



مجلة الهندسة والتنمية المستدامة

المجلد 22، العدد 4، تموز 2018

ISSN 2520-0917

<https://doi.org/10.31272/jeasd.2018.4.19>

توظيف خصائص الشكل الطبيعي في التطبيقات المعمارية المعاصرة

د. وجدان ضياء عبد الجليل

مدرس، قسم هندسة العمارة، الجامعة التكنولوجية، بغداد، العراق

الخلاصة: ان توجه العمارة نحو الطبيعة عبر تاريخها امر ليس بالجديد، فقد اعتبر المعماريون الطبيعة كأحد المصادر المهمة في إلهامهم في التصميم. وشهدت العشريون سنة الماضية فهما عميقا لخصائص الشكل الطبيعي تبعا لتنظيمها وفقا للهندسة الكسرية. اذ فضل العديد من المعماريين المعاصرين توظيف خصائص الشكل الطبيعي في التصميم، وتمركزت طروحاتهم حول هذه الخصائص خلال محاكاة الخصائص الشكلية والوظيفية والهيكلية المرتبطة بالشكل الطبيعي. وتحددت مشكلة البحث في: "النقص المعرفي في تحديد خصائص الشكل الطبيعي في العمارة المعاصرة". وبذلك هدف البحث الى: "تحديد خصائص الشكل الطبيعي في العمارة المعاصرة". تم شرح الخصائص الشكلية والوظيفية والهيكلية للشكل الطبيعي لتحديد مؤشرات القياس، والتي تم استخدامها لمقارنة الحالات الدراسية المختارة. واستنتج البحث بانه قد تم استخدام الخصائص الشكلية دون الوظيفية والهيكلية باستثناء التحوير الكمي¹ الذي تم استخدامه في كل المشاريع المنتخبة.

الكلمات الدالة: الهندسة الكسرية، الهندسة الاقليدية، الشكل الطبيعي، التشابه الذاتي.

EMPLOYING NATURAL FORM CHARACTERISTICS IN CONTEMPORARY ARCHITECTURAL APPLICATIONS

Abstract: The attitude of architecture to nature through its history is not new. Architects consider nature as the master source of their inspiration for design. The last twenty years have witnessed a deep understanding of the characteristics of the natural forms depending on their organization according to fractal geometry. Many contemporary architects tested using the characteristics of natural forms in design, focused their Manifestation of such properties through imitating morphological, functional and structural properties associated with nature form. The research problem is determined as: "Lack of knowledge in Identifying the characteristics of the natural form in contemporary architecture", so the research aims to: "Identify characteristics of the natural form in contemporary architecture". After explaining the morphological, functional and structural characteristics of natural form, to determine the measurement indicators which are used to compare the case studies selected, the research concluded that they have been using morphological not functional or constructional properties with the exception of mass customization which is used in all selected projects.

1. المقدمة

تظهر رغبة المعماريين المعاصرين في تصميم نتاجهم وفق افكار الهندسة الكسرية كنقطة بدء في افكارهم المعمارية لعكس الجمال والتنوع في الطبيعة وذلك بعد ظهور البرامج الحاسوبية المبرمجة واستخدامها في التصميم، (بالرغم من استمرار بعض المعماريين في استخدام الاشكال النقية ايضا، والتي كانت الصفة الغالبة في حقبة العمارة الحديثة وما بعد الحداثة).

Email:wijdan_wijdann@yahoo.com*

¹ التحوير الكمي Mass Customization وهو مصطلح يتعلق بأنظمة الانتاج المرنة المعتمدة على مساعدة الحاسوب Computer-Aided

وقد أدى الدمج بين الهندسة الكسرية والعمارة إلى تغيير الإدراك حول العلاقة بين العمارة والطبيعة من خلال كسر الحدود الخاصة بالجماليات المعمارية والتي ارتبطت بالهندسة الأقليدية في عمارة الحدائق. كما مثلت الحاجة إلى المحافظة على الموارد ضرورة العودة للطبيعة، والاهتمام بالأشكال والعمليات والأنظمة البيئية الطبيعية، ودراسة الكائنات الحية التي تعيش بانسجام وتكامل مع محيطها. ويعتمد التصميم المعاصر على استخدام الحاسوب لمحاكاة الأنظمة الكسرية الموجودة في الطبيعة، وتتبع خصائصها الشكلية والوظيفية والهيكلية التي تمكنها من العيش بالأسلوب الأمثل، ودراسة إمكانات توظيف التكنولوجيا العالمية لإنتاج عمارة تحقق العلاقة الديناميكية والتفاعلية مع البيئة، لتقليل الانفصال بين الإنسان والآلة الذي سيطر على نظرية وتطبيق العمارة منذ بدء الثورة الصناعية. وقد أدى ذلك إلى التوجه نحو اتباع خواص التنظيم الهندسي الطبيعي لتجسيد نفس مبادئ الطبيعة في التوازن الديناميكي بين أشكال الحياة المختلفة التي تحكم النظام البيئي في الطبيعة.

1. المحور الأول

1.1. الهندسة الكسرية Fractal

اشتقت كلمة كسري Fractal من الكلمة اللاتينية Fractus والتي تعني مكسور أو غير ناعم. وتعني في الرياضيات مجموعة من الأنماط التي تعيد نفسها بغض النظر عن المقياس الذي يتم التعامل به، ويعد التكرار العملية الأساسية لإنتاج الأشكال ذات الهندسة الكسرية، وباستخدامه يمكن تفسير الأشكال الطبيعية التي قد تبدو منكسرة أو مجزئة. [1] ويمكن أن تعرف الكسرية على أنها هندسة الأشكال المنكسرة والمجزأة والتي يكون كل جزء منها نسخة مصغرة عن الكل وهذا هو أساس الهندسة الكسرية. فالهندسة الكسرية هي دراسة شكلية للهياكل ذات التشابه الذاتي، وتدور في محورها حول فهم التعقيد في الطبيعة. [2]

اكتشف (ماندلبروت)¹ بأن الشكل في الطبيعة ذو خصائص هندسية معينة، أطلق عليها اسم الهندسة الكسرية، وأنها تختلف عن الهندسة الصناعية المعتمدة على الهندسة الأقليدية² في نواحي متعددة. وتوصل من خلال تحليله للخطوط الساحلية الطبيعية إلى أنها تشكل أنماطاً متشابهة بمقاييس مختلفة، وأن هذه صفة مميزة لمعظم الأنظمة الطبيعية، وتشمل الكائنات الطبيعية (الحشرات والنباتات والحيوانات... الخ)، والتي تتشارك الهندسة الطبيعية ذاتها، وتتصف بامتلاكها لخصائص النظام الخفي والتشابه الذاتي والاختلاف والوحدة وأنها أنظمة غير خطية وذاتية التنظيم. واستنتج بأن الهندسة الإقليدية والتي تقتصر على استخدام الأشكال الأولية (الخط والدائرة والمربع والمكعب والاسطوانة... الخ) غير كافية لاستكشاف الكون، لأنها غير قادرة على تفسير السلوك الخفي والنظام العميق في الطبيعة، كما أن الهندسة الكسرية تتسبب في جعل الشكل أكثر مقبولية للمشاهد لأنها تحاكي الطبيعة، وتجعل المشاهد يخمن قواعد الشكل فيكون بالتالي مألوفاً له. [3] ويرى (ماندلبروت) بأن كل الأجسام الموجودة في الطبيعة لا يمكن تعريفها باستخدام الهندسة التقليدية.

وأثبت بانه وعلى العكس من ذلك، فإن بالإمكان تعريف كل العناصر الموجودة في الطبيعة باستخدام الهندسة الكسرية. [4] كما أن الشكل الهندسي الكسري يمكن توليده من خلال تكرار الأنماط في عمليات برمجية معقدة، فيكون الشكل النهائي قابل للتقسيم إلى أجزاء كل منها يشبه الشكل الأصلي. ويمكن القول أن الأشكال الكسرية تمتلك تفصيلاً لا متناهياً من الناحية النظرية. ويمتلك بعضها هيكلًا ذا تشابه ذاتي والذي يظهر في مستويات مختلفة من التكبير. ويوجد في الأشكال المولدة في الهندسة الكسرية ما لا يقل عن شكلين أحدهما هو (القاعدة) والآخر هو (الشكل المولد)، ويقوم (الشكل المولد) في كل عملية تكرار بالحلول محل أحد أجزاء (الشكل القاعدة)، ويمكن أن تستمر هذه العملية نظرياً إلى ما لا نهاية. [5] فالهندسة الكسرية هي نظرية رياضيات معاصرة تبتعد جذرياً عن الهندسة الأقليدية، وهي دراسة شكلية للأشكال الرياضية التي تتصف بأنها ذات نهايات مفتوحة وتشابه ذاتي وتفاصيل متعرجة من المقياس الأكبر إلى المقياس الأصغر، ويعني ذلك بانه عند تكبير الشكل في النظام الكسري

¹ ماندلبروت Mandelbrot: وهو عالم رياضيات فرنسي مهتم بالعلوم التطبيقية المتعلقة بالهندسة الكسرية.

² الهندسة الأقليدية Euclidean: هي الهندسة القائمة على دراسة النقاط والخطوط والسطوح والأشكال الهندسية الأخرى باستخدام نسخة معدلة لحسابات إقليدس، وقد كان لها تطبيقاتها المعمارية منذ العمارة الإغريقية وحتى يومنا هذا. إذ أن تطوير الهندسة الأقليدية كان أساساً لقياس المسافات على سطح الأرض، وبما أن الأشكال الأولية الإبتدائية كالمربع والدائرة غير موجودة في الطبيعة، فإن هذه الأشكال هي أشكال مثالية تعطي تصوراً مقارباً للأشكال الطبيعية، وبالتالي فالعمارة المعتمدة على الهندسة الأقليدية هي محاكاة لقوانين الهياكل الطبيعية.

وهي أشكال مثالية منقطعة عن الطبيعة وحقبة الشكل في البيئة الحقيقية. [6]

فان اجزائه تحمل تشابها دقيقا مع الكل، ويستمر التشابه مع أجزاء الأجزاء، وتتراوح قيم الابعاد الكسرية بين 1 و 2 و 3 وهي موجودة في كل موجودات الطبيعة، وحين يكون البعد الكسري بين 1.3- 1.5، فان الأشكال الناتجة تشعر الناظر بالارتياح بشكل تلقائي. [7]

2.1. الهندسة الكسرية في العمارة التقليدية

ظهرت الهندسة الكسرية بشكل طبيعي في العمارة ولفترة طويلة قبل استخدامها كمصطلح. وهناك العديد من الامثلة لظهورها في العمارة التقليدية وبمستويين رئيسيين: الاول- مستوى المبنى المفرد حيث تكرر أجزاء المبنى ذاتها بمقاييس مختلفة. الثاني: المستوى الحضري حيث يمكن ملاحظة تكرار الانماط في البنية الحضرية باختلاف المقاييس. ويوجد في العمارة التقليدية الكثير من الامثلة التي يمكن تصنيفها على أنها كسرية سواء في المخططات أو الواجهات أو التفاصيل حيث تمتلك تشابها ذاتيا بمقاييس مختلفة. وقد قام العديد من الباحثين بتتبع الهندسة الكسرية في المباني التقليدية وكمثال ما قام به (كارل بوفيل)¹ في كتابه *Fractal Geometry in Architecture and Design* بشرح العلاقة بين الهندسة الكسرية والفن والموسيقى والتصميم والعمارة واستعراض الطريقة الرياضية لقياس ومقارنة البعد الكسري للعديد من المباني التاريخية لتحديد البعد الكسري وتحديد خصائص التعقيد البصري للمخططات المعمارية والواجهات. [8]

3.1. الدراسات السابقة

1.3.1. الدراسات السابقة حول الخصائص الشكلية في الشكل الطبيعي

استخدم المعماريون الهندسة الكسرية كأداة لتصميم الشكل المعماري بتوظيف البرامج الحاسوبية والتقنيات المرتبطة بها، وقد ظهرت العديد من الكتب والدراسات التي تناولت الموضوع. فقد حاول (جارلز جنكز)² أن يقدم تفسيراً لاهتمام المجتمع المعماري المعاصر بالكسرية، وعلل ذلك بتأثير الأفكار المرتبطة بالعلوم المعاصرة بدءاً من ميكانيكا الكم إلى النظرية الكسرية، وحاول ان يربط الهندسة الكسرية بالعلوم الكونية أكثر من ان يشرحها تبعا للتفسيرات المتعلقة بالتفضيلات الجمالية للإنسان والمتعلقة بالانماط المشتقة من الطبيعة.

كما اعتقد بان العلوم المعاصرة قد ساهمت في ابعاد العمارة عن العلوم الميكانيكية والاختزال والمادية، وقدمت هذه العلوم للعمارة الكسرية القدرة على توفير تفسير فني للحقيقة الفيزيائية، لأن الكون هو بشكل اساسي ديناميكي وذاتي التنظيم. وتقترب هذه الرؤيا مع وجهات نظر مطروحة في افكار الحضارات الشرقية كالبودية والكونفوشية وغيرها والتي همشتها عمارة الحدائة بسبب رفضها لكل ما يتعلق بالتاريخ. وذكر تأثر العديد من اعمال المعماريين بالعلوم الجديدة، ومنهم (فرانك جيرري) و(بيتر ايزنمن) و(دانيل ليبسكند)³ الذين قدموا مشاريعا متنوعة من خلال استخدام اشكال (القطرات والاشكال الموجية والكسريات المحززة)، متجاوزة بذلك الاشكال المثالية التي اتصفت بها الحدائة الى اشكال اكثر قربا من الطبيعة. [9] وبالرغم من اشارة (جارلز جنكز) الى المشاريع المعمارية التي وصفها بانها كسرية الا ان اشارته بلاغية لربطها مع اساس علمي، لكنه لم يوضح الاسباب التي دعتة الى اعتبارها كسرية او ربطها بخصائص الشكل في الهندسة الكسرية. وأكد (هنديرتواسر)⁴ على اننا نعتد على الطبيعة ونكون جزءا منها، وبالتالي فان استخدام الخطوط المستقيمة في العمارة هي علامة على الابتعاد عن الطبيعة، وعن ذواتنا ويؤدي ذلك برأيه الى نتائج غير مرضية جسديا ونفسيا، وان شبكة الخطوط المستقيمة هي رمز للتفكيك الذاتي في

¹ (كارل بوفيل) Carl Bovill: وهو أمريكي حاصل على الميدالية الذهبية للمنظمة الأمريكية للعمارة لدراساته المعمارية، حيث يتناول المواد وطرق الانشاء ونظم السيطرة الطبيعية والاستدامة وتكامل الانظمة التقنية في ستوديو التصميم.

² جارلز جنكز Charles Jencks: وهو مصمم فضاءات خارجية، ومؤرخ معماري لديه 30 كتاب مطبوع، ويعد من منظري عمارة ما بعد الحدائة.

³ (فرانك جيرري) Frank Gehry: وهو معماري امريكي كندي الاصل. عد من اشهر المعماريين في القرن العشرين بسبب استخدامه للأشكال الجريئة والتصنيع غير التقليدي. ويعد متحف (كوكنهايم) في مدينة (بالبار) في اسبانيا من اشهر أعماله. (بيتر ايزنمن) Peter Eisenman: وهو معماري امريكي رائد ومنظر للعمارة التفكيكية. (دانيل ليبسكند) Daniel Libeskind: وهو معماري أمريكي، فائز بمسابقة أبراج التجارة العالمية. وله العديد من المباني الخاصة والعامة حول العالم.

⁴ فريدينسريخ هنديرتواسر Friedensreich Hundertwasser: وهو رسام ونحات ومعماري استرالي معروف بتصاميمه المعمارية الملونة والمزينة ذات الاشكال المحاكية للكائنات الطبيعية.

مجتمعنا. [10] وتحمس (ساليكاروس)¹ للعمارة الكسرية بهدف ايجاد اسس علمية في اتباع القواعد الشكلية الكسرية في الطبيعة، ويرى بأن العمارة الكسرية هي عمارة ذات تفاصيل كثيرة بمقاييس متدرجة ومتلاحقة ومتناغمة مع الوظائف الانسانية، ويستشهد بكون الدماغ الانساني نفسه ذا هيكل متدرج. تتفاعل فيه الوحدات المكونة بمستويات متعددة المقياس، مما يفسر تفضيل الانسان الى القيم الشكلية الكسرية. [11]

ذكر (ايزمن) ان التصميم وفق الهندسة الكسرية يتطلب حضور ثلاث مستويات في التفكير: 1- الانقطاع Discontinuity وتعني مواجهة تكهنات الحضور. 2- العودة Recursivity وتعني مواجهة الاصل. 3- التشابه الذاتي Self-Similarity ويعني اظهار جماليات الشكل من خلال التشابه الذاتي. [12] وذكر (وين)² بأنه يمكن للتصميم والعمارة ان تنتفع من الهندسة الكسرية بشكل عام من خلال توجيهين: الاول: قياس البعد الكسري في التصميم واستخدامه في نقد التصميم، كمثال اكتشاف الاسباب التي ادت الى عدم مقبولية بعض نتاجات العمارة الحديثة من قبل العامة. الثاني: استخدام الهندسة الكسرية في توليد ايقاعات معقدة يمكن توظيفها في التصاميم المعمارية، فمثلا يمكن قياس البعد الكسري لمنحنيات جبل خلف موقع مشروع معين، ويكون ذلك مرجعا للإيقاعات الكسرية المستخدمة في تصميم المشروع، مما يجعله متشابه مع خلفيته في ايقاعه الكسري. [13]

وأكد (فيزانتياو)³ بأن كل شكل ذا تشابه ذاتي يكون كسريا، فاذا وجد تصميم او نمط منتظم يكرر ذاته اثناء نمو هيكله او في مقياسه خلال وحدة الزمن او الفضاء، فان هذا الشكل يمكن تصويره على انه هرمي وبالتالي ذا تنظيم كسري. اذ تتواجد الاشكال المتشابهة ذاتيا في الطبيعة بدءا من الاشجار وحتى المجرات الكونية، ويكون بعضها معقدا جدا ويمكن للرياضيات الحاسوبية ان تحولها الى نماذج بمحاكاتها عبر برامج مثل برنامج PL، والذي يمكن استخدامه لإنتاج أشكال ثلاثية الأبعاد بمحاكاة التنظيم الهندسي للنباتات والقشريات والكريستال وغيرها. [14]

وفسر (جوي)⁴ القيمة الجوهرية لتوظيف الهندسة الكسرية في العمارة في حقيقة استحضارها لبعض الهياكل الهندسية التي تميز مستوطنات الانسان في عصر ما قبل التاريخ الى البيئة المبنية الحالية. وأشار الى ان التأثير النفسي للبيئة المبنية وفق الهندسة الكسرية قد يكون الاساس لرد الفعل الايجابي ومنح الشعور بالاسترخاء للمستخدم، بسبب قيم التنوع والحيوية المرتبطة بها، بخلاف الهندسة التقليدية النمطية للبيئة المبنية، وبالتالي فان الاشكال الكسرية تتسبب في تقليل الاجهاد النفسي للناظر بسبب ارتباطها بالعناصر الطبيعية ومحاكاتها. وطرح قضية سيطرة الاشكال ذات التخطيط الشبكي المتعامد على المدن المعاصرة والمرتبطة بالاشكال الافلاطونية، والذي يمثل ابتعاد واضح عن الاشكال الطبيعية. ويدعو المعماريين الى دمج الاشكال الطبيعية في نتاجهم وتحفيزهم على دراسة الاشكال الطبيعية والقواعد التكوينية لها مما سيغني نتاجهم الابداعي، ويضفي الجاذبية والمتعة البصرية. [15] وأكد جوي بان ليست كل العمارة التي تحاكي لطبيعة هي ذات هندسة كسرية في تكوينها، كما ان بعض المشاريع التي يتم توظيف الهندسة الكسرية في مستوى واحد فقط، حيث يحمل خصائص شكلية ذات صلة بالاشكال الطبيعية. وقد يكون هذا المستوى غير ظاهر او مرئي. وأكد (كارل بوفيل) على أنه بالرغم من ولع المعماري المعاصر بالاشكال المرنة والملتوية، الا أن تجاوب المعماريين للموضوع اتخذ الجانب السطحي من خلال الاشكال التي تلتوي او تتطوي او تقفز في شبكاتها النظامية، مما يتطلب المعرفة الكافية بالهندسة الكسرية ليتخذ التعبير المعماري عمقا اكبر. [16] ونستخلص من ذلك بأن الهندسة الكسرية تفتح افقا متعددة للاستكشاف من قبل المعماريين للإبداع المعماري من خلال توظيف الخصائص الشكلية والطبيعية في التصميم المعماري، حيث ظهر الاهتمام بالتوجهات المعقدة للعالم والمرتبطة بتطور العلوم والرياضيات والبرمجة الحاسوبية اللوغاريتمية لإنتاج اشكال معمارية غير مسبوقة.

2.3.1. الدراسات السابقة حول الخصائص الوظيفية والهيكلية في الشكل الطبيعي

وطرح (بار اشار) و(بانديوبادي) 2014 فكرة توظيف الهندسة الكسرية لتحقيق استدامة العمارة، وما يمكن ان

1 نيكوس ساليكاروس Nikos Salingaros: وهو متخصص في الرياضيات ومعروف بسبب كتاباته في النظريات المتعلقة بالبيئة الحضرية والنظريات المعمارية ونظرية التعقيد وفلسفة التصميم المعماري.

2 كو- جنك وين Kuo-Chung Wen: وهو استاذ مساعد في معهد العمارة والتخطيط الحضري في الجامعة الثقافية الصينية في تايوان له بحوث عن الهندسة الكسرية في العمارة.

3 م. أ. فيزانتياو M.A. Vyzantiadou: وهو باحث في التطبيقات الكسرية في التصميم، يعمل في قسم الهندسة المدنية في جامعة أرسطو في اليونان.

4 يانك جوي Yannick Joye: وهو باحث ومحاضر في قسم الفلسفة والعلوم الأخلاقية في جامعة جينت Ghent في بلجارية، مهتم في علم النفس وسلوك المستهلك والسيكولوجيا التطورية والجماليات

توفره من تغييرات عميقة في فهم الطبيعة والحضارة والعلوم. حيث توفر الهندسة الكسرية هيكل أو مرجع لتنظيم الجوانب الجمالية والذكية لفكرة ارتباط الانظمة في الطبيعة، وارتباط الجزء بالكل، والذي غير الاطار الهندسي المعتمد على التفكير الهندسي الميكانيكي الى التفكير المبني على الطبيعة، واتباع التفكير الهندسي الكسري الذي يحقق الاهداف الجمالية والبيئية. ويمكن ملاحظة الامكانية التي يوفرها استخدام الكسرية في العمارة من خلال كون الكسرية قادرة على انتاج اشكال مشابهة للطبيعة، وتنكيف مع السياق والزمن، فتكون أجزاء الشكل مؤثرة في الكل والعكس صحيح، ومنسجمة باتباع التدرج الهيكلي.

وتناول (مارك ايري) ¹ 2004، العمليات الجارية في الطبيعة وتطبيقاتها في المواد الجديدة في مجالات متنوعة من خلال محاكاة الخصائص الوظيفية الايكولوجية، وتوقع ان يشهد المستقبل تطورات تكنولوجية تخدم كافة التخصصات الهندسية في مجال المواد والعمليات والسلوك والتي تجعل من الصعب تخيل ما قد يمكن انجازه. كما تناول الهندسة القائمة على محاكاة الهياكل الهندسية الطبيعية، وفكرة تعددية الوظائف الموجودة في الطبيعة، واهمية البحث عن اليات المحاكاة العملية للطبيعة من خلال خصائص المواد وليس استنساخ تركيبها. وتتبا زيادة مستوى تكامل الوظائف في التصميم مع تطور التكنولوجيا، بحيث يمكن تحقيق الوظائف المتعددة. [19]

وتناولت (لاريا مازولينى) ² 2013 مبادئ الوظائف في الكائن الحي في التصميم الابداعي وتطبيقاتها من خلال استلهام قدرة التطورات في الأنظمة والوظائف الطبيعية، وتحليل كيفية تكيف العضويات للبيئات المختلفة من خلال مرونة هياكلها، ومن ثم تحويل ذلك الى مبادئ تعليمية الى البيئة المبنية. ويكون ذلك من خلال التأكيد على تحليل القشرة في الكائنات الحية كتكوين معقد متعدد الوظائف وكحاجز بين الظروف الخارجية وجسم الكائن الحي، وعكس ذلك على واجهات المبنى التي تعمل كحاجز بدورها بين سكان المبنى والبيئة خارجه لإنتاج عمارة متكيفة تسمح للعمارة بان تتبع الطبيعة في مبادئ عملها.

أشارت سلمى الاحمر و (فويرافانتي) ³ 2014 الى أهمية تحليل تصاميم الطبيعة بالتركيز على الفعاليات التي يقوم بها النبات كمثال جيد للمقارنة مع المبنى من حيث الثبات والالتصاق بالأرض، واهمية البحث في الخصائص البيولوجية الخاصة بالهياكل التنظيمية للنباتات، التي تقوم بالتكيف مع بيئتها من خلال الاختلاف في شكل وحجم اوراقها وطرق التظليل الذاتي ونظام التهوية الداخلي وقدرتها على اعادة تشكيل الاتجاه تبعاً لحركة الشمس. وأكدت على إمكانية نقل هذه الأفكار الى تصميم مكونات قشرة المبنى والمواد المستعملة، وتحديد الحلول الممكنة في واجهات المبنى تبعاً للاستراتيجيات المستعملة لمقاومة انتقال الحرارة. [17]

4.1. استخلاص مشكلة البحث وهدفه

نستنتج من الطروحات السابقة أهمية تحديد الخصائص الشكلية والوظيفية والهيكلية في الشكل الطبيعي لغرض توظيفها في العمارة من خلال توفير مصادر جديدة للإبداع المعماري من جهة وتحقيق هدف المحافظة على الموارد الطبيعية من جهة أخرى. إذ أثرت التطورات التكنولوجية في العمارة المعاصرة من حيث توجه الأخيرة نحو التغيير باتجاه المرونة والذكاء والتكيف والاستجابة. وهنا برزت مشكلة البحث في "النقص المعرفي في تحديد خصائص الشكل الطبيعي في العمارة المعاصرة". وتحددت فرضيته في "إمكانية تحديد خصائص الشكل الطبيعي في العمارة المعاصرة".

2. المحور الثاني: مستويات تطبيقات الهندسة الكسرية في مكونات المشروع

1.2. مستوى السطوح ثنائية الأبعاد

حيث تظهر المخططات او الواجهات او سطوح الفضاءات الداخلية استخدام الهندسة الكسرية في التكوينات الثنائية الأبعاد، ولكنها لا تكون مرئية من قبل المستخدم في حالة استخدامها في مخططات الطوابق الارضية، حيث

1 (مارك ايري) Mark Ayre باحث في مجال محاكاة الكائنات الحية في وكالة الفضاء الاوربية.
2 (لاريا مازولينى) Liaria Mazzoleni: وهي مهندسة معماري ومؤسسة لستوديو اي أم IM Studio في ميلانو/ لوس أنجلوس Milano/Los Angeles. متخصصة في العمارة المستدامة وعلم محاكاة الكائنات الحية.
3 (سلمى الاحمر) Salma El Ahmar و(أنطونيو فويرافانتي) Antonio Fioravanti: وهما باحثان من جامعة Sapienza في روما في ايطاليا.

توجد في العمارة التقليدية امثلة عديدة لذلك. كما قد تظهر في الواجهات المعمارية التقليدية التي استخدمت حسيا من قبل المصمم. كما اظهرت بعض نتاجات (فرانك لويد رايت) انظمة كسرية هندسية من خلال التدرج والتشابه الذاتي في مقاييس متعددة. وتتوفر كذلك في العمارة المعاصرة مشاريع تم تطبيق الهندسة الكسرية فيها اما في المخططات او في الواجهات وبشكل كلي او جزئي. [20]

2.2. مستوى الحجم ثلاثية الابعاد

يمنح استخدام الهندسة الكسرية ثلاثية الابعاد انماطا غنية، وتظهر العديد من المشاريع في العمارة المعاصرة استخدام الهندسة الكسرية في تنظيم هياكلها من حيث توفر الخصائص المرتبطة بالهندسة الكسرية كما سيتضح عند تناول الحالات الدراسية ذات العلاقة بموضوع البحث.

3. المحور الثالث: خصائص الشكل الطبيعي.

1.3. الخصائص الشكلية للهندسة الكسرية في الطبيعة مقابل الهندسة الاقليدية

1.1.3. المستوى الاول: الخصائص المتعلقة بالتشابه والاختلاف.

1.1.1.3. التشابه الذاتي Self-Similarity مقابل التطابق الذاتي Self-Sameness

يعد التشابه الذاتي احد اهم المبادئ الاساسية في الطبيعة، حيث تحل محل الفكرة الميكانيكية القديمة حول التطابق الذاتي. ناقش (ماندلبروت) بان الخطوط الساحلية الطبيعية مثل الكثير من الاجسام في العالم الحقيقي ذات تشابه ذاتي احصائيا، حيث أن اجزاؤها تظهر نفس الخصائص بمقاييس مختلفة ومستويات متعددة وكثيرة، وان ذلك يظهر ايضا في مختلف الكائنات الحية. اذ ان نقل خاصية التشابه الذاتي الى العمارة يؤدي الى جعل التفاصيل الصغيرة متشابهة وليست متطابقة بمستويات مختلفة، ومرتبطة مع بعضها ومع الكل، [21] اذ يحافظ العنصر على اجزاء مستنسخة عنه، بالرغم من تغيير مقاييسها او انتقالها او دورانها، ويقصد بذلك ان الشكل يحافظ على نسبه وزواياه الداخلية. [22]

يمكن تصنيف التشابه الذاتي الى ثلاث مبادئ وهي: 1- التشابه الذاتي الدقيق Strict: حيث يظهر التشابه الذاتي في كل تفصيل من النظام الكسري والذي يمثل نسخة دقيقة ومحددة عن الهيكل الكلي. 2- التشابه شبه الذاتي Quasi: حيث يشبه العنصر الثانوي الهيكل الرئيسي بشكل جزئي، ولكنه قد يكون معوجا أو مشوها. 3- التشابه الذاتي الاحصائي Statistical: حيث تحافظ بعض العناصر الثانوية على بعض النسب والتوجهات مع الهيكل الكلي، ولكن تكون النسبة الاعلى احصائيا للتشابه. [23] وتعد العمارة ذات تشابه ذاتي اذا كانت الاشكال المكونة للشكل فيها متكررة بمقاييس مختلفة لأكثر من اربعة مرات، ويكون هذا التشابه الذاتي نوعين: 1- تشابه ذاتي مقصود: وذلك حين يكون العنصر الكسري في كل حالة نتيجة فعل واعى وقصدي، كما في العمارة الكسرية المعاصرة. 2- تشابه ذاتي غير مقصود: وذلك حين يكون اختيار القيم الكسرية وفق حس جمالي دون وعى بالهندسة الكسرية كما في العمارة الهندوسية مثلا. [24]

2.1.1.3. الاستنساخ Replication مقابل التكرار Repetition

يمثل الاستنساخ مبدأ أساسيا اخر في الطبيعة والذي يحل محل الفكرة الميكانيكية القديمة للتكرار، حيث يتميز النسيج الطبيعي بكونه ذا خصائص ارتدادية، فالارتداد يعني هنا عملية النمو الطبيعية في الكائن الحي أثناء تغير خصائصه لإنتاج الكل. ففي الطبيعة يتمكن ال DNA من استنساخ ذاته من خلال شفرات وراثية موجودة فيه، ولكن الكائن الحي الجديد هو نسخة معدلة وليس مكررة للكائن الاصيل. [25] اذ تمثل الطبيعة مصدرا ملهما من خلال موجوداتها التي تتميز بخصائص متنوعة في اعادة انتاج ذاتي واستنساخ لمكوناتها مصحوبا بالتطور والتميز والتكرار. يمثل الاستنساخ الذاتي عند توظيفه في العمارة امكانية توليد اشكال ذات قيمة انشائية وجمالية متميزة. وأثر ذلك على المشاريع الناتجة لتكون مؤلفة من عناصر متكررة ومتغيرة مرتبطة مع بعضها عضويا و تتلاشى الحدود الفاصلة بينها. [26]

3.1.1.3 التمييز *Differentiation* مقابل الاختلاف *Difference*

يتمثل التمييز في الانظمة المعقدة في عملية دمج الاجزاء المكونة للكل، فالأجزاء تتشابه ولا تتطابق فهي متباينة في الحجم والاتجاه والزوايا بهدف تحقيق التنوع والتمييز. اذ يمثل التمييز نتيجة التداخل بين خاصيتي الاختلاف والتشابه، وهو صفة الموجودات الطبيعية التي تجعلها قابلة لان تدرك. [27] فالأنظمة الطبيعية هي تنظيم معقد يتكون من انظمة ثانوية تعتمد على بعضها البعض بدأ من الخلية وحتى المقياس الاكبر وقادرة على الاستجابة الى المحفزات الخارجية المتنوعة. ويتسبب التمييز في الانظمة الثانوية الطبيعية في امكانية قيامها بوظائف متعددة، فساق النبات مثلا يقوم بأكثر من وظيفة خلال تمييز اجزائه المكونة وتدرجها. اما في العمارة فانه وعلى العكس من ذلك فان الانظمة الثانوية المختلفة تعمل بشكل مستقل ومنفصلة عن بعضها ولكل منها حدود ومفاصل. [28]

2.1.3.2 المستوى الثاني: الخصائص المتعلقة بديناميكية ومرونة الشكل.

1.2.1.3 الشكل الديناميكي *Dynamic* مقابل الشكل الساكن *Static*

تتميز الاشكال في الطبيعة بانها غير ساكنة بل نامية، ولا تمثل تجميعا لعناصرها، اذا تقوم الاشكال بإعادة تنظيم هياكلها من الكل الى الجزء ومن البسيط الى المعقد من خلال عملية النمو على عكس الانظمة الساكنة والتي يتم جمع العناصر فيها بشكل مشابه للمكانن. اذ يمتلك النموذج المعقد للنظام الديناميكي قاعدة تطويرية معتمدة على الزمن، وتتميز بالمرونة والقدرة على التحوير. وتتميز كل الاشكال في الطبيعة بكونها مركبة من خطوط ناعمة ومنسابة، وتكون اشكالها كقوة انشائيا لمقاومة القوى الطبيعية حتى في الظروف الصعبة. وقد وفرت البرامج الرقمية امكانية دراسة العلاقة بين الهياكل المغلقة والمفتوحة في الانسجة الطبيعية، وتفسير ارتباط الشكل بظروف حدوده الديناميكية، والذي انعكس على امكانية تصميم هياكل ديناميكية خاصة قادرة على تغيير الشكل وفقا للسياق. كما وفر التعاون بين المعماريين والعلماء البيولوجيين والمبرمجين امكانية اتباع نماذج الطبيعة في التصميم. [29]

2.2.1.3 المرونة *Flexibility* مقابل الصلادة *Rigidity*

يتصف النظام الكسري في الشكل الطبيعي بكونه مرنا وقابل للتغير كاستجابة للمتغيرات الداخلية والخارجية من خلال التحوير. حيث تمثل المرونة في الشكل الاشارة الى قدرة العنصر على التغير استجابة للقوى المؤثر فيه والتحول من حالة الى اخرى. وان نقل هذه الخاصية الى العمارة غير من صورتها في الصلادة، والذي استمر طيلة تاريخها الحضاري الى صور اخرى معبرة عن المرونة وقابلية التحول كبديل عن الصلادة والجمود. [30]

3.1.3.3 الخصائص المتعلقة بالتنظيم الشكلي

1.3.1.3 الكلية *Holistic* مقابل الاختزالية *Reductionist*

يمثل الكائن الحي جزء من الكل حوله فهو متعدد العلاقات ومتفاعل فالشكل في الطبيعة ليس شكلا فحسب بل محكوما بمجموعة انظمة خاصب ببيئته المحيطة. اذ يكون الشكل في الطبيعة ذا خصائص كلية كجزء من الكل أما في العالم الصناعي فان الشكل يكون مختزلا منفصلا عن محيطه. وبالرغم من سيطرة التفكير الاختزالي القائم على فكرة (امكانية شرح النظم المعقدة من خلال اختزالها الى اجزائها الاساسية)، فقد ظهر وعي منتامي بان هناك حاجة الى نظرية كلية في تحقيق مستوى عالي من التعقيد والتركييب في الشكل مرتبط بالمؤثرات المستجدة، والنظر الى الكل على انه ليس مجرد تجميع للأجزاء، والاخذ بنظر الاعتبار الاستمرارية وعدم الانقطاع بين الأجزاء والكل. [31] ويمكن تحديد العلاقة بين الهندسة الكسرية و العمارة في ضوء كون الكسرية كعمليات واشكال ذات تشابه ذاتي في مقاييس مختلفة، والتي يمكن أن تحقق الكلية بسبب ترابط الانظمة مع بعضها في مقاييس متعددة، كما تحقق التنوع *Diverse* في الانظمة البيئية كقوة المولدة للحفاظ على البيئة وسلامة الانسان وصحته، وكذلك تحقق التطور *Evolutionary* من خلال التفاعل والتغذية الرجعية والذي يخلق التنوع والكفاءة. وتتطلب عملية التصميم ذات التصورات الكلية الأخذ بنظر الاعتبار التكيف مع المؤشرات المحلية، ويسمح بملائمة الحالات الخاصة للمشروع مع مجموعة عوامل اخرى متعلقة بالمتغيرات العالمية الطبيعية الاقتصادية الاجتماعية. [32]

2.3.1.3. النظام المعقد *Complex System* مقابل النظام البسيط *Simple System*

يسلك النظام الطبيعي بطريقة لا خطية ذات اعتمادية و مترابطة ومتعددة الوظائف، ويتطلب ذلك تنظيمًا هندسيًا معقدًا، تترايط فيه الأجزاء لتسلك سلوكًا جمعيًا في النظام. ويتفاعل هذا السلوك مع الهيكل التنظيمي للشكل وبالعكس في إطار العلاقة مع البيئة المحيطة. وقد أكد تعقيد العلوم الجديدة مثل الهندسة الكسرية والديناميكية الجديدة وعلوم الكونيات على الانتقال من النظرة الميكانيكية للكون إلى النظر إليه على أنه ذاتي التنظيم في كل المستويات بدءًا من الذرة وحتى المجرات في الكون وانعكس ذلك على العمارة. [33] فالتوجه نحو التعقيد في الطبيعة يؤدي إلى توفير قوى إبداعية مولدة تحاكي الانتخاب الطبيعي والديناميكية والتوازن المتناغم في الطبيعة. والصورة المشتقة من العلوم المعقدة هي صورة لا خطية وديناميكية ولها خصائص متذبذبة ومتطورة. وبذلك يتبنى المعماري هذه الصور في تصاميمه، لأنها تتسبب في الحركة الفيزيائية لمكونات المبنى واستمرارية الهيكل والسطوح وتتنوع الفضاءات المفتوحة والمخططات ذات الشبكات المتذبذبة غير الموحدة أو قد تتسبب في عدم وجود شبكات على الإطلاق. [34]

ويرى هانديرتواسير بان الاعتماد على الخطوط المستقيمة في عمارة الحدائث وما بعد الحدائث هو ابتعاد عن الطبيعة وبالتالي عن أنفسنا، ويقود إلى المرض النفسي والفيزيائي. وأن هناك خطر محقق في العدد ال (لامحدود) للخطوط المستقيمة التي صنعها الإنسان. [35] ويفسر جوي أن سبب ارتباط سعي الإنسان إلى مظاهر التكامل الشكلي مع الموجودات الطبيعية في الأعمال الفنية والتصميم والعمارة (بالرغم من تأثير الإبداع الإنساني بمدى واسع من العوامل الأخرى) هو ميل العقل الإنساني إلى خلق العناصر التي تمتلك قيم بقاء متميزة وينسجم ذلك مع ما يمتلكه الإنسان من نظام متكامل من العمليات الذهنية حول الموجودات الطبيعية، وما يختزنه من صور ذهنية يتم التعبير عنها في الإبداع الفني الحضاري بطريقة واعية أو غير واعية. وقد يتماثل العمل الإبداعي في العقل مع المحاكاة الذاتية لتكوينه الطبيعي، والذي قد يبرر التوجه المعاصر في العودة نحو الأنماط الموجودة في الطبيعة. [36]

3.3.1.3. التنظيم العميق *Deep Organization* مقابل التنظيم السطحي *Organization Surface*

يعتمد الشكل الطبيعي على تعددية الطبقات، والتي تحقق التعقيد من خلال ارتباطها الوظيفي والشكلي مع بعضها وبمستويات مختلفة. ويكون التنظيم العميق معتمدًا على الأنظمة المعقدة المولدة من عدد كبير من الأجزاء والتي لا تتفاعل بطريق بسيطة. وتتميز بانها مرنة وديناميكية وتتكيف لضمان بقائها وكفاءتها. وتهدف المعرفة الخاصة بالأنظمة المعقدة الطبيعية إلى توليد أفكار جديدة في مجال التصميم والعمارة لربطها مع الطبيعة وتوفير إمكانية التكامل في وحدة كلية. يقصد بالكلية التكامل بين التنوع الخاص بالأجزاء والكل في طبقات متعددة وبمستويات ومقاييس مختلفة.

أثرت هذه الأفكار في العمارة كبديل لمثالية الأشكال العقلانية التي سادت القرن العشرين والأفكار المعتمدة على التنظيم السطحي، والعودة إلى تبني التنظيم العميق كتحول ثوري من خلال تجريد النظم المعقدة وتوظيفها في تطوير الأنظمة المفتوحة والديناميكية ذات الهياكل الهرمية بمحاكاة وتحليل العمليات المعقدة في الطبيعة، مما يسمح بتحليل سيناريوهات مختلفة في التصميم المعماري.

4.3.1.3. النظام الهرمي *Hierarchical* مقابل النظام غير الهرمي *Non- Hierarchical*

يمثل التسلسل الهرمي أحد مبادئ الشكل في الطبيعة، ويتوافق مع التدرج والتفرع حيث تكون العناصر الكبيرة أقل عددًا من العناصر الصغيرة. إن التوجه الهرمي هو مفتاح التعقيد، فالكل لا يمثل حاصل جمع الأجزاء. وتظهر الطبيعة هيكلًا هندسيًا معقدًا في مقياس هرمي من الكبير حتى الصغير وحتى المقياس الميكروسكوبي، وأدى استخدام الهندسة الكسرية في العمارة إلى التوجه نحو التعقيد كبديل للبساطة، فالتصاميم المعمارية الكسرية ليست ناعمة ولا نقية وإنما معرفة بمكونات هرمية التنظيم بمقاييس مختلفة. [37]

5.3.1.3. النظام غير الخطي *Non-linearity System* مقابل النظام الخطي *Linearity System*

تتميز النظم الخاصة بالشكل في الطبيعة بانها لا خطية في معظم انظمتها الفيزيائية ومتفاعلة بمستويات مختلفة، على عكس النظم الاقليدية الخطية والتي تتصف بانها ميكانيكية. وقد أدى البحث في الانسجة الطبيعية وانظمتها

المغلقة والمفتوحة وعلاقتها بالحدود الخارجية للشكل، ومن ثم تجريدها حاسوبياً وتوظيف هذه الأنظمة في التصميم الحصول على هياكل ديناميكية خاصة قادرة على توفير الراحة الشكلية المناسبة لها ضمن سياقها. وذلك باستخدام الأنظمة غير الخطية في الطبيعة واستخداماتها في تصميم السطوح المعمارية من خلال اتباع النماذج الطبيعية في الأنسجة وعملية استجابتها لمحيطها من خلال ميكانيكية التغذية الرجعية وتجريد هذه النماذج والتعرف على ديناميكية التغير في الهيكل الطبيعي، والتي قد تحمل امكانية تطبيقها في العمارة في تصنيع الهياكل القشرية او الهياكل الفضائية، وتحاكي الأنظمة المعقدة في الطبيعة. [38] وتمثل ال (لا خطية) فكرة موجودة في الطبيعة والتي تحل محل الفكرة الخطية الميكانيكية. ويتوفر التغير ال (لا خطي) المعقد بوضوح في الطبيعة في معظم الأنظمة الفيزيائية، والذي يعد امراً جوهرياً فيها، فهي أنظمة معقدة متفاعلة جوهرياً بمستويات متعددة. وتعد ال (لا خطية) والتنظيم العميق مبادئ اساسية في النظام الكلي في الطبيعة، والذي يمكن الموجودات الطبيعية من امتلاك التكامل والتكافل والارتباط مع الكل ضمن مستويات متعددة وطبقات متعددة ووظائف متعددة، ويجعلها تمتلك السببية في الايفاء بظروف البيئة المحيطة. ويوجد ثلاث طرق لإنشاء الغلاف ال (لا خطي) للأشكال المنحنية في العمارة: 1- النحتي Sculptural ويقوم على استخدام النحت الفني ذات الشكل الحر. 2- الفيزيائي Physical ويقوم على عملية نموذجية فيزيائية لإنتاج الشكل. 3- اجرائي Procedural ويقوم على العمليات الرياضية لإنتاج الشكل المؤسس على الهندسة الكسرية. [39]

ويمكننا أن نستخلص مما ذكر في الفقرات السابقة بأن خصائص الشكل في الطبيعة وفق الهندسة الكسرية يتعلق بالأشكال غير الاقليدية كالمنحنيات والقطرات والأعصاب والدقائق، ويتميز الشكل بالديناميكية والتميز، حيث تكون الأشكال ذات تشابه ذاتي ومعتمدة على الاستنساخ، وذات هيئة منوعة وتكون الاجسام جزء من الكل حولها وذات هيئة غير نظامية ولها حدود غير ثابتة ومعتمدة على التحوير الكمي، وعلى العكس من ذلك فان خصائص الشكل الميكانيكي وفق الهندسة التقليدية يتعلق بالأشكال المستقيمة والثابتة والدقيقة والمستقيمة والثابتة المعتمدة على التكرار وذات هيئة موحدة فتكون الاجسام منفصلة عن بعضها وذات هيئة نظامية ولها حدود ثابتة ومعتمدة على الانتاج الكمي.

2.3. الخصائص الوظيفية للأنظمة الكسرية في الطبيعة مقابل الأنظمة الميكانيكية

1.2.3 النمو Growth مقابل الثبات Fixed

وهي الفعالية التي تبني فيها الطبيعة مكوناتها بدءاً من الحجم الصغيرة الى المقاييس الأكبر مع الاخذ بنظر الاعتبار العلاقة بين الحجم والوظيفة المتعلقة، اذ تتوفر في الكائنات الحية امثلة لا حصر لها على الاستخدام الامثل للشكل الذي يتوافق مع وظيفته، وتوفر الهياكل الكسرية امكانية النمو وازدواج مكونات جديدة لجسم الكائن الحي ضمن هيكله الكلي مع زيادة دورة المواد المغذية وزيادة المنافع المتبادلة في العلاقة بين الكائنات الحية. وتمثل هياكل الكائنات الحية مصدراً لإلهام المعماريين لخلق التصاميم الكفوة لتكون نافعة ومستدامة في نفس الوقت. [40] ويتطلب ذلك توفر التكنولوجيا المتقدمة في تصميم الهياكل القابلة للنمو وقد تحققت بالفعل بعض الانجازات في هذا الجانب مع تصاميم افتراضية تقوم على هذه الفكرة.

2.2.3 الذكاء الطبيعي Natural Intelligence

تمتلك الكائنات الحية الذكاء الطبيعي من خلال التفاعل والتنظيم الذاتي والتكيف والنمو والتغير واعادة التجميع استجابة للمؤثرات الداخلية والخارجية ويكون بثلاث مراحل وهي التحسس والتفكير ثم الاستجابة. ويرتبط باستخدام المواد والسطوح والهياكل المكونة لتشكيلاتها الهندسية الكسرية، والتي تتوفر فيها الوظائف التكنولوجية التي تحقق الاستجابات البيئية للتغيرات في البيئة الخارجية او الداخلية. حيث يمكن توفير وظائف لاستجابة الفورية للمحفز والاستجابة لأكثر من محفز في ان واحد و التشغيل الذاتي والقدرة على توقع نوع استجابتها للمحفز. وقد ساعدت التكنولوجيا المتقدمة على انتاج مواد ذكية تؤدي وظائفها كأنظمة ذكية. وتقوم هذه المواد بعدد من الفعاليات كالاستجابة الفورية Immediacy، والاستجابة لأكثر من متغير بيئي واحد Transiency والتشغيل الذاتي Self-actuation والانتقائية Selectivity حيث يمكن توقع ماهية استجابة هذه المواد المصنعة واستخدامها في العمارة في تطبيقات متنوعة دون الحاجة الى وسائل تشغيل. [41]

3.2.3. التكيف Adaptability

يمتلك الكائن الحي القدرة على التكيف ليتلاءم مع ظروف بيئته الخارجية أو التغييرات الداخلية. كما تتمتع الكائنات الحية بخاصية الاستجابة للظروف الخارجية والداخلية بسبب امتلاكها سلسلة من نظم التغذية المرتدة للتحسس والاستجابة. وتشير الاستجابة الى امكانية النظم الطبيعية على التفاعل والتكيف، وهي تتطابق مع صفات ما يعرف بالذكاء، ويضاف الى ذلك توفر صفات تفاعلية مثل القدرة على تضبيب الوقت اللازم لاستجابة معينة بل وحتى التعلم من خلال التكرار. ويمكن نقل هذه الفكرة الى العمارة لتكون قادرة على التغيير كاستجابة للتغير في الظروف البيئية الداخلية والخارجية وسلوك الساكن وأدائية الغلاف المتوافقة مع حاجات المستخدم، ولتوفير المتطلبات البيئية المرغوبة الملائمة في الوقت المناسب. كما تستخدم مصطلحات مثل (ديناميكي، متحرك، ذكي) لوصف غلاف المبنى القادر على تعديل مرور الطاقة بين الداخل والخارج، باستخدام التغييرات في الشكل الفيزيائي أو الخصائص للمواد المستعملة، والتي تحقق منافع عديدة أهمها التخلص من التباين الكبير في درجة الحرارة في البيئة المحيطة، وتجنب الانعكاسات في البيئة الداخلية لتحسين راحة المستخدم. [42]

4.2.3. السلوك الذاتي Self-Behavior مقابل السلوك الميكانيكي Mechanical Behavior

تتمكن الكائنات في الطبيعة من السلوك ذاتيا وفقا لتغيرات البيئة الخارجية معتمدة على الهيكل التنظيمي الكسري المعقد والمرن لتكويناتها. ويتميز عالم النبات بوجود امثلة كثيرة حول عملية التظليل الذاتي المتفاعل مع البيئة باستخدام اليات متنوعة مثل تغيير شكل السطوح من التقعر للتحدب لتشتيت الضوء أو عكسه أو استخدام اليات الفتح والانغلاق أو الالتفاف. [43] كما طورت النظم الطبيعية تقنيات كفاءة قادرة على الطي والانتشار، مما يتوافق مع استهلاك أقل طاقة ممكنة ففي عالم النبات هناك أمثلة للأوراق قادرة على القيام بالطي لمواجهة الصقيع وتقوم الأوراق بالالتفاف أو الالتواء أو الانطواء اثناء النمو لتجنب التلف، وتمتلك المواد في عالم الطبيعة ما يمكن تسميته بالخصائص الذكية مثل قابلية النبات على تكييف شكله بتفاعل كمثال لجعل الأوراق تتبع اتجاه الشمس أو الانعكاسية للحرارة كرد فعل لحركة الشمس وقدرة النبات على الاستفادة القصوى من الاشعاع الشمسي المتغير الشدة خلال النهار. [44] اذ يتحكم الكائن الحي الذي بمكوناته بناء على حاجته لاتخاذ قرار معين. وتميزت العمارة المعاصرة من خلال محاكاتها للتنظيمات الهندسية في الطبيعة بالاتجاه نحو استخدام المكونات المتحركة القابلة للتغير الشكلي لأجل تحقيق مجموعة من الاعتبارات البيئية والانسانية. ويحقق ذلك عدد من الاهداف لخلق مبنى ذو كفاءة عالية لان المبنى سيكون قادرا على التكيف لظروف المناخ الخارجية. اذ تقوم هذه الواجهات كمثال من خلال مركبات التظليل القابلة للحركة أو الدوران أو الالتفاف أو التمدد أو التقلص بتحسين الاداء البيئي للمبنى من خلال ما يلي: 1- تقليل استحصال الحرارة. 2- حجب الأشعة الشمسية المباشرة. 3- تعديل السطوح. 4- تعديل التباين غير المرغوب فيه. [45]

5.2.3. التنظيم الذاتي Self-Organizing مقابل التنظيم المسيطر عليه Controlled Organizing

يمثل التنظيم الذاتي ظاهرة متوفرة في الانظمة الطبيعية والتي انتقلت العمارة المعاصرة وحلت محل التنظيم المسيطر عليه (الميكانيكي) وتمثل التنظيم الذاتي عملية تنظيم تلقائية وتغير وتطور بدون الحاجة الى انظمة خارجية للتحكم. يمكن استعمال خاصية التنظيم الذاتي في واجهات المبنى التي توفر نظاما حاميا ذو خصائص ذاتية التنظيم بحيث تتحسس التغييرات التي تحدث في البيئة، واتخاذ رد الفعل المناسب لذلك، علاوة على الاستجابة الى التغييرات في احتياجات المستخدم في درجة الحرارة وتنظيم الاضاءة، [46] مما يجعلها قادرة على التحكم في شكلها أو توجيهها أو فتح وغلق فتحاتها كاستجابة للمؤشرات البيئية التي تتضمن درجة الحرارة والرطوبة والهواء وشدة الاضاءة... الخ.

3.3. الخصائص الهيكلية للأنظمة الكسرية في الطبيعة مقابل الأنظمة الميكانيكية.

1.3.3. الانتقال الحر Free flow للأثقال مقابل الانتقال السطحي Flat flow

يتميز الشكل الكسري في الطبيعة بكونه مكون من اجزاء تتخذ مواقعها وتشكيلاتها تبعا للقوى وانتقالها متبعة انتقالات حرة في نقل القوى من العناصر الثانوية الى العناصر الرئيسية، ويقال ذلك استعمال المواد اللازمة لإنشاء هيكلها، وهي هياكل ذات تشابه ذاتي ومتنوعة ومستنسخة ذاتيا، وعلى العكس من ذلك يتم نقل القوى من خلال

خطوط مستقيمة وسطوح مستوية في الهيكل الصناعي التقليدي المعتمد على الهندسة الاقليدية. مما يجعله ضعيفا في مقاومة انتقال القوى مما يحتاج الى تدعيمه. ويتسبب في زيادة المواد اللازمة لصدوم المنشأ. [47] وقد أدى البحث في الهياكل التنظيمية الهندسية الطبيعية الى انتاج أنماط هيكلية جديدة تؤدي وظائفها بشكل مشابه للأنظمة البيولوجية. وتعد الأنظمة البيولوجية أنظمة غير ثابتة، وتمتلك قشرة مرنة، والذي قد يعكس عل العمارة المستقبلية جعلها قادرة على التغير حسب الرغبة ومن خلال تجهيزها بهياكل كسرية معقدة قابلة للالتواء والمط والانحناء أو الطي بأي طريقة يمكن تخيلها. وتكون قادرة على الاسناد الذاتي في الوقت نفسه، كما يهدف الى استخدام النمط الطبيعية بشكل متوازي مع هدف اعادة تشكيل الحس الجمالي. [48]

2.3.3 التصنيع *Fabrication*: التحوير الكمي *Mass customization* مقابل الانتاج الكمي *Mass production*

يتصف الشكل في الطبيعة بإمكانية اعادة تشكيل الوحدات المكونة له في تنوع حجمي واتجاهي لتحقيق وجوده العضوي. ويمكن للأشكال الكسرية ان تكون قابلة للتصنيع المسبق عند تطبيقها في العمارة بتوظيف وسائل الانتاج الرقمية المتطورة، وتكون القطع المنتجة قابلة للتحوير في أنماط متنوعة تبعاً لتحويلات الشكل ولمنح الشكل الكلي قيمة متميزة وجماليات جديدة للمستخدم، ويمثل الانتاج التحويري وسيلة لإنتاج الأشكال الحيوية والمتنوعة كبديل لوسائل الانتاج الكمي المعتمد على التكرار والتطابق في العناصر المكونة للشكل. وتمثل الطبيعة مصدرا لا ينضب للبحث وإلهام التكنولوجيا وتوجيه الاخيرة نحو استخدام اللوغاريتمات الفعالة وفق الهندسة الكسرية. وقد تحققت ذلك بعض التطويرات والكفاءة التكنولوجية في الأنظمة المصنعة من قبل الانسان في المواد والمنتجات باستخدام التحوير الكمي ووسائل الانتاج الرقمية، وبدأ استخدامها الفعلي في تكنولوجيا العمارة المتعلقة بواجهات المبنى خصوصا. [49] وتسبب تطور التكنولوجيا في تخفيض كلف مواد البناء المحورة وفتح الافاق للتصميم التحويري، ومنح ذلك المصمم إمكانية محاكاة التصاميم الطبيعية وبالتالي الحصول على تصاميم أكثر انسجاما مع الطبيعة.

3.3.3 الاستخدام الأمثل *Optimized* مقابل الاستخدام الأقصى *Maximized*

يظهر تحليل الأنظمة البيولوجية الطبيعية في مملكة النبات والحيوان كونها ذاتية التنظيم وتستخدم الحد الامثل من الموارد الطبيعية في انشاء هياكلها بدلا الاستخدام الأقصى لها. ويؤخذ بنظر الاعتبار البيئية المحيطة بهذه الامثلة والتكيف الذي سمح لها بأن تكون ناجحة في محيطها، مع التركيز على الغلاف المغطي لأجسام الكائنات الحية (مثل الجلد والفرو والريش والأصداف والقشور)، والذي تتعدد وظائفه ليتخذ مصدرا للإلهام لغلاف المبنى ويتبنى الاستخدام الكفوء *Optimization*.

اذ تمثل القشرة في الكائن الحي مثال يمكن التعلم منه في كيفية التكيف مع المحيط رغم التطرف في الظروف البيئية، باستخدام أقل الموارد وهي تقوم بوظائف متعددة مثل التنظيم الحراري وتنظيم التوازن المائي من خلال خزن وتحرير الماء وانتشار او دخول الغازات الضرورية... الخ. [50]

4. المحور الرابع: استخلاص مفردات الاطار النظري.

تم استخلاص مجموعة من المفردات الرئيسية والثانوية نتيجة الطروحات المذكورة وتبويبها وفق الآتي:
اولا- مستوى تطبيق الهندسة الكسرية في مكونات المشروع: ويشمل مستوى تطبيق النظام الهندسي الكسري للمخطط والواجهات والفضاءات الداخلية.

ثانيا- حول الخصائص الوظيفية والهيكلية في الشكل الطبيعي.

• الخصائص الشكلية للهندسة الكسرية في الطبيعة مقابل الهندسة الاقليدية، ويشمل:

- أ - المستوى الاول: الخصائص المتعلقة بالتشابه والاختلاف: ويضم مفردات التشابه الذاتي والاستنساخ والتميز.
- ب - المستوى الثاني: الخصائص المتعلقة بالديناميكية والمرونة: ويضم مفردات الشكل الديناميكي والمرونة.
- ج - المستوى الثالث: الخصائص المتعلقة بالتنظيم الشكلي: ويشمل الكلية والتعقيد والتنظيم العميق والتسلسل الهرمي والنظام ال (لا خطي).

• الخصائص الوظيفية للأنظمة الكسرية في الطبيعة مقابل الأنظمة الميكانيكية.

• الخصائص الهيكلية للأنظمة الكسرية في الطبيعة مقابل الأنظمة الميكانيكية.

5. المحور الخامس: الدراسة العملية.

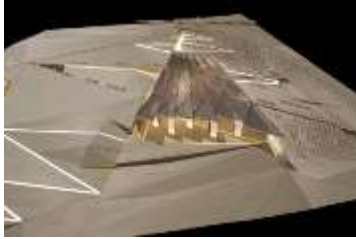
تركز الدراسة العملية على تحديد العينة البحثية واسلوب القياس وطريقته.

1.5. معايير الانتخاب

سيتم وصف عينات الدراسة العملية لغرض اجراء التطبيق على المفردات المستخلصة من الاطار النظري تم انتخاب العينات استنادا الى ظهور الخصائص الشكلية والوظيفية والهيكلية للهندسة الكسرية فيها، اضافة الى شهرتها الواسعة واهميتها في توضيح موضوع البحث، علاوة على أنها جميعا قد اختيرت من مصر والامارات العربية المتحدة لتتبع مدى تطبيق خصائص الشكل الطبيعي في العمارة المعاصرة العربية .

2.5. الحالات الدراسية

1- الحالة الدراسية رقم 1: مشروع المتحف المصري الكبير في القاهرة - مصر، من تصميم Heneghan Peng Architects 2015 ، شكل رقم (1- أ - ب - ج). صمم المشروع ليكون أكبر متحف في العالم للآثار، ليستوعب 5 ملايين زائر بالإضافة لمباني الخدمات التجارية والترفيهية ومجموعة من الفضاءات الخدمية . قامت الفكرة على خلق حافة مائلة جديدة للصحراء كحاجز رقيق من الحجر الشبه شفاف، وتم انشاؤه وفق الهندسة الكسرية في نمط تشكيل الواجهات، ويقوم التصميم على توفير محور بصري رئيسي بمستويات متعددة لتحقيق ارتباط ديناميكي بين القاهرة من جهة والاهرام الثلاثة من جهة اخرى دون ان ينافسها. [51] [52] وبالرغم من ان مصدر الهام المشروع لم يكن من الطبيعة، اذ استخدم المثلث كوحدة أساسية في التكوين الشكلي، الان التكرار المتشابه في أربعة مستويات (الذي يتطابق مع تعريف الهندسة الكسرية في الانماط المستخدمة في المخطط والواجهات) هي انماط كسرية.



شكل رقم (1- ج) منظور عام للمشروع



شكل رقم (1- ب) الواجهات ذات النمط الكسري



شكل رقم (1- أ) الفضاءات الداخلية

2- الحالة الدراسية رقم 2: مشروع الأبراج الحجرية في القاهرة - مصر، من تصميم زهاء حديد، شكل رقم (2- أ - ب - ج). ويضم مركز اداري ومركز تسوق وفندق لرجال الاعمال. تم استخدام برنامج ETABS للتحليل والتصميم في عملية انتاج الشكل الكلي الذي تميز ببعض خصائص الاشكال الكسرية والتشابه الذاتي في المكونات الشكلية في أكثر من مستوى (بالرغم ان مصدر الاستلهام ليس من الطبيعة الا انه تتوفر في المشروع خصائص الهندسة الطبيعية (الكسرية))، فمصدر الاستلهام هو الاعمال الحجرية في مصر لقديمة والتي تعد تنوعا من الانماط والملمس. وانعكس ذلك على الواجهة الشمالية والتي استخدم فيها مجموعة عناصر شكلية بارزة وخاسفة أو فراغات للتأكيد على الظل والضوء، وتؤكد انحناء المبنى. هدف التصميم الى خلق توازن للعناصر المتكررة مع تجنب التكرار للكثلة الساكنة من خلال استخدام الايقاع الهندسي المتشابه والمتشاكب والذي يتصف بالتميز ايضا والتكوين المتلاحم. [53]



شكل رقم (2-ج) منظور عام للمشروع

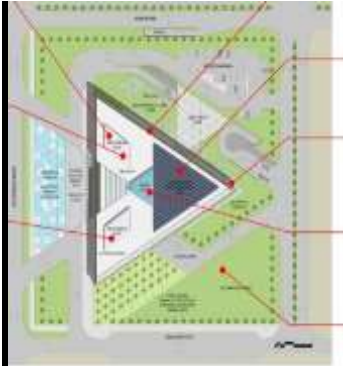


شكل رقم (2-ب) مشهد جزئي للواجهات



شكل رقم (2-أ) مشهد جزئي للفضاء الداخلي

3- الحالة الدراسية رقم 3: مشروع دار الهندسة - القرية الذكية في مصر، من تصميم Perkins+Will Architects، شكل رقم (3-أ-ب-ج). وهو مبنى اداري مكون من خمسة طوابق. تقوم الفكرة على تحقيق الادائية الجيدة للمبنى لخلق بيئة جيدة للعمل والمحافظة على الطاقة. والمبنى حاصل على شهادة LEED الذهبية للاستدامة في ادائية انظمة غلاف المبنى. لا يمثل المشروع استعارة شكلية من الطبيعة وانما يتميز الغلاف بالتنظيم الهندسي الذي اتخذ نمطا كسريا من خلال تكرار العناصر الثانوية في عدة مستويات في الواجهات وكذلك في تصميم الفضاء الداخلي الرئيسي. [54]



شكل رقم (3-ج) مخطط الموقع للمشروع

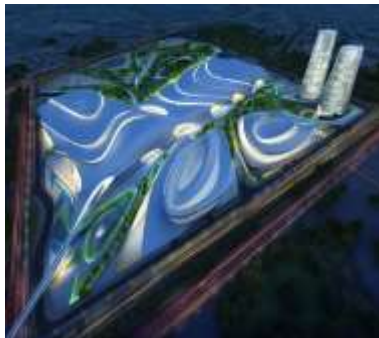


شكل رقم (3-ب) واجهات المشروع

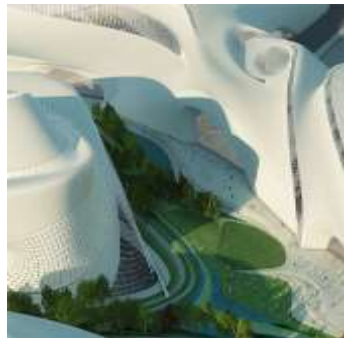


شكل رقم (3-أ) مشهد جزئي للفضاء الداخلي

4- الحالة الدراسية رقم 4: مشروع مدينة المعارض في القاهرة، من تصميم زهاء حديد 2009، شكل رقم (4-أ-ب-ج). يتكون المشروع من معرض رئيسي ومركز اجتماعات وفندق لرجال الاعمال اضافة الى برج اداري ومركز تسوق. الهمة الانماط الطبيعية في دلتا النيل فكرة المشروع كمدينة معارض واجتماعات مع نهر مركزي وروافد معرفة للحركة وطريقة تجميع اجزاء المجمع التي يكون لكل منها كتلتها المتميزة ولكنها منتمية الى الرؤية الكلية للمشروع، وتتميز الفضاءات بالمرونة المناسبة لطبيعة استخدام المشروع. [55]



شكل رقم (4-ج) منظور عام للمشروع

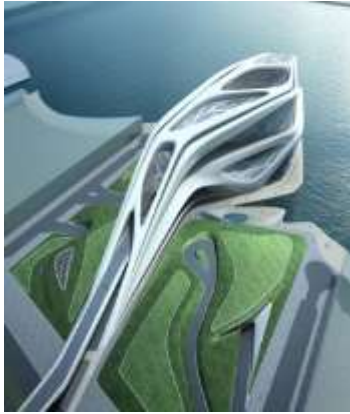


شكل رقم (4-ب) مشهد جزئي للواجهات



شكل رقم (4-أ) مشهد جزئي للفضاء الداخلي

5- الحالة الدراسية رقم 5: مشروع مركز الفنون الادائية في أبو ظبي الامارات العربية المتحدة، من تصميم زهاء حديد 2007، شكل رقم (5- أ - ب - ج). يتكون المشروع من خمس مسارح وقاعة موسيقية ودار اوبرا، والشكل نحتي الطابع يبدو منبثقاً من تقاطع ممرات المشاة الموجودة في الموقع مع تلك المؤدية الى المركز. تتكامل الفضاءات التي تتصل مع بعضها فيزيائياً وبصرياً وبمستويات متعددة ومعقدة. مثلت النظم الطبيعية في نموها في الطبيعة مصدراً لإلهام الشكل فتطور الهيكل باستخدام البرامج الحاسوبية واللوغاريتمات المتفرعة بشكل مشابه للطبيعة وتحولت محاكاة مع عمليات النمو في العالم البيولوجي الفروع، والأوراق والثمار الى مخططات مجردة ومن ثم تحويلها الى تصميم معماري. تم اجراء عمليات محاكاة نمو الطبيعة لإنتاج التمثيل الفضائي للهندسة التي كونت الشكل، وتوزيع البرنامج المطلوب للوظائف بما يوافق الشكل. [56]



شكل رقم (5- ج) منظور عام للمشروع



شكل رقم (5- ب) الواجهة المائية للمشروع



شكل رقم (5- أ) مشهد جزئي للفضاء الداخلي

3.5. اسلوب القياس وطريقته

اعتمد البحث في اسلوب قياس المتغيرات الى طريقة التحليل الوصفي المقارن بين المشاريع المنتخبة، وهي الطريقة التي سيتم اتباعها لقياس المفردات بعد تحديد ما هو فاعل منها واستبعاد ما هو غير فاعل أو يصعب التحقق منها وسيتم تحليل نتائج المتغيرات الفعالة بعد تطبيقها.

4.5. تطبيق المشاريع المنتخبة في استمارة القياس

تم تطبيق قياس المتغيرات على المشاريع المنتخبة كما في الجدول رقم (1).

جدول رقم (1) يوضح تطبيق المشاريع المنتخبة في استمارة القياس

المفردات الرئيسية	القيم الممكنة	أرقام المشاريع				
		1	2	3	4	5
مستويات تطبيقات الهندسة الكسرية في مكونات المشروع						
مستوى السطوح ثنائية الابعاد						
مستوى تطبيقات الهندسة الكسرية في المخطط	على مستوى الكل					
مستوى تطبيقات الهندسة الكسرية في الواجهات الخارجية	على مستوى الجزء					
مستوى تطبيقات الهندسة الكسرية في الفضاءات الداخلية	على مستوى الكل					
مستوى السطوح ثلاثية الابعاد	على مستوى الجزء					
	على مستوى الكل					

%0	5/0							على مستوى الجزء
								المحور الأول: الخصائص الشكلية
								الخصائص المتعلقة بالتشابه والاختلاف
%0	5/0							التشابه
%20	5/1						☒	على مستوى الكل
%60	5/3	☒	☒					على مستوى الجزء
%20	5/1			☒				على مستوى الكل
%0	5/0							على مستوى الجزء
%0	5/0							تشابه ذاتي
%0	5/0							احصائي
%60	5/3	☒	☒					على مستوى الكل
%20	5/1			☒				على مستوى الجزء
%60	5/3	☒	☒				☒	على مستوى الكل
%0	5/0							على مستوى الجزء
								الخصائص المتعلقة بالديناميكية والمرونة
%60	5/3	☒	☒					على مستوى الكل
%20	5/1			☒				على مستوى الجزء
%60	5/3	☒	☒				☒	على مستوى الكل
%0	5/0							على مستوى الجزء
								الخصائص المتعلقة بالتنظيم الشكلي
%40	5/2	☒					☒	على مستوى الكل
%0	5/0							على مستوى الجزء
%60	5/3	☒	☒				☒	على مستوى الكل
%20	5/1			☒				على مستوى الجزء
%0	5/0							على مستوى الكل
%0	5/0							على مستوى الجزء
%0	5/0							على مستوى الكل
%0	5/0							على مستوى الجزء
%0	5/0							على مستوى الكل
%0	5/0							على مستوى الجزء
%61	65/40	13/10	13/9	13/6	13/10	13/5		مجموع التكرار في المشروع للخصائص الشكلية
								المحور الثاني: الخصائص الوظيفية
%0	5/0							النمو
%0	5/0							الذكاء الطبيعي
%0	5/0							التكيف
%0	5/0							السلوك الذاتي
%0	5/0							التنظيم الذاتي
								المحور الثالث: الخصائص الهيكلية
%0	5/0							الانتقال الحر Free flow للانتقال
%100	5/5	☒	☒	☒	☒	☒		التحوير الكمي
								الاستخدام الأمثل
%10	50/5	10/1	10/1	10/1	10/1	10/1		مجموع التكرار في المشروع للخصائص الوظيفية والهيكلية

5.5. تحليل البيانات ومناقشة النتائج

سيتم اتباع أسلوب التحليل الاحصائي النسبي للحالات الدراسية المختارة، وترتب على ذلك النتائج التالية:

اولا: النتائج المتعلقة بمستوى تطبيق الهندسة الكسري في مكونات المشروع: 1- مستوى تطبيق النظام الهندسي الكسري للمخططات: أظهرت نتائج التطبيق بأنها قد حققت نسبة 60% على مستوى الكل و20% على مستوى الجزء. 2- مستوى تطبيق النظام الهندسي الكسري للواجهات: أظهرت نتائج التطبيق بانها حققت نسبة 20% على مستوى الكل و40% على مستوى الجزء. 3- مستوى تطبيق النظام الهندسي الكسري للفضاءات الداخلية: أظهرت نتائج التطبيق أنها حققت نسبة 60% على مستوى الكل و20% على مستوى الجزء.

وتدل هذه النسب على ان تطبيق النظام الكسري مثل النسبة الاعلى على مستوى الكل بالنسبة للمشاريع الخمسة وبالنسبة لكل من المخططات والواجهات والفضاءات الداخلية مما يظهر التأثير الواضح لاستخدام الهندسة الكسرية. ثانيا- النتائج المتعلقة الخصائص الشكلية والوظيفية والهيكلية في الشكل الطبيعي:

- النتائج المتعلقة بالخصائص الشكلية في الشكل الطبيعي المستخدمة في المشروع:
 - أ- الخصائص المتعلقة بالتشابه والاختلاف: 1- التشابه الذاتي: ا- تشابه ذاتي دقيق: أظهرت نتائج التطبيق بانها قد حققت نسبة 0% على مستوى الكل و 20/ على مستوى الجزء. ب- تشابه شبه ذاتي: أظهرت نتائج التطبيق حققت نسبة 60% على مستوى الكل و 40% على مستوى الجزء. ج- تشابه ذاتي احصائي: أظهرت نتائج التطبيق حققت نسبة 0% على كل من مستويي الجزء والكل. 2- الاستنساخ: 3- التميز: حقق كل منهما النسبة الاعلى 60% في التطبيق على مستوى الكل. وتدل النسب على ان التشابه شبه الذاتي وكذلك الاستنساخ والتميز قد مثل النسبة الاعلى بسبب رغبة المصمم في تحويل الأجزاء عن الكل لتوفير التنوع والمرونة في الشكل.
 - ب- الخصائص المتعلقة بالديناميكية والمرونة: أظهرت النتائج النسب الاعلى لخصائص الشكل الديناميكي والمرونة على مستوى الكل نظرا لرغبة المصمم في اضافة الحيوية الطبيعية الى التصميم المحاكي للنظم الطبيعية.
 - ج- المستوى الثالث: الخصائص المتعلقة بالتنظيم الشكلي: أظهرت النتائج فيما يخص كل من الكلية والتعقيد والتنظيم العميق والتسلسل الهرمي والنظام ال (لا خطي) النسبة الاعلى للتعقيد والكلية. اذ حقق كل من الخاصيتين 60% على مستوى الكل، تليها الكلية على مستوى الجزء، اما سبب انعدام خصائص التنظيم العميق والتسلسل الهرمي والنظام ال (لا خطي) في المشاريع، فلأنها مشاريع اعتمدت تحقيق الخصائص الشكلية الطبيعية اما باتخاذ شكل هندسي نقي (مع تفاصيل قائمة على الهندسة الكسرية) أو استعارة شكل طبيعي بسطحية دون الخصائص الاخرى المتعلقة بالوظيفة أو الانشاء في الطبيعة.

- النتائج المتعلقة بالخصائص الوظيفية في الشكل الطبيعي: لم تحقق النتائج اية نسب فيما يخص المشاريع المنتخبة. ويعود السبب الى ان تحقيق المبنى الحي الذي يحقق مبادئ الحياة المرتبطة بتكوينه الهندسي الانشائي هو مطلب قائم على توفر تكنولوجيا متقدمة تعتمد على توظيف تكنولوجيا المواد وحركة مكونات المبنى استجابة للمتغيرات الداخلية والخارجية، وهو مسعى لم يكن من ضمن الاهداف التصميمية للمشاريع المنتخبة.
- النتائج المتعلقة بالخصائص الهيكلية في الشكل الطبيعي: لم تحقق النتائج اية نسب فيما يخص المشاريع المنتخبة باستثناء التحوير الكمي الذي سجل نسبة 100%، نظرا لأهميته في انتاج المكونات غير المتشابهة لتنفيذ الشكل الكلي.

6. الاستنتاجات

- 1- تميزت العمارة المعاصرة بالاستفادة من توظيف ما تم اكتشافه من النظام الهندسي المعقد للهندسة الكسرية والذي تزامن مع امكانية محاكاته حاسوبيا لإنتاج انماط كسرية وتوظيفها في التصميم المعماري وانعكس ذلك من خلال استخدام الاشكال التي تتبنى الهندسة الكسرية في مستويات متباينة في المخططات والواجهات او الفضاءات الداخلية على مستوى الكل او الجزء، ولا بد ان يتكرر النمط الكسري لأربع مرات ليكون التصميم مؤسس على ذلك.
- 2- لا تمثل العمارة ذات الاشكال المنحنية والملتوية بالضرورة الهندسة الكسرية في الشكل الطبيعي ما لم تتضمن تكرارا في الشكل لأربع مرات على الاقل وبمستويات مختلفة، واذا حصل هذه التكرار في مباني متعامدة في المخططات او الواجهات ولا تستعير أشكالها من الطبيعة، فإنها تحتسب عمارة كسرية من حيث الخصائص الشكلية.
- 3- تشير الحالات الدراسية الى انها استخدمت الكسرية في الجوانب الشكلية من حيث تكرار الانماط المستخدمة دون الاستعارة من الشكل الطبيعي، أو استعارة الشكل الطبيعي دون تحقيق الجوانب الوظيفية، ولا الجوانب الهيكلية باستثناء التحوير الكمي الذي يعد مشتركا بينها، والذي مثل وسيلة مهمة في انتاج الاشكال المعقدة وانشاء العمارة المعاصرة.
- 4- وجود فجوة ما بين الطبيعة والعمارة المعاصرة من حيث عدم توفير الخصائص التي تجعل الاخيرة قادرة على الايفاء بوظائف مشابهة لوظائف الكائن الحي ومقتصرة على الخصائص الشكلية الكسرية، مما يستدعي فهما

اعمق للعلاقة بين الشكل الطبيعي ووظائفه وهيكله في الناتج المستقبلي ليكون الناتج المعماري أقرب الى الطبيعة، وهذا أمر لم يظهر في الحالات الدراسية المختارة. ويتطلب ذلك أن يكون من أهداف التصميم ادخال الوظيفة والهيكل المتناسب مع الخصائص الشكلية للعمارة، كما ويتطلب وعيا بالمواد والتكنولوجيا المتقدمة التي توفر الامكانيات المناسبة.

7. المراجع

1. Parashar, Rinku & Bandyopadhyay. (2014). "Fractals, architecture and sustainability". Journal of Recent Research in Science and Technology 2014, 6(1), p.93. Retrieved from: <http://recent-science.com>
2. Bovill, Carl, 2000, Fractal Geometry as Design Aid, Journal for Geometry and Graphics. Volume 4 (2000), No. 1, p.71. Retrieved from http://www.heldermann-verlag.de/jgg/jgg01_05/jgg0405.pdf
3. Lorez, wolfgang E. (2011). "Fractal Geometry of Architecture" in: Ille C. Gebeshuber (ed.), Biomimetics: Materials, Structures and Processes, springer, U.S.A., p.191.
4. Yilmaz, Serkan. (1999). "Evolution of the Architectural Form Based on the Geometrical Concepts". Master Thesis, Izmir Institute of Technology, Turkey, p.11. Retrieved from: <http://library.iyte.edu.tr/tezler/master/mimarlik/T000104.pdf>
5. Terzidis, Kostas. (2006). "Algorithmic Architecture". Architectural Press. Elsevier. Jordan Hill. Oxford, p.88.
6. Ibid, Terzidis, 2012, p.8.
7. Jencks, C. (1997). "The Architecture of the Jumping Universe, A Polemic: How Complexity Science Is Changing Architecture and Culture". Academy Editions. London, p.43.
8. Bovill, 2000, p.77.
9. Jencks, C.(2002). "The new paradigm in architecture". Yale University Press. New Haven & London, pp.29,155.
10. Hundertwasser, F. (1997). "Architecture: For a More Human Architecture in Harmony With Nature". Taschen. New York, p.37.
11. Salingaros, N.A. (2003). "The sensory value of ornament. Communication & Cognition" in Nikos A. Salingaros (ed.), A Theory of Architecture, Umbau-Verlag, Solingen, Germany. 2006,p.332.
12. Eisenman, Peter. (2004). "Inside Out: Selected Writings, 1963–1988". Yale University Press. New Haven, p.14.
13. Wen, Kuo-Chung & Kao, Yu-Neng. (2005). "An Analytic Study of Architectural Design Style by Fractal Dimension Method". Int. conf. on 22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2005 – September 11-14, 2005. Ferrara. Italy, p.1. Retrieved from: <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB13895.pdf>
14. Vyzantiadoua, M.A.; Avdelasa, A.V. & Zafiropoulosb, S. (2007). The Application of Fractal Geometry to the Design of Grid or Reticulated Shell Structures . Computer-Aided Design 39 (2007), p.53. Retrieved from:

- <https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/the-application-of-fractal-geometry-to-the-design-of-grid-or-knIPD3EZqc>
15. Joye, Yannick. (2007). "A Tentative Argument for the Inclusion of Nature-Based Forms in Architecture". PhD. thesis, University of Gent., Belgium, p.109. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/256058324_A_Tentative_Argument_for_the_Inclusion_of_Nature-Based_Forms_in_Architecture
 16. Bovill, 2000, p.71.
 17. El Ahmar, Salma & Fioravanti, Antonio. (2014). "How Plants Regulate Heat, Biomimetic Inspirations for Building Skins", Proc. Int. conf. on Architectural Research through to Practice: 48th International Conference of the Architectural Science Association. F. Madeo and M. A. Schnabel (eds.). The Architectural Science Association & Genova University Press, p.352. Retrieved from https://www.academia.edu/12621626/ACROSS_Architectural_Research_through_to_Practice_48th_International_Conference_of_the_Architectural_Science_Association_ANZAScA_
 18. Parashar & Bandyopadhyay, 2014, p.95.
 19. Ayre, Mark. (2004). "Biomimicry - A review", Research Report of European Space Agency, p.4. Retrieved from <https://www.esa.int/gsp/ACT/doc/BIO/ACT-RPT-BIO-GSP-BiomimeticsSpaceSystemDesign%20-%20TechnicalNote2b%20-%20Biomimicry-AReview.pdf>
 20. Joye,2007,p.314.
 21. Lorez, 2011,p.180-182.
 22. Sala, N. (2006). "Fractal Geometry and Architecture Some Interesting Connections", in: G. Broadbent & C. A. Brebbia (ed.), Eco-Architecture: Harmonization between Architecture and Nature, WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 86, 2006 WIT Press,p.164.
 23. Joye,2007,p.189.
 24. Sala,2006,p.167.
 25. Ibrahim, Islam Ghonimi. (2015). The Role of Nature Form Versus Life Principles In Achieving Sustainability Of Bio-Mimic Architecture Measuring The Gap Of Contemporary Egyptian Practice Of Bio-Mimic Architecture. Journal of Engineering Sciences, Assiut University, Faculty of Engineering, Vol. 43, No. 6, November 2015, p.40. Retrieved from http://www.aun.edu.eg/journal_files/438_J_8307.pdf
 26. Menges, Achim. (2012). " Material Generation Materiality and Materialisation as Active Drivers in Design Computation", in: Voyatzaki, Maria & Spiridonidis, Constantin (ed.), "Seamless, Performing a less fragmented architectural education and practice" . European Association for Architectural Education, Münster School of Architecture, International Conference No. 59. P.40.
 27. Joye, 2007, p.90.
 28. Erdine, Elif. (2012). " Generative Approaches in Tower Design Algorithms for the Integration of Tower Subsystems", in Design Computation", in: Voyatzaki, Maria & Spiridonidis, Constantin (ed.), "Seamless, Performing a less fragmented architectural

- education and practice" . European Association for Architectural Education, Münster School of Architecture, International Conference No. 59. P.109
29. Sabin, J. & Jones, P. (2008). "Nonlinear Systems Biology and Design: Surface Design". Research Full Report AIA 2008 – 2009, Acadia 2008: Silicon + Skin, Biological Processes and Computation, Kudless, A. (ed.), p.4. Retrieved from: <http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aiab080505.pdf>
 30. Voyatzaki, Maria; Spiridonidis, Constantin; Constantin, Sven & Reichardt, Jürgen. (2012). " Initiations", in Design Computation", in: Voyatzaki, Maria & Spiridonidis, Constantin (ed.), "Seamless, Performing a less fragmented architectural education and practice" . European Association for Architectural Education, Münster School of Architecture, International Conference No. 59. P.12
 31. Batty, Michael & Longley, Paul. (1994). "Fractal Cities, A Geometry of Form and Function", Academic Press, p.14.
 32. Fülöp, Zsuzsanna, (2012). " Project Oriented Database of Architecture", in: Voyatzaki, Maria & Spiridonidis, Constantin (ed.), "Seamless, Performing a less fragmented architectural education and practice" . European Association for Architectural Education, Münster School of Architecture, International Conference No. 59. P.350.
 33. Jencks, 2002, p.155.
 34. Tsui, E. (1999). "Evolutionary Architecture, Nature as a Basis for Design". John Wiley & Sons. New York, p.5.
 35. Hundertwasser, 1997, p.37.
 36. Joye, 2007, p.193.
 37. Salingaros, Nikos A. (2012). Fractal Art and Architecture, Reduce Physiological Stress. Journal of Biourbanism ,JBU II (2012) 2 · 11 , p.11. Retrieved from https://journalofbiourbanism.files.wordpress.com/2013/09/jbu-ii-2012-2_nikos-a-salingaros.pdf
 38. Sabin & Jones, 2008,P.15.
 39. Vyzantiadou et al., 2007, p.53.
 40. Alawad, Abeer A. (2014). What approach can we develop to improve creativity in design?. Life Science Journal 2014;11(6), p. 141. Retrieved from <http://www.lifesciencesite.com>
 41. Addington, M. & Schodek, D. (2004). "Smart Materials and Technologies, For the Architecture and Design Professions". Oxford. United Kingdom,p.10.
 42. Erickson, James. (2013). "Evaluating adaptive building envelope's capacity to moderate indoor climate and energy". PhD. Thesis, Arizona State University, p.9. Retrieved from <https://repository.asu.edu/items/18091>
 43. El Ahmar & Fioravanti, 2014, p.351.
 44. Ayre, 2004, pp.12 & 15.
 45. GhaffarianHoseini, AmirHosein; Berardi, Umberto; GhaffarianHoseini, Ali and Makaremi, Nastaran. (2012). Intelligent Facades in Low-Energy Buildings. British Journal of Environment & Climate Change,2012, 2(4), p.443. Retrieved from <http://sciencedomain.org/abstract/878>
 46. Ibid, GhaffarianHoseini et al., 2012, p.443

47. Ibrahim, 2015,P.642.
48. Mazzoleni, Liaria. (2013). "Architecture Follows Nature, Biomimetic, Principles For Innovative Design". CRC Press Taylor & Francis Group. New York. USA, p.48.
49. Lars, H. Ringvold. (2004). "Innovative Façade Concepts". Proc. Int. conf. on World Trade Fair and Conference for the Aluminum Industry, Essen, p.17.
50. Mazzoleni,2013,p.48.
51. Al-Qawasmi, Jamal. (2006). "Changing Trends in Architectural Design Education", Proc. Int. conf. on the Center of the Study of Architecture in the Arab Region, 2006. Guillermo P. Vasquez (ed.). Ribat. Morocco,p.290
52. <http://www.fractalforums.com/art-discussions/grand-egyptian-museum-will-be-fractal>
53. <http://www.akt-uk.com/projects/stone%20towers>
54. <http://perkinswill.com/work/dar-smart-village-headquarters.html>
55. <http://www.zaha-hadid.com/masterplans/cairo-expo-city/>
56. <http://www.dezeen.com/2007/02/02/zaha-hadid-in-abu-dhabi-update/>