# استراتيجية الفكر التصميمي الرقمى للعمارة الداخلية بإسلوب الفركتال

د. دينا طارق كمال الدين عادلى
مصمم حر
Dina.adlyyy@gmail.com

المستخلص:

تعد الطبيعة مصدر إلهام للفنان والمصمم وكذلك لمجال التصميم لما تتضمن من عدد لا نهائى من عناصر التصميم التى تتسم بالتغير الدائم والمستمر فى مظهرها الشكلي فالإنسان بطبعه يميل إلى النظام والترتيب، وظهرت عدة نظريات مثل( الفركتال ) من خلال العلاقة الهندسية والرياضية بين عناصر البيئة، فالتنظيم الهندسي والتشكل الذاتى فى الطبيعة يتبع نظام الفراغ، النمو، الإتساع والعلاقات بين الأشكال الموجودة، كما يعكس أيضًا نظامًا متكاملًا يستخلص منه المصمم ليعبر عنه برؤيته الخاصة حيث أن له طاقة متعددة الأشكال ومتنوعة ، فيستخدم المصمم قدراته الإبتكارية المتنوعة فى تفهم العلاقات المختلفة من الظواهر الكونية الموجودة حوله.

البحث يلقى الضوء على اسلوب الفركتال وهو إحدى طرق التصميم فيعرض بعض المفاهيم و الأفكار في محاولة لاستكشاف أسس التصميم بتطبيق احد فروع الرياضيات في مجالات التصميم المختلفة، و هي الهندسة الكسيرية ، يتم عرض تعريفات و تاريخ و خصائص و تصنيف الفركتال ثم نتطرق لبعض الأمثلة التوضيحية للفركتال في الطبيعية ثم عرض بعض النماذج المعمارية لتوضيح فكر الفركتال ثم التعرض لبعض الأمثلة و النماذج في التصميم الداخلي المعتمدة على الفكر ذاته بإستخدام التكنولوجيا الرقمية .

**الكلمات المفتاحية:**

فركتال ؛ الهندسة الكسرية ؛ التصميم الرقمى ؛ العمارة الداخلية؛ التشابه الذاتى.

تاريخ استلام البحث: 2021/9/23 تاريخ إجازة البحث: 2021/10/7

**تمهيد :**

لقد كان لعلم هندسة الفركتال الفضل فى الوصف المنهجى للنظم الطبيعية التى تتكون من الأنظمة المعقدة ذات التفاصيل التى لا يمكن حصرها إلا من خلال تفهم ديناميكية العلاقة بينهما فى النظام الأكبر الذى يحتويها بالكامل و يفحص النظام الكلى بأكمله يمكن عندئذ التعرف على طبيعة الأنماط و النسق ، وهندسة الفركتال يمكن أن تلعب دورا كبيرا فى تطوير اشكال جديدة تضاف لجماليات التصميم الداخلى . والطبيعة هى الدافع الإنسانى للتقدم فى العديد من المجالات والدراسات و العلوم المختفة التى من خلالها رصد العلماء انماط منتظمة و تكرارية طبيعية تحكم الكون عبر الزمان ، وأصبح هناك قوانين مطلقة لديهم، ومع التطور فى نظم الحاسب الالى والبرمجيات و التقنيات التكنولوجية تنبه الانسان لوجود أنماط لا نظامية دون وجود استنتاجات علمية ، مما دفع العلماء إلى دراسة هذه الأنماط والتى تعد من أحدث النظريات الرياضية الفيزيائية التى تتعامل مع الأنظمة التى تبدى نوعا من السلوك اللانظامى محاولة وضع قواعد لدراسة مثل هذه النظم . واستهدفت الدراسة دراسة هندسة الفركتال من أجل الوصول إلى نظرة منهجية يمكن تفعيلها على مستوى التطبيق و الممارسة فى مجال تصميم العمارة الداخلية واستخدامها فى تنمية الحس المكانى و الحدسي بالتكوين ثلاثى الأبعاد و التصميم الخوارزمى و الديناميكى لدى المصمم الداخلى .

**هدف البحث:**

- تفعيل صياغة بنائية لا نهائية التكرار مبنية على معايير و خصائص الهندسة الكسرية (الفركتال) .

- إنتقال العملية التصميمية من مرحلة التفكير التقليدى الى مرحلة التجريب و الابداع .

- الاستفاده من أشكال هندسة الفركتال و إمكانياتها التشكيلية فى إيجاد حلول إبتكارية فى تصميم العمارة الداخلية بشكل يمتاز بالحداثة و المعاصرة .

**أهمية البحث :**

- المساهمة فى الإستفادة من النتائج العلمية لنظرية الفركتال ودورها فى العمارة الداخلية .

- طرح رؤية مبتكرة و فكر مستحدث و فتح آفاق جديدة من خلال التجريب بإستخدام بعض

برامج الكومبيوتر فيما يخص هندسة الفركتال للتوصل إلى بدائل و حلول تصميمية غير تقليدية فى مجال العمارة الداخلية .

**مجال البحث :**

التصميم الرقمى ، العمارة الداخلية.

**منهج البحث :**

تعتمد الدراسة على المنهج الوصفى و التحليلى للفكر و المفهوم التصميمى للهندسة الكسرية ( الفركتال ) و إيجاد حلول تصميمية معاصرة لتصميم العمارة الداخلية.

**نشأه وماهية الهندسة الكسرية:**

يمكن تعريف هندسة الفركتال على أنها تلك التراكيب الهندسية في الأشياء الطبيعية ، وهذه التراكيب لها خصائص تميزها عن غيرها من الأبعاد الهندسية ، وهي بذلك ترتبط ببحث الكسوريات الصغيرة بل المتناهية في الصغر المكونة لتلك الأشياء في الطبيعية وقد أصبحت الفركتالات جزءاً من الرياضيات، بالإَضافة إلى تقديمها إمكانية تكوين الأشكال والصور بشكل جذاب وجميل فإنها أيضاً تقدم لنا إطاراً نظرياً لتطوير موضوعات أخرى، مثل تمثيل الظواهر الطبيعية كنمو الخلايا البكتيرية أو نمذجة الأشياء مثل النباتات وغيرها.

**خصائص الهندسة الفركتالية Properties of fractal geometry**

لعل أكثر خواص الكسيريات ( الفركتالات ) إثارة هي لانظاميتها بشكل عام من حيث الشكل ، ولهذا فهي ليست نمطا من الأغراض القابلة للتعريف بالهندسة التقليدية، إن هذا يعني أن الفركتالات تسير باتجاه إعطاء تفاصيل مرئية جديدة باستخدام المقاييس المختلفة، ففي حالة التشابه الذاتي، عند تكبير الفركتلات نحصل على صور مماثلة للاصل ، فأي شكل إقليدي كالدائرة على سبيل المثال، يبدو أكثر تسطحا بزيادة التكبير، وعندما يصبح التكبير لانهائيا يصبح من المستحيل التمييز فيما إذا كان أصل الشكل دائرة أو خط مستقيم، تنعدم هذه الخاصة في الفركتالات .فالفكرة التقليدية للمنحني والتي تبين تغير نصف قطر الدائرة بالتقريب يصبح من المستحيل اعتمادها لغياب القياس ، في حين أن زيادة تكبير الفركتالات يظهر تفاصيل كانت غائبة سابقا .مثلما تظهر العديد من الصفات المميزة الخاصة

بالفركتالات، يتعذر بشكل ملحوظ إجمالها في تعريف رياضي صريح ودقيق. تتميز الفركتالات بعدة خصائص أساسية. Harris ,James .(2012)

**شكل( 1 )**

**يوضح اهم خصائص الفركتال**

**التشابه الذاتي Self-Similarity**

يعد التشابه الذاتي أحد الخصائص الأساسية لأشكال الفركتال، والتي تعني أن الشكل يمكن تقسيمه إلى اجزاء كل جزء هو نسخة تقريبية للشكل الكلي، ولكن بمقاييس مختلفة، بمعنى أنه إذا أخذنا جزءاً من الاجزاء التى تتكون منها شكل الفركتال وقمنا بتكبيره عدة مرات فإننا سنحصل في النهاية على الشكل الأصلي.( LORDICK D. (2009

**شكل( 2 )**

**نموذج يوضح فكر الفركتال فيظهر الشكل مقسم إلى أجزاء كل منه يبدو مماثلا للاصل**

**البعد-الفركتالي Fractal-Dimension**

يمكن تعريف الفركتال بأنه ذلك الشكل الذي بعده الفركتالي أكبر من بعده الطوبولوجي ،

وذلك البعد يدل على مدى تعرجات (تعقد) الشكل، وكلما زاد تعقد الشكل كلما زاد البعد الفركتالي له، ويسمى البعد الفركتالي بالبعد الكسري وهو ما يختلف عما اعتاد عليه الرياضيين؛ فالبعد دائماً عدد صحيح موجب فالنقطة ليس لها أبعاد، والمستقيم له بعد واحد، والمستوى له بعدان، والفراغ له ثلاثة أبعاد وهكذا.

**قابلية التوسع اللانهائية Infinite Scalability**

تمتلك المنحنيات الفركتالية اشكال ذات أطوال معرفة بين نقطتين لا اكثر، ولكنها تحتوي على تفاصيل لا حصر لها من النقاط الموجودة على حدودها، لذلك لا يمكن قياس طول هذه المنحنيات فكلما اقتربنا منها اكثر تبدو أطول والشكل النهائي يحتوي بداخله تفاصيل مصغره منه ككل ذات عدد لا نهائي من المقاييس (عند التصغير).

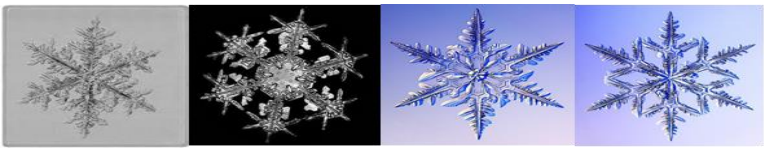
**قاعدة الإحلال Replacement Rule**

ترتبط نظرية الفركتال بهندسة التكرارات، حيث يكرر الشكل الهندسي وفق قاعدة رياضية محددة فيكون الشكل المكرر هو صورة من الشكل الأصلي وفقا لخصائص القاعدة المطبقة، فعند انشاء شكل محدد من خلال أستخدام تلك النظرية من الممكن أن يحل جزء مكان الآخر، فتكون النتيجة الحصول علي أشكال لانهائية من الفركتال تكون أكثر تعقيدا عن سابقتها، ولكنها تملأ نفس الفراغ الأصلي.

**النظم البنائية فى الطبيعة Structural systems in nature**

من الممكن مصادفة أشباه الكسيريات بكثرة في الطبيعة. و تظهر هذه الكائنات ببنية معقدة على إمتداد تكبير لا نهائى. هذه الكسيريات التي تتولد طبيعيا مثل ( الغيوم والجبال وشبكات الأنهار وأنظمة الأوعية الدموية) لديها حدود ، ولكنها تتميز عن بعضها بمقاييس تكبير مختلفة.

و يتم تشكيل هذه الأنماط كلها عن طريق تكرار عملية متفرعة تبدأ بسيطة ثم تتدرج في التعقيد شيئاً فشيئا . و الفركتال صورة تحكي قصة العملية التي خلقته و أنتجته.. (هيبة ، إسلام محمد السيد ،2007 )



شكل( 3 )

يوضح بلورات الثلج المتشبعة التشكيل

شكل( 4 )

يوضح صور مجمعة للكسيريات الطبيعية Natural Fractals

شكل ( 5 )

تلخيص لأهم الإحداث الرياضية في تاريخ الهندسة الكسرية

**استخدام الفركتال على مر العصور:**

**شكل ( 6 )**

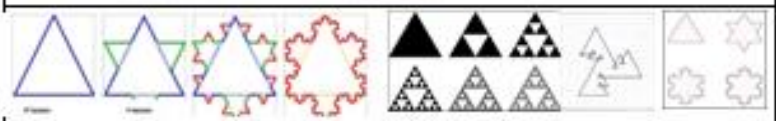
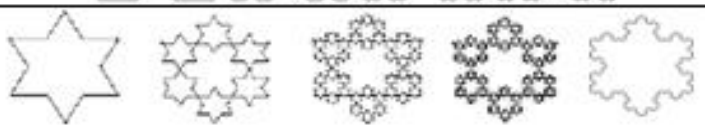
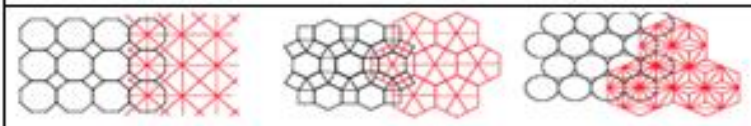
**استخدام الأشكال الفركتالية في العمارة اليونانية والرومانية**

**شكل ( 7 )**

**استخدام الأشكال الفركتالية في عمارة العصور الوسطى**

**شكل ( 8 )**

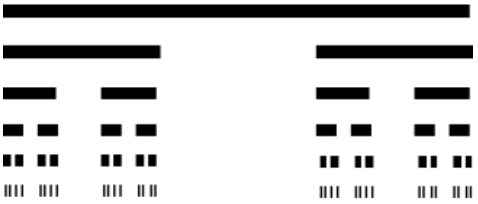
**استخدام الأشكال الفركتالية في العمارة الإسلامية**

| اسم الشكل الهندسى | جدول ( ١ )<br>أشكال الفركتال المستوحاه من الأشكال الهندسية |
|---|---|
| المربع | |
| المستطيل | |
| المثلث |  |
| النجمة الرباعية | |
| النجمة السداسية |  |
| الدائرة السدامى الثمانى |  |
| رأس السهم | |
| الشكل الهرمى | |

**طرق توليد الفركتالات: Methods for generating fractals**

**مجموعة كانتور للغبار: Cantor Set**

أطلق عليها هذا الاسم نسبة الي"جورج كانتور" عالم الرياضيات الشهير، ساهم "كانتور" من خلال نظرياته في تقديم مجموعة من الحلول والتفسيرات الرياضية لمجموعة صيغ في "الهندسة الكسيرية" والتي أشتهرت فيما بعد ب "مجموعة كانتور"، اطلق عليها مجموعة ثلاثية كونتور، وتعتبر نموذج اولي يعتمد فكرة التوالد في التكرار الشكلي المعتمد علي استبعاد الثلث الأوسط للقطعة المستقيمة في كل تكرار مرحلي والذي يبدأ بخط مستقيم بطول معين، ثم يستبدل بخطين جديدين طول كل منهما ثلث الخط الأول ، ثم يستبدل كل من الخطين بأخرين جديدين وهكذا.. .



**شكل( 9 )**

**مجموعة خطوط كانتور**

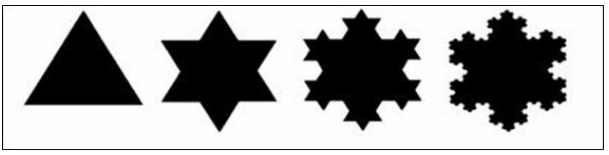
جبر ، ولاء جهاد.( 2015 )

**خطوات توليده بالتكرار المرحلي:**

- رسم قطعة مستقيمة بطول مناسب.
- تثليث هذه القطعة ثم نزع الثلث الأوسط من تلك القطعة للوصول إلى التكرار الأول.
- تثليث كل قطعة من القطعتين الناتجتين ونزع من كل قطعة الثلث الأوسط للوصول إلى التكرار الثاني، وهكذا بالتكرار المرحلي حتى اللانهاية نصل إلى مجموعة من النقط أو الغبار بدلا من القطع المستقيمة ليس لها طول.

**منحنى كوخ لرقائق الثلج: Koch snow flake curve**

أطلق عليها هذا الاسم العالم السويدي فون كوخ (1904م)، والشكل التالي يوضح منحنى كوخ



**شكل( 10 )**

**يوضح تطبيق توليد الاشكال بطريقة منحنى كوخ على كل ضلع من أضلاع مثلث متساوي الأضلاع**

**خطوات توليده بالتكرار المرحلي:**

- نبدأ بقطعة مستقيمة.

- نستبدل الثلث الأوسط بضلعي مثلث متساوي الساقين مساوي لهذا الثلث مكوناً شكل من أربع قطع مستقيمة وهو التكرار المرحلي الأول ويسمى بالمنحنى المولد.

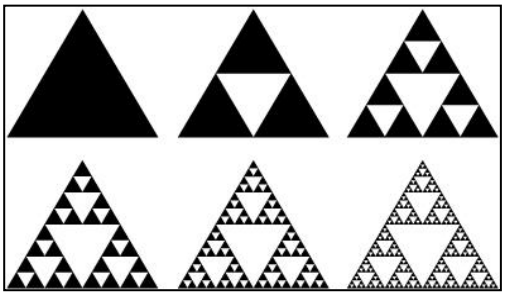
- نستخدم المكون السابق لإنشاء التكرار الثاني واستبدال الثلث الأوسط لكل قطعة مستقيمة بمثلث متساوي الساقين، نكرر ما سبق في كل التكرارات بتطبيق المولد السابق على كل ضلع من أضلاع مثلث متساوي الأضلاع فأننا نحصل على التكرارات.

**مجموعه سيربينسكي: Sierpiniski Group**

سميت بهذا الاسم نسبة الي" واكلاو سيربينسكي " Waclaw Sierpiniski1969 – 1872 م ، وهو عالم رياضيات بولندي، قدم الكثير من الابحاث والكتب المنشورة في علم الرياضيات، وفي عام 1916 م. قدم مثلثه الشهير ، وبعد عام قدم بساط سيربينسكي الشهيرة، وتتمثل مجموعة سيربينسكي في التالي: جبر ، ولاء جهاد.( 2015 )

**مثلث سيربينسكي Sierpiniski Triangle**

هو مثلث كسيري متشابه ذاتيا، يقوم علي رسم مثلث متساوي الأضلاع ينقسم علي ذاته تكراريا بحيث يتماثل الجزء من الكل، ونتيجة الإنقسامات المتتالية تكون انقسامات متناهية في الصغر والي مالا نهاية. حيث يبدأ بمثلث متساوي الأضلاع ، ثم يقسم الي أربعة مثلثات متساوية الأضلاع متطابقة صغيرة مع أزاله المثلث المركزي وتكرار الخطوات مع كل ما تبقي من مثلثات أصغر والاستمرار في التكرار ينشأ " مثلث سيربينسكي"انظر الشكل 11 ".



**شكل ( 11 )**

**يوضح شكل مثلث سيربينسكي**

**خطوات توليده بالتكرار المرحلي:**

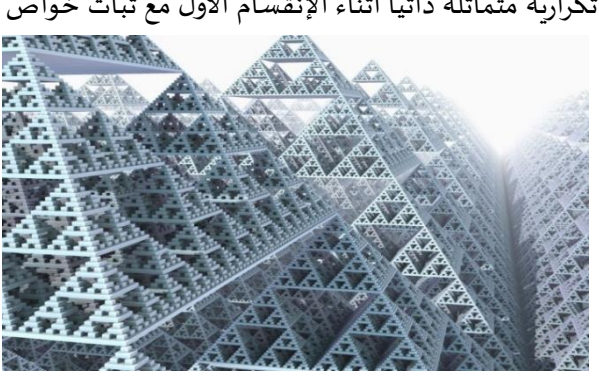
-نبدأ بمثلث متساوي الأضلاع بطول ضلع مناسب.

-نصل منتصفات الأضلاع ثم ننزع المثلث من المنتصف فنصل إلى التكرار الأول.

- تكرار نفس العملية على المثلثات الثلاثة ونوع المثلث الأوسط ، وعند التكرارات اللانهائية نصل إلى شكل متشابه ذاتياًعلى كل المقاييس ( اللانهائية في الصغر ) الذي يكاد يخلو شيئاً فشيئاً من مثلثاته الجزئية الداخلية.

**هرم سيربينسكي رباعي الأسطح Sierpiniski Tetrahedron**

الهرم الرباعي الأسطح هو هيئة ثلاثية الأبعاد متماثلة من مثلث "سكيربينسكي" –ثنائي الأبعاد، احادي السطح ، ويمكن تطبيق الهيئة التكرارية للهرم الأكبر علي قاعدة الشكل الهرمي، فينشأ لدينا خمس هيئات تكرارية متماثلة ذاتياً أثناء الإنقسام الأول مع ثبات خواص المساحة الإجمالية للشكل الهرمي لدي كل انقسام، انظر الشكل 12 .(رضوان ، أحمد كمال الدين.)



**شكل ( 12 )**

**يوضح هرم سيربينسكي رباعي الأسطح**

**بساط سيربينسكيSierpiniski Carpet**

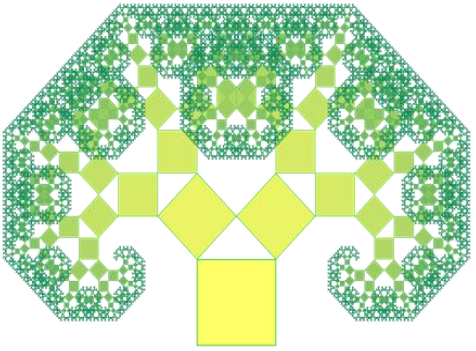
هي صيغة هندسية كسيرية ذات تشابه ذاتي متكرر، وتُطبق هذه الصيغة علي المربع ، حيث تنشأ بإستخدام شبكة هندسية مربعة بحيث يقسم المربع طولياً وعرضياً لثلاثة مربعات متساوية يتم ازالة المربع الأوسط ثم تتوالي عمليات الأنقسام الذاتي، انظر الشكل 13.

**شكل ( 13 )**

**يوضح بساط سيربينسكي Sierpiniski Carpet**

**فركتال شجرة فيثاغورس: The fractal of the Pythagorean tree**

يسمي فركتال الشجرة بهذا الاسم نسبة إلى العالم الرياضي فيثاغورس، وذلك لأن كل ثلاثة مربعات متماسكة تكون مثلث قائم الزاوية وهو شكل يستخدم عادة في إثبات نظرية فيثاغورس.



شكل ( 14 )

يوضح تكوين فركتال شجرة فيثاغورس

**<u>خطوات توليده بالتكرار المرحلي</u>**

-نبدأ برسم مربع.

- ننشئ مثلث قائم الزاوية متساوي الساقين على أحد أضلاع المربع.
- ننشئ مربعين على كل ضلع من أضلاع القائمة لنحصل على التكرار الأول
- نكرر الخطوات السابقة عدة مرات وصولا لشكل الشجره السابق ، وخصائص هذا الفراكتال نلاحظ التشابه الذاتي، ومساحة الشجرة تنمو في حدود لا نهائية. (الشيمى، مها على).

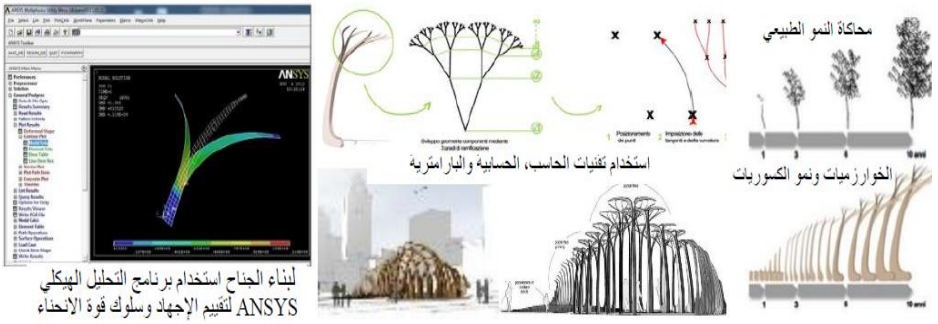
**البرامج والنظم الرقمية المعاصرة لتوليد التصميم الفركتالى:**

كما ذكرنا من قبل إن ماندلبروت فتح طريق الهندسة الفركتالية كلغة جديدة لوصف أشكال الطبيعة المعقدة. في حين أن عناصر الهندسة (خطوط ودوائر ، مثلثات ،...) يمكن عرضها بسهولة ، أما اللغة الجديدة فهي بحاجة لخوارزميات ، ومعادلات بسيطة متكررة، لعدة مرات

لإظهار صورة الفركتال، فالكمبيوتر يستخدم كأداه مساعدة و ليس كبديل للمصمم. فظهرت أهمية الاستعانة بالتصميم الرقمي ، و كيفية استخدام التكنولوجيا الرقمية في تحليل و استلهام مبادئ الهندسة الكسيرية .

من أشهر البرامج والتطبيقات الرقمية المساعدة لانتاج أشكال التصميم الفركتالى في العصر الحالي برنامج ديناموDynamo المتضمن في الريفيت Revit، أحد تطبيقات تقنية ال BIM ، وبرنامج جراسهوبر Grasshopper المتضمن في الراينوRhinoceros .

ويتم توليد الهيكل الفركتالى إما عن طريق تنميته بشكل متكرر من بنية وحدة، أوإنشاء انقسامات في الوحدات الأصغر حجمًا من الشكل المبدئي، مثل مثلث سيربينسكي، وتُعد الأدوات الرقمية في العصر الحالي؛ الآداة التوليدية لاستخراج الشكل وتحوليه باستخدام معادلات رياضية تحكم البناء الإنشائي له، وتُمكن المعماري من إمكانية الحصول على بدائل تشكيلية عديدة للوصول إلى التصميم الأمثل، ويوضح شكل( 15 ) أهم النظريات والنظم الرقمية باستخدام برنامج جراسهوبرGrasshopper لتوليد الكسوريات مع بيان أشكال الأكواد التي يتم من خلالها تكوين النمط، والتي تعتمد في تَشَكُّلها على الخوارزميات للوصول إلى المنتج النهائي للشكل( المخرجات )من البيانات المعطاة( المدخلات) .(عسل،2015 )




**شكل ( 15 )**

**يوضح الهندسة الفركتالية كنمط بنائي لتصميم تنسيق الموقع، جناحMadeExpo ،**
**بإستخدام البرامج الرقمية الحديثة** (Architecture, 2013 )

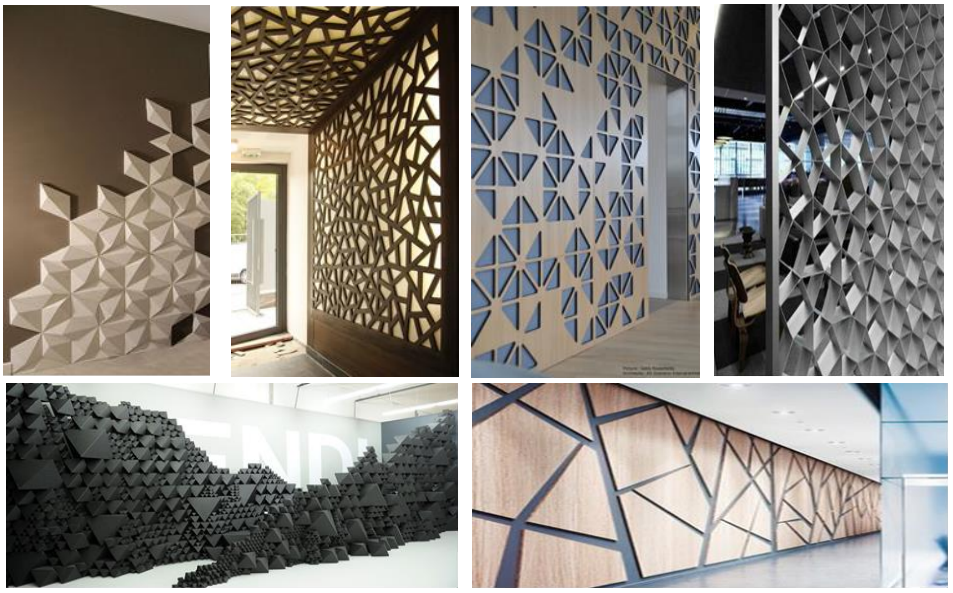
عرض لنماذج تطبيقية على استخدام الفكر الكسيري في العمارة الداخلية ووحدات الأثاث المختلفة المعتمدة على التكنولوجيا الرقمية في التصميم والتنفيذ :

العناصر المحددة للحيز الداخلى:

شكل ( 16 )

يوضح ارضية كنيسة سان كليمنت San Clemente ، والمصنوعة من فسيفساء الرخام وفقا لمثلثات سيربينسكي Sierpinski الفركتالية .( Conversano , Elisa. 2011 )

شكل ( 17 )

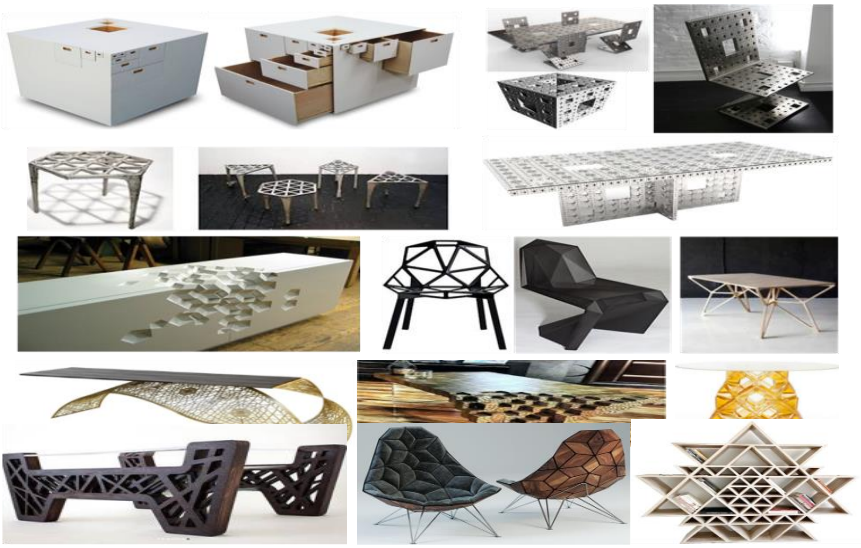


يوضح خصائص الشكل الفركتالي والتشابه الذاتى حيث الإنتشار بارتكاز الشكل التصميي على مراكز أو محاور لتحقيق علاقات بين بعضها البعض ، وبين البعض والكل Thames & Hudson.( 2008 )

شكل ( 18 )

يوضح السقف المكون من اشكال هندسية غير منتظمة واستخدام التشابه الذاتي كإحدى خصائص الفركتال فى معالجة الاسقف

عناصر تأثيث الحيز الداخلى:



شكل( 19 )

يوضح مجموعة من وحدات الاثاث ذات الهياكل الفركتالية المعاصرة باستخدام المثلثات الكسيرية و ايضا استخدم سجادة Sierpinski

العناصر المكملة للحيز الداخلى:

شكل ( 20 )

لقطات تظهر تصميم وحدات الإضاءة المستوحاة من عناصر الطبيعة التي تعتمد على التكرار البسيط في تشكيلها بطريقة فركتالية و المرايا المشكلة من المثلثات الكسرية(Salan, N. (2007

**شكل ( 21 )**

**وحدة الاضاءة الخطية الحديثة ذات التصميم الكسيرى كيفية توظيفها في الفراغ الداخلي**

**نتائج البحث :**

1- تقدم النظريات العلمية حلولا جديدة للبنية التصميمية للهندسة الكسرية من خلال تتبع البنية الخارجية للعناصر في الطبيعة والتي تقدم للمصمم إمكانيات التخيل اللانهائي مما يوسع مدارك المصمم الفنية لمواكبة مستجدات العصر .

2- يقدم لنا الفركتال أشكالا ذات قيمة جمالية كبيرة و ترتبط بشكل مباشر في كيفية تنظيم العالم من حولنا، فهي تفجر طاقات الإبداع والخيال عند الباحثين و المصممين، لما لها من أهمية كبيرة في إثراء وتنمية التفكير و الإبداع. ودورها من خلال تطبيقاتها المختلفة في شتى المجالات لا سيما التصميم.

3- في السنوات الأخيرة، تم تطبيق الطريقة العلمية في التفكير التحليلي للعثور على القوانين الأساسية للتصميم و العمارة ، وتظهر النتائج أن المبنى أو المدينة، يخضع لنفس القوانين التنظيمية لأي كائن بيولوجي أو لأي برنامج كمبيوتر معقد.

# المراجع


**1-** الشيمى، مها على. " صياغات مستحدثة للمنسوجة اليدوية قائمة على الدائرة كأساس تشكيلى فى ضوء مفهوم نظرية الفركتال " – بحث منشور.

2- جبر ، ولاء جهاد.( 2015 ) . "فاعلية برنامج مقترح في هندسة الفراكتال في تنمية القدرة المكانية والأداء التدريسي لدي معلمي الرياضيات للمرحلة الأساسية العليا في محافظة نابلس"- رسالة ماجستير منشورة - جامعة النجاح الوطنية - نابلس - فلسطين- ص 1.

3- رضوان ، أحمد كمال الدين . "فلسفة نظرية الفوضى وأثرها علي التصميم الداخلي"، رسالة دكتوراة منشورة، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان،ص 212.

4- عسل، محمد سيد علي . ( 2015 ). الفراكتالات والخوارزميات الرياضية كمدخل لاثراء فنون الجرافيك الرقمية. المؤتمر الدولي الاول للفنون التشكيلية وخدمة المجتمع، 17 - 19 فبراير 2015 . الأقصر، مصر: كلية الفنون الجميلة، جامعة جنوب الوادي.

5- هيبة ، إسلام محمد السيد . ( 2007 ) . "تحليل المنظومات الرقمية المؤسسة للتصميمات الزخرفية المعاصرة كمنطق لبناء اللوحة الزخرفية"، رسالة دكنوراة منشورة ، كلية التربية الفنية، جامعة حلوان، ص 86.

6- Architecture, Fractal & Nature (2013). Posts tagged ‘Nature’.

7- Conversano , Elisa.( 2011 ) . “SIERPINSKY TRIANGLES IN STONE, ON MEDIEVAL FLOORS IN ROME” - Journal of Applied Mathematics.

8- Ebold , Patrice S_e_(2014 ).” Tag-systems for the Hilbert curve”,journal of automata,language and combinatorics, published in "Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science,v.1, ,p.215-217.

9- Harris ,James .(2012) . “fractal architecture organic design philosophy in theory and practice”. university of New Mexico Press. 424 pages.

10- LORDICK D. (2009 ) . Architectural Fractals, Rutgers University, New Jersey.

11- Salan, N. (2007). “Components in industrial Design”. journal of Design and nature.

12- Thames & Hudson.( 2008 ). Digital Architecture now– Neil spiller – p.343.
13- Wang,Su," Towards a Fractal Architecture A study of Chaos Complexity and Beauty", .page 10
14- http://yasserhashem.blogspot.com/2010/03/blog-post_15.html
15- http://www.angelfire.com/sc3/mathgroup/HEAD1.HTM
16- http://tetrahedron.pbworks.com/w/page/26848323/Sierpinski%27s%20Tetrahedron
17- https://www.wikiwand.com/hu/Koch-g%C3%B6rbe
18- https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01969026/document
19- https://www.pinterest.com/pin/396246467193946167/
20- https://www.researchgate.net/figure/Stages-in-constructing-Sierpinski-carpet-fractals_fig1_250925574
21- https://www.shutterstock.com/video/clip-4612166-close-up-view-bees-on-honeycomb-slow-motion
22- http://benmmarfetlerm.blogspot.com/2012/09/deniz-kabuklar-ve-fenerler-dekopaj_15.html
23- https://www.pbase.com/mclew/image/128534015
24- https://www.decoist.com/2013-05-08/trends-2014/?chrome
25- https://dfordesign.style/blog/biophilic-moodboards-fractals-in-nature
26- https://architizer.com/projects/josefine-roxy-club/
27- https://www.1stdibs.com/dealers/john-brevard-llc/