Vol.3, No.5, Page 1107- 1084, 2025 https://doi.org/ 10.59628/jast.v3i5.1933 ISSN 2958-9568 JAST

مجلة جامعة صنعاء للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا
Sana'a University Journal of Applied Sciences and Technology
https://journals.su.edu.ye/index.php/jast/

Computational design formulas as an enriching medium for creativity in contemporary urban production

Munif Shams Al-Din*, Mohammed Ahmed Salam Al-Madhaji

Department of Architecture, Faculty of Engineering, Sana'a University, Sana'a, Yemen.

***Corresponding author**: monif.shamsalden@su.edu.ye

ARTICLE INFO

Article history:12-June-2025
Received: 27-July -2025
Accepted: 30- August - 2025
Published: 28 October 2025

KEYWORDS

1. Computational design
2. digital technologies
3. creativity
4. creative production
5. contemporary architecture"

ABSTRACT

Computational design is a computer technology that has contributed to data processing using a set of parameters and algorithms to meet contemporary design challenges. However, traditional methods are still the most widely used today in the design process. Accordingly, the research problem is embodied in the lack of knowledge about the effectiveness of computational design in the processes of generating, exploring, and developing creative output in contemporary urbanism. The research aims to identify the formulas of computational design and their effectiveness as an enriching medium for creativity and innovation in urban production. To achieve the goal, the research follows an inductive approach to clarify the cognitive reality of previous studies on two levels. The first targeted the formulas and processes of computational design, and the second discussed creativity and its levels in the achieved output for the purpose of extracting vocabulary and measurement indicators to test hypotheses on selected urban samples. The study concluded that computational design is effective as an enriching medium for creativity and innovation in contemporary urban production, with varying characteristics and levels, ranging from simple creativity to very complex creativity, depending on the goal, the process followed in the design, and the adopted intellectual reference.

Vol.3, No.5, Page 1107- 1084, 2025 https://doi.org/ 10.59628/jast.v3i5.1933 ISSN 2958-9568 JAST

مجلة جامعة صنعاء للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا
Sana'a University Journal of Applied Sciences and Technology
https://journals.su.edu.ye/index.php/jast/

صيغ التصميم الحسابي كوسيط إثرائي للإبداع في النتاج العمراني المعاصر

منيف شمس الدين *، محمد أحمد سلام المدحجي

قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة صنعاء، صنعاء ، اليمن .

المؤلف: monif.shamsalden@su.edu.ye

معلومات المقالة

تاريخ المقالة: 12-يونيو-2025

تاريخ التقديم:27 -يوليو-2025

تاريخ القبول:30-أغسطس-2025

تاريخ النشر: 28 أكتوبر 2025

الكلمات المفتاحية

1. التصميم الحسابي
2. التقنيات الرقمية
3. الإبداع
4. النتاج الإبداعي
5. العمران المعاصر

الملخص:

يعد التصميم الحسابي أحد تقنيات الحاسب الآلي، التي أسهمت في ظهور اتجاهات تصميمية مبنية على أسس وأفكار مبتكرة لا يمكن أن يصل إليها المصمم في ظل أدواته التصميمية التقليدية، وعلى الرغم من ذلك لا تزال الطرق التقليدية هي الأكثر استخداما اليوم في عملية التصميم، وقد تجسدت مشكلة البحث في النقص المعرفي عن فاعلية التصميم الحسابي في عمليات توليد وتطوير النتاج الإبداعي في العمران المعاصر. ويهدف البحث إلى تحديد صيغ التصميم الحسابي وفاعليتها كوسيط إثرائي للإبداع والابتكار في النتاج العمراني، ولتحقيق الهدف يتبع البحث منهج استقرائي لاستيضاح الواقع المعرفي بالدراسات السابقة على مستويين استهدف الأول صيغ وعمليات التصميم الحسابي وناقش الثاني الإبداع في التصميم ومستوياته في النتاج المتحقق لغرض استخلاص مفردات القياس لاختبار الفرضيات على عينات عمرانية منتخبة، واستنتج البحث فاعلية التصميم الحسابي كوسيط إثرائي للإبداع والابتكار في النتاج العمراني المعاصر بسمات ومستويات متباينة ما بين إبداع بسيط وآخر معقد جدا بحسب الهدف والعملية المتبعة في التصميم والمرجع الفكري المعتمد.

1. المقدمة:

تعد الثورة العلمية المعرفية والتكنولوجية من أهم متغيرات وتحديات القرن الحادي والعشرين، فالثورة العلمية المعرفية تعني ان العلم والمعرفة أصبحا من أهم عناصر الانتاج، والثورة التكنولوجية تعتمد اساساً على العقل البشري، وقدراته في استخدام التقنيات الرقمية المعاصرة لتحقيق أكبر فائدة منها. ويعد الحاسب الآلي من أهم الوسائل التقنية التي تسهم في إيجاد الاعمال الرقمية بالاعتماد على المنطق الرياضي والخوارزميات كأداة انتاج وتوليد أفكار تصميمية بعيدا عن النمطية والمنهجية. وعلى الرغم من ذلك لا تزال عملية التصميم في الحاسب الآلي مقتصرة في الغالب على الرسم وإخراج التصاميم والمخططات المعمارية والعمرانية، والسبب وراء ذلك هو الاعتقاد الخاطئ بأن الحاسب الآلي لا يشجع على الابداع كونه يعتمد في عملياته على المنطق والخوارزميات، بينما يعد الابداع عملية غير منطقية لا تخضع لقيود أو قواعد محددة، وبعيدا عن تلك الرؤية، وتماشيا مع المتطلبات المعاصرة وما تفرضه التقنيات المتقدمة في هذا المجال، يسعى البحث الحالي الى أثبات فاعلية التصميم الحسابي كوسط إثرائي للإبداع والابتكار في النتاج العمراني بمستويات متباينة تبعا للهدف وأسلوب التصميم الحسابي المتبع والمرجع الفكري المعتمد. وهو ما يؤكد على أن التصميم بمساعدة الحاسب الآلي وبما يوفره من إمكانيات تقنية وبرمجية يشكل معامل جديد له القدرة على تغيير شكل ومفهوم ومضمون العمارة والعمران.

1.1 مشكلة البحث:

تتجسد في النقص المعرفي عن فاعلية التصميم الحسابي في عمليات توليد واستكشاف وتطوير النتاج الإبداعي في العمران المعاصر.

2.1 هدف البحث:

يهدف البحث إلى تحديد صيغ وعمليات التصميم الحسابي وفاعليتها كوسيط إثرائي للإبداع والابتكار في النتاج العمراني لتلبية متطلبات الحاضر وتطلعات المستقبل.

3.1 فرضيات البحث:

– تنوع قيم صيغ التصميم الحسابي كوسيط إثرائي للإبداع في النتاج العمراني، وغالبا ما يميل المصمم إلى صيغ التصميم التوليدي بالاعتماد على مرجع فكري من خارج العمارة والعمران.

– تباين مستويات وسمات النتاج الإبداعي تبعا لتباين عمليات التصميم الحسابي، ويميل المصمم إلى توظيف عملية المغايرة لتحقيق الجدة والاصالة في الحلول التصميمية، أكثر من توظيف عملية المماثلة لتحقيق القيمة في النتاج التصميمي.

4.1 أهمية البحث:

تتمثل في مواكبة التطور المتلاحق في مجال التكنولوجيا الرقمية والذي يواكبه تطور واضح في العملية التصميمية، أضافة إلى إثراء المحتوى العلمي فيما يتعلق بصيغ وعمليات التصميم الحسابي ودورها في تحقيق التكامل الإبداعي بين المصمم (الإبداع الذهني) والحاسب الآلي (الإبداع التقني) لإيجاد حلول معمارية وعمرانية إبداعية مبتكرة تلبي المتطلبات المعاصرة وتأخذ بنظر الاعتبار الأبعاد المستقبلية.

5.1 منهج البحث:

لتحقيق الهدف من البحث تم تبني:

– **المنهج الاستقرائي** لاستيضاح المعرفة السابقة عن الآتي:

* التصميم الحسابي (المفهوم، صيغ التصميم، العمليات

* الإبداع والتصميم الحسابي (الإبداع في التصميم، العمليات الإبداعية، النتاج الإبداعي).

– **المنهج الوصفي** لانتخاب المفردات ومؤشرات القياس، دراسة وتحليل العينات العمرانية المنتخبة والمصممة بالحاسب الآلي بأتباع واحدة أو أكثر من صيغ التصميم الحسابي.

2. التصميم الحسابي:

يعد الحساب نوع من أنواع الرياضيات المستخدمة في الحاسب الالي، ومن الأمثلة الشائعة للحساب هي المعادلات الرياضية وخوارزميات الحاسوب. ويرجع أقدم استعمال للصفة الحسابية إلى ثمانينيات القرن التاسع عشر والتي يقصد بها المواضيع المتصلة بالحساب التي تعتمد على استعمال الحواسيب وتقنيات علوم الحاسوب [1]. ويشير Sean Ahlguiste & Achim Mangas إلى أن الحساب هو معالجة المعلومات والتفاعلات بين العناصر التي تشكل بيئة معينة. وتكمن أهمية الحساب بالنسبة للتصميم في معالجة الخصائص الداخلية والخارجية للمشكلة التصميمية [2].

1.2 تعريف التصميم الحسابي:

يحدد الإطار العام لمفهوم التصميم حاسوبيا بمفهومين هما: الحساب والحاسوبية وعادة ما يتم الخلط بينهما، فالحساب يشير إلى إجراء حسابي لتحديد هدف أو شيء ما بطرق رياضية أو منطقية، وتتضمن عمليات غير محددة بسبب طبيعتها الاستكشافية، وتهدف إلى محاكاة وتوسيع الذكاء البشري وترتكز على المنطق والخوارزميات والاستقراء والاستكشاف.

وتدل الحاسوبية على فعل الادخال أو المعالجة أو خزن المعلومات في الحاسوب وانظمته، وتتعلق بالمكننة والاتمتة والرقمنة لكيانات مسبقة التصور في عقل المصمم، أي يتم التعامل مع الحاسوب كأداة على عكس الحساب أو التصميم الحسابي [3]. ويندرج التصميم الحسابي ضمن مفهوم الحساب، ويعرف بأنه تقنية رقمية تتضمن استخدام الخوارزميات والنصوص البرمجية في عملية صناعة الأفكار والنتاجات التصميمية، بمعنى أن للحاسب دور أساسي في العملية التصميمية وأن نهج التصميم يسير بطريقة مختلفة عن الطريقة التقليدية وذلك بناء على مجموعة من القواعد والقوانين المعطاة للبرنامج مسبقا [4]، وهو ما سيتم تبنيه في هذا البحث

2.2 التصميم الحسابي في العمارة والعمران:

إن الاعتماد على التصميم الحسابي في العمارة والعمران كان ضعيفاً في فترة الخمسينات والستينات من القرن الماضي، وكانت عملية التصميم مجرد قرار تصميمي منطقي مثالي يبلغ حد الكمال في المواقف التصميمية التي يتم تحليلها، وبمرور الوقت بدأت عملية التصميم الحسابي تتدخل تدريجياً في شتى مجالات العمارة والتصميم الحضري– ابتداء من الخطوات التصميمية الأولى إلى التصنيع والتنفيذ بل وفتح مجالات جديدة أمام المصمم وجميع القائمين على العملية التصميمية وإدارة المشروعات [5]. وقد كان التأثير الأكبر للتصميم الحسابي في عملية إيجاد نتاج عمراني يستجيب لمتغيرات مختلفة (شكلية، وظيفية، مناخية) وقد شكل ذلك قفزة نوعية إبداعية [6]. أن نقل التصميم إلى هذا المستوى التجريدي له تأثير كبير على عملية التصميم، إذ يمكن انشاء آلاف المتغيرات من نموذج ما وتطويرها في المستقبل بشكل متواز، ويمكن لعملية واحدة

أن تنشئ مجموعة كبيرة من النماذج، التي يمكن تطويرها من خلال عمليات توليد عديدة [7].

3.2 صيغ التصميم الحسابي:

تعرف بانها مجموعة من القواعد والعمليات التي يتعرض لها النتاج المصمم حسابيا في الحاسب الآلي. هذه القواعد تضم متغيرات أو محددات يتم تطبيقها وفقاً لنظام من الشروط الابتدائية أو الإعدادات للوصول لمجال من الاحتمالات التصميمية، وتتمثل بالآتي:

1.3.2 التشكيل والتوليد:

وهي عملية تصميم وتفاعل مع اليات معقدة تتعامل مع ظهور اشكال مشتقة من قواعد وعلاقات ومبادئ توليدية (الإضافة، الحذف، التعديل، التحويل) [8]، إذ تعتبر الاشكال والهيئات نتيجة لعمليات توليدية مسبقة التشكيل، ومن أهم حالات التشكيل والتوليد: الطبوغرافي الذي يفتح تقنيات جديدة للإبداع والتلاعب التفاعلي لهيئات هندسية معقدة التصميم [9]، والترابطي الذي يسهم في إيجاد نسخة معدلة من الشكل بتغيير المعلومات المدخلة إلى البرنامج، مما يوفر احتمالات لانهاية لها من الاشكال المشابهة للشكل الابتدائي [10]، والديناميكي الحركي ومن خلاله يتم توليد النتاج اعتمادا على علاقته مع بيئته، مع مراعاة تأثير العوامل الخارجية والمتغيرات المتعلقة بالبرنامج التصميمي المطلوب [11]. ويسهم ذلك في تسهيل عملية انتقال تصميم النتاج العمراني نحو المفاهيم الديناميكية ذات الأساس النشوئي، وإنتاج مدى واسع من البدائل والحلول التصميمية للمشكلة المطروحة. ويمكن تطبيق عمليات التشكيل والتوليد كأدوات تحليل وتركيب وتصميم على المستوى العمراني.

2.3.2 التصميم الأدائي:

إن الأداء في هذا المستوى هو المبدأ الموجه للعمليات المنطقية المشكلّة لعملية التصاميم والنتاج التصميمي يصبح أساس عمليات التحليل والتقييم التي تعقب عملية التوليد. بحيث يحتل الأداء الأولوية على شكل النتاج. وأن النتائج تختلف باختلاف الهدف من الأداء (هدف إنشائي –مناخي –صوتي –مستدام –اقتصادي) [12]، وذلك يلغي ثباتيه الشكل والبنية والقيم والمعنى ليُنظر إلى التصميم على أنه يتكون ويتشكل ويتحول بواسطة عمليات حسابية متواصلة ومؤقتة تتحدد بخصائص السيولة والوسائطية، وهو ما يُكسبها قدرةً على الاستجابة نحو الأوضاع الثقافية والاجتماعية أو سطحاً بينياً أو وسيطاً تقنيا متغير [13]. وبالتالي يكمن الدور الفاعل للتصميم الادائي في عملية الجمع بين (توليد الشكل وتعديله) و (التقييم التحليلي للشكل)، نتج عن هذا التراكب مفهوم (التشكّل الأدائي) والذي ساهم في انتقال الفكر التصميمي من (صنع الشكل) الى (إيجاد الشكل).

3.3.2 التصميم التوليدي:

يعرف التصميم التوالدي بأنه عملية قواعدية من خلاله يتم إنتاج العديد من الحلول التصميمية المحتملة، هذه القواعد تضم متغيرات أو محددات ويتم تطبيقها وفقاً لنظام من الشروط الابتدائية أو الإعدادات للوصول لمجال من الاحتمالات التصميمية [14]. وضمن التصميم التوليدي هناك ثلاث مستويات هما: البارامتري والخوارزمي والتطوري.

1.3.3.2 التصميم الحدودي– البارامتري:

يعرف التصميم الحدودي بأنه شكل من أشكال التفكير الرقمي والذي يتطلب فهم المنطق الطوبوغرافي للأشكال

وتحديد العلاقات الرابطة التي تعرف الأشكال بالنسبة لبعضها البعض وتساهم في التنوع الطوبوغرافي لمجموعة الحلول الممكنة. كما يعتمد التصميم البارامتري على تعريف المعادلات الرياضية، وعمليات الدمج والاقتطاع المنطقي للعناصر وعلاقتها مع بعضها والمحددات الهندسية من أجل توجيه التغيرات المتعددة الحاصلة على العناصر[15]. بناء على ذلك يسهم التصميم البارامتري في إيجاد بدائل تصميمية عمرانية متنوعة على مستوى المبنى او الكتل البنائية في الموقع وباستخدام أدوات حاسوبية عديدة.

2.3.3.2 التصميم الخوارزمي:

وهو تصميم رقمي يسهم في حل المشكلة وتوليد النتاج العمراني، وفي هذا التصميم تكون العلاقة بين الشكل الابتدائي والنتاج النهائي على درجة كبيرة من الحرية وعلى مستوى عالي من التعقيد، وتعتمد على مصفوفة حسابية محددة، يعمل المصمم على تطويرها هذه المصفوفة أكثر من اهتمامه بتطوير الشكل الناتج والشكل الابتدائي، حيث أن هذه المصفوفة هي المسؤولة عن تطوير المنتج النهائي فيما بعد. تتضمن هذه المصفوفة سلسلة من العمليات (الحسابية –الرياضية –التحليلية –الهندسية) تقوم بعدها بتحويل هذه المعلومات الرياضية وترجمتها إلى نتاجات معمارية وعمرانية [15]. ويسهم التصميم الخوارزمي في عملية تشكيل وتوليد النتاج العمراني. أما بشكل منفرد، أو مشترك مع الصيغ الأخرى للتصميم الحسابي.

3.3.3.2 التصميم التطوري:

يعرف بأنه تقنية حسابية تعتمد على مبدأ التطور، وهي حقل مستوحى من العمليات التطورية في الطبيعة، وتقدم حلا فعالا لمشاكل التحسين عبر مجموعة من الحلول الممكنة بالاعتماد على عمليات الأتمة الخلوية، النمو، التحول، التحوير والتطور [16]. وبالاعتماد على خوارزمية ذكاء السرب يتم التكيف مع الطبيعة، بينما تعمل الخوارزمية الوراثية على تحويل الأشكال الهندسية إلى رموز للحصول على أشكال أصلية تعتبر بمثابة آباء، وعند إجراء عملية المزج بين هذه الأشكال يتم الحصول على أشكال جديدة بمثابة ابناء كما يحدث في الهندسة الوراثية، [17]. ويمكن الاستفادة من التصميم التطوري في إنشاء فراغات وواجهات عمرانية قابلة للتكيف ويمكنها الاستجابة للظروف البيئية المتغيرة والاحتياجات المتطورة.

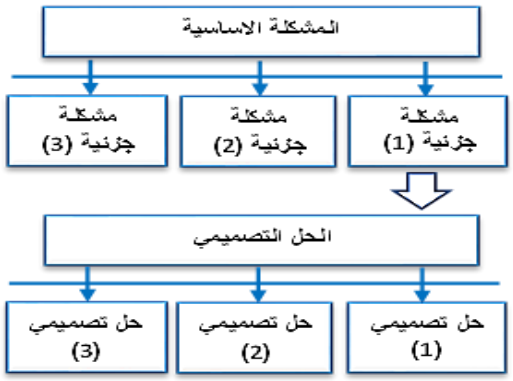
4.2 عمليات التصميم الحسابي:

لقد ساعدت تقنيات الحاسب الآلي المصمم في الحصول على نتاجات وتكوينات مبتكرة، من خلال وضع محددات ومتغيرات يتم إدخالها إلى الحاسب الآلي وبدوره يقوم بترجمتها ورسمها بسهولة، حيث أصبحت العملية التصميمية تعتمد على نماذج وبرمجيات وتكنولوجيا المعلومات. ومن أهم هذه النماذج ما يلي:

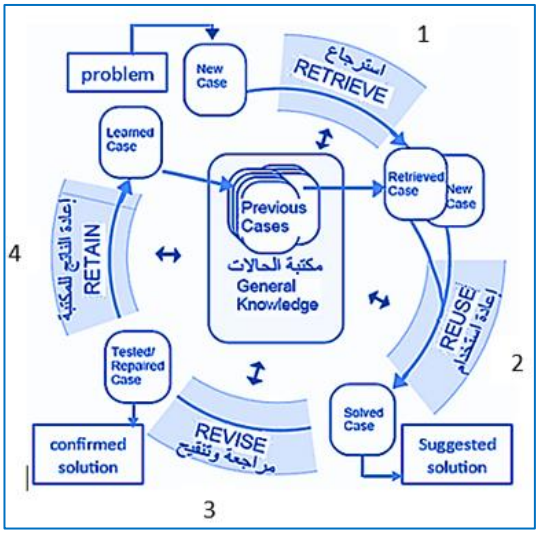
A. نماذج تحليل المشكلة: تعتمد على تجزئة المشكلة إلى عدد من المشكلات الثانوية والتعامل مع كل جزء على حدة– (شكل 1)، ويتم تجميعها عند حل المشكلة [18]. أي أن نفس المجموعة من المشاكل تقتضي عددا كبيراً من الحلول في ضوء محددات هي المطلوب من التصميم وتتفاضل هذه الحلول من خلال عمليات التقييم واختبار تحقيق الهدف [19].

B. نماذج الاستدلال المبني على حالات سابقة: وتعرف بأنها عملية تكييف حالات سابقة لحل مشكلات جديدة، أو هي عملية استعادة حالات تصميمية سابقة لتفسير وحل مشكلة جديدة [20]. ويمر النموذج بمراحل متعاقبة تبدأ

بالاسترجاع مرورا بإعادة الاستخدام والمراجعة والتنقيح وصولا إلى التخزين- (شكل 2).



شكل 1. نموذج تحليل المشكلة التصميمية. المصدر/ الباحثان



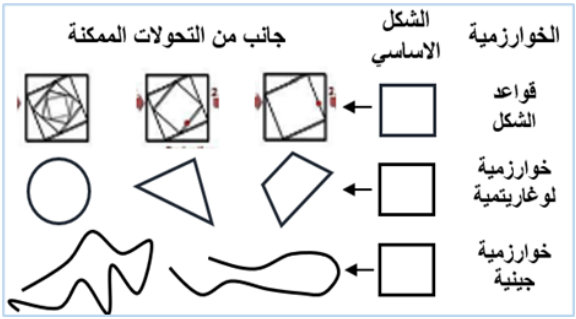
شكل 2. نموذج الاستدلال المبني على حالات سابقة. المصدر [20].

C. التحويل: تعتمد هذه العملية على نظم التصميم الإنتاجية، التي تسهم في انتاج الأدوات والبرامج المنتجة للتصميم، وليس لإنتاج التصميم نفسه، وتنقسم نظم التصميم الإنتاجية إلى أربع اتجاهات رئيسية هي: الخوارزميات اللوغارتيمية، قواعد الشكل، الخوارزميات الوراثية، نظام ليندنماير [21].

وهناك العديد من الاستراتيجيات للنماذج الإنتاجية، ولكنها تعمل بمبدأ واحد وهو أن يستبدل الجانب الأيسر للقاعدة بالجانب الأيمن للقاعدة، حيث يعتمد على مبدأ قاعدة التضمين الشرطي المنطقي (IF-THEN) إذا توفر الشرط أو الحدث (أ) يكون العمل أو النتيجة (ب) [22] كما في (الشكل 3). وتتباين التحولات الممكنة لشكل واحد بتنوع النظم المستخدمة- (شكل 4). وأن هذه الاتجاهات تعمل باستراتيجية واحده هي: تحديد الفكرة، القواعد الإنتاجية بواسطة المصمم، تحويل الفكرة إلى متسلسلة من النماذج بواسطة الحاسب الآلي، تحديد قواعد ومعايير الاختيار بواسطة المصمم، تطوير النموذج بواسطة الحاسب الالي والاختيار النهائي للحل أما من قبل المصمم أو الحاسب الالي حسب الخوارزمية المتبعة (حدودية أو تطورية). [23]

وحتى يتم حل مشكلة تصميمية حسابيا بالاعتماد على خوارزمية ما يجب أولا تحديد هذه المشكلة وطرق حلها، وقد ذكرت El-Gewely (2010)، ست خطوات لتحديد ومعالجة المشكلة هي: تحديد المشكلة، فهم المشكلة، تحديد بدائل الحل، اختيار أفضل الطرق لحل المشكلة، تحديد مجموعة من الإرشادات والتعليمات التي تتيح حل المشكلة باستخدام أفضل الطرق، تقييم الحل [24].

شكل 3. نموذج التحويل. المصدر. الباحثان



شكل 4. جانب من احتمالات التحولات الممكنة ابتداء من شكل واحد حسب نوع نظم التصميم الإنتاجية. المصدر. الباحثان بالاعتماد على [25]

بناء على ما سبق فأن التصميم بمساعدة الحاسب الآلي يسهم في تنوع صيغ التصميم ما بين التشكيل والتوليد (الطبولوجي، الترابطي، الديناميكي الحركي)، التصميم الادائي (التوليد، التشكيل)، التصميم التوليدي (الحدودي البارامتري، التصميم الخوارزمي، التصميم التطوري). ويعتمد التصميم الحسابي وفق هذه الصيغ في حل المشكلة التصميمية على عمليات حسابية وبرمجية هي: تحليل المشكلة وتجزئتها إلى مشكلات ثانوية ليتم حلها بشكل أسهل ومن ثم تجميعها عند التصميم. أيضا الاستفادة من نماذج الاستدلال المبني على حالات سابقة. وأخيرا نظم التصميم الإنتاجية (قواعد الشكل، الخوارزميات اللوغارتيمية، الخوارزميات الجينية، نظام الليندنماير) والتي تسهم في تحويل النتاج التصميمي من شكل أولي أو مرجع فكري من داخل حقل العمارة والعمران أو من الطبيعة والعلوم الأخرى إلى نتاج تصميمي إبداعي يلبي متطلبات ومحددات ومتغيرات تصميمية داخله في تكوينه وتشكيله.

3. الإبداع والتصميم الحسابي:

يعرف الإبداع **لغة:** بأنه إيجاد الشي على غير مثال سابق [26]. وفي **الاصطلاح:** يعرف الإبداع بأنه: الوحدة المتكاملة لمجموعة العوامل الذاتية والموضوعية التي تقود إلى تحقيق إنتاج جديد وأصيل وذي قيمة من قبل الفرد أو الجماعة [27]. أو ظاهرة ذهنية متقدمة يعالج فيها الفرد الاشياء والمواقف والخبرات والمشكلات بطريقة فريدة أو غير مألوفة أو بوضع مجموعة حلول سابقة والخروج بحل جديد [28].

1.3 الإبداع في التصميم:

يعرف الإبداع في التصميم المعماري والعمراني بأنه نشاط عقلي يحدث بالتكامل مع مجموعة من العوامل الذاتية والموضوعية لإنتاج افكار جديدة وحلول قيمة ترضي الفرد والآخرين، بالابتعاد عن الطرق التقليدية مع استمرارية تدفق الخيال ومرونة الاسلوب ضمن سياق ثقافي تعددي تحاوري وظروف دينامية [29]. وتسند الأبعاد المتعددة للإبداع في التصميم إلى مفهومين هما التركيب والتواصل، اذ يستمد المصمم معارفه من ميادين متعددة للتجديد في عملية التصميم وفق مستويات خيالية متباينة. بذلك يقدم النتاج تغيرا في قواعد البنية الفكرية ويحقق علاقات جديدة لم تكن معروفة، وهذا النوع من النتاج يشمل الاستعارة الفكرية (التواصل) أذا تم توظيف العناصر المستعارة بصياغة جديدة وفق منظور البنية الفكرية الجديدة [30]. ويشير (Venturi) في إلى إستراتيجيات المصمم لإيجاد النتاج المبدع من خلال: [31]

– الترتيب غير التقليدي لعناصر من داخل العمارة أو خارجها وربطها معا بطريقة غير مألوفة، كالإقحام والازاحة والترابط ضمن الكل مما يسهم في إيجاد معان جديدة ضمن الكل.

– تغيير سياقات العناصر التقليدية بإعطائها تأثيرات جديدة مشيرا إلى ذلك بأن الأشياء المألوفة لدى رؤيتها ضمن بيئات غير مألوفة تصبح من الناحية الحسية جديدة وقديمة معا

في أن واحد. وكتعريف اجرائي في هذا البحث: يعرف الإبداع في التصميم بأنه عملية متعددة الجوانب الهدف منها هو ايجاد نتاج أو فكر جديد مفيد وغير مسبوق، أو إعادة طرح القديم بأسلوب جديد ملفت ومختلف، أو تجميع أو تفكيك وإعادة تركيب المفردات والعناصر التصميمية المعروفة في أنماط وأشكال جديدة وفريدة لحل المشكلة التصميمية.

2.3 العملية الإبداعية:

يشير (Vygotsky) إلى أن العملية الإبداعية تمر بمرحلتين، المرحلة الأولى عندما يتم تفكيك المجموع إلى أجزاء صغيرة، ومن خلال المرحلة الثانية تتم عملية التركيب للأجزاء المنفصلة وتوضع في نظام معين مكونة صورا جديدة، حيث تتطلب عملية الوصول إلى نتاج جديد ومختلف عن طريق تهشيم الارتباط الطبعي لتلك العناصر [32]. ولقد حدد والاس (Wallas) أربع مراحل للعملية الإبداعية تتمثل في: مرحلة الإعداد والتحضير، مرحلة الاختمار والحضانة "البزوغ"، مرحلة الاستنارة أو الاستبصار "الحدس"، مرحلة التحقيق. وأن هذا التقسيم لمراحل العملية الإبداعية ما هو إلا تقسيم افتراضي، اذ إن هذه المراحل لا تسير بهذه الخطوات، فهي مستمرة ومتداخلة في مختلف اللحظات والمظاهر، فالإبداع هو حالة متفاعلة مستمرة [33]. ومما لا شك فيه أن البحث عن الأفكار التصميمية هو أحد المهام الضرورية المبدعة لدى المصمم، وإن تقنيات الحاسوب الرقمية تمكن المصممين من توليد وفرة في الأفكار ثم اختيار الأكثر ابداعا منها ليتم توظيفها في العمل التصميمي. حيث يؤكد lordanova at ell (2009) على أن الإبداع في التصميم الحسابي يعتمد على مقدرة المصمم في إيجاد النتاج الذي هو جديد وفي نفس الوقت يتكيف مع السياق الذي يظهر فيه [34]. ويؤكد Gero (2006) على أن الإبداع في التصميم الحسابي يعتمد على تقديم متغيرات تصميمية جديدة في العملية التصميمية، وذلك يعتمد على مفردتين هما: [35]

A- التماثل: وهو العمل على إيجاد حالات مشابهة للمشكلة القائمة لأخذ المعرفة منها وتحديد المتغيرات التصميمية، ويتم ذلك بطريقتين: الأولى التماثل التحويلي الذي يتبنى حلول المشكلة السابقة بالتقليد المباشر أو الاستلهام منها لحل المشكلة القائمة، الثانية التماثل الاشتقاقي لعمليات وأساليب أو منهجيات حل المشكلة السابقة لحل المشكلة القائمة باعتماد مراجع من العمارة والعمران، أو الاستعارة من الطبيعة والعلوم الأخرى [36].

B- التغاير (الخروج عن المألوف): يعتمد على تبني المصمم متغيرات جديدة لحل المشكلة، وهو أداء معقد الخصائص والسمات كونه غير مقيد بالقواعد والمحددات الشائعة، لان الهدف الأساسي من التغاير هو تقديم خصائص ووظائف ومعان جديدة لشي أو مفهوم قديم عن طريق بعض خصائصها الأساسية. بناء على ما سبق فأن العملية الإبداعية في التصميم الحسابي تعتمد على مفردتين: الأولى منها التماثل من خلال إيجاد حالات مشابهة لحل المشكلة القائمة (تماثل تحويلي) أو اشتقاق عمليات ومنهجيات تصميمية لحل المشكلة المطروحة باعتماد مراجع من العمارة والعمران، أو الاستعارة من الطبيعة والعلوم الأخرى (تماثل اشتقاقي) وتحقيق هذه المفردة بقود إلى الإبداع المألوف أو البسيط. أما المفردة الثانية فهي التغاير من خلال تبني المصمم لمحددات ومتغيرات جديدة (خارجة عن المألوف) لحل المشكلة المطروحة وهو ما يقود للإبداع والابتكار.

3.3 النتاج الإبداعي:

يعرف النتاج الإبداعي في العمارة والعمران بأنه المحصلة النهائية والجزء الأهم للنشاط العقلي الذي يقوم به المصمم كشخص مبدع لتتجلى في ذلك النتاج آليات الإبداع من عمليات التخيل والتحليل والتركيب والنقل والتحوير والازاحة للأفكار والعناصر والقيم الموجودة في المحيط الخارجي ليكشف عن ابعادا جديده (الأصالة والجدة والقيمة والتفرد) جاعلتا ذلك النتاج يتسم بالإبداع [37]. ويتجسد الإبداع في النتاج من خلال مستويين هما:

- **المستوى الفكري:** ويعبر عن الفكر والفلسفة التي يسلكها المصمم في تصميم النتاج لإيصاله إلى متلقيه من خلال طرح أفكار عصره الاجتماعية أو العقائدية أو السياسية ليكشف عن أبعاد جديدة [38].
- **المستوى المادي:** ويعبر عن نتاج خارج عن المألوف وملفت للانتباه في بنيته الفيزيائية- المادية- يتجسد ذلك بالمعالجات التصميمة أو الشكلية أو الإنشائية في البنية المادية للنتاج لتحقيق الوظيفة المطلوبة من جهة، أو من خلال استخدام التقنيات الانشائية التي تحقق الاتزان والكفاءة والاقتصاد من جهة أخرى. أو من خلال التأثيرات البصرية التي يلجأ إليها المصمم للتعبير عن وظيفة المبنى [39].

1.3.3 مستويات النتاج الإبداعي:

لقد تباينت مستويات الإبداع في النتاج التصميمي وفق العديد من الطروحات الفكرية ما بين الإبداع البسيط والإبداع الثوري وما بينهما من مستويات إبداعية بسمات وخصائص متباينة وفق تباين تلك المستويات. فبينما يشير Broadbent (1973) إلى تباين مستويات النتاج التصميمي ما بين النتاج كنموذج ثوري يمثل تأسيس شيء جديد وقطع درأماتيكي مع الحاضر والماضي وبما يتضمن أفكار وطروحات جديدة، والناتج التصميمي الأقل ثورية الذي يمثل تغييرا وانحرافا درأماتيكيا مع التوجهات السابقة وبما يتضمن تصميمات جديدة. والناتج التفصيلي كنموذج اعتيادي يركز على تفاصيل جزئية متغيرة [40]. وقد طرح Antoniades (1990) أن التأثر بالعمارة كعمل مبدع يحدث عندما يكون النتاج نادر، غير اعتيادي، متفرد، متطرف، مجفل، وغريب، في حين تهمل الأعمال الرصينة التي تعد ملائمة مع محيطها [41]. أما Jencks (1997) فيؤكد على أن الإبداع شيء نسبي نادر، وإن معظم الأشياء في الكون هي أما بسيطة جدا أو معقدة جدا، وعلى الرغم من ذلك، تؤكد نظرية التعقيد على الاندفاع نحو ابداعات غير عادية تلبية للاحتياجات والمتطلبات التطورية والانتقاء الطبيعي. كما أشار إلى أن العمل المبدع هو الذي يفهم ويدرك طبيعيا كعمل ممتع، فاتن، مثير، روحاني وظريف. [42]، [43].

وتؤكد أيضا طروحات فكرية أخرى على تباين الإبداع في النتاج التصميمي ما بين المستوى التنويعي- التفصيلي يعتمد على تحسين وتطوير وإحكام صياغة لما هو موجود، ضمن الممارسة التقليدية والأعراف القائمة، وغالبا ما تكون سماته بأنه مألوف أو شائع إلى حد ما. والمستوى ألابتكاري من خلال إيجاد علاقات جديدة لمواد وأجزاء منفصلة موجودة من قبل، وبما يحسنها جوهريا، وبما يقدم أفكار ونتاجات جديدة ممثلا انحرافا مفيدا ودرأماتيكيا إلى حد ما مع التوجهات السابقة، هذا المستوى يتسم بأنه رصين، وغير شائع أو غير مألوف أو معقد نوعا ما. والمستوى الابتداعي البزوغي الذي يتجسد في اختراق قوانين ومبادئ أو مدارس فكرية ثابتة، وتقديم منطلقات وأفكار جديدة، وبالتالي فهو يشكل نتاج خارج عن المألوف وغني بالتداعيات [44].

بناء على ما سبق فأن مستويات النتاج التصميمي الإبداعي تتباين وفق ثلاث مستويات: الأول منها النتاج كنموذج ثوري غير اعتيادي (معقد جدا) ويمثل ذلك المستوى الابتداعي (مبتدع، جديد) البزوغي (النشوئي)، أما الثاني منها فهو نتاج تصميمي اقل ثورية (معقد إلى حد ما) ويعبر عن المستوى الابتكاري، بينما يعبر المستوى الثالث والأخير عن نتاج تفصيلي اعتيادي (بسيط جدا) ويمكن التعبير عنه بالنتاج التنويعي– التفصيلي.

2.3.3 سمات النتاج الإبداعي:

اشارت العديد من الدراسات إن معايير تقييم النتاجات الإبداعية تحددت بالأصالة والجدة، والقيمة، وسيتم التعرض لها بشيء من التفصيل من خلال الآتي:

* **الأصالة:** تعرف بأنها مقدرة المصمم على إيجاد أفكار جديدة مع عدم اهمال الافكار المألوفة التي سبق التوصل اليها لأنها ربما تكون أساسا أو مصدر إيحاء والهام له للوصول إلى افكار أكثر تقدما [45].

* **الجدة (إضافة مبتكرة):** هي الاختلاف الفكري أو التعبيري للنتاج عما سبقه أو عاصره، والجدة ليس معالجة الشكل فقط بل ترتبط بجدة الفكرة المراد التعبير عنها، إذ ان الشكل الجديد هو شكل لفكرة جديدة لا تتوفر دلالات معتمدة تخصها [46].

* **القيمة:** تعني التشابه مع ما سبق باعتماد مرجع شكلي واحد أو مراجع متعددة حتى يتمكن المتلقي من استحضار الدلالة المتزامنة مع ما سبق عند قراءته، وهذه المفردة على درجة كبيرة من التعقيد كونها تعتمد على طبيعة النتاج من جهة، وعلى المحتوى الحضاري والحقبة التاريخية التي يمر بها مجتمع من المجتمعات من جهة أخرى [47].

بناء على ما سبق فأن أهم السمات الإبداعية للنتاج المعماري أو العمراني تتمثل في الاصالة والقيمة والجدة، على ان الإبداع في التصميم الحسابي يعتمد على مقدرة المصمم في إيجاد النتاج الذي هو جديد وفي نفس الوقت يتكيف مع السياق الذي يظهر فيه، وأن تقيم الإبداع يتم من خلال: الوفرة (توليد كمية كبيرة من الأفكار)، والاصالة (الخروج من المشترك)، والتفصيل (تطوير الفكرة).

4. انتخاب المفردات ومؤشرات القياس:

تعتمد عملية انتخاب المفردات على ما تم التعرض له في الادبيات السابقة وتم طرحه في الإطار النظري المعرفي للبحث وهي على النحو الآتي:

A. صيغ التصميم الحسابي: التي تتباين ما بين التشكيل (الطبوغرافي، الترابطي، الديناميكي الحركي)، والتوليد (التحولي المبني على قواعد الشكل، والحدودي البارامتري، الخوارزمي التطوري)، والأداء (التشكيل الادائي، التوليد الادائي).

B. المرجع الفكري: أما من حقل العمارة والتصميم الحضري، أو من الطبيعة والعلوم الأخرى.

C. عمليات الإبداع في التصميم الحسابي: تعتمد بشكل أساسي على الآتي:

– **التماثل:** بمفردتيها أما التحويل بمتغيرات التقليد أو الاستلهام، أو الاشتقاق من الحلول السابقة بمتغيرات متباينة ما بين الأسلوب، أو العملية، أو المنهج.

– **التغاير:** التي تباينت مفرداتها ما بين التشكيل بالاعتماد على متغيرات: الإضافة، الحذف، التعديل، التحويل. ومفردة التوليد بمتغيرات متباينة ما بين: العمليات الرياضية، الدمج والاقتطاع المنطقي، التحول، النمو، التطور، الاتمتة الخلوية

والتحوير. وأخيرا مفردة الأداء التي تعتمد على ثلاث متغيرات هي: الاستجابة، التكييف والتفاعل.

D. مستويات وسمات الإبداع في النتاج العمراني المعاصر: بحسب التوجه البحثي هي:

* **المستوى التنويعي التفصيلي** (إبداع بسيط) وهذا يحقق مفردة القيمة ويتم قياسه من خلال مدى تحقق السمات الاتية: مألوف نوعا ما، شائع نوعا ما، بسيط، ممتع، ملائم.

* **المستوى الابتكاري** (إبداع تدريجي) الذي يحقق قيمة الاصالة ويتم التعرف على مدى تحققه من خلال متغيرات هي: غير مألوف نوعا ما، غير شائع نوعا ما، معقد نوعا ما، مثير، رصين.

***المستوى الابتداعي البزوغي** (إبداع ثوري) الذي يحمل سمة الجدة في النتاج الإبداعي ويتم قياسه بالاعتماد على سمات متباينة هي: خارج عن المألوف، نادر، معقد جدا، فاتن، غني بالتداعيات.

5. الدراسة التطبيقية:

بعد أن تم استعراض المعرفة المطروحة لصيغ التصميم الحسابي من جهة والإبداع في التصميم من جهة أخرى، واستخلاص أهم المفردات على مستوى كل منهما. ينتقل البحث إلى تحديد المستلزمات الأساسية للتطبيق والفرضية وصولا إلى النتائج والتوصيات.

1.5 انتخاب العينات البحثية:

تعتمد عملية انتخاب مجموعة من المشاريع العمرانية المعاصرة للدراسة التطبيقية على مجموعة من المعايير تمثلت بالآتي:

• أن تكون مشاريع عمرانية معاصرة بمواقع جغرافية وبلدان متباينة، وتتسم بالتفرد والديناميكية والتعقيد.

* تنوع الفترة الزمنية للمشاريع ما بين (2004- 2025).

* تعتمد في تصميمها على التصميم الحسابي مع التعدد الوظيفي والتنوع العمراني ما بين معماري حضري.

• زيادة عدد المشاريع لتحقيق التباين في صيغ التصميم الحسابي، التنوع في المرجع الفكري والعمليات الإبداعية.

2.5 وصف العينات المنتخبة:

تعتمد عملية وصف المشاريع العمرانية المنتخبة على تحديد صيغة التصميم، المرجع الفكري، العمليات الإبداعية للتصميم الحسابي في الحاسب الآلي كوسيط إثرائي، وسمات النتاج النهائي من تلك العمليات.

وقد تم انتخاب عدد (6) مشاريع عالمية معاصرة تمثلت بكل من مشروع محطة متروبول باراسول في إشبيليه، مخطط كارتال-بنديك في إسطنبول تركيا، مشروع متحف وبرج مراقبة في تايتشونغ، تايوان، مشروع مركز سكولكوفو للابتكار في روسيا، مشروع متحف قطر الوطني، وأخيرا مشروع جزيرة ليتل آيلاند في أمريكا.

1. مشروع متروبول باراسول، اسبانيا [48]	المصمم: Jurgen Mayer	العام 2004	الرمز 1

شكل 5. التصميم الحسابي البارامتري لمشروع متروبول باراسول

A- صيغة التصميم الحاسوبي: التصميم البارامتري.

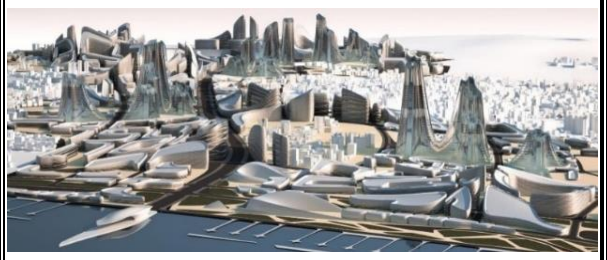
B- المرجع الفكري: حدائق كاتدرائية إشبيلية بملفها الفطريز

C- المدخلات: الجمع بين الإحساس بالحركة التموجية. Aunque su diseño والمرجع الفكري.

D- العملية: يُطوّر التصميم باستخدام النمذجة البارامترية التي تعتمد على تحقيق التكامل ما بين الترابط البارامتري والتصميم الحدوي البارامتري في توليد الهيكل والشكل النهائي.

E- المخرجات: نتاج عمراني يعد واحد من أكبر الهياكل الخشبية وأكثرها إبداعًا في العصر الحالي، واقيات الشمس بأنسجتها العضوية الكثيفة وألواحها المموجة، تحدد علاقة فريدة بين التاريخ والمعاصر، وكما هو موضح في (الشكل 5).

2. مشروع كارتال، بنديك، إسطنبول، تركيا [49]	المصمم: زهاء حديد	العام: 2006	الرمز: 2



شكل 6. التصميم البارامتري في مخطط كارتال- بنديك، إسطنبول

A- صيغة التصميم الحاسوبي: البارامتري. قواعد الشكل

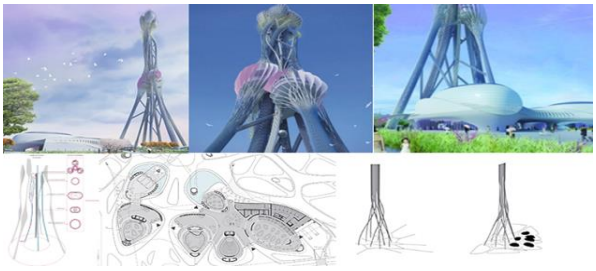
B- المرجع الفكري: المخططات القائمة على فكرة الشبكة المرنة والديناميكية والتحول السلس والدقيق للكتل.

C- المدخلات: التصميم في السياق الحضري، مرونة كافية لعمليات ما بعد التصميم في التخطيط، العلاقة المتبادلة بين معايير التصميم وأكواد التخطيط، القواعد القياسية لزيادة الاختلافات والتفاعلات النمطية في النسيج المبني.

D- العملية: تعتمد على نموذج خوارزمي في ربط الشبكة المُصمّمة بالهيكل الحضري القائم. ومن خلال أداة التصميم البارامتري، تم تكوين النمط الحضري. ويعتمد توليد الكتل مرة أخرى على مبدأ الهندسة الترابطية.

E- المخرجات: نتاج عمراني يهتم بجمالية المشهد الحضري، مع الاهتمام بالنسيج الحضري كنوع من الشبكة، التي تتحوّل من خلال التحوّل التدريجي لأنواع المباني- (شكل 6). وبالتالي تنشأ أنماط الكتل من توليد الأشكال البارامترية.

3. مشروع متحف وبرج مراقبة تايتشونغ، تايوان [50]	المصمم: Soma Architecture	العام: 2011	الرمز: 3



شكل 7. التصميم التوليدي لمشروع متحف وبرج مراقبة

A- صيغة التصميم الحاسوبي: التصميم الخوارزمي الجيني.

B- المرجع الفكري: الاستلهام من الطبيعة واستخدام المبادئ الأساسية للهياكل الحيوانية والنباتية.

C- المدخلات (المحددات): تصميم مبنى خالٍ من الكربون يعتمد على توليد الطاقة المتجددة في الموقع مع مراعاة اتجاه الرياح واخذها بنظر الاعتبار من كل الاتجاهات المحيطة بالمبنى.

D- العملية: تعتمد على توليد الهيكل والشكل النهائي باستخدام الخوارزمية الجينية، عن طريق توليد البدائل التصميمية ثم إجراء عملية التزاوج بين البدائل الأولى التي تعد بمثابة آباء لإنتاج بدائل جديدة تعد بمثابة أبناء، وتستمر العملية عن طريق التزاوج والطفرة مع التقييم والتنقيح للحل الأمثل وصولا إلى الحل النهائي للتصميم على المستوى الانشائي والمعماري.

E- المخرجات: 2,500,000 بديل تصميمي وصولا إلى البديل الامثل الذي يجسد فكر ومتطلبات التصميم (شكل 7).

4. مشروع مركز سكولكوفو للابتكار، روسيا [51]	المصمم: بيتشو وشركاؤه	العام: 2007	الرمز: 4

شكل 8. التصميم الخوارزمي لمركز سكولكوفو للابتكار

A- صيغة التصميم الحاسوبي: تصميم خوارزمي.

B- المرجع الفكري: ذكاء السرب لطيور البطريق في تنظم نفسها كمجموعات للحماية من البرد ويوفر الطاقة (شكل 8).

C- المدخلات: توفير بيئة معيشية تشجع على التفاعل الاجتماعي. تصميم أخضر صديق للبيئة.

D- العملية: توليد البدائل التصميمية باتباع قواعد التنظيم الذاتي بالاعتماد على أسلوب ذكاء السرب لطيور البطريق، ثم يتم عمل تزاوج بين البدائل التصميمية المولدة التي تعد بمثابة آباء لإنتاج بدائل تصميمية تعد بمثابة أبناء، وهكذا تستمر العملية عن طريق التزاوج والطفرة حتى الوصول للحل الأمثل للتصميم.

E- المخرجات: نتاج عمراني يمنح ساكنيه هوية خاصة ضمن المجموعة الحضرية- (شكل 8)، وبشكل عام يتميز النتاج التصميمي بإطار خرساني معياري، وسقف أخضر، واستخدام للطاقة المتجددة وإعادة تدوير المياه.

5. مشروع المتحف الوطني قطر [52]	المصمم: جان نوفل	العام: 2019	الرمز: 5

شكل 9. التصميم التوليدي البارامتري للمتحف الوطني في قطر

A- صيغة التصميم الحاسوبي: التصميم التوليدي البارامتري

B- المرجع الفكري: الاستلهام من زهرة الصحراء (الشكل 9)

C- المدخلات: ربط المبنى القديم بالجديد: الاصالة والمعاصرة

D- العملية: تعتمد على النمذجة البارا مترية في المستوى المعماري والمستوى الانشائي، بالتكامل مع برامج وأدوات الحسب الالي الرقمية التي سهلت من محاكاة المرجع الفكري وعمليات التصميم وتوليد البدائل واستكشافها واختيار الأمثل منها.

E- المخرجات: نتاج معماري يتكون من سلسلة أقراص متشابكة بتجاويف في جدرانها الخارجية للحماية من الحرارة الصحراوية.

6. مشروع جزيرة ليتل آيلاند، منهاتن، [53]	المصمم: Heathe rwick Studio	العام: 2020	الرمز: 6

شكل 10. التصميم البارامتريّ التوليدي لجزيرة ليتل آيلاند

A- صيغة التصميم الحاسوبي: التصميم البارامتريّ التوليدي

B- المرجع الفكري: مخطط فرونوي، الطبيعية المحيطة بالموقع.

C- المدخلات (المحددات): التكامل بين التصميم البيئي ومكونات المشروع والتحول المستوحى للمناظر الطبيعية

D- العملية: النمذجة البارامترية لشبكة فورونوي لتوليد حلول تصميمية متعددة، حيث تم أنتاج أدوات التصميم، والمزيد من الحلول في عملية آلية لكل شكل ومحاكاة ثلاثية الأبعاد للتصميم.

E- المخرجات: نتاج عمراني على شكل ورقة شجر عائمة في الماء كنصب طبوغرافي فريد- (شكل 10)، يجمع بين الفن والطبيعة في تجربة غامرة. كما يوفر التصميم المرونة في مواجهة تغير المناخ ويحتفل بمساحة مفتوحة ديناميكية.

3.5 أسلوب القياس وتحليل المتغيرات:

تعتمد عملية القياس لمفردات ومتغيرات الدراسة على نوعين من القياس: الأول هو قياس نوعي يعتمد المنهج الوصفي لمعرفة تحقق القيمة في العينة المنتخبة بالتأشير المباشر للمفردة (0) قيمة غير متحققة، (1) قيمة متحققة، ويهدف إلى تحليل متغيرات صيغ التصميم الحسابي والمرجع الفكري في المشاريع المنتخبة- (الجدول 1) يوضح ذلك.

أما النوع الثاني من القياس فهو مقياس كمي يعتمد على قيمة رقمية للمفردة المتحققة تتراوح هذه القيمة ما بين (0) غير متحقق، و(1) متحقق بشكل بسيط، و(2) متحقق بشكل جيد. وذلك على مستوى كل من عمليات التصميم الحسابي الإبداعي ومستويات سمات الإبداع في النتاج التصميمي، وكما هو موضح في (الجدول 2).

وللحصول على القيم الممكنة والمفردات المتحققة على مستوى كل مؤشر ومتغير تم اتباع الطريقة الحسابية الآتية:

* الجدول (1): يتم قياس نسب القيم الممكنة: بقسمة القيم المتحققة للمؤشر (طبوغرافي مثلا) على إجمالي القيم المتحققة على مستوى مفردة التشكيل. ويتم قياس نسب المفردات المتحققة بقسمة القيم المتحققة للتشكيل مثلا على اجمالي القيم المتحققة لجميع مفردات صيغ التصميم الحسابي، وكذلك الحال بالنسبة للمرجع الفكري.

* الجدول (2): عمليات التصميم الحسابي: تقاس القيم الممكنة من خلال قسمة القيم المتحققة في المشروع الواحد على أجمالي قيم المتغيرات: (10) بالنسبة لمفردة التماثل، وبالنسبة لتحقق القيم الممكنة لمفردة التغايير ولأن اجمالي عدد مؤشراتها يصل الى (14) يتم قسمة إجمالي القيم المتحققة على مستوى كل مشروع على (2) ومن ثم ظربها بـ (1.43) حتى تصل قيمتها الى (10) للتساوي مع بقية المتغيرات. وتقاس المفردات المتحققة بقسمة أجمالي القيم المتحققة للمفردة على أجمالي القيم المتحققة للمفردات في كافة المشاريع. وبنفس الطريقة تقاس القيم الممكنة والمفردات المتحققة لمستويات وسمات الإبداع في النتاج العمراني المعاصر.

جدول 1. تطبيق الإطار النظري لأساليب التصميم الحسابي والمرجع الفكري. المصدر: الباحثان

المفردات	المؤشرات والقيم الممكنة		المشاريع المنتخبة						نسبة القيم الممكنة	نسبة المفردات المتحققة
			F	E	D	C	B	A		
صيغ التصميم الحسابي	التشكيل	طبوغرافي	0	0	0	1	0	0	%25	%30.8
		ترابطي	0	1	0	0	0	1	%50	
		ديناميكي حركي	1	0	0	0	0	0	%25	
	التوليد	تحولي (قواعد الشكل)	1	0	0	0	0	0	%14.3	53.8%
		خوارزمي تطوري	0	0	1	1	0	0	%28.6	
		حدودي بارامتري	1	1	0	0	1	1	%57.1	
	الأداء	تشكيل أدائي	1	0	0	0	0	0	%5o	15.4%
		توليد أدائي	0	0	1	0	0	0	%50	
المرجع الفكري	من العمارة والعمران		0	0	1	0	1	0	%25	%25
	من خارج العمارة والعمران		1	1	1	1	1	1	75%	75%

جدول 2. تطبيق الإطار النظري لعمليات التصميم الحسابي، مستويات وسمات النتاج الإبداعي. المصدر: الباحثان

المفردات			المتغيرات والقيم الممكنة	المشاريع المنتخبة						نسبة المفردات المتحققة
				F	E	D	C	B	A	
عمليات التصميم الحسابي الإبداعية	التماثل	تحويل	تقليد	0	0	0	0	0	0	%10.9
			استلهام	1	2	1	0	1	1	
		اشتقاق	الأسلوب	0	0	2	2	0	0	%16.4
			العملية	0	0	2	0	1	0	
			المنهج	2	0	0	0	0	0	
		تحقق القيم الممكنة %		30	20	50	20	20	10	%27.3
	التغاير	التشكيل	الاضافة	0	0	0	0	0	0	%9
			الحذف	0	0	0	0	0	0	
			التعديل	1	0	0	0	1	0	
			التحويل	1	0	1	0	0	1	
		التوليد	العمليات الرياضي	1	2	0	0	2	2	%47.3
			الدمج والاقتطاع المنطقي	1	2	0	0	0	0	
			التحول	1	2	0	2	2	2	
			النمو	0	0	0	2	0	0	
			التطور	0	0	0	2	0	0	
			الاتمتة الخلوية	0	0	0	0	0	0	
			التحوير	0	1	0	0	1	1	
		الاداء	الاستجابة	0	0	1	1	0	0	%16.4
			التكييف	1	0	2	2	1	0	
			التفاعل	0	0	1	0	0	0	
		تحقق القيم الممكنة %		43	50	36	64	50	43	%72.7
مستويات وسمات الإبداع في النتاج المعماري المعاصر	تنويعي- تفصيلي (القيمة والملائمة)		مألوف نوعا ما	0	0	0	0	0	0	%15.4
			شائع نوعا ما	0	0	0	0	0	0	
			بسيط	0	0	1	0	0	0	
			ممتع	0	0	1	0	1	0	
			ملائم	0	0	2	0	3	0	
			تحقق القيم الممكنة%	0	0	40	0	40	0	
	الابتكاري (الاصالة والقيمة)		غير مألوف نوعا ما	0	0	2	0	2	0	%38.5
			غير شائع نوعا ما	0	0	2	0	2	0	
			معقد نوعا ما	1	0	1	0	2	2	
			مثير	1	0	0	0	1	2	
			رصين	1	0	0	0	0	1	
			تحقق القيم الممكنة%	30	0	50	0	70	50	
	الابتداعي- البزوغي (الجدة والاصالة)		خارج عن المألوف	2	2	0	2	0	2	%46.1
			نادر	2	2	0	2	0	1	
			معقد جدا	0	2	0	1	0	0	
			فاتن	0	0	0	2	0	0	
			غني بالتداعيات	0	2	0	2	0	0	
			تحقق القيم الممكنة%	40	80	0	90	0	30	

4.5 تحليل النتائج:

أولا: مفردة صيغ التصميم الحسابي، والمرجع الفكري: حيث أظهرت نتائج التطبيق لهذه المفردة تنوّعاً لمفرداتها على مستوى التشكيل ما بين (25%) لكل من الطبوغرافي والديناميكي الحركي، و(50%) للتشكيل الترابطي. أما على مستوى التوليد فقد تباينت نسب نتائج القياس ما بين (57.1%) للتصميم القواعدي البارامتري، و(28.6%) للتصميم التطوري الجيني، و(14.3%) لصيغ التصميم التحولي بالاعتماد على قواعد الشكل، وعلى مستوى الأداء تساوت نسب القياس (50%) لكل من التشكيل والتوليد الادائي، وكما هو مبين في (الشكل 11). وفي المجمل وعلى مستوى المفردات المتحققة فقد أظهرت النتائج تفوق صيغ التصميم الحسابي التوليدية على كل من صيغ التشكيل والأداء– (شكل 11) يوضح ذلك.

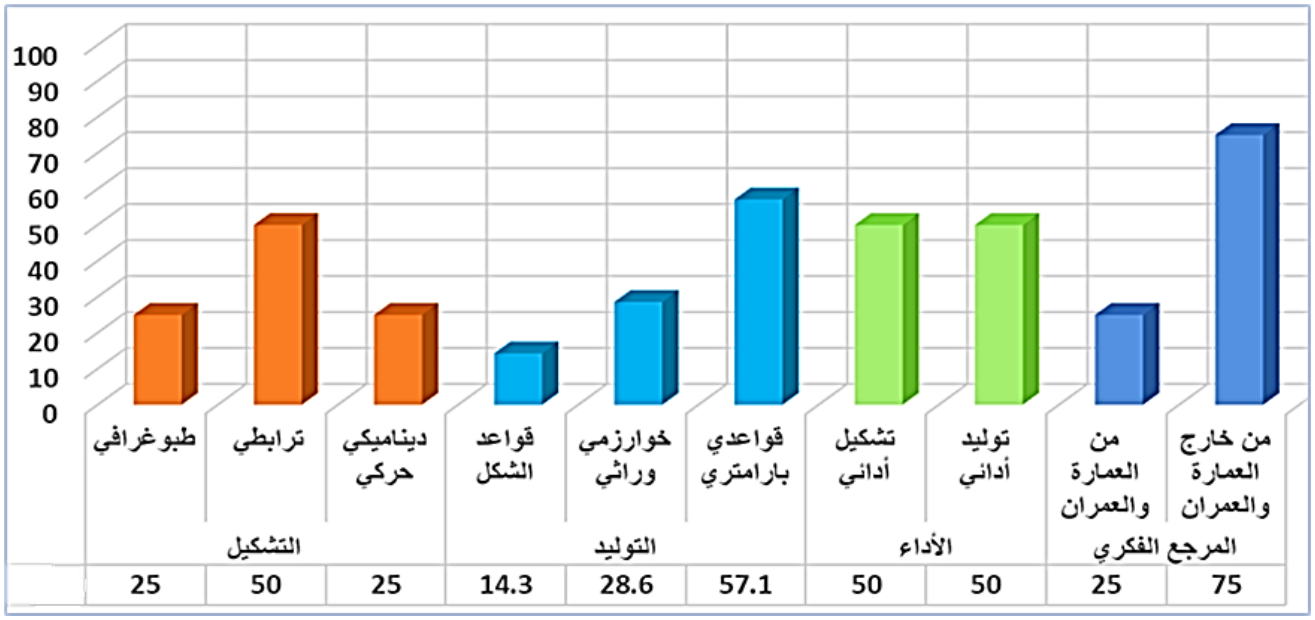
ثانيا: مرجعيات الشكل: إذ تباينت النتاجات باعتماد مرجعيات من داخل حقل العمارة والعمران بنسبة (27.3%)، واعتماد مرجعيات من الطبيعة والعلوم الأخرى بنسبة (72.7). إن ما تم التوصل إليه على مستوى كل من مفردة صيغ التصميم الحسابي، ومفردة المرجع الفكري، يثبت صحة مع ما جاء في الفرضية الأولى: تنوع قيم صيغ التصميم الحسابي كوسيط إثرائي للإبداع في النتاج العمراني المعاصر، وغالبا ما يميل المصمم لصيغ التصميم الحسابي التوليدي بالاعتماد على مرجع فكري من خارج حقل العمارة والعمران.

ثالثا: عمليات التصميم الحسابي الإبداعية: كشفت نتائج التطبيق عن تباين عام وتباين جزئي في نسب القياس للعمليات الإبداعية في التصميم الحسابي، حيث أظهرت النتائج تباين نسب القياس لمفردة التماثل على مستوى المشاريع المنتخبة ما بين (10%) ونسبة (50%)، كذلك تباين نسب القياس لمفردة التغايير ما بين (43%) و (63%) وكما هو موضح في (الشكل 12)، وبشكل عام أظهرت نسب القياس تفوق ملحوظا في عملية التغايير التي تعتمد على التشكيل والتوليد والأداء على عملية التماثل التي تعتمد على مفردتي التحويل والاشتقاق، (الشكل 14) يوضح ذلك.

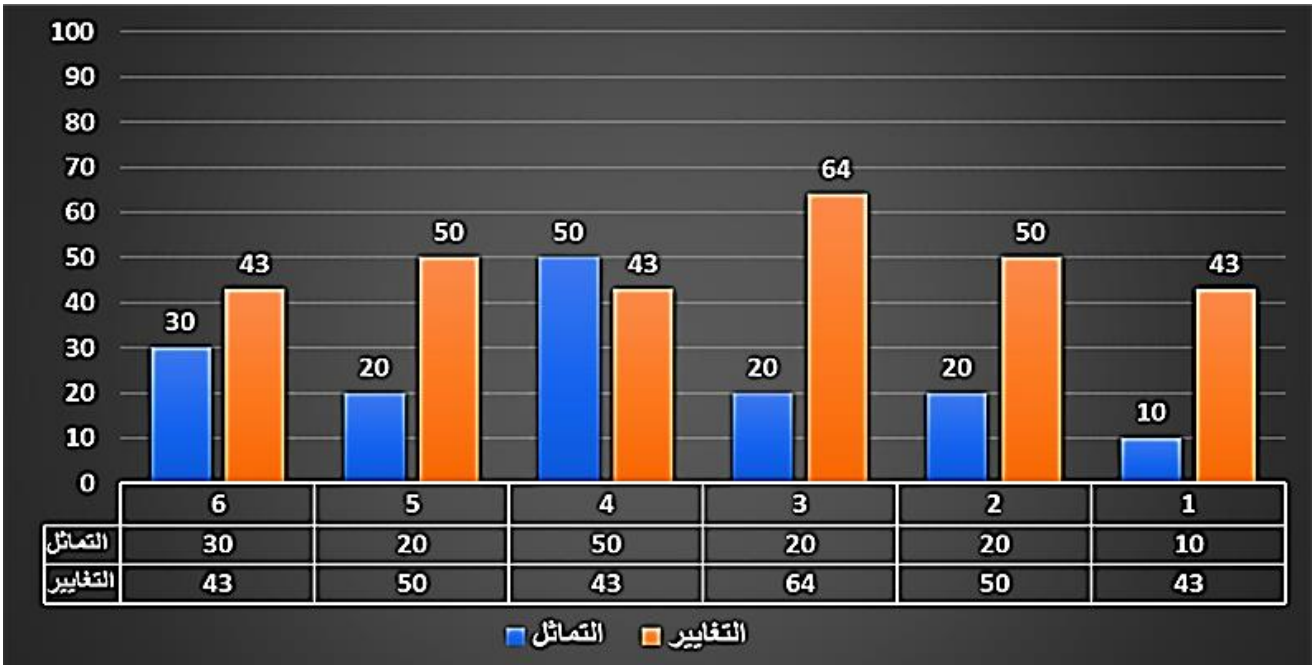
رابعا: مستويات وسمات النتائج الإبداعي العمراني: أظهرت النتائج التطبيقية لهذه المفردة تنوعا بين المؤشرات والقيم الممكنة، إذ تباينت النسب ما بين (0%) و (40%) لمستوى الإبداع التنويعي التفصيلي الذي يحمل سمة القيمة، وما بين (0%) و (70%) لمستوى الإبداع الابتكاري الذي يتسم بالأصالة، وما بين (0%) و (90%) لمستوى الابتداع البزوغي الذي يحمل سمة الجدة، وكما هو موضح في (الشكل 13)، وبشكل عام أظهرت النتائج تدرج مستويات الإبداع وسماته بدا من الإبداع البسيط مرورا بالإبداع التدريجي وصولا إلى الإبداع الثوري (الشكل 14) يوضح ذلك.

خامسا: فاعلية صيغ وعمليات التصميم الحسابي في تحقيق الابداع في النتاج العمراني وفق سمات ومستويات متباينة:

لقد أظهرت نتائج القياس وبالمقارنة كما هو موضح في (الشكل 14) تدرج نسب القياس على مستوى كل من المرجع الفكري ما بين (25%) من حقل العمارة والعمران و (75%) من الطبيعة والعلوم الأخرى، وصيغ التصميم الحسابي ما بين (15.4%) و (53.8%)،



شكل 11. تنوع نسب القياس القايس لصيغ التصميم الحسابي والمرجع الفكري. المصدر: الباحثان.



شكل 12. تباين نسب القياس لمفردات التماثل والتغايير كعمليات إبداعية في التصميم الحسابي. المصدر: الباحثان.

وعمليات الإبداع ما بين (27.3%) و (72.7%)، ومستويات وسمات النتاج الإبداعي ما بين (15.4%) و (46.1%)، وهو ما يؤكد فاعلية صيغ التصميم الحسابي كوسيط إثرائي للإبداع والابتكار بمستويات متباينة في النتاج العمراني المعاصر حسب المتطلبات التصميمية والمحددات والمتغيرات المطروحة والمرجع الفكري المعتمد. وبالتالي فأن ما تم التوصل إليه من نتائج للقياس على مستوى كل من مفردة العمليات الإبداعية، ومستويات وسمات النتاج الإبداعي والمقارنة بين جميع مفردات القياس كما هو موضح في (الشكل 14). يثبت صحة الفرضية الثانية التي تشير إلى تباين مستويات وسمات النتاج الإبداعي تبعا لتباين عمليات التصميم الحسابي الإبداعية، ويميل المصمم إلى توظيف عملية المغايرة لتحقيق الجدة والاصالة في الحلول التصميمية، أكثر من توظيف عملية المماثلة التحويلة أو الاشتقاقية لتحقيق القيمة في النتاج التصميمي.

6. النتائج والتوصيات:

بناء على ما تم دراسته في الجزء النظري، وما تم قياسه والتحقق منه والتوصل إلى نتائجه في المشاريع المنتخبة، توصل البحث إلى النتائج والتوصيات العامة.

1.6 النتائج: توصل البحث إلى النتائج الآتية:

أولا: المستوى النظري: توصل البحث إلى النتائج الأتية:

1. إن التصميم الحسابي يخضع لمجموعة من القواعد والمحددات وفقاً لنظام من الشروط أو الإعدادات البرمجية للوصول لمزيد من الاحتمالات التصميمية التشكيلية، البارامترية، الخوارزمية.

2. إن تحقيق التكامل بين المنطق الرياضي وتقنيات الحاسب الآلي قد أفرز العمليات الأساسية للتصميم الحسابي وهي: تحليل المشكلة، عملية تبنى الحلول السابقة في حل المشكلة القائمة، نظم التصميم الإنتاجية للذهاب بالنتاج التصميمي نحو الإبداع والابتكار بعيدا عن الحلول التقليدية.

3. إن تنوع صيغ التصميم الحسابي وعملياته الإبداعية، يشكل وسط إثرائي للإبداع والابتكار باعتماد مراجع سابقة من العمارة والعمران، أو استكشاف عدد هائل من الحلول الإبداعية غير المتوقعة باعتماد مراجع من خارج العمارة والعمران.

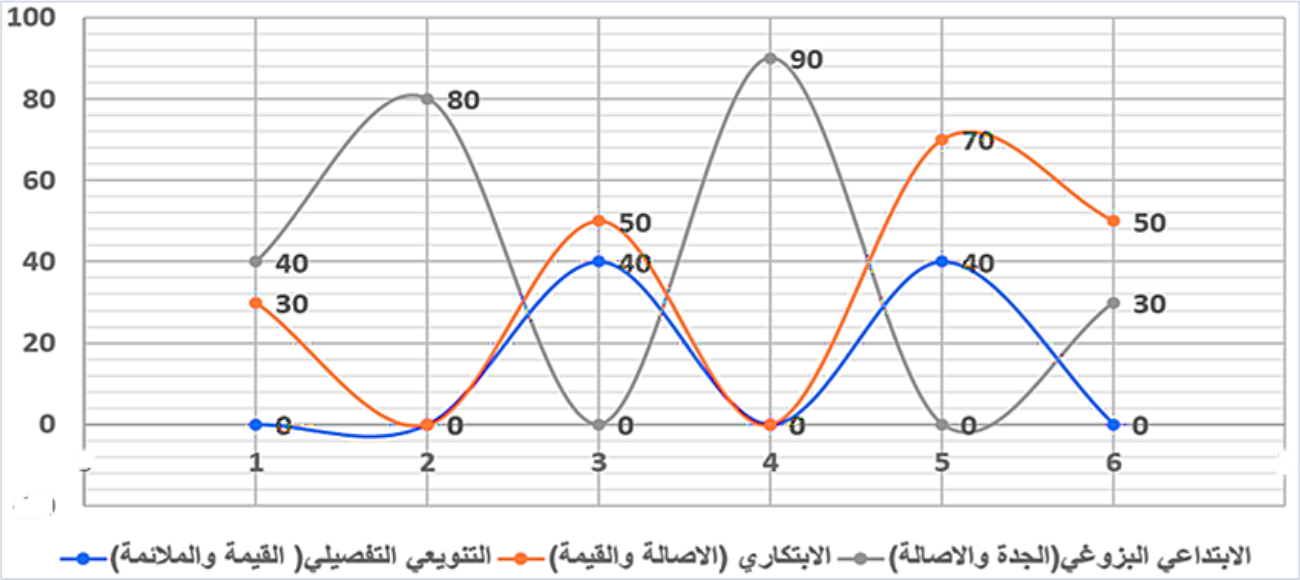
ثانيا: المستوى التطبيقي: توصل البحث إلى النتائج الأتية:

1. فاعلية التصميم الحسابي في إيجاد نتاج عمراني بمستويات إبداعية متباينة ما بين التنويعي– التفصيلي (إبداع بسيط)، الابتكار (إبداع تدريجي)، والابتداع البزوغي (إبداع ثوري).

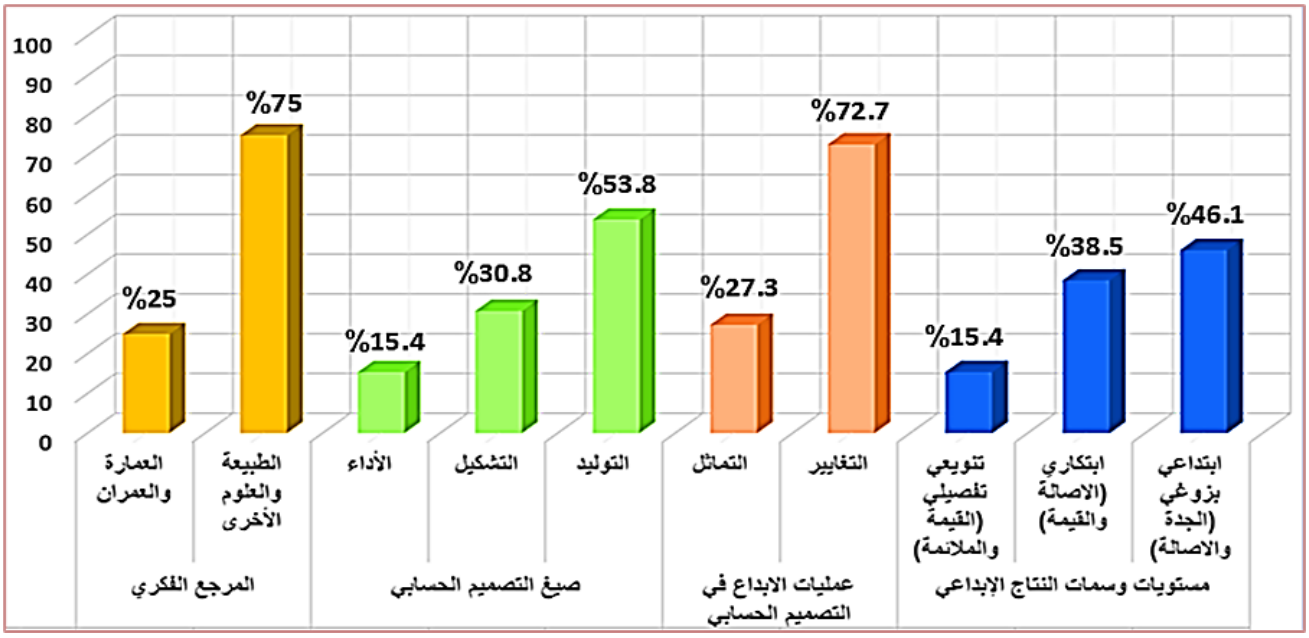
2. فاعلية عملية التماثل في التصميم الحسابي بالاعتماد على مرجع فكري من العمارة والعمران في إيجاد نتاج عمراني يتسم بالقيمة والملائمة مع السياق المحيط وبمستوى إبداعي بسيط أو ابتكاري.

3. فاعلية عملية التغاير في التصميم الحسابي بالتعامل مع مرجع فكري من الطبيعة والعلوم الأخرى لإيجاد نتاج عمراني يتسم بالجدة والأصالة وبمستوى ابداعي ابتكاري أو ابتداعي.

4. تنوع فاعلية صيغ التصميم الحسابي ما بين التصميم الادائي والتشكيلي لإيجاد نتاج عمراني معاصر يحقق الأداء ويستجيب ويتكيف مع الوسط المحيط، والتصميم التوليدي



شكل 13. تباين وتداخل نسب القياس لمستويات وسمات النتاج الإبداعي للمشاريع المنتخبة. المصدر: الباحثان.



شكل 14. تدرج نسب القياس في: المرجع الفكري، صيغ التصميم الحسابي، عمليات الإبداع، مستويات وسمات النتائج الإبداعي.

المصدر: الباحثان

(خوارزمي، تطوري، بارامتري) لإيجاد نتاج عمراني أكثر تعقيدا وحيوية وخروجا عن المألوف.

2.6 التوصيات:

توصل البحث إلى العديد من التوصيات على المستوى النظري والتطبيقي، وهي على النحو الاتي:

أولا: المستوى النظري: يوصي البحث بالآتي:

1. استغلال امكانية التصميم الحسابي في إيجاد نتاج عمراني مبدع ومبتكر يحقق المتطلبات المعاصرة ويتسم بالحيوية والتعقيد أو البساطة والغنى في التشكيل، أو الأداء والاستجابة والتكييف.
2. توظيف عملية التغايير الإبداعية في التصميم الحسابي لتحقيق الابتكار في النتاج العمراني بالتعامل مع مرجع فكري من العمارة والعمران، والإبداع الثوري باعتماد مرجع فكري من الطبيعة والعلوم الأخرى.
3. استثمار عملية التماثل في التصميم الحسابي للتعامل مع المرجع الفكري الذي يتسم بالطبيعة العضوية واللاعضوية التي تستند على منطق تحقيق الأفضلية والأمثلية للنتاج، وازاحته نحو عمليات الديناميكية والتحول المستمر.

ثانيا: المستوى التطبيقي:

يوصي باستثمار التصميم الحسابي بصيغه التصميمية وعملياته الإبداعية في عملية تصميم النتاج العمراني المعاصر كونه يحقق الميزات الآتية:

1. توفير صيغ تصميمية متنوعة ما بين التشكيل والتوليد والأداء، وبما يمكن المصمم من التعامل مع المشاكل العمرانية المطروحة بمرونة عالية.
2. التفاعل والاستجابة والتكييف بين النتاج العمراني والمناخ، وبين النتاج ومواقعه والنسيج المحيط من حوله، وبالتالي التحكم بالأداء اثناء التصميم وليس بعد التنفيذ.
3. محاكاة ظواهر التنظيم الذاتي الطبيعية لاكتشاف نتاجات تصميمية يتم تعديلها وتطويرها بما يحقق المتطلبات والاحتياجات المعمارية والعمرانية.
4. توليد واستكشاف نتاجات عمرانية معاصرة تحقق القيمة والابتكار، استنادًا إلى محاكاة المعايير والقيم العمرانية المحلية.

7. المراجع:

[1] "Oxford School Dictionary" New Edition, Oxford University Press, (2023).

[2] A. Menges, S. Ahlquist, "AD Reader: Computational Design Thinking". John Wiley & Sons Ltd, United/Kingdom, (2011), p. 10-13.

[3] باشي، دعاء مصعب، القزاز، ضحى عبد الغني، الفكر والتصميم الرقمي الحسابي في النتاج المعماري والتصميم الحضري"، مجلة المخطط والتنمية، المجلد (30)، العدد (1)، جامعة بغداد، العراق، (2025)، ص 139.

[4] باشي، دعاء مصعب، القزاز، ضحى عبد الغني، (2025)، مصدر سابق، ص 140.

[5]. G. Sebestyen, "New Architecture & Technology", First Edition, Architectural Press, Britain, (2003), p.119,

[6]. Hossain, G M. Sarker, M. R. Nafisa, B. and Sifat, A., Adaptive Kinetic Facades in High-Rise Architecture: Studio-Based Design Development for Climate-Responsive Building Envelopes. Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR) www.jetir.org, Vol. (12), No. (5), (2025), pp 89–90.

[7] A. AL-Habeeb, "Digital Algorithmic Generative Method of Case-based Design- The eneration of Primary School Plans as a Case Study", Journal of University of Babylon for Engineering Sciences, Vol. (28), No. (1), (2020), p 133.

[8]. الحبيب، أسيل ابراهيم، والقزاز، ضحى عبد الغني، المقارنة بين الاحكام في مناهج التوليد الخوارزمي الرقمي للتصاميم المعمارية"، مجلة الرافدين الهندسية، المجلد (25)، العدد (1)، بغداد، العراق، (2020)، ص ص: 106- 107.

[9] N. Salem, "Digital Architecture Theoretical Study Of Digital Design Modelling", Master Thesis, Alexandria University, Egypt, (2011), p 22.

[10]. عرابي، رهف، "دور الحوسبة في عملية التصميم المعماري"، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الهندسة المعمارية، جامعة دمشق، سوريا، (2016)، ص 42.

[11]. عبد الوهاب، غادة، وسليم، يونس محمد، دور التصميم الخوارزمي في تطوير الواجهات المستجيبة"، المجلة العراقية لهندسة العمارة والتخطيط، المجلد (23)، العدد (2)، بغداد، العراق، (2024)، ص ص 82- 84.

[12] B, Kolarevic, A. Malkawi, "Performative Architecture Beyond Instrumentality", Edition1st Edition, Routledge, London, (2004), p.205.

[13]. A, Haidar., Evolution of Modelling in Architecture A Framework for the categorization and evaluation of digital models in Architectural Design. Conference Paper, DOI: 10.52842/conf.ecaade.2.811. (2023), p.10.

[14]. C, Ines. S, Lui´s. and L, Antonio. Computational design in architecture Defining parametric, generative, and algorithmic design. Journal of Frontiers of Architectural Research, Vol. (9), No. (2), (2020), pp. 287-300.

[14]. A, S, Gaha. Parametric Architectural Design for a New City Identity. Journal of Contemporary Urban Affairs, Vol. (7), No. (1), (2023), pp. 287-300.

[15]. M, E, Mostafa. A, E, Ashraf. and M, B, Nancy. Genetic Algorithms Application in Urban Morphology Generation. Port Said Engineering Research Journal, Faculty of Engineering - Port Said University., Vol. (26), No. (1), (2021), p. 24.

[16]. عقبة، إيهاب، فرج، ممدوح، وأحمد، ندا، العمارة التطورية كأحد مداخل بناء الشكل المعماري المتوافق بيئيا، مجلة كلية الهندسة، المجلد (6)، العدد (2)، جامعة الفيوم، مصر، (2025)، ص ص: 15-16.

[17]. N, C, Hill. The Impact of Bio-Inspired Algorithms on Biomimetic Approaches to Architectural and Urban Design. Conference on Biomimetic and Bio-Hybrid Systems, Living Machines, 3(n.d.), (2020). p. 9.

[18] جودة، دعاء عبد الرحمن، "أثر استخدام النظام الخوارزمي على توليد الافكار في التصميم الداخلي والاثاث"، مجلة العمارة والفنون، القاهرة، العدد (11)، الجزء (1)، (2018)، ص 240.

[19]. K. Terzidis, "Algorithmic Architecture". Architectural Press, Britain, (2006), Ltd., p45.

[20]. رئيس، أيمن، "تقييم بعض برامج الحاسب الآلي المساعدة لعملية التصميم المعماري"، رسالة ماجستير، قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة بنها، مصر، (2012)، ص 17.

[21]. S. A , Saad. And, A. M, Al-Khafaji. The Role of Algorithms in Shaping the Structural Framework of Future Architecture. Iraqi Journal of Architecture and Planning, Vol. (22), No. (1), (2023), p. p 121-122. [in Arabic]

[22]. رئيس، أيمن، (2012)، مصدر سابق، ص 24.

[23]. D, E, Tantawi. Algorithmic design and its impact on interior design elements. The International Arab Journal of Digital Art and Design, Vol. (1), No. (1), (2022), p. 108. [in Arabic]

[24]. رئيس، أيمن، (2012)، مصدر سابق، ص 27.

[25]. عرابي، رهف، (2016)، مصدر سابق، ص 42.

[26]. صليبا، جميل، "المعجم الفلسفي بالألفاظ العربية والفرنسية والإنكليزية واللاتينية"، دار الكتاب اللباني، بيروت، لبنان، (1976)، ص 31.

[27]. روشكا، الكسندور، "الإبداع العام والخاص"، ترجمة غسان عبد الحي ابو فخر، العدد (114)، المجلس الوطني للثقافة والفنون، الكويت، (1989)، ص 8.

[28] J. S. Gero, and M. L. Maher, "Mutation and Analogy to Support Creativity in Computer- Aided Design", Design Computing Unit, University of Sydney, Australia, (2006), p.1-2.

[29] الدهوي، سهى، ونعمة، جاسم، "مؤشرات أنماط التفكير الإبداعي في التصميم المعماري وأشكال المؤاصلة لدى المصمم اتجاهها"، المجلة العراقية للهندسة المعمارية، العدد [1]، الجامعة التكنولوجية، بغداد، العراق، (2016)، ص 171.

[30]. E, E, Sarah. and S, Hamzah. The comprehensive definition of creativity in the architectural design action. 2nd International Conference on Engineering and Advanced Technology AIP Conf. Proc. 2787, 070007-1–070007-12; https://doi.org/10.1063/5.0160852 Published by AIP Publishing. 978-0-7354-4568-0/$30.00, (2023). pp. 4-7.

[31] R. Venture, "Iconography and Electronic Upon A Generic Architecture", First Edition, The Mit press, Cambridge, England, (1987), P.30.

[32] فلاح، شبر منعم، "الشكل المعماري المبدع في إطار منهجية التصميم"، رسالة ماجستير مقدمة إلى قسم الهندسة المعمارية، الجامعة التكنولوجية، العراق، (2004)، ص 4.

[33] مجيد، رشا صبحي، وخروفة، سهر نجيب، "التقنيات الكرافيكية لتطوير الإبداع في التصميم المعماري"، المجلة العراقية للهندسة المعمارية، العراق، الاعداد (16، 17، 18)، (2009)، ص 156.

[34] I. Iordanova, T. Tidafi, M. Guité, G.Depaoli, and J. Lachapelle, "Parametric Methods of Exploration and Creativity During Architectural Design", A case study in the design studio, CAD Research Group, Université de Montréal, CAADFutures, (2009), pp.423-439.

[35] J. S. Gero, "Computational Models of Creative Designing Based on Situated Cognition", Key Centre of Design Computing and Cognition University of Sydney, Australia, (2006), p.2,3.

[36] عباس، سنا ساطع، غولي، انوار صبحي، "مستويات الإضافة المبدعة وسماتها للنتاج المعماري المعاصر في العراق"، المجلة العراقية للهندسة المعمارية، العراق، الاعداد (16،17،18)، (2008)، ص 250.

[37] صالح، آمنة باسم، "الظاهرة المعمارية والنتاج المبدع"، عمارة القرن التاسع عشر عالميا– المسكن انموذجا، مجلة اتحاد الجامعات العربية للدراسات والبحوث الهندسية، جامعة بغداد، العراق، المجلد (26)، العدد (3)، (2019)، ص 148.

[38] G. Broadbent, "Design in Architecture: Architecture and Human Sciences", Edition: 0, John Willy & Sonc, New York, (1973), p.215-217.

[39] صالح، آمنة باسم، (2019)، مصدر ساق، ص 148.

[40] G. Broadbent, (1973), op. cit, p.1.

[41] A. C. Antoniads, "Poetics of Architecture: Theory of Design", Edition 1st, Van Nostrand Reinhold, New York, (1990), p22

[42] C. Jenkes, "The Architecture of Jumping Universe", Edition: Revised, Academy Press, Britain, (1997), p. 41.

[43] C. Jenkes, (1997), op. cit, p. 137

[44]. عباس، سنا ساطع، غولي، انوار صبحي، (2008)، مصدر سابق، ص 248.

[45]. أمين، آلان فريدون، وعلي، جرو محمد، "العلاقة بين القدرة الإبداعية وعملية التصميم المعماري"، مجلة السليمانية للهندسة والعلوم، المجلد (1)، العدد (1)، العراق، (2014)، ص 62.

[46]. النجيدي، حازم راشد، "منهجية التصميم المعماري"، الطبعة الأولى، مديرية دار الكتب للطباعة والنشر، العراق، (1992)، ص 145- 146.

[47]. جروان، فتحي عبد الرحمن، "تعليم التفكير مفاهيم وتطبيقاته"، الطبعة الأولى، دار الفكر للطباعة والنشر والتوزيع، عمان، الأردن، (2002)، ص ص 63- 64.

[48] J. JADWIGA "METROPOL PARASOL-CONTROVERSY SURROUNDING THE PRESENCE OF

CONTEMPORARY ARCHITECTURE IN A CITY'S HISTORICAL URBAN TISSUE " Cracow University of Technology Faculty of Architecture Institute of History of Architecture and Conservation of Monument, (2018), p p 88: 94.
[49] O. Çalışkan, "Parametric Design in Urbanism: A Critical Reflection", Planning Practice & research, Vol. 32, no. 4, (2017), p 433.
[50] N. A. Al-Shukri, and B. H. Almajidi, "Algorithmic Synergy and Architectural Form Generation Mechanisms", Journal of Engineering, Number 9 Volume 26, (2020), p. 126.
[51] N. C. Heil, "The Impact of Nature inspired algorithms on Biomimetic approach in Architectural and Urban design", Conference on Biomimetic and Biohybrid Systems, Living Machines, 031, v3, (2018), p 9.
[52] M. I. Al-Hammadi, "National Museum of Qatar: New Architectural language, New Vision" Journal of History Culture and Art Research (ISSN: 2147-0626) Tarih Kültür ve Sanat Araştırmaları Dergisi Vol. 9, No. 1, (2020), p. 200.
[53] N. A. Ashari, and K. S. Amoroso, "Generative Design in Landscape Architecture: Defining Three Design Scripts for Beginners", Journal of Digital Landscape Architecture, Wichmann Verlag, VDE VERLAG GMBH, Berlin · Offenbach. (2022), pp. 63