تحقيق تصميم داخلي مستدام عبر توظيف التكنولوجيا الرقمية المعمارية والتصميم البارامتري

Achieving sustainable interior design by employing architectural digital technology and parametric design

م.د/ ايمان محمد محمد الحوتي
مدرس بقسم العمارة العهد العلي للهندسة ٦ أكتوبر
Dr. Iman Muhammad Muhammad Al-Houti
Lecturer at the Architecture Department, Al-Ahed Al-Ali Engineering, October 6
Smarthome95@yahoo.com

ملخص البحث:

ترتبط التكنولوجيا الرقمية المعمارية على مستوى العمارة والتصميم الداخلي، كوظيفة تصميمية، بتحليل وظائف المباني وأدائها وعملياتها التى تستند إلى معرفة وتطبيق العلوم والهندسة والتكنولوجيا الرقمية، مما يعمل على تحقيق وظائف التصميم الداخلي بفاعلية وكفاءة وخصائص العمر الافتراضي لأنظمة البناء والمواد والمكونات لتحقيق الكفاءة على المدى الطويل، كما ترتبط التكنولوجيا الرقمية على انها المؤثر الأساسي للتصميم الداخلي الحديث بما تستطيع تقديمه عبر نظم بارامترية تحقق ابعاد مستدامة للتصميم الداخلي. حيث يمكن للتكنولوجيا الرقمية المعمارية أن تؤثر بشكل حاسم على التصميم الداخلي فيما يتعلق بعمليات البناء البارامتري للفراغات الداخلية طوال دورة حياة المبنى. هذا يضمن أن تظل هذه الفراغات اقتصادية وفعالة ومستدامة. لذلك فإن التوجه نحو توظيف خصائص التكنولوجيا الرقمية المعمارية عبر التصميم البارامتري في إيجاد فراغات داخلية مستدامة التي تتجه نحو زيادة قدرة عناصر التصميم الداخلي على تحقيق الاستدامة وذلك من خلال تطويع التكنولوجية الرقمية المعمارية والتصميم البارامتري في استحداث فراغات داخلية لها القدرة على التعايش المستدام بهدف توفير الراحة للمستخدمين والتوفير في الطاقة. وعلى ذلك تنبثق مشكلة البحث من الحاجة إلى تحقيق تصميم داخلي مستدام عبر تطبيق التكنولوجيا الرقمية المعمارية والتصميم البارامتري في المعالجات التصميمية للفراغات الداخلية، ومن ثم يهدف هذا البحث إلى التوجه نحو دراسة توظيف خصائص التكنولوجيا الرقمية المعمارية عبر التصميم البارامتري في إيجاد فراغات داخلية مستدامة. وتوصل البحث إلى أن التصميم البارامتري يسهم إلى حد كبير في تحقيق فراغات داخلية مستدامة حيث أنه تصميم يعتمد على استخدام الأنظمة التوالدية التي تملك القدرة على إضافة تحسينات على عملية التصميم الداخلي الإبداعي، وتتضمن استخدام الخوارزميات والنصوص البرمجية في عملية صناعة الأفكار، وتعتبر أداة فعالة لتأثيرها الجذري على خطوات التفكير المتبعة للوصول إلى تصميم الفراغات النهائية والتي تلعب التكنولوجيا الرقمية تامعمارية الدور الأكبر فيها .

الكلمات المفتاحية:

التصميم البارامتري- التصميم الداخلي المستدام -التكنولوجيا الرقمية المعمارية.

Abstract:

Architectural digital technology in architecture and interior design, as a design function, is related to the analysis of building functions, performance and operations based on the knowledge and application of science, engineering and digital technology, which works to

effectively and efficiently achieve interior design functions and life characteristics of building systems, materials and components for long-term efficiency. Digital technology is the main influence of modern interior design; with what it can provide through parametric systems that achieve sustainable dimensions of interior design. Architectural digital technology can decisively influence the interior design in relation to the parametric construction processes of interior spaces throughout the life cycle of the building. This ensures that these spaces remain economical, efficient and sustainable. Therefore, the trend towards employing the characteristics of architectural digital technology through parametric design in creating sustainable interior spaces, which tends to increase the ability of interior design elements to achieve sustainability, by adapting architectural digital technology and parametric design in creating internal spaces that have the ability to sustainable coexistence in order to provide comfort to users. and energy savings. Accordingly, the research problem stems from the need to achieve a sustainable interior design through the application of architectural digital technology and parametric design in the design treatments of interior spaces, and then this research aims to move towards studying the employment of the characteristics of architectural digital technology through parametric design in creating sustainable interior spaces. The research found that parametric design contributes greatly to achieving sustainable interior spaces, as it is a design that relies on the use of reproductive systems that have the ability to add improvements to the creative interior design process, and include the use of algorithms and scripts in the process of making ideas, and is an effective tool for its radical impact. On the thinking steps used to reach the design of the final spaces, in which digital technology plays the largest role.

Keywords:
Parametric design - Sustainable interior design - Architectural digital technology.

مقدمة البحث:

تمثل التقنيات الرقمية الحديثة ظاهرة عالمية ثورية وديناميكية للغاية تؤثر بشكل كبير على جميع مجالات النشاط البشري، على مدى العقود الماضية، تم إنشاء العديد من الأدوات وأساليب العمل الجديدة، والتي بدونها سيكون من الصعب تخيل الحياة الحالية يمثل العديد منها تحديًا كبيرًا وإمكانية إجراء المزيد من الأبحاث والتطبيقات باستخدام الأدوات التي تدعم التصميم الداخلي والمعمارى والتمثيل الرقمي.

ترتبط التكنولوجيا الرقمية المعمارية على مستوى العمارة والتصميم الداخلي، كوظيفة تصميمية، بتحليل وظائف المباني وأدائها وعملياتها التى تستند إلى معرفة وتطبيق العلوم والهندسة والتكنولوجيا الرقمية، مما يعمل على تحقيق وظائف التصميم الداخلي بفاعلية وكفاءة وخصائص العمر الافتراضي لأنظمة البناء والمواد والمكونات لتحقيق الكفاءة على المدى الطويل، كما ترتبط التكنولوجيا الرقمية على انها المؤثر الأساسي للتصميم الداخلي الحديث بما تستطيع تقديمه عبر نظم بارامترية تحقق ابعاد مستدامة للتصميم الداخلي. حيث يمكن للتكنولوجيا الرقمية المعمارية أن تؤثر بشكل حاسم على التصميم الداخلي فيما يتعلق بعمليات البناء البارامتري للفراغات الداخلية طوال دورة حياة المبنى. هذا يضمن أن تظل هذه الفراغات اقتصادية وفعالة ومستدامة.

ولأن الهدف من الاستدامة هو الحفاظ على التوازن البيئي، والسماح لجميع أشكال الحياة بفرصة البقاء والازدهار، يمكن للمجتمع المستدام تلبية احتياجاته باستخدام الموارد الطبيعية والخدمات البيئية للكوكب دون الإضرار بالبيئة التي توفر هذه الخدمات. الطلب البشري على البيئة لديه القدرة على إحداث اختلال في الدورات البيئية وإعاقة إنتاج الموارد الطبيعية المتجددة للأجيال القادمة.

لذلك فإن التوجه نحو توظيف خصائص التكنولوجيا الرقمية المعمارية عبر التصميم البارامتري في إيجاد فراغات داخلية مستدامة التي تتجه نحو زيادة قدرة عناصر التصميم الداخلي على تحقيق الاستدامة وذلك من خلال تطويع التكنولوجية الرقمية المعمارية والتصميم البارامتري في استحداث فراغات داخلية لها القدرة على التعايش المستدام بهدف توفير الراحة للمستخدمين والتوفير في الطاقة.

مشكلة البحث:

تنبثق مشكلة البحث من قلة تحقيق تصميم داخلي مستدام عبر تطبيق التكنولوجيا الرقمية المعمارية والتصميم البارامتري في المعالجات التصميمية للفراغات الداخلية.

أهمية البحث:

تنبع أهمية البحث من تحقيق تصميم داخلي مستدام عبر توظيف التكنولوجيا الرقمية المعمارية والتصميم البارامتري.

هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى التوجه نحو دراسة توظيف خصائص التكنولوجيا الرقمية المعمارية عبر التصميم البارامتري في إيجاد فراغات داخلية مستدامة.

منهجية البحث:

يتبع البحث المنهج الوصفي التحليلي في الدراسات المتعلقة بالتكنولوجيا الرقمية المعمارية والتصميم البارامتري والتصميم الداخلي المستدام

فرضية البحث:

يفرض البحث أن توظيف التكنولوجيا الرقمية المعمارية والتصميم البارامتري في المعالجات التصميمية للفراغات الداخلية سوف يعمل على تحقيق تصميم داخلي مستدام.

الخطوات الإجرائية للبحث:

تنقسم الخطوات الاجرائية لتحقيق اهداف البحث إلى خمسة محور كما يلي:

أولاً: التكنولوجيا الرقمية المعمارية والتصميم البارامتري.

ثانياً: مقومات العمارة المستدامة.

ثالثاً: دور التكنولوجيا الرقمية والتصميم البارامتري في التصميم الداخلي والمعمارى المستدام.

رابعاً: توظيف التكنولوجيا الرقمية والتصميم البارامتري في إيجاد فراغات داخلية مستدامة.

خامساً: دراسة تحليلية للتصميم الداخلي البارامتري في إيجاد فراغات داخلية مستدامة.

أولاً: التكنولوجيا الرقمية المعمارية والتصميم البارامتري

١/ التكنولوجيا الرقمية المعمارية:

ترتبط التكنولوجيا الرقمية المعمارية، كوظيفة تصميمية، بتحليل وظائف المباني وأدائها وعملياتها التى تستند إلى معرفة وتطبيق العلوم والهندسة والتكنولوجيا الرقمية، يرتبط هذا أيضًا بالمتانة وخصائص العمر الافتراضي لأنظمة البناء والمواد والمكونات لتحقيق المتانة على المدى الطويل، كما ترتبط العمارة الرقمية التكنولوجية على انها مرتكز رئيسي وأساسي للتصميم الحديث للمباني القائمة وطرق التقييم اللازمة للتقييم المعماري باستخدام بارامترات تقييمية للمباني كما في شكل (١) والذي يوضح استخدام توسع آفاق الأفكار التصميمية الرقمية.

أما كنظام، يمكن للتكنولوجيا الرقمية المعمارية أن تؤثر بشكل حاسم على التصميم فيما يتعلق بعمليات البناء طوال دورة حياة المبنى. هذا يضمن أن تظل المباني اقتصادية وفعالة: حيث يضمن أدخال النتائج المرغوبة التي تعتبر أساسية للمباني الجديدة وأيضًا تعديل التصميم للمباني القائمة، كما يحد من المخاوف البيئية التي تتطلب الحد من انبعاثات الكربون، وتدعم الاهتمام المتجدد في تغيير الغرض من المباني القديمة الحالية. (Gillian Armstrong, Sam Allwinkle:2017)

شكل (١) توسع آفاق الأفكار التصميمية الرقمية
(Twentytwopreact:2024, retrieved from: https://www.twentytwo-groupe.org/253/project)

حيث تطورت البرامج المرتبطة بالتكنولوجيا الرقمية المعمارية والتي تساعد بشكل خاص أعمال المصمم بشكل سريع، سواء لغرض التصميم أو لغرض البحث، والاستمرار في التطور، وترتكز البرامج الخاصة بالتكنولوجيا الرقمية المعمارية على مبادئ هامة في بعض الجوانب وهي: - الكفاءة والاعتماد والمعالجة والتشغيل والكفاءة المرتبطة بمصدر استخدام الطاقة الكهربائية للكمبيوتر والذاكرة ووحدة المعالجة المركزية وفترة الدورة ونظام التخزين للمنتجات. يرتبط الاعتماد على البرامج بالموثوقية والأمان من غزو الفيروسات والشرعية وأيضًا السلامة المرتبطة بوجود آلية ميزات متصلة/غير متصلة بالإنترنت، يشمل النظام مستوى التحديث الدوري وأتمتة الصيانة. بينما يجب أن تكون العملية سهلة التعرف على المستخدمين بأداء مألوف حتى لو تم استخدامها من قبل أشخاص عاديين وتوافر دليل مستخدم لتبسيط استخدامها. **(Tri Susetyo Andadari et al.:2021)**

ونظراً لتوسع آفاق الأفكار التصميمية المتنوعة الرقمية بشكل متزايد؛ يحتاج المهندسون المعماريون إلى التعامل مع العديد من المواد والأنظمة الهيكلية وأنظمة البناء والرموز المرتبطة بها .إن القدرة على دمج هذه في التصميمات، وتشكيل تدفقهم

من خلال المباني ستؤدي إلى مستوى جديد من التطور في الهندسة المعمارية .يمكن تحقيق ذلك من خلال استخدام المواد، وتطوير مفاهيم ووسائل جديدة للتنفيذ. (Ali Rahim, Hina Jamelle: 2020)

٢/ التصميم البارامتري:

فالتصميم البارامتري هو مجموعة من القيم المقصودة او الغير مقصودة والتي تصف الوظيفة المطلوبة من هذا التصميم وتحدد شكله وإنشائيته في حدود معينة وبالتالي تضع مجموعة من المحددات لتوصيف الأبعاد الإنشائية والمواصفات الفيزيائية للخامات المستخدمة في بناء التصميم وذلك عن طريق تحديد كافة العناصر كالبارمترات على برامج الكمبيوتر مما يؤدي الي مرونة في التعديل على التصميم بمجرد تغيير تلك البارمترات. (R. Hudson:2010)

التصميم البارامتري هو طريقة تعتمد على التفكير المرتبط بالعلاقات المتعددة وقد تم تصميم هذه العلاقات باستخدام أدوات النمذجة البارامترية، في النمذجة البارامترية يتم السماح للمستخدمين بإنشاء خوارزمية النموذج، تتضمن الخوارزمية القواعد التي تحدث عندما ترتبط المعلمات ببعضها البعض. والتي يمكن تسميتها قيدًا أو حدًا يحدد حدود أي حدث، على الرغم من أن النمذجة البارامترية جديدة كمفهوم، فإن تاريخ التفكير والتصميم البارامتري يعود إلى وقت قديم. ومع تطور التكنولوجيا واتساع أفق الفكر، تظهر التصميمات الحديثة ذات الأشكال الهندسية الغير تقليدية في مجال التصميم الداخلي والهندسة المعمارية وصناعة البناء، حيث أصبح تشكيل فراغات معمارية داخلية أكثر تعقيدًا باستخدام طرق النمذجة التقليدية أمرًا صعبًا ويستغرق وقتًا طويلاً.

كان أول نظام تصميم بمساعدة الكمبيوتر البارامتري، تمت برمجه هذا النظام بواسطة إيفان ساذرلاند Ivan Sutherland (*) لأطروحة الدكتوراه الخاصة به في Sketchpad في عام ١٩٦٣. كانت منصة Sutherland واحدة من المحاولات الأولى لتطبيق مفهوم أصبح محوريًا للعديد من الحزم البارامترية - تلك الخاصة بـ مفهوم "القيد constraint"، بشكل عام يشرح القيد العلاقة بين عنصرين أو أكثر؛ على سبيل المثال، يقيد مجموعة من الخطوط لتكون متوازية أو متعامدة، حتى أنه يمكنها تحديد علاقة ما داخل كائن مثل حجم القطر أو المساحة عادة، يتم وضع مجموعتين من القيود ضمن عملية التصميم: القيود الهندسية والقيود المادية. أدى تطور هذين النوعين من القيود إلى تحسين العديد من منصات الكمبيوتر بشكل خاص. (Yasser Zarei:2012)

وفي عام ٢٠١٥ أكد باتريك شوماخر (*)علي أن الهندسة المعمارية أصبحت وثيقة الصلة بالتصميم البارامتري الذي ساعد المصممين علي تحقيق الإبداع والتميز في التصميمات حيث أن البارامترات ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالشكل النهائي للتصميم، فكل تغير للبارامترات يؤدي الي التغير في الشكل النهائي للتصميم, وتوالت بعد ذلك ظهور الكثير من البرامج المتخصصة التي ساعدت المصممين علي استخدام التكنولوجيا الرقمية في اعداد وتطوير وتنفيذ التصميمات المختلفة والتي تصل الي درجات عالية من التعقيد بسهولة ويسر. (Patrik Schumacher: 2016)

تتكون عملية التصميم البارامتري من تحديد المعلمات، وتصميم العلاقات بين المعلمات، وتحديد الأسلوب الهندسى المقدر، وخلق الاختلافات واختبار المنتج الناتج، وهذه المراحل على اتصال وثيق مع بعضها البعض وتؤثر على بعضها البعض. في التطبيقات المعمارية والهندسية في التصميم الداخلي، تزيد احتياجات الباحثين للاهتمام بالنمذجة البارامترية والجمع بين النمذجة البارامترية والخوارزميات الجينية لتحسين أداء التصميم البارامتري حيث هناك مزايا لربط النموذج الهندسي والمخططات والقيود الحدودية ويتضح من خلال شكل(٢) استخدام التصميم البارامتري في التصميم المعماري والداخلي.

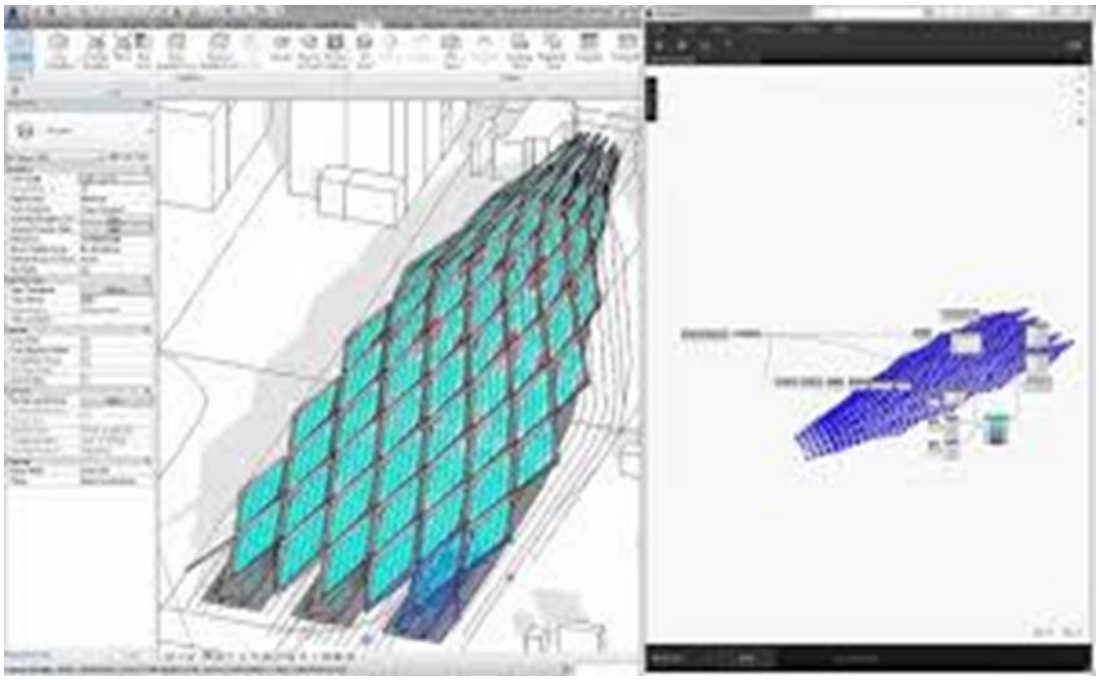
شكل (٢) استخدام التصميم البارامتري في التصميم المعماري والداخلي
(Archcod:2024, retrieved from: https://www.archcod.com)

مزايا التصميم البارامتري:

تحدث العديد من التغييرات في عملية تصميم النموذج البارامتري، يؤدي إجراء تغييرات على النموذج بأساليب CAD التقليدية إلى توفير الوقت والقوى العاملة بما يكافئ النمذجة من البداية، مع النمذجة البارامترية، يتم تقليل كل من القوى العاملة وضياع الوقت بشكل كبير. بعض مزايا استخدام التصميم البارامتري هي:

- مع الأخذ في الاعتبار حجم النموذج، والتعقيد، وعدد العناصر، وزوايا اتصال العناصر، وما إلى ذلك، فإن إنشاء النموذج باستخدام النمذجة البارامترية سيكون أقصر وأسهل من طرق CAD التقليدية.
- سيتم تنفيذ أي تغيير في عملية التصميم أو في عملية الحل الثابت على الفور عن طريق تغيير المعلمات ذات الصلة.
- النموذج البارامترى يسهل دراسات التحسين. مع النتائج التي سيتم الحصول عليها بسبب تغيير المعلمات، فإنه سيمكن من تحديد العديد من المعلمات الفعالة مثل القسم الأمثل والحجم والارتفاع ونوع المادة ونوع العنصر ورقم الشبكة وما إلى ذلك.
- عن طريق تغيير المعلمات، فإنه يسمح بالحصول على مجموعات مختلفة من تصميم نموذج معقد.
- سيكون من الممكن استخدام النموذج المعياري الذي تم إنشاؤه كمشروع نموذجي. في المشروع الذي سيتم تطبيقه في مجالات مختلفة، يمكن تغيير الارتفاع والمنحدر وأبعاد القسم وما إلى ذلك، مما يسمح بمراجعة نفس المشروع دون إعادة

تصميمه، كمثال تصميمي في شكل (٣) والذي يوضح تطبيق التعديل على جميع العناصر المحددة في النموذج البارامتري مما يقلل الوقت والجهد. **(E. Kalkan et al.:2018)**



شكل (٣) تطبيق التعديل على جميع العناصر المحددة في النموذج البارامتري مما يقلل الوقت والجهد
(Arcup:2024, retrieved from: https://www.archup.net)

ثانياً: مقومات العمارة المستدامة:

تظهر مقومات العمارة لتنعكس من خلال البيئة بإمكاناتها الهائلة إلى جانب المنشأ وحلوله الفيزيائية، فإنسان الماضي قد احترم البيئة وأنتج عمارة بيئية بكل ما تحمله الكلمة من معنى، كذلك جاءت حلوله الإنشائية (وإن كانت عفوية في بعض الاحيان) لتؤكد جدارته في التعامل مع المادة بأسلوب تقني فريد لا زالت الكثير من أسراره غير محلولة إلى يومنا هذا، إن معمارنا المعاصر يواجه في تصاميمه عدة تحديات لعل من أبرزها التحديان البيئي (الانساني) والتكنولوجي (المادي) المرتبط بتقنية وأسلوب التشييد وما يتبعه من حلول منشئية، فالحداثة المتأخرة في بدايتها كانت تدعو إلى إيجاد عمارة حديثة لا تاريخية، تحترم الطبيعة ولا تتبنى أسلوب الحداثة الأول القائم على عمارة الماكنة وعدم مراعاة الإنسان في الكثير من الجوانب،، فجاءت (العمارة المستدامة) Sustainable Architecture التي ظهرت بصيغ بيئية وحضارية واجتماعية واقتصادية ووظيفية وتقنية حتى باتت مع النصف الثاني من العقد الأول للألفية الثالثة تعني كل شيء يحترم الإنسان ويراعي التاريخ ويتوافق مع البيئة ويلبي الحاجات الوظيفية ويتناسق مع روح العصر ومع متطلبات واعتبارات التكنولوجيا، فالعمارة المستدامة في عالم اليوم تحمل الكثير من التأويلات وليس لها تعريف ثابت إذ أن الاستدامة بحد ذاتها هي التواصل والاستمرارية والعمارة المستدامة هي جعل الأبنية تبقى وتتواصل لتعبر عن قيم الماضي وفق متطلبات الحاضر التي تحترم العصر بتداعياته التكنولوجية دونما تجاوز على الثوابت المعبرة عن خصائص المكان والبيئة والمجتمع والهوية والسياق..... **(عمر حازم خروفة:٢٠١٨)**

مميزات التصميم المستدام:

طوال دورة حياة المبنى، يقدم التصميم المستدام مزايا متعددة تتمثل في النقاط التالية:

– **آثارًا بيئية إيجابية**: من خلال الحفاظ على الطاقة، وتوفير المياه والموارد الأخرى، واستخدام المواد الطبيعية والمحلية القابلة لإعادة الاستخدام، وتقليل انبعاثات الملوثات، وإعادة تدوير نفايات دورة حياة المباني وزيادة متانة المبنى.

– **آثارًا اجتماعية إيجابية**: ضمان صحة المستخدمين وراحتهم من خلال جودة الهواء الداخلي والراحة الصوتية، فضلاً عن إمكانية الوصول والأمن والحفاظ على التراث الثقافي.

– **آثارًا أقتصادية إيجابية**: كما يوفر التصميم المستدام أيضًا فوائد اقتصادية على المدى الطويل.

– **مستوى الكفاءة والاستدامة:** كما يتم تعزيز دور البناء المستدام من خلال أنظمة تقييم الاستدامة التي تسمح بتقدير مستوى الكفاءة والاستدامة التي يتم تحقيقها من خلال تحسين جودة وأداء المباني. تقوم هذه الأنظمة بتقييم الأبعاد البيئية والاقتصادية والاجتماعية للاستدامة وتزيد بشكل كبير من الاهتمام بالتقييم المستدام للمباني.

على الرغم من أن أدوات تقييم الاستدامة ذات قيمة للتحقق مما إذا كان المبنى مستدامًا، إلا أنه يتم تطويرها في الغالب لتقييم البناء فقط بعد بنائه وليست مناسبة لمساعدة المهندسين المعماريين في تصميم المباني لأنها لا تقترب من استراتيجيات محددة لتوجيه الممارسين، وكذلك، فإن إمكانية تقليل الآثار السلبية للمبنى تكون أكبر في مرحلة التصميم، عندما يتم تحديد ما يقرب من ٨٠٪ من استهلاك المبنى. **(Margarida Feriaand, Miguel Amado , 2019 ,)**

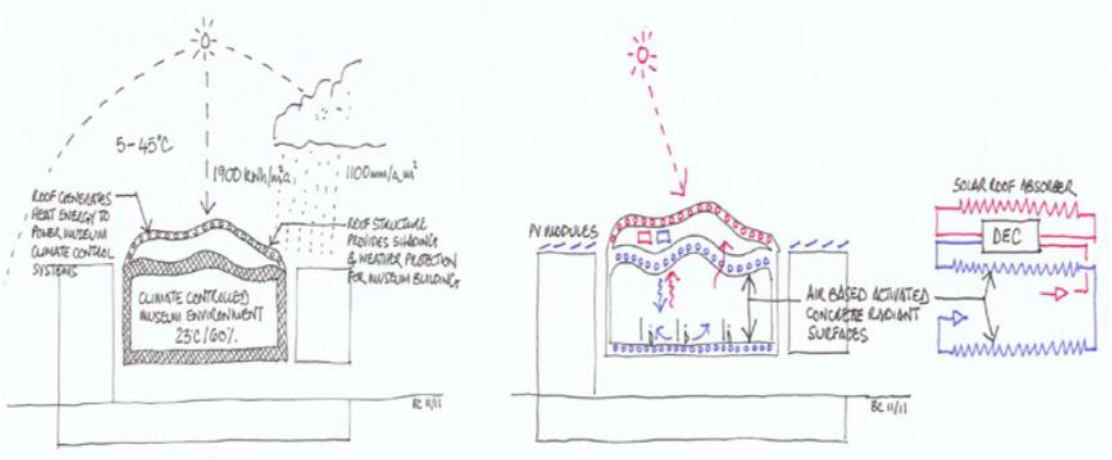
ثالثاً: دور التكنولوجيا الرقمية والتصميم البارامتري في التصميم الداخلي والمعمارى المستدام:

تمثل التقنيات الرقمية الحديثة ظاهرة عالمية ثورية وديناميكية للغاية تؤثر بشكل كبير على جميع مجالات النشاط البشري، على مدى العقود الماضية، تم إنشاء العديد من الأدوات وأساليب العمل الجديدة، والتي بدونها سيكون من الصعب تخيل الحياة الحالية يمثل العديد منها تحديًا كبيرًا وإمكانية إجراء المزيد من الأبحاث والتطبيقات باستخدام الأدوات التي تدعم الإنشاء المعمارى والتمثيل الرقمي مهنيًا فيما يتعلق بالهندسة المعمارية والتصميم الداخلي وتخطيط المناظر الطبيعية والهندسة المدنية.

ومن المؤكد أن تصميم وبناء مبنى معمارى عالي المستوى هو شرط أساسي، بعد كل شيء، لا يمكن تسمية المبنى ذو الأداء الأمثل بأنه مستدام؛ من ناحية الطاقة، فإن الأداء المتوقع هو كفاءة الطاقة أو أداء طاقة المبنى، لسوء الحظ، غالبًا ما يساء فهم مصطلح "كفاءة الطاقة" في قطاع البناء، وغالبًا ما يُعادل الاستهلاك المنخفض للطاقة خطأً مع كفاءة الطاقة العالية. وبالتالي يتم الخلط بين تحسين أداء الطاقة ومجرد تقليل استهلاك الطاقة. من أجل تقييم الأداء بشكل صحيح، يجب أن نأخذ في الاعتبار الفوائد والميزات التي يتم الحصول عليها من الطاقة "المستهلكة". في سياق الأداء الحراري للمباني، يمكن فهم كفاءة الطاقة على أنها العلاقة بين جودة البيئة الحرارية الداخلية وكمية الطاقة المستخدمة للحفاظ عليها. يتم تحقيق كفاءة عالية في استخدام الطاقة من خلال تقليل الطلب على الطاقة مع تحقيق ظروف الراحة الداخلية المثلى في نفس الوقت في مساحات المبنى. كفاءة الطاقة هي ببساطة العلاقة بين الناتج (المنفعة) والمدخلات (الموارد).

يتم تصميم المبنى المستدام بالاعتماد على التكنولوجيا الرقمية ليكون موجودًا في بيئة طبيعية ذات ظروف متغيرة باستمرار (درجة الحرارة، والرطوبة، وحركة الهواء، والضوء، والصوت، وما إلى ذلك) وتوفير الظروف البيئية الداخلية المرغوبة والأكثر ثباتًا في الداخل، قبل عملية التصميم يمكن اتباع نهجين لتحقيق هذا الهدف؛ النهج التقليدي للقرن العشرين وهو عزل البيئة الخارجية قدر الإمكان واستخدام الأنظمة الميكانيكية لتوفير الظروف الداخلية المرغوبة؛ أو النهج البديل لشكل المبنى

والبناء باستخدام التدفقات البيئية الخارجية الطبيعية للسماح بخلق الظروف الداخلية المرغوبة. مثال على النهج الثاني، من خلال تصميم متحف باتنا Patna Museum في الهند شكل رقم (٤) حيث تم تطوير نظام تبريد يعمل بالطاقة الشمسية، يتم استخدام الغلاف الخارجي لسقف خرساني مزدوج الغلاف بما في ذلك طلاء انتقائي لالتقاط الطاقة الحرارية الشمسية التي يتم نقلها بعيدًا عن طريق مجاري هواء متكاملة وتستخدم لتشغيل نظام تبريد المباني، والذي يتضمن إزالة الرطوبة من الهواء باستخدام عجلة مطلية بجل السيليكا. ومن ثم يتدفق الهواء المعالج عبر القنوات المدمجة داخل البناء الخرساني الداخلي لتنشيط الكتلة الحرارية المكشوفة قبل دخول الفراغ.



شكل (٤) مفهوم الطاقة لمتحف باتنا في الهند (المهندس المعماري: Coop Himmelb)

(Timesofindia:2024, retrieved from: https://timesofindia.indiatimes.com/)

أظهرت التجربة مع مباني الاستدامة الحقيقية مدى أهمية وضع الناس فى الاعتبار، وليس فقط وضع المبني فى الاعتبار، ففي نهاية المطاف الناس هم مستخدمو الطاقة. كما ان السياق الثقافي الذي يقع فيه مبنى معين له أهمية كبيرة أيضًا، والدليل على ذلك ما يسمى بالمنازل السلبية في النمسا، والتي تم تصميمها بدون مصدر تدفئة "ملموس في الفراغات الداخلية" مثل الموقد أو المبرد أو استخدام ما يسمى بأنظمة التبريد الصامت، مثل الأسقف المبردة، والتي تستخدم عادة في أوروبا الوسطى، وفي أجزاء من العالم، حيث توفر أنظمة تكييف الهواء مشكلة الضوضاء المصاحبة وحركة الهواء وما إلى ذلك، على الرغم من الوظائف التقنية المثالية، قد لا يتم قبول النظام المختار تمامًا من قبل مستخدميه بسبب توقعات المستخدم التي تعتمد على الثقافة. لذلك من المهم أن يجمع المصممون المعرفة بتوقعات المستخدم ذات الصلة في سياق ثقافي معين وأن يأخذوها في الاعتبار أثناء التصميم، حيث تختلف اختلافًا كبيرًا في شتى أنحاء مناطق العالم المختلفة. تظهر الاستدامة القائمة على التكنولوجيا الرقمية أنه من الممكن تغيير توقعات المستخدم، إذا كان ذلك مطلوبًا أو ضروريًا. لكن في معظم الحالات، تتطلب هذه العملية وقتًا وجهدًا كبيراً. **(Cody, Brian: 2014)**

رابعاً: توظيف التكنولوجيا الرقمية والتصميم البارامتري في إيجاد فراغات داخلية مستدامة

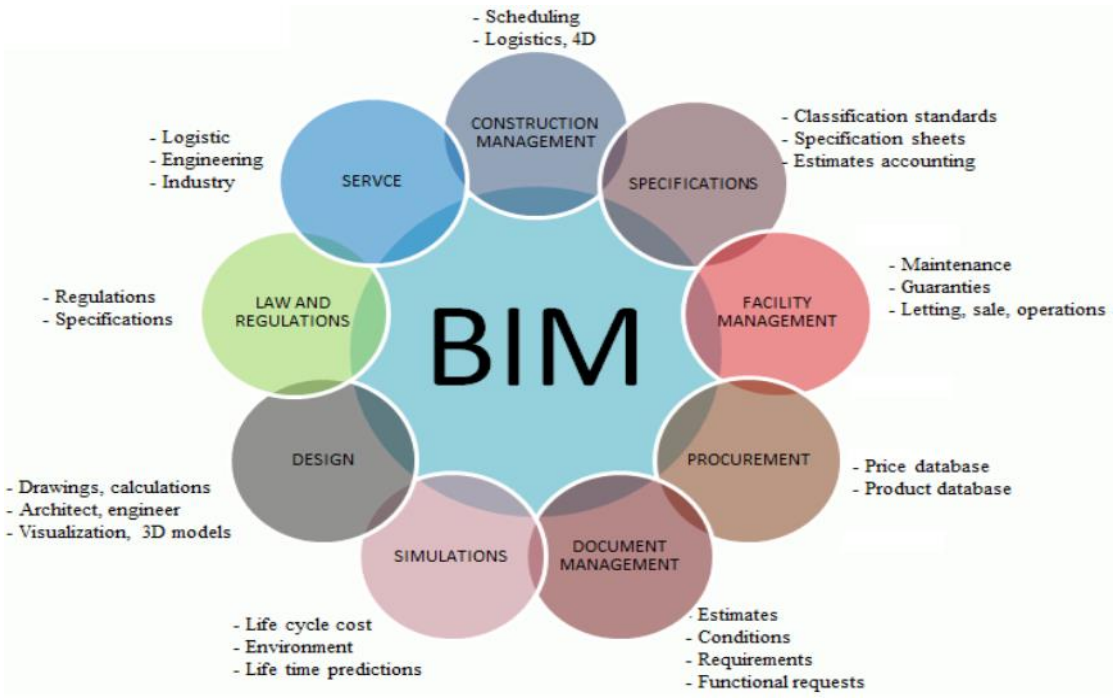
١/ نموذج معلومات البنـاء (Building Information Modeling (BIM:

وفقًا لمصادر مختلفة، تمثل نموذج معلومات البناء (BIM :Building Information Modeling) أنظمة التكنولوجيا المعقدة الفعلية والمستقبل للهندسة المعمارية والتصميم الداخلي، علاوة على أنها ليست فقط النظام، بل هي طريقة العمل. من خلال دورة حياة المبنى وإدارة المرافق (Facility Management :FM) تساهم بشكل كبير في زيادة كفاءة واستدامة العملية بأكملها، كما يوفر (BIM) إمكانية بناء نموذج معلومات البناء الافتراضي الذي يستخدمه المصمم الداخلي والمعماري

والمتخصصون في البناء والمطورون والمستثمرون والمالكون، ويضيف كل منهم معرفته الخاصة إلى نموذج المعلومات المشترك، حتى يتم التوصل لشكل محدد على أنه "محاكاة ذكية للهندسة المعمارية"، هذا النموذج يقلل بشكل كبير من فقدان المعلومات أثناء خطوات العملية باكملها، ومن أجل جعل BIM مفيدًا لمديري المرافق أو مالكيها، يجب على فرق المشروع تحديد المعلومات التي يحتاجون إلى تضمينها في نماذج BIM الخاصة بهم في المراحل المبكرة من عملية التصميم.

نموذج BIM هو نموذج حاسوبي يحتوي على جميع المعلومات حول المبنى من الخارج والداخل، بما في ذلك موقعه الجغرافي، وعناصر المبنى، والتصميم الداخلي، ودورة حياته، والاستخدام السليم لهذا النموذج يساهم بشكل كبير في الاستدامة في التصميم. حيث يحتوي على أدوات مكانية وبيئية لتحسين حسابات الطاقة، والتحقق من المعلمات المادية للمبنى (الإضاءة والوهج والضوضاء وأحمال الرياح،...) في عملية التصميم، كما تشتمل العديد من أنظمة BIM على أدوات إنشاء رقمية متعددة التخصصات تربط جميع المهن المشاركة في إنشاء وثائق المشروع (المصممون والمهندسون المعماريون والمهندسون المدنيون)، كما يتيح BIM التحقق من الهياكل الحاملة للمبنى على أساس الشكل الهندسي المقترح ومحاكاة ظروف التحميل لعملية تصميم المبنى وكذلك التصميم الداخلي، تشتمل أنظمة BIM على أدوات أو تطبيقات والتحقق من التدفئة والتهوية وتكييف الهواء من خلال التصميم الرقمي والمحاكاة والتحليل المضاد للتصادم، وبالتالي فإن BIM هي قاعدة بيانات معقدة. تستخدم قاعدة البيانات هذه نموذجًا ثلاثي الأبعاد لتنظيم عناصر البناء الفردية. في حالة تطبيق مكتبة رقمية لعناصر ومواد البناء مباشرة من الشركات المصنعة، مع الإشارة إلى معاييرها وتكاليفها، يمكن أن تشكل BIM أساسًا شاملاً للغاية لحسابات التكلفة وقوائم مواد البناء. **(Viera Joklova, Ekaterina Budreyko:2019)**

يمكن وصف نمذجة معلومات البناء بأنها عملية: (أ) وضع استراتيجية متكاملة وشاملة لإنشاء المباني تشمل التصميم والبناء وإدارة دورة الحياة على أساس النمذجة والمحاكاة الحاسوبية؛ (ب) إنشاء واستخدام نظام إدارة البيانات الرسومية المتكاملة وتدفق المعلومات فيما يتعلق بوصف عملية البناء؛ و (ج) تحويل المقاولين الفرديين إلى فرق تعمل كوحدات لامركزية تعالج المشكلات المعقدة وتدمج المهام المنفصلة في عمليات متماسكة. نتيجة لذلك، من المتوقع زيادة الكفاءة وخفض تكاليف العمليات المختلفة طوال دورة حياة المبنى بأكملها، كما يوضحه النموذج التالي رقم (٥). **(Reizgevičius Marius et al.:2018)**



شكل (٥) دورة حياة نموذج معلومات البناء (Reizgevičius Marius et al.:2018)

٢/ الخوارزميات التصميمية: Design Algorithms in architecture

الخوارزمية هي عملية لمعالجة مشكلة ما في عدد محدود من الخطوات باستخدام العمليات المنطقية، يمكن أن يكون أيضًا نسخة منطقية من التفكير البشري، "الخوارزمية ليست فقط تنفيذًا للكمبيوتر، أو سلسلة من الأسطر أو التعليمات البرمجية في برنامج أو لغة، بل هي أيضًا بنية نظرية ذات تداعيات فلسفية واجتماعية وتصميمية وفنية عميقة."

يمكن أن يتعامل نهج التصميم الحسابي مع عدد كبير من القيود المعقدة في وقت واحد، ويمكن استخدامه لاستكشاف العديد من حلول التصميم الموزونة بشكل مختلف ضمن الأطر الزمنية التي لا تكون مجدية اقتصاديًا بالطرق التقليدية. على الرغم من انتشار الخوارزميات في العديد من صناعات التصميم والتصنيع، ربما يكون أفضل استخدام لها هو التصميم المعماري، حيث يمكنها تمكين المصممين من العمل بطرق بديهية وغير حتمية. وبالتالي يمكن إنتاج تصميمات جديدة ومبتكرة تحقق الأداء الهيكلي والبيئي الذي كان يعتبر في السابق عمليات تحسين ما بعد التصميم. بينما تم تصميم معظم الخوارزميات مع وضع حل معين في الاعتبار لمشكلة ما، إلا أن هناك بعض المشكلات التي يكون حلها غير معروف أو غامض أو غير محدد، وفي هذه الحالة تصبح الخوارزميات وسيلة لاستكشاف المسارات المحتملة التي قد تؤدي إلى حلول محتملة. وبالتالي، من الناحية النظرية، طالما أنه يمكن تعريف المشكلة بمصطلحات منطقية، فقد يتم إنتاج حل يعالج متطلبات المشكلة. يتم تمثيل الخوارزميات إما في الرسوم البيانية على شكل مخططات انسيابية أو باستخدام لغات الكمبيوتر في شكل نصوص أو برامج. **(Nilesh J. Uke:2014،Pankaja G. Bagul)**

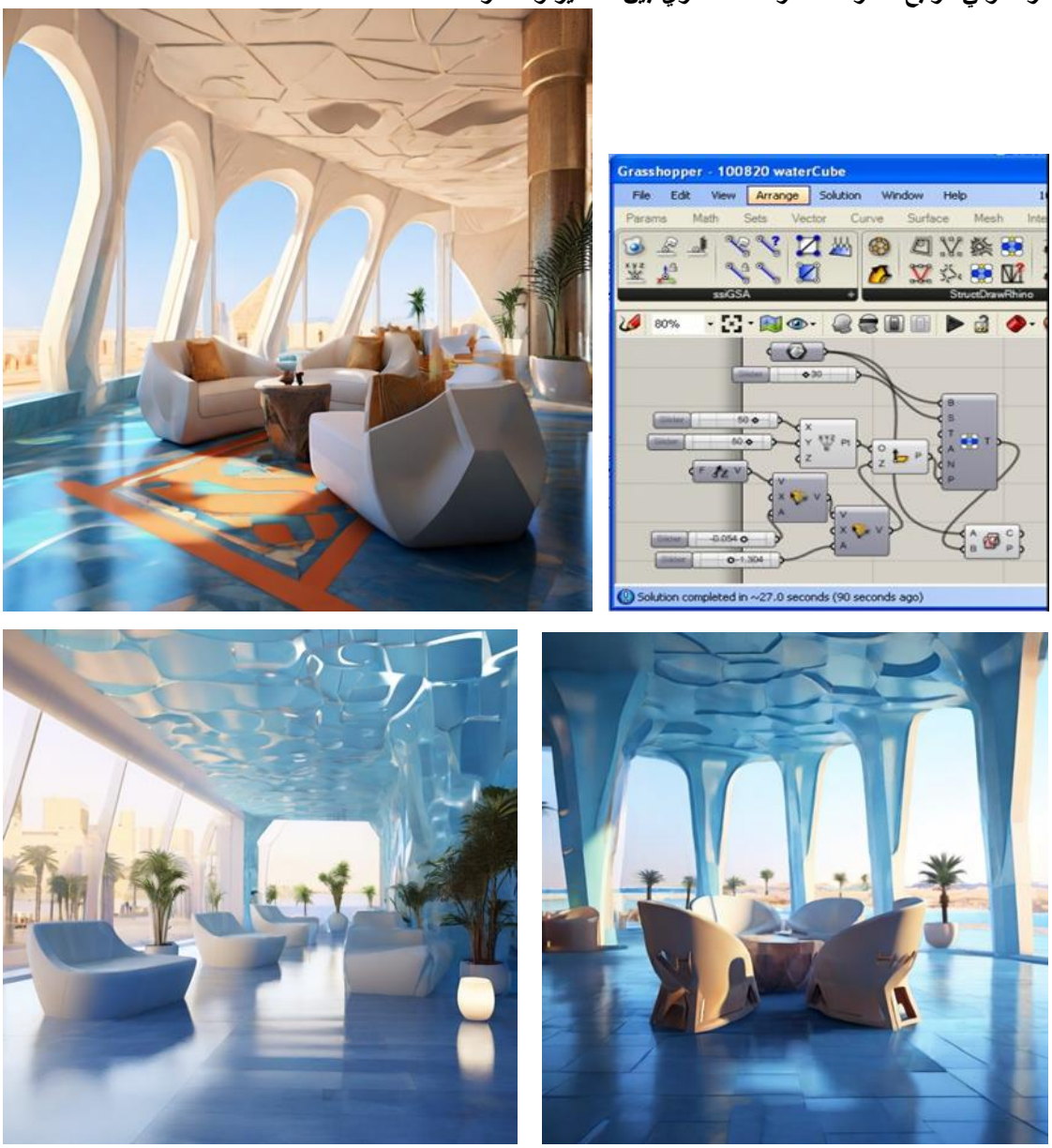
بعض حالات لاستخدام الخوارزميات في التصميم:

أ/ مكعب الماء/ المركز الوطني للألعاب المائية في بكين: الخوارزمية التي طورها كريس بوس لتصميم المركز الوطني للألعاب المائية في بكين، "مكعب الماء" كما في شكلي (٦) و(٧) والتي يوضحا استخدام الخوارزمية، حيث تتحرك العملية الحسابية خطوة إلى الأمام. في هذا التصميم، ينتج نظام مادة واحد بنية وفي نفس الوقت يحدد الفضاء. يتم ضمان الاستقرار الهيكلي مسبقًا من خلال اختيار التصميم نفسه – تكوين تكوين مستقر لهندسة تعبئة الفقاعات التي تحدث أيضًا بشكل تلقائي في العديد من الأنظمة الطبيعية.

شكل (٦) استخدام خوارزمية مكعب الماء

(Arcup:2024, retrieved from: https://www.archup.net)

وقد قامت الباحثة بتجريب استخدام خوارزمية مكعب الماء في التصميم الداخلي كما يلي: -

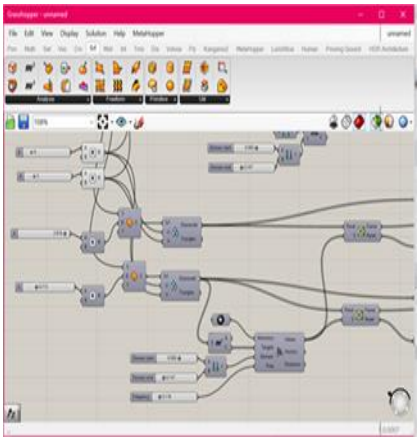


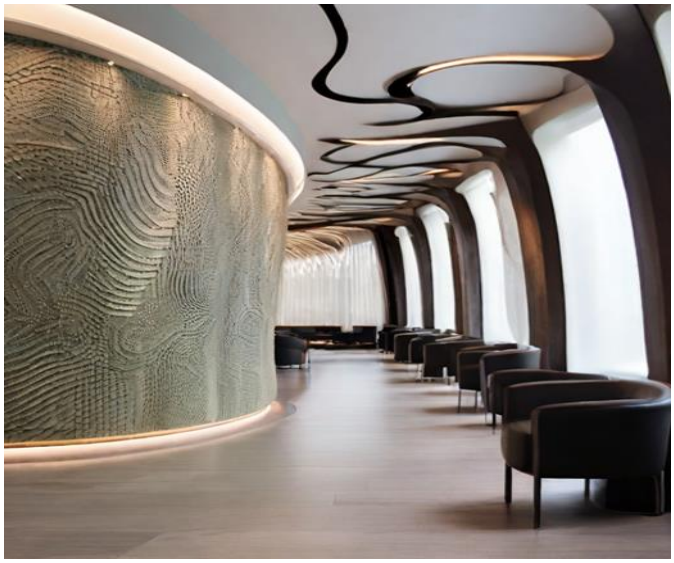
شكل (٧) استخدام خوارزمية مكعب الماء في التصميم الداخلي (من تصميم الباحثة)

ب/ الفركتلات المربعة/ جناح Serpentine Pavilion: كان الهدف الأساسي لجناح Serpentine Pavilion هو تكامل النظام الهيكلي كوظيفة أساسية للجلد. نظرًا لأن شكل الهيكل قد تم تقديمه كصندوق مستطيل بسيط، كان من الضروري إيجاد تقنية لتقسيم الجلد من أجل إنشاء هيكل. يتم اختيار الفركتلات كعملية للتقسيم الفرعي لأنها تتيح تصميم نظام هيكلي يعتمد على شكل مربع يمكن نشره إلى ما لا نهاية، كان ناتج الخوارزمية عبارة عن نمط ثنائي الأبعاد، وتم تحديد سمك كل حزمة وفقًا لتوزيع الضغوط على السطح.

وقد قامت الباحثة شكل (٩) بتجريب استخدام خوارزمية الفركتلات في التصميم الداخلي كما يلي: -

شكل (٨) استخدام خوارزمية الفركتلات المربعة
(Archcod:2024, retrieved from: https://www.archcod.com)





شكل (٩) استخدام خوارزمية الفركتلات في التصميم الداخلي

خامساً: دراسة تحليلية للتصميم الداخلي البارامتري في إيجاد فراغات داخلية مستدامة

نموذج المتحف الوطني للفنون، قطر National Museum of Arts, Qatar:

١/ البيانات العامة:

البيـــان		
اسم المبنى	المتحف الوطني للفنون - قطر: National Museum of Arts - Qatar	
تصميم المبنى	تم تصميم المبنى بواسطة المهندس الفرنسى جان نوفيل جان نوفيل (*)، الغرض من التصميم هو عرض جميع القطع الأثرية وقطع العرض بشكل دائري، بينما تمتلئ الجدران المائلة بإسقاطات مرسومة بعناية، كان هذا التأثير ناجحًا للغاية، مع امكانية إنشاء منحنيات تصميم معقدة وسلسة بمساعدة برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد .أدى ذلك لإحياء وإعادة إنشاء الهندسة المعمارية القديمة والجديدة والأفضل من خلال التصميم الداخلي البارامتري. 	
البلد والسنة	قطر -٢٠٠٨- المصمم المبنى: جان نوفيل، متجر الهدايا ٢٠١٩، الشركة المعمارية المنشأة: كويتشي تاكادا	
وصف المبنى	فكرة إنشاء تصميمات داخلية تمثل قطر من خلال عشرات الأقراص الكبيرة حيث تتقاطع الأقراص بزوايا مختلفة، وتنتج المبنى الفريد في جميع أنحاء المساحات المختلفة، مما يؤدي إلى إنشاء بنية ذات صلة بسياقها .من متاجر المتحف إلى مقهى وردة الصحراء، لا تشيد التصاميم بالشكل المبني لجان نوفيل فحسب، بل أيضًا بالثقافة المحلية .يهدف تصميم كويتشي تاكادا إلى أن يكون تجسيدًا لدولة قطر، بدءًا من تاريخ التجارة وأنماط الحياة البدوية وحتى البيئة الطبيعية المذهلة.	
نشاط المبنى	متحف قومى يضم المتاجر والمقاهى	

٢/ تحليل التصميم الداخلى للمبنى من حيث الاستدامة:

البيـان	
المردود البيئي	تم تصميم المتحف بطريقة مستدامة، استخدام تقنيات ذكية للحفاظ على البيئة وتوفير الطاقة، مما يساهم بدوره في خفض إجمالي الانبعاثات الكربونية وحفظ الطاقة، يمتلك المتحف أنظمة صديقة للبيئة ومواد مستدامة في بناءه، مما يحافظ على البيئة المحيطة بالمبنى .
المردود الاقتصادى	تعتبر المنطقة المحيطة بالمتحف من أهم المناطق السياحية الهامة لدولة قطر، حيث يزوره الكثير من السياح المحليين والأجانب، مما يساهم في زيادة الإيرادات السياحية للبلاد، يشكّل متحف قطر الوطني جذبًا سياحيًا كما هو معروف عالميًا، والذي يتيح للزوار التعرف على الثقافة القطرية والإسلامية والعربية بشكل شامل، مما يساهم بدوره في تعزيز السياحة الثقافية.
المردود الاجتماعى	يضم المتحف مجموعة ثرية من الفنون والتراث العربي والإسلامي والعالمي بشكل عام، مما يتيح للجمهور فرصة التعرف على تاريخ وثقافة هذه المناطق.، كما يقوم المتحف بعقد العديد من الفعاليات الثقافية والترفيهية والتعليمية، التي تساعد في نشر الوعي والمعرفة بالثقافة العربية والإسلامية.

٣/ التحليل الشكلى البارامترى للتصميم الداخلى:

البيـان	
الشكل التصميمى للمبنى خارجيا	تم تصميم المتحف بشكل غير اعتيادي ليبدو مثل التكوين المعدني المتبلور المعروف باسم وردة الصحراء، ويتكون من عشرات الأقراص الكبيرة حيث تتقاطع الأقراص بزوايا مختلفة، وتنتج الواجهة والسقف والجدران والأسقف والفتحات والهيكل، يصعب على المرء العثور على أي مساحات عامة مواجهة لم يتم تشكيلها بالكامل من خلال الترتيب العشوائي للأقراص .فلا توجد أعمدة، ولا فتحات مستقيمة، ولا تقاطعات متعامدة، ولا أسقف مسطحة .في العديد من المساحات، حتى الأرضية منحدرة ومنحنية مع الجدران والسقف .
التصميم البارامترى الداخلى	١/ مقهى ٨٧٥: يقع مقهى ٨٧٥ في طابق الميزانين فوق الردهة الرئيسية، وقد تم تصميمه بحيث يصبح مساحة جذابة للزوار لاكتشافها .يشيد التصميم الداخلي بالمجوهرات الذهبية القطرية التقليدية، يتم تمثيل الحلقات بالتدخلات الخشبية التي تشكل مناطق جلوس وبار أو وحدات عرض .يمثل اسم المقهى "٨٧٥" درجة من نقاوة أو نقاء الذهب وهو أمر نادر جدًا أن تجده، وهو متوفر فقط في العالم العربي.

٢/ كهف الضوء Cave Of Light:

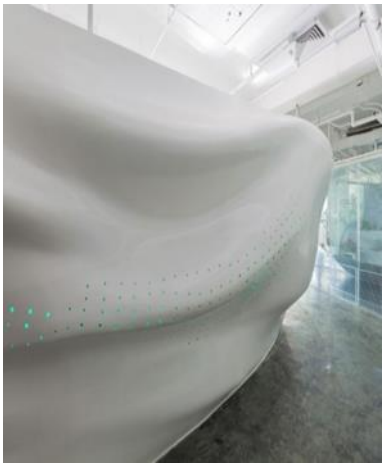
إن التصميمات الداخلية العضوية لمتاجر المتحف مستوحاة مباشرة من "دحل المسفر" (كهف الضوء) الذي يمكن العثور عليه في قلب قطر .وباستخدام برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد وقطع لا حصر لها من الأخشاب المقطوعة باستخدام الحاسب الآلي، تم بناء الجدران المنحنية لهذه المساحات .تم إنشاء كل عنصر ليكون فريدًا من نوعه، مما يعني أنه كان لا بد من تجميعه معًا يدويًا في الدوحة على يد النجار الإيطالي كلاوديو ديفوتو وفريقه من الحرفيين .ويهدف التصميم إلى تكوين علاقة مع البيئة الطبيعية المحلية، مع خلق تجربة مكانية مثيرة للاهتمام بالتلاعب بالضوء الطبيعي طوال اليوم.

٣/وردة الصحراء The desert rose café:

يقع مقهى وردة الصحراء في الطابق الأرضي، وهو مستوحى من اسمه .ويتميز التصميم الداخلي بالإضاءة المحيطة الهادئة وتشكيلات "وردة الصحراء" التي تشغل المساحة .هذه الأشكال المستديرة هي أيضًا إشارة مباشرة إلى هندسة جان نوفيل، وببساطة على نطاق أصغر بكثير .تم تصميم السقف ليخلق حجمًا منخفضًا، مما يمنح الزائرين إحساسًا بالدخول إلى الكهف .في جوهره، يهدف المقهى إلى توفير مكان للاسترخاء، مثل واحة في الصحراء.

٣-٣-٣ نموذج مكتب ايجو، الصين، :Eegoo Offices

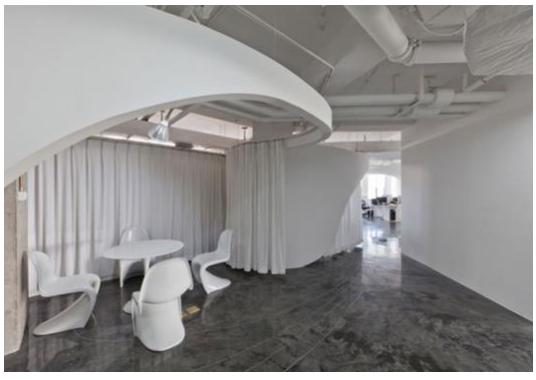
١/ البيانات العامة:

البيــان		
اسم المبنى	**،مكاتب ايجو، Eegoo Offices**	
تصميم المبنى	مساحة مفتوحة مخصصة لاجراء الاجتماعات يغطي المكتب مساحة إجمالية قدرها ٢٣٠٠ متر مربع.، تصميم مكاتب Eegoo هو تصميم عصري وحديث يتميز بخطوط نظيفة وألوان دافئة تعكس الطابع الحيوي والمريح للعاملين في المكتب. يتميز التصميم بتصميم مفتوح يتيح للموظفين التواصل بسهولة و دون أية عوائق، ويستخدم الزجاج والخشب والألياف الزجاجية كمواد أساسية في الديكور.	
البلد والسنة	**الصين، شركة: dEEP Architects**	
وصف المبنى	فكرة غير اعتيادية يتم إعطاء تسلسل تنظيم عقدي للتصميم، حيث تتراوح الخلايا المولدة في الحجم والاستخدام، من المكاتب الخاصة إلى المكتبة والمقهى، يتمتع التصميم أيضا بمساحة واسعة تسمح بتوزيع عناصر الديكور بشكل فعال وجعل مساحة العمل تبدو أكبر وأكثر مرونة. ويعكس التصميم أسلوب العمل المفتوح وخفة الحركة ويعزز العمل الجماعي والتفاعل بين العاملين، تتعرج التصاميم البارامترية حول قلب المبنى وتتضخم في الحجم لاستيعاب الوظائف المحيطة .يكون المسار أكبر بالقرب من الخلايا العامة الأكبر حجمًا للمقهى ومكتبة المواد، وأضيق حول المكاتب الخاصة الأصغر حجمًا. 	
نشاط المبنى	مكاتب مخصصة للشركات	

٢/ تحليل التصميم الداخلى للمبنى من حيث الاستدامة:

	البيـان
المردود البيئي	واحدة من العناصر الرئيسية في هذا التصميم هي استخدام الطبيعة والنباتات لخلق بيئة عمل مستدامة وصحية للموظفين. يتميز التصميم بوجود مساحات خضراء وجدران خضراء ونباتات داخلية وخارجية تساعد في تحسين جودة الهواء وتقليل التوتر.
المردود الاقتصادى	زيادة الإنتاجية وتحسين جودة العمل التي تترجم إلى نمو حيوي للشركات وبالتالي نمو الاقتصاد. كما يساهم المكتب في خلق فرص عمل جديدة، وزيادة الدخل والعوائد المالية للشركات والعاملين في البنية التحتية للمشروع
المردود الاجتماعى	تحسين جودة الحياة للموظفين، حيث يوفر بيئة عمل صحية ومفعمة بالحيوية والراحة، وتوفير الوسائل التكنولوجية الحديثة لتسهيل العمل والتواصل. وبذلك فإن التصميم يهدف إلى تحسين معيشة الموظفين ورفع مستوى رضاهم وإنتاجيتهم وتقديرهم الذاتي

٣/ التحليل الشكلى البارامترى للتصميم الداخلى:

	البيـان
التصميم البارامترى الداخلى	التصميم البارامترى يتميز بأنه تصميم داخلي مثير للاهتمام وفني للغاية وبهندسة معمارية مذهلة للغاية. التصميم الداخلى البارامترى تحاكي معالجة الأسطح بنمط الانسيابية، والتي يتم التعبير عنها بتدرج من المواد الناعمة إلى الصلبة .يتميز مكتب الاستقبال بتموجات تشبه السائل، حيث تتكون المظلة بالقرب من المكاتب الصغيرة من خلايا ذات أوجه .كما أن وظيفة كل سطح تعبر عن تدرج حيث تتدفق الجدران لتصبح إما الأرض أو السقف مكونة غشاء الخلايا. 

يتم استخدام المواد الطبيعية مثل الخشب والزجاج والألياف الزجاجية في تصميم المكاتب لإنشاء بيئة عمل صحية ومريحة، كما يتم استخدام التصميم بمفهوم الديكور العصري والعملي الذي يواكب أحدث التقنيات واحتياجات العملاء المتغيرة بشكل مستمر.

أما بالنسبة لتصميم الحمامات البارامترية في مكتب Eegoo، التركيز على توفير أعلى مستوى من الراحة والنظافة والجمالية فإنها تتميز بتصميم حديث وجذاب يعكس الأناقة والبساطة، حيث تتميز بالعناصر اللازمة لتوفير الفراغ الأمثل والمساحة اللازمة لإتمام جميع المهام اليومية. يتم توفير المياه والضوء بشكل طبيعي عبر نوافذ الحمامات، كما توفر الأضواء الصناعية اللازمة حيث يتطلب الأمر ذلك.

نتائج البحث:

1. ترتبط التكنولوجيا الرقمية المعمارية، بتحليل وظائف المباني وأدائها المستدام وعملياتها التى تستند إلى معرفة وتطبيق العلوم والهندسة والتكنولوجيا الرقمية لتحقيق الاستدلمة، كما يمكن للتكنولوجيا الرقمية المعمارية أن تؤثر بشكل حاسم على التصميم المستدام فيما يتعلق بعمليات البناء طوال دورة حياة المبنى.

2. يمكن للمصممين الداخليين باستخدام BIM بشكل كامل في مشروع التصميم الداخلي من تحليل التداخلات المحتملة مع الهيكل الخارجي والنظام الهندسي والكهربائي والصحي وغيرها من الجوانب لتجنب المشاكل المحتملة قبل البدء في عمليات البناء والتشييد. هذا يقلل من تكاليف التعديلات والتغييرات في مراحل متأخرة من المشروع.

3. تعتبر الخوارزميات التصميمية أداة فعالة لتأثيرها الجذري على خطوات التفكير المتبعة للوصول إلى تصميم الفراغات النهائية والتي تلعب التكنولوجيا الرقمية المعمارية الدور الأكبر فيتضمسمها وتنفيذها .

4. من خلال التصميم البارامتري، يمكن للمصممين تحليل واستكشاف مجموعة واسعة من المتغيرات لإيجاد تصميمات داخلية مبتكرة ومستدامة. يمكن أن يؤدي هذا النهج إلى إيجاد تصميمات تستخدم بشكل فعال الموارد وتعزز جودة البيئة الداخلية وتحسن كفاءة الطاقة.

5. إن تكامل التصميم البارامتري مع مفاهيم الاستدامة يمكن أن يساعد في تحسين الأداء البيئي للفراغات الداخلية من خلال استخدام مواد مستدامة وتقنيات بناء تقلل من أثر البنية على البيئة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن تصميم نظم للتهوية والإضاءة والتدفئة باستخدام التصميم البارامتري لضمان تحسين كفاءتها.

6. باستخدام التصميم البارامتري، يمكن للمصممين الداخليين تحقيق توافق مثالي بين الجوانب الوظيفية والجمالية والاستدامة في تصميم الفراغات الداخلية. يتيح هذا لهم خلق بيئات داخلية مبتكرة ومستدامة تلبي احتياجات المستخدمين بشكل ممتاز وتساهم في تحقيق معايير الاستدامة البيئية.

توصيات البحث:

1. العمل على الارتقاء بمنظومة توظيف التصميم البارامتري والتكنولوجيا الرقمية المعمارية في تعليم التصميم الداخلي من خلال اعداد ورش عمل مستمرة مصاحبة للمنهج الدراسي، مما قد ينتج عنه افراز جيل من المصممين القادرين على الارتقاء بالمنظومة التصميم الداخلي والأثاث.

2. التوجه نحو إجراء التجارب التطبيقية التي تتعلق بتوظيف الخامات المستدامة في التصميم الداخلي والأثاث عبر استخدام التصميم البارمتري في الممارسة المهنية.

المراجع:

1. عمر حازم خروفة، طرق ووسائل تطبيق مفهوم الاستدامة في الأبنية مجلة المثنى للهندسة والتكنولوجيا، المجلد السادس، العدد الثاني (٢٠١٨) , ١٦٩: ١٨٤

2. Ali Rahim, Hina Jamelle, Architectural Impact After the Digital Architectural Design, Volume90, Issue5,Special Issue: Impact, September/October 2020, John Wiley & Sons Ltd., 2020 ,p.9

3. Cody, Brian: The Role of Technology in Sustainable Architecture. In: Wolkenkuckucksheim, Internationale Zeitschrift zur Theorie der Architektur. Vol. 19, Issue 33, 2014, p. 239–249

4. E. Kalkan, F.Y. Okur, A.C. Altunışık, Applications and usability of parametric modeling, Journal of Construction Engineering, Management & Innovation 2018 Volume 1 Issue 3 Pages 139-146

5. Gillian Armstrong, Sam Allwinkle , Architectural Technology: the technology of architecture , M. Aurel (eds.), Back to the future: The next 50 years, 51st International

Conference of the Architectural Science Association 2017, pp. 803-812. ©2017, The Architectural Science Association and Victoria University of Wellington.
6. Pankaja G. Bagul , Nilesh J. Uke , Algorithms in Architectural Design, International Journal of Electronics Communication and Computer Engineering Volume 5, Issue (4) July, Technovision-2014
7. Patrik Schumacher: The concept of style and parametricism as epochal style, Comeronica, London, 2016
8. Reizgevicius, Marius & Ustinovičius, Leonas & Cibulskiene, Diana & Kutut, Vladislavas & Nazarko, Łukasz. (2018). Promoting Sustainability through Investment in Building Information Modeling (BIM) Technologies: A Design Company Perspective. Sustainability. 10. 600.
9. R. Hudson, strategies for parametric design in architecture, application practice led research, ronland Hudson, university of bath, 2010
10. Tri Susetyo Andadari, LMF Purwanto, Prasasto Satwiko, Ridwan Sanjaya, STUDY OF DIGITAL ARCHITECTURE TECHNOLOGY: THEORY AND DEVELOPMENT, Journal of Architectural Research and Education Vol 3 (No.1), 2021
11. Viera Joklova, Ekaterina Budreyko, Digital technologies in architectural design, verification and Representation, 2019 International Conference on Engineering Technologies and Computer Science (EnT), p102-103
12. Yasser Zarei, The Challenges of Parametric Design in Architecture Today: Mapping the Design Practice, Master of Philosophy in the Faculty of Humanities, Englad , 2012
13. Twentytwopreact:2024, retrieved from: https://www.twentytwo-groupe.org/253/project.
14. Archcod:2024, retrieved from: https://www.archcod.com
15. Arcup:2024, retrieved from: https://www.archup.net
16. Timesofindia:2024, retrieved from: https://timesofindia.indiatimes.com

* - **إيفان ساذرلاند:** هو عالم حاسوب ومؤلف امريكي، اشتهر في مجال علم الحاسوب وخاصة في علوم الخوارزميات.
* -**باتريك شوماخر:** هو مهندس معماري ومؤلف الماني، واستاذ جامعي بجامعة بون.

** -**جان نوفيل:** هو مهندس معماري فرنسي، مواليد 12 أغسطس 1945 في فرنسا .حاز في ٢٠٠٥ على جائزة وولف في الفن، جائزة آغاخان للعمارة.