

**تناغم العلاقة بين الهندسة الكسرية والتكييف كمبدأ لتحقيق التصميم المعماري المستدام**

شیشین میخائیل یوریفیتش  
[shishinm@gmail.com](mailto:shishinm@gmail.com)

خالد جمال الدين إسماعيل \*  
architect.khalid1975@gmail.com

فراص حمدي عبد الله\*  
firas.hamdy@gmail.com

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

تاریخ القبول: 3-9-2022

تاریخ الاستلام: 2022-6-15

المُلْخَص

تناول الدراسة مفهوم التكيف في الأنظمة الطبيعية، والميادى التي تستخدمها هذه الأنظمة لتمكنها من الاستجابة للتغيرات وأداء وظائفها ضمن عمليات النمو المستمر، وهي تستعمل على خصائص ثابتة وديناميكية، للتعلم منها وصولاً إلى مماثلة خصائصها المستدامة في النمو والتكيف. وهنا يبرز أهمية الهندسة الكسرية في تفسير الطبيعة المعقّدة بتكتونياتها وخصائصها، فهي قادرةً أياًً ما على النمو والتكيف بشكل مستمر ومتزايّط. 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 أهداف الاستراتيجيات لتحقيق بيئة مبنية أكثر قدرة على تقليل عمليات التعديل والتحوير والتغيير. وبالتالي استيعاب التغيرات والمطالبات المكانية والوظيفية المتعددة، والتواافق معها عبر الزمن. فالمبني الأكثر تكيفاً يكون أكثر كفاءة في القدرة على الاستجابة للتغيرات. إذ أن فوائد تتحقق التكفيقة في العمارة تمثل في الاستغلال الأكفاء للقضاء وزيادة عمر المبنى وتوافقه مع متطلبات الشاغلين المتغيرة بشكل أفضل وبكل أقل نسبياً. وبالتالي، تقليل عمليات الانتقال ومحرر 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 والبنية، الأمر الذي يهدى من خصائص العمارة المستدامة. فيما أن الهندسة الكسرية تستمد بيئتها وخصائصها المادية والجوهرية من الطبيعة، والتي هي مستدامة بطبعتها، فقد أصبحت بدورها مدخلاً لتوظيف خصائص الطبيعة في العمارة. إذ أن قابلية البنية الكسرية على التنمو والتكيف، أصبحت ذات صدى ونفعاً 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 يردقه من مبادئ التكيف في الطبيعة، وعن طريق الاستعاضة بالهندسة الكسرية كآلية يمكن استخدامها لاستكماله، وفق هذه المعايير؛ إذ تساهم في تحقيق بناء ناجح، مستدام

**يُناقِشُ الْبَحْثُ قُرْسِيَّةَ الْفَالَّاتِهِ يَانِ التَّكْيِفِ** يَمْكُنُ أَنْ يَكُونَ فِي مُفَرَّدٍ مُفَاحِيَةً تَرْبِطُ الْعَمَارَةَ بِالطَّبِيعَةِ الْمُسَتَّدَامَةِ بِاستِخْدَامِ أَوَاتِ الْهِنْدَسَةِ الْكَسْرِيَّةِ وَذَلِكُ عَنْ طَرِيقِ مُنَاقِشَةِ طَرَوْحَاتِ الْعَدِيدِ مِنَ الْبَاحِثِينَ وَبِلُورَةِ غَفَرَاتِهَا الْخَدِيمَةِ هَذِهِ الْبَحْثُ، الَّذِي يَصِيبُ فِي تَحْقِيقِ التَّصْبِيحِ الْعَمَارِيِّ الْمُسَتَّدَامِ مِنْ خَلَلِ مَفَاهِيمِ التَّكْيِفِ، وَأَشَارَتْ أَهْمَ نَتْائِجِ الْبَحْثِ إِلَى وجُودِ تَلُكِ الْعَالَمَةِ الْمُتَنَاعِمَةِ بَيْنِ مَفَاهِيمِ الْهِنْدَسَةِ الْكَسْرِيَّةِ وَمَا تَضَمِنُهُ مِنْ الْبَلَاتِ وَمَغَرَّدَاتِ مُثْلِ النَّمُوِ الدِّينَامِيِّيِّ وَالْتَّكَارِارِ ضَمِّنَ مَقَابِيسِ مُتَرَدِّجةٍ وَالْمُتَنَاظِرِ وَغَيْرِهَا، وَبَيْنِ مَفَاهِيمِ الطَّبِيعَةِ الْمُسَتَّدَامَةِ بِخَصَائِصِهَا الْمُتَكَبِّرَاتِ تَجَاهِ التَّغْيِيرَاتِ الْمُخْتَلِفَاتِ عَبْرِ الزَّمِنِ.

الكلمات الدالة: [المهندسة الكبيرة](#), [الطبيعة المستدامة](#), [التكف](#), [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

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 كاليات 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 الفرضي والتعميد، سينتطرق إليها البحث لتحديد الآليات التي تحقق تكيف المبنى بزيادة قدرته على التغيير والنمو، والتي هي صفة من صفات البنية المستدامة

#### ١. المحور الأول: التكيف ومفرداته في العمارة

تتميز الأشكال في الطبيعة بالتطور والتسيق ضمن تعقيد النظم الطبيعية، حيث يعتمد التمايز المورفولوجي على تأثير العوامل البيئية أو القوى المحيطة، والمتطلبات الوظيفية، ووفق آليات تستخدمها للانقاء الطبيعي [١]. لذلك، نجد الأصلاح والأكثر ملائمة عند دراسة المبادئ البيولوجية، والأهم في أنها مستدامة

مع التطور المستمر للمجتمعات، زادت الحاجة إلى أن تكون العمارة قادرة على استيعاب التغير في المتطلبات الوظيفية، والتغيرات المستقبلية المحتملة، لتواء تغيرات اقتصادية وثقافية وتقنية وسكنية ملموسة، وتحقق أهدافها. ذلك النمو الكبير في الوظائف تطلب إعادة تأهيل بعض المباني والمنشآت القائمة، وذلك بهدف عمل موازنة ملموسة في التوسيع تتناسب مع تلك التغيرات والمتطلبات. إن ذلك قد يحتاج إلى مساحات تصميم أكثر مرنة لزيادة قدرة المبنى على التكيف واستيعاب تلك المتطلبات المتغيرة والوظائف الجديدة. وفي إطار هذه الحالة، فقد صاحب تكيف المباني توسيع الكثير منها بشكل عشوائي داخل حدود الموقع العام المخصص لها أو ضمن البناء نفسه، مسبباً إخلالاً بالتوارن 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 والملح في إيواء الوظائف المستحدثة وتصميم الفضاءات الخاصة بها. ولما كانت

يتطلب تدخلات هامة على المبنى. إذ تقوم هذه الأعمال المعقّدة برفع مستوى أداء المبنى إلى معيار جيد، 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 المبني المنشية، غير متعارضة مع بعضها، بل قد يكون هناك تداخلًا كبيراً بينها [5].

اقتراح (Douglas) أن التعبير الشامل لجميع المفاهيم السابقة، والذي يشير إلى أيام أعمال تجربة على مبني قائم، تتجاوز الصيانة والتصليحات، هو "التكيف" (Adaptation) وعرفه على أنه "تحسين جوهري للمبني يتناول مستوى الأداء الوظيفي بدلاً من مجرد أعمال صيانة لما موجود في المبني أو للمعايير التصميمية السابقة، ويمثل كافة الإجراءات التي تستجيب للتغير في المتطلبات الأدائية للمبني" [5]. في حين تميز المرونة التكيفية، كأخذ أنواع المرونة، بأنها التنظيم العام للبيئة المبنية بأقل جهد ممكن، لاستيعاب التغيير المتزايد وغير المحدد للاستعمالات المستقبلية [6].

### 2.1 حياة المبني :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 للفعلية وبإمكانيات المبني الإنسانية والفضائية. كما أن هناك أسباب أخرى لتغيير الفضاء تتمثل في اختلاف المعايير عبر الزمن، والتي تتعلق بالموارد الفعلية للفعاليات. ومن أجل فهم حياة المبني، من الضروري الإلتفاف على الخصائص والعناصر التي يمتلكها، إذ أن لكل منها حياة و عمر معينين، وذلك بدوره يشكل حياة المبني بأطوالها المختلفة وأعمارها المتباينة وكما يأتي [5]:

**1.2.1 الحياة المادية للمبني Physical life:** وتمثل العامل الحاسم باستبدال أو إبقاء المبني. ويمكن أن تعرف بالفترة التي يدوم فيها المبني قبل الحصول التدهور غير القابل للإصلاح. وعموماً تمتلك المبني 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.

**1.2.2 الحياة الوظيفية للمبني Functional life:** يمرر الوقت، قد يصبح المبني غير مناسب لغرض الذي صمم لأجله، نتيجة لتغيرات في القوانين والمعايير الهندسية والتقدم في التقنيات أو التغير في ممارسة النشاطات والأعمال في المبني، فيترك المبني. وهناك بعض المباني تمتلك من الإمكانيات ما يفوق حاجتها واستيعاب فائض المتطلبات، وبذلك يمكن أن تستوعب قدرًا من النمو والتغير في الاحتياجات، ولكن الطلب لذلك النوع من المبني قد ينتهي، أو تكون التغييرات الحاصلة غير موافقة للغيرات المتوقعة، وبذلك يكون المبني ملغياً، أو يكون قد تكيف لاستعمال آخر، وبهذا يكون للمبني سلسلة حياة وظيفية.

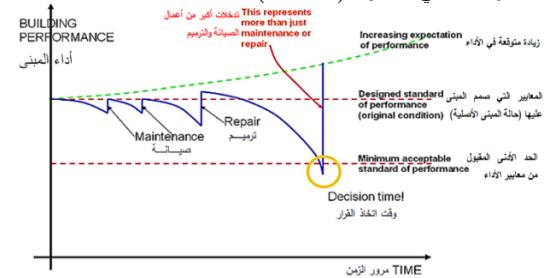
**3.2.1 الحياة الاقتصادية للمبني Economic life:** وتعد عاملًا مهمًا في تقرير مستقبله، وهي تنتهي عندما تكون العوائد المكتسبة من إنشاء مبني جديد أكبر بالمقارنة مع ما يمنجه المبني الحالي، أو عندما تكون قيمة الموقع ومساحته غير مستغلة جيداً بأجنحة وأجزاء المبني الحالي بالنسبة لمساحة الموقف.

### 3.1 متطلبات الدراسة التمهيدية لإجراء التكيف في العمارة

بذلil 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 المبني على تلبية المتطلبات الوظيفية الجديدة عاملًا مهمًا، من خلال قدرة المبني على استيعاب التغيير، والذي يتحقق بالإضافة والحذف والتلوّن 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 وميزانها الخارجية، وعوامل تنظيمية واقتصادية وقضايا تتعلق باليات التحوير والتطوير، فإن مبني آخر قد أعيد استخدامها بنجاح ما زالت تمنح بيئته جيدة لمستخدميها لم يكن ليمنحها مبني جديد، وما زالت تساهم كمكون مهم ضمن النسيج العمراني. إن قرار تحويل مبني متهدم يكون مرتبًا بالوقت الذي لا يقوم فيه المبني بتحقيق المستوى المطلوب من الأداء بالنسبة لمالكى المبني أو شاغليه. إذ أن أداء المبني هو الدرجة التي يحقق فيها المبني الخدمة لشاغليه بحيث يؤدي الغرض الذي أنشأ أو أشعل لأجله، ومدى كونه صالحًا لذلك الهدف المنشود [3]، إذ توصف الأدائية، بأنها تقييم ملائمة المبني لمتطلبات المستخدمين الآتية والمستقبلية، وتعبرًا عن المسافة بين ما هو مطلوب وما هو متحقق [4].

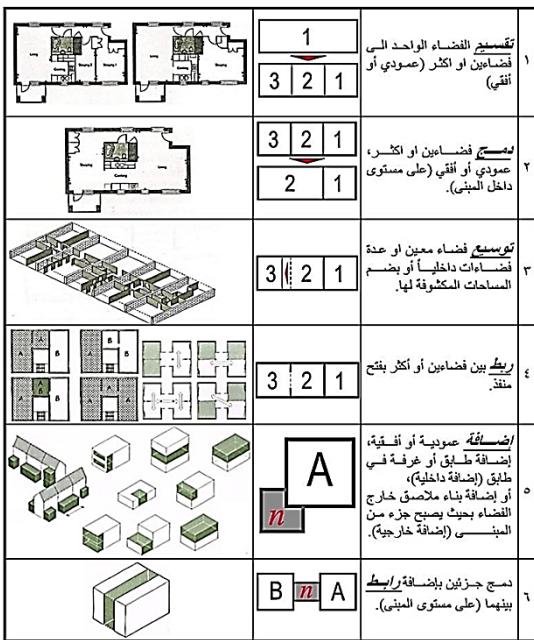
### 1.1 تطور الحياة الوظيفية

يتم عند تصميم أو بناء مبني جيد، 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 المبني للتدحر由 بتغيرات عديدة مثل التغيرات البيئية، فضلاً عن التأكل والتهرؤ اليومي، ويمكن السيطرة على هذا التدهور من خلال عمليات الصيانة والترميم، وبذلك يمكن للمبني أن يبقى في حالة مناسبة لمتطلبات المعايير التي أنشأ عليها. إلا أنه عادة ما تؤثر على المبني تغيرات عديدة تتطلب تحسيناً جزرياً يتعلق بالجانب الوظيفي (مدار البحث)، مثل تغير أو تطور حاجات الشاغلين الحاليين، زيادة أو نقصان حجم العائلة في المبني السكني، نمو الوظائف في المبني العامة، أو تغير نمط العمل أو النشاط، وظهور تقنيات جديدة تؤثر في طريقة استعمال المبني، أو التغير الاجتماعي والاقتصادي الذي قد يلغي الاستعمال الحالي للمبني، أو يؤدي به لأن يكون مهجوراً أو متربوكاً [5]. ونتيجة لمثل هذه التغيرات يكون أداء المبني فيما يتعلق بتغيرات الاستخدام متذبذباً وقد يهبط إلى دون الحد الأدنى للمعيار الهندسي المقبول (الشكل-1).



شكل 1 أداء المبني خلال مراحل حياته والتدخلات الضرورية [5]

ويصل المبني عملياً إلى نهاية حياته عندما يصل إلى تلك المرحلة المتقدمة من الأداء، وتتوفر له عندئذ ثلاثة خيارات أساسية: ترك المبني والانتقال إلى مبني آخر، أو هدم المبني وإنشاء مبني بديل محله، أو تبني القيام بمجموعة من الأعمال والإجراءات لرفع مستوى الأداء الوظيفي إلى درجة مناسبة، مما



شكل 2: إمكانيات التحويل المساحي، الباحث عن [10]

## 2. المحور الثاني: التكيف ومفرداته في التصميم المعماري المستدام

العمارة المستدامة مصطلح عام يصف تقييمات التصميم الوعي بيئياً في مجال العمارة، فهي تصميم المبني 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 تشيد المبني 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 متكملاً لإنشاء حلول تصميم مرحبة 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 المبني على التكيف، وتعديل المبني القائمة بدلاً من البناء من جديد، إذ غالباً 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 المبني أو هدمه، مثلاً يتم تبديد "طاقة المتجمدة" للمبني القائم، وهو مصطلح يعبر عن تكلفة الموارد في كل من الجهد والمواد المستهلكة أثناء تشيد المبني واستخدامه [11]. ويعد التركيز العام على تصميم مساحات معيارية قائمة للتكيف بحيث يمكن تقسيمه 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 والمهدى، من أهم خصائص العمارة المستدامة [12].

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

تطلب عملية التكيف دراسة دقيقة للجوى الاقتصادية قبل اعتماد قرار تكييف المبني مع المتطلبات الجديدة، بناءً على عدة خصائص قد يمتلكها المبني، وفي مقدمتها تقييم المبني من حيث درجة المرونة في تصاميمه، فالمباني ذات المرونة المنخفضة أقل قيمة في دراسة الجوى لإعادة التجديد وتلبية البدائل الأكثر تكيفاً. إذ تطلب كلف عالية للتجديد وتلبية الاحتياجات المساحية المتغيرة، تعتمد الدراسة أيضاً على وضع المبني الهيكلي، والجهة المتن出来的، وقضايا الموقع والسباق التنظيمي، ودراسة المتطلبات الوظيفية الجديدة ومدى توافقها مع إمكانيات المبني الفضائية وتأثير ذلك على درجة التحويل المطلوب إجراءه على هيكل المبني وما يعكسه من جوانب تتعلق بالصرف المالي [7].

يعلم التكيف على توفير الطاقة والمواد والمصادر، من خلال إعادة استخدام الهيكلي الانشائي والقشرة الخارجية، مما يساعد على تقليل الحاجة إلى الصناعة والإنشاء مجدداً، فقلل الحاجة للمصادر الطبيعية والطاقة اللازمة لإن tragedia. ويكون ذلك اعتماداً على سلامة المبني الذي سيتم تكييفه، كما إن تجديد المبني ليلاً من الاحتياجات المعاصرة يستلزم تحليل وإزالة محتملة للمواد الخطرة (بعض أنواع العوازل الحرارية وغيرها من المواد)، وإضافة تقنيات متقدمة وتقنيات خضراء مع إمكانية دمجها لتجديد أداء المبني ولخلق فضاء صحي للعيش والعمل. وتساعد عملية تكيف المبني في إرساء الميزات الأساسية للمناطق وتنمية الأوصاف الاجتماعية والاقتصادية، وذلك من خلال إبقاء المبني التي قد تشكل ميزة لمنطقة معينة أو أن تكون المنطقة معروفة بتلك المبني [8].

## 4.1 الخصائص الوظيفية للتكيف في العمارة

تصنف التكيفية، والتي تعرف بخاصية سهولة التحويل كأحد مبادئ الأفكار التصميمية المرنة، حسب إجراءات التحويل المطبقة إلى ثلاثة أقسام [9]: التحويلات الوظيفية، التي تتضمن تغيير وظيفة فضاء معين دون إجراء تعديلات على بنية الفضاء؛ والتحولات المساحية، كإضافة أو طرح مساحة معينة لإنجاز وظيفة أو تلبية حاجات لا يوفرها التصميم بفضاءاته الحالية؛ والتحولات النوعية التي ترفع من مستوى الخدمات الفنية (الكهربائية، الميكانيكية، الصحية). تم اختيار التحويل المساحي محوراً للبحث، إذ أنه يمس قضايا التغيير الفيزيائي، وما يتضمنه من عمليات نمو وتمديد أو تعديل للفضاءات داخلية وخارجية. وقد أشارت دراسة [10]، إلى إمكانيات التحويل المساحي وحدودتها 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).

الفضاءات ذات الخدمات الخاصة وهي إحدى المتغيرات في تخطيط المبني والتي تصنف أجزاء من المبني وفقاً لمعايير خاصة بالفضاءات الرطبة، العلاقة بين عناصر المبني بسبب أن بعض هذه العناصر تتطلب التغيير أكثر من غيرها؛ موقع مدخل المبني والذي يؤثر على طبيعة الحركة الداخلية وتتنظيم فضاءات المبني، ونوع منظومة الحركة وأسلوب تصميمها.

وقد صنفت دراسة (النجدي) مجموعة من الخصائص أو المبادئ التصميمية والتخطيطية، والتي من الممكن أن تتضمنها التصميم الأولية لزيادة القابلية على التكيف بتأثيرها الكبير على إمكانية إجراء التحويلات بسهولة ويسر، وخلق بيئة داخلية تحقق الغالية المرجوة من المبني، كمؤشرات مرتبطة بسهولة التحويل تحت ثلاث عناصر وكم يأتي [19]:

أ- ترکیز و تنظیم النظم الإشائی: وهو متغيران يتعلقان ب تنظیم المبني لوصف الأنظمة الإشائیة باعتبار أنهم يسهلان إجراء التحويل؛ ترکیز النظام الإشائی يعني التحدید والتقلیل من المسار العمویة و تقلیل مساحتها في المخطط، أما التنمیط فهو مدعی تشابه وتکرار الخصائص البعده و تحدید الواقع للنظام الإشائی في كافة أنحاء المبني، حسب مواصفات تقییس معینة و خاصه بالنسبة للمبني المصنعة.

ب- تنطیق المساحات ذات المواصفات الخاصة: هو أسلوب تصميمي يوزع أجزاء المبني بموجبه طبقاً لخصائص معينة، ويمكن تحديده بعاملين متربطين؛ الأول خصائص الفعالیات التي تشغّل الأجزاء المختلفة للمبني، فيما يتعلق بدرجة تخصص الفعالیات و درجة احتمال تغير الفعالیات في المستقبل، والثاني خصائص العناصر أو أجزاء المبني نفسه.

ج- استقلالية عناصر المبني: وهو متغير تصميمي آخر، يتناول المبني كمجموعة من العناصر المادية المختلفة في أعمارها الافتراضية، حاجتها للتغيير، علاقتها مع بعضها وارتباطها مع تغير الفعالیات في المبني عبر الزمن، إذ أن قسمها يبقى لفترات طويلة في حين يحتاج القسم الآخر إلى تغيير مستمر، وإن بعض هذه العناصر تتأثر بتغير الفعالیة في حين لا يتأثر البعض الآخر، الأمر الذي يبرر التوجه نحو زيادة استقلال هذه العناصر عن بعضها البعض بهدف تسهيل عملية التکيف وتحفيض المشاكل والعرائیق التي تواجه تلك العملية، إذ يقضى هذا التوجه بتنقیل اعتماد هذه العناصر على بعضها بالشكل الذي يمكن من تغيير أو تغيير أي عنصر دون الحاجة إلى تغيير عصر آخر. لذلك فقد ظهرت عدة أفكار تصميمية تتعلق بنوعين من العناصر البنائية، النوع الأول هي العناصر طويلة العمر الثابتة كأجزاء أساسية، وتمثل عناصر الهيكل الإشائی والتي لا تتأثر بتغير خصائص الفعالیات حيث تبقى طيلة العمر الافتراضي للمبني، والنوع الثاني تمثل العناصر قصيرة العمر المتغيرة وهي عناصر سهلة التحويل والتغيير مثل الإناءات والقواطع والخدمات وهذه العناصر تتأثر بتغير الفعالیة وتنتازم تغيير مستمر أثناء فترة حياة المبني.

ومن خلال الدراسات، يمكن تحليل خصائص أنظمة التعقيد، وهي الأساس العلمي الذي تستند عليه الآليات الكسرية، للإشارة إلى سلوك الطبيعة في تحقيق التکيف 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 التقنية عندما يكون هذا العدد صغيراً نسبياً، في حين يتعدّر لهم النظام بسهولة عندما يصبح العدد كبيراً بدرجة معينة. وإن عدداً كبيراً من

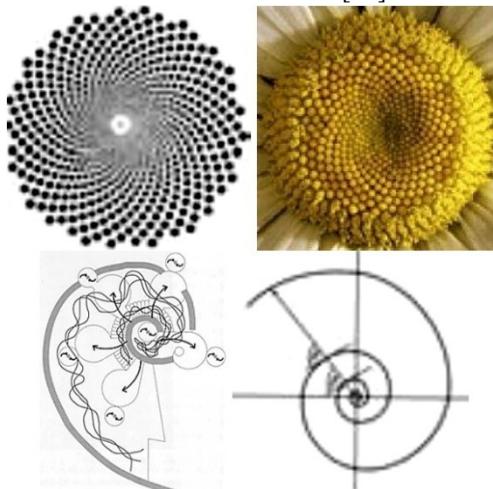
الاستعمال المطلوب من قبل الشاغلين الجدد أو الحاليين. كما يُعرف بأنه “تطوير إمكانية المبني المنشئ عملياً، لاكتساب عمر إضافي، والاستيعاب استعمالات إضافية”， فإنه يعمل لاستعادة الحياة للمبني، وجعله متوافقاً مع الوظيفة والبيئة المحيطة لتكون العلاقة إيجابية للطرفين من خلال التحويل، التدوير، الإزالة والإضافة، فضلاً عن إعادة تأهيل وترميم الأجزاء المهمة التي تحمل القيم المعمارية والثقافية والتي تستمر مع الاستعمال الجديد. إذ أن المفهوم الرئيسي للتکيف هو احترام المبني، وإعادة تنظيمه بالبرنامج الوظيفي الجديد والذي يطابق المتطلبات الجديدة، دون حدوث اضطراب كبير [14]. واقتصر (Latham) بأنه يتحقق بأكبر قدر من العناصر والخصائص الأصلية للمبني، والحفاظ على تماسته، وتحسين أدائه ليلاً من المعايير ومتطلبات الشاغلين المتغيرة بمرور الزمن [15]. فإن تکيف المبني للمتطلبات والبيئة الجديدة، يعد أفضل اقتصادياً واجتماعياً وبيئياً، والاحتفاظ بالطاقة، فضلاً عن خصوصية المبني، سواء كان الاهتمام يرجع لأسباب معمارية أو تاريخية أو بيئية. وتعد هذه الاستراتيجية فعالة، إذ تعطي قيمة وظيفية جديدة للمبني، والاحتفاظ به مشغولاً وحيوي. ويُنظر على أنها أساسية في حماية الأرض وتقليل مشاكل التشتت والتوسيع الحضري السلبي والتاثير البيئي، وإن أفضل إنجاز لها هو الاحتفاظ بطابع المبني، وتقليل حدة التغييرات العنفية في الطرز والأنماط المعمارية [16].

وقد أظهرت نتائج دراسات تحليلية لإيجاد القوانين الأساسية للعمارة وال عمران، أن المبني 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، متذكرة الطبيعة مرجعاً لها، وهي أساس العلوم، بدلاً من إنتاج تصاميم قسرية أو اتباع الإملايات الأسلوبية الاعتباطية والتعيم المفرط، التي أدت إلى فصل الإنسان عن بيته. 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 المبني العظيمة في الماضي، والعمارة المحلية من جميع أنحاء العالم، لها أوجه تشابه رياضية أساسية. وينتقل 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 المقاييسية، وترتبط مستويات القياس المختلفة ارتباطاً وثيقاً بالتصميم. وإن هناك ضرورة لهذه الهياكل الكسرية، وبألوان معينة من التكبيرات والعلاقات الهندسية المترافقية. وتنظر الأهمية عند المقارنة مع المبني الحداثة. التي لا تتفق لعدد المقاييس، لكن المقاييس المختلفة ليست مترابطة. فهي تلتزم بقاعدة تجنب المقاييس الكسرية، والتوجه نحو الاختزال والتجريد. بداعي إزالة الفوضى هي المتصوره للبنياني والمدن التقليدية؛ في حين أن تلك الفوضى هي في الحقيقة تعقيد المنظم الذي أعطى الحياة لهذه الهياكل [17].

يمكن تحديد مجمل المفردات التصميمية المؤثرة على إمكانيات التحويل المساحي، المستوى الثاني من التحويل الشامل والذي يلغاً إليه عند عجز التحويل الوظيفي (المستوى الأول) للفضاءات المختلفة عن سد حاجات ومتطلبات شاغليها، وكما يأتي [18]: حجم المبني من حيث أبعاده ومساحته؛ شكل المخطط الأفقي من حيث طبيعة النسب البعده المعمدة فيه؛ افتتاحيه الغلاف الخارجي للمبني والذي يرتبط بمدى قدرة المبني على الفتح إلى الخارج وتتأثر ذلك على التصميم الداخلي؛ الهيكل الإنسائي والذي يحدد بدرجة كبيرة إمكانات التحويل والتعديل على المبني باعتبارها من العناصر الثابتة التي قد تعيق أو تسهل التحويلات المطلوبة ولا يمكن إجراء أية تعديلات فيها؛

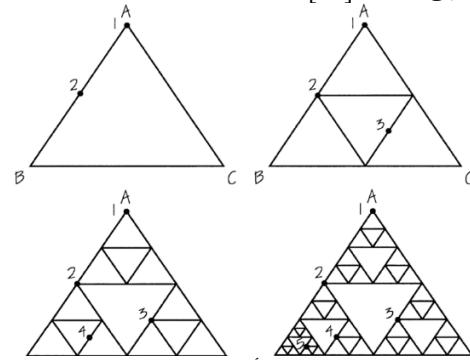
وتطور الأنظمة المعمارية دون تصميم مسبق [20]. وتم التأكيد على ضرورة تحقيق القراءة على التكيف من أجل تحقيق بنية مستدامة، إذ تدعى هذه القراءة إلى تصميم وتنظيم البنية المبنية وفقاً لمقاييس ومستويات متعددة. ومع وضع ذلك في الاعتبار، فإن نظرية الكسرية تمثل نهجاً مهماً لاستكشاف القراءة على التكيف المعماري، يسمح بتصور التنظيم المكاني كنقط متعدد المقاييس. إن الكسرية تسهل إنشاء هيكل عضوية متماضكة ومعقدة، تتلاعماً بانسجام مع المحيط وتتفاعل معه. وتنظر النظم الكسرية في التطور بسبب الحاجة الطبيعية إلى الكفاءة والتحسين. كما يجب اعتبار المبني والمناطق المحيطة بها أنظمة معدقة، حسب احتياجاتها، لتكون متعددة وديناميكية وقابلة للتكيف وتطورية. إذ تمكن هذه القراءات من استيعاب التغير غير الوقت والاستمرار، مع الاهتمام بالقضايا البيئية والاجتماعية والاقتصادية، مع عدم اليقين بالمستقبل. وتعتبر المبني معدقة أيضاً لأنها تتكون من عدة مكونات متصلة منظمة وتتفاعل وفقاً للعملية هرمية [25].

ويعتبر مبني (Bavinger) أحد أفضل الهياكل الكسرية، في تقليده للأنماط الطبيعية وتكرار تكوين معين بمقاييس متعددة، مثل زهرة بكتوينات مختلفة. والأهم، في طريقة جذب العناصر المتعددة في لغته الكسرية، متخذًا شكلاً طبيعياً (الشكل الحزوني) ومستنداً إلى مبدأ "الجانب 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 المترابطة من الطبيعة والثقافة. ولقد أشتق مثل هذه الأشكال التنظيمية من خلال اتباع قواعد الطبيعة وعملياتها بوعي، وإعادة تدوير كل شيء، وتنظيم مبني مثل تيار متذبذب، أو سحابة متشابهة ذاتياً، وأضافها في عمارتها. واستخدم "التشابه الذاتي" الذي يمنح الغنى والتنوع في المقاييس والأشكال والزوايا، على عكس التمايز 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 ثوريته استجابته للعوامل والتهديدات المحيطة. ومثل أهداف الطبيعة، وإن أهداف هذه العملية الاتجاهية هي المثانة والبقاء. وحيث أن الطبيعة لا تستطيع حساب خطواتها التالية، فالسياسة المعقولة هي أن يكون لها أكبر قدر من التنوع. وعلى الرغم من أنه يولد التشوش والصراع، إلا أن هذه تعد تبعات بسيطة مقابل تحقيق إمكانية التطور المستمر [23].



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

العناصر ضرورية، 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 معدقاً، لأنها وبرغم تعددتها، 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 (الجشتال)، فالنظام برمه هو أكثر من مجموع أجزائه، وإن "المزيد مختلف". وفي كل حالة، تجمع الأشياء لتشكل "كليات" تختلف خصائصها عن أجزائها، وهذه الكلية المترابطة هي التي تنشأ الحياة والنوع. وبالتالي، فإن الاختزال التقليدي لا يناسبها، إذ يرفض النهج الشمولي النظرة الميكانيكية الداثنة، والتي تمنع الثراء والتنوع [20]. إن نظرية التعقيد ترتكز على العلاقات المعقّدة للعناصر، والتي هي غير عشوائية بل تخضع لآليات تولد النظام على مستويات مختلفة من التنظيم. وفي حين يؤكّد العلم التقليدي على الثبات والانتظام والتماثل والمساواة، وعلى الأنظمة المغلقة والعلاقات الخطية. فإن نظرية التعقيد، على القيقين من ذلك، تحذر الانتباه إلى الأضطراب وعدم الثبات والتنوع واللامساواة والتوازن غير المستقر وال العلاقات غير الخطية، التي تصف الزمنية والسببية الموجودة في ظواهر الحياة الواقعية بشكل أكثر دقة من الأساليب التقليدية [21]. كما يرتبط التعقيد، والذي يسمى "البساطة العميقية" [22]، بهم كتف يمكن أن يشكل علاقات ويفتاع مع محيطه بروابط متبادلة. وكيف يمكن إنشاء عدد كبير من مجتمع العلاقات المتعددة، شديدة التعقيد والديناميكية، من أنماط سلوكيّة بسيطة، أو إدراك الفرضي (وهي سلوكيات تبدو عشوائية ولكنها تتبع نمطاً)، باكتشاف النماذج البديئة البسيطة المتشابهة ذاتياً، وأنماطها التكرارية العميقية الكامنة (شكل-3). ولهذا تعرف الكسرية بمهندسة التعقيد. فجميع قوانين التعقيد هي ضغط بسيط للسلوك المعقّد، 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].



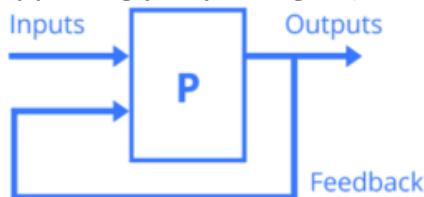
شكل-3: مثلث سيربنسكي، يبدأ بقانون بسيط، تدبيج منتصف كل ضلع من أضلاع المثلث، وتفرغ المثلث الوسطي، وتكرر العملية. في البداية يبدو الوضع بسيطاً، لكن بعد فترة ليست بطويلة يبدأ التنوع والتعقيد في الظهور [24]

إن الأنظمة المعقّدة 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 متكيّف، إذ إنه يحمي بناء النظام بأكمله من خلال السماح بالتغيير



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

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

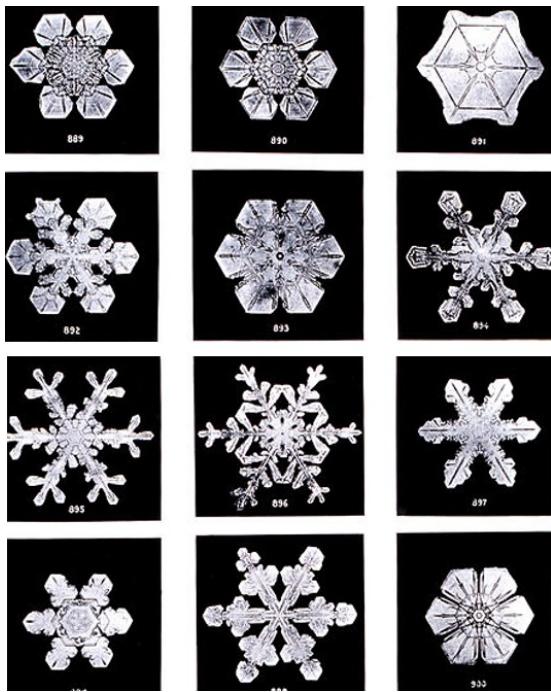


شكل-6: حلقة التغذية الراجعة حيث تتوفر جميع مخرجات العملية  
كمدخلات سببية لتلك العملية [39].

إن النّظرية الجديدة للعالم، المتأثرة بالعلوم الجديدة، هي أن الكون أكثر إبداعاً وديناميكية مما كان يعتقد سابقاً أنه ثابت. ويفهم هذا العالم المنظم ذاتياً على أنه نموذجيًّا لإبداعه، بمبنائه 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، ونومه، وفقراته المفاجئة، وتقلباته الجميلة، وتجعيده، وانعطافاته، وكوارثه. وهي بذلك تختلف عن النماذج الميكانيكية التي فرضها الحادثيون على حياة المبني. ومكناً، مع وضع النموذج الكسري في الاعتبار كلّة جديدة تخلل الخصائص الطبيعية وأسبابها الوظيفية، يمكن للمخططين الاقتراب من النمو الدقيق والرائع والعمل معه، لأنّه يمكن وراء نمو الكون نفسه [23]. وبالرغم من إن نظرية التعقيد لا تسفر عن منهجهية محددة للتصميم، ولكن يمكن استخدامها لفهم

**2.2 السلوك اللاخطي للمنظومة:** إن سلوك العوامل في النظام المعتقد ليس حتمياً (محدد) تماماً ولا عشوائياً تماماً؛ بل إنه يعرض كلاًّاً من خصائصين. تسمى هذه الأزدواجية بالفوضى الحتمية أو "التعقيد من خلال القواعد". في بينما يمكن أن يولد النظام الحتمي البسيط، والذي لا يحتوي على عدد قليل من العناصر، سلوكاً عشوائياً، فإن ضمن النظام الحتمي المعتقد، يتم إنشاء السلوكيات العشوائية دون انتهاء القواعد العامة للنظام بأكمله. وهذا يعني أن هناك بعض المعادلات الحاكمة التي تحدّد سلوك النظام – الطريقة التي تتفاعل بها العوامل – وتحافظ على النوعية أو الموضع أو الطابع العام للنظام. ففي قطاع البناء، يتمثل مصدر النظام بالسياسات التخطيطية والمالية وأنظمة البناء، وغيرها، وهي تحدد سلوك النظام. ومع ذلك، يسمح 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، إضافةً أو تحريره أو إزالته، أو إعادة ترتيب التداخلات، فإنهم ينشئون أنماطاً جديدة تماماً للاتصالات. 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 المعتقدة أو حلقات التغذية الراجعة. فقد تأتي التغييرات بطرق لا تنطوي على نتيجة واحدة محتللة [20]. وتتجدر الإشارة إلى أن التعامل مع الأنظمة المعتقدة غير الاجتماعية، مثل النظم البيئية الطبيعية، يتضمن بعدين رئيسيين هما المكان والزمان. بينما هناك بعد إضافي في النظم الاجتماعية المعتقدة، وهو العامل البشري. والذي يحدد بشكل كبير الطبيعة المزدوجة المعتقدة للعمارة، إذ يتصرف النظام بكامله كنظام معتقد؛ وكل فرد في هذا النظام هو أيضاً نظام معتقد للتنظيم الذاتي والسلوك التكيفي [27].

يتمثل أحد تطبيقات هذا المفهوم في تصميم زها حديد لمركز الملك عبد الله للدراسات البترولية (KAPSARC)، الذي يسعى جاهداً ليكون صديقاً للأرض. فقد وصفت هندسته بأنها تتطلع إلى المستقبل بتكوين شكلي يمكن توسيعه أو تكبيره دون المساس بالنّمط المرئي للمركز. إذ أن الاستراتيجية التفظيمية الجوهرية للتصميم هي نظام خلوي مودولي جزيئياً، يدمج مباني الأقسام المختلفة كوحدة واحدة مع المساحات العامة المترابطة، من خلال الهياكل المنشورة السادسية المستخدمة في التصميم، والتي حدّت بطبعتها المتراسدة والكسرية، المبدأ الهيكلي والتقطيمي للتكون. من حيث اعتباره اندماجاً للأشكال البليوية التي تظهر من المناظر الطبيعية الصحراوية، وكذلك في أنها تنمو وتتطور للاستجابة بشكل أفضل للظروف الخارجية ومتطلبات البرنامج الداخلي. حيث يتم ضغط شبكة السادسيات باتجاه محورها المركزي كامتداد للوادي الطبيعي من جهة الغرب. في حين يولد التصميم المعياري استراتيجيات تنظيمية ومكانية وهيكيلية متسقة تدمج جميع عناصر المخطط. توفر الخلايا السادسية فرصاً أكبر لزيادة الاتصال عند مقارنتها بالطريقة الإقليدية، فهي تسهل الاتصالات مع أي توسيع مستقبلي للحرم الجامعي من جهة الشمال، بالإضافة إلى إنشاء روابط مع المجتمع السكني من جهة الغرب (شكل-4) [38].



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

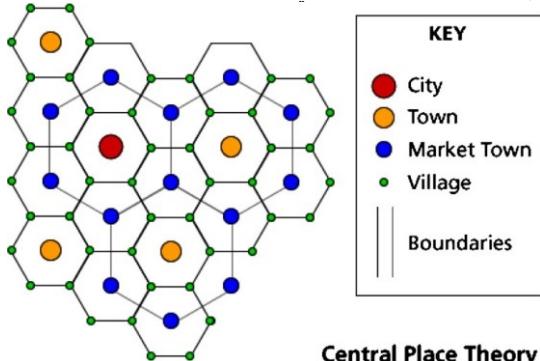
**5.2 الترابط بين المكونات:** تشير هذه الميزة إلى جودة مماثلة للتآثر الذي يحدث في النشاط الجماعي، مع نتائج مماثلة أيضاً. إذ ترتبط مكونات النظام المعقد ارتباطاً وثيقاً ببعضها البعض على المستوى المحلي، وبالمحيط على المستوى العام. لدرجة أن النظام وبيئته يتظரان معاً. وجادلت (جين جاكوبس) بأن البيئة المبنية هي أساساً كائن حي له روابط داخلية معقدة وسلوك شمولي. وأقترح (الكساندر وأخرون) أن العمارة هي نتاج لغة الأنماط. ووفقاً لنظرتيه، فإن الأبواب والنوافذ والمباني والساخات والأحياء والمدن والعاصمة مرتبطة ببعضها البعض "بأنماط" بطريقة تشبه الكلمات والمفاهيم والجمل والفترات والفصول والقصص. تحتوي اللغة الطبيعية المنطقية 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 المنطقية، فإن البيئة المبنية هي نتاج محدثة بين عدد كبير من العناصر ولغات النمط، وهي الوسيلة التي ترتبط بها هذه العناصر (شكل-8).

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

**4.2 القدرة على النشوء والانبثاق:** هو عملية انتشار 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 بمح토ى سوابقها. وقد يكون هذا سبب عدم وجود نظامين متشابهين، أو مدينتين متشابهتين تماماً، حتى لو كان لهما تاريخ ونطء مماثل. فلن المكونات الفردية للنظام تعمل فقط على المعلومات المحلية والمبادئ العامة. وينشأ السلوك المرئي من التفاعلات التي تكون ضئيلة للغاية. ويكون محظوظ المعلمات مجرد آثار، لكنها تؤدي بعد تعاملات بسيطة إلى سلوك معقد بشكل مرئي. ووفقاً لـالكساندر، فإن الكلية التي تحدث في الحيز، تتجلى بطريقة تخلق المزيد والمزيد من الحياة، ومن هذه التحولات، يتم إنشاء (كليات) أكبر. وبهذا المعنى، يمكن تعريف النشوء أو الأحداث المفاجئة في العمارة – مثل الكائن الحي – على أنها خصائص يمتلكها نظام معقد ديناميكي لكل عضوي، من خلال الأجزاء المكونة له، والتفاعلات المستمرة بين العمليات الجزئية والكلية. ولذلك، فإن مصطلح "عضووي" يمثل بشكل أفضل الطبيعة المعقدة لمفهوم التطور والتغيير التدرجي المعماري وخصائصه المميزة. فهو ينقل الخصائص الرئيسية للأنماط التي تنمو بشكل طبيعي. وبخلاف ذلك الاقتراب من الكون العضوي، سنقوم يوماً بعد يوم ببناء بيئه منعزلة بدون خصائص مكانية حية [20]. وهكذا فإن كل دفعة ثلج فريدة من نوعها، وإن أحد العوامل المساعدة بتفردها هو أنها تتشكل بآنماط كسرية، والتي تسمح بكتبات هائلة من القاصصيات والتنوع. وفي التكتوبات البلورية الجديدة، تكون نقطة البداية للكسرية في المركز، ومع توسيع البلورة، تتشكل الهياكل الكسرية وتتمدد في كل اتجاه. تماماً مثل غيرها من الكسريات، يصبح كل تكرار للشكل أصغر وأكثر تفصيلاً، مما يساهم أيضاً في التعقيد الكلي للشكل (شكل-7).

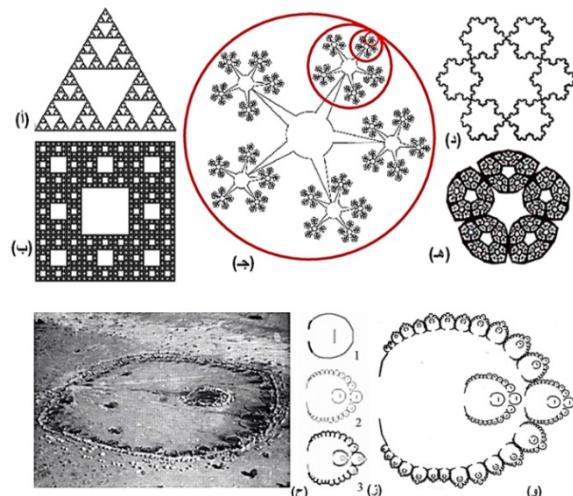
الشكل-9: تمثيل منطقي لنوعي الهياكل الهرمية للأنظمة الفرعية بحسب ألكساندر؛ التسلسل الهرمي شبه الشبكة (يسار) مقارنة بالتسلسل الهرمي الشجري (يمين)، [20].

وفي مناقشة هرمية شبه الشبكة وهرمية الشجرة، فإن العمق التنظيمي يعتمد، مثل التقىد، على كمية المواد وترتبطها، "المزيد مختلف". وبالتالي فإن عدد الغابات ( $M$ ) والروابط بينها ( $L$ ) هي مقاييس تقريري 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 والتوصير 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 تتنتهي إلى شبكة متراقبة 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 تقليدياً مثل الكثافة السكانية والرمح العمراني. كما اعتبرها [31] الترتيب الهرمي الأمثل، من خلال الاتصالات التي تتضمنها. مع الإشارة إلى إمكانية تطبيقها في مجالات مختلفة.



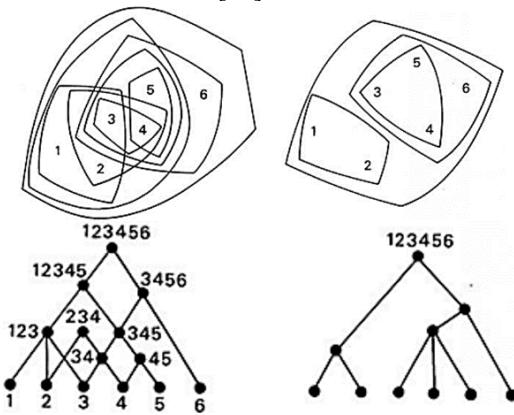
شكل-10: مخطط لنظرية المكان المركزي القائمة على التسلسل الهرمي شبه الشبكة [31]

**7.2 التنظيم الذاتي:** هي خاصية للأنظمة المعقدة تمكنها من تطوير أو تغير الهيكل الداخلي بشكل تلقائي ومتكيف للتعامل مع بيئتها أو التأثير بها [20]. فإن الظهور بدون تصميم مسبق لا يقتصر على النظام المعقد ككلية فحسب، بل يظهر هيكله وتتنظيمه أيضاً. أي إن الهيكل والسلوك لا يحدد بطريقة أولية من خلال خصائص المكونات الفردية للنظام، بل أنه "النتيجة" 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 بتنطوير نفسه، وعملية يتغير فيها الفضاء نوعياً خطوة بخطوة، من خلال تكتيف المراكز كآلية للتحكم تنتهجها الأنظمة المعقدة لتحافظ على ديمومتها. تكتيف المراكز في الأنظمة الفرعية يعني أن النظام المعقد يصبح أكثر تعقيداً من خلال التطور، وهذا مرتبط مع آلية التدفق أو النفرع في الكسرية. وتشير هذه الزيادة في التقىد إلى انعكاس محلي للعشوانية – الناتجة عن التغذية الراجعة – التي



شكل-8: المراكز المتعددة لتوسيع متماسك ومنظم، أ- وب- مثلاً، وسجاده سيربينسكي، ج- إمكانية تمييز مجموعات فرعية عديدة، د- ندفة الثلوج (منعني كوخ)، هـ- محاكاة الشكل الكسري الطبيعي [25]، و- مخطط مستوطنة باليلا التقليدية الأفريقية (تطبيق على الترابط عبر المقاييس الهرمية)، ز- هرمية المستوطنة، ح- صورة جوية للمستوطنة [29]

**6.2 التسلسل الهرمي ومستويات المقاييس:** إن النظام المعقد ينظم ذاتياً عن طريق إنشاء تسلسل هرمي مرتب للتراكات البنية على عدة مستويات متنوعة المقاييس، كأنظمة فرعية. التقىد نفسه ليس هو المهم؛ بل مستوى ذلك التقىد. ومع ذلك، فإن الهرمية لا تؤدي دائماً إلى التقىد. إذ حدد (ألكساندر) نوعين من التدرج الهرمي: الشجري وشبه الشبكي. كل منها يمثل طريقة للتفكير في كيفية قيام مجموعة كبيرة من العناصر الصغيرة أو الأنظمة الفرعية بتكوين نظام بهيكل هرمي، لكن الأخير يعود إلى التقىد. ففي الهيكل الشجري، يكون كل نظام فرعى مستقلاً تماماً عن جميع الأنظمة الفرعية الأخرى في مستوى، 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). والاهتمام أنها تولد علاقات قانون القوة والتي تحدث عادة في أنماط كسرية معقدة، وهي تنشأ بشكل عضوي لسنوات عديدة. كما أشار سالينكاروس إنه نادرًا ما يمكن إنشاؤها دفعه واحدة، وإذا كان أي مستوى رابط مفقوداً، فإن الهرمية تكون معلقة [20].

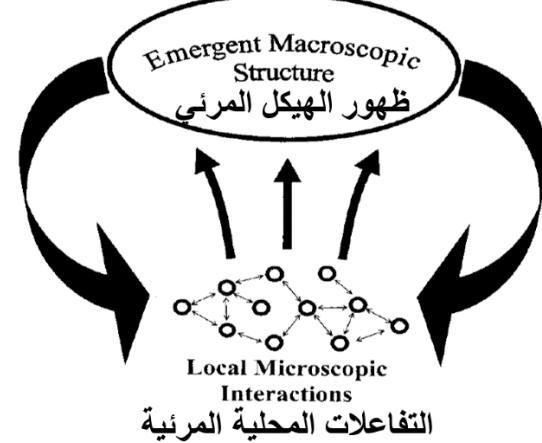


تحدد على أنه مؤشر على أن نظاماً معيناً قد تم إنشاؤه بواسطة عملية توليدية وغير خطية. إن مثل هذه الأنماط هي نتيجة لعملية التغذية المرتدة في نظام مفتوح، وأن الأنماط الموجودة على المقاييس الأصغر تتشبه النمط الأصلي الذي يظهر ككل، فالنمط بأكمله يكرر نفسه في مقاييس أصغر [20]. وفسر (Bhutta) الكسرية رياضياً بأنها صور ناتجة عن تكرارات المعادلات الخطية، في حلة التغذية الراجعة. باستخدام قيمة المخرجات لقيمة الإدخال التالي، 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 الامتدادي 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 المجهوية إلى الهياكل الضخمة، وسيبدو كل شيء مختلفاً عند التحدث باللغة الكسرية. وهكذا، فقد تطورت الهندسة الكسرية من فضول رياضي إلى مفهوم محتمل لفهم العالم الطبيعي، بنموه وتكييفه. إذ تخلق العمليات الأساسية الكامنة وراء التكرارات العودية لقواعد التكوين البسيطة، مجموعة واسعة من الهياكل والأشكال بالغة التعقيد الطبيعية. ومن ثم يمكن تلخيص العقيدة الكسرية على أنها "البساطة تساوي التعقيد" [34].

ومن جهة أخرى، فإن كلمة الفرضي "Chaos" كمصطلح علمي، تنقل معنى مختلفاً عما نعنيه بالمصطلح الشائع لاستخدامه حيث يُعرف بأنه "عشوائي تماماً ولا يمكن التنبؤ به حتى من حيث المبدأ". أما في الاستخدام العلمي، يعرّفه (Valle) بأنه: "السلوك غير الخطى لنظام معقد بترتيب حتى 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. فنظريّة الفرضي هي تخصص علمي متتطور لدراسة الأنظمة الديناميكية اللاخطية المعقّدة، ووفقاً لأوضاع تعرّيفات (Bhutta) فإبها "الدراسة النوعية للسلوك غير الدوري غير المستقر في الأنظمة الديناميكية الحتمية غير الخطية". حيث: "غير الدوري" (aperiodic) هو ببساطة السلوك الذي لا يتكرر أبداً؛ "اللاخطية" (nonlinear) هي المعاودة والخوارزميات الرياضية الأعلى؛ و"ديناميكي" يعني غير ثابت وغير دوري (متغيرات الوقت)، أما "الاحتمي" فكل شيء فيه محدد أو مقصود. وهكذا فإن نظرية الفرضي هي دراسة الأنظمة المعقّدة 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 منظم 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 فرضي، وفي خضم الفرضي هناك نظام". وأن تفسير التشبع أو التفرع في الأنظمة المعقّدة 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 الفرضي والعكس صحيح. كما تم الكشف عن نمط التشابه الذاتي الكامن وراء السلوك الفرضي. فإن نسخة أصغر من النمط (بمقاييسها الأصغر) في مخطط، مشابهة للنمط بأكمله (على نطاقه الكامل). معنى آخر، أنه يعيد نفسه (شكل-12). هذه الأنماط المشابهة ذاتياً هي الكسرية. وبهذا المعنى، يمكن فهمها على أنها مجموعة فرعية

تطلب 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 عمرة.

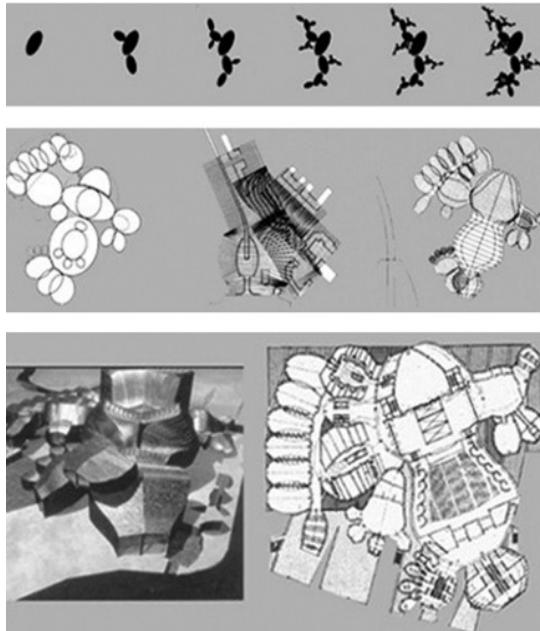
ويوضح (شكل-11) تخطيط لنظام قيد النظر مفتوح لتدفق المادة أو الطاقة. حيث تشير الأسهم الصاعدة إلى أنه في ظل قيود عدم التوازن، تمثل التفاعلات الجزيئية إلى مزامنة سلوكها تلقائياً، مما يؤدي إلى بدايات الحالة المرئية المرتدة. كما يتضح من الأسهم المتجهة إلى الأسفل، أن هذه الحالة حديثة التكوين تعمل على التفاعلات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



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

**8.2 التشابه الذاتي والنطط الكسرية:** إن السمة الأكثر أهمية لنظام معقد فرضي، من وجهة نظر مورفلوجية، 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 العودية، نمط داخل نمط. وعند تمثيل النظام الفرضي بيانيًا، يكون الكائن الناتج كسرياً. إن العناصر التي تشكل هذه الأنماط، مترابطة بطريقة غير خطية، وظاهر أبعداً غير صحيحة، لا يمكن تفسيرها بواسطة الهندسة الإقليدية. فهي هندسة التنظيم على عدة مقاييس، هنسنة ذات تعقيد منظم، لذا يمكن فهم الخاصية الكسرية على أنها إحدى خصائص الأنظمة المعقّدة، وبالتالي، يمكن تحديدها على أنها "صورة الفرضي" أو "هندسة التعقيد". وقد تم تطوير النظرية الكسرية بالتوازي مع نظريات الفرضي والتعقيد، من قبل علماء بختصات ودراسات مختلفة. فإن عالم الأرصاد الجوية، لورنر (1963) هو أحد رواد دراسة الفرضي، وعالم الرياضيات، بيتنا ماندلبروت (1977)، معروف جيداً بالديناميكيات اللاخطية، وباكتشافه للكسرية باعتبارها الهندسة الحقيقة للطبيعة. وت تكون الأنظمة المعقّدة لمثل هذه الأنماط من خلال "الهيكل المتولد". وبحسب (الكساندر)، "إنه قانون أساسى لخلق التعقيد"، إذ يوضح أن البنية المتولدة هي شيء له تعقيد عميق معين، يتم إنشاؤه بطريقة ما يبدو أنه بيولوجي تقريباً، و يصل إلى مستويات أعمق من البنية الدقيقة التي تربطها عادةً بالتصميم؛ هذا هو الطابع المادي المرئي للتعقيد، ويمكن

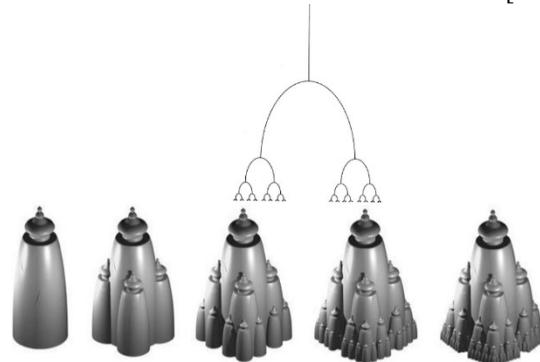
أشكال خاصة مع قوى تشكيل مماثلة. كذلك فإن التشابه الذاتي كأحد خصائص الأشكال الطبيعية لا يحدث فقط من خلال تكامل بعض المكونات المتشابهة ذاتياً، بل أن العامل الأكثر أهمية في تكوينه هو الطبيعة المنوجة لطريقة تكوينه تلك، والتي بواسطتها يتم إنشاء المكونات بواسطة الكل ويتم إنشاء الكل من المكونات [37]. وعلى الرغم من أن هذه الأشكال تبدو مجنة، 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 معاً (شكل-14).



شكل 14: أوبيرا كارديف، تصميم جريج لين وكير، عملية التشكيل من خلال التشابه الذاتي بتكرار ومضاعفة الشكل الأساسي بمقاييس زوايا مختلفة عن طريق تغيير المقاييس والتوليد بمخطط عام مع مراعاة قيود المشروع [37].

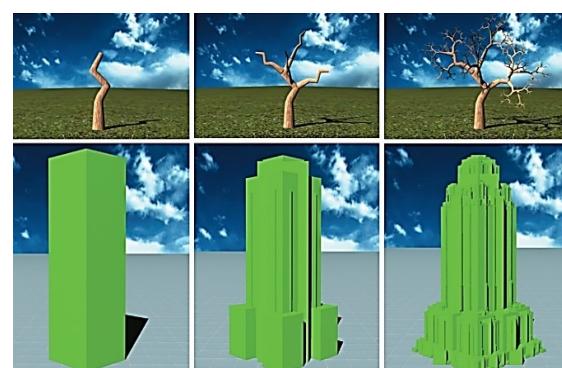
في حين أكدت (Al-Jawhary, 2010) أن هناك عدة مسوغات تدعونا إلى التصميم بشكل كسري، من حيث أنها قادرة على تحقيق التكامل بدلاً من البناء الإضافي، والتعدد دون التخطيط المستقبلي، مع الإشارة إلى أن التشابه الذاتي هو وسيلة للتخطيط لعدة مقاييس مختلفة في وقت واحد. إن بعض الأنماط الكسرية، مثل حزونات فيبوناتشي، لا 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 فولفسورج التقافي من قبل ألفار ألتو، إذ يمكن تكرار الجزء الأيسر لتشكيل امتداد سلسلة من الحجوم إلى الأجزاء الفرعية (الشكل-15).

من نظرية الفرضى ولها يطلق عليها "هندسة الفرضى / التعقىد" [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 كلي ومشابه في طبيعته، وأن كل جزء من الكون كامل في حد ذاته. والسعى لتحقيق التحرر الروحي وإدراك الوحدة، ووفقاً للتقاليد المعمارية القديمة، تمثل المعابد الهندوسية الكون رمزياً.

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



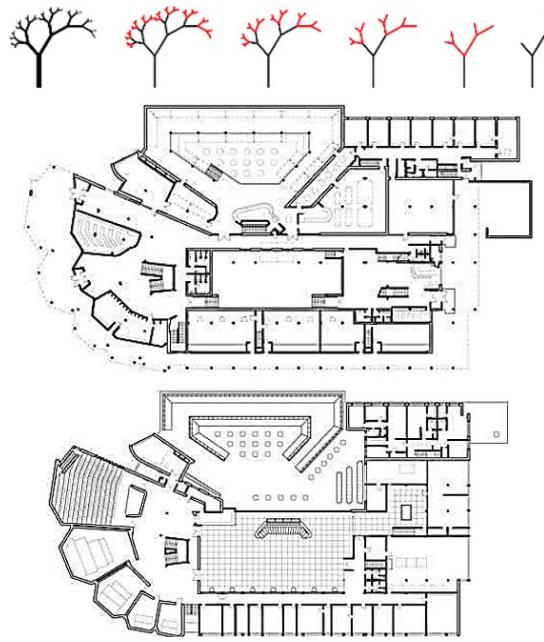
شكل-13: نقل الجوهر الكسري للمبادئ العضوية إلى العمارة [34]

وجادل (Mirmoradi) في أن خصائص التشابه الذاتي موجودة فقط في الأنماط الطبيعية التي تقوم أجزائها المختلفة بمهام مماثلة. إذ تنسحب المبادئ التي تحكم النمو في تشابه المكونات، ظرراً لأن جميع الأشكال في الطبيعة قد تم إنشاؤها وفقاً للسبب الوجودي والاحتياجات والمهام في النظام ككل. لذا، فإن هذه الهندسة وخصائصها لا تنتهي إلى الطبيعة بأكملها ولكنها في

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

#### المصادر - REFERENCES

- [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 Residential 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 Architecture, 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



شكل-15: مخطط مركز فولفسبورج الثقافي، أفال أنزو [24]

#### الاستنتاجات والمناقشات

ركزت الدراسة على الاستدامة كمتطلب مهم لحل الأزمات العديدة الناشئة عن العلاقة غير المترادفة بين الإنسان والطبيعة فيما يخص قطاع البناء، وباعتبارها أحد الموضوعات المهمة في العمارة للمهتمين بالبنية المبنية الصديقة للأرض والمتعلقة إلى استجابات تصميم جديدة. وقد ركزت على مفردة التكيف باعتبارها المفتاح الذي يربط العمارة بمفاهيم الاستدامة. إذ اهتمت بليجاد مبادئ التكيف في النظم الطبيعية من جهة، والنظر إلى المبني على أنه هيكل معدٌ يشبه الهياكل والمنظومات الطبيعية المعقدة والمستدامة بحد ذاتها، من جهة أخرى. وأظهرت أن أشكال وخصائص الطبيعة، وهي متکيفة، يمكن أن تتعكس على التكوينات المعمارية من خلال آليات وأساليب، تطرق لها الدراسة في شقها الثاني، للوصول إلى عمارة مستدامة من حيث تحقيق مفاهيمها في زيادة قدرة المبني 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 والتتنوع والتشابه الذاتي والهرمية وفقاً لمقييس 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 الكسرى استخدام هذه النظريات، من خلال مراجعة مجموعة من دراسات الحالات. كان الهدف هو المساهمة في توفير المساحات الإضافية الالزامية، وزيادة النفاذية لمحاور الحركة، وتحسين إمكانية الوصولية؛ وبالتالي، تحسين الأداء الوظيفية، وفي نفس الوقت المساعدة في تقليل الكاف والآثار البيئية، الأمر الذي يعد من أهم 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، والانتظار الكسري، والمقياسية الهرمية، وغيرها من الآليات، والتي كان لها الدور في نقل الخصائص التكيفية إلى المبني، مثل زيادة النفاذية والاتصالية وإمكانيات الإضافة أو تقسيم المساحات، وغيرها من الخصائص التي زادت من الأداء الوظيفية، وزادت من قابلية على استيعاب التغيرات المستقبلية، وبالتالي تمديد عمر المبني.

- [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. Waliczek, *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-forotherusesseemergencedisambiguation.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. Salingeros, “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 analysis 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\*\***    **Shishin Mikhail Yurievich\*\*\***  
**architect.khalid1975@gmail.com**    **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

### **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.*