Al-Academy Journal
Issue onlinefirst
Journal homepage: https://jcofarts.uobaghdad.edu.iq
ISSN(Online) 2523-2029/ ISSN(Print) 1819-5229
DOI: https://doi.org/10.35560/jcofarts1455

Parametric design and its role in designing building facades (An analytical study)

Kholood Saleh Matar Alsawat [a1]

[a] *Graduate Student, College of Arts, Department of Visual Arts, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia*

ARTICLEINFO

Article history:
Received 22 May 2024
Received in revised form 22 August 2023
Accepted 12 June 2024
Published onlinefirst 31 July 2024

Keywords:
Parametric design
building facades
design

ABSTRACT

Parametric design is the primary means of creating designs that have a free and modern character that is compatible with current architecture and what it seeks to achieve in terms of ventilation and natural lighting in buildings, in addition to its potential in creating many ideas. Therefore, the current study aims to reveal the role of parametric design in designing buildings' facades. The study followed the descriptive analytical approach for (3) building facades that were selected as a purposive sample according to specific criteria. The study revealed the following findings: The compatibility of parametric design with nature has led to the existence of architectural facades that touch society intellectually and culturally. It also showed that the triangular grid of the parametric design helps the wind pass through and make the building more efficient. The study recommends conducting more studies focusing on parametric design because of its multiple and diverse design constructs. In addition, encouraging designers to use parametric design in designing building facades to solve design problems related to the building's function.

[1]*Corresponding author.*
E-mail address: Carizma.art@gmail.com
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

DOI: https://doi.org/10.35560/jcofarts1455
Kholood Saleh Matar Alsawat: Parametric design and its role in designing building facades (An analytical study).
Al-Academy Journal - Issue online first -ISSN(Online) 2523-2029 /ISSN(Print) 1819-5229

التصميم البارامتري ودوره في تصميم واجهات المباني (دراسة تحليلية)

خلود صالح مطر السواط[1]

الملخص:

يُعد التصميم البارامتري الوسيلة الأساسية لخلق تصاميم لها طابع حر وحديث تتناسب والعمارة الحالية وما تسعى له من تحقيق سبل التهوية والإضاءة الطبيعية في المباني، إضافة إلى إمكاناته في خلق العديد من الأفكار؛ لذلك تهدف الدراسة الحالية إلى الكشف عن دور التصميم البارامتري في تصميم واجهات المباني، وقد اتبعت الدراسة المنهج الوصفيّ التحليليّ لعدد (3) واجهات لمباني تم اختيارها كعينة قصديّة وفق معايير محدّدة.

وأسفرت الدراسة عن نتائج عدة؛ أهمها: توافق التصميم البارامتري مع الطبيعة أدى لوجود واجهات معمارية تلامس المجتمع فكريًا وثقافيًا وحضاريًا، وأن الشبكات المثلثة للتصميم البارامتري تساعد على عبور الرياح، وتجعل المبنى أكثر كفاءة. وأوصت الدراسة بإجراء المزيد من الأبحاث التي تركز على التصميم البارامتري؛ لما له من بناء تصميمي متعدد ومتنوع. وتشجيع المصممين على استخدام التصميم البارامتري في تصميم واجهات المباني؛ لحل المشكلات التصميمية المرتبطة بوظيفة المبنى.

الكلمات المفتاحية: التصميم البارامتري ، واجهات المباني ، التصميم.

مقدمة البحث:

في طور التطور والتقدم التكنولوجي الذي حصل في الآونة الأخيرة في شتّى مجالات المعرفة، والتي تصب في مجالات عديدة منها مجال التصميم الذي أصبح متشعبًا في الكثير من التخصصات التي تخدم الإنسان، ومنها العمارة؛ حيث يُعد التصميم البارامتري أحد هذه التصميمات التي ظهرت وانتشرت؛ لما فيه من مرونة في التعامل من خلال التصميم. وأصبح التصميم البارامتري منتشرًا بشكل كبير في التصميمات المعمارية التي على أثرها نشاهد العديد من الأشكال الهندسية المعمارية المستوحاة من التصميم البارامتري؛ وذلك لأنه سهّل على المصمم تطوير تصميماته من خلال استخدام التقنيات المتاحة والتكنولوجيا الحديثة. وعليه، بدأ المصمم بالتفكير جيدًا بمثل هذا النوع من التصاميم بطريقة حديثة.

أثبت التصميم البارامتري مرونته في العديد من الدراسات والأبحاث، ومنها: دراسة مصطفى وآخرون (Mostaf & other, 2022) التي توصلت إلى أن النهج البارامتري قد ثبتت كفاءته باستخدام مختلف طرق التشكيل ومختلف المفردات المعمارية في تحقيق جميع الأهداف التصميمية. وكانت من استنتاجات دراسة صالح وسليم (Salih & sleem, 2019) أن منهج التصميم البارامتري يمكّن المصمم من التطويع والتحكم بمدى تأثير الخصائص التصميمية؛ ليس فقط للمباني المعتزم إنشاؤها من المراحل الأولى للتصميم، بل وحتى المباني المقامة، ومراد إعادة تجديدها أو إضافة فضاءات وكتل جديدة الى منشئها الأصلي، وأن إلمام المصمم المعماري بالمبادئ العامة لعلم الخوارزميات والبرمجة البصرية ولو على نطاق محدود، يمكّنه من فهم آلية وطريقة التعامل مع المنهج البارامتري؛ للارتقاء بتصاميمه؛ ليس فقط على مستوى الأداء البيئي، بل حتى الأداء الوظيفي أو الإنشائي. وقد أسهم التطور في مجال قوة وأداء الحواسيب في استيعاب التحليل الشامل للبيئات المحيطة بالمبنى بطريقة تتسم بالذكاء في تحسين النماذج التصميمية بشكل آلي. (Dongmei Z, 2011)

ومن المعروف أن البارامترات هي عمليات دقيقة تحصل من خلال معادلات رياضية معقدة تنتج عنها أشكالٌ متعددة ليس لها حدود، وهذا ما أشارت إليه نتائج دراسة وناس (Wanas, 2015)؛ حيث إمكانية إحداث تعدد شكلي ناتج عن عمليات الخوارزميات في الشكل الواحد. كما أظهرت نتائج دراسة باشي والقزاز (Bashi & Al-kazzaz, 2021) أن المخططات المتولدة من الخوارزمية البارامترية متنوعة؛ نتيجة لتنوع المدخلات. وعلاوة على ذلك، يعتبر هذا النوع من التصميم متطورًا ومتنوعًا، ولديه سهولة في التعديل على النموذج؛ لأنها خوارزميات متصلة بعضها مع بعض؛ ليكون التعديل على جزء يترتب على باقي الأجزاء، وهذا يعتبر من المرونة في التصميم وسهولة تعديل ما يراد تعديله. وعليه، يكشف هذا البحث عن دور التصميم البارامتري في تصميم واجهات المباني.

[1] طالبة دراسات عليا، كلية الفنون، قسم الفنون البصرية، جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية

مشكلة البحث:

تُعدُّ واجهات المباني من التصميمات التي تسهم في مرونة التصميم المعماري، وذلك من خلال أساليب التصميم البارامتري، التي تُعد الأساس الذي تقوم عليه تلك المباني؛ لتحقيق فعالية الاستمرارية في التصميم، وجاءت نتائج دراسة مصطفى وآخرون (Mostaf & other, 2022) لتشير إلى أن عملية التصميم البارامتري بشكل عام تعتبر منظومة متكاملة لا تتجزأ من حيث علاقة المفردات بطرق التشكيل والقواعد؛ حيث يُمكن بأشكال هندسية بسيطة كالمثلث، والمربع، والدائرة وغيرها أن تُستخدم كمفردات عند تحويلها لمجسمات ثلاثية الأبعاد مصنوعة من مواد حديثة، ولكن ما يعطيها الهوية البارامترية من حيث الخصائص والسمات هي استخدامها بطرق التشكيل الخاصة بالبارامترية. وأضافت دراسة نصير (Nasir,2013) أن الأشكال البارامترية المستخدمة هي أشكال حرة هادفة إلى بلوغ الكمال المطلق، والتحرر من طرق التصميم التقليدية. وهو ما يسعى إلى تحقيقه هذا البحث، ولا تحصل هذه الاستمرارية إلا بوجود نوعية تصاميم ترتبط بمفهوم التصميم البارامتري.

وبناءً على ما سبق، سوف تتناول الدراسة الحالية التصميم البارامتري ودوره في تصميم الواجهات من خلال دراسة تحليلية لواجهات مباني من التصميم البارامتري؛ لذا فإن مشكلة البحث ترتكز على التساؤلات الآتية:

ما جماليات التصميم البارامتري التي تظهر في تصميم واجهات المباني؟

ما دور التصميم البارامتري وظيفيا في تصميم واجهات المباني؟

أهداف البحث:

يهدف البحث الحالي إلى:

- الكشف عن الدور الجمالي للتصميم البارامتري في تصميم واجهات المباني.
- الكشف عن الدور الوظيفي للتصميم البارامتري في تصميم واجهات المباني.

أهمية البحث:

تكمن أهمية البحث في التعرف على إمكانات التصميم البارامتري ودورها في تصميم واجهات المباني المعمارية؛ حيث إن هناك أسس ومبادئ عدة للتصميم البارامتري تؤثر على تصميم واجهات المباني من خلال اتباع منهجية التصميم البارامتري في التصميم؛ مما يسهم في رفع مستوى مرونة المباني المعمارية.

منهج البحث:

المنهج المستخدم في البحث هو المنهج الوصفي التحليلي، وبناء عليه، تم توضيح دور التصميم البارامتري في تصميم واجهات المباني والتعرف على الإمكانيات الجمالية والوظيفية للتصميم البارامتري.

حدود البحث:

يتحدد البحث في:

المحدد الموضوعي: الدور الجمالي والوظيفي للتصميم البارامتري في تصميم واجهات المباني.

المحدد المكاني: عدد من المباني المعمارية القائمة على التصميم البارامتري منها أبراج البحر في أبو ظبي بدبي، ومتحف شنقهاي للتاريخ الطبيعي في شنقهاي بالصين، ومركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية في الرياض بالمملكة العربية السعودية.

المحدد الزماني: (2012-2017)

مصطلحات البحث:

التصميم البارامتريParametric design :

التعريف الاصطلاحي: عرّفه الصعيدي وآخرون (Al-Saidi & other, 2019) بأنه عملية تصميم قائمة على العمليات الحسابية والتفكير الرياضي باستخدام الحاسوب، وذلك بتعريف العلاقات المناسبة بين مكونات التصميم، وأوضح أهمية النهج البارامتري في قدرته على تعديل عناصر التصميم وفقًا للتغييرات التي تطرأ عليه، والقدرة على إنتاج أشكال معقدة وبناءات جديدة في سلوكها وأنماطها وعلاقاتها.

التعريف الإجرائي: التصميم البارامتري هو التصميم المتنوع والمتغير والمرن، ويتميز بتوليد العديد من الأفكار التصميمية للمباني؛ مما يؤدي إلى استمرارية عملية التصميم المتكررة، مع الحفاظ على وحدة المبنى الكلية.

واجهات المبانيbuilding facades :

التعريف الاصطلاحي: ذكر عبد النبي (Abd Elnaby, 2020) أن واجهات المباني هي العنصر الذي يغلّف حياة الإنسان داخل هذا المبنى، وهي عبارة عن مواد وتقنيات بناء تعمل على تغطية الفراغات الداخلية للمبنى؛ لحماية البيئة الداخلية من التأثيرات السلبية للعوامل الخارجية، وتعتبر العامل الأساسي في إمكانية الحصول على بيئة داخلية مناسبة؛ لأن الواجهات بعناصرها هي العامل الناقل بين الظروف الخارجية والداخلية لتوفير بيئة جيده لشاغلي المبنى.

التعريف الإجرائي: واجهات المباني هي الهيئة التي يكون عليها المبنى لضمان تغطيته بنظام تصميمي قائم على الوحدة وربط كل جزء بالكل.

الإطار النظري:

أولًا: التصميم البارامتري:

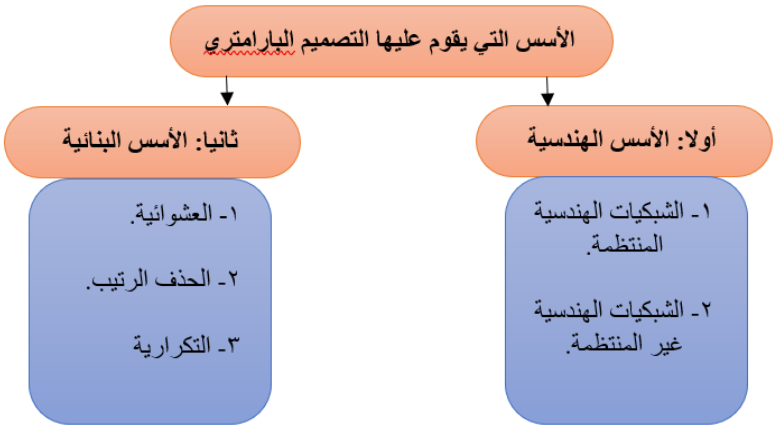
لمصطلح التصميم البارامتري معانٍ عديدة؛ فهنالك من عرّفه بأنه التصميم الحدودي، أو نمذجة التصميم، أو التصميم المعياري، أو القياسي. لكن أصح معنى للتصميم البارامتري "التصميم المتغير"، وأن الباراميتر هي عبارة عن مساحات برمجية تحتوي على خوارزميات وعمليات رياضية واحدة أو أكثر، كما أن التصميم البارامتري يقوم على أسس هندسية ومفاهيم ذات منطق رياضي مستوحاة من الطبيعة. (Ayoub, 2022). ويضيف وانج وآخرون (Wang & other, 2010) أنه تصميم رياضي متغير؛ حيث تظهر العلاقة بين عناصر التصميم كباراميترات قابلة لإعادة صياغتها لإنشاء أشكال هندسية معقدة يمكن تعديلها وتطويرها، ويستخدم المعلومات لضبط العلاقات بين عناصر التصميم من أجل تحديد مجموعة من البدائل الرسمية، وهو منهجية لتغيير الطريقة التي يتم بها التصميم الحسابي، ويستخدم التصميم البارامتري مع الهندسة ومجموعة من الخوارزميات لإنشاء سلسلة من متغيرات التصميم التي تحدد شكل التصميم. لذلك ترى الدراسة الحالية بأن التصميم البارامتري هو التصميم الذي يستطيع أن يساعد في تصميم واجهات المباني بطريقة مختلفة؛ لما له من صفات تسمح له بالاندماج مع الطبيعة، ولما يحمله من مميزات توليدية مرنة.

خصائص التصميم البارامتري:

يرى سويدان (Suidan, 2016) أن خصائص التصميم البارامتري هي:

1- لديه القدرة على التعامل مع المجسمات من خلال البرامج المتخصصة مثل المايا Maya، والراينو Rhino، والجراس هوبر Grasshoppe، وفهم الأنظمة البنائية، وخاصة ذات البنية المعقدة.
2- يسمح للتعديلات في أي جزء من أجزاء التصميم بأن تظهر آلياً في باقي الأجزاء، حتى من خلال التعامل مع البنية المعقدة.
3- يمكن الحصول على تصميم ديناميكي من خلال مفهوم البارامتري، ويكون ذلك من خلال تصميم معماري خارجي أو داخلي، فهو نموذج ديناميكي.
4- تصميم مستدام من خلال مبدأ إعادة الاستخدام والتدوير؛ حيث يعتبر التصميم المتكامل الذي يكون فيه كل عنصر جزءًا من كل أكبر منه.
5- يتميز بالانسيابية والإحساس بالحركة مع سهولة الإحلال والتبديل، وكذلك سهولة الفك والتركيب، كما يمتاز بخفة الوزن وقوة الاحتمال.
6- تنوع الخامات في التصميم البارامتري، فيمكن لأي خامة أن تستخدم حيث يعتمد على الوحدة، إلا أنه متنوع وقائم على التكرار، وبالتالي يمكن العمل على تشكيلات لا نهائية من خلال محاكاة الطبيعة وفهم الأنظمة البنائية التي تقوم عليها بنى الأشكال.
7- متنوع الملامس؛ حيث يشير الملمس إلى خواص سطح المادة، وهي تلك الحالة التي يوجد عليها المظهر الخارجي لأسطح الأجسام المختلفة.
8- يتنوع بتنوع الألوان والخامات؛ حيث يُعد اختيار الألوان والخامات وتنسيقها التحدي الأهم الذي يواجه المصمم، فللألوان موضع تركيز واهتمام كبير لتعزيز الفكرة التصميمية في المشاريع.

الأسس التي يقوم عليها التصميم البارامتري:



مخطط (1) (Al-Saidi,2018)

عناصر التصميم البارامتري:

ذكر وناس (Wanas, 2016)، كما أشار المحمد (Al Muhammed,2022) أن عناصر التصميم البارامتري هي كالآتي:

أولا: الخوارزميات	ثانيا: المعادلات الرياضية
• خوارزمية نسيج الطائر "Weaver Bird". • خوارزمية شبكة (ديلوناي) "Delaunay Mesh". • خوارزمية الفورونوي ."Voronoi" • مجموعات فورونوي "Voronoi Groups". • خوارزمية فرونوي ثلاثية الأبعاد.	• مفهوم النمذجة الرياضية. • المعادلات الرياضية وأنواعها. • البارامترات.

مخطط (2) (Wanas,2016)

مبادئ التصميم البارامتري:

ذكر جابي (Jabi,2013)، كما أشار لها مصطفى وآخرون (Mostaf & other, 2022) بأنها:

- الإصدار أو النسخة Versioning: مصطلح الإصدار أو النسخة Versioning يشير إلى عملية إنشاء مجموعة من التنويعات حول موضوع تصميمي ما.
- التكرار Iteration: يشير المصطلح في مجال تطوير البرمجيات إلى إعادة أو تكرار مجموعة من الخطوات.
- التمايز التدريجي Gradual Differentiation: يعتمد مبدأ التمايز التدريجي على ميزة العمل البارامتري المعدل والمتكرر والمخصص للكتلة، والذي يسمح بحدوث الاختلاف داخل نمط أو إيقاع مستمر.
- التخصيص الشامل Mass- Customization: أضاف ستراين (Stralen, 2018)، كما أشار لها مصطفى وآخرون Mostaf & other.2022) أن مفهوم التخصيص الشامل هو عملية قائمة على مبدأ إنتاج وتصنيع وحدات نمطية ومتكررة لها الخصائص نفسها، وهذا يؤدي إلى خفض التكلفة.

أنماط التصميم البارامتري:

أشار شهاب (Shehab, 2023) إلى أن أنماط التصميم البارامتري عديدة، ومنها:

الاستمثال:
يعني العثور على الأفضل والبحث الاصطناعي عن أفضل حالة داخل نموذج ما، سواء كانت محددة أو ضمنية أو معبرة عنه.

وحدة التحكم:
هو الانفصال، ويقوم على بناء نموذج منفصل ترتبط مخرجاته بمدخلات النموذج الرئيس.

التعقيد:
هي الأجزاء الصغيرة والبسيطة التي يتم تكرارها أو دمجها أو تغييرها باتباع قواعد بسيطة. فالنتيجة بعد عدد من التكرارات، هي نظام متنوع لا يمكن التنبؤ بحالته المستقبلية بسهولة.

التعبئة:
ترتبط ارتباطًا وثيقًا بملء الفراغ والتناظر.

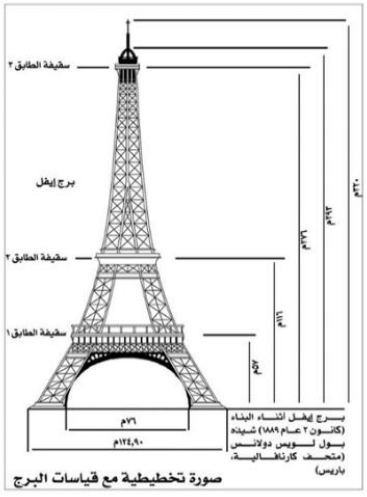
التغطية / التبليط:
هو تقليد معماري قديم جدًا؛ بحيث لا يمكن التعرف على أصوله المبكرة؛ إذ يتم استخدام الأشكال الثنائية لتغطية سطح الأجزاء الداخلية المبنية والواجهات الخارجية، وتكرار الوحدات العادية ومجموعات الأشكال أو الشرائح غير المنتظمة.

مخطط (3)

ثانيًا: واجهات مباني قائمة على التصميم البارامتري:

تم استخدام مثلثات ديلوناي Delaunay في بناء الهياكل لعدة قرون. شكل (1) يوضح هيكل برج إيفل، وهو عبارة عن شبكة من المثلثات، فعندما يحاول المهندس المعماري إنشاء سطح منحني حر الشكل فإنه غالبًا ما يختار إنشاء تقريب دقيق للغاية من المثلثات. (Janiak, 2011)

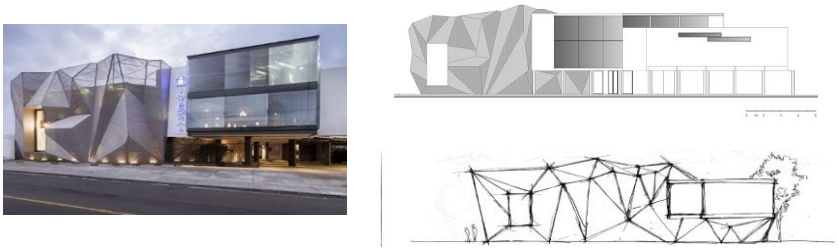
إذ تساعد هذه الشبكات المثلثة على عبور الرياح منها لتعطي للمبنى قوة تحمل هائلة، وهذا ما أفادت به الموسوعة العربية Arab (Encyclopedia, 2023) بأن الحسابات الأولى التي قام بها المهندسون اعتبرت مسألة الدفع الأفقي للرياح ومقاومة البرج لها هي المسألة الأساس في تصميم البرج.



شكل (1) برج إيفل Eiffel Tower

https://arab-ency.com.sy/ency/details/3080/4

وظل تأثير شبكة ديلوناي على العديد من مظاهر العمارة الحديثة، ومنها المبنى التجاري شكل (2) في الإكوادور، ونلاحظ بأن هذه الشبكات أعطت المبنى إضاءة طبيعية عالية، كما نلاحظ من خلال هذه النماذج أن شبكات ديلوناي Delaunay تعتبر مرنة في تعاطيها مع موجات الرياح ودخول الإضاءة ومرونة التصميم في الانحناءات، وهذا يجعلها تخدم مجال التصميم بقوة كفضاء تُبنى فيه المجسمات؛ كي تصبح دقيقة بما يكفي لدعم نتيجة التصميم أو المجسم ثلاثي الأبعاد؛ لأن البنية التي تتسم فيها بتقسيماتها المثلثة تعطي مساحات فضائية واسعة تسهم في بناء مجسم متماسك وبفراغات داخلية مناسبة لهيئته كاملة.



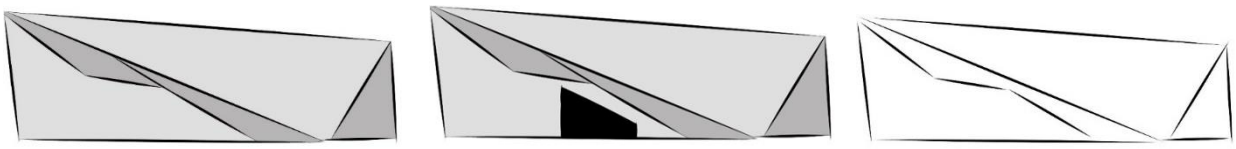
شكل (2) مجموعة صور المبنى التجاري في الإكوادور

https://al-ahwal.blogspot.com/2014/08/integral-iluminacion-commercial.html

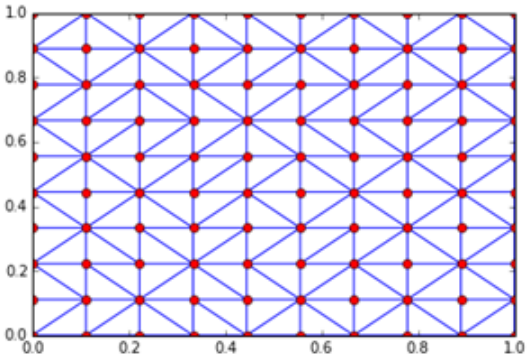
كما أن هناك مثالًا آخر استخدم شبكة مثلثات ديلوناي Delaunay، وهو مبنى المختبر المركزي في المدينة الجامعية للطالبات بجامعة الملك سعود بالرياض شكل (3)؛ إذ نلاحظ كيف تم تقسيم المبنى وفق نظام هندسة ديلوناي Delaunay في الهيكل الخارجي للمبنى شكل (4)، وكانت التفاصيل الخارجية لتكسية المبنى مستوحاة أيضًا من مثلثات ديلوناي بطريقة مبتكرة عصرية وحديثة مقسمة في فضاء الهيكل الخارجي شكل (5)، وشكل (6)، وشكل(7).

شكل (3) مبنى المختبر المركزي في المدينة الجامعية للطالبات بجامعة الملك سعود بالرياض

(تصوير الباحثة)

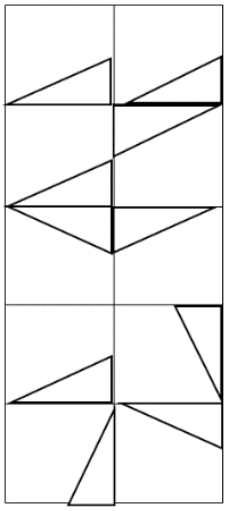


شكل (4) رسم تخطيطي للمبنى لتوضيح مثلثات ديلوناي Delaunay



شكل (5) شبكة مثلثات ديلوناي Delaunay

https://2u.pw/qA6X8n0W

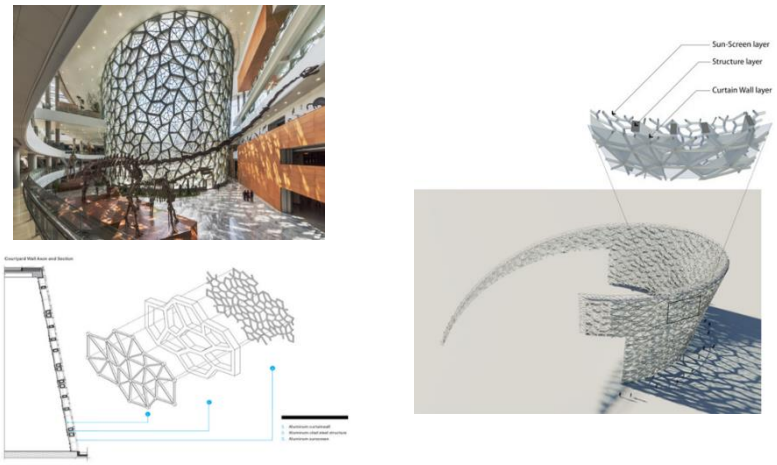


شكل (6) شبكة مثلثات ديلوناي Delaunay في تكسية المبنى

رسم تخطيطي (الباحثة)

شكل (7) تكسية مبنى المختبر المركزي في المدينة الجامعية للطالبات بجامعة الملك سعود بالرياض

اعتمدت العديد من المباني المعمارية على تصميم شبكة فورونوي Voronoi؛ حيث استفادت من هذا التصميم في جعل المباني أكثر مرونة وبمساحات تهوية انسيابية، ونلاحظ ذلك في متحف شنغهاي للتاريخ الطبيعي شكل (8).



شكل (8) مجموعة صور لمتحف شنغهاي للتاريخ الطبيعي، الصين

https://2u.pw/tpBLM

وهناك مثال آخر هو مشروع محطة مترو مركز الملك عبد الله المالي بالرياض شكل (9)؛ حيث نلاحظ بشكل واضح استخدام شبكة فورونوي Voronoi في الهيكل الخارجي للمحطة؛ مما يساعد على دخول الإضاءة الطبيعية بشكل كبير.

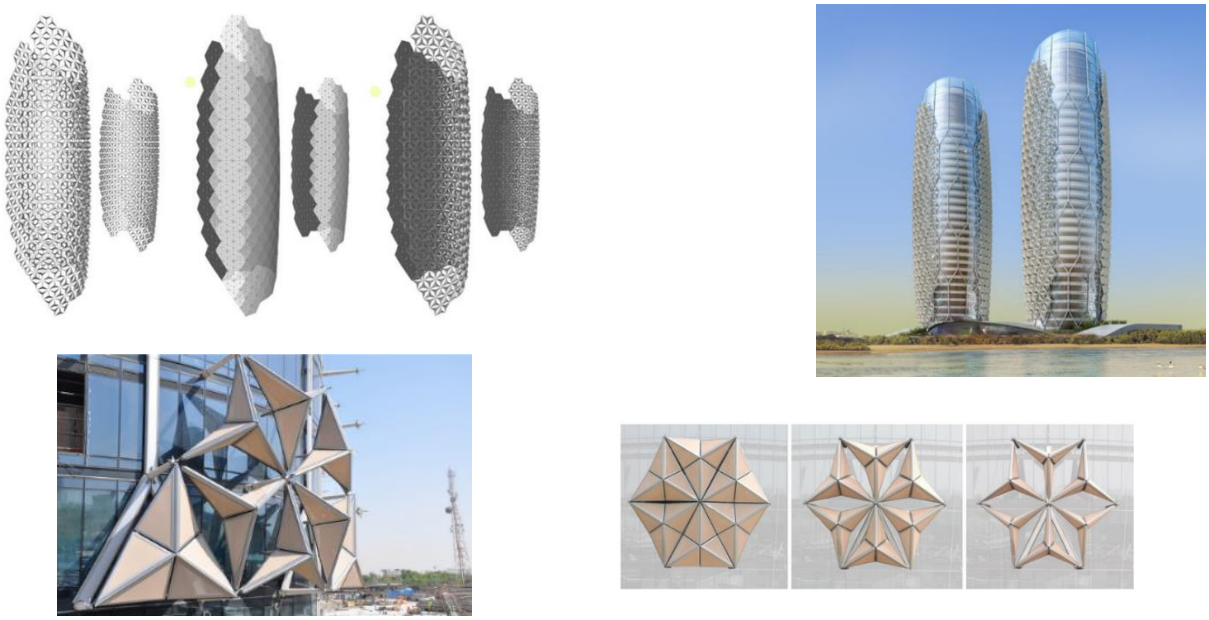
شكل (9) مجموعة صور مشروع محطة مترو مركز الملك عبد الله المالي، الرياض

/https://www.zaha-hadid.com/architecture/king-abdullah-financial-district-metro-station

اعتمدت الكثير من المباني على تكرار الشكل الهندسي بتكراره بشكل واضح وصريح كما في مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية شكل (10)؛ حيث تكرار الشكل الهندسي بتنوع أحجامه مع اختلافات بسيطة؛ لتعطي مزيدًا من الوحدة في تصميم الهيكل الخارجي، وليتناسب مع أجزائه الداخلية؛ ليصبح هناك تعايش من الخارج والداخل، والأخذ بالاعتبار كمية الإضاءة الداخلة للمبنى والتهوية الصحية. وهناك مثال آخر أيضًا، وهو أبراج البحر في أبو ظبي شكل (11)؛ حيث نلاحظ تكرار الشكل الهندسي بعدة نماذج تصب على هيئة نموذج واحد، وذلك بغلق وفتح مساحة الشكل الهندسي.

شكل (10) مجموعة صور مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية، الرياض

https://2u.pw/LBCX3pK5



شكل (11) مجموعة صور أبراج البحر، أبو ظبي

https://www.designboom.com/architecture/aedas-/al-bahar-towers

ومن الجانب الآخر، قد يكون تقسيم الشكل الهندسي إلى أشكال هندسية ذات شرائح أصغر كما في مبنى جالاكسي سوهو Galaxy Soho شكل (12)، وذلك بطرق مختلفة بحسب ما يخدم التصميم العام للمبنى.

شكل (12) جالاكسي سوهو Galaxy Soho , China

/https://parametric-architecture.com/10-noteworthy-works-of-zaha-hadid-zha

من خلال ما سبق نجد بأن مثلثات ديلوناي Delaunay تستخدم لدعامة المبنى من خلال التنسيق الذي تتكون منه ومن بنية هذه المثلثات حيث تساعد على عبور الرياح بكل سهولة دون تأثير على المبنى وقوامه، كما تساعد في دخول الإضاءة بشكل متزن وتمتاز هذه المثلثات بالمرونة في عمليات التصميم رغم أنها حادة في زواياها، وأيضا نجد بأن شبكات فورونوي Voronoi لها طابع انسيابي من خلال البنية التصميمية التي تتماثل مع الطبيعة مما يسهم في رفع كفاءة هذه الشبكة واستخدامها بمرونة في التصميم ومرونة في تهوية المبنى بالشكل المطلوب للمستخدمين، والاستفادة من الإضاءة الطبيعية للمبنى وخلق بيئة صحية، ونلاحظ بأن تقسيم الشكل الهندسي إلى أشكال هندسية ذات شرائح أصغر يساعد على سهولة الانحناءات المتكررة في التصميم مما يساعد في خلق مجموعة أفكار عديدة في التصميم الواحد، وكل ذلك يسهم في الوظيفة التي ستتاح من خلال إمكانات البنية التصميمة التي اختارها المصمم للمبنى والتي إما تعتمد على التهوية والإضاءة أو الغلق والفتح.

إجراءات البحث:

منهجية البحث:

المنهج المستخدم في البحث هو المنهج الوصفي التحليلي. وبناء عليه، تم اختيار ثلاث واجهات مباني تحت منهج التصميم البارامتري؛ وذلك لغرض تحقيق هدف البحث المتمثل بالكشف عن دور التصميم البارامتري في تصميم واجهات المباني، من خلال تحليل واجهات المباني.

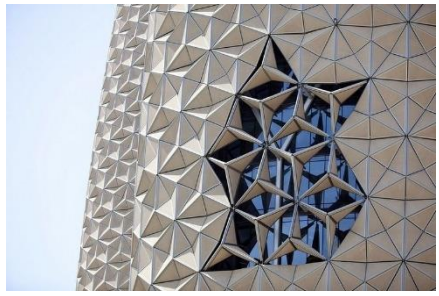
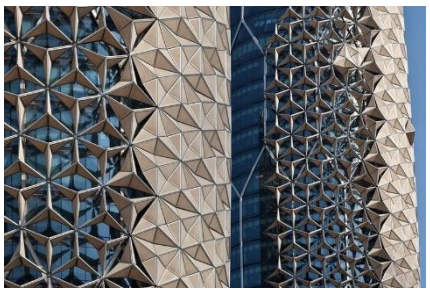
مجتمع البحث:

يعتمد مجتمع البحث على واجهات مباني ذات تصميم بارامتري في قارة آسيا.

عينة البحث:

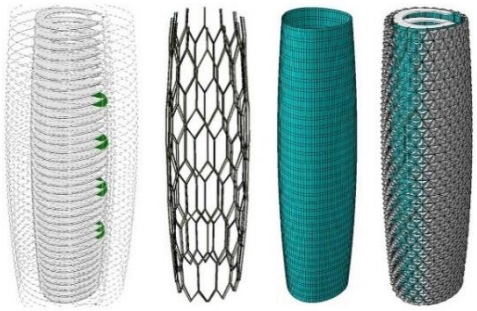
تعتمد عينة البحث على عينة قصدية لواجهات مباني تم اختيارها وفق المعايير التالية: نوع المبنى؛ حيث جميع المباني حكومية، والموقع الجغرافي؛ حيث جميعها في قارة آسيا (الرياض، أبو ظبي، شنقهاي Shanghai)، والفترة الزمنية ما بين 2012م إلى 2017م. وهذه المباني هي أبراج البحر في أبو ظبي بالإمارات العربية المتحدة، ومتحف شنقهاي للتاريخ الطبيعي في شنقهاي Shanghai بالصين، ومركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية في الرياض بالمملكة العربية السعودية.

وصف وتحليل واجهات المباني البارامترية:

مبنى (1) / معلومات المبنى:	
اسم المبنى: أبراج البحر-Al Bahr Towers	 **شكل (13)**
الموقع: أبو ظبي، الإمارات العربية المتحدة.	
المصمم: شركة معمارية دولية، إيداس.	
تاريخ الإنشاء: 2012م.	
بنيت الواجهة الخارجية للبرجين التوأمين أشكال (13)، و(14)، و(15)، المكونين من 29 طابقًا على ارتفاع 145 متراً، من الزجاج بشكل كامل، تم تغطية السطح الخارجي بهيكل واقٍ مكون من 2000 مظلة شمسية تُفتح وتُغلق تلقائيًا وفقاً لشدة أشعة الشمس، واستلهم تصميم البرج من "المشربية" التقليدية التي كانت تزين نوافذ البيوت العربية التقليدية منذ القرن الـ 14، هذا التصميم الهندسي الذكي للمشربية يوفر كلًا من الظل والخصوصية، وفي الوقت نفسه يسمح بإطلالة خارجية طوال الوقت، وهذه المشربية الديناميكية، تخفض نسبة الأشعة الشمسية التي تدخل المبنى إلى النصف؛ وبالتالي توفر الكثير من الطاقة الكهربائية التي يستهلكها التكييف. فضلًا عن ذلك، فإن قدرة المظلات على توفير الظل للمبنى دفع المهندسين المعماريين للاستغناء عن الزجاج الداكن الذي يحجب الضوء الخارجي في جميع الأوقات، فعمل ذلك على توفير الكهرباء التي تستهلكها الإضاءة في النهار. (Khadache, 2015)	 **شكل (14)**  **شكل (15)**
https://www.albayan.ae/editors-choice/asfar/2015-11-23-1.2512401	

الوصف:

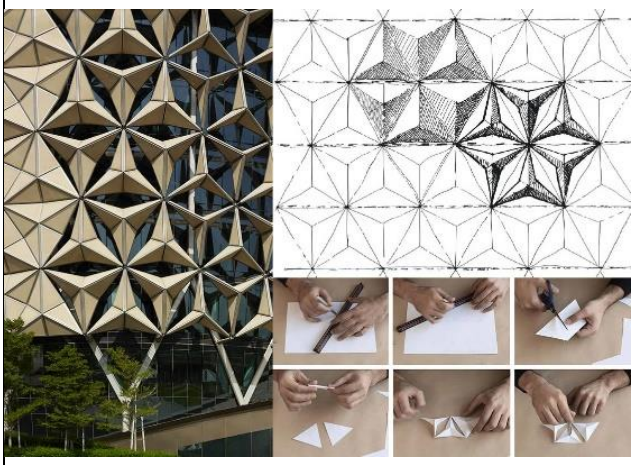
تتكون الأبراج من مجسمين من الشكل الأسطواني، يحتوي كلٌّ منهما على ثلاث طبقات شكل (16) الطبقة الأولى عبارة عن شكل لولبي يحدد بطبقات وهي أدوار المبنى، والطبقة الوسطى عبارة عن طبقة الزجاج، والطبقة الخارجية تحتوي على شبكة تشبه خلية النحل، وهي تحاكي خوارزمية فورونوي Voronoi البارامترية، وتغطي كل هذه الطبقات شبكة من المثلثات متساوية الأضلاع.



شكل (16)

https://2u.pw/FLLRSmf

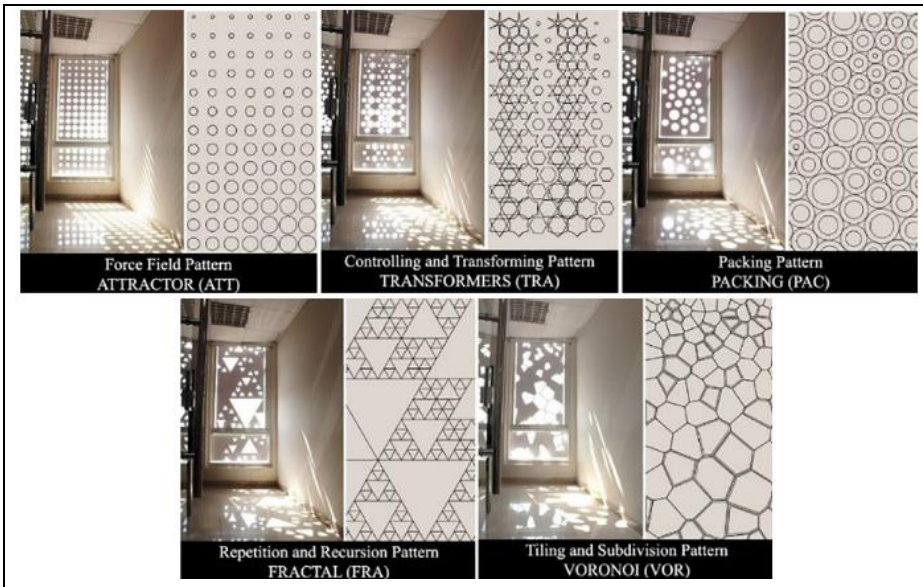
التحليل:



تعتمد واجهة مبنى أبراج البحر على الترتيب الرتيب والتكرار النمطي الذي يجعل من الأشكال ذات قوة متكاملة مع بعضها البعض؛ بحيث تسهل الحركة الديناميكة للمثلثات في الغلق والفتح. شكل (17) بحسب أشعة الشمس يعبر عن ديناميكة ومرونة التصميم البارامتري التي تعمل على تسخير الأشكال لتتناسب مع وظيفة الواجهة التي صُممت من أجلها.

شكل (17) Discussing the Design (2017)

وما يميز تنظيم الأشكال البارامترية الهندسية للمبنى هو مرونة هذا النوع من التصاميم؛ مما يسهم في تسهيل الحركة، وجعل الواجهة من الواجهات المتفاعلة. وغالبية الواجهات المتفاعلة تحتوي على أشكال هندسية متكررة ومتراصة تسمى الأنماط المتفاعلة كما في شكل (18)؛ حيث تسهم في تقليل حرارة المبنى الداخلية، وجعله مبنى يخدم في استدامة البيئة من خلال خفض تكلفة تبريد المبنى على مدار الوقت، كما أفادت في تهوية المبنى تهوية متزنة، وفي أوقات مناسبة لدخول تيار الهواء بمقدار يتناسب مع حركة تلك المثلثات الخارجية، فضلًا عن إضافتها منظرًا جماليًا بجانب الاستفادة الوظيفية، وهي تغيير مظهر الأشكال المثلثة من خلال الفتح والغلق، وإعطاء المبنى مظهرًا جماليًا مختلفًا في كل مرة تتغير فيها فتحات المثلثات؛ مما يكسر الشكل الروتيني للمباني.



شكل (18) (Rashwan, Ahmed & other, 2019)

مبنى (2) / معلومات المبنى:

اسم المبنى:
متحف شنغهاي للتاريخ الطبيعي -Shanghai Natural History Museum

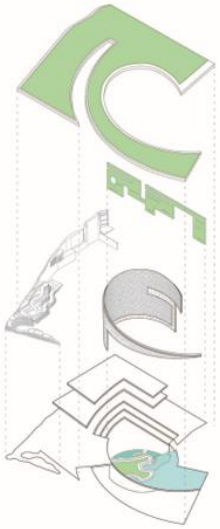
الموقع: شنغهاي Shanghai، الصين.

المصمم: Perkins and Will

تاريخ الإنشاء: 2015م.

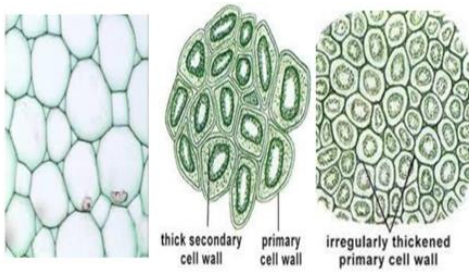
شكل (19)

يقدم المتحف في الأشكال (19)، و(20)، و(21) الذي تبلغ مساحته 44517 مترًا مربعًا للزوار، فرصة استكشاف العالم الطبيعي من خلال عرض أكثر من 10000 قطعة أثرية من جميع القارات السبع، ويشتمل المبنى على مساحات عرض، ومسرح رباعي الأبعاد، وحديقة عرض خارجية بارتفاع 30 مترًا، ويوفر المتحف أيضًا الضوء الطبيعي المرشح من خلال جدار زجاجي مذهل مستوحى من الهيكل الخلوي للنباتات والحيوانات، وتم استلهام الشكل العام وتنظيم المبنى من خلايا نباتية "قشرة نوتيلوس"، وهي واحدة من أنقى الأشكال الهندسية الموجودة في الطبيعة، وهو مبنى بيولوجي مناخي من حيث إنه يستجيب لأشعة الشمس باستخدام هيكل مبنى ذكي يزيد من ضوء النهار، ويقلل من

اكتساب الطاقة الشمسية، وتوفر بركة الفناء البيضاوي التبريد التبخيري، بينما يتم تنظيم درجة حرارة المبنى بنظام حراري جيوحراري يستخدم الطاقة من الأرض للتدفئة والتبريد، ويتم جمع مياه الأمطار من الأسطح المزروعة وتخزينها في البركة مع المياه الرمادية المعاد تدويرها، وجميع ميزات الطاقة في المتحف هي جزء من المعروضات التي تشرح قصة المتحف. (archdaily, 2015)	 شكل (20) شكل (21)
https://www.archdaily.com/623197/shanghai-natural-history-museum-perkins-will	
الوصف:	
يتكون المبنى من طبقات وأسطح متعددة شكل (22) أبرزها المسطحات الخضراء النباتية والجدران الزجاجية والمسطحات المائية؛ حيث الجدار الزجاجي يتكون من ثلاث طبقات هي الزجاج، وشبكة فورونوي Voronoi المتكررة التي تكوّن في تكراراها مجموعات فورونوي Voronoi بمقاسات مختلفة، وأخيرا طبقة من مثلثات ديلوناي Delaunay شكل (23). وجزء من المبنى أسفل سطح الأرض، والجزء الآخر فوق سطح الأرض، كما نلاحظ أن مساحة المبنى منتشرة أفقيًا أكثر من كونه مبنى عموديًا أو ذا ارتفاعٍ طولي، وهذا يجعل أسطح المبنى مختلفة في مستوى الارتفاع والانخفاض، وهناك تفاوتٌ ملحوظ بينها.	 شكل (22) https://2u.pw/WqOMMrT9

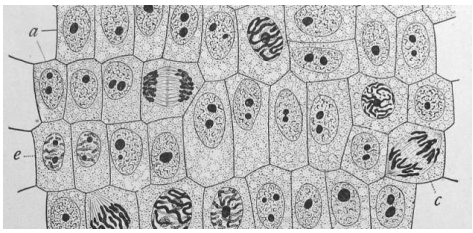
 شكل (23) https://2u.pw/Gx9rnaqy	
التحليل:	

تعتمد واجهة متحف شنقهاي للتاريخ الطبيعي على شبكة خوارزمية فورونوي Voronoi ومجموعاتها التي تحتوي شبكة فورونوي بفراغات كبيرة وأخرى بأصغر منها؛ مما يعطي من خلال تداخلها إحساسًا بالطبيعة، وكل ما هو طبيعي سواء في الخلايا النباتية شكل (24) أو خلايا الإنسان شكل (25)، وهذا ما يميز شبكة فورونوي Voronoi من كل خوارزميات التصميم البارامتري في كونها الأقرب للطبيعة البشرية والنباتية؛ لذلك صمم هذا المتحف بهذا النمط ليكون هناك ربط واضح بينه وبين الطبيعة، واحتواؤه على مسطحات خضراء ومسطحات مائية؛ لأن هذا يتناسب مع هيئة الخوارزمية الطبيعية. ودُمجت خوارزمية فورونوي Voronoi بمثلثات ديلوناي Delaunay لإعطاء المبنى دعامة أكبر؛ لأن مثلثات ديلوناي Delaunay تعتبر من أفضل أنواع الدعامات التي تدعم المباني؛ لما تحمله من تركيب تعتمد فيه كل وحدة على الوحدات التي تليها لتكوّن وحدة كاملة مدعمة للمبنى، وهذه المواصفات للطبقة الزجاجية تجعل منها مصدرًا جيدًا لإضاءة المبنى والاستفادة من الإضاءة الطبيعية شكل (26) دون الاعتماد على الإضاءة الصناعية في غالبية الأوقات؛ مما يجعل المبنى أقرب للطبيعة الخارجية له المتكونة من مسطحات خضراء ومسطحات مائية؛ لتعطي إحساسًا بالطبيعة، ليتجانس كل ما هو معروض في المتحف من معروضات عن التاريخ الطبيعي مع طبيعة تصميم المبنى.



شكل (24)

https://2u.pw/GNphtm4m



شكل (25)

https://2u.pw/2l4eDNP2

شكل (26)

https://2u.pw/7ZyK4bQ8

مبنى (3) / معلومات المبنى:

اسم المبنى:
مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية.

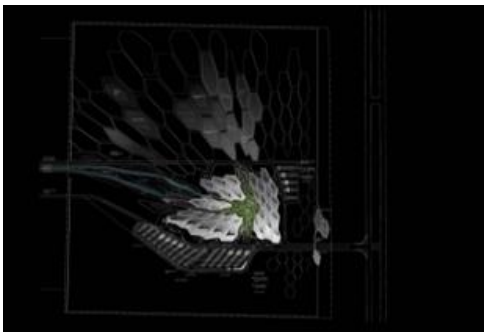
الموقع:
الرياض، المملكة العربية السعودية.

المصمم: زها حديد.

تاريخ الإنشاء: 2017م.

الفكرة التصميمة للمشروع هو إنشاء قطعة متكاملة فريدة من نوعها شكل (27)، تعبر باهتمامها الخاص للاستدامة. وكونها صديقة للبيئة؛ لذلك جرى التفكير في كل سمة من سمات المشروع من أجل تقليل استهلاك الطاقة، ويتم تدوير الهواء بشكل طبيعي، بمساعدة نظام معقد للغاية؛ حيث يتبنى تصميم المركز التوجهات التقنية والبيئية المعاصرة في محاولة لإيجاد منشأ قابل للتطور المستمر والتوسع المستقبلي، وهو مكون من خلايا الزيت التي تشبه البلورات سداسية الشكل شكل (28)، وشكل (29) مستوحاة من شكل البترول؛ بحيث يبدو من الخارج ككتل ضخمة تقي ما في داخلها، بينما تحتوي من الداخل على أفنية ذات نفاذية للهواء الخارجي. وهذه الخلايا السداسية التي يتكون منها المشروع ليست موحدة أو متكررة الشكل، بل صُمم شكلها حسب وضعها فيما بينها لاستجابة المتطلبات البيئية والتوزيع الداخلي من خلال استراتيجية تشكيل فضائية تعمل على تشكيل الفراغات الداخلية لمكونات المشروع وتوزيعها في الأماكن المناسبة لوظيفتها. (archdaily, 2015)

شكل (27)



شكل (28)

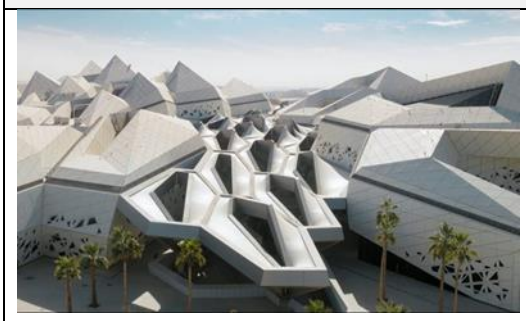
شكل (29)

https://www.archdaily.com/882341/king-abdullah-petroleum-studies-and-research-centre-zaha-hadid-architects?ad_medium=widget&ad_name=recommendation

الوصف:

يتكون المبنى من أشكال سداسية على شكل شبكة هندسية غير منتظمة مكررة عشوائيًا؛ بمعنى كل وحدة سداسية لا تشبه الأخرى، ولكن قريبة منها؛ بحيث تضمن الوحدات أن تكون متلاصقة لبعض أضلاعها من خلال احتواء فضاء ومساحات كبيرة لا نهائية شكل (30).

وكل وحدة تتكون من فراغات مثلثة تشبه مثلثات ديلوناي Delaunay البارامترية شكل (31)، كما تحتوي كل وحدة على جدار زجاجي يطل على جهة واحدة لكل الوحدات، يغطيه شبكة من المثلثات شكل (32).



شكل (30)

https://2u.pw/qne5174R

شكل (31)

https://2u.pw/63XL3lKB

شكل (32)

https://2u.pw/63XL3lKB

التحليل:

تعتمد واجهة مبنى مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية على الشكل اللانهائي الذي يستمر ويمتد في الفضاء الواسع؛ ليعطي فكرة التوسع والامتداد؛ بحيث يكون من السهل الزيادة في عدد الوحدات دون المساس بتركيبة المبنى الكلية، وذلك ما يسمح به التصميم البارامتري في تكرار الأشكال الهندسية غير المنتظمة، والتي قد تكون مستوحاة من الطبيعة؛ إما بطبيعة الرمال وامتدادها وتكونها واستمرارها شكل (33)، وإما أن تشبه تركيبة ريش الطاووس في تكراره واستمراريته شكل (34).

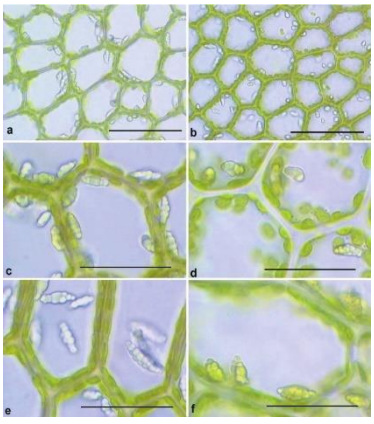
شكل (33)

https://sabq.org/stations/5fsqgx

من خلال بيانات المبنى السابقة، اتضح بأن المبنى مستوحى من خلايا الزيت النباتية شكل (35) التي تشبه تركيبة البترول أو النفط الكيميائية شكل (36)، وتتكون من أشكال سداسية متراصة مع بعضها، وهذا يولد انسجامًا مع المبنى؛ لأن له علاقة بالدراسات والبحوث البترولية أيضًا، وعلاقة هذه التصاميم الطبيعية والعضوية بتكوين وطبيعة التصميم البارامتري الذي يتناسب مع الطبيعة والاستمرار والتدفق، كما توفر في المبنى جدار زجاجي متجه في جانب معاكس عن أشعة الشمس غير المرغوبة؛ حتى يتم دخول إضاءة طبيعية غير مضرة ومريحة للمستخدمين داخل المبنى شكل (37).

شكل (34)

https://2u.pw/QFpvlhl2

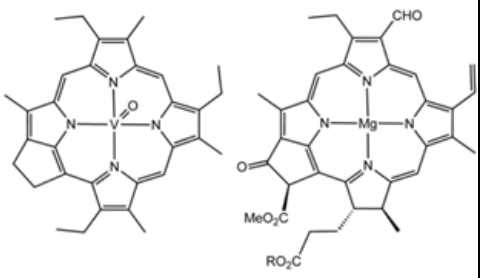


شكل (35)

https://2u.pw/zUk7FdsM

شكل (37)

https://2u.pw/HBSK9Tm



شكل (36)

https://2u.pw/W28qHWA0

ومن خلال ذلك يتضح بأن المبنى يساعد على الاستدامة وخدمة البيئة من خلال طريقة تهوية وإضاءة المبنى بطريقة طبيعية وحديثة؛ حيث الانحناءات في الوحدات توجه الهواء لمنطقة معينة تساعد على تهوية المبنى تهوية طبيعية من خلال أفنية بفتحات خارجية شكل (38).

شكل (38)

https://2u.pw/HBSK9Tm

الاستنتاجات:

يتضح مما سبق أن التصميم البارامتري في العمارة هو أسلوب تصميمي قائم على استخدام مجموعة من البارامترات لتحديد وتشكيل التصميم، معتمد على استخدام الخوارزميات وخيارات تصميمة أخرى ذات سرعة وكفاءة لتوليد مجموعة هائلة من الأفكار التصميمية التي تُمكّن المصمم من تحليل هذه الخيارات واختيار الأفضل بناءً على معايير مختلفة مثل الجمالية، والتحكم بالتغيير، وفق الحاجة، والكفاءة، والاستدامة.

بشكل عام، يعتبر التصميم البارامتري تطورًا مهمًا في التصميم المعماري؛ حيث يمكنه ضبط وتحسين المشاريع وتنمية الإبداع لدى المصمم، والفعالية والتفاعل في عملية تطوير المشاريع المعمارية كما يظهر في الجدول التالي:

المتغير	أبراج البحر	متحف شنقهاي Shanghai للتاريخ	مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية
الجانب الجمالي في التصميم	- تتكون من مجسمين منسجمين ومتشابهين وتعتمد على التكرار الرتيب. - مظهرًا جماليًا مختلفًا في كل مرة تتغير فيها فتحات المثلثات.	- طبقات عمودية متعددة من المسطحات المتنوعة غير الرأسية حيث مساحة المبنى منتشرة أفقيًا أكثر من كونه مبنى عموديًا. - ربط تصميم المبنى بالطبيعة والاستفادة من انحناءاتها ومرونتها. - اعتمد على مجموعات فورورنوي Voronoi التي تعطي جمال في تنويع المساحات الزجاجية الصغيرة والكبيرة معا.	- أشكال سداسية غير منتظمة ومترابطة من خلال التصاق أضلاع الأشكال بشكل غير رتيب بحسب البنية التي تتكون منها الوحدة المكونة للمبنى وهذا ات يبعث الملل للتصميم. - تصميم ممتد ومرن يخدم المصمم في عمل مجموعة كبيرة من الأفكار الجمالية النتعددة.
الجانب الوظيفي في التصميم	- تسهيل الحركة الديناميكة للمثلثات في الغلق والفتح. - تقليل حرارة المبنى الداخلية. - خفض تكلفة تبريد المبنى. - تهوية متزنة.	- المواصفات للطبقة الزجاجية من مجموعات فورونوي Voronoi تجعل منها مصدرًا جيدًا لإضاءة المبنى والاستفادة من الإضاءة الطبيعية. - دمج خوارزمية فورونوي Voronoi بمثلثات ديلوناي Delaunay أعطى المبنى دعامة أكبر؛ لأن مثلثات ديلوناي Delaunay تعتبر من أفضل أنواع الدعامات التي تدعم المباني.	- من السهل الزيادة في عدد الوحدات دون المساس بتركيبة المبنى الكلية. - أتجاه زجاج المبنى لجانب معاكس عن أشعة الشمس غير المرغوبة. - تمرير إضاءة طبيعية غير مضرة للمستخدمين من خلال الأشكال الهندسية الغير منتظمة.

النتائج:

1- توافق التصميم البارامتري مع الطبيعة أدى لوجود واجهات معمارية تلامس المجتمع فكريًا وثقافيًا وحضاريًا.

2- الشبكات المثلثة للتصميم البارامتري تساعد على عبور الرياح، وتجعل المبنى أكثر كفاءة.

3- شبكات ديلوناي Delaunay البارامترية أعطت المبنى إضاءة طبيعية عالية، وأسهمت في تحسين مستوى واجهات المباني المعمارية خارجيًا وداخليًا.

4- تصميم شبكة فورونوي Voronoi البارامتري جعل واجهات المباني المعمارية أكثر مرونة، وبمساحات تهوية انسيابية.

5- تكرار الشكل الهندسي للتصميم البارامتري، وبأحجام مختلفة، أدى إلى الوحدة في تصميم الهيكل الخارجي؛ ليصبح متناسبًا مع أجزائه الداخلية، ويحقق انسجامًا من الخارج والداخل.

6- تكرار الشكل الهندسي في فضاء واسع أعطى الإحساس بالاستمرارية واللانهائية للأشكال لتصبح تصميمًا متوالدًا لا ينتهي.

التوصيات:

1- إجراء المزيد من الأبحاث التي تركز على التصميم البارامتري؛ لما له من بناء تصميمي متعدد ومتنوع.

2- تشجيع الباحثين على دور التصميم البارامتري في واجهات المباني؛ لحل المشكلات التصميمية المرتبطة بوظيفة المبنى.

3- تشجيع المصممين على استخدام التصميم البارامتري في تصميم واجهات المباني؛ لحل المشكلات التصميمية المرتبطة بوظيفة المبنى.

4- حل مشكلات الفضاء الخارجي الواسع من خلال العلاقة المكانية بها مع النسيج الحضري لها.

Conclusions:

It is clear from the above that parametric design in architecture is a design method based on using a set of parameters to determine and form the design, relying on the use of algorithms and other design options with speed and efficiency to generate a huge set of design ideas that enable the designer to analyze these options and choose the best based on various criteria. Such as aesthetics, change control, according to need, efficiency, and sustainability.

In general, parametric design is an important development in architectural design; It can control and improve projects, develop the designer's creativity, and effectiveness and interaction in the process of developing architectural projects.

References:

1. Dongmei Z & Sung H (2019). *Simulation-Assisted Management and Control Over Building Energy Efficiency*, A Case Study.
2. Mostaf & other (2022). *Induction of Parametric Design Vocabularies for Achieving Architectural Design Features*, Journal of Engineering Sciences, Faculty of Engineering, Assiut University, 50 (3).
3. Salih & sleem (2019). *The role of parametric approach in design highest climatic performance buildings: local housing design patterns as a sample*, Planning and Development Magazine, University of Technology, Architectural engineering, 24 (2).
4. Bashi & Al-kazzaz (2021). *Parametric Customization of Single-Family Housing Designs Ain Al-Iraq Housing Complex as a Case Study*, Al-Rafidain Engineering Journal (AREJ), Architecture Engineering Department, College of Engineering, University of Mosul, 26 (2)
5. Nasir, Rehab Abdel Fattah (2013) *Future vision for interior design and furniture in the light of the concepts of Metaphoric Environmental Architecture*, Ph.D., Faculty of Applied Arts, Department of Interior Design, Helwan University.
6. Al-Saidi Islam Magdy (2018*). Parametrie Design as an Approach to Creativity and Organize Forms of Products,* Master Thesis, Faculty of Applied Arts, Department of Industrial Design, Helwan University.
7. Al-Saidi & other (2019). *Parametric Design as an Approach to Inspire Nature in Product Design,* Architecture and Arts Magazine, Industrial Design Department Faculty of Applied Arts Damietta University, 4 (14)
8. Abd Elnaby, Farag Mohamed (2020*). Parametric design of Smart buildings skin to raise the efficiency of sustainable design,* Engineering Research Journal 166, College of Engineering, Helwan University, AA75 – AA104.
9. Ayoub, Manal helal (2022*). Effect of the parametric system on designing methods of 3D sculptures,* Faculty of Applied Arts, Helwan University, 7 (6).
10. Wang, J., Li, J., & Chen, X.(2010). *Parametric design based on building information modeling for sustainable buildings*, Presented at the IEEE 2010 International Conference on Challenges in Environmental Science and Computer Engineering, PP. 236-239.
11. Suidan, Abeer Hamed (2016). *Parametric concept and its applications in interior design and furniture,* Fourth International Conference, Faculty of Applied Arts, Helwan University.
12. Al-Saidi, Islam Magdy (2018*). Parametrie Desigs an Apgeaek to Creativity and Orgae Farme of Pradsets*, Master's thesis, Faculty of Applied Arts, Department of Industrial Design, Helwan University.
13. Wanas, Ayser Fahim (2016*). Morphology parametric design as an approach to enrichment of the multi-surfaces forms*, Ph.D. dissertation, Faculty of Art Education, Helwan University.
14. Wanas, Ayser Fahim (2015). *Parametric Design Algorithms as An Approach to Enrich Constructive Concepts of Complex Structure*, Amsia Misr Association, Faculty of Art Education, Helwan University, Volume 1(4), 332 – 354.
15. Al Muhammed, Hessa Abdul Karim (2022). *Parametric Design and its Role in Enriching Contemporary Artworks,* Journal of Arts, Literature, Humanities and Social Sciences, , Volume (85)
16. Jabi, Wassim (2013). *Parametric Design for Architecture*. International Journal of Architectural Computing 11(4), 1st Publisher, Cardiff University.
17. Stralen, Mateus van (2018). *Mass Customization: a Critical Perspective on Parametric Design*, Digital
18. *Fabrication and Design Democratization.* 22nd Conference of the Ibero American Society of Digital Graphics, Brazil.
19. Shehab, Ayman Shawki (2023*). Parametricism: A Basis for a Comprehensive Design Approach in Architecture,* Master Thesis, Faculty of Engineering, Department of Architecture, Ain Shams University.
20. Buczkowska, Katarzyna (2010). *Morphological differentiation of Calypogeia muelleriana (Jungermanniales, Hepaticae) in Poland*. Article in Biodiversity Research and Conservation. Adam Mickiewicz University. From
21. https://intapi.sciendo.com/pdf/10.2478/v10119-010-0004-4
22. Rashwan, Ahmed and other (2019). *Evaluation of the effect of integrating building envelopes with parametric patterns on daylighting performance in office spaces in hot-dry climate.* Alexandria Engineering Journal. 58 (2). 551-557 from
23. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016819300365
24. Janiak, Tomasz (2011). Delaunay triangulation. Got back in 21 December 2023 from
25. https://tomaszjaniak.wordpress.com/2011/07/12/delaunay-triangulation/
26. Arab Encyclopedia (2023). Eiffel Tower. Got back in 21 December 2023 from
27. https://arab-ency.com.sy/ency/details/3080/4
28. Integral Iluminación Commercial Building. Jannina Cabal.Ecuador (2014). Got back in 24 December 2023 from
29. https://al-ahwal.blogspot.com/2014/08/integral-iluminacion-commercial.html

30. Delaunay triangulation with Scipy (2017). Got back in 25 December 2023 from
31. https://somethinglikethis577.wordpress.com/2017/06/19/delaunay-triangulation-with-scipy/
32. ArchDaily (2015). Shanghai Natural History Museum / Perkins+Will. Image: © James and Connor Steinkamp. Got back in 26 December 2023 from
33. https://www.archdaily.com/623197/shanghai-natural-history-museum-perkins-will
34. Hadid, Zaha (2012). King Abdullah Financial Center. Riyadh. Got back in 29 December 2023 from
35. https://www.zaha-hadid.com/architecture/king-abdullah-financial-district-metro-station/
36. King Abdullah Petroleum Studies and Research Centre / Zaha Hadid Architects (2017). Got back in 2 January 2024 from from
37. https://2u.pw/BPTfxvNt
38. Hudson, danny (2012). Aedas: al-bahr towers in abu dhabi. Got back in 3 January 2024 from
39. https://www.designboom.com/architecture/aedas-al-bahar-towers/
40. Sawantt, Saili (2021). 10 Noteworthy Works Of Zaha Hadid (ZHA). Got back in 5 January 2024 from
41. https://parametric-architecture.com/10-noteworthy-works-of-zaha-hadid-zha/
42. Khadache, Radiah Aiat (2015). "Al Bahar Towers" in Abu Dhabi is a smart design that follows the movement of the sun. Got back in 6 January 2024 from
43. https://www.albayan.ae/editors-choice/asfar/2015-11-23-1.2512401
44. Discussing the Design: An Indepth Look at the Design of the Al Bahar Towers in Abu Dhabi by Aedas (2017). Got back in 6 January 2024 from
45. https://2u.pw/FLLRSmf
46. Shanghai Natural History Museum Interior 2. Shanghai Natural History Museum Interior View with Glass Wall and Pupils Making a Picnic. Got back in 6 January 2024 from
47. https://2u.pw/Gx9rnaqy
48. Types of plant cells. Got back in 8 January 2024 from
49. https://2u.pw/GNphtm4m
50. Rabhi, Israa (2018). How many cells are in the human body. Got back in 8 January 2024 from
51. https://2u.pw/2l4eDNP2
52. King Abdullah Petroleum Studies and Research Centre (2022). Riyadh. Got back in 10 January 2024 from
53. https://2u.pw/qne5174R
54. Al-Arabiya (2016). King Abdullah Petroleum Studies and Research Centre. Riyadh. Got back in 10 January 2024 from
55. https://2u.pw/63XL3lKB
56. Hassan, Ayman (2020). Sand talk video, Do sand dunes really connect with each other in the desert. Got back in 11 January 2024 from
57. https://sabq.org/stations/5fsqgx
58. Peacock feathers. Got back in 13 January 2024 from
59. https://2u.pw/QFpvlhl2
60. Oil compound. Got back in 13 January 2024 from
61. https://areq.net/m/%D9%86%D9%81%D8%B7.html
62. King Abdullah Petroleum Studies and Research Centre (2017). Got back in 15 January 2024 from
63. https://2u.pw/HBSK9Tm
64. Discussing the Design: An Indepth Look at the Design of the Al Bahar Towers in Abu Dhabi by Aedas (2017). Got back in 17 January 2024 from https://2u.pw/FLLRSmf.