

أثر الثورة الرقمية المعاصرة على أشكال منتجات الأثاث والإنشاءات المعدنية

The Effect of the Contemporary Digital Revolution on the Forms of Metal Furniture and Construction Products

أ.م.د/ ياسر محمد الصادق عبدالعزيز

أستاذ مساعد بقسم تصميم الأثاث والإنشاءات المعدنية، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، مصر

YASSER_ELSADEK@a-arts.helwan.edu.eg

كلمات دالة: Keywords

الأشكال البارامترية (التصميم البارامترية) Parametric Shapes (Parametric Design)، الأشكال الكسرية (هندسة الفراكتال) Fractal (Fractal Geometry)، أشكال فوروبوي Voronoi Shapes

ملخص البحث: Abstract

في السنوات الأخيرة شهد العالم تطور هائل في علوم وتطبيقات الحاسب الآلي، فنحن نعيش فيما يعرف بعصر الثورة الرقمية، ولقد أثرت الثورة الرقمية بشكل كبير في تصميم المنتجات فاستخدم المصممون برامج الحاسب المتطورة في ابداع تصميمات لمنتجات ذات اشكال مستحدثة تنتم بالتعقيد والاستلها من الطبيعة، فيما يمكن ان يطلق عليه "الأشكال الرقمية" أو "الأشكال البارامترية"، وهي لغة تصميمية جديدة للمنتجات ذات صياغات شكلية مغايرة تماما للأشكال المعتاد عليها لتصميم المنتجات وساعد على انتشارها التطور الهائل في تقنيات الإنتاج المعاصرة والخامات المستحدثة، كل ذلك ساهم في ظهور اتجاهات تصميمه جديده ذات منطلقات وفلسفات ومرجعيات مختلفة عن سابقتها، ومن هنا تنبع **مشكلة البحث** في الحاجة إلى معرفة مرجعيات وسمات أشكال المنتجات المعاصرة في ظل الثورة الرقمية والتطور الهائل في تقنيات الإنتاج والخامات، وما صاحبها من تطور في الفكر التصميمي، حيث **يهدف البحث** إلى دراسة أثر الثورة الرقمية المعاصرة على أشكال المنتجات، ولتحقيق هدف البحث اتبع الباحث المنهج الوصفي التحليلي. وفي البحث تم دراسته ثلاث محاور أساسية: الأول يتعلق بالأشكال البارامترية (التصميم البارامترية)، والثاني يتعلق بالأشكال الكسرية (هندسة الفراكتال)، والثالث يتعلق بأشكال فوروبوي، وقد أختتم البحث باستخلاص **للنتائج** ذات الصلة من أهمها: (1) المنتجات المعاصرة ذات صياغات شكلية معقدة وغير مألوفة منها ما هو مستلهم من الطبيعة، ساعد على انتشارها التطور الهائل في برامج النمذجة الرقمية للتصميم البارامترية وتقنيات الإنتاج والخامات المستحدثة. (2) في إطار جدلية تبعية الشكل في تصميم المنتجات، ساد في العصر الحالي شعار "الشكل يتبع التقنية"، فلقد أحدثت التكنولوجيا الرقمية طفرة في أشكال المنتجات، حيث وجد المصمم الأدوات التي تمكنه من تمثيل أفكاره التصميمية مهما بلغت درجة تعقيد الشكل. (3) تدعم برامج النمذجة الرقمية للتصميم البارامترية الجانب الإبداعي للمصمم من خلال محاكاته لأشكال الطبيعة ذات البنية المعقدة بخطوات بسيطة من خلال استخدام بعض الخوارزميات التصميمية لبعض نظريات محاكاة الأشكال الطبيعية كنظرية هندسة الفراكتال ونظريه فوروبوي.

Paper received January 16, 2024, Accepted April 02, 2024, Published on line May 01, 2024

التخيل وتحقيق الأفكار التصميمية، وهو ما أدى الى طفره في اشكال المنتجات، فأصبح لأشكال المنتجات صفات تشكيلية غير تقليدية ذات ديناميكية في الإنحاء والانبساط والطي فهي تشكيلات نحتية مرنة." (مرجع 2، ص 270).

مشكلة البحث: Statement of the Problem

في إطار سعي المصمم الدائم للبحث عن اشكال جديدة للمنتجات، وكذلك للارتباط الوثيق بين التطور التكنولوجي واتجاهات التصميم، تبلورت مشكلة البحث في الحاجة الي معرفة مرجعيات وسمات بناء اشكال المنتجات المعاصرة في ظل الثورة الرقمية في برمجيات الحاسب المرتبطة بالتصميم وكذلك التطور الهائل في تقنيات الإنتاج والخامات، وما صاحب كل ذلك من تطور في الفكر التصميمي المعاصر ليتوافق مع التوجهات الفكرية الرقمية، التي فتحت افقا جديده لتصميم المنتجات وأضافت لقدرات المصمم الإبداعية والابتكارية.

أهداف البحث: Research Objectives

يهدف البحث إلى دراسة أثر الثورة الرقمية المعاصرة على اشكال منتجات الأثاث والإنشاءات المعدنية.

منهج البحث: Research Methodology

ولتحقيق هدف البحث اتبع الباحث المنهج الوصفي التحليلي.

الإطار النظري: Theoretical Framework

1) الأشكال البارامترية (التصميم البارامترية):

لقد أحدثت التكنولوجيا الرقمية ثورة في عالم التصميم حيث وجد المصمم في هذا العصر الرقمي الأداة التي يستطيع بها التعبير عن أفكاره التصميمية مهما بلغت من تعقيد في الشكل مع وجود إمكانيات هائلة للتعديل، ليس هذا فحسب وإنما اختبار تلك الأفكار التصميمية

المقدمة: Introduction

في نهاية فترة ستينات القرن العشرين وبداية السبعينات ظهرت برمجيات الحاسب التي كانت تُستخدم في عمليات تصميم وصناعة السفن والطائرات حيث تتطلب هذه الصناعة أدوات رسم متطورة للمساعدة في رسم وتنفيذ الأسطح المعدنية المنحنية بدقة عالية، وقد استفاد المعماريون من التطور في صناعة الطائرات والسفن في اقتباس بعض الأفكار في التصميم المعماري مما ادي لتطور النتاج المعماري على مستوى التصميم والطرق الإنشائية ومواد البناء والتكسيات، و"كان المعماري فرانك جيري اول من نجح في تطبيق ذلك في تصميمه لمتحف جونغهايم باسبانيا حيث استخدم طرق إنشائية معقدة لعمل اسطح منحنية وغير منتظمة الشكل من الواح التيتانيوم". (مرجع 11، ص12 بتصرف)

وفي منتصف تسعينات القرن العشرين تم استخدام برامج الحاسب التي تطبق المحددات اللوغاريتمية (برامج التصميم البارامترية) بشكل متزايد في التصميم المعماري وتصميم المنتجات حيث يُعتمد على تلك البرامج في توليد الأشكال والتكوينات، بمعنى مشاركته برامج الحاسب في عمله التصميم، مما يؤدي للحصول على تشكيلات جديدة لم يكن في الإمكان التوصل إليها بدون مساعدة تلك البرامج، وهو ما كان له بالغ الأثر على التوجهات الفكرية للمعماريين والمصممين منذ ذلك الحين حيث فتحت تلك البرمجيات أوسع الأفاق امام تمثيل أكثر الأفكار التصميمية تعقيدا بشكل سهل والتي كان من الصعب بل من المستحيل مجرد تخيل رسم مثل تلك الاشكال بطرق التصميم المعتادة.

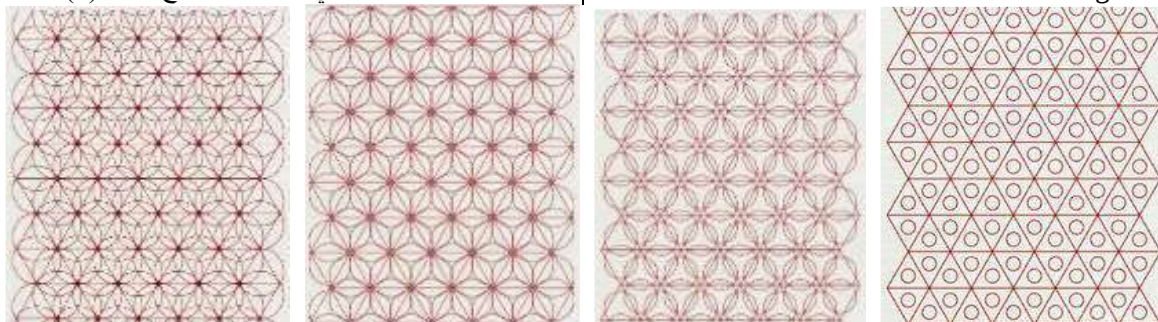
"العصر الرقمي الذي نعيشه هو عصر الحرية في التعبير التصميمي والتحرر من القيود والخروج عن الاشكال النمطية المألوفة، وذلك بمساعدة برامج التصميم البارامترية في عملية

المعتادة، فكانت "الأشكال البارامترية" تلك اللغة التصميمية الجديدة التي تميز المنتجات المعاصرة بسمات شكلية ذات خطوط منحنية ديناميكية لها قدر من التشابك والتعقيد والذي ينتج من التكرار المستمر والمتصل لعناصر الشكل، كما هو موضح بشكل (1)



شكل (1) الأشكال الرقمية لغة تصميمية جديدة تميز المنتجات المعاصرة بسمات شكلية ذات خطوط منحنية ديناميكية

البعدية والمحددات الهندسية على قيادة عملية تعديل وتطوير الشكل على عكس النمذجة المباشرة التي يتحكم فيها الشكل في عملية التعديل والتطوير" (مرجع 10، ص 110)، ففي النمذجة البارامترية جميع عناصر الشكل قابله للتعديل وفي نفس الوقت مترابطة هندسياً بحيث اذا تغيرت احداها يؤثر ذلك التعديل على باقي العناصر وهو ما يعرف بالتأثير المطاطي، كما هو موضح بشكل (2)



شكل (2) في النمذجة البارامترية جميع عناصر الشكل قابله للتعديل وفي نفس الوقت مترابطة هندسياً، مما ينتج عنه عدد لانهائي من الحلول التصميمية

للتعديل والتغيير، بما يعنى ديناميكية الاشكال دون الحاجة لإعادة رسمها من البداية

1-2 مفهوم التصميم البارامترى:

- أن لمصطلح التصميم البارامترى معان عديدة فهناك من عرفه على انه التصميم الحدودي او نمذجة التصميم او التصميم المعياري او القياسي، لكن اصح معنى للتصميم البارامترى هو التصميم المتغير، فالبارامترات هي مساحات برمجية تحتوي على خوارزميات⁽¹⁾ وعمليات رياضية تستخدم من قبل المصمم لضبط العلاقات بين عناصر التصميم من أجل تحديد مجموعة من البدائل التصميمية، فالتصميم البارامترى نهج جديد للتصميم يقوم على مفهوم المعلومات الحسابية (مرجع 9، ص 2)

حيث يتم دمج معظم متطلبات التصميم في شكل بارامترات (متغيرات محددة) منذ بداية مراحل التصميم (مرحلة صياغة أفكار التصميم) وبالتحكم في قيم تلك البارامترات من قبل المصمم وبمساعدة الخوارزميات الملحقه ببرامج النمذجة الرقمية وما تتضمنه من عمليات حسابية يحصل المصمم على العديد من البدائل التصميمية بأشكال أكثر إبداعية وتعقيداً وقابلية للتنفيذ، وتعرف هذه الحلول

(1) الخوارزمية بشكل عام هي إجراء ذو عدد محدد من الخطوات مكتوبة بلغة ترميزية ثابتة متعارف عليها محكومة بتعليمات دقيقة تتحرك وفق خطوات منفصلة (1- 2- 3) ولا يتطلب تنفيذها رؤية أو حدس أو صفاء ذهن وهي عاجلاً أم آجلاً سوف تصل إلى مرحلة تتوقف فيها عن العمل . (مرجع 2، ص 3)

واكتشاف نقاط الضعف بها أثناء التصميم وليس بعد التنفيذ، فساد في هذا العصر اتجاه تصميمي معاصر وهو ما يطلق عليه التصميم البارامترى، ويمثل الشكل أحد أهم السمات أو الجوانب المعبرة عن هذا الاتجاه التصميمي المعاصر، فقد تمكن المصممون من إيجاد صياغات شكلية جديدة كان من الصعب التعبير عنها بطرق التصميم

1-1 مفهوم البارامترية في التصميم :

إن البارامتر Parameter هو "أي عامل من العوامل التي تحدد نظام وتحدد حدود أدائه" كما ورد في (Hyper dictionary)، أو هو "الكمية أو العدد الذي يعتمد على كميته أو عدد آخر" كما ورد بقاموس العلوم (Science Dictionary)، وتعرف النمذجة البارامترية Parametric Modeling بأنها "قدره المحددات

ففي أقصى اليمين: تم رسم دائرة في منتصف الشبكة المثلثية وبتغيير قطر الدائرة (المتغير الأساسي) وتثبيت باقي المتغيرات، تولد عن ذلك عدد لا نهائي من التصميمات نتيجة تقاطع قطر الدائرة مع اضلاع المثلث ومع اقطار الدوائر المجاورة كما هو موضح في المنتصف وعلى اليسار

المصدر: النواوي، أبو بكر صالح، عباس، شيماء سمير عبد المنعم، منجي، ياسر إبراهيم محمد، وإبراهيم، نسرین يوسف. (2021). إستحداث تراكيب للزخرفة الهندسية الإسلامية باستخدام التصميم البارامترى، مجلة التراث والتصميم، مجلد 1، عدد 3، ص 7 وتصنف المتغيرات البارامترية إلى نوعين هما: (مرجع 2، ص 273)

(أ) المتغيرات المستقلة: وهي مدخلات رقميه يتم تحديد قيمتها مثل ارتفاع مثلث، قطر دائره.

(ب) المتغيرات المعتمدة: تمثل قيمتها محصلة ونتيجة لقيم المتغيرات المستقلة، مثل مساحه مثلث، مساحه دائره.

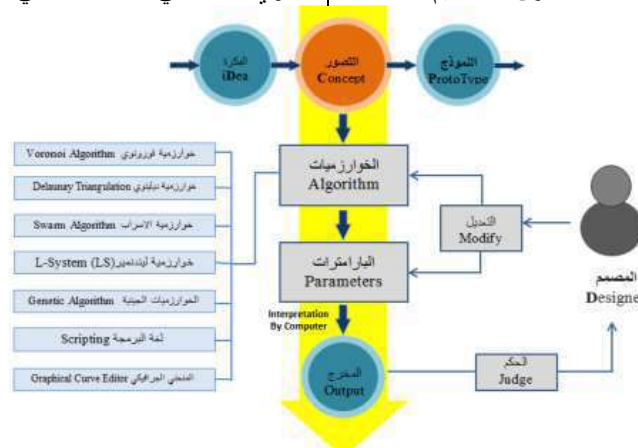
وهناك نوعين للقيود او المحددات التي تتحكم في المتغيرات البارامترية، هما : (مرجع 2، ص 274)

(أ) القيود البعدية: وهي مدخلات رقمية تلعب دوراً أساسياً في تحديد حجم الاشكال الهندسية للأفكار التصميمية

(ب) والقيود الهندسية: وهي مدخلات تحدد أنواع علاقات التجاور لعناصر الشكل مع بعضها البعض، مثل ان تكون العناصر أفقية، عمودية، متماسة، متراكبة ...، وتستخدم كل من المحددات او القيود البعدية والهندسية في صياغة الأشكال البارامترية بحيث تكون قابله

التي تُستخدم فيها برامج الحاسب الآلي فقط في رسم وإظهار الأفكار التصميمية، أما بناء أشكال تلك الأفكار فيعتمد على خيال ومهارة المصمم، وبذلك يدعم التصميم البارامتري الجانب الإبداعي لدى المصمم من خلال إنتاج نسخ معدله لا نهائية من الشكل الأساسي بتغيير المعلومات (قيم المتغيرات البارامتريه) التي يتم ادخلها لبرنامج النمذجة البارامتريه، حيث يظهر التصميم البارامتري في أقوى حالاته في المشكلات التي تتعلق بالشكل.

التصميمية بعائلة التصميم (Generations)، كما هو موضح بشكل (3) ومن ثم يختار المصمم الحل النهائي بناءً على أكثرها تحقيقاً لمتطلبات التصميم المحددة مسبقاً وبذلك يكون المصمم بمثابة الحاكم والمتحكم بالمخرج النهائي للتصميم البارامتري. (مرجع 5، ص 5) ففي التصميم البارامتري يعتمد بناء الشكل للأفكار التصميمية على التجربة والاكتشاف من خلال برامج النمذجة الرقمية (يتم إيجاد الشكل في بيئة الحاسب الآلي) وذلك بخلاف طرق التصميم المعتادة



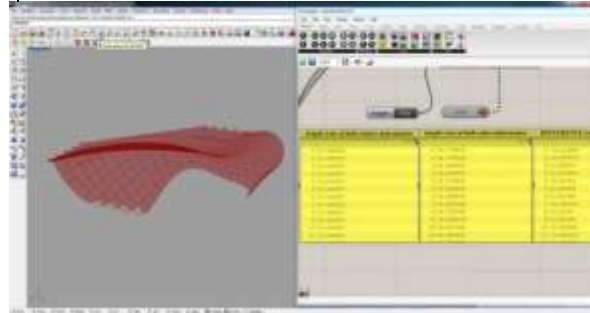
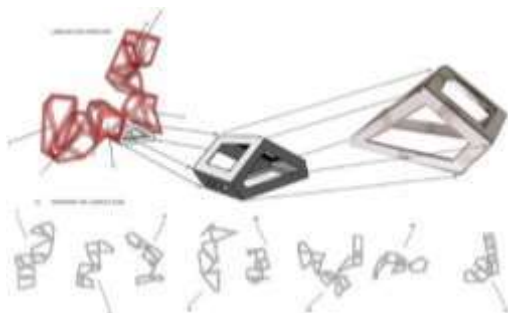
شكل (3) منهجية التصميم البارامتري

المصدر: (الصعيد، اسلام مجدي طاهر، محمد، أسامة يوسف محمد، راشد، احمد يحيى عبدالرحمن) (2019) التصميم البارامتري كمدخل لإستلهم الطبيعة في تصميم المنتجات، pdf <https://www.researchgate.net/publication/333704412>، ص 5، 6

الناتجة عن استخدام منهجية التصميم البارامتري، حيث توفر برامج التصميم البارامتري وسائل مساعدة تمكن المصمم من الاختيار كاختبارات الأداء.

(ب) مرحلة التنفيذ والإنتاج:

إن الأشكال المعقدة الناتجة عن التصميم البارامتري مثلت تحدياً لإيجاد حلول انشائية وإنتاجية مناسبة لها، ومع ذلك كانت برامج التصميم البارامتري وسيله فعاله في عمليه تمثيل التحليل الانشائي والتنفيذ والتصنيع للتصميم المقترح، وذلك من خلال بعض المكونات الإضافية البارامتريه parametric plugins الملحقة بتلك البرامج، مثل Kangaroo Physics، Karamba، BullAnt، Hummingbird، Mantis، وهي المكونات الإضافية البارامتريه المستخدمه في التحليل الانشائي لأشكال البارامتريه والملحقة بأداة النمذجة ثلاثية الأبعاد مفتوحة المصدر التي تسمى رايانو/ جراسهوبر Rhinoceros 3D /Grasshopper، والتي سهلت اجراء عمليات التحليل والحساب الانشائي للأشكال حتى في المراحل المبكرة لعمليه التصميم، كما هو موضح بشكل (4)، ويستدعى ذلك ان يعمل كل من المصمم والمهندس الانشائي ومهندس الإنتاج معاً ضمن عمليات تصميمية انشائية موحدة بمساعدة برامج التكنولوجيا الرقمية، لمعالجة مشاكل التصنيع والتنفيذ.



شكل (4) يوضح المكونات الإضافية البارامتريه المستخدمه في التحليل الانشائي لأشكال البارامتريه والملحقة بأداة النمذجة ثلاثية الأبعاد مفتوحة المصدر رايانو/ جراسهوبر Rhinoceros 3D /Grasshopper، على اليمين: المكون الإضافي Kangaroo

Physics (Structural Analysis)، وعلى اليسار: المكون الإضافي Karamba (Structural Analysis)

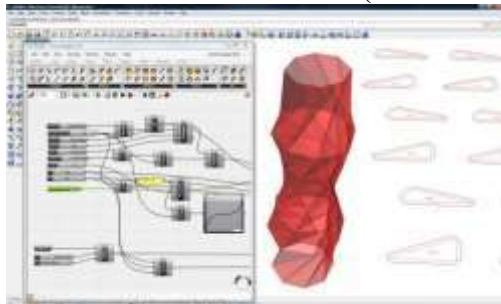
المصدر: <http://www.arch2o.com/10-parametric-plugins-every-architect-should-know>



(د)

شكل (5) (5-أ) يوضح بعض الأشكال الطوبولوجية وهي : شريحة موبوس "Mobius strip" وزجاجة كلاين "Kline bottle" وقوقعة أو حلزون "Mobius snail"، (5-ب) يوضح بعض الأشكال المستلهمة من شريحة موبوس "Mobius strip"، (5-ج، د) تصميم لمكتبه ووحده جلوس خارجية مستلهمة من شريحة موبوس "Mobius strip" المصدر: pintrest

أو مثل المجسمات التي تتعرض إلى حالة من التشوية كعمل شد أو دوران حلزوني لشكل مكعب أو أسطوانة، فيكون الناتج بعيد عن الأشكال الإقليدية التقليدية، كما هو موضح بشكل (6)، أو إذا تم حذف أحد أضلع المكعب وعمل تأثير إنحناء عليه، فتكون هذه الأشكال ناتجة عن عمل عدة تأثيرات وتركيبات وبالتالي قد تصل إلى عدد لا نهائي من الأشكال والتكوينات وفقاً للمؤثرات التي تتعرض لها. وتنتج هذه الأشكال الطوبولوجية باستخدام المعادلات الجبرية (الخوارزميات أو التصميم الحسابي) ببرمجيات النمذجة الرقمية البارامترية، مما سهل عملية التحكم في هذه التكوينات غير المنتظمة وأدى إلى توظيفها في ابتكار أفكار تصميمية جديدة (مرجع 11، ص 13 بتصرف)



(أ)



(ب)

شكل (6) (6-أ) يوضح أسطوانة تعرضت لدوران حلزوني، باستخدام برنامج راينو Grasshopper/ Rhino، فيكون الناتج بعيد عن الأشكال الإقليدية التقليدية .

المصدر: <http://www.arch2o.com/10-parametric-plugins-every-architect-should-know>

(6-ب) يوضح مجموعته Heller The للمعماري فرانك جيري وهي ذات تصميم يعتمد عمل عليه دوران حلزوني twist للمكعب. المصدر: Heller Gehry Left Twist Cube - 2Modern

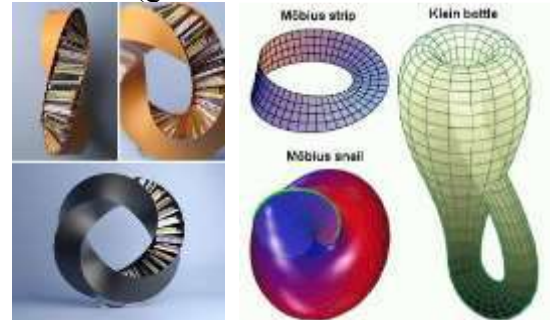
5-1 سمات الأشكال البارامترية:

تتميز التصميمات الناتجة عن استخدام منهجية التصميم البارامترية بصياغات شكلية جديدة نتيجة للإمكانيات التي توفرها برامج النمذجة البارامترية، حيث تتميز التصميمات البارامترية بمجموعه من السمات الشكلية يمكن إيجاز أهم تلك السمات فيما يلي :

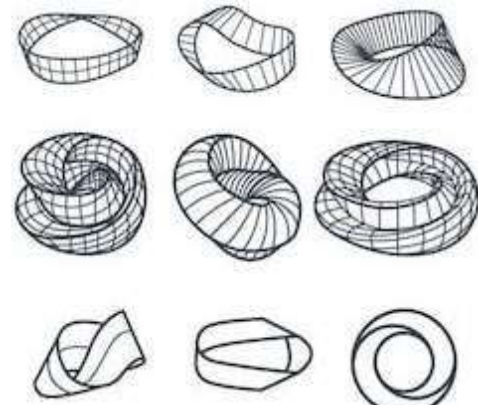
1-5-1 أشكال طوبولوجية (هندسية حرة):

فبفضل برامج النمذجة الرقمية البارامترية تمكن المصممون من الخروج عن الأشكال الإقليدية⁽¹⁾

والتي يمكن توصيفها بناء على خصائصها الهندسية (كالأسطوانة، الهرم، المكعب، المنشور، والكرة) وهي الأشكال التي اعتمد عليها التصميم الكلاسيكي وعصر الحداثة وهي اشكال متعارف عليها، ذات إحكام هندسي ولها زوايا ثابتة، واستخدم المصممون الأشكال الطوبولوجية "Topology Shapes"⁽²⁾ وهي أشكال حسابية معقدة يصعب توصيفها هندسياً بالأسلوب التقليدي حيث أنها ذات أشكال جديدة غير تقليدية وليس لها زوايا ثابتة، فهي تكوينات غير منتظمة وغير مرتبطة بخصائص واضحة تعتمد بشكل أساسي علي المنحنيات الديناميكية (مثل Splines, Nurbs)، (3) كما هو موضح بشكل (5)، مثل التكوينات الموجودة في الطبيعة (كتكوينات الجبال، السحب، الكتبان الرملية واسراب الطيور... إلخ).



(أ)



(ب)

(1) الهندسة الإقليدية: هي الأفكار الهندسية التي أرسى إقليدس قواعدها عام 300 ق.م.

(2) الطوبولوجي هو علم دراسة المكان أو الفراغ ، ودراسة خصائص الأشكال الهندسية ، وتعنى الهندسة الطوبولوجية بدراسة الأسطح الهندسية المنحنية المستمرة المرنة كالأسطح المطاطية أو التي يسهل التحكم بها وتعديلها من خلال التحكم في توزيع وكثافة النقاط على السطح مما يزيد إنحنائه، فينتج عنها أشكال متغيرة ويتم ذلك باستخدام التكنولوجيا الرقمية (مرجع 8، ص 3)

(3) السطوح عالية الإنحناء " Non-Uniform Rational B-Splines " NURBS هي النموذج الرياضي شائع الاستخدام في رسومات الحاسب لتوليد وتمثيل المنحنيات والأسطح المنحنية. هذه المنحنيات والسطوح يمكن تغيير شكلها عن طريق التحكم بنقاط التحكم الخاصة بها "Control Points"، "تعتمد هذه السطوح على خطوط B-Splines ويوفر هذا النموذج درجة عالية من الدقة والمرونة في التعامل مع الأشكال الحرة وهي مهمة من أجل دمج الأشكال الهندسية المعقدة ضمن التصميمات المعمارية" (مرجع 2، ص 4)

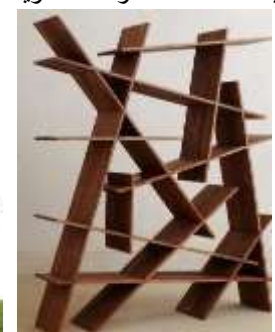
توحي بالحركة سواء كانت تلك الحركة موجيه أو حركة دورانية حلزونية أو حركة انتقالية، كما هو موضح بشكل فهي أشكال وتكوينات تعبر عن تدفق أو انسياب السوائل لذا تسمى بالأشكال السائلة، كما هو موضح بشكل (7).



شكل (7) وحدات جلوس في سبويلين في لاهاي، للمصمم البلجيكي سيباستيان فيرينك، مصنوعة من الأنابيب المنحنية ذات أشكال حرة من الصلب المقاوم للصدأ. يتم إنشاء النماذج بواسطة الكمبيوتر من تنوع الملفات الشخصية على طول محور معين (شكل حلقة أو "S" أو "X")، وهي تعبر عن الحركة سواء كانت الحركة موجيه أو دورانية حلزونية أو انتقالية.

المصدر: <http://www.swws.net/wp4/project/benchmark-model-c-at-spuiplein-the-hague-nl/>

في التشكيل المعماري وتصميم المنتجات، أما في عصر الثورة الرقمية أصبحت الكثير من البدائل التشكليه في متناول يد المصمم ويستطيع بدون جهد كبير تغيير الشكل وتأمله والتعديل فيه حتى يصل الى التكوين التشكيلي المطلوب" (مرجع 7، ص 5). كذلك لم يعد هناك تقيد بقيود التوحيد القياسي كما كان معتاداً من قبل، فرغم النجاح الاقتصادي لتطبيق فكره التوحيد القياسي في تصميم المنتجات إلا أنه أدى إلى منتجات شبه موحدة أو متشابهة شكلياً لحد كبير، أما في عصر الثورة الرقمية فليس هناك ما يمنع التعدد والتنوع في أشكال المنتجات (تحرر الفكر التصميمي) مع مراعاة الجدوى الاقتصادية لإنتاجها كميّاً Mass Production، فلذلك من آثار الثورة الرقمية أيضاً على تصميم المنتجات تقلص أهمية التوحيد القياسي وذلك لصالح التعدد والتنوع في التشكيل وتحرر الفكر.



شكل (8) يوضح فوضوية الاشكال البارامترية في التصميم

المصدر: <https://www.pinterest.com/pin/494481234100458544>

وبعض الظواهر الطبيعية وكذلك خلايا جسم الانسان...، وهندسة الفراكتال هي أحد الخوارزميات التي تعتمد عليها منهجية التصميم البارامترية وذلك لتقنين أشكال المنتجات المستلهمة من الطبيعية.

(1-2) مفهوم الأشكال في الهندسة الكسرية:

تتمحور الفكرة الأساسية للهندسة الكسرية حول بناء الأشكال في تركيبات هندسية غير منتظمة تنتج عن تقسيم الشكل الأساسي إلى أجزاء صغيرة، كل جزء منها هو صورة مصغرة للشكل الكلي (الأساسي)، وبالتكرار اللانهائي لتلك العملية حول محاور مختلفة وفقاً لقواعد رياضية تبدو الأشكال الكلية الناتجة غاية في التعقيد رغم بساطة فكرة تكوينها.

وبذلك ترتبط الهندسة الكسرية في البحث في الأجزاء الصغيرة بل المتناهية في الصغر التي تتكون منها للأشياء الطبيعية، والتي تبدو غير منتظمة (فوضوية) ومعقدة في شكلها العام الكبير، ولكن بالبحث في مكونات هذا الشكل على مستوى أجزائها الصغيرة أو المتناهية الصغر فهي في غاية الانتظام وفقاً لمعادلات رياضية لاختية تحكم تكرار وتشابك تلك الأجزاء الصغيرة.

1-5-2) أشكال ديناميكية توحي بالحركة :

إن الاشكال البارامترية تتميز بالديناميكية والحركة حيث انها تعتمد بشكل أساسي في تكوينها على المنحنيات الديناميكية Nurbs، والتي مكنت المصمم من ابتكار صياغات شكلية ديناميكية ومضطربة

1-5-3) أشكال مرنة قابلة للتعديل:

تقوم فلسفة التصميم البارامترية على إمكانية تعديل أي عنصر من عناصر الشكل بحيث يظهر أثر ذلك التعديل ألياً في باقي العناصر مهما بلغت درجة تعقيد التصميم، مما يوفر الكثير من الوقت والجهد الذي يتطلبهما محاوله تنفيذ مثل هذه التعديلات يدوياً، كما يتمكن المصمم من معاينة الأشكال بعد عمل أي تعديل.

1-5-4) أشكال فوضوية لا تخضع لشبكات تصميمية ولا لتوحيد

قياسي:

إن الاشكال البارامترية تتميز بعدم الانتظام والعشوائية، كما هو وضح بشكل (8) فلم يعتمد المصمم في صياغتها على أي من الشبكات التصميمية المنتظمة، "كما كان معتاداً عندما ساد استخدام أدوات الرسم اليدوي كالمسطر والمثلثات المستوية سادت التصميمات ذات الخطوط المستوية على شبكات تصميمية منتظمة

1-5-5) التعقيد:

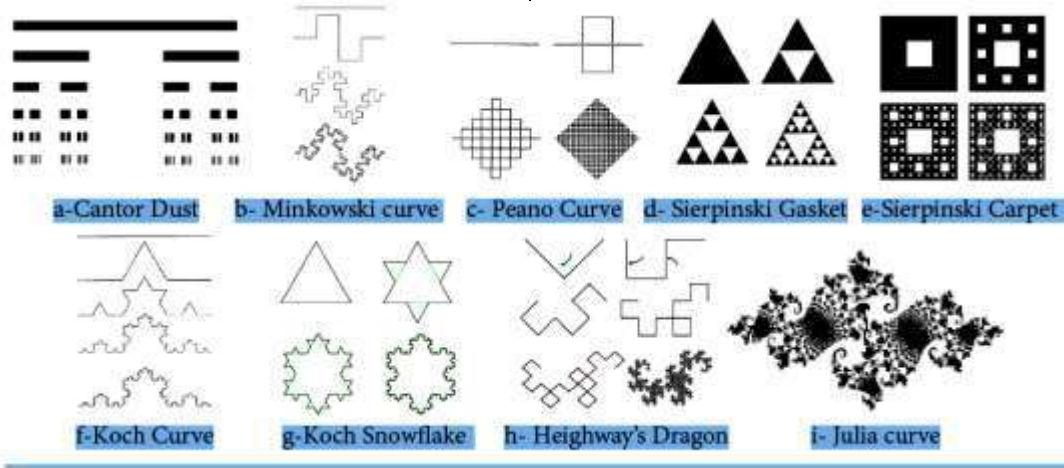
يتسم التصميم الرقمي بالتعقيد، وبكثرة التفاصيل التي يحتويها، مما يؤدي إلى إحداث جاذبية بصرية للمتلقي.

(2) الأشكال الكسرية (Fractal forms) (Fractal Geometry) الهندسة الجزئية):

إن الأشكال الكسرية هي أحد الأنماط الشكلية للمنتجات والتي نمت وازدهرت في ظل الثورة الرقمية المعاصرة، فهندسة الفراكتال⁽¹⁾ (الهندسة الكسرية/ الجزئية) تتصف بأنها هندسة الطبيعة لارتباطها بوصف خصائص الأشكال الطبيعية كالنباتات وسواحل البحار

⁽¹⁾ إن أول من صاغ مصطلح الفراكتال (Fractal) لوصف الهندسة الكسرية هو العالم الفرنسي "بينوا ماندل بروت Benoit Mandelbrot عام 1975م، وهي هندسة لها مبادئ جديدة تختلف عن الهندسة الإقليدية، وهذا المصطلح مشتق من الأصل اللاتيني franger الذي يعني كسر أو "شرح، ومن الصفة fractious التي تحمل معنى اللانظام والتكسر والتجزئ، وأراد ماندل بروت جمع هذان المعنيين في كلمة "Fractal فراكتال" وهذا ما يؤكد أن مفهوم الهندسة الكسرية يرتبط بمفهوم اللانظام والتجزئة معا.

سيربينسكي Waclaw Sierpinski، هيلج فون كوخ Helge Von Koch، هاي واي Highway، جاستون جوليا Gaston Julia، حيث كان عملهم يسمى "وحوش الرياضيات" Monsters، وشكل (8) يوضح الأشكال التي توصل لها هؤلاء العلماء، وهي تمثل المصادر لأنواع الأشكال الكسرية.



شكل (8) مصادر الأشكال الكسرية

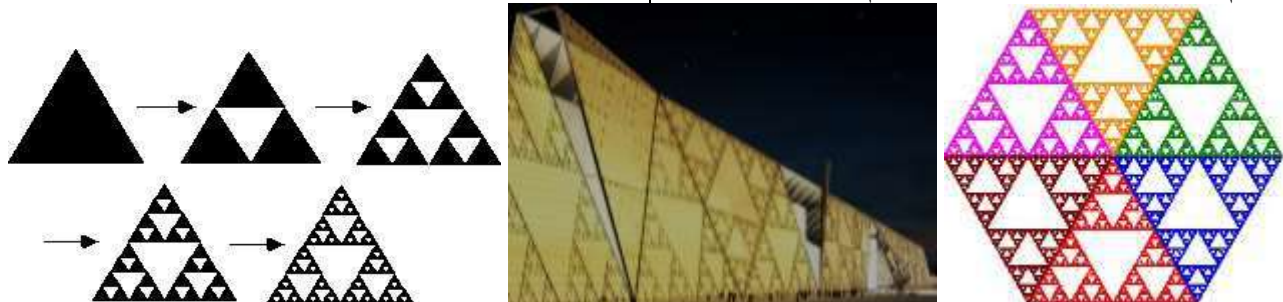
المصدر: إبراهيم، أمنية بهاء (يونيو 2021) هندسة الفراكتال كمصدر للابداع الشكلي في التصميم الداخلي، مجلة علوم التصميم والفنون التطبيقية، المجلد 2، العدد 2، ص 69

للشكل والشكل الكلي مهما اختلف مقياس رسم الأجزاء، فالجزء هو صورة مصغرة من الشكل الكلي، كما موضح بشكل (9).

(4-2) خصائص الأشكال الكسرية:

(أ) التشابه الذاتي self-similarity:

من أهم خصائص الأشكال الكسرية التشابه التام بين الأجزاء المكونة



شكل (9)

(ب) أشكال ذات تشابه ذاتي ظاهري Quasi self-similarity

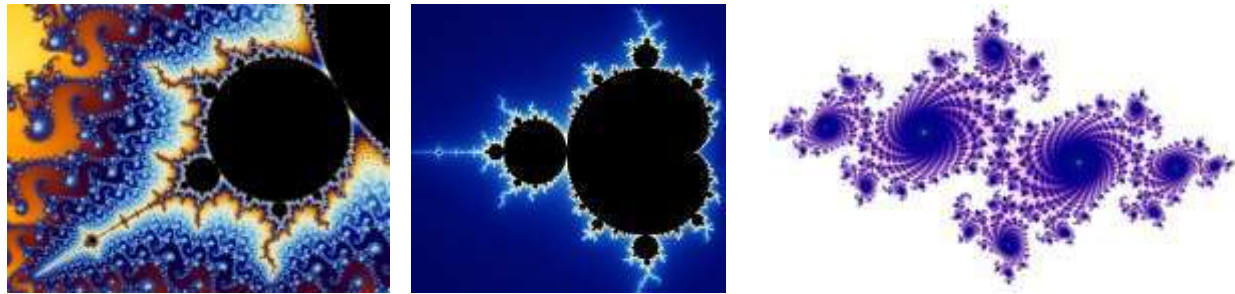
حيث تبدو الكسريات متطابقة إلى حد ما وليس تماماً على مقياس التكبير المختلفة، أي تبدو الأشكال المصغرة مُحرفة إلى حد ما، وهنا تماثل الأشكال الكسرية الهندسية الكسريات الطبيعية، كما في مجموعته "جوليا" ومجموعة "ماندل بورت" حيث يتم بناء الشكل من خلال علاقه تكرارية بمعادلة رياضية وهو ما يعرف بالانفلات الوقتي أو الهروب من الزمن إلى ما لانهاية Escape Time Fractal، كما هو موضح بشكل (10).

(ج) أشكال ذات تشابه ذاتي إحصائي Statistical self-similarity:

أضعف أنماط التشابه الذاتي، فتبدو الكسريات غير متطابقة، حيث يتم بناء الأشكال الكسرية بإجراءات مختارة بشكل عشوائي بدلاً من المعادلات الرياضية، فتحمل أجزاء الأشكال الكسرية العشوائية فقط نفس الخصائص الإحصائية للشكل الكلي (تشابه عددي أو إحصائي فقط) مثل كسريات المناظر الطبيعية في السواحل والتضاريس حيث الحجر يشبه الجبل ككل ولا يماثله تماماً.

على اليمين: يوضح التشابه الذاتي في مثلث سيربينسكي Sierpinski باختلاف المقياس، حيث يُقسم المثلث الكبير إلى مثلثات أصغر منه حجماً بحيث يكون كل منهم نسخة مصغرة من المثلث الكبير، وتكون نقاط المثلث الصغير في منتصف أضلاع المثلث الأكبر منه حجماً، ويتكرر تلك العملية يزداد الشكل تعقيداً، في أقصى اليسار: أحد الأفكار التصميمية لواجهه المتحف المصري الكبير والتي تم فيها استخدام مثلث سيربينسكي Sierpinski. تُصنف الأشكال الكسرية إلى ثلاث أنماط وفقاً لمدى التشابه الذاتي إلى: (مرجع 3، ص 6)

(أ) أشكال ذات تشابه ذاتي متطابق identical self-similarity وهو أقوى أنماط التشابه الذاتي حيث تظهر نفس الأشكال تماماً على أي مقياس تكبير، مثل معظم الأشكال الكسرية (شكل 8) حيث تتولد الأشكال بتتابع ما يسمى بأنظمة الدوال المتكررة iterated function system (IFS)، حيث يتم تطبيق قاعدة هندسية لكل دالة فتكون الأشكال الناتجة متطابقة تماماً.



شكل (10)

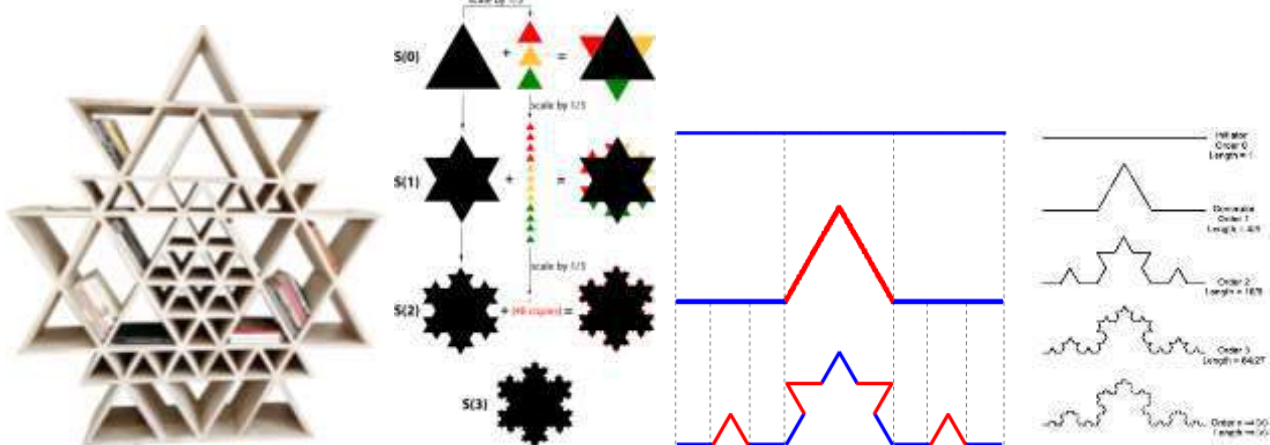
إن البعد الفراكتالي من الخصائص الأساسية التي يمكن من خلالها تعريف الأشكال الكسرية وقياس أبعادها، حيث أنه من المستحيل استخدام أساليب القياس المعتادة الخاصة بالهندسة الإقليدية في تحديد أبعاد الأشكال الكسرية لأنها ليست نقاط ترسم في البعد الصفري (ليس لها بعد) أو خطوط لها بعد واحد فقط أو مسطحات هندسية منتظمة لها بعدان فقط أو مجسمات هندسية منتظمة لها ثلاثة أبعاد، بل هي أشكال هندسية مركبة فلا يتناسب أي من الأبعاد السابقة مع تركيبها الشكلي "فمن وجهة نظر الهندسة الفراكتالية المعاصرة فإن للأشكال الكسرية المسطحة بعد كسري (فراكتالي) يقع بين الواحد الصحيح والاثنتين، فمثلاً شكل منحنى كوخ Koch curves له بعد كسري يساوي 1.2618" (مرجع 4، ص 7)، كما هو موضح بشكل (10)، وقيمته هذا البعد الكسري تدل على مدى تعرجات وتعقد الشكل، فهناك تناسب طردي بين تعقد الشكل وبعده الفراكتالي. ولقد أسهم البعد الفراكتالي في تحليل العمليات الفوضوية للنظم الطبيعية والتي تمثل معيّنًا لا ينضب يستلهم منه المصمم العديد من الصياغات الشكلية.

على اليمين: مجموعة جوليا Julia، وهي نتاج معادلة رياضية بسيطة $Z = Z^2 + C$ حيث C مركب متغير نحصل من خلاله على تنوعيات متعددة تماثل الشكل الأساسي، وتتميز المجموعة بالشكل الحلزوني سواء على المستوى العام للشكل المركب أو عند التكبير على مستوى العنصر الأساسي للشكل، ويرجع الفضل لماندل بورت في التمثيل البصري لمجموعه جوليا لاستحاله ذلك قبل توافر برمجيات الحاسب الآلي المناسبة.

على اليسار: مجموعة ماندل بورت وهي من أعقد الأشكال الرياضية والتي نتجت من قيام ماندل بورت بإجراء تعديلات على معادلة جوليا ليكتشف مجموعته وذلك باستخدام الحاسب الآلي فيظهر الشكل الحلزوني المميز لمجموعه جوليا في مجموعته ماندلبورت، تحمل مجموعته ماندل بورت سمة التشابه الذاتي الظاهري فالنفاصيل الصغيرة للشكل لا تتشابه تشابه متطابقاً لأن المجموعة تتعامل مع الأعداد المركبة.

المصدر : <https://ar.wikipedia.org/> مجموعة _ماندلبرو

(ب) البعد الفراكتالي Fracty Dimension



شكل (10) على اليمين وفي المنتصف: يوضح منحنى كوخ Koch curves وكيفية بناؤه هندسياً، المصدر: Koch Snowflake

(agnesscott.org) على اليسار: مكتبه تم استلهام تصميمها من منحنى كوخ، المصدر:

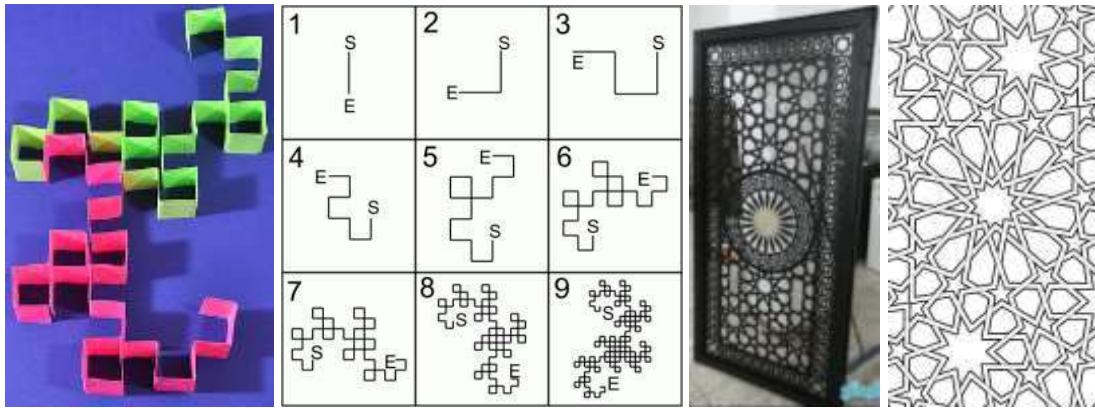
https://www.1stdibs.com/furniture/storage-case-pieces/bookcases/geometric-fractal-bookshelf-made-solid-teakwood/id-f_14664882

(ج) التوسع اللانهائي بالتكرار infinite scalability

ترتبط هندسة الفراكتال بعملية التكرار، فتتكون الأشكال الكسرية وفقاً لعمليات تكرار متتالية لشكل هندسي ما طبقاً لقاعدة رياضية محددة، بحيث يكون الشكل المكرر هو صورة من الشكل الأصلي، وفي إطار عمليات التكرار تلك تكون مخرجات عملية التكرار الأولى بمثابة مدخلات لعملية التكرار التالية وهكذا... وبذلك يمكن أن تمتد عمليات التكرار إلى ما لانهاية ومعها يتوسع الشكل توسعاً لانهاياً، فبعد كل مرحلة يصبح الشكل أكثر تركيباً (تعقيداً) وامتداداً، مثال على ذلك منحنى التنين Highway dragon، كما هو موضح بشكل (11)، وهنا تقارب كبير بين فكر الهندسة الكسرية والفلسفة التي تبني عليها الزخارف الهندسية الإسلامية، كما في الأطباق النجمية مثلاً حيث يمتد الشكل ويتوسع من خلال عملية التكرار لعناصر الزخرفة مع الدوران بزوايا معينة.

(ج) التوسع اللانهائي بالتكرار infinite scalability

ترتبط هندسة الفراكتال بعملية التكرار، فتتكون الأشكال الكسرية وفقاً لعمليات تكرار متتالية لشكل هندسي ما طبقاً لقاعدة رياضية محددة، بحيث يكون الشكل المكرر هو صورة من الشكل الأصلي، وفي إطار عمليات التكرار تلك تكون مخرجات عملية التكرار الأولى بمثابة مدخلات لعملية التكرار التالية وهكذا... وبذلك يمكن أن تمتد عمليات التكرار إلى ما لانهاية ومعها يتوسع الشكل توسعاً لانهاياً، فبعد كل مرحلة يصبح الشكل أكثر تركيباً (تعقيداً) وامتداداً، مثال على ذلك منحنى التنين Highway dragon، كما هو موضح بشكل (11)، وهنا تقارب كبير بين فكر الهندسة الكسرية والفلسفة التي تبني عليها الزخارف الهندسية الإسلامية، كما في الأطباق النجمية مثلاً حيث يمتد الشكل ويتوسع من خلال عملية التكرار لعناصر الزخرفة مع الدوران بزوايا معينة.

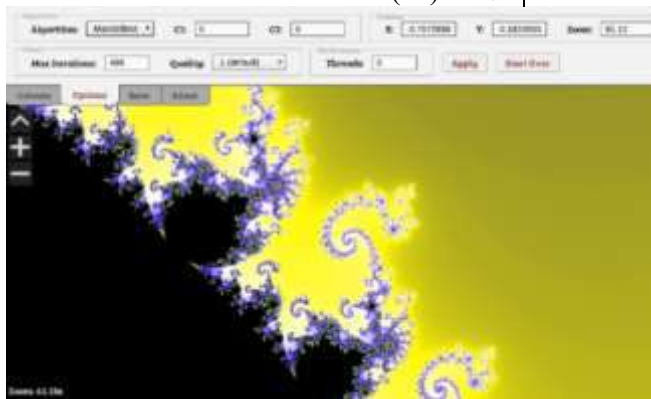


شكل (11)

<https://www.amazon.com/gp/product/B08TRLB9W3>

2-5) البرمجيات والهندسة الكسرية:

اتضح مما سبق مدى تعقيد أشكال الهندسة الكسرية، وقد نتج هذا التعقيد من التكرار لأحد عناصر الشكل وذلك بتطبيق معادلة رياضية عدة مرات، وفي ظل عصر الثورة الرقمية المعاصر يوجد العديد من برمجيات الحاسب التي تساعد كثيراً في توليد أشكال الهندسة الكسرية بشكل سهل ومقنن بخطوات محددة، سواء كانت تلك الأشكال مستوية أو في أكثر من مستوى، فلك البرمجيات هي نوع من برامج الرسومية التي تولد صور الأشكال الكسرية (الفراكتال) وهي ستغرق ثوانٍ أو دقائق لإكمال صورة فراكتالية واحدة عالية الدقة باستخدام أجهزة الكمبيوتر الحديثة، حيث يمكن معاينه الشكل الناتج والتعديل فيه بكل سهولة ومن برامج توليد الفراكتال المتاحة ما هو مجاني (مفتوح المصدر)، ومنها ما هو برخصة (مغلق المصدر) التجارية، وكذلك هناك العديد من تطبيقات الهاتف المحمول، وبعض أمثلة تلك البرمجيات كما هو موضح بشكل (12).



شكل (12)

هي اشكال تنتج عن تطبيق نظرية أو مخطط فوريوني 1، "وهي نظرية رياضية تختص بتقسيم المساحات أو الفراغات إلى مجموعة من المساحات أو الخلايا المتقاربة أو المتجاورة التي تمس بعضها بعضاً" (مرجع 11، ص 271) وذلك بمحاكاة الأشكال التي تنقسم بها المساحات والفراغات في الطبيعة (بأشكال ثنائية وثلاثية الأبعاد بمقاييس وخامات مختلفة) مثل خلايا النحل، فقاعات الصابون، وشقوق الأرض الطينية الجافة، اجنحه بعض الحشرات، أوراق الأشجار، والمساحات اللونية التي تغطي جلد الزرافة... وما إلى ذلك، كما هو موضح بشكل (13).

(1) جورج فوريوني Georgy Feodosovich Voronoi (1868-1908م) هو عالم رياضيات اوكراني، ابتكر نظريته أو مخطط رياضي لتقسيم المساحة أو الفراغ إلى عدد من المناطق أو المساحات، مستلهماً تلك النظرية من طرق تقسيم المساحات الموجودة بالطبيعة.

على اليمين: يوضح منحنى التنين Heighway dragon ووكيفيه بناؤه هندسياً، فنبدأ بخط مستقيم له نقطه بدايه start point ونقطه نهاية End point، ثم يتضاعف الخط ليصبح خطين بينهما زاويه قائمة وذلك بالدوران عكس عقارب الساعة، مع إضافة بدايه ناتج التضاعف عند نهايه الشكل في المرحلة السابقه ثم يتضاعف خطي الزاويه القائمة لتصبح زاويتين قائمتين بأربع خطوط، وهكذا.... حتى يتكون منحنى التنين، مع ملاحظه أن مخرجات عمله التكرار الأولي تكون بمثابة مدخلات لعملية التكرار التالية، وأيضاً بدايه من عمله التكرار الخامسة لا يتقاطع جزئي أو أجزاء المنحنى مع بعضهم البعض ولكن يتلامسوا في أكثر من نقطة.

المصدر:

<https://bentrubewriter.com/2012/04/25/fractals-you-can-draw-the-dragon-curve-or-the-jurassic-fractal/>
على اليسار: الأطباق النجمية مثلاً حيث يمتد الشكل ويتوسع من خلال عمله التكرار لعناصر الزخرفه مع الدوران بزوايا معينة.

المصدر:

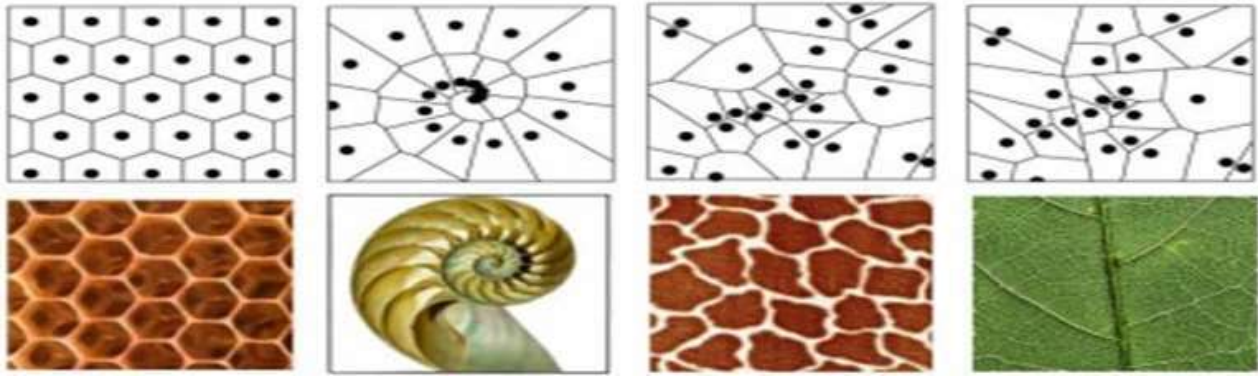
على اليمين: توليد منحنى كوخ وشكل كريستاله الثلج باستخدام برنامج النمذجة مفتوح المصدر راينو/جراسهوبر Rhinoceros /Grasshopper

المصدر: <https://www.cadnav.com/software/view-:46041.html>

على اليسار: توليد بعض الأشكال الكسريه مثل منحنى جوليا Julia curve، ومجموعه منادلبورت Mandelbrot set ببرنامج Web App: Fractal Explorer

المصدر: <https://jsdw.me/posts/fractal-explorer/>

3) أشكال فوريوني Voronoi forms:



شكل (13)

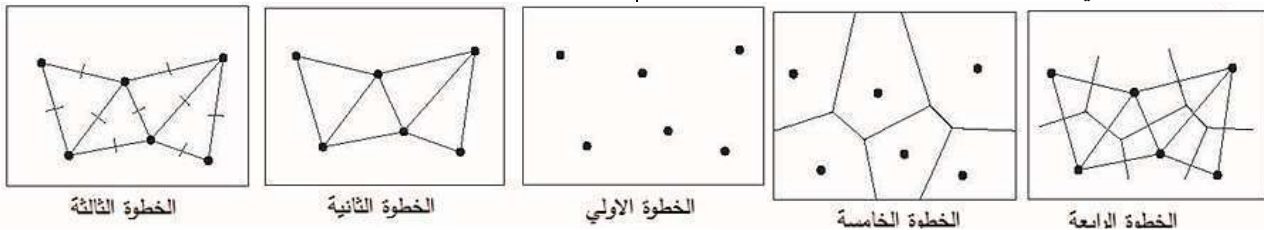
في الأسفل نماذج من أشكال فوريونوي في الطبيعة وفي الأعلى مخططات فوريونوي لتلك الأشكال.

المصدر : Voronoi : (2017), Sarah Merhej, Volume 39, Issue 7. Al-Baath University Journal , diagrams ,

رابعاً: رسم خطوط جديدة متعامدة على الخطوط الأصلية من منتصفها (رسم المتوسطات)، فتتقاطع تلك المتوسطات بعد مدها في نقاط، تسمى تلك النقاط بنقاط فوريونوي.
خامساً: تشكل المتوسطات المتقاطعة مع بعضها البعض شبكة جديدة تعرف باسم "مخطط فوريونوي" أو "شبكة فوريونوي" وذلك بعد حذف الخطوط الأصلية المرسومة في الخطوة الثانية.

(1-3) آلية بناء مخططات فوريونوي:

لبناء مخططات أو أشكال فوريونوي يتم إتباع آلية معينة تتكون من مجموعه من الخطوات المتتالية، كما يلي: (مرجع 15 ، ص 187)
أولاً: تحديد مجموعة من النقاط (نقاط مولدة generated points)
علي المسطح المراد تقسيمه.
ثانياً: توصيل النقاط السابقة بخطوط مستقيمة بشرط ألا تتقاطع تلك الخطوط (عمل مثلثات متجاورة باستخدام تلك النقاط).
ثالثاً: تحديد النقاط التي تُتصف الخطوط المستقيمة السابق رسمها.



شكل (14) خطوات بناء مخطط فوريونوي

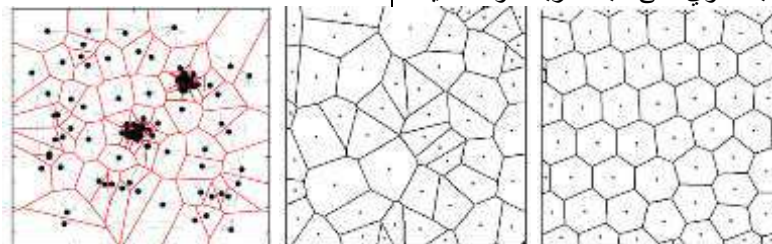
المصدر: الصعدي، اسلام مجدي طاهر ، محمد، أسامة يوسف محمد، راشد، احمد يحيى عبد الرحمن (2019) التصميم البارامتري كمدخل لاستلهام الطبيعة في تصميم المنتجات، <https://www.researchgate.net/publication/333704412.pdf>، ص 14

أو حلزونية.

- 2- مخطط فوريونوي العشوائي Random Voronoi diagram: يتم توزيع النقاط بشكل عشوائي.
- 3- مخطط فوريونوي العنقودي The Clustered Voronoi diagram: حيث يتم تجميع النقاط في مجموعات.

(2-3) أنواع مخططات فوريونوي:

تختلف أنواع مخططات فوريونوي حسب شبكة النقاط المولدة (نقاط العمل المبدئية) وكيفية توزيعها على السطح المراد تقسيمه، وتنقسم مخططات فوريونوي إلى ثلاثة أنواع: (مرجع 13 ، ص 16)
1- مخطط فوريونوي منتظم Regular Voronoi diagram: وفيه يتم توزيع النقاط بالتساوي على شبكة مربعة أو سداسية



شكل (15) أنواع مخططات فوريونوي، المخطط المنتظم (على اليمين)، المخطط العشوائي (في المنتصف)، المخطط العنقودي (على اليسار) المصدر:

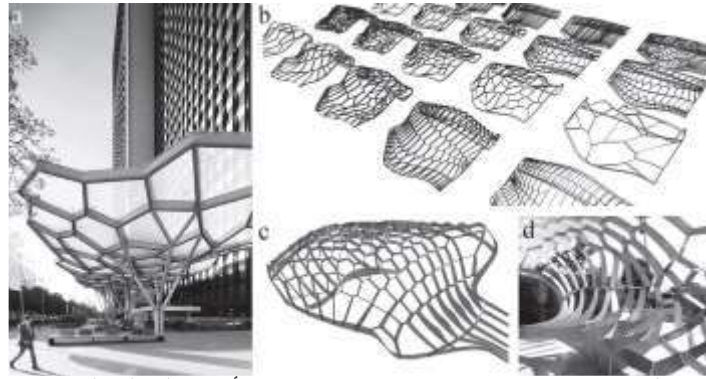
https://www.researchgate.net/publication/267249603_Overall_elastic_properties_of_polysilicon_films_A_statistical_investigation_of_the_effects_of_polycrystal_morphology

(3-3) تطبيقات اشكال فوريونوي:

الاشكال الطبيعية، وساعدهم على ذلك توافر البرامج الحديثة للتصميم البارامتري لتوليد تلك الأشكال ومعيانها لاختيار افضل البدائل الشكلية والحلول الانشائية وذلك بتطبيق خوارزمية فوريونوي التي تستخدم الهندسة الحسابية لتوليد تلك الأشكال، واشكال (16)، (17) توضح بعض من نماذج استخدام اشكال فوريونوي في تصميمي منتجات الأثاث المعدني والمنشآت المعدنية.

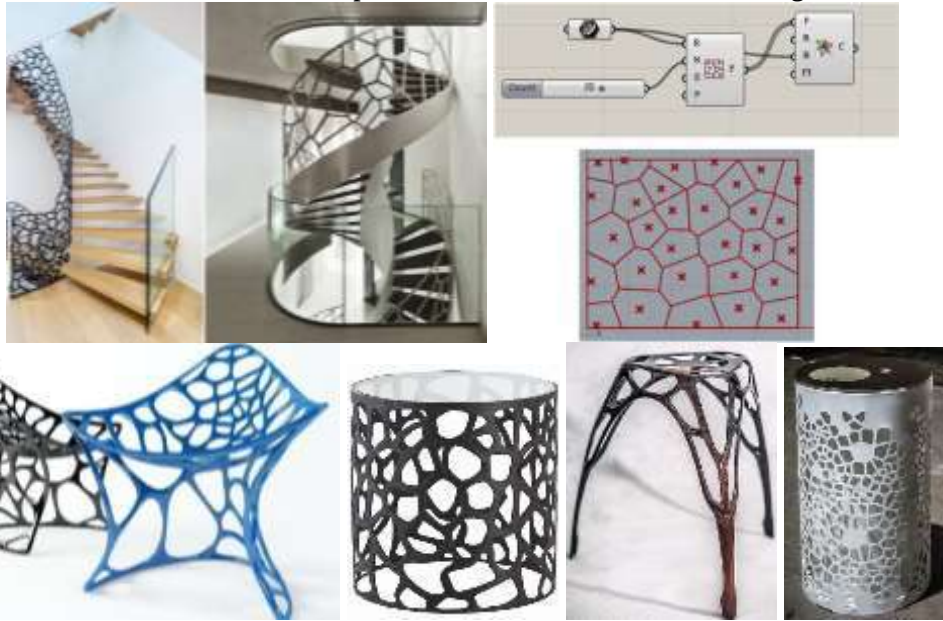
تُستخدم مخططات فوريونوي بشكل شائع في العديد من المجالات مثل الأنثروبولوجيا، علم الفلك، علم الأحياء، رسم الخرائط، الهندسة الحسابية، التخطيط الحضري، الهندسة المعمارية، الفنون، وتصميم المنتجات...

ففي مجال التصميم المعماري وتصميم المنتجات استخدم المصممون مخططات فوريونوي في توليد اشكال مبتكرة للمنتجات استلهاها من



شكل (16) تطبيق مخطط فوريونوي في تصميم الأسطح الهيكلية المعدنية

المصدر: Wiesław Rokicki, Ewelina Gawell, (2016) Voronoi diagrams rod structure research models in architectural and structural optimization, MAZOWSZE Studia Regionalne nr 19/2016, P 15



شكل (17)

على اليمين في الأعلى: استخدام برنامج النمذجة مفتوح المصدر راينو/جراسهوبر Rhinoceros /Grasshopper في توليد اشكال من مخططات فوريونوي

المصدر: https://www.researchgate.net/figure/Grasshopper-construction-of-2d-Voronoi-Diagrams-process-diagram_fig10_353948399

على اليسار في الأعلى: استخدام اشكال فوريونوي في تصميم سور السلالم المعدنية

المصدر: <https://www.homecrux.com/eestairs-cells-balustrades-mimic-patterns-voronoi-diagrams/62849/>

في الأسفل: استخدام اشكال فوريونوي في تصميم بعض قطع الأثاث المعدني

المصدر: <https://i.pinimg.com/564x/69/b6/78/69b678ee2d91a889212e37e44c65621e.jpg>

من السطح في الأجزاء السفلية من الكرسي بشكل لا يؤثر على متانه المنتج ليؤدي وظيفته بشكل مناسب، أضاف ذلك شكلاً مميزاً للتصميم دون المساس بالأداء أو قوة واستقرار المنتج في ظل توفير أكثر في خامته (حوالي 54%)، ومن خلال تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد تبين أن الوقت المستغرق لطباعة المقعد في حالته المصممة: 497 دقيقة / وزنه 78.2 جرام ، في حالته الفوريونوي: 575 دقيقة / وزنه 43 جرام.

المصدر: Lobos, Alex (2019) Applying Generative: Systems to Product Design. Generative Art Conference,p51

النتائج: Results

1- المنتجات المعاصرة ذات صياغات شكلية معقدة وغير مألوفة منها ما هو مستلهم من الطبيعة ، ساعد على انتشارها التطور الهائل في برامج النمذجة الرقمية للتصميم البارامتري

بالإضافة إلى الشكل المميز لأشكال فوريونوي، فإنها تقدم أشكالاً أقوى وأخف وزناً من مثيلاتها من الأشكال الصلبة وذلك بتحويل الأشكال الصلبة إلى شبكات عن طريق إزالة مساحات من السطح لا تؤثر على متانتها وباستخدام تقنية التصنيع بالإضافة (الطباعة ثلاثية الأبعاد) يمكن أن يقلل ذلك في الخامة المستخدمة بشكل كبير، كما هو موضح بشكل (18) (مرجع 12، ص 51)



شكل (18) يوضح تصميم لمقعد جمع في هيكله بين أسطح مصممه و أخرى مفرغة بأشكال فوريونوي، حيث تم توزيع الأجزاء المفرغة

المنتجات من حيث مفرداتها وسماتها والفكر التصميمي الكامن وراءها وآلية بنائها باستخدام برامج النمذجة الرقمية، سواء على مستوى تعليم التصميم أو على مستوى مهنة التصميم.

المراجع: References

- 1- إبراهيم، أمنية بهاء (2021) هندسة الفراكتال كمصدر للإبداع الشكلي في التصميم الداخلي، مجلة علوم التصميم والفنون التطبيقية، المجلد 2، العدد 2، يونيو 2021.
- 2- إبراهيم، أمنية محمد، هاشم، علا على، إبراهيم، أشرف حسين (2022) دور التوجهات الفكرية الرقمية في تطوير التصميم الداخلي المعاصر، مجلة علوم التصميم والفنون التطبيقية، المجلد 4، عدد 1، يناير 2023.
- 3- الدجوى، جيهان إبراهيم (2018)، ابتكار اثاث معاصر مستوحى من المحاكاة البنوية لانماط الهندسة الكسرية، المؤتمر العلمي الخامس لكلية الفنون التطبيقية- جامعه حلوان (من البحث العلمي إلى التطبيق العملي)
- 4- الشيزاوي، ليلي (2021) هندسة الفراكتال، بحث منشور البرنامج التدريبي لرفع كفاءة العلمية في الهندسة لمعلمي الرياضيات، سلطنة عمان، أكتوبر 2021
- 5- الصعدي، اسلام مجدي طاهر، محمد، أسامة يوسف محمد، راشد، أحمد يحيى عبدالرحمن (2019) التصميم البارامتري كمدخل لإستلهاام الطبيعة في تصميم المنتجات، pdf <https://www.researchgate.net/publication/333704412>
- 6- النواوي، أبو بكر صالح، عباس، شيماء سمير عبدالمنعم، منجي، ياسر إبراهيم محمد، وإبراهيم، نسرین يوسف (2021) إستحداث تراكيب للزخرفة الهندسية الإسلامية باستخدام التصميم البارامتري. مجلة التراث والتصميم، مجلد 1، عدد 3
- 7- بهلول، وائل صلاح الدين (2014) تأثير الثورة الرقمية على مجال الوظيفة والتشكيل المعماري، مجلة البحوث الحضرية (كلية التخطيط العمراني- جامعة القاهرة) العدد 12، إبريل 2014.
- 8- رمضان، مها السيد محمد (2018) الطوبولوجي كاتجاه للإبداع والابتكار في العملية التصميمية، مجلد 3، العدد 9، يناير 2018.
- 9- صبح، هشام احمد محمد، سنطباي، وليد محمد إبراهيم (2018) برامجيات وتقنيات التصميم الرقمي كعامل مشارك في العملية التصميمية، مجلة جامعه الأزهر، كلية الهندسة، المجلد 13، العدد 47، إبريل 2018 .
- 10- علي، محمد زكريا محمد (2014) التحليل الرقمي للنظم الحيوية كمدخل لتصميم الأسقف المعدنية المرنة للمنشآت المستدامة، رساله دكتوراه، كلية الفنون التطبيقية- جامعه حلوان.
- 11- هلال، نرمين احمد صبري (2018) انعكاس تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد على الاتجاه الرقمي فى التصميم الداخلى والأثاث، المؤتمر الدولي الخامس كلية الفنون التطبيقية – جامعه حلوان (من البحث العلمي الي التطبيق العملي)
- 12- Hg. J& Burry. M, (2016), The New Mathematics Of Architecture. Thames & Hudson, London, p271.
- 13- Lobos, Alex (2019) Applying Generative Systems to Product Design. Generative Art Conference, p51.
- McLean. A , (2006), Voronoi diagrams of music. 1-16 p . retrieved December 14,2020 from

وتقنيات الإنتاج والخامات المستحدثة.

- 2- في إطار جدلية تبعية الشكل في تصميم المنتجات، ساد في العصر الحالي شعار "الشكل يتبع التقنية"، فلقد أحدثت التكنولوجيا الرقمية طفرة في أشكال المنتجات، حيث وجد المصمم الأدوات التي تمكنه من تمثيل أفكاره التصميمية مهما بلغت درجة تعقيد الشكل.
- 3- تبين أهمية التصميم البارامتري خلال المراحل المختلفة لعملية تصميم المنتجات بداية من مرحلة وضع الأفكار التصميمية من خلال توليد العشرات من الحلول التصميمية ذات الأشكال المعقدة مع إمكانية معاينتها والتعديل فيها بخطوات بسيطة من خلال التحكم في قيم متغيرات المدخلات التصميمية وانتهاءً بمرحلة التنفيذ والإنتاج من خلال بعض المكونات الإضافية لبرامج النمذجة الرقمية ثلاثية الأبعاد.
- 4- تدعم برامج النمذجة الرقمية للتصميم البارامتري الجانب الإبداعي للمصمم من خلال محاكاته لأشكال الطبيعة ذات البنية المعقدة بخطوات بسيطة من خلال استخدام بعض الخوارزميات التصميمية لبعض نظريات محاكاة الأشكال الطبيعية كنظرية هندسة الفراكتال ونظريه فوروبوني.....
- 5- تتميز الأشكال البارامتريية بسمات شكلية جديدة مغايرة تماما لسمات الأشكال الهندسية التقليدية، مثل كونها أشكال معقدة، أشكال طوبولوجية، أشكال ديناميكية توحى بالحركة، أشكال فوضوية لا تخضع لشبكات تصميمية ولا لتوحيد قياسي.
- 6- إن أشكال الهندسة الكسرية (هندسة الطبيعة) هي أحد الأنماط الشكلية للمنتجات التي ازدهرت في ظل الثورة الرقمية المعاصرة، فهندسة الفراكتال هي أحد الخوارزميات التي تعتمد عليها برامج التصميم البارامتري وذلك لتقنين أشكال المنتجات المستلهمة من الطبيعة بشكل سهل ومقنن بخطوات محددة.
- 7- تُستخدم مخططات فوروبوني بشكل شائع في تصميم المنتجات استلهاماً من التقسيم الموجود في الأشكال الطبيعية، وذلك بفضل توافر البرامج الحديثة للتصميم البارامتري لتوليد تلك الأشكال واختيار أفضل البدائل الشكلية والحلول الإنشائية وذلك بتطبيق خوارزمية فوروبوني التي تستخدم الهندسة الحسابية لتوليد تلك الاشكال.
- 8- تُقدم أشكال فوروبوني بالإضافة إلى شكلها المميز، أشكالاً أقوى وأخف وزناً من مثيلاتها من الأشكال الغير مفرغة، وذلك بإزالة مساحات من السطح (على شكل مخططات فوروبوني) بحيث لا يؤثر ذلك على متانتها وباستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد يمكن أن يقلل ذلك في الخامة المستخدمة بشكل كبير قد يصل لـ 50%.
- 9- أصبحت برامج النمذجة الرقمية ثلاثية الأبعاد للتصميم البارامتري أحد أدوات الإبداع الحديثة التي يعتمد عليها المصمم في عملية تصميم المنتجات، فلقد تغيرت بشكل جذري طرق وأساليب التصميم فأصبحت تلك البرامج عامل أساسي يشارك في العملية التصميمية.

التوصيات: Recommendation

- 1- ضرورة إلمام المصمم بكل ما جديد فيما يخص الطرق والأساليب والأدوات المستخدمة في عمليات تصميم وإنتاج المنتجات والاستفادة من ذلك في تطوير منتجات التخصص.
- 2- ضرورة تدريب الطلاب على استخدام برامج النمذجة الرقمية في تصميم المنتجات، وكذلك على استخدام أساليب الإنتاج الحديثة للمنتجات التخصص كالتباعة ثلاثية الأبعاد والقطع بالليزر وذلك بتزويد معامل الحاسب الخاصة بالقسم والكلية بتلك البرامج والمكينات وذلك لإعدادهم بشكل تنافسي يناسب سوق العمل المعاصر.
- 3- أهمية دراسة الاشكال الرقمية المعاصرة في تصميم

- 20- https://www.1stdibs.com/furniture/storage-case-pieces/bookcases/geometric-fractal-bookshelf-made-solid-teakwood/id-f_14664882 (Access28 /1 2024)
- 21- <https://bentrubewriter.com/2012/04/25/fractal-s-you-can-draw-the-dragon-curve-or-the-jurassic-fractal> (Access29 /1 2024)
- 22- <https://www.amazon.com/gp/product/B08TRLB9W3> (Access29 /1 2024)
- 23- <https://www.cadnav.com/software/view-46041.html> (Access30 /1 2024)
- 24- https://www.researchgate.net/publication/267249603_Overall_elastic_properties_of_polysilicon_films_A_statistical_investigation_of_the_effects_of_polycrystal_morphology (Access30 /1 2024)
- 25- https://www.researchgate.net/figure/Grasshopper-construction-of-2d-Voronoi-Diagrams-process-diagram_fig10_353948399 (Access31 /1 2024)
- 26- <https://www.homecrux.com/eestairs-cells-balustrades-mimic-patterns-voronoi-diagrams/6> (Access31 /1 2024)
- <http://doc.gold.ac.uk/~ma503am/essays/voronoi/voronoi-diagrams-of-music.pdf>.
- 14- Sarah Merhej,(2017),Voronoi diagrams , Al-Baath University Journal , Volume 39,Issue 7.
- 15- Taha ,Randa Ismail (2021),The Concept of "Voronoi Diagram"and its impact on the formation of Scenic Design, International Design Journal, Volume 11, Issue 2
- 16- Wiesław Rokicki, Ewelina Gawell ,(2016) Voronoi diagrams rod structure research models in architectural and structural optimization, MAZOWSZE Studia Regionalne nr 19/2016, P 15
- 17- <http://www.arch2o.com/10-parametric-plugins-every-architect-should-know> (Access20 /1 2024)
- 18- <http://www.swws.net/wp4/project/benchmark-model-c-at-spuiplein-the-hague-nl/7>(Access20 /1 2024)
- 19- <https://www.pinterest.com/pin/494481234100458544>(Access25 /1 2024)
https://ar.wikipedia.org/مجموعة_ماندليرو (Access25 /1 2024)