IRAQI Academic Scientific Journals
Al-Rafidain Engineering Journal (AREJ) Vol.28, No.1, March 2023, pp. 1-13

تناغم العلاقة بين الهندسة الكسرية والتكيف كمبدأ لتحقيق التصميم المعماري المستدام

فراس حمدي عبد الله* **خالد جمال الدين إسماعيل**** **شيشين ميخائيل يوريفيتش *****
firas.hamdy@gmail.com architect.khalid1975@gmail.com shishinm@gmail.com

* مديرية مباني نينوى-محافظة نينوى- موصل-العراق
** قسم هندسة العمارة-كلية الهندسة- جامعة الموصل- موصل- العراق
***معهد الهندسة المعمارية والتصميم - جامعة ألتاي التقنية الحكومية - الاتحاد الروسي

تاريخ الاستلام: 15-6-2022 استلم بصيغته المنقحة: 3-9-2022 تاريخ القبول: 1-3-2023

الملخص

تتناول الدراسة مفهوم التكيف في الأنظمة الطبيعية، والمبادئ التي تستخدمها هذه الأنظمة لتمكنها من الاستجابة للتغيرات وأداء وظائفها ضمن عمليات النمو المستمر، وهي تشتمل على خصائص ثابتة وديناميكية، للتعلم منها وصولاً إلى مماثلة خصائصها المستدامة في النمو والتكيف. وهنا برزت أهمية الهندسة الكسرية في تفسير الطبيعة المعقدة بتكويناتها وخصائصها، فهي قادرة أيضاً على النمو والتكيف بشكل مستمر ومترابط. وبالتالي، فهي تساعد المصممين على تحقيق القدرة على مواكبة المتغيرات الجديدة والنمو في الوظائف والمتطلبات المكانية في البيئة المبنية عبر الزمن، مسترشدة بالنظم الطبيعية المستدامة.

تبرز أهمية التكيف كأحد أهم الاستراتيجيات لتحقيق بيئة مبنية أكثر قدرة على تقبل عمليات التعديل والتحوير والتغيير. وبالتالي استيعاب التغيرات والمتطلبات المكانية والوظيفية المتجددة، والتوافق معها عبر الزمن. فالمبنى الأكثر تكيفاً يكون أكثر كفاءة في القدرة على الاستجابة للتغيرات. إذ إن فوائد تحقيق التكيفية في العمارة تتمثل في الاستغلال الأكفأ للفضاء وزيادة عمر المبنى وتوافقه مع متطلبات الشاغلين المتغيرة بشكل أفضل وبكلف أقل نسبياً. وبالتالي، تقليل عمليات الانتقال وهجر المباني. فهي تساهم في الحفاظ على البيئة من خلال تقليل عمليات الهدم والبناء وما ينتج عنها من أضرار. وهو ما يرتبط بمجموعة من الفوائد الاقتصادية والاجتماعية والبيئية، الأمر الذي يعد من خصائص العمارة المستدامة. وبما أن الهندسة الكسرية تستمد بنيتها وخصائصها المادية والجوهرية من الطبيعة، والتي هي مستدامة بطبيعتها، فقد أصبحت بدورها مدخلاً لتوظيف خصائص الطبيعة في العمارة. إذ أن قابلية البنية الكسرية على النمو والتكيف، أصبحت ذات صدى وانعكاس في أعمال العديد من المعماريين. وهنا تبرز أهم محاور الدراسة، إذ ركزت على محورين رئيسيين، أولهما طرح مفردات التكيف وخصائصه ومتطلباته في العمارة، والمحور الثاني يتعلق بطرح ما يرادفه من مبادئ التكيف في الطبيعة، وعن طريق الاستعانة بالهندسة الكسرية كآلية يمكن استخدامها لاستكشاف ونقل هذه المبادئ إلى تصاميم معمارية تساهم في تحقيق بناء ناجح ومستدام.

يناقش البحث فرضيته القائلة بأن التكيف يمكن أن يكون مفردة مفتاحية تربط العمارة بالطبيعة المستدامة باستخدام أدوات الهندسة الكسرية. وذلك عن طريق مناقشة طروحات العديد من الباحثين وبلورة مفرداتها لخدمة هدف البحث، الذي يصب في تحقيق التصميم المعماري المستدام من خلال مفاهيم التكيف. وأشارت اهم نتائج البحث إلى وجود تلك العلاقة المتناغمة بين مفاهيم الهندسة الكسرية وما تتضمنه من آليات ومفردات مثل النمو الديناميكي والتكرار ضمن مقاييس متدرجة والتناظر وغيرها، وبين مفاهيم الطبيعة المستدامة بخصائصها المتكيفة تجاه التغييرات المختلفة عبر الزمن.

الكلمات الداله:
الهندسة الكسرية، الطبيعة المستدامة، التكيف، العمارة المستدامة.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).
https://rengj.mosuljournals.com

==========

المقدمة

مع التطور المستمر للمجتمعات، زادت الحاجة إلى أن تكون العمارة قادرة على استيعاب التغير في المتطلبات الوظيفية، والتطورات المستقبلية المحتملة، لتواكب تغيرات اقتصادية وثقافية وتقنية وسكانية ملموسة، وتحقق أهدافها. ذلك النمو الكبير في الوظائف تطلب إعادة تأهيل بعض المباني والمنشآت القائمة، وذلك بهدف عمل موازنة ملموسة في التوسع تتناسب مع تلك التغيرات والمتطلبات. إن ذلك قد يحتاج إلى مساحات تصميم أكثر مرونة لزيادة قدرة المبنى على التكيّف واستيعاب تلك المتطلبات المتغيرة والوظائف الجديدة. وفي إطار هذه الحالة، فقد صاحب تكيّف المباني توسع الكثير منها بشكل عشوائي داخل حدود الموقع العام المخصص لها أو ضمن البناء نفسه، مسبباً إخلالاً بالتوازن بين متطلبات النمو والموارد المتاحة للكثير منها، ومن ثم التسبب في خلل أدائها الوظيفي والجمالي، فضلاً عن الكلف الإضافية المخصصة من أجل إنشائها وتشغيلها وصيانتها، مما يستلزم إعادة برمجة استخدامها لتلبي الاحتياج المطرد والملّح في إيواء الوظائف المستحدثة وتصميم الفضاءات الخاصة بها. ولما كانت الأنظمة الحيوية تتميز بالقدرة على التطور والتكيف مع تغير الظروف المحيطة بها كاستراتيجية للبقاء، فقد برزت من هنا أهمية البحث في ربط أدوات الهندسة الكسرية كآليات لتحقيق التكيف، باعتبار أن الهندسة الكسرية المدخل المناسب لاستكشاف كيف يمكن فهم وتطبيق المبادئ والخصائص التكيفية الطبيعية على العمارة بما تتضمنه من مفردات، تستند إلى نظريات الفوضى والتعقيد، سيتطرق إليها البحث لتحديد الآليات التي تحقق تكيف المبنى بزيادة قدرته على التغيير والنمو، والتي هي صفة من صفات البيئة المستدامة.

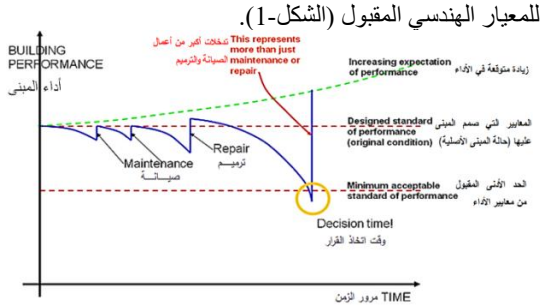
1. المحور الأول: التكيف ومفرداته في العمارة

تتميز الأشكال في الطبيعة بالتطور والتنسيق ضمن تعقيد النظم الطبيعية، حيث يعتمد التمايز المورفولوجي على تأثير العوامل البيئية أو القوى المحيطة، والمتطلبات الوظيفية، ووفق آليات تستخدمها للانتقاء الطبيعي [1]. لذلك، نجد الأصلح والأكثر ملائمة عند دراسة المبادئ البيولوجية، والأهم في أنها مستدامة

بدليل استمرارها على الأرض، واندثار تلك التي لم تستطع التكيف مع بيئتها [2]. وفي العمارة، التي تعود أساساً إلى بيئتها ومواردها المتاحة وأداءها الوظيفي، تعد قدرة المباني على تلبية المتطلبات الوظيفية الجديدة عاملاً مهماً، من خلال قدرة المبنى على استيعاب التغيير، والذي يتحقق بالإضافة والحذف والتوسع والنمو، وفقاً لتلك المتطلبات. مما يضمن له الديمومة والبقاء مع الحفاظ على التماسك والتوازن دون حدوث خلل بميزاته الأساسية. ففي الوقت الذي أظهرت فيه بعض أنواع المباني صعوبة كبيرة للتحوير والتكيف مع مستجدات أو تطورات وظيفية غير تلك المصممة لها، نتيجة لطبيعتها الخاصة فيما يتعلق بفضاءاتها الداخلية وميزاتها الخارجية، وعوامل تنظيمية واقتصادية وقضايا تتعلق بآليات التحوير والتطوير، فأن مباني أخرى قد أعيد استخدامها بنجاح ما زالت تمنح بيئة جيدة لمستخدميها لم يكن ليمنحها مبنى جديد، وما زالت تساهم كمكون مهم ضمن النسيج العمراني. إن قرار تحوير مبنى مشيد يكون مرتبطاً بالوقت الذي لا يقوم فيه المبنى بتحقيق المستوى المطلوب من الأداء بالنسبة لمالكي المبنى أو شاغليه. إذ أن أداء المبنى هو الدرجة التي يحقق فيها المبنى الخدمة لشاغليه بحيث يؤدي الغرض الذي أنشأ أو أشغل لأجله، ومدى كونه صالحاً لذلك الهدف المنشود [3]، إذ توصف الأدائية بأنها تقييم ملائمة المبنى لمتطلبات المستخدمين الآنية والمستقبلية، وتعبيراً عن المسافة بين ما هو مطلوب وما هو متحقق [4].

1.1 تطور الحياة الوظيفية

يتم عند تصميم أو بناء مبنى جديد، تحقيق بعض مستويات الأداء، والتي تفرض من قبل التشريعات أو المتطلبات القانونية النافذة (الصحة، السلامة، قوانين ومعايير البناء) ومتطلبات الشاغلين (الفضاءات، منظومة الحركة، المواد، وغير ذلك). وبمرور الوقت يتعرض هذه المبنى للتدهور بتأثيرات عديدة مثل التأثيرات البيئية، فضلاً عن التآكل والتهرؤ اليومي، ويمكن السيطرة على هذا التدهور من خلال عمليات الصيانة والترميم، وبذلك يمكن للمبنى أن يبقى في حالة مناسبة لمتطلبات المعايير التي أنشأ عليها. إلا أنه عادة ما تؤثر على المبنى تغيرات عديدة تتطلب تحسيناً جذرياً يتعلق بالجانب الوظيفي (مدار البحث)، مثل تغير أو تطور حاجات الشاغلين الحاليين، زيادة أو نقصان حجم العائلة في المبنى السكني، نمو الوظائف في المباني العامة، أو تغير نمط العمل أو النشاط، وظهور تقنيات جديدة تؤثر في طريقة استعمال المبنى، أو التغير الاجتماعي والاقتصادي الذي قد يلغي الاستعمال الحالي للمبنى، أو يؤدي به لأن يكون مهجوراً أو متروكاً [5]. ونتيجة لمثل هذه التغييرات يكون أداء المبنى فيما يتعلق بتغييرات الاستخدام متدنياً وقد يهبط إلى دون الحد الأدنى للمعيار الهندسي المقبول (الشكل-1).



شكل1 أداء المبنى خلال مراحل حياته والتدخلات الضرورية [5]

ويصل المبنى عملياً إلى نهاية حياته عندما يصل إلى تلك المرحلة المتدنية من الأداء، وتتوفر له عندئذ ثلاث خيارات أساسية: ترك المبنى والانتقال إلى مبنى آخر؛ أو هدم المبنى وإنشاء مبنى بديل محله؛ أو تبني القيام بمجموعة من الأعمال والإجراءات لرفع مستوى الأداء الوظيفي إلى درجة مناسبة، مما يتطلب تدخلات هامة على المبنى. إذ تقوم هذه الأعمال المعقدة برفع مستوى أداء المبنى إلى معيار جديد، وقد توصف هذه الأعمال بالتعديل (Alterations)، أو التحويل (Conversion)، أو إضافة بناء ملحق (Extension)، أو التحسين (Improvement)، أو إعادة تأهيل (Rehabilitation) وإعادة الاستخدام (Reuse)، وهكذا. وهي مصطلحات مرتبطة بأعمال واسعة النطاق تجري على المباني المشيدة، غير متعارضة مع بعضها، بل قد يكون هناك تداخلاً كبيراً بينها [5].

أقترح (Douglas) أن التعبير الشامل لجميع المفاهيم السابقة، والذي يشير إلى أية أعمال تجري على مبنى قائم، تتجاوز الصيانة والتصليحات، هو "التكيّف" (Adaptation) وعرفه على أنه "تحسين جوهري للمبنى يتناول مستوى الأداء الوظيفي بدلاً من مجرد أعمال صيانة لما موجود في المبنى أو للمعايير التصميمية السابقة، ويمثل كافة الإجراءات التي تستجيب للتغير في المتطلبات الأدائية للمبنى"، [5]. في حين تُميز المرونة التكيفية، كأحد أنواع المرونة، بأنها التنظيم العام للبيئة المبنية بأقل جهد ممكن، لاستيعاب التغير المتزايد وغير المحدد للاستعمالات المستقبلية [6].

2.1 حياة المبنى The life of a building:

تتغير حياة الإنسان باستمرار عبر الزمن، وهذا بدوره يؤثر على معظم المباني التي تستوعب الفعالية الإنسانية، والتي ترتبط ارتباطاً وثيقاً بمعايير وخصائص الفضاء الذي تشغله. وبالتالي، فإن أي تغير يحصل في حجم ونوع الفعالية، يؤدي إلى تغيير الفضاء. إلا أن التغيير الذي يحصل يكون مرهون بالإمكانات الاجتماعية والوظيفية للفعالية وبإمكانيات المباني الإنشائية والفضائية. كما أن هناك أسباب أخرى لتغيير الفضاء تتمثل في اختلاف المعايير عبر الزمن، والتي تتعلق بالموارد الفضائية للفعاليات. ومن أجل فهم حياة المبنى، من الضروري الإطلاع على الخصائص والعناصر التي يمتلكها، إذ أن لكل منها حياة وعمر معينين، وذلك بدوره يشكل حياة المبنى بأنواعها المختلفة وأعمارها المتباينة وكما يأتي [5]:

1.2.1 الحياة المادية للمبنى Physical life: وتمثل العامل الحاسم باستبدال أو إبقاء المبنى. ويمكن أن تعرف بالفترة التي يدوم فيها المبنى قبل حصول التدهور غير القابل للإصلاح. وعموماً تمتلك المباني حياة مادية طويلة، بامتلاكها تراكيب جيدة، ويمكن تمديدها بشكل غير محدد من خلال العناية والصيانة الملائمة، وهذا ما يفسر بقاء الكثير من المباني لفترات طويلة.

2.2.1 الحياة الوظيفية للمبنى Functional life: بمرور الوقت، قد يصبح المبنى غير مناسب للغرض الذي صمم لأجله، نتيجة لتغيرات في القوانين والمعايير الهندسية والتقدم في التقنيات أو التغير في ممارسة النشاطات والأعمال في المبنى، فيترك المبنى. وهناك بعض المباني تمتلك من الإمكانيات ما يفوق حاجتها واستيعاب فائض للمتطلبات، وبذلك يمكن أن تستوعب قدراً من النمو والتغير في الاحتياجات، ولكن الطلب لذلك النوع من المباني قد ينتفي، أو تكون التغييرات الحاصلة غير موافقة للتغييرات المتوقعة، وبذلك يكون المبنى ملغياً، أو يكون قد تكيّف لاستعمال آخر، وبهذا يكون للمبنى سلسلة حياة وظيفية.

3.2.1 الحياة الاقتصادية للمبنى Economic life: وتعد عاملاً مهماً في تقرير مستقبله، وهي تنتهي عندما تكون العوائد المكتسبة من إنشاء مبنى جديد أكبر بالمقارنة مع ما يمنحه المبنى الحالي، أو عندما تكون قيمة الموقع ومساحته غير مستغلة جيداً بأجنحة وأجزاء المبنى الحالي بالنسبة لمساحة الموقع.

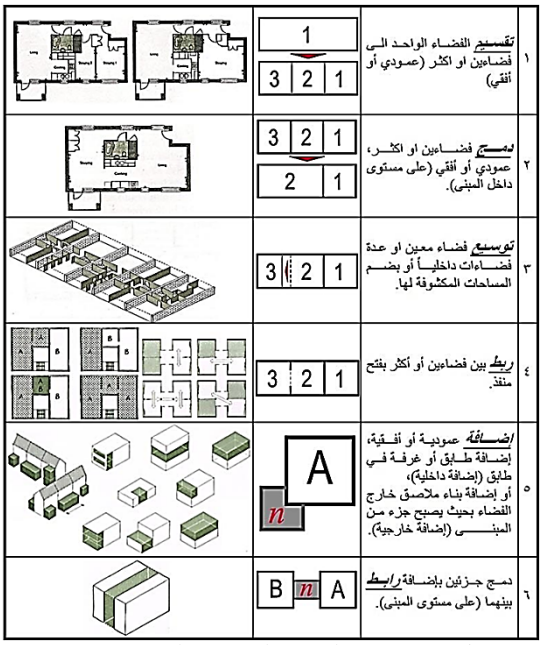
3.1 متطلبات الدراسة التمهيدية لإجراء التكيف في العمارة

تتطلب عملية التكيف دراسة دقيقة للجدوى الاقتصادية قبل اعتماد قرار تكييف المبنى مع المتطلبات الجديدة، بناءً على عدة خصائص قد يمتلكها المبنى، وفي مقدمتها تقييم المبنى من حيث درجة المرونة في تصاميمه، فالمباني ذات المرونة المنخفضة أقل قيمة في دراسة الجدوى لإعادة الاستخدام من البدائل الأكثر تكيفاً. إذ تتطلب كلف عالية للتجديد وتلبية الاحتياجات المساحية المتغيرة. تعتمد الدراسة أيضاً على وضع المبنى الهيكلي، والجهة المنتفعة، وقضايا الموقع والسياق التنظيمي، ودراسة المتطلبات الوظيفة الجديدة ومدى توافقها مع إمكانيات المبنى الفضائية وتأثير ذلك على درجة التحوير المطلوب إجراءه على هيكل المبنى وما يعكسه من جوانب تتعلق بالصرف المالي [7].

يعمل التكيّف على توفير الطاقة والمواد والمصادر، من خلال إعادة استخدام الهيكل الانشائي والقشرة الخارجية، مما يساعد على تقليل الحاجة إلى الصناعة والإنشاء مجدداً، فتقل الحاجة للمصادر الطبيعية والطاقة اللازمة لإنتاجها. ويكون ذلك اعتماداً على سلامة المبنى الذي سيتم تكيّفه، كما إن تجديد المبنى ليلائم الاحتياجات المعاصرة سيتطلب تحليل وإزالة محتملة للمواد الخطرة (كبعض أنواع العوازل الحرارية وغيرها من المواد)، وإضافة تقنيات متقدمة وتقنيات خضراء مع إمكانية دمجهما لتجديد أداء المبنى ولخلق فضاء صحي للعيش والعمل. وتساعد عملية تكيّف المباني في إرساء الميزات الاساسية للمناطق وتقوية الأواصر الاجتماعية والاقتصادية، وذلك من خلال إبقاء المباني التي قد تشكل ميزة لمنطقة معينة أو أن تكون المنطقة معروفة بتلك المباني [8].

4.1 الخصائص الوظيفية للتكيف في العمارة

تصنف التكيفية، والتي تعرف بخاصية سهولة التحوير كأحد مبادئ الأفكار التصميمية المرنة، حسب إجراءات التحوير المطبقة إلى ثلاثة أقسام [9]: التحويرات الوظيفية، التي تتضمن تغيير وظيفة فضاء معين دون إجراء تعديلات على بنية الفضاء؛ والتحويرات المساحية، كإضافة أو طرح مساحة معينة لإنجاز وظيفة أو تلبية حاجات لا يوفرها التصميم بفضاءاته الحالية؛ والتحويرات النوعية التي ترفع من مستوى الخدمات الفنية (الكهربائية، الميكانيكية، الصحية). تم اختيار التحوير المساحي محوراً للبحث، إذ أنه يمس قضايا التغيير الفيزيائي، وما يتضمنه من عمليات نمو وتمديد أو تعديل للفضاءات داخلياً وخارجياً. وقد أشارت دراسة [10]، إلى إمكانيات التحوير المساحي وحددتها بستة أساليب تضمنت تقسيم الفضاء إلى فضاءين أو أكثر (عمودي أو أفقي)، دمج فضاءين أو أكثر (عمودي أو أفقي)، توسيع الفضاء داخلياً أو بضم المساحات المكشوفة، ربط فضاءين أو أكثر بفتح منفذ، إضافة داخلية أو خارجية، دمج مبنيين بإضافة رابط بينهما (شكل-2).



شكل-2: إمكانيات التحوير المساحي، الباحث عن [10]

2. المحور الثاني: التكيف ومفرداته في التصميم المعماري المستدام

العمارة المستدامة مصطلح عام يصف تقنيات التصميم الواعي بيئياً في مجال العمارة. فهي تصميم المباني بأسلوب يحترم البيئة، مع الأخذ في الاعتبار تقليل استهلاك الطاقة والمواد والموارد، مع تقليل تأثيرات الإنشاء والاستعمال على البيئة، وتنظيم الانسجام مع الطبيعة. إذ يمكن أن يكون لتشييد المباني وعملياته تأثيرات واسعة النطاق مباشرة وغير مباشرة على البيئة والمجتمع والاقتصاد، والتي يشار إليها عادةً بالعناصر الثلاثة ("الأرض"، "الناس"، "الموارد"). ويسعى مجال التصميم المستدام إلى تحقيق التوازن بين احتياجات هذه المجالات من خلال استخدام نهج متكامل لإنشاء حلول تصميم مربحة لكل منها. للتأكد من أن أعمال وقرارات اليوم لا تمنع فرص الأجيال القادمة. وبالإضافة إلى تضمين مفاهيم الاستدامة في الإنشاء الجديد، فإن دعاة التصميم المستدام يشجعون بشكل عام على زيادة قدرة المبنى على التكيف، وتعديل المباني القائمة بدلاً من البناء من جديد، إذ غالبًا ما يكون أكثر كفاءة، ويمكن أن يزيد من مرونة البناء. كما أن هناك العديد من التأثيرات السلبية، ومن الموارد التي يتم تبديدها، عند السماح باندثار المبنى أو هدمه، مثلما يتم تبديد "الطاقة المتجسدة" للمبنى القائم، وهو مصطلح يعبر عن تكلفة الموارد في كل من الجهد والمواد المستهلكة أثناء تشييد المبنى واستخدامه [11]. ويعد التركيز العام على تصميم مساحات معيارية قابلة للتكيف بحيث يمكن تقسيمها بسهولة وإعادة استخدامها، والإصرار على التصميم المتجدد الذي يمثل نهج شامل ومتقدم يركز على إنشاء مبانٍ وأنظمة قادرة على تجديد نفسها، والحد من تأثير الإنسان على البيئة، وتقليل استهلاك الطاقة الضار والمهدر، من أهم خصائص العمارة المستدامة [12].

ويعتبر التكيف غالباً الطريق الاقتصادي الذي يوفره أي مبنى، من حيث الانتفاع به باستمرار استعماله ضمن موقعه، حفظ الطاقة، تجنب كلف الهدم وما يصاحبه من تلوث حاصل عن إنتاج المواد والنقل والبناء أو ما يسمى بالتلوث البنائي، بتكيّفه مع متطلبات الشاغلين المتغيرة، خصوصاً فيما يتعلق بالتنظيم الداخلي للمبنى، ويمكن أن يعتبر معالجة وإعادة تدوير المبنى لإعادة استخدامه [13]. ويقصد بمفهوم التكيّف "Adaptive" بحسب (Douglas) أي تغير يتم إجراؤه على المبنى لتغيير سعته أو وظيفته أو أدائه [3]. وعرّفه بالتحويل الذي ينتج عن التغير في

الاستعمال المطلوب من قبل الشاغلين الجدد أو الحاليين. كما يُعرّف بأنه "تطوير إمكانية المبنى المندثر عملياً، لاكتساب عمر إضافي، ولاستيعاب استعمالات إضافية"، فإنه يعمل لاستعادة الحياة للمبنى، وجعله متوافقاً مع الوظيفة والبيئة المحيطة لتكون العلاقة إيجابية للطرفين من خلال التحويل، التحوير، الإزالة والإضافة، فضلاً عن إعادة تأهيل وترميم الأجزاء المهمة التي تحمل القيم المعمارية والثقافية والتي تستمر مع الاستعمال الجديد. إذ أن المفهوم الرئيسي للتكيّف هو احترام المبنى، وإعادة تنظيمه بالبرنامج الوظيفي الجديد والذي يطابق المتطلبات الجديدة، دون حدوث اضطراب كبير [14]. وافترض (Latham) بأنه يحتفظ بأكبر قدر من العناصر والخصائص الأصلية للمبنى، والحفاظ على تماسكه، وتحسين أداءه ليلائم المعايير ومتطلبات الشاغلين المتغيرة بمرور الزمن [15]. فإن تكيف المبنى للمتطلبات والبيئة الجديدة، يعد أفضل اقتصادياً واجتماعياً وبيئياً، والاحتفاظ بالطاقة، فضلاً عن خصوصية المبنى، سواء كان الاهتمام يرجع لأسباب معمارية أو تاريخية أو بيئية. وتعد هذه الاستراتيجية فعالة، إذ تعطي قيمة وظيفية جديدة للمبنى، والاحتفاظ به مشغول وحيوي. ويُنظر على أنها أساسية في حماية الأرض وتقليل مشاكل التشتت والتوسع الحضري السلبي والتأثير البيئي، وإن أفضل إنجاز لها هو الاحتفاظ بطابع المبنى، وتقليل حدة التغييرات العنيفة في الطرز والأنماط المعمارية [16].

وقد أظهرت نتائج دراسات تحليلية لإيجاد القوانين الأساسية للعمارة والعمران، أن المباني والمدن تخضع لنفس القوانين التنظيمية للعالم البيولوجي والطبيعة المعقدة، على اعتبار أن الطبيعة هي المنظم المورفولوجي لأنماط الكون. لذا، يجب أن تستند العمارة الجديدة إلى قواعد علمية وتجريبية. وإن العمارة بهذا النهج تتبع أسلوباً علمياً، متخذة الطبيعة مرجعاً لها، وهي أساس العلوم، بدلاً من إنتاج تصاميم قسرية أو اتباع الإملاءات الأسلوبية الاعتباطية والتعميم المفرط، التي أدت إلى فصل الإنسان عن بيئته. تتيح هذه القواعد أيضاً إنشاء وتوليد مبانٍ جديدة تكرر المشاعر الإيجابية والحس الذي تثيره المباني التاريخية، بعمليات أساسية دون النسخ السطحي لها شكلاً أو أسلوباً. وأن المباني العظيمة في الماضي، والعمارة المحلية من جميع أنحاء العالم، لها أوجه تشابه رياضية أساسية. ويتمثل أحد أوجه ذلك التشابه في اعتمادها البنية الكسرية، إذ توجد بعض الهياكل التي يمكن ملاحظتها في كل مستوى من مستويات التكبير، تحمل خصائص مثل التشابه الذاتي والهيكلية الهرمية المقياسية، وترتبط مستويات القياس المختلفة ارتباطًا وثيقًا بالتصميم. وإن هناك ضرورة لهذه الهياكل الكسرية؛ وبأنواع معينة من التكوينات والعلاقات الهندسية المتفاعلة. وتظهر الأهمية عند المقارنة مع المباني الحداثية. التي لا تفتقر لتعدد المقاييس، لكن المقاييس المختلفة ليست مترابطة. فهي تلتزم بقاعدة تجنب المقاييس الكسرية، والتوجه نحو الاختزال والتجريد. بداعي إزالة الفوضى المتصورة للمباني والمدن التقليدية؛ في حين أن تلك الفوضى هي في الحقيقة التعقيد المنظم الذي أعطى الحياة لهذه الهياكل [17].

يمكن تحديد مجمل المفردات التصميمية المؤثرة على إمكانيات التحوير المساحي، المستوى الثاني من التحوير الشامل والذي يلجأ إليه عند عجز التحوير الوظيفي (المستوى الأول) للفضاءات المختلفة عن سد حاجات ومتطلبات شاغليها، وكما يأتي [18]: حجم المبنى من حيث أبعاده ومساحته؛ شكل المخطط الأفقي من حيث طبيعة النسب البعدية المعتمدة فيه؛ انفتاحيه الغلاف الخارجي للمبنى والذي يرتبط بمدى قدرة المبنى على الفتح إلى الخارج وتأثير ذلك على التصميم الداخلي؛ الهيكل الإنشائي والذي يحدد بدرجة كبيرة إمكانات التحوير والتعديل على المبنى باعتبارها من العناصر الثابتة التي قد تعيق أو تسهل التحويرات المطلوبة ولا يمكن إجراء أية تعديلات فيها؛ الفضاءات ذات الخدمات الخاصة وهي إحدى المتغيرات في تخطيط المباني والتي تصف أجزاء من المبنى وفقاً لمعايير خاصة كالفضاءات الرطبة؛ العلاقة بين عناصر المبنى بسبب أن بعض هذه العناصر تتطلب التغيير أكثر من غيرها؛ موقع مدخل المبنى والذي يؤثر على طبيعة الحركة الداخلية وتنظيم فضاءات المبنى، ونوع منظومة الحركة وأسلوب تصميمها.

وقد صنفت دراسة (النجيدي) مجموعة من الخصائص أو المبادئ التصميمية والتخطيطية، والتي من الممكن أن تتضمنها التصاميم الأولية لزيادة القابلية على التكيّف بتأثيرها الكبير على إمكانية إجراء التحويرات بسهولة ويسر، وخلق بيئة داخلية تحقق الغاية المرجوة من المبنى، كمؤشرات مرتبطة بسهولة التحوير تحت ثلاث عناوين وكما يأتي [19]:

أ- تركيز وتنميط النظام الإنشائي: وهما متغيران يتعلقان بتخطيط المبنى لوصف الأنظمة الإنشائية باعتبار أنهما يسهلان إجراء التحوير؛ تركيز النظام الإنشائي يعني التحديد والتقليل من المساند العمودية وتقليل مساحاتها في المخطط، أما التنميط فهو مدى تشابه وتكرار الخصائص البعدية وتحديد المواقع للنظام الإنشائي في كافة أنحاء المبنى، حسب مواصفات تقييس معينة وخاصة بالنسبة للمباني المصنعة.

ب- تنطيق المساحات ذات المواصفات الخاصة: هو أسلوب تصميمي يوزع أجزاء المبنى بموجبه طبقاً لخصائص معينة، ويمكن تحديده بعاملين مترابطين؛ الأول خصائص الفعاليات التي تشغل الأجزاء المختلفة للمبنى، فيما يتعلق بدرجة تخصص الفعاليات ودرجة احتمال تغير الفعاليات في المستقبل، والثاني خصائص العناصر أو أجزاء المبنى نفسه.

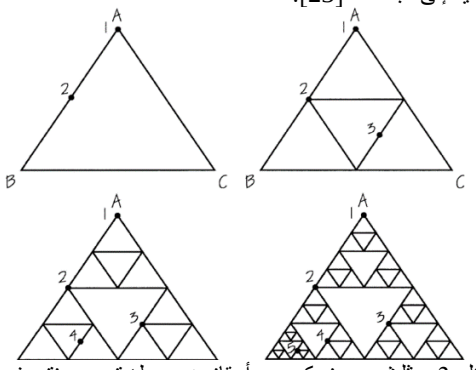
جـ- استقلالية عناصر المبنى: وهو متغير تصميمي آخر، يتناول المبنى كمجموعة من العناصر المادية المختلفة في أعمارها الافتراضية، حاجتها للتغيير، علاقاتها مع بعضها وارتباطاتها مع تغير الفعاليات في المبنى عبر الزمن، إذ أن قسماً منها يبقى لفترات طويلة في حين يحتاج القسم الآخر إلى تغيير مستمر، وإن بعض هذه العناصر تتأثر بتغير الفعالية في حين لا يتأثر البعض الآخر، الأمر الذي برر التوجه نحو زيادة استقلال هذه العناصر عن بعضها البعض بهدف تسهيل عملية التكيّف وتخفيض المشاكل والعراقيل التي تواجه تلك العملية، إذ يقضي هذا التوجه بتقليل اعتماد هذه العناصر على بعضها بالشكل الذي يمكّن من تغيير أو تحوير أي عنصر دون الحاجة إلى تغيير عنصر آخر. لذلك فقد ظهرت عدة أفكار تصميمية تتعلق بنوعين من العناصر البنائية، النوع الأول هي العناصر طويلة العمر الثابتة كأجزاء أساسية، وتمثل عناصر الهيكل الإنشائي والتي لا تتأثر بتغير خصائص الفعاليات حيث تبقى طيلة العمر الافتراضي للمبنى، والنوع الثاني تمثل العناصر قصيرة العمر المتغيرة وهي عناصر سهلة التحوير والتغيير مثل الإنهاءات والقواطع والخدمات وهذه العناصر تتأثر بتغير الفعالية وتستلزم تغيير مستمر أثناء فترة حياة المبنى.

ومن خلال الدراسات، يمكن تحليل خصائص أنظمة التعقيد، وهي الأساس العلمي الذي تستند عليه الآليات الكسرية، للإشارة إلى سلوك الطبيعة في تحقيق التكيف كأحد وسائل الاستدامة في المنظومات المعمارية، وكما يأتي [20]**:**

1.2 التنوع في العناصر ضمن منظومة ديناميكية متفاعلة:

تتكون الأنظمة المعقدة من مجموعة متنوعة من الأنظمة الفرعية أو عدد كبير من العناصر. إذ يمكن إثبات التعقيد من خلال مفهوم التنوع، وتحديد النظام من عدد المكونات. فغالباً ما يمكن وصف سلوك العناصر بالمصطلحات التقليدية عندما يكون هذا العدد صغيراً نسبياً، في حين يتعذر فهم النظام بسهولة عندما يصبح العدد كبيراً بدرجة معينة. وإن عدداً كبيراً من

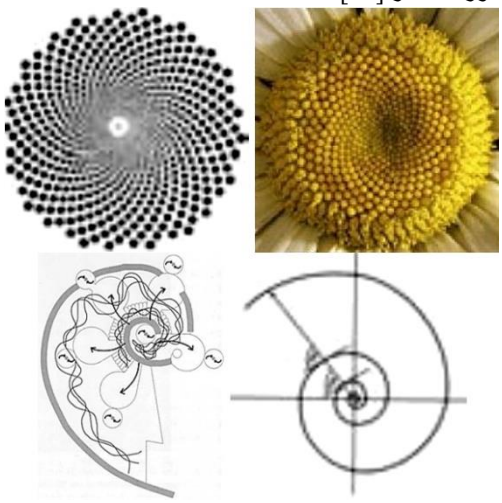
العناصر ضرورياً، ولكن يجب أيضاً أن تتفاعل وبشكل ديناميكي وليس فيزيائي، مما يجعل النظام يتغير باستمرار بمرور الوقت، ويمكن اعتباره أيضاً بمثابة تبادل للمعلومات. فإن حبيبات الرمل لا تشكل نظاماً معقداً، لأنها وبرغم تعددها، لا تتفاعل فيما بينها. وهكذا، فإن هذه الأنظمة اللاخطية لا يمكن اختزالها إلى أجزاء مكوناتها، وهي خاصية أخرى، فلا يمكن اعتبار النمط بأكمله مكوناً واحداً بالنظر لطبيعته المترابطة التي تؤدي إلى سلوكيات جماعية للنظام ككل. وبالإشارة إلى نظرية الأنظمة العامة (الجشتالت)، فالنظام برمته هو أكثر من مجموع أجزائه، وإن "المزيد مختلف". وفي كل حالة، تتجمع الأشياء لتشكل "كليّات" تختلف خصائصها عن أجزائها، وهذه الكلّية المترابطة هي التي تُنشأ الحياة والنوع. وبالتالي، فإن الاختزال التقليدي لا يناسبها، إذ يرفض النهج الشمولي النظرة الميكانيكية الحداثية، والتي تمنع الثراء والتنوع [20]. إن نظرية التعقيد تركز على العلاقات المعقدة للعناصر، والتي هي غير عشوائية بل تخضع لآليات تولد النظام على مستويات مختلفة من التنظيم. وفي حين يؤكد العلم التقليدي على الثبات والانتظام والتماثل والمساواة، وعلى الأنظمة المغلقة والعلاقات الخطية. فإن نظرية التعقيد، على النقيض من ذلك، تجذب الانتباه إلى الاضطراب وعدم الثبات والتنوع واللامساواة والتوازن غير المستقر والعلاقات غير الخطية، التي تصف الزمنية والسببية الموجودة في ظواهر الحياة الواقعية بشكل أكثر دقة من الأساليب التقليدية [21]. كما يرتبط التعقيد، والذي يسمى "البساطة العميقة" [22]، بفهم كيف يمكن لنظام أن يشكل علاقات ويتفاعل مع محيطه بروابط متبادلة. وكيف يمكن إنشاء عدد كبير من مجاميع العلاقات المتنوعة، شديدة التعقيد والديناميكية، من أنماط سلوكية بسيطة، أو إدراك الفوضى (وهي سلوكيات تبدو عشوائية ولكنها تتبع نمطاً)، باكتشاف النماذج البدئية البسيطة المتشابهة ذاتياً، وأنماطها التكرارية العميقة الكامنة (شكل-3). ولهذا تعرف الكسرية بهندسة التعقيد. فجميع قوانين التعقيد هي ضغط بسيط للسلوك المعقد؛ أي اكتشاف قواعد وخوارزميات وأوصاف بسيطة وراء ما يبدو أنه ظواهر غير ذات صلة. وإن الهدف من قانون الطبيعة، في الواقع، هو تقليل التعقيد إلى البساطة [23].



شكل-3: مثلث سيربنسكي، يبدأ بقانون بسيط؛ تحديد منتصف كل ضلع من أضلاع المثلث، وتفريغ المثلث الوسطي، وتكرر العملية. في البداية يبدو الوضع بسيطاً، لكن بعد فترة ليست بطويلة يبدأ التنوع والتعقد في الظهور [24]

إن الأنظمة المعقدة ذاتية التنظيم تتمتع بقابلية التكيف مع المواقف الجديدة في بيئاتها. وهو نتيجة العمليات التطورية، فلا يمكن أن يبقى النظام ببساطة إذا لم يستطع التكيف مع الظروف الجديدة، والتي لا يمكن التنبؤ بها. وإن التكيف يتعامل مع كل أشكال التغيرات لذلك فهو ضروري من أجل البقاء، حيث يكون كل شيء عرضة للتغير، مما قد يؤدي إلى اختلال النظام، الذي يهدد وجوده. وإن سمة التنوع للنظام تؤدي به لأن يكون متكيف، إذ إنه يحمي بقاء النظام بأكمله من خلال السماح بالتغيير وتطور الأنظمة المعمارية دون تصميم مسبق [20]. وتم التأكيد على ضرورة تحقيق القدرة على التكيف من أجل تحقيق بنية مستدامة، إذ تدعو هذه القدرة إلى تصميم وتنظيم البيئة المبنية وفقاً لمقاييس ومستويات متنوعة. ومع وضع ذلك في الاعتبار، فإن نظرية الكسرية تمثل نهجاً مهماً لاستكشاف القدرة على التكيف المعماري، يسمح بتصوّر التنظيم المكاني كنمط متعدد المقاييس. إن الكسرية تسهل إنشاء هياكل عضوية متماسكة ومعقدة، تتلاءم بانسجام مع المحيط وتتفاعل معه. وتظهر النظم الكسرية في التطور بسبب الحاجة الطبيعية إلى الكفاءة والتحسين. كما يجب اعتبار المباني والمناطق المحيطة بها أنظمة معقدة، حسب احتياجاتها، لتكون متنوعة وديناميكية وقابلة للتكيف وتطورية. إذ تمكّن هذه القدرات من استيعاب التغيير عبر الوقت والاستمرار، مع الاهتمام بالقضايا البيئية والاجتماعية والاقتصادية، مع عدم اليقين بالمستقبل. وتعتبر المباني معقدة أيضاً لأنها تتكون من عدة مكونات متصلة منظمة وتتفاعل وفقاً لعملية هرمية [25].

ويعتبر مبنى (Bavinger) أحد أفضل الهياكل الكسرية، في تقليده للأنماط الطبيعية وتكرار تكوين معين بمقاييس متنوعة، مثل زهرة بتكوينات مختلفة. والأهم، في طريقة جذب العناصر المتنوعة في لغته الكسرية، متخذاً شكلاً طبيعياً (الشكل الحلزوني) ومستنداً إلى مبدأ "الجاذب الغريب" في السلوكيات الطبيعية والذي يمثل المسار أو نمط السلوك الذي يشكل المخطط بأكمله، مما ينتج أكثر اللغات المعمارية تنوعاً. فلغته الكسرية يمكنها أن تستقطب مثل هذه المواد غير المتجانسة من الطبيعة والثقافة. ولقد اشتق مثل هذه الأشكال التنظيمية من خلال اتباع قواعد الطبيعة وعملياتها بوعي، وإعادة تدوير كل شيء، وتنظيم مبنى مثل تيار متدفق، أو سحابة متشابهة ذاتياً، وأضافها في عمارته. واستخدم "التشابه الذاتي" الذي يمنح الغنى والتنوع في المقاييس والأشكال والزوايا، على عكس التماثل الذي يؤدي إلى الملل والرتابة (شكل-4). إن هدف تحقيق تنوع أكبر في العمارة هو تحقيق قدر أكبر من الاستقرار، وبنية ذات عمق تنظيمي كبير. إذ كلما زاد التنوع، زادت خيارات النظام، وزادت ثبوتية استجابته للعوامل والتهديدات المحيطة. ومثل أهداف الطبيعة، وإن أهداف هذه العملية الاتجاهية هي المتانة والبقاء. وحيث أن الطبيعة لا تستطيع حساب خطواتها التالية، فالسياسة المعقولة هي أن يكون لها أكبر قدر من التنوع. وعلى الرغم من أنه يولد التشويش والصراع، إلا أن هذه تعد تبعات بسيطة مقابل تحقيق إمكانية التطور المستمر [23].



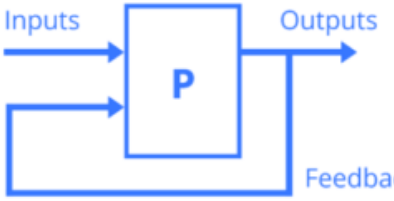
شكل-4: التنوع في المقاييس والأشكال وترابطها ضمن النمط الكسري بما يجسد الوحدة في التنوع [26]

2.2 السلوك اللاخطي للمنظومة: إن سلوك العوامل في النظام المعقد ليس حتمياً (محدد) تماماً ولا عشوائياً تماماً؛ بل إنه يعرض كلا الخاصيتين. تسمى هذه الازدواجية بالفوضى الحتمية أو "التعقيد من خلال القواعد". فبينما يمكن أن يولد النظام الحتمي البسيط، والذي لا يحتوي سوى عدد قليل من العناصر، سلوكاً عشوائياً، فإن ضمن النظام الحتمي المعقد، يتم إنشاء السلوكيات العشوائية دون انتهاك القواعد العامة للنظام بأكمله. وهذا يعني أن هناك بعض المعادلات الحاكمة التي تحدد سلوك النظام – الطريقة التي تتفاعل بها العوامل - وتحافظ على النوعية أو الموقع أو الطابع العام للنظام. ففي قطاع البناء، يتمثل مصدر النظام بالسياسات التخطيطية والمالية وأنظمة البناء، وغيرها، وهي تحدد سلوك النظام. ومع ذلك، يُسمح بالسلوكيات العشوائية ضمن حدود معينة. فيكون المصدر الرئيسي للعشوائية، على سبيل المثال، قرارات وأفعال من قبل المستخدمين (أفراداً أو مجتمعات) لا يمكن التنبؤ بها، كعوامل أو عناصر تتفاعل ضمن حدود القواعد في السياق. وفي كل مرة يتخذ المصممون قراراً بتغيير الشكل أو عدم تغييره، إضافة أو تحريك أو إزالة؛ أو إعادة ترتيب التداخلات، فإنهم ينشئون أنماطاً جديدة تماماً للترابطات. فاللاخطية تمثل أحد الجوانب المهمة للفوضى والتعقيد. إذ لا يمكن تعريف هذه الأنظمة عن طريق المعادلات الخطية أو معادلات الدرجة الأولى، بل من خلال مجموعة من العلاقات المتبادلة المعقدة أو حلقات التغذية الراجعة. فقد تأتي التغييرات بطرق لا تنطوي على نتيجة واحدة محتملة [20]. وتجدر الإشارة إلى أن التعامل مع الأنظمة المعقدة غير الاجتماعية، مثل النظم البيئية الطبيعية، يتضمن بعدين رئيسيين هما المكان والزمان. بينما هناك بُعد إضافي في النظم الاجتماعية المعقدة، وهو العامل البشري. والذي يحدد بشكل كبير الطبيعة المزدوجة المعقدة للعمارة، إذ يتصرف النظام بكامله كنظام معقد؛ وكل فرد في هذا النظام هو أيضاً نظام معقد للتنظيم الذاتي والسلوك التكيفي [27].

يتمثل أحد تطبيقات هذا المفهوم في تصميم زها حديد لمركز الملك عبدالله للدراسات البترولية (KAPSARC)، الذي يسعى جاهداً ليكون صديقًا للأرض. فقد وصفت هندسته بأنها تتطلع إلى المستقبل بتكوين شكلي يمكن توسيعه أو تكييفه دون المساس بالنمط المرئي للمركز. إذ أن الاستراتيجية التنظيمية الجوهرية للتصميم هي نظام خلوي موديولي جزئياً، يدمج مباني الأقسام المختلفة كوحدة واحدة مع المساحات العامة المترابطة، من خلال الهياكل المنشورية السداسية المستخدمة في التصميم، والتي حددت بطبيعتها المتراصة والكسرية، المبدأ الهيكلي والتنظيمي للتكوين. من حيث اعتبارها اندماجًا للأشكال البلورية التي تظهر من المناظر الطبيعية الصحراوية، وكذلك في أنها تنمو وتتطور للاستجابة بشكل أفضل للظروف الخارجية ومتطلبات البرنامج الداخلية. حيث يتم ضغط شبكة السداسيات باتجاه محورها المركزي كامتداد للوادي الطبيعي من جهة الغرب. في حين يولد التصميم المعياري استراتيجيات تنظيمية ومكانية وهيكلية متسقة تدمج جميع عناصر المخطط. توفر الخلايا السداسية فرصًا أكبر لزيادة الاتصال عند مقارنتها بالطريقة الإقليدية، فهي تسهل الاتصالات مع أي توسع مستقبلي للحرم الجامعي من جهة الشمال، بالإضافة إلى إنشاء روابط مع المجتمع السكني من جهة الغرب (شكل-4) [38].

شكل-5 أ. المحاور اللاخطية في الطبيعة، فالعديد من الكسرية اللاخطية تبدو عضوية، ب. مشروع (KAPSARC) [38].

3.2 ردود الفعل (التغذية الراجعة): وتعد أهم خاصية تميز أي نظام معقد، وتصف عواقب التغيير في النظام. حيث يؤثر سلوك عنصر ما على الطريقة التي تتصرف أو تتفاعل بها العناصر الأخرى ومن خلال سلسلة من العلاقات، فيتغذى بتأثيره الأولي على نفسه (شكل-6). وهكذا، فإنها تحدث عندما تعاود النتائج دورتها للتأثير على الأسباب مرة أخرى، بالسلب أو الإيجاب، في حلقات مستمرة، فيتم استخدام المخرجات كمدخل في الحساب التالي. ويمكن استخدام التغذية الراجعة لتضخيم اضطرابات بسيطة عن طريق العلاقات اللاخطية، إذ تعطي نتائج معقدة من قوانين بسيطة [20]. إن الكسرية نوع من الظواهر الهندسية العميقة تنشأ من تطبيق التغذية الراجعة وفق قاعدة تكرارية [28].

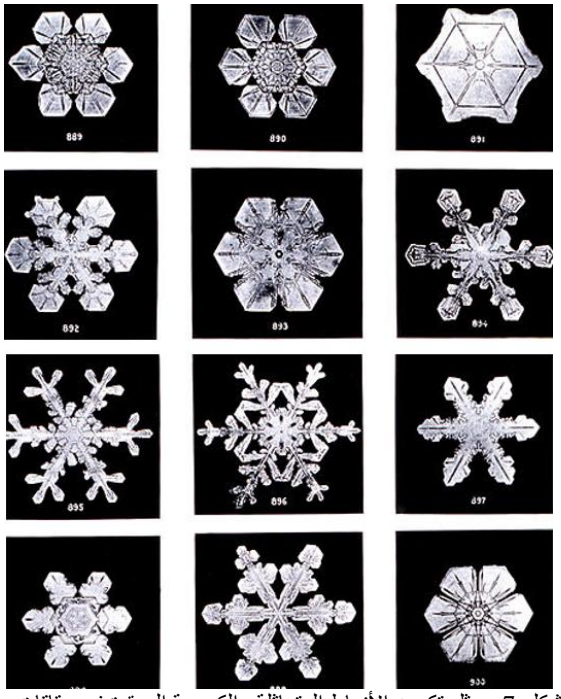


شكل-6: حلقة التغذية الراجعة حيث تتوفر جميع مخرجات العملية كمدخلات سببية لتلك العملية [39].

إن النظرة الجديدة للعالم، المتأثرة بالعلوم الجديدة، هي أن الكون أكثر إبداعاً وديناميكية مما كان يعتقد سابقاً أنه ثابت. ويُفهم هذا العالم المنظم ذاتياً على أنه نموذجياً لإبداعه، بمبدئه الأساسي المتمثل بزيادة التعقيد، باعتباره القانون الرئيسي لتطوره، ومن خلال خصائصه مثل التغذية الراجعة والتنظيم الذاتي. وبالتالي، يمكن للعمارة، من خلال نظرية تكوين الكون الإبداعي ونظرية التعقيد القائمتان على الهندسة الكسرية كبنية لا خطية، أن تعكس عمليات الكون، وطاقته، ونموه، وقفزاته المفاجئة، وتقلباته الجميلة، وتجعيده، وانعطافاته، وكوارثه. وهي بذلك تختلف عن النماذج الميكانيكية التي فرضها الحداثيون على حياة المبنى. وهكذا، مع وضع النموذج الكسري في الاعتبار كلغة جديدة تتخلل الخصائص الطبيعية وأسبابها الوظيفية، يمكن للمخططين الاقتراب من النمو الدقيق والرائع والعمل معه، لأنه يكمن وراء نمو الكون نفسه [23]. وبالرغم من إن نظرية التعقيد لا تسفر عن منهجية محددة للتصميم، ولكن يمكن استخدامها لفهم

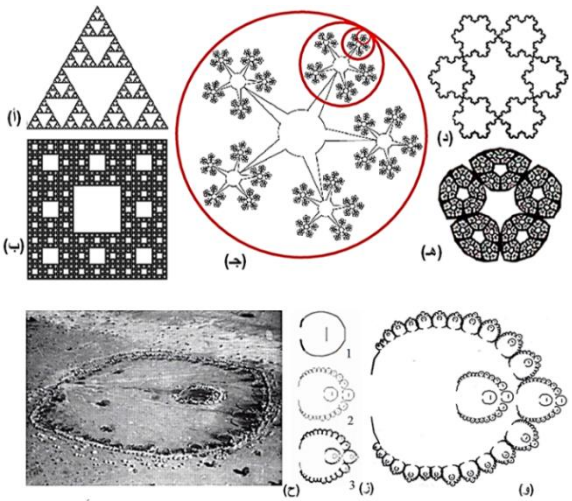
المشكلات الناشئة عن مهام التصميم المعقدة والتعامل معها. وفي حين تحد الطبيعة الفريدة والمعقدة لمشاكل التصميم المعماري من إمكانية التنبؤ بنجاح الحل، فإن نظرية التعقيد قد تساعد في تقدير مدى ملاءمة الحل في سياق بيئة متغيرة. ففي عالم معقد، لا تنتهي عملية التصميم أبدًا، يجب أن تكون منتجات التصميم قادرة على التواصل والتكيف والتبادل والتواصل بعد انتهاء عملية التصميم. ونظرًا لأن عمليات التصميم ستستمر طوال عمر المبنى، فسيتعين دمج أدوات التصميم التوليدية ومنتجاتها إلى حد ما [21].

4.2 القدرة على النشوء والانبثاق: هو عملية انبثاق نمط معقد من الأجزاء الأساسية المكونة. وتظهر الأنماط والسلوكيات المعقدة وغير المتوقعة داخل الأنظمة المعقدة بدون سبب أو تصميم واضح (غير مخطط لها). فهي ظهور أنظمة جديدة بخصائص جديدة، لا تُحسب من خلال العناصر التي يمكن تحليلها فيها، أو بمحتوى سوابقها. وقد يكون هذا سبب عدم وجود نظامين معقدين متشابهين، أو مدينتين متشابهتين تماماً، حتى لو كان لهما تاريخ ونمط مماثل. فإن المكونات الفردية للنظام تعمل فقط على المعلومات المحلية والمبادئ العامة. وينشأ السلوك المرئي من التفاعلات التي تكون ضئيلة للغاية. ويكون محتوى المعلومات مجرد آثار، لكنها تؤدي بعد تفاعلات بسيطة إلى سلوك معقد بشكل مرئي. ووفقاً لألكساندر، فإن الكلّية التي تحدث في الحيز، تتجلى بطريقة تخلق المزيد والمزيد من الحياة، ومن هذه التحولات، يتم إنشاء (كليّات) أكبر. وبهذا المعنى، يمكن تعريف النشوء أو الأحداث المفاجئة في العمارة – مثل الكائن الحي – على أنها خصائص يمتلكها نظام معقد ديناميكي ككل عضوي، من خلال الأجزاء المكونة له، والتفاعلات المستمرة بين العمليات الجزئية والكلية. ولذلك، فإن مصطلح "عضوي" يمثل بشكل أفضل الطبيعة المعقدة لمفهوم التطور والتغيير التدريجي المعماري وخصائصه المميزة. فهو ينقل الخصائص الرئيسية للأنماط التي تنمو بشكل طبيعي. وبخلاف ذلك الاقتراب من الكون العضوي، سنقوم يوماً بعد يوم ببناء بيئة منعزلة بدون خصائص مكانية حية [20]. وهكذا فإن كل ندفة ثلج فريدة من نوعها، وإن أحد العوامل المساهمة بتفردها هو أنها تتشكل بأنماط كسرية، والتي تسمح بكميات هائلة من التفاصيل والتنوع. ففي التكوينات البلورية الجليدية، تكون نقطة البداية للكسرية في المركز، ومع توسع البلورة، تتشكل الهياكل الكسرية وتتمدد في كل اتجاه. تمامًا مثل غيرها من الكسريات، يصبح كل تكرار للشكل أصغر وأكثر تفصيلاً، مما يساهم أيضًا في التعقيد الكلي للشكل (شكل-7).



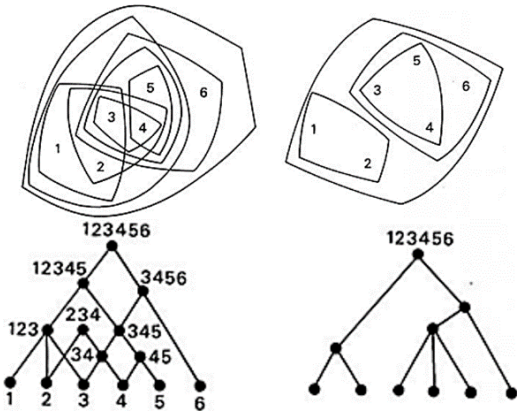
شكل-7: يمثل تكوين الأنماط المتماثلة والكسرية المعقدة في رقاقات الثلج مثالاً على الظهور في نظام فيزيائي [39].

5.2 الترابط بين المكونات: تشير هذه الميزة إلى جودة مماثلة للتآزر الذي يحدث في النشاط الجماعي، مع نتائج مماثلة أيضاً. إذ ترتبط مكونات النظام المعقد ارتباطاً وثيقاً ببعضها البعض على المستوى المحلي، وبالمحيط على المستوى العام. لدرجة أن النظام وبيئته يتطوران معاً. وجادلت (جين جاكوبس) بأن البيئة المبنية هي أساساً كائن حي له روابط داخلية معقدة وسلوك شمولي. واقترح (ألكساندر وآخرون) أن العمارة هي نتاج لغة الأنماط. ووفقاً لنظريته، فإن الأبواب والنوافذ والمباني والساحات والأحياء والمدن والعاصمة مرتبطة ببعضها البعض "بأنماط" بطريقة تشبه الكلمات والمفاهيم والجمل والفقرات والفصول والقصص. تحتوي اللغة الطبيعية المنطوقة على مجموعة من العناصر (الكلمات) ومجموعة من القواعد التي تحدد الترتيبات الممكنة للكلمات. وفي السياق المعماري، فإن كل نمط هو قاعدة، والتي تصف الترتيبات الممكنة للعناصر، والترتيبات بين الأنماط [20]. وكما هو الحال في اللغة المنطوقة، فإن البيئة المبنية هي نتاج محادثة بين عدد كبير من العناصر ولغات النمط، وهي الوسيلة التي ترتبط بها هذه العناصر (شكل-8).



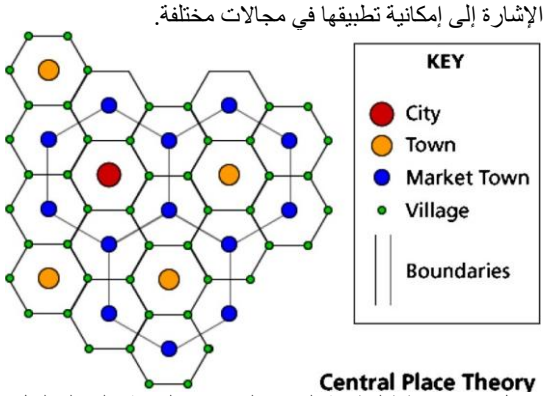
شكل-8: المراكز المتعددة لتوسيع متماسك ومنظم، أ وب- مثلث وسجادة سيربينسكي، جـ- إمكانية تمييز مجموعات فرعية عديدة، د- ندفة الثلج (منحني كوخ)، هـ- محاكاة الشكل الكسري الطبيعي [25]، و- مخطط مستوطنة بإيلا التقليدية الأفريقية (تطبيق على الترابط عبر المقاييس الهرمية)، ز-هرمية المستوطنة، حـ- صورة جوية للمستوطنة [29]

6.2 التسلسل الهرمي ومستويات المقياس: إن النظام المعقد ينظم ذاتياً عن طريق إنشاء تسلسل هرمي مرتب للترابطات البينية على عدة مستويات متنوعة المقاييس، كأنظمة فرعية. التعقيد نفسه ليس هو المهم؛ بل مستوى ذلك التعقيد. ومع ذلك، فإن الهرمية لا تؤدي دائماً إلى التعقيد. إذ حدد (ألكساندر) نوعين من التدرج الهرمي: الشجري وشبه الشبكي. كل منهما يمثل طريقة للتفكير في كيفية قيام مجموعة كبيرة من العناصر الصغيرة أو الأنظمة الفرعية بتكوين نظام بهيكل هرمي، لكن الأخير فقط يؤدي إلى التعقيد. ففي الهيكل الشجري، يكون كل نظام فرعي مستقلاً تماماً عن جميع الأنظمة الفرعية الأخرى في مستواه، وبالتالي يمكنه التفاعل معها فقط عبر أنظمة فرعية ذات ترتيب أعلى. أما في بنية شبه الشبكة، توجد تداخلات بين الأنظمة الفرعية من نفس الترتيب، وهو يحدث باتجاهات مختلفة (شكل-9). والأهم أنها تولد علاقات قانون القوة والتي تحدث عادة في أنماط كسرية معقدة، وهي تنشأ بشكل عضوي لسنوات عديدة. كما أشار سالينكاروس إنه نادراً ما يمكن إنشاءها دفعة واحدة، وإذا كان أي مستوى رابط مفقوداً، فإن الهرمية تكون معتلة [20].



الشكل-9: تمثيل منطقي لنوعي الهياكل الهرمية للأنظمة الفرعية بحسب ألكسندر؛ التسلسل الهرمي شبه الشبكة (يسار) مقارنة بالتسلسل الهرمي الشجري (يمين)، [20].

وفي مناقشة هرمية شبه الشبكة وهرمية الشجرة، فإن العمق التنظيمي يعتمد، مثل التعقيد، على كمية المواد وترابطها، "المزيد مختلف". وبالتالي فإن عدد الغايات (M) والروابط بينها (L) هي مقياس تقريبي للعمق التنظيمي. ومن الواضح أن التسلسل الهرمي "الشجري" البسيط له روابط قليلة، لكن الهيكل الذي يرتبط فيه كل شيء هو أيضاً بسيط للغاية، إذ يمكن وصفهما بخوارزميات قصيرة. وبالتالي، فإن المنظومة شبه الشبكية الغنية هي الأعلى في العمق التنظيمي [23]. وقد ناقشت دراسات سابقة في أفضلية الهرمية "متعددة المراكز" في النمو والتوسع السريع، على المستوى العمراني من خلال فهم الخصائص الحضرية، والتي تؤدي دوراً رئيسياً في الحياة الحضرية والاستدامة [30]. حيث أن المدن ذات التسلسل الهرمي الأكبر للاتصال تعرض المزيد من الاختلاط السكاني، والاستخدام المكثف لوسائل النقل العام، ومستويات أعلى من السير، وانبعاثات أقل، وبالتالي، مؤشرات صحية أفضل. وهو كذلك يُنشئ المدن على أنها تنتمي إلى شبكة مترابطة حيث يؤثر نمو مدينة ما على مدن أخرى (شكل-10). وإن التسلسل الهرمي يحتوي على مزيد من المعلومات حول السمات الحضرية أكثر من المقاييس المستخدمة تقليديًا مثل الكثافة السكانية والزحف العمراني. كما اعتبرها [31] الترتيب الهرمي الأمثل، من خلال الاتصالات التي تتضمنها. مع الإشارة إلى إمكانية تطبيقها في مجالات مختلفة.

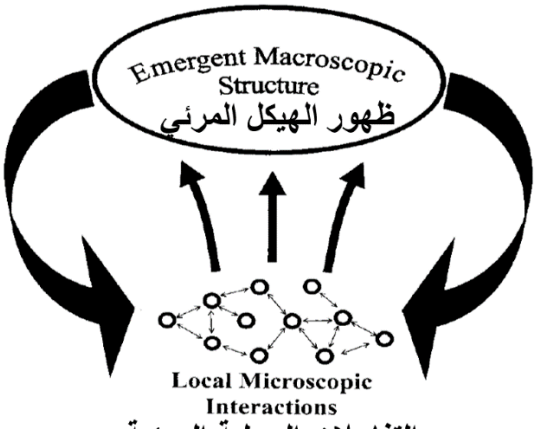


شكل-10: مخطط لنظرية المكان المركزي القائمة على التسلسل الهرمي شبه الشبكة [31]

7.2 التنظيم الذاتي: هي خاصية للأنظمة المعقدة تمكنها من تطوير أو تغيير الهيكل الداخلي بشكل تلقائي ومتكيّف للتعامل مع بيئتها أو التأثر بها [20]. فإن الظهور بدون تصميم مسبق لا يقتصر على النظام المعقد ككلّية فحسب، بل يظهر هيكله وتنظيمه أيضاً. أي إن الهيكل والسلوك لا يحدد بطريقة أولية من خلال خصائص المكونات الفردية للنظام، بل أنه "نتيجة" لأنماط معقدة من التفاعل بينه وبين بيئته. وفي النمو العمراني، كمثال، فإن التلقائية لا تقتصر في التصميم والتنفيذ، بل إنها تتطور وتتغير، وتنظم نفسها استجابة لتغير الاحتياجات، لا سيما فيما يتعلق بضمان الصحة العامة والرفاهية. فهي بنية تسمح للفضاء بتطوير نفسه، وعملية يتغير فيها الفضاء نوعياً خطوة بخطوة، من خلال تكثيف المراكز كآلية للتحكم تنتهجها الأنظمة المعقدة لتحافظ على ديمومتها. تكثيف المراكز في الأنظمة الفرعية يعني أن النظام المعقد يصبح أكثر تعقيداً من خلال التطور، وهذا مرتبط مع آلية التدفق أو التفرع في الكسرية. وتشير هذه الزيادة في التعقيد إلى انعكاس محلي للعشوائية – الناتجة عن التغذية الراجعة – التي

تتطلب تدفق الطاقة أو المعلومات عبر النظام. يتم تخزين المعلومات في أشكال أو أنماط داخل النظام، بما يشبه الذاكرة. إذا كانت هذه المعلومات تتوافق مع الظروف الجديدة، يتم تخزينها بل وتحسينها؛ وإلا فإنها تتلاشى، ويتم استبدالها بنمط أو معلومات جديدة. لذلك فإن لهذه الأنظمة تاريخ دائماً، وبهذا تميل إلى أن تكون معمرة.

ويوضح (شكل-11) تخطيط لنظام قيد النظر مفتوح لتدفق المادة أو الطاقة. حيث تشير الأسهم الصاعدة إلى أنه في ظل قيود عدم التوازن، تميل التفاعلات الجزيئية إلى مزامنة سلوكها تلقائياً، مما يؤدي إلى بدايات الحالة المرئية المرتبة. كما يتضح من الأسهم المتجهة إلى الأسفل، أن هذه الحالة حديثة التكوين تعمل على التفاعلات المرئية لإجبار المزيد من المزامنات. ومن خلال التفاعل المستمر المدفوع بالطاقة بين العمليات والظهور المرئي، يتم تثبيت الهيكل الناشئ والتنظيم الذاتي والحفاظ عليه بنشاط. وقد تزامنت الجزيئات تلقائيًا دون أي تعليمات خارجية، ومن هنا جاء مصطلح "التنظيم الذاتي".

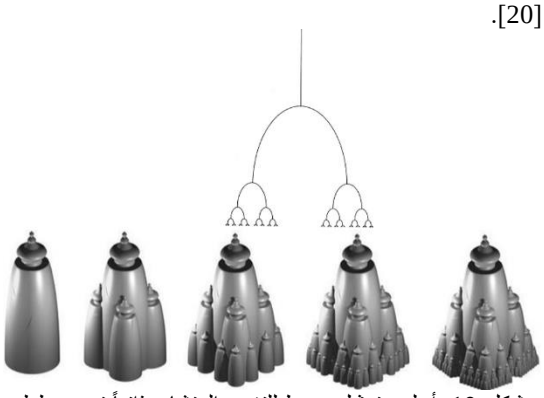


شكل-11: تخطيط توضيحي للترابط الديناميكي بين التفاعلات الجزيئية المرئية (بحجم يكفي لتراقب بالعين المجردة) والبنية العامة الناشئة على المستوى المرئي [32].

8.2 التشابه الذاتي والنمط الكسري: إن السمة الأكثر أهمية لنظام معقد فوضوي، من وجهة نظر مورفولوجية، هي التشابه الذاتي، والتي سميت كسرية ماندلبروت. فالتشابه الذاتي هو تماثل عبر المقاييس، والذي يعني أن الأنماط أو الصور التي تظهر في كل مستوى من مستويات القياس في نظام معقد، تتشابه ذاتياً مع الكل. فهو يجسد العوديّة، نمط داخل نمط. وعند تمثيل النظام الفوضوي بيانياً، يكون الكائن الناتج كسرياً. إن العناصر التي تشكل هذه الأنماط، مترابطة بطريقة غير خطية، وتظهر أبعاداً غير صحيحة، لا يمكن تفسيرها بواسطة الهندسة الإقليدية. فهي هندسة التنظيم على عدة مقاييس، هندسة ذات تعقيد منظم. لذا يمكن فهم الخاصية الكسرية على أنها إحدى خصائص الأنظمة المعقدة، وبالتالي، يمكن تحديدها على أنها "صورة الفوضى" أو "هندسة التعقيد". وقد تم تطوير النظرية الكسرية بالتوازي مع نظريات الفوضى والتعقيد، من قبل علماء بتخصصات ودراسات مختلفة. فإن عالم الأرصاد الجوية، لورنز (1963) هو أحد رواد دراسة الفوضى، وعالم الرياضيات، بينوا ماندلبروت (1977)، معروف جيداً بالديناميكيات اللاخطية، وباكتشافه للكسرية باعتبارها الهندسة الحقيقية للطبيعة. وتتكون الأنظمة المعقدة لمثل هذه الأنماط من خلال "الهيكل المتولد". وبحسب (ألكساندر)، "إنه قانون أساسي لخلق التعقيد"، إذ يوضح أن البنية المتولدة هي شيء له تعقيد عميق معين، يتم إنشاؤه بطريقة ما يبدو أنه بيولوجي تقريباً، ويصل إلى مستويات أعمق من البنية الدقيقة التي نربطها عادةً بالتصميم؛ هذا هو الطابع المادي المرئي للتعقيد، ويمكن تحديده على أنه مؤشر على أن نظاماً معقداً قد تم إنشاؤه بواسطة عملية توليدية وغير خطية. إن مثل هذه الأنماط هي نتيجة لعملية التغذية المرتدة في نظام مفتوح، وأن الأنماط الموجودة على المقاييس الأصغر تشبه النمط الأصلي الذي يظهر ككل، فالنمط بأكمله يكرر نفسه في مقاييس أصغر [20]. وفسر (Bhutta) الكسرية رياضياً بأنها صور ناتجة عن تكرارات المعادلات اللاخطية، في حلقة التغذية الراجعة. باستخدام قيمة المخرجات لقيمة الإدخال التالية. اكتشف علماء الرياضيات الصور الرائعة التي نتجت عن مفاهيم التعقيد، وسميت بالكسرية، وهي أعطت هندسة جديدة كاملة لوصف الكون، خارج حدود الهندسة الإقليدية. إذ أن لها خاصيتان مهمتان: التشابه الذاتي، مما يعني أن الصورة الكسرية تكرر نفسها على كل مستوى كما في أشكال الطبيعة؛ والبعد الكسري، حيث تتكون من كسور بوقوعها بين الأرقام الصحيحة (1، 2، 3). مما يمنحها خاصية أخرى، في أن الخط الطويل اللامتناهي يحيط بمنطقة محدودة، كما يحدث، مثلاً، عند حساب الخط الساحلي أو حدود المدن [33]. إن بالإمكان رؤية كل شيء كسري من حولنا بدءاً من البنية المجهرية إلى الهياكل الضخمة، وسيبدو كل شيء مختلفاً عند التحدث باللغة الكسرية. وهكذا، فقد تطورت الهندسة الكسرية من فضول رياضي إلى مفتاح محتمل لفهم العالم الطبيعي، بنموه وتكيفه. إذ تخلق العمليات الأساسية الكامنة وراء التكرارات العوديّة لقواعد التكوين البسيطة، مجموعة واسعة من الهياكل والأشكال بالغة التعقيد للطبيعة. ومن ثم يمكن تلخيص العقيدة الكسرية على أنها "البساطة تساوي التعقيد" [34].

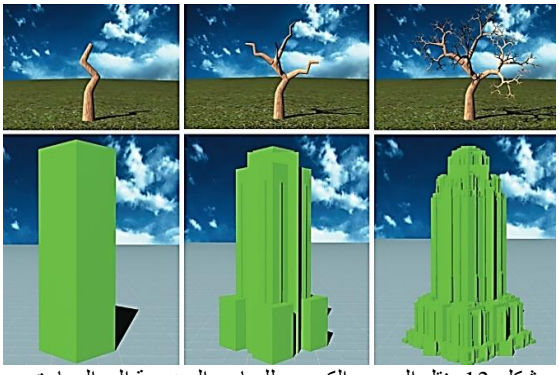
ومن جهة أخرى، فإن كلمة الفوضى "Chaos" كمصطلح علمي، تنقل معنى مختلفاً عما نعنيه بالمصطلح الشائع للاستخدام حيث يُعرَّف بأنه "عشوائي تماماً ولا يمكن التنبؤ به حتى من حيث المبدأ". أما في الاستخدام العلمي، يعرفه (Valle) بأنه: "السلوك غير الخطي لنظام معقد بترتيب حتمي ضمني". وهو أمر يمكن التنبؤ به من حيث المبدأ ولكنه يحد من توقعاتنا في الممارسة. أو يمكن التوقع في مثل هذا النظام على المدى القصير فقط. فنظرية الفوضى هي تخصص علمي متطور لدراسة الأنظمة الديناميكية اللاخطية المعقدة. ووفقاً لأوضح تعريفات (Bhutta) فإنها "الدراسة النوعية للسلوك غير الدوري غير المستقر في الأنظمة الديناميكية الحتمية غير الخطية". حيث: "aperiodic" (غير الدوري) هو ببساطة السلوك الذي لا يتكرر أبداً؛ "nonlinear" (اللاخطية) هي المعاودة والخوارزميات الرياضية الأعلى؛ و"ديناميكي" يعني غير ثابت وغير دوري (متغيرات الوقت)؛ أما "الحتمي" فكل شيء فيه محدد أو مقصود. وهكذا فإن نظرية الفوضى هي دراسة الأنظمة المعقدة المتغيرة إلى الأبد بناءً على المفاهيم الرياضية للتكرار، سواء في شكل عملية عودية أو مجموعة من المعادلات التفاضلية التي تشكل نموذجاً لنظام مادي. وقد وضح (Grace) أنها دراسة نظام معقد يُظهر سلوكاً غير منتظم وغير متوقع بدلاً من محاولة اختزاله في علاقات السبب والنتيجة الخطية. ونظراً لأن معظم العمليات في الطبيعة ليست خطية، فهي في الواقع دراسة كيف تتصرف معظم الأشياء. ومن المثير للاهتمام أنه يمكن استنتاج أن "في خضم النظام هناك فوضى؛ وفي خضم الفوضى هناك نظام". وأن تفسير التشعب أو التفرع في الأنظمة المعقدة يشير إلى وجود مجال بين الترتيب الحتمي (المحدد) والعشوائية، وهو التعقيد. فقد أظهرت التجارب ومن خلال تحليل مخطط (Feigenbaum)، كيف يتحول سلوك النظام من الترتيب الكامل إلى الفوضى والعكس صحيح. كما تم الكشف عن نمط التشابه الذاتي الكامن وراء السلوك الفوضوي. فإن نسخة أصغر من النمط (بمقاييسها الأصغر) في مخطط، مشابهة للنمط بأكمله (على نطاقه الكامل). بمعنى آخر، إنه يعيد نفسه (شكل-12). هذه الأنماط المتشابهة ذاتياً هي الكسرية. وبهذا المعنى، يمكن فهمها على أنها مجموعة فرعية

من نظرية الفوضى ولهذا يطلق عليها "هندسة الفوضى / التعقيد" [20].



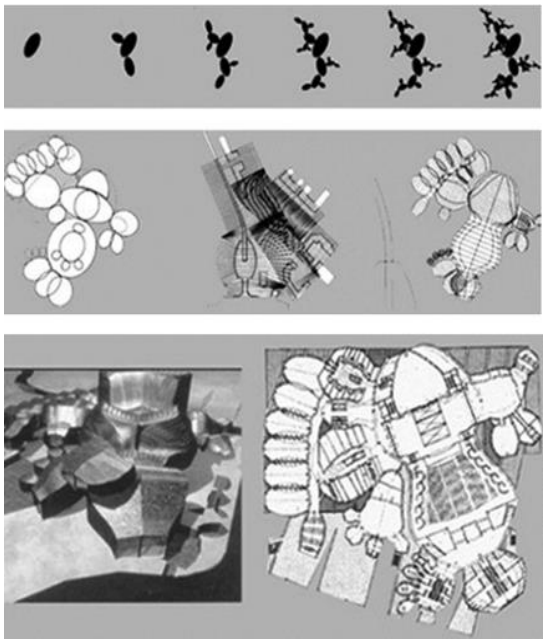
شكل-12: أعلى، تمثيل مبسط للتفرع المتشابه ذاتياً في مخطط Feigenbaum [20]؛ أسفل، استخدام معبد (Vimana) الهندوسي عملية تكرارية للتشابه الذاتي لعنصر معماري بمقاييس مختلفة تصل إلى ثمانية مستويات أو أكثر [35]، حيث تنظر الفلسفة الهندوسية إلى الكون على أنه كلّي ومتشابه في طبيعته، وأن كل جزء من الكون كامل في حد ذاته. والسعي لتحقيق التحرر الروحي وإدراك الوحدة. ووفقًا للتقاليد المعمارية القديمة، تمثل المعابد الهندوسية الكون رمزياً.

وأكد (Harris) أن تكرار الشكل ليس هو المهم، بل الطريقة التي يتكرر بها، أو هيكلية ذلك التكرار، وخصائصه المتداخلة. إذ يتم إنتاج التشابه الذاتي عن طريق اتخاذ كائن أولي، كشكل أصلي أو بدئي. يتم التلاعب بنسخ هذا الشكل البدئي من خلال بعض التحولات التقريبية المسموح بها، مثل الدوران، النقل، القص، والمقياس. يصبح تجميع هذه النسخ المحولة أصل جديد، والذي يتم تحويله مرة أخرى بواسطة نفس مجموعة التحويلات التي تم استخدامها لإنشائه. كل مجموعة من التحويلات تسمى التكرار. مع زيادة مقدار التكرارات، يصبح شكل الأصل الأولي أقل وضوحاً، وتصبح القواعد المستخدمة لإنشاء أشكال الأصول اللاحقة أكثر أهمية. إن قواعد هذه التحولات المختلفة، هي جوهر الشكل الكسري المعقد [36] (شكل-13).



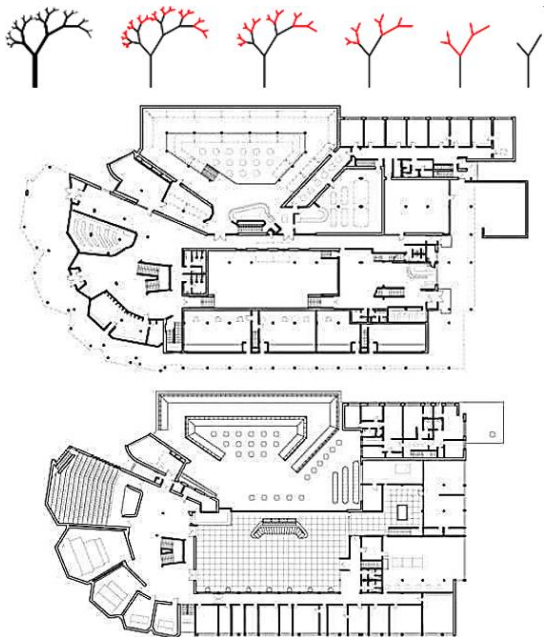
شكل-13: نقل الجوهر الكسري للمبادئ العضوية إلى العمارة [34]

وجادل (Mirmoradi) في أن خصائص التشابه الذاتي موجودة فقط في الأنظمة الطبيعية التي تقوم أجزائها المختلفة بمهام مماثلة. إذ تتسبب المبادئ التي تحكم النمو في تشابه المكونات، نظراً لأن جميع الأشكال في الطبيعة قد تم إنشاؤها وفقًا للسبب الوجودي والاحتياجات والمهام في النظام ككل. لذا، فإن هذه الهندسة وخصائصها لا تنتمي إلى الطبيعة بأكملها ولكنها في أشكال خاصة مع قوى تشكيل مماثلة. كذلك فإن التشابه الذاتي كأحد خصائص الأشكال الطبيعية لا يحدث فقط من خلال تكامل بعض المكونات المتشابهة ذاتياً، بل أن العامل الأكثر أهمية في تكوينه هو الطبيعة المنهجية لطريقة تكوينه تلك، والتي بواسطتها يتم إنشاء المكونات بواسطة الكل ويتم إنشاء الكل من المكونات [37]. وعلى الرغم من أن هذه الأشكال تبدو مجتمعة، لكنها لا تعتمد على بعضها البعض. إذ لا يوجد سبب طبيعي أو تركيبي وراء ذلك. وبالتالي، فإن استخدامها في العمارة يعود لمجرد كونها سمة في الطبيعة تحقق مستوى من التنظيم في النمط، في وضع سلسلة من الأشكال المتشابهة معًا (شكل-14).



شكل 14: أوبرا كارديف، تصميم جريج لين وكلير، عملية التشكيل من خلال التشابه الذاتي بتكرار ومضاعفة الشكل الأساسي بمقاييس وزوايا مختلفة عن طريق تغيير المقياس والتدوير كمخطط عام مع مراعاة قيود المشروع [37].

في حين أكدت (Al-Jawhary, 2010) أن هناك عدة مسوغات تدعونا إلى التصميم بشكل كسري، من حيث أنها قادرة على تحقيق التكامل بدلاً من البناء الإضافي، والتمديد دون التخطيط للمستقبل، مع الإشارة إلى أن التشابه الذاتي هو وسيلة للتخطيط لعدة مقاييس مختلفة في وقت واحد. إن بعض الأنماط الكسرية، مثل حلزونات فيبوناتشي، لا تحدث في كل مكان في الطبيعة لأنها جميلة، بل لأنها خوارزمية تسمح بالنمو الدائم لأي حجم دون الحاجة إلى إعادة التعديل أو التخطيط للمستقبل، إذ يوفر التصميم الكسري إمكانية توسيع التصاميم الحالية دون الحاجة إلى وضع تصميمات جديدة. كما في مخطط مركز فولفسبورج الثقافي من قبل ألفار ألتو، إذ يمكن تكرار الجزء الأيسر لتشكيل امتداد لسلسلة من الحجوم إلى الأجزاء القريبة (الشكل-15).



شكل-15: مخطط مركز فولفسبورج الثقافي، ألفار ألتو [24]

الاستنتاجات والمناقشات

ركزت الدراسة على الاستدامة كمتطلب مهم لحل الأزمات العديدة الناشئة عن العلاقة غير المتوازنة بين الإنسان والطبيعة فيما يخص قطاع البناء، وباعتبارها أحد الموضوعات المهمة في العمارة للمهتمين بالبيئة المبنية الصديقة للأرض والمتطلعين إلى استجابات تصميم جديدة. وقد ركزت على مفردة التكيف باعتبارها المفتاح الذي يربط العمارة بمفاهيم الاستدامة. إذ اهتمت بإيجاد مبادئ التكيف في النظم الطبيعة من جهة، والنظر إلى المبنى على أنه هيكل معقد يشبه الهياكل والمنظومات الطبيعية المعقدة والمستدامة بحد ذاتها، من جهة أخرى. وأظهرت أن أشكال وخصائص الطبيعة، وهي متكيّفة، يمكن أن تنعكس على التكوينات المعمارية من خلال آليات وأساليب، تطرقت لها الدراسة في شقها الثاني، للوصول إلى عمارة مستدامة من حيث تحقيق مفاهيمها في زيادة قدرة المبنى على التطور والديناميكية واستيعاب التغير في الاحتياجات الذي قد ينشأ كنتيجة لتطور المجتمعات. ومن تلك الآليات التي أشارت لها الدراسة، بناء الوحدة القابلة للنمو والإضافة بمستويات مختلفة، من خلال التكرار النمطي والتنوع والتشابه الذاتي والهرمية وفقاً لمقاييس معينة. وهي آليات كسرية، تستند إلى نظريات الفوضى والتعقيد، باعتبارها لغة الطبيعة والأداة المناسبة لتحقيق تلك التصاميم. وقد تم تحليل النظريات العلمية المختلفة ذات الصلة، وتوضيح الطريقة التي يمكن بها للهيكل الكسري استخدام هذه النظريات، من خلال مراجعة مجموعة من دراسات الحالة. كان الهدف هو المساهمة في توفير المساحات الإضافية اللازمة، وزيادة النفاذية لمحاور الحركة، وتحسين إمكانية الوصولية؛ وبالتالي، تحسين الأدائية الوظيفية، وفي نفس الوقت المساعدة في تقليل الكلف والآثار البيئية، الأمر الذي يعد من اهم سمات العمارة المستدامة.

إن هدف البحث تحقق من خلال تحقيق الفرضية المتمثلة في أن الهندسة الكسرية توفر الأدوات والآليات التي يمكن استخدامها في التصميم المعماري، مثل التكرارية، والتناظر الكسري، والمقياسية الهرمية، وغيرها من الآليات، والتي كان لها الدور في نقل الخصائص التكيفية إلى المبنى، مثل زيادة النفاذية والاتصالية وإمكانيات الإضافة أو تقسيم المساحات، وغيرها من الخصائص التي زادت من الأدائية الوظيفية، وزادت من قابليته على استيعاب التغيرات المستقبلية، وبالتالي تمديد عمر المبنى.

وإن هذه الخصائص التكيفية موجودة في الطبيعة، وقد تمكن البحث من الوصول إليها من خلال مدخل الهندسة الكسرية.

REFERENCES - المصادر

[1] D. W. Thompson, *On Growth and Form*. C.U.P, 1942.

[2] A. A. R. Al-jawhary, "Biomimicry In Environmental Architecture Exploring the Concept and Methods of The Bio-Inspired Environmental Architectural Design," A Thesis of Master. Faculty of Engineering, Cairo University, Giza, Egypt. July 2010.

[3] J. Douglas, *Building Adaptation*. Heriot-Watt University, Edinburgh, UK. 2nd Ed., Elsevier Ltd., 2006.

[4] A. M. H. Al-Moqaram, A. M. J. Al-Khafaji, "Building performance: A Study for Evaluate Prefabricated Residational Buildings Performance," *Iraqi Journal of Architecture and Planning*, vol. 7, pp. 23, 2011.

[5] T. Burke, *Building Adaptation and Conservation*, University of Westminster, 2011.

[6] K. Lynch, "Environmental Adaptability," *Journal of the American Institute of Planners*. vol. 24, pp. 16-24, Mar 1958.

[7] S. Conejos, C. Langston, "Designing for future building adaptive reuse using adaptSTAR," *International Conference on Sustainable Urbanization*. ICSU 2010

[8] A. Sarafides, *Creating Sustainable Communities, A Guide For Developers And Communities*. Office of planning and sustainable communities, 2007.

[9] F. F. N. Al-jadir, "The Effect of Changing Property upon Dwelling Unit Spatial Organization Characteristics," *The Department of Architectur, University of Technology*, Baghdad, 1999.

[10] Tatjana Schneider and J. Till, *Flexible housing*. Oxford: Architectural Press, 2007.

[11] WBDG (2021, Sep 8), Whole Building Design Guide, Sustainable Committee. [Online]. Available: https://www.wbdg.org/design-objectives/sustainable

[12] K. Hohenadel, "What Is Sustainable Architecture?," The Spruce[Online], Sep. 12, 2022. Available: https://www.thespruce.com/what-is-sustainable-architecture-4846497

[13] S. F. Cantell, "The adaptive reuse of historic industrial buildings: regulation barriers, best practices and case studies," *The adaptive reuse of historic industrial buildings: Regulation barrier, best practices and case studies. Master Thesis: Virginia Polytechnic*

[28] B. B. Mandelbrot and B. B. Mandelbrot, *The fractal geometry of nature*, vol. 1. WH freeman New York, 1983.
[29] S. Jacob, "Fractal Design: Sustainability through Fractal Architecture," 2008.
[30] A. Bassolas et al., "Hierarchical organization of urban mobility and its connection with city livability," *Nature communications*, vol. 10, no. 1, p. 4817, 2019.
[31] W.-T. Hsu, T. J. Holmes, and F. Morgan, "Optimal city hierarchy: A dynamic programming approach to central place theory," *Journal of Economic Theory*, vol. 154, pp. 245–273, 2014.
[32] J. Walleczek, *Self-organized biological dynamics and nonlinear control: toward understanding complexity, chaos and emergent function in living systems*. Cambridge University Press, 2006.
[33] A. A. Bhutta, "Chaos Theory & Fractals, Their Application in Real Life," *Research Project, University of Central Florida*. 1999.
[34] J. Harris, "Integrated function systems and organic architecture from Wright to Mondrian," *Nexus Network Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 93–102, 2007.
[35] Y. Joye, "Fractal architecture could be good for you," *Nexus network journal*, vol. 9, pp. 311–320, 2007.
[36] J. Harris, *Fractal architecture: organic design philosophy in theory and practice*. Albuquerque N.M.: University Of New Mexico Press, 2012.
[37] S. S. Mirmoradi, "Recognition of the role of nature in the formation of fractal architecture," *Organization, technology & management in construction: an international journal*, vol. 9, no. 1, pp. 1574–1583, 2017.
[38] ArchDaily, "ArchDaily | Broadcasting Architecture Worldwide," [Online]. Available: https://www.archdaily.com
[39] blog.plusyourbusiness.com, "An Introduction to Digital Cybernetics for Business," [Online]. Available:https://blog.plusyourbusiness.com/digital-cybernetics-for-business
[40] fdocuments.in. "Emergence - Basic Knowledge 101," [Online]. Available: https://fdocuments.in/document/emergence-basic-knowledge-101-emergence-forotherusesseeemergencedisambiguation.html
Institute and State University, USA, vol. 40, 2005.
[14] R. E. Snyder, E. T. Borer, and P. Chesson, "Examining the relative importance of spatial and nonspatial coexistence mechanisms," *The American Naturalist*, vol. 166, no. 4, pp. E75–E94, 2005.
[15] R. Reed and S. Wilkinson, "The business case for incorporating sustainability in office buildings: the adaptive reuse of existing buildings," 2008.
[16] M. Joachim, "Adaptive reuse," *Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, USA*, 2002.
[17] V. Padrón, N. Salingaros, "Ecology and the Fractal Mind in the New Architecture: a Conversation," This conversation was published electronically by RUDI - Resource for Urban Design, 2000.
[18] O. A. Al Hafith, "The Effects of Design Characteristics on Dwellings' Adaptability in Low Rise Multifamily Housing," *The Department of Architectur, University of Mosul*, 2012.
[19] H. R. Al-Nijaidi, "Flexibility in the Design of Buildings," Oxford Polytechnic, 1985.
[20] T. Haghani, "Fractal geometry, complexity and the nature of urban morphological evolution: developing a fractal anaylsis tool to assess urban morphological change at neighbourhood level," Birmingham City University, 2009.
[21] C. M. Herr, "Generative architectural design and complexity theory," 2002.
[22] J. Gribbin, *Deep simplicity: Chaos, complexity and the emergence of life*. Penguin UK, 2005.
[23] C. Jencks, "The architecture of the jumping universe: A polemic: How complexity science is changing architecture and culture," 1997.
[24] C. Bovill and C. Bovill, "Fractal geometry in architecture and design," 1996.
[25] F. Nakib, "Fractal geometry: a tool for adaptability and "evolutionability"," *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, vol. 128, pp. 39–47, 2010.
[26] K.J. Ismail, "Fractal Constructions in The Composition of Architectural Objects," PhD thesis, the Institute of Architecture (MARCHI), University of Moscow, 2013.
[27] E. Skrimizea, H. Haniotou, and C. Parra, "On the 'complexity turn'in planning: An adaptive rationale to navigate spaces and times of uncertainty," *Planning Theory*, vol. 18, no. 1, pp. 122–142, 2019.

Consistency Relationship between Fractal Geometry and Adaptation as a Principle for Achieving Sustainable Architectural Design

Firas Hamdy Abdullah* firas.hamdy@gmail.com
Khalid J. Aldeen Ismail** architect.khalid1975@gmail.com
Shishin Mikhail Yurievich*** shishinm@gmail.com

* Directorate of Buildings, Government of Nineveh, University of Mosul, Mosul, Iraq
** Architecture Engineering Department, College of Engineering, University of Mosul, Mosul, Iraq
*** Institute of Architecture and Design, Altai State Technical University, Russian Federation

Received: 15-6-2022 Received in revised form: 3-9-2022 Accepted: 1-3-2023

ABSTRACT

This study deals with the concept of adaptation in natural systems, and the principles used by these systems to enable them to respond to changes and perform their functions within the processes of continuous growth. These principles include static and dynamic characteristics, which are used to match their sustainable characteristics in growth and adaptation. Here, the importance of fractal geometry emerged in explaining the complex nature with its formations and characteristics, as it is also able to grow and adapt continuously and interdependently. Thus, it helps designers achieve adaptation and growth in functionality and spatial requirements in the built environment through time, guided by sustainable natural systems.

The importance of adaptation emerges as one of the most important strategies for achieving an environment that is more capable of accepting the processes of modification and change, and thus accommodating changes and renewable spatial and functional requirements, and conforming to them over time. A building that is more adaptable is more efficient in being able to respond to changes. The benefits of achieving adaptation in architecture are represented in the efficient utilization of space, the increase in the life of the building and its compatibility with the changing requirements of the occupants in a better manner and at a relatively lower cost. This, in turn, leads to a reduction in relocation and abandonment of buildings and contributes to preserving the environment, by reducing demolition and construction operations, which result in damage as is well known. Adaptation is associated with a range of economic, social and environmental benefits, being one of the features of sustainable architecture. And since fractal geometry derives its structure and material and essential characteristics from nature, which is sustainable by default, it has in turn become an entry point for employing the characteristics of nature in architecture. The fractal structure's ability to grow and adapt has become echoed and reflected in the work of many architects. Through this, the two main axes of this study stand out. The first axis includes introducing the vocabulary of adaptation, its characteristics and requirements in architecture, and the second axis is related to proposing the equivalent principles of adaptation in nature, by using fractal geometry as a mechanism that can be used to explore and transfer these principles to architectural designs that contribute to achieving successful and sustainable construction.

The research discusses the hypothesis that adaptation can be a critical factor associated with sustainable architecture by using fractal geometry tools. This is done by discussing the proposals of many researchers and crystallizing their ideas to serve the goal of the research, which aims to achieve sustainable architectural design through the concepts of adaptation. The most important results of the research indicated that there is a harmonious relationship between the concepts of fractal geometry, including mechanisms dynamic growth, repetition within graduated scales, symmetry, and others, on the one hand, and between the concepts of sustainable nature with its adaptive characteristics towards various changes over time, on the other hand.

Keywords:

Fractal geometry; Sustainable nature; Adaptation; Sustainable architecture.