاين بارك وبلازا، تتبع تغطية الواجهة المصنوعة من الألومنيوم بالفسيفساء قاعدة (نصية) تحول التمايز السلس لدرجات الانحناء إلى تمايز (متدرج) لدرجات التقسيم الفرعي، الانحناء الأكثر إحكاما يؤدي إلى لوحات أصغر .**	
فورونوي	**في المقر الرئيسي لشركة Alibaba في هانغتشو في الصين، قام المهندس المعماري بتجسيد نمط مخطط Voronoi لتظليل الواجهات والفناء**	

المراجع:

Ball, P. (2016). *Patterns In Natures.* United States of America: The University of Chicago Press.

Burry, J. B. (2010). *The New Mathematics of Architecture.* United Kingdom: Thames& Hudson.

Dufour, J-M, J Neves. (2019). In C. R. Hrishikesh D. Vinod, *Handbook of Statistics* (Vol. 41, pp. 3-31). North Holland: Elsevier.

Jabi, W. (2013). *Parametric Design for Architecture.* London: Laurence King Publishing.

Krawczyk, R. J. (2000). Evolution of Mathematically Based Form development. in *Bridges 2000 Conference, Mathematical Connections in Art, Music, and Science.*

Krawczyk, R. J. (January 2003). *Architectural Interpretation of Cellular Automata*. Chicago, IL, USA: College of Architecture, Illinois Institute of Technology.

Lasch, A. (2006). *Tooling.* Canada: Princeton Architectral Press.

Turk, G. (1991). Generating Textures on Arbitrary Surfaces Using Reaction-Diffusion. *SIGGRAPH (Special Interest Group on Computer GRAPHics and Interactive Techniques)* (pp. 289-298). Chapel Hill: University of North Carolina.

Woodbury, R. (2010). *Elements of Parametric Design.* USA and Canada: Routledge.