Specifications for Building a Parametric Model in Digital Architectural Designs

Aynoor Farik Alafandy **Dhuha Al-Kazzaz**

Department of Architecture, College of Engineering, University of Mosul

Dhuha_Kazzaz@yahoo.com Aynralafandy88@yahoo.com

Submission date:- 20/9/2018	Acceptance date:- 3/10/2018	Publication date:- 16/10/2018

Abstract

The construction of parametric model is an important stage in the digital design process in general and in the parametric design process in particular. The parametric model allows the designer to make changes and reshape the geometry without erasing and redrawing. It also helps to explore design alternatives as it provides a level of flexibility to be continuously evaluated, revised and updated when adding or altering different components within the same parametric model structure.

The research problem has been identified, as there is no clear definition of the specifications of constructing a parametric model in the contemporary digital architectural designs. Therefore, the objective of the research is to put forward a theoretical framework that defines clearly the specifications of building a parametric model. The framework describes the specifications using the following issues: the timing of constructing the parametric model, the knowledge employed in the construction of parametric model, the methods of constructing and revising a parametric model, The place where a parametric model is applied, and finally the number of parametric models within a design. The framework has been applied to six international projects adopting a parametric design approach. The results showed that employing parametric modeling mostly starts at the development stage of design and continues in the detailing and manufacturing stages, the adoption of ill-defined knowledge, the definition of design variables in terms of quantitative and qualitative characteristics, and using one parametric model shared among multiple design disciplines.

Keywords: Parametric design, Parametric model, Digital design, Exploration, Design alternatives, Revision.

Journal of University of Babylon for Engineering Sciences by ***University of Babylon*** is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

مواصفات إنشاء النموذج البارامتري في تصاميم العمارة الرقمية

أينور فريق سعيد الأفندي **ضحى عبد الغني القزاز**

قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة الموصل

Dhuha_kazzaz@yahoo.com Aynuralafandy88@gmail.com

الخلاصة

تعد عملية إنشاء النموذج البارامتري Parametric Modelمرحلة مهمة في عملية التصميم الرقمي بشكل عام وفي عملية التصميم البارامتري بشكل خاص. إذ يسمح النموذج البارامتري للمصمم بانجاز التغييرات وإعادة التشكيل الجيومتري دون محو وإعادة الرسم، وكذلك يساعد في استكشاف البدائل التصميمية حيث أنه يمتلك مستوى من المرونة يسمح بتحديثها باستمرار عند إضافة او تغيير او حذف أحد المكونات ضمن هيكل النموذج البارامتري.

تبلورت مشكلة البحث في عدم وجود تصور واضح حول الجوانب المتنوعة لمواصفات إنشاء النموذج البارامتري في تصاميم العمارة الرقمية المعاصرة. وعليه تحدّد هدف البحث في بناء إطار نظري يعرف بشكل أوضح مواصفات إنشاء النموذج البارامتري. إذ اشتمل الإطار على ست مفردات اساسية تعرّف كل من: توقيت إنشاء النموذج البارامتري، والمعرفة الموظّفة فيه، ومنهج إنشاء النماذج البارامترية، وأسلوب تنقيح بنية النموذج البارامتري، وموضع تطبيق النمذجة البارامترية، واخيرا تعددية النماذج البارامترية ضمن التصميم. وقد تمّ تطبيق الإطار على ستة مشاريع عالمية تتبنى المنهج البارامتري في تصاميمها، وتمّ تحديد خصوصية مواصفات إنشاء النموذج البارامتري فيها مثل البدء بتوظيف النمذجة البارامترية على الأغلب في مرحلة تطوير الأفكار التصميمية والإستمرار بالعمل به في مرحلتي وضع التفاصيل ثم التصنيع، وإعتماد المعرفة التصميمية الغير كاملة في إنشائه، وتعريف المتغيرات التصميمية بدلالة الخصائص الكمية والنوعية، وفي الغالب إستخدام نموذج بارامتري واحد مشترك بين التخصصات التصميمية المتعددة.

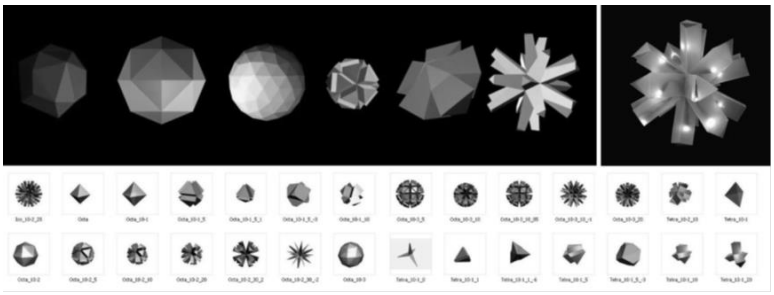
الكلمات الدالة: التصميم البارامتري، النموذج البارامتري، التصميم الرقمي، الاستكشاف، البدائل التصميمية، التنقيح.

1- المقدمة Introduction

يستخدم مصطلح البارامتر parameter في مجموعة متنوعة من التخصصات من الرياضيات الى التصميم. اذ يمثل البارامتر أي عامل قابل للقياس الذي يعرف النظام أو يحدد حدوده. ففي الرياضيات يعرف البارامتر بالكمية الثابتة في الحالة موضع الاعتبار [1, p.19]، وفي الإحصاء يستخدم هذا المصطلح لتوزيع البيانات [2, p.108]، ويعرفه قاموس العلوم بأنه "كمية أو عدد تعتمد عليه كمية أو عدد آخر"، وفي قاموس هايبر يتم تعريف البارامتر بأنه "أي عامل يحدد النظام ويحدد أدائه. وفي مجال العمارة تمثل البارامترات مكونات أساسية حتى وإن لم تكن معرّفة بذلك [3, p.17]. فالتصميم البارامتري parametric design يمثل عملية تصميم في بيئة تتسم بالتنوع والاختلافات في خصائص التصميم وعليه يتم استبدال التفرد بالتعدد [4, p.310]. وفي العقدين الماضيين أصبحت أنظمة النمذجة البارامترية Parametric Modeling (PM) أدوات قياسية للمساعدة في عملية التصميم في السياق الأكاديمي وفي الممارسة الواقعية. ففي البداية كانت نظم النمذجة البارامترية موظفة في صناعة الطيران ثم شقت طريقها إلى المجال المعماري بسبب قدرتها على وصف وإنتاج بدائل وحالات متعددة بمخطط لنموذج بارامتري واحد قادر على التفاعل والاستجابة للمتغيرات التي تفرضها البيئة المصممة أو وفقا لرغبة المصمم. إذ تتسم بالتوسّع في استكشاف التصميم في المراحل المبكرة من العملية التصميمية، كما توفر المرونة لتصميم الأجزاء والتجميعات ذات الطبيعة المعقدة، وتوفر نظم موثوقة لاختبار حالات التصميم المتنوعة الناتجة عن نموذج واحد [5, p.1]. وتؤكد الدراسات ان عملية إنشاء النموذج البارامتري تمثل مرحلة مهمة في عملية التصميم البارامتري. إذ تشير دراسة Oxman & Gu (2015) الى انه في مرحلة إنشاء النماذج البارامترية يضع المصممون المتغيرات وتدفق البيانات الرقمية ويقومون بضبط قيم البارامترات وتنقيح القواعد وفقا لذلك. وبدلا من طرق التكوين والتشكيل التقليدية للكيان نفسه، أصبح تصميم مجموعة القواعد التوليدية وعلاقاتها المنطقية يمثل محور التركيز الرئيسي للتفكير التصميمي، وبهذه الطريقة يمكن استكشاف المزيد من الحلول البديلة عن طريق تغيير بارامترات العلاقات المنطقية. [6, p.478] يتناول البحث إنشاء النموذج البارمتري بإعتباره العمود الفقري لعملية التصميم البارمتري.

2- إنشاء النموذج البارامتري Building Parametric Model

النموذج البارامتري Parametric Model (PM) هو تمثيل جيومتري للتصميم يحتوي على خصائص ثابتة وأخرى متغيرة. إذ تمثل الخصائص المتغيرة البارامترات التي يتم تعديلها دون مسح وإعادة رسم أي من مكوناته الجيومترية [7, p.36] فاستخدام النماذج البارامترية يجعل التغييرات في كيان التصميم أسهل ويمتلك القدرة على التكيف مع المستخدم والموقع كما موضح في الشكل (1) [8, p.850]. وقد مكنت النمذجة البارمترية من التقاط وترشيد قصد التصميم، وتصميم المباني وتطوير حلول البناء باستخدام عقلاني وأساس منطقي مسبق ومتكامل، ويمكن توليد بدائل التصميم المتعددة وتقييمها وفقا للمعايير المتنوعة واختيار أفضل الحلول [9, p.437]. وهناك العديد من الأدوات المتاحة التي تم تصميمها لإنشاء نماذج معمارية بارامترية منها برمجية Digital Project وبرمجية Generative Components. [10, p.2]



الشكل (1) التنوعات الجيومترية لكيان الإضاءة [8, p.850]

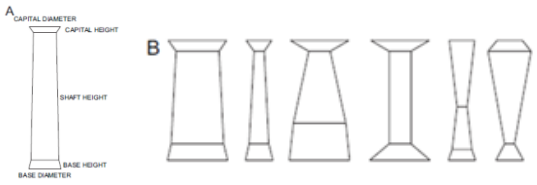
وفيما يلي عرض موجز لبعض الدراسات السابقة التي تناولت عملية إنشاء النموذج البارامتري.

2-1 دراسة Hernandez (2006a)

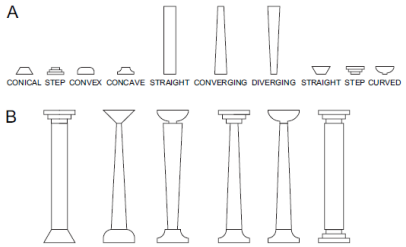
تقدم الدراسة إجراءات التصميم Design procedures (DP)كمنهج يعزز القدرة على تصميم نموذج بارامتري لانجاز التصاميم المتنوعة وذلك باستخدام الأشكال كبارامترات والتفكير بالتصميم البارامتري كإجراء عام. وتعتبر الدراسة أن إجراءات التصميم (DP) تمثل مجموعة من التعليمات المستخدمة في توليد حالات من التصاميم مع امكانية إجراء التغيرات والتحولات لكلا الخصائص الطوبولوجية والجيومترية. وتوضح الدراسة منهج إجراءات التصميم (DP) بتطبيقه على حالة دراسية لأعمدة كنيسة Sagrada Familia لتوليد التصاميم الأصلية مصحوبا بتصاميم جديدة. واشارت الدراسة الى أن إستخدام المصممون لبارامترات معلنة في تعريف الشكل يتطلب التفكير الدقيق من أجل بناء هيكل جيومتري متطور كجزء من نموذج معقد يكون مرنا بما فيه الكفاية لعمل التغيرات عليه، ولذلك يجب على المصمم توقع أي نوع من التغييرات يريد إستكشافها لتحديد اي نوع من التحولات ينبغي على النموذج البارامتري القيام بها. [4, pp.310]

وصنفت الدراسة النماذج البارامترية إلى نوعين: الأول يمثل نماذج لأجل التنويعات البارامترية Parametric Variations (PV) تعرف أيضا بأسم الهندسة الجيومترية المتغيّرة أو النماذج المقيدة وهو نوع من النموذج البارامتري المستند على طبيعة بيانية بارامترية لبناء الأشكال. إذ ينشيء المصمم النموذج الهندسي وتكون خصائصه هي بارامترات على أساس السلوك المرغوب فيه، وبالتالي إنتاج تمثيل لمخطط النمذجة البارامترية كما في الشكل (2). فالفكرة من نماذج التنويع البارامترية هي السيطرة على المكونات الهندسية الجيومترية عن طريق تغيير قيم البارامترات أو تقييدها من دون تغيير الخصائص الطوبولوجية[1] التي تمثل عدد العناصر وعلاقاتها. أما الثاني فيمثل نماذج لأجل التجميعات البارامترية Parametric Combinations (PC) الذي يتكون من سلسلة من الأشكال الهندسية الجيومترية التي تتنوع فيها عدد العناصر وعلاقاتها، إذ يتم ترتيبها وفقا للقواعد والأحكام لإنتاج هياكل أكثر تعقيدا، كما في الشكل (3). ويعرف ايضا بالنماذج الجيومترية الترابطية او النماذج العلائقية. [p.315]

[1] الطوبولوجيا:topology خصائص الكيانات التي لا تتأثر بالتغييرات في الهيئة أو الحجم.



الشكل (2) (A) مخطط النمذجة البارامترية وصف بارامترات العمود، (B) عائلة من التصاميم تبين ست حالات على أساس التنوع البارامتري، [4, p.312].



الشكل (3) (A) مكونات نموذج PC: القاعدة، العمود، التاج. (B) عائلة التصاميم المصنوعة من عمود نموذج PC [4, p.314].

يتضح مما تقدم ان دراسة Hernandez تطرح إنشاء نماذج بارامترية من تصاميم سابقة لتوليد تصاميم جديدة عن طريق اجراء التغيرات والتحولات لكلا الخصائص الطوبولوجية والجيومترية. وتعرف الدراسة نموذجين للتصميم البارامتري: يعتمد الأول على تغيير قيم البارامترات في السيطرة على المكونات الجيومترية، بينما يعتمد الثاني تغيير عدد العناصر وعلاقاتها وفقا للقواعد والأحكام.

2-2 دراسة Hudson(2010)

عرّفت الدراسة التصميم البارامتري بانه عملية تطوير النموذج الحاسوبي أو وصف المشكلة التصميمية ويستند هذا التمثيل على العلاقات بين الكيانات التي تسيطر عليها المتغيرات. فالنموذج البارامتري هو تمثيل لمشكلة التصميم التي يمكن وصف هيكلها المتمثل بالمهام والمتطلبات والقيود. وحالما يتم تحديد هيكل المشكلة أو جزء منها فانه يمكن إستخدام أداة أو برمجية معينة لإنشاء النموذج الذي يتضمن تطوير العلاقات بين العناصر الجيومترية وتجزئة المشكلة الى تجميعات ثانوية. وبعد إنشاء التمثيل فان المهمة تتضمن معالجة هذا النموذج أو تحوير الوظائف لتطوير الحل التصميمي المناسب، ويعتبر هذا بمثابة عملية الاستكشاف. فمن خلال توليد وتقييم التصاميم البديلة يبحث المصمم أجزاء من فضاء الحل، فتقييم كل بديل تصميمي ناتج عن النموذج البارامتري يوجه الى المزيد من الارشادات في فضاء الحل، أو قد يقترح تعديل في قيود ومتطلبات التصميم الأصلية. وقد يتطلب من المصمم البارامتري النظر في إجراء التقييم في وقت مبكر من مهمة إنشاء النموذج، حيث ينظر المصمم في كل من الطريقة التي يتم عمل التقييم فيها والطريقة التي تتم فيها الاستجابة بهدف إجراء التغييرات اللاحقة على النموذج. ويمكن اعتبار النموذج البارامتري كأداة اتصال لتبادل البيانات بين المصممين والمتخصصين في البناء، ويتطلب النموذج المشترك مستوى عال من التخطيط المسبق عبر التوافقات. فالنماذج المشتركة لديها الفرصة للحد من وجهة نظر المصمم المعماري بوصفه المؤلف الوحيد. [1, pp.23-73]

واشارات الدراسة الى وجود وجهات نظر متباينة حول توقيت توظيف التصميم البارامتري في عملية التصميم، فالرأي الاول يقترح أن التصميم البارامتري يجب أن يبدأ في أقرب وقت ممكن، ويمكن أن يساعد في تطوير التصميم، بينما يقترح الرأي الثاني ان النموذج البارامتري هو تقييد في الاستكشاف المستعرض للأفكار التصميمية، وأنه ينبغي أن يوظّف بعد مراحل التصميم المبكرة. [p.75]

وطرحت الدراسة عددا من النقاط التي تؤخذ بالإعتبار ضمن استراتيجية إنشاء النموذج البارامتري وهي: [p. 239]

• الحصول على الأفكار الأولية لإنشاء النموذج من المكتبة او الذاكرة أو استرداد الحالة السابقة.

• تحديد البارامترات الأساسية، فعند وضع النماذج ينبغي التفكير في البارامترات أولا ثم الشكل ثانيا.

• التعامل مع النماذج المبكرة على أنه يمكن التخلي عنها في حالة عدم صلاحها. وتوقع التطوير التدريجي للنموذج عن طريق اقتراح النقد والتعديل على النماذج المتعاقبة. الى جانب تجزئة النموذج وإعادة التقييم مع تقدم المشروع.

يتضح مما تقدم ان دراسة Hudson تعتبر النموذج البارامتري كتمثيل لمشكلة التصميم التي يمكن وصفها عن طريق تجزئة المشكلة وتطوير العلاقات بين المكونات الجيومترية والتي تؤدي الى استكشاف فضاء الحلول وتقييمها وتطويرها باستمرار. كما تشير الدراسة دور النموذج البارمتري كأداة للتواصل بين التخصصات المختلفة.

2-3 دراسة Turrin et al (2011)

يطرح الباحثون في هذه الدراسة الفوائد المستمدة من الجمع بين النمذجة البارامترية Parametric Modeling (PM) والخوارزميات الجينية Genetic Algorithms (GAs) لتحقيق عملية موجهة نحو الأداء في التصميم. ويعرّف الباحثون النمذجة البارامترية بأنها عملية جعل التمثيل الجيومتري للتصميم يتألف من المكونات والسمات البارامترية التي لديها القدرة على تمثيل كل من الكيانات الجيومترية وعلاقاتها على أساس ما يسمى الشكل الجيومتري الارتباطي associative geometry. وتنظم هذه العلاقات في سلسلة هرمية من التبعيات المنشاة خلال عملية وضع المعايير البارامترية الأولية. فاستنادا إلى التسلسل الهرمي الثابت يتم التعبير عن بعض السمات الجيومترية من خلال بارامترات مستقلة والتي تعمل كمدخلات للنموذج في حين أن سمات أخرى تتلقى بيانات منها وتكون متغيرة بشكل متبادل. ويتم الحفاظ على هذا الهيكل ليكون متسقا حتى لو تم التلاعب في النموذج وتؤدي التنويعات في البارامترات المستقلة إلى تكوينات جيومترية مختلفة لنفس النموذج وتسمى الحلول المختلفة للحالات. [11, pp.654,660]

وتطرح الدراسة اداة ParaGen بوصفها أداة تصميم بارامتري تستخدم GAs لاستكشاف التصاميم المتولدة عن النموذج على أساس معايير الأداء. وتستخدم الدراسة اداة ParaGen في تجربتين للتصميم الأدائي التجربة الاولى تصميم Radio Dome والتي تركز على استكشاف مورفولوجيا القبة على أساس الأداء الهيكلي. والتجربة الثانية تمثل تصميم سقف SolSt يهدف الى إستكشاف إمكانية السيطرة على الكسب الشمسي والإضاءة لهياكل الوحدات الكبيرة. [pp.664,666]

يتضح مما تقدم ان دراسة Turrin et al توظف النموذج البرامتري في التصميم الأدائي وتعرفه بدلالة الشكل الجيومتري الإرتباطي الذي يتكون من بارامترات مستقلة وأخرى معتمدة. وتطبق الدراسة النموذج البارمتري على أجزاء من التصميم المتمثل بالقبة والسقف.

2-4 دراسة Gallas *et.al.*,(2015)

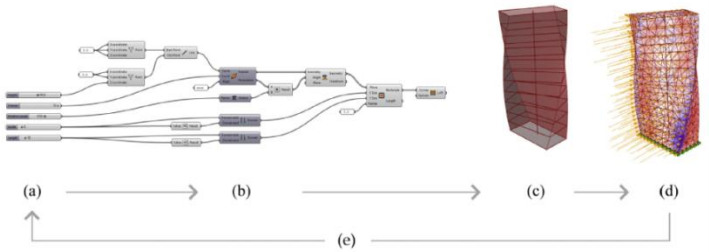
تشير الدراسة الى ان السمة المميزة للنموذج البارامتري هي الحاجة إلى إنشاء العلاقات المترابطة بين مكونات النموذج والحفاظ عليها. ويتم تعريف النموذج البارامتري من خلال مجموعة من العناصر غير المتجانسة (القيود الجيومترية أو العددية) التي وضعت لتشكيل شكل كلي ومتماسك، ويبتكر المنطق الذي يحكم تصميم النموذج البارمتري مجاميع العلاقات المعقدة كشبكة من الترابطات. ويمكن تحقيق التنوعات في المخرجات بواسطة تغير البارامترات المتضمنة في الهيكل التخطيطي للنموذج. وتناقش الدراسة استكشاف أساليب مختلفة لإنشاء نماذج التصميم البارامتري ونتائجها. وتقترح الدراسة عملية في ثلاث خطوات هي: خطوة التحليل (متعدد المستويات): تبدأ خطوة التحليل بتعريف العوامل الجيومترية والمادية والمنطقية والكيانات التي تميز الخصائص المختلفة للنموذج المطلوب تصميميه بارامتريا وتحديد كل سمة من سمات الشكل وعلاقاتها مع السمات الأخرى. ويتم دعم خطوة التحليل بفعالية الرسم التخطيطي sketching. تليها خطوة التنفيذ: إقترحت الدراسة طريقة لدعم ترجمة ونقل خطوات توليد النموذج البارامتري الناتج عن خطوة التحليل وذلك عن طريق ترجمة الرسومات التخطيطية التي تم تحليلها إلى إنسيابية عمل خوارزمي مادي مشابهة جدا للمخططات البيانية وتسمح هذه الطريقة بمستوى عال من التعديل والتقييم لانسيابية العمل البارامتري بعيدا عن التعقيد الذي تولده أدوات النمذجة البارامترية. وأخيرا خطوة التجريب: حيث يتم دمج ادوات النمذجة الأولية خلال خطوة التجريب للمساعدة على دمج القيود المادية أثناء عملية التصميم. [12, pp.150-153]

مما تقدم يتضح أن الدراسة تعرف بنية النموذج البارمتري كشبكة من العلاقات بين المكوناتات التي يتم تعريفها عن طريق القيود الجيومترية والعددية التي تنتج تصاميم متنوعة عن طريق تغيير البارامترات. وتقترح الدراسة ثلاث خطوات لعملية التصميم البارامتري وهي: التحليل والتنفيذ والتجريب. يتضمن التحليل إستخدام الرسوم التخطيطية sketches في تمثيل خطوات عملية النمذجة. بينما يستخدم طريقة مشابهة للرسوم البيانية أثناء عملية التنفيذ.

2-5 دراسة Harding and Shepherd(2017)

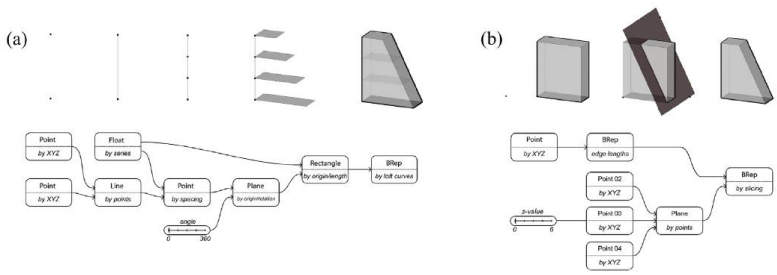
يرى الباحثان بأن أدوات التصميم البارامترية غير مناسبة للمرحلة المبكرة من عملية التصميم لأنها تقيد المصمم بنمطية واحدة، أو تستلزم إعتماد أكثر من طريقة لتعريف الشكل بارامتريا، فالوقت الطويل اللازم لإنشاء النماذج البارامترية المختلفة من الناحية الطوبولوجية هو أحد الأسباب التي تجعل تقنيات الرسم باليد sketching وصناعة النماذج المادية Physical models لا تزال تحظى بشعبية كبيرة في مرحلة وضع الفكرة التصميمية، حيث يمكن لعملية التصميم أن تقفز بين أنماط مختلفة تمامًا. وعلى الرغم من ذلك فإن استخراج الأداء الكمي يكون غالبًا صعبًا عن طريق الرسومات اليدوية والنماذج المادية مما يؤدي إلى التوجه نحو البدء في نماذج الحاسوب من اليوم الأول، وهذا التحول يدعمه التطور في نظام نمذجة معلومات البناء (BIM) لمرحلة التصميم المبكرة. [13, p.77]

وإقترح الباحثان منهجًا جديدًا يطلق عليه اسم Meta-Parametric Designلإنشاء النماذج البارامترية المولدة بشكل تلقائي في مرحلة التصميم المبكرة. يجمع هذا المنهج بين النمذجة البارامترية المستندة إلى الرسوم البيانية وبين البرمجة الجينية genetic programming. إذ تعتمد مجموعة فرعية من النمذجة البارامترية على برمجة تدفق البيانات لتربط البارامترات والوظائف لتشكيل الرسم البياني اللاحلقي المباشر Directed Acyclic Graph (DAG)2. ويوضح الشكل (4) مخطط بارامتري نموذجي يستند إلى DAG. [pp.73,74]



الشكل (4) التعريف البارامتري القائم على الرسم البياني اللاحلقي المباشر، [13, p.75].

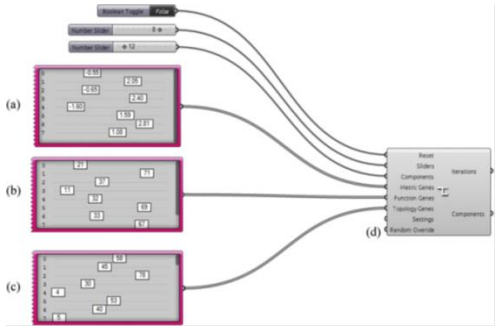
وتشير الدراسة الى تنوع العلاقة بين النموذج البارامتري ونتاجاته المتعددة، إذ يمكن إنشاء نموذج شكلي متطابق باستخدام تعريفات بارامترية مختلفة وكما موضح في الشكل (5).



الشكل (5) بالنسبة لنفس الشكل الأولي، تحديد بارامترين مختلفين يعطيان فضاءات تصميم مختلفة عند ضبط البارامترات، [13, p.77].

[2] Directed Acyclic Graph: يمثل رسم بياني لا يتضمن مسارات دائرية بين العقد.

ويعرّف الباحثان Embryo، البرنامج المساعد في Rhino Grasshopper الذي يطبق النماذج البارامترية. يمكن تقسيم توليد نموذج Grasshopper إلى ثلاثة أجزاء: البارامترات الخارجية (مثل أشرطة التمرير الرقمية، الشكل الجيومتري الخارجي، إلخ)، والمكونات في الشكل البياني Graph والهيكل الطوبولوجي الذي يربط المكونات، وكما هو موضح في الشكل (6). [p.80]



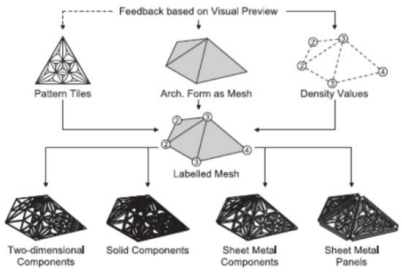
الشكل (6) مكون Embryo وبارامترات الإدخال، [13, p.81].

وتم تطبيق Embryo في تصميم مشروعين واقعيين لتوضيح مزايا هذا الأسلوب في توسيع استكشاف بدائل التصميم مع الحفاظ على فوائد التمثيل البياني. حيث يتم تطوير النماذج البارامترية لتتناسب مع إعداد الفكرة التصميمية للشكل الجيومتري باستخدام تحليل الشكل. ففي مشروع Tower Hamlets تم استخدام Embryo خلال مرحلة وضع الفكرة التصميمية. وتم تحديد البارامترات والقيود الخاصة بالمشروع وإنشاء النماذج البارامترية مبدئيًا باستخدام انماط جينية مولدة عشوائياً. وفي مشروع البرج المتعدد الاستخدامات تم استخدام التصميم المفاهيمي في (Grasshopper) كهدف لتطوير بديل مُولّد اليا. [p. 90]

يتضح مما تقدم ان دراسة Harding and Shepherd تعرض إمكانية إنشاء النماذج البارامترية في مرحلة التصميم المبكرة ليتم اجراء القياس الكمي أو تحليل الأداء. وتعتمد الدراسة التمثيل البياني اللاحقي في تعريف النموذج البارامتري الذي يتألف في حالة البرنامج المساعد Embryo من البارمترات والمكونات والهيكل الطوبولوجي الذي يربط المكونات.

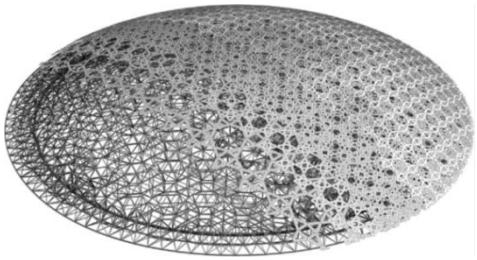
2-6 دراسة 2017 Wortmann and Tunçer

تناقش هذه الدراسة التصميم البارامتري Parametric Design (PD) في الممارسة المعمارية المعاصرة متمثلة بثلاث مشاريع معمارية معاصرة: The Future of Us pavilion، وThe Louvre Abu Dhabi، وMorpheus Hotel. وتمت مقارنة المناهج الحاسوبية للتصميم البارامتري PD لحالات الدراسة الى جانب التحليل والخوارزميات وهياكل البيانات كعوامل حاسمة في نجاح عملية النمذجة البارامترية المعقدة وكجوانب رئيسية للتفكير وفق PD. وتستخدم جميع الحالات المدروسة التصميم البارامتري مقترنا بنموذج رئيسي يتم مشاركته بين المهندسين المعماريين والاستشاريين والمقاولين. وفي جميع الحالات، يتم إنشاء هذا النموذج الرئيسي بارامتريا ويستخدم كأساس لمزيد من التطوير البارامتري والتوثيق الآلي والتصنيع المسبق المسيطر عليه عدديا. ففي مشروع The Future of Us (FoU) في سنغافورة تم تطوير النموذج البارامتري لقشرة الهيكل الشبكية ويوضح الشكل (7) تفاصيل كيانات النموذج من حيث المدخلات والمخرجات والخوارزميات التي تربطها. فمدخلات النموذج هي (1) شبكة مثلثة تمثل شكل وتركيب ألواح التصميم، (2) نمط الإكساء التي تحدّد نمط غلاف التصميم و (3) متطلبات كثافة الغلاف التي تمثل مجموعة النقاط. وقد سمح هذا النموذج البارامتري بمدى واسع من النواتج المتباينة للغاية. [14, pp.173-177].



الشكل (7) نظرة عامة على نموذج بارامتري للشبكة القشرية لمشروع FoU،[14, p.177].

وفي متحف اللوفر في أبو ظبي (LAD) تم بناء القبة من الفولاذ بنظام space frame وتزين على كلا الجانبين ب 8750 عنصر من عناصر الألمنيوم، تسمى "النجوم"، التي تشكل نموذجا لنسق الشكل العربي كما هو واضح في الشكل (8). ولا يعتمد نموذج LAD على الشكل الجيومتري الاساسي، بل هو رياضي بدقة وقد تم تعريف spaceframe الأساسي على أنه نموذج لهيكل باراميتري في مرحلة مبكرة من عملية التصميم، إذ يتم تخزين الشكل الجيومتري للغلاف في هيكل البيانات. [p.185]



الشكل (8) رسم تخطيطي لقبة متحف اللوفر في أبو ظبي يشير إلى spaceframe والطبقات الأربع من النجوم، [14, p.184]

اما فندق Morpheus فان شكله العام عبارة عن كتلة مستطيلة، يحتوي على فتحة كبيرة وشكل حر في مركزه، والذي يتم عبوره بواسطة جسرين للمشاة. ولتنسيق وعقلنة الهيكل الفولاذي والتغليف، وضع المهندسون المعماريون لزها حديد نموذجا بارامتريا فيGrasshopper . وبدلا من إنشاء الشكل الجيومتري للغلاف والوثائق بنموذج بارامتري واحد، اعتمد مكتب Front Inc نموذج بيانات موزعة يتألف من شبكة من مئات النماذج البارامترية وملفات الشكل الجيومتري. يقوم كل نموذج بارامتري بإجراء عملية واحدة فقط ويخزن نتيجة هذه العملية كشكل جيومتري، والتي تصبح مدخلاً لنموذج بارامتري آخر كما موضح في الشكل (9). [p.189]

الشكل (9) رسم تخطيطي "لنموذج البيانات الموزعة". تشير المربعات البيضاء إلى ملفات البيانات والشكل الجيومتري وتشير المربعات الخضراء إلى النماذج بارامترية[14, p.189].

يتضح مما تقدم ان دراسة Wortmann and Tunçer تعرض تجارب عملية متنوعة لإستخدام نموذج بارامتري مشترك بين المعماري والإختصاصات التصميمية الأخرى لأغراض توليد وتطوير التصميم وإعداد الوثائق والتصنيع المسبق. إذ تباينت

التجارب من حيث تفرد النموذج البارمتري أو تعدديته كما تباينت في مقياس التصميم الخاضع للنمذجة البارمترية بين جزء من هيكل المبنى المتمثل بالسقف أو على مستوى الهيكل الكامل.

يتضح مما تقدم أن الدراسات السابقة تباينت في تعريف مواصفات إنشاء النموذج البارامتري. إذ أفرزت جوانب متنوعة منها:

- **التنوع في المرحلة التصميمية التي يتم فيها إنشاء النموذج البارامتري.** أشارت دراسة Harding & Shepheredالى أن النمذجة البارامترية غير مناسبة للمرحلة المبكرة وتقيّد التصميم بنمطية واحدة ومع ذلك تعرض الدراسة إمكانية إنشاء النماذج البارامترية المولدة في مرحلة التصميم المبكرة. كما اشارت دراسة Hudsonالى إختلاف وجهات النظر بين الراي الاول الذي يقترح أن التصميم البارامتري يجب أن يبدأ في أقرب وقت ممكن ويمكن أن يساعد في تطوير التصميم، والرأي الثاني الذي يعتبر ان النموذج البارامتري ينبغي أن يوظّف بعد مراحل التصميم المبكرة. وإعتبرت دراسات أخرى أن النمذجة البارامترية هي عملية لتوليد وتطوير التصاميم مثل دراسة Hernandez ودراسة Turrin et al ودراسة Gallas et alواخيرا دراسة Wortmann and Tunçer.

- **التنوع في المعلومات التصميمية الداخلة في إنشاء النموذج البارمتري.** حيث تباينت الدراسات في تحديد نوع المدخلات البارامترية بين قيم رقمية او علاقات شكلية او خصائص شكلية، إذ أشارت دراسة Gallas, et alالى المدخلات كقيم رقمية اما دراسة Hernandez 2006a ودراسة Turrin et al 2011 فقد اشارات الى أن المدخلات البارامترية تمثل علاقات وخصائص شكلية. كما تباينت الدراسات في مصدر الحصول على المعلومات التصميمية، إذ أشارت دراسة Hudson, 2010 الى إنشاء النموذج البارمتري من المهام والمتطلبات والقيود التصميمية، بينما اشارت دراسة Gallas, et alالى انشاء النموذج البارامتري من الرسم التخطيطي اليدوي sketching، اما دراسة Wortmann and Tunçerفقد اشارت الى المواصفات (الوظيفية، والادائية، ...) كمصدر لانشاء النموذج البارامتري. كما تباينت الدراسات في أسلوب تمثيل المعلومات التصميمية في النموذج البارمتري.

- **التباين في أساليب تحقيق التنوع في التصاميم البديلة الناتجة عن النمذجة البارامترية.** حيث تنوعت الدراسات في تعريف أسس التباين والتي تتراوح بين تغيير قيم البارامترات مثل دراسة Hudson، ودراسة Turrin et al، أو إجراء التحولات على بنية النموذج البارامتري كما في دراسة Hernandez ودراسة Wortmann and Tunçer.

- **التنوع في موضع استخدام النموذج البارامتري.** إذ تباينت الدراسات بين تعريف النموذج البارمتري على مستوى التصميم ككل مثل دراسة.Gallas et al، ودراسةHarding & Shepherd، أو على مستوى أجزاء منه مثل دراسة Hernandez، ودراسة Hudson، ودراسة .Turrin et al، ودراسة Wortmann and Tunçer. إذ تراوحت الدراسات في استخدام النموذج البارامتري في كتلة المبنى او غلاف المبنى او الاعمدة او القباب او التسقيف.

- **التباين في عدد النماذج البارمترية الموظفة في التصميم الواحد.** إذ إعتمدت بعض الدراسات نموذج واحد مثل دراسة Hernandez ودراسة .Turrin et alودراسة .Gallas et al، بينما إعتمدت الدراسات الأخرى نماذج متعددة كما في دراسة Hudson، ودراسة Wortmann and Tunçer.

3- مشكلة البحث واهدافه

من خلال إستعراض الأدبيات في الفقرة السابقة يستنتج البحث الأهمية التي تحظى بها عملية إنشاء النموذج البارامتري ضمن عملية التصميم البارامتري. كما يمكن للبحث أن يبلور المشكلة المعرفية في الدراسات السابقة بعدم وجود تصور واضح حول المعرفة المتعلقة بالجوانب المتنوعة لمواصفات إنشاء النموذج البارامتري (الواقعة ضمن مهام المصمم المعماري) والقادرة على تحديد خصوصية النموذج البارامتري في تصاميم العمارة الرقمية المعاصرة.

وعليه تمحور هدف البحث في بناء إطار نظري يعرّف مواصفات إنشاء النموذج البارامتري. ومن ثم تطبيق الإطار النظري المستخلص على عدد من المشاريع المعمارية المعاصرة لاستكشاف خصوصية مواصفات إنشاء النموذج البارامتري فيها.

4- الإطار النظري لمواصفات إنشاء النموذج البارامتري

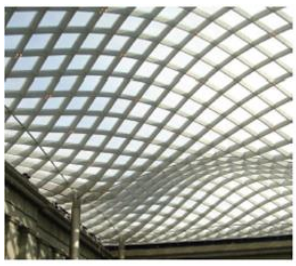
إعتمد البحث طيفا واسعا من الأدبيات (الوارد ذكرها في قائمة المصادر) التي تناولت أو أشارت الى مواصفات إنشاء النموذج البارامتري بوصفها أساسا في إستخلاص مفردات الإطار النظري. يتكون الإطار من ستة مفردات أساسية تتمحور حول جوانب عديدة وهي:

4-1 توقيت إنشاء النموذج البارامتري

يوجد تناقض واضح بين الباحثين عند مناقشة أية مرحلة في عملية التصميم يتم بناء النموذج البارامتري فيها، إذ يدعو Schnabel إلى استخدام الأدوات البارامترية لإيجاد الحلول في مراحل التصميم المبكرة، بينما يعتبر Hudson و Holzer et al. أنها مفيدة في مرحلة التطوير وليس في المراحل الأولى من عملية التصميم، في حين ان Schumacher ينظر إلى إمكاناتهم الإبداعية كأداة توليدية لأنماط الواجهة التي يمكن أن تزيد بشكل كبير "التعبير المعماري" لواجهات المباني [15, p.41]. ويشير Turrin, et al بأن النمذجة البارامترية تعزز هيكلة مبكرة لمشاكل التصميم من خلال إجبار المصمم على تفكيك جوانب التصميم المعقدة وعلاقاتها المتبادلة في مرحلة مبكرة. كما أنها تتحدى المصمم من خلال اشتراطها التفكير المجرد في وقت مبكر والتي تعتبر ان الدعم الحاسوبي لإعادة استخدام المعرفة خلال عملية تحديد البارامترات أمر بالغ الأهمية [11, p. 673]. كما ان استخدام النمذجة البارامترية للمساعدة في عملية التصنيع تُمكّن المصممين من إنشاء تسلسل هرمي معقد للغاية من الترابط يسمح بالتحسين المتكرر، أي تحسين الأبعاد في المشروع في جميع مراحل تطوره من التصميم المفاهيمي إلى البناء [16, p.96]. ففي مشروع برج St. Mary Axe الشكل (10) المصمم من قبل Foster وشركائه جرى تطبيق النموذج البارامتري في مرحلة مبكرة مما يعني امكانية تطويره بمشاركة الشكل الجيومتري وهذا بدوره يسهل التصميم التفصيلي والتصنيع والبناء. اما في كل من مشروعي Smithsonian Courtyard الشكل (11) و Elephant Houseالشكل (12) المصممان ايضا من قبل Foster وشركائه فقد كان إنشاء النموذج البارامتري في وقت لاحق حيث استخدمت الخوارزميات لنقل التصميم من نموذج CADالتقليدي وترجمته إلى نموذج بارامتري [1, pp. 89,232]. وفي مشروع مركز Kilden للفنون الأدائية في Kristiansand الشكل (13) المصمم من قبل ALA Architects فقد تم استخدام النظام البارامتري في عملية التصميم التفصيلي للوصول الى الأمثلية الأدائية لشكل السقف المنحني [17, p.214]. اما في مشروع السمكة الشكل (14) للمعماري Gehry فقد استخدمت برمجية Catia في تصميم السقف على شكل سمكة الذي مكن من العمل على نموذج رقمي بارامتري ثلاثي الأبعاد يرتبط بعملية الإنتاج والتصنيع. [2, p.111]

بناءا على ما تقدم يتضح بأن توقيت إنشاء النموذج البارمتري يتراوح بين إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة إقتراح الفكرة التصميمية، و (أو) إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة تطوير الفكرة التصميمية، و (أو) إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة التفاصيل، و (أو) إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة التصنيع.

الشكل (10) برج St. Mary Axe [1, p.85].



الشكل (11) Smithsonian Courtyard [1, p.89].

الشكل (12)Elephant House [1, p.94].

الشكل (13) مشروع مركز Kilden للفنون الأدائية في Kristiansand (المصدر[3] : الانترنيت)

الشكل (14) مشروع السمكة [2, p.112].

4-2 نوع المعرفة الموظفة في إنشاء النموذج البارامتري

يشير Hudson الى وجهة نظر Burry & Maher التي تؤكد على الحاجة الى تعريف عملية التصميم البارمتري منذ البداية، وتصف عملية تطوير النماذج البارمترية بانها "تصميم ذاتي المرجع meta design " أو "تصميم التصميم"[9, p.437]، وطرحت دراسة Hudson (2010) توجهات استراتيجية لتطبيق التصميم البارامتري في الممارسة العملية من ضمنها استراتيجية تطوير المعرفة واستراتيجية الحصول على المعرفة، فاستراتيجية تطوير المعرفة تطبق عند وصف مشكلة غير معروفة او معروفة بشكل جزئي [1, p.229]. ويقترح Hudson ان عملية تطوير النموذج البارمتري يمكن أن تبدأ بمعرفة غير كاملة للمشكلة ill-defined problem ويعتبر ان جزءا أساسيا من العملية يتمثل بالحصول على المعرفة حول المشكلة واستخدامها لهيكلة فضاء المشكلة [9, p.437]. وبخلاف ذلك يعتبر Cavieres, et al أن المعرفة تكون عادة ضمنية مخفية وراء الشكل الجيومتري في حالة التصميم بإستخدام الرسوم الورقية أو نماذج CAD الغير بارامترية حيث تكون القواعد التي تحدد العلاقات موجودة فقط في ذهن المصمم، بينما في حالة النموذج البارامتري يكون نظام القواعد صريحا ومتاحا في حين أن الشكل الجيومتري يمثل مجرد تمثيل له. [18, p.545,546]

يتضح مما تقدم تنوع المعرفة الممكن توظيفها في التصميم البارامتري من حيث دقتها ووضوحها والتي تتراوح بين الوصف الدقيق التفصيلي أو الوصف غير الدقيق وبين كونها معرفة واضحة أو ضمنية.

وتمثل البارامترات قيم رقمية، وعلاقات ويمكن أن تشمل حتى البارامترات الكرافيكية الموجودة في النموذج مثل (قطعة المبنى، سياق المبني، تقسيم الغلاف، ...) [10, p.2]. ويعتبر Aish أن التصميم البارامتري هو في الأساس حول إنشاء القواعد عن طريق تعريف العلاقات المناسبة بين مكونات التصميم. فالعديد من هذه العلاقات هي جيومترية في طبيعتها أو يمكن التعبير عنها في المصطلحات الجيومترية. [18, p.545]

مما تقدم يتضح ان نوع المدخلات البارامترية في النموذج البارامتري هي اما قيم رقمية، او علاقات شكلية، او خصائص شكلية.

طريق تعريف العلاقات المناسبة بين مكونات التصميم. فالعديد من هذه العلاقات هي جيومترية في طبيعتها أو يمكن التعبير عنها في المصطلحات الجيومترية. [18, p.545]

مما تقدم يتضح ان نوع المدخلات البارامترية تكون اما قيم رقمية، او علاقات شكلية، او خصائص شكلية.

ويصف Gero كيف يمكن ان تبدأ عملية التصميم باسترداد حالة مشابهة او بتعريف النموذج البدئي (prototype) اذ تعتمد حالة البدء على تحليل المصممين للمواصفات الوظيفية والتي يتم استردادها من الذاكرة أو على أساس حل موجود أو حل من مشكلة مشابهة. فاستخلاص التشابه بين المشكلة الحالية والحلول السابقة في ذاكرة المصممين تم وصفه على انه استدعاء معتمد على الحالة السابقة. ويكون استرداد الحالة من ذاكرة الإنسان او من المكتبات الشكلية مثل مستودع لأنماط التصاميم [19, p.203]. فالنماذج

[3] http://www.archello.com/en/project/kilden-performing-arts-centre

البدئية المقترحة من قبل Gero تمثل نقطة البداية حيث ان النموذج البدئي هو وسيلة لتمثيل المعرفة ولا ينظر إليه على أنه تصميم في حد ذاته ولكن وصف المشكلة المعقدة عن طريق تعريف الوظائف والقيود والمتطلبات باستخدام ثلاثة تصنيفات هي "الوظيفة والهيكل والسلوك" التي تشكل معا' النموذج البدئي للتصميم prototype. فالقدرة على استخدام جزء من الوصوفات أو كاملها مهمة فتصميم النموذج البارامتري يقوم على استرداد جزء من النموذج البدئي السابق أو كله. ويشير Kilianإلى أن عملية إنشاء نموذج التصميم أو التمثيل تمثل تجسيد الأفكار والتقاط الخبرة والتجربة [1, pp.54-62]. ويجب أن يوصف الكيان أولا بمجموعة من قواعد علاقات التبعيات الجيومترية والقيود التي تترجم بعد ذلك إلى نموذج رقمي بارامتري. فتحديد القيود هو جزء من تعريف القواعد ويتضمن جوانب مثل المواصفات المادية، وأحجام الأجزاء والمساحات، ولوائح التخطيط وما إلى ذلك. [8, p.850]

بناءا الى ما تقدم يتضح تنوع مصادر المعرفة حول المشكلة الخاضعة للتصميم البارامتري والتي تتراوح بين المعرفة المحددة وتتضمن القيم (إسترداد حالة مشابهة بشكل كلي أو جزئي، والنماذج البدئية Prototypes، أوالخبرة، ...)، والمعرفة الغير محددة والتي تتضمن المواصفات (الوظيفية، الادائية،....).

ويعتبر Oxman & Guأن التفكير التصميمي البارامتري أبعد من كونه مجرد تقنية رقمية جديدة فهو يمثل أكثر عن فهم الهياكل البارامترية للمعرفة التصميمية التي يمكن صياغتها وتمثيلها كمخطط بارامتري عام [6, pp.478,479]. وتطرح Oxman المخطط البارامتري parametric schema كنوع فريد من النموذج الرياضي التي تدعم العمليات الخوارزمية لتوليد الشكل. ويدعم المخطط البارامتري استراتيجيات توليد النماذج لاستكشاف الاختلافات مثل العلاقات الشكلية والتنظيم الهيكلي والحجم والأنماط الشكلية. كما يدعم المخطط البارامتري التباين الطوبولوجي الذي يمكن تطبيقه على كل من العملية والشكل. وبالتالي فإن عملية التصميم البارامترية تحتوي على جزأين: تصميم المخطط البارامتري لتصميم الحل المرغوب فيه والعملية التفاعلية لتعديل بارامترات المخطط من أجل البحث في عائلة من تصاميم الأنماط الفرعية [20, pp.11-14]. وتقدم معظم نظم التصميم البارامترية تمثيلات متعددة بما في ذلك التمثيل البياني المرئي visual graph للبيانات المرتكزة على تمثيل تدفق البيانات، والتمثيل الجيومتري وأحيانًا التمثيل عن طريق برنامج يستند إلى النص [21, p.149]. ففي بداية المشكلة يتم استخدام المخطط البيانيdiagram لتحديد القيود والبارامترات [1, p.231] وقد يبدأ التمثيل بوصف لفظي او رسومات يدوية أو رسومات CAD التقليدية [1, p.84]. كما يتم التعبير عن المعرفة التصميمية عادة عن طريق نظام القواعد التي تتحكم في النموذج [19, p.545]. وقد تم في ملعب Aviva تنفيذ آلية مراقبة عن طريق استخدام جدول البيانات spreadsheet التي هي بمثابة تمثيل للواجهة. [19, p.209]

بناءا على ما تقدم يتضح تنوع أساليب تمثيل المعرفة الموظفة في إنشاء النموذج البارامتري، والتي تتراوح بين التمثيل الجيومتري، والتمثيل عن طريق البرمجة النصية، وجداول البيانات الحاسوبية spreadsheet، والمخطط البارامتري parametric schema، والرسم البياني Graph، والمخطط البياني diagram، والقواعد Rules، وأساليب أخرى .

3-4 منهج تنظيم المعرفة الداخلة في إنشاء النماذج البارامترية

وصف الباحثان **Chaszar & Coenders** خيارين محتملين لتكوين النماذج البارامترية هما من الأعلى إلى الأسفل top-down او من الأسفل إلى الأعلى bottom-up. ففي منهج الأعلى إلى الأسفل يتم تعريف الشكل الجيومتري الشمولي الذي يحتفظ بمعلومات عن مواقع المكونات. اما منهج الأسفل إلى الأعلى فيبدأ بتعريف المكونات أو المجموعات الفرعية التي ترتبط لتشكيل الشكل الجيومتري الشمولي [1, p.57]. ففي منهج bottom-up يبدأ المصمم مع رسم تخطيطي sketch في الوسط الذي يريد إنشاء النموذج فيه، ومن ثم تقسيمه إلى أجزاء منطقية بحيث يمكن نمذجة كل جزء بسهولة. والخطوة الثالثة هي نمذجة الأجزاء ودمجها في تكوين كلي [22, p.188]. وتعد الأنظمة المنشاة على أساس الخاصية Feature-based systems منهجا للتصميم من الأسفل الى الأعلى bottom-upإذ يسمح بتوليد النماذج البارامترية التي تتكون من تجميعات من الأجزاء. [23, p.163]

يتضح مما تقدم ان معالجة المعرفة الداخلة في إنشاء النماذج البارامترية تكون اما وفق منهج الأعلى إلى الأسفل top-down او منهج الأسفل إلى الأعلى bottom-up.

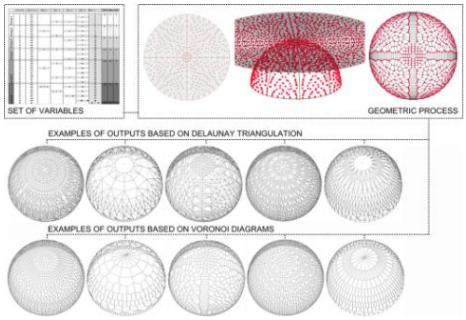
4-4 اسلوب تنقيح بنية النموذج البارامتري

يشير المهندسون المعماريون أن النماذج البارامترية تحسن قدرة المصمم على إجراء التغييرات وبالتالي تحسين قدرته على التصميم. فمن الناحية النظرية يمكن للمصمم تعديل بارامترات النموذج ويمكن رؤية التغييرات على التصميم على الفور. فالنماذج البارامترية تمثل طريقة لإنتاج الأدوات، أو تهيئة المعايير البارامترية، أو إنشاء تمثيلات التصميم التي تتغير بتغيير البارامترات. ويكون التركيز على إنشاء النموذج البارامتري والحفاظ عليه عن طريق بناء وصيانة العلاقات الصريحة داخل النموذج وهو ما يميز النمذجة البارامترية عن الأشكال الأخرى من تمثيل التصميم [24, p.48]. إذ يمكن أن يكون النموذج مرنا بما فيه الكفاية ليتم تقييمه باستمرار، وتنقيحه، وتحديثه إذا تم إضافة مكونات مختلفة، وتغييرها وحذفها ضمن نفس هيكل النموذج البارامتري [5, pp.1,2]. فاستخدام النماذج البارامترية لا يجعل التعامل مع التغييرات أسهل فحسب، بل يتيح أيضا إمكانية إحداث اختلافات في كيان التصميم بسهولة وتوفير القدرة على التكيف مع المستخدم والموقع [8, p.850]. ففي النموذج البارامتري ترتبط جميع إجراءات التصميم وأنشطته ببعضها البعض وتعرف بوضوح لذلك يمكن للمصممين العودة الى أي مرحلة ومراجعة وتنقيح البارامترات أو القواعد لتعديل تصميمها وهذا يسمح لهم منهجيا الإبقاء على عملية التصميم مفتوحة ومرنة [6, p.479]. فجوهر النمذجة البارامترية هو البارامیتر – المتغير الذي يؤثر على أجزاء أخرى من التصميم. ففهم كيف تؤثر البارامترات على التصميم هو جزء حاسم من عملية النمذجة. كما أن تغيير مجموعة كيانات عن طريق واجهة مستخدم منفردة يبسّط مهمة التفاعل. فعزل المعالجات إلى مكان بسيط بعيدا عن التفاصيل المعقدة للنموذج يعني أنه يمكن تغيير النموذج بسهولة أكبر [22, p.191]. ويمكن اعتبار إعادة تنقيح المخطط البارامتري (تكييف البارامترات داخل المخطط) عملية صريحة لإعادة التمثيل. وتميز Oxman بين التنقيح النمطي والتنقيح الطوبولوجي للمخطط البارمتري. إذ يختلف المنطق المعرفي لاستكشاف التنوعات في العمليات الإبداعية والمبتكرة بين التصميم النمطي والتصميم الطوبولوجي. ويمثل هذان النوعان من المنطق الفرق بين المخطط النمطي العام الذي يشير الى التصميم الاستكشافي للأنماط الفرعية عن طريق تغيير المتغيرات البارامترية مقابل المخطط الطوبولوجي الذي يشير الى نمط التصميم الاستكشافي الطوبولوجي لتنقيح الأنماط عن طريق تغيير قيم العلاقات الترابطية. [20, p.15,16]

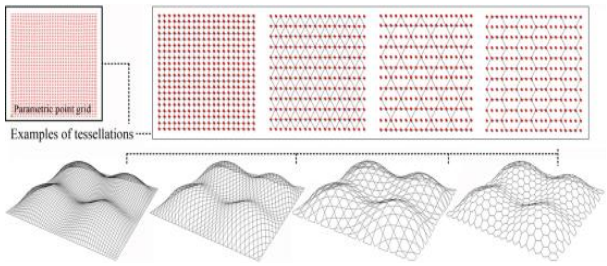
بناءا على ما تقدم، يتضح ان تنقيح بنية النموذج البارامتري يتم عن طريق الإضافة، او الحذف، او الاستبدال والتعديل. ويكون التنقيح اما بشكل مباشر على مستوى البارامترات أو مستوى الخصائص التصميمية أو مستوى العلاقات، او يكون بشكل غير مباشر على مستوى الخوارزميات أو الأحكام أو الأساليب الأخرى التي تتحكم في البارامترات.

4-5 موضع تطبيق النمذجة البارامترية

يتنوع موضع تطبيق النمذجة البارامترية في المشاريع المعمارية وحسب خصوصية كل مشروع. فقد تكون النمذجة على مستوى المشروع الكلي أو على مستوى أجزاء منه. إذ يشيرWoodbury الى أن المصمم يقسم التصميم إلى أجزاء منطقية، بحيث يمكن نمذجة كل جزء بسهولة، واخيرا بعد نمذجة الأجزاء يتم دمجها في تكوين كلي [22, p.188]. ويعتبر الباحثون Turrin et al أن النموذج البارامتري يستلزم أن يكون جزئيا، فعدم اكتماله يشير إلى ضرورة تقليل الكيانات المراد تمثيلها وكذلك الاتجاه الأحادي للعلاقات الجيومترية. فالحاجة إلى الحد من الكيانات في النمذجة البارامترية سببه أن التمثيل البارامتري الكامل للتصميم يستلزم درجة عالية جدا من الحسابات في توليد بدائل التصميم مما يؤدي إلى تقليص الإمكانيات الرئيسية للنموذج [11, p.661]. ففي تجربتهم العملية تم تعريف النموذج البارامتري بدلالة العوامل الجيومترية التي تؤثر على الشكل العام للسقف ونمط وكثافة هيكل وحداته وتشكيل نظام التغليف، الاشكال (15)، (16). [11, p.666]

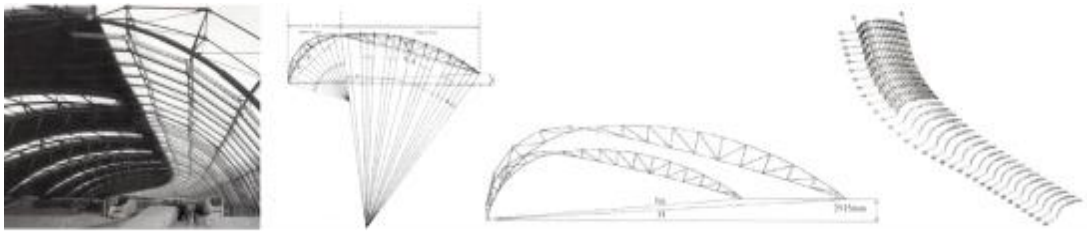


الشكل (15): هيكل النموذج Radio Dome البارامتري وأمثلة من الحالات، [11, p.667]



الشكل (16): أمثلة على أنماط الفسيفساء الهيكلية على أساس شبكة بارامترية من النقاط، [11, p.668]

كما أستخدمت النمذجة البارامترية للحلول التفصيلية وتصميم الهيكل الإنشائي. ففي تصميم محطة السكك الحديدية WATERLOO من قبل المصمم Nicholas Grimshaw وشركائه في عام 1993، تم تصميم نموذج بارامتري واحد لتصميم العناصر الهيكلية للسقف المنحني، والتي تتطابق مع التضاريس المتغيرة، والتي تختلف أبعادها وأشكالها عن بعضها البعض، وقد تم تحديد بارامترات مثل الحجم والموقع للأقواس الثلاث المفصلية التي تشكل هيكل السقف، الشكل (17). [25, p.241]



الشكل (17): محطة السكك الحديدية WATERLOO، الأقواس ال 36 المختلفة في ابعادها واشكالها، [25, p.241]

بناءا على ما تقدم يمكن أن نستخلص أن موضع تطبيق النمذجة البارامترية يكون اما على مستوى التصميم الكلي مثل (التصميم الحضري، والتصميم المعماري، والتصميم الانشائي)، او على مستوى جزء من المبنى مثل (كتلة المبنى، وغلاف المبنى، والمخططات، والواجهات، والأعمدة، والجدران، والأسقف، والفتحات، وأخرى). وتتراوح علاقة الجزء بالمبنى الكلي فقد يكون الجزء مرتبط بالكل او الجزء منفصل عن الكل.

4-6 تعددية النماذج البارامترية ضمن التصميم

يمكن للمصممين تحديد مجموعة كاملة من الكيانات الجيومترية داخل نموذج بارامتري واحد. ومع ذلك فإن تعريف النموذج البارامتري هو عملية تتطلب أن تدرس بعناية من وجهة نظر التصميم [26, p.44]. ففي تصميم برج Lotte Super يوظف المصمان نموذج رئيسي مبرمج حاسوبيا ببرمجية مستقلة للتحكم في الشكل وتركيب الألواح. ويرسخ هذا النموذج الرئيسي شبكة منظمة فضفاضة من البرامج النصية المستخدمة من قبل المعماريين والاستشاريين الهيكليين لتطوير هيكل البرج وواجهة البناء

[14, p.175]. ومن ناحية أخرى، قد يعمد المصمم البارامتري الى التفكيك الذي يعني تقسيم العملية إلى عمليات فرعية متعددة مع مجاميع متعددة من المعلومات. فبدلا من نموذج واحد كبير مع جميع البارامترات والقيود يتم إنشاء نماذج أصغر تحتوي على بارامترات وقيود أقل [27, p.384]. ففي فندق Morpheus بدلا من إنشاء الشكل الجيومتري للغلاف والوثائق الخاصة بالبناء في نموذج بارامتري واحد اعتمدت Front Inc نموذج بيانات موزعة يتألف من شبكة من مئات النماذج البارامترية وملفات الشكل الجيومتري، كل نموذج بارامتري يؤدي فقط عملية واحدة ويخزن نتيجة هذه العملية التي تصبح المدخلات لنموذج بارامتري آخر [14, p.189]. وكذلك في مشروع Smithsonian Courtyard تم توليد متزامن لتمثيلات متعددة مثل نموذج للتحليل الهيكلي، ونموذج المسطح المثلث للتحليل الصوتي، ونماذج مواضع عقدالإضاءة، ونموذج كامل لجميع عناصر السقف. إذ يتسم التصميم

بإمكانية التطوير المستقل لتصميم السقف والمكونات الفردية، فالشكل الجيومتري للسقف يكون حرا في التغيير دون التأثير على منطق مقطع الجسور. وعند إجراء تغييرات على النص البرمجي أو على التشكيل الجيومتري يمكن توليد نموذج رقمي جديد بسرعة. [28, p.48]

يتضح مما تقدم ان القيم الممكنة لمتغير تعددية النماذج البارامترية ضمن التصميم تتراوح بين إنشاء نموذج بارامتري منفرد، او إنشاء نماذج بارامترية متعددة منفصلة أو متصلة ببعضها البعض.

يعرض جدول (2) المفردات والمتغيرات لمواصفات إنشاء النموذج البارامتري.

جدول (2) مفردات مواصفات إنشاء النموذج البارامتري (الباحثة)

	مفردات الاطار	القيم الممكنة			
1	توقيت إنشاء النموذج البارامتري	إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة إعداد الفكرة التصميمية			
		إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة تطوير الفكرة التصميمية			
		إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة التفاصيل			
		إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة التصنيع			
2	المعرفة الموظفة في إنشاء النموذج البارامتري	دقة ووضوح المعرفة الموظفة في التصميم البارامتري	وصف واضح و دقيق (تفصيلي)		
			وصف ضمني غير دقيق (غير تفصيلي)		
		نوع المدخلات البارامترية	قيم رقمية		
			علاقات شكلية		
			خصائص شكلية		
		مصادر المعرفة حول المشكلة الخاضعة للتصميم البارامتري	المعرفة المحددة	إسترداد	إسترداد الحالة ككل
				حالة مشابهة	إسترداد الحالة كجزء
				النماذج البدئية Prototypes	
				الخبرة	
				أنماط تصميمية معروفة	
				الوصف اللفظي	
				رسومات CAD التقليدية	
				الرسم التخطيطي اليدوي sketching	
				النماذج المادية physical models	
				اخرى	
			المعرفة الغير محددة	المواصفات (الوظيفية ، الادائية ،...)	
				اخرى	
		اساليب تمثيل المعرفة	التمثيل الجيومتري		
			التمثيل عن طريق البرمجة النصية		
			جداول البيانات الحاسوبية spreadsheet		
			مخطط بارامتري parametric schema		
			الرسم البياني أو المخطط Graph or diagram		
			القواعد Rule		
			بيانات الإحداثيات coordinate data		

				اخرى
3	تنظيم المعرفة الداخلة في إنشاء النماذج البارامترية			منهج من الأعلى إلى الأسفل top-down
				منهج من الأسفل إلى الأعلىbottom-up
4	أسلوب تنقيح بنية النموذج البارامتري (التنقيح الشمولي)	الاضافة		مباشرة وتكون على مستوى البارامترات أو مستوى الخصائص التصميمية أو مستوى العلاقات
				غير مباشرة وتكون على مستوى الخوارزميات أو الأحكام أو الأساليب الأخرى التي تتحكم في البارامترات
		الحذف		مباشرة وتكون على مستوى البارامترات أو مستوى الخصائص التصميمية أو مستوى العلاقات
				غير مباشرة وتكون على مستوى الخوارزميات أو الأحكام أو الأساليب الأخرى التي تتحكم في البارامترات
		الاستبدال او التعديل		مباشرة وتكون على مستوى البارامترات أو مستوى الخصائص التصميمية أو مستوى العلاقات
				غير مباشرة وتكون على مستوى الخوارزميات أو الأحكام أو الأساليب الأخرى التي تتحكم في البارامترات
5	موضع تطبيق النمذجة البارامترية	تطبيق النموذج البارامتري على مستوى التصميم الكلي		التصميم الحضري
				التصميم المعماري
				التصميم الانشائي
				أخرى
		تطبيق النموذج البارامتري على مستوى جزء من التصميم	ماهية الجزء	كتلة المبنى
				غلاف المبنى
				المخططات
				الواجهات
				السقوف
				الفتحات
				الأعمدة
				التفاصيل البنائية
				أخرى
			علاقة الجزء بالكل	الجزء مرتبط بالكل
				الجزء منفصل عن الكل
6	تعددية النماذج البارامترية ضمن التصميم	إنشاء نموذج بارامتري مشترك		
		إنشاء نماذج بارامترية متعددة		نماذج بارامترية منفصلة عن بعضها
				نماذج بارامترية متصلة ببعضها

5- الدراسة العملية: خصوصية مواصفات إنشاء النموذج البارامتري في تصاميم العمارة المعاصرة

5-1 فرضيات البحث

- يتم إنشاء النموذج البارامتري في التصاميم المعاصرة على الأغلب في مراحل تطوير الأفكار التصميمية الموضوعة مسبقا ويستمر العمل به في مرحلتي التفاصيل والتصنيع.
- تتسم المعرفة الموظفة في إنشاء النموذج البارامتري في التصاميم المعاصرة على الأغلب بكونها واضحة ودقيقة.
- تتنوع مصادر المعرفة حول المشكلة الخاضعة للتصميم البارامتري بين المعرفة المحددة والمعرفة الغير محددة.
- يهيمن منهج الأسفل الى الأعلى bottom-up في إنشاء النماذج البارامترية.
- في الغالب يتم تنقيح بنية النموذج البارامتري في التصاميم المعاصرة عن طريق التعديل المباشر على مستوى البارامترات أو الخصائص التصميمية أو العلاقات التصميمية.
- يتم في الغالب تطبيق النموذج البارامتري على كلا مستويي التصميم الكلي والجزئي.
- يتم في الغالب إستخدام نماذج بارامترية متعددة متصلة ببعضها ضمن عملية التصميم.

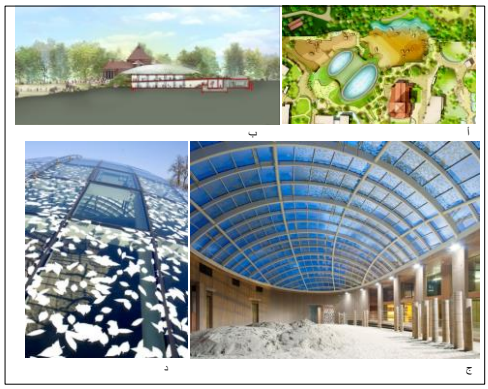
5-2 وصف العينات

تم انتخاب ستة مشاريع عالمية معاصرة لاستكشاف خصوصية إنشاء النموذج البارامتري فيها وهذه المشاريع هي:

المشروع الاول في الشكل (18) يمثل الملعب الرياضي الدولي Aviva الواقع فيDublin, Ireland والمصمم من قبل Populous & Scott Tallon Walker. وكان الهدف الرئيسي من المشروع هو إنشاء معلم حضري قادر على استضافة الأحداث على المستوى الدولي بسعة 50الف مقعد، وفي الوقت نفسه كان لا بد من إدارة مجموعة معقدة من القيود إلى جانب الاعتبارات البيئية لعملية البناء ودورة حياة المبنى. وقد ادت هذه السلسلة من المتطلبات والقيود إلى تطوير حلول مبتكرة جدا سواء بالنسبة للشكل المعماري أو للتخطيط الهيكلي [29, p.399]. وصفت عملية تطوير النموذج البارامتري عن طريق تنظيم سلسلة من التكرارات تمثل كل عملية تكرار اكتساب للمعرفة وكل واحد من هذه التكرارات يمكن ان يحلل الى سلسلة من الحلقات الأصغر. [19, p.204]

الشكل (18) تصميم Aviva Stadium، [30, p.28]

والمشروع الثاني في الشكل (19) يمثل بيت الفيل الجديد The New Elephant Houseالواقع في Copenhagen Denmark، والذي تم تصميمه من قبل Foster وشركائه. وتعد حديقة كوبنهاجن واحدة من اقدم حدائق الحيوان في اوربا، كما تعد من اكثر المؤسسات الثقافية شهرة في الدنمارك. وباستبدال هيكل يعود تاريخه إلى عام 1914، يسعى بيت الفيل الجديد إلى استعادة العلاقة البصرية بين حديقة الحيوان وحديقة كوبنهاجن وتوفير بيئة محفزة لهذه الحيوانات مع مساحات يمكن الوصول إليها بسهولة للاستمتاع بها [31, p.134]. تم تطوير نظام بارامتري كأداة تصميمية من قبل الفريق التصميمي لاستكشاف خيارات تصميمية عديدة الى مدى بعيد خلال مسار العملية التصميمة [32, p.119].



الشكل (19) صور توضح تصميم مشروع New Elephant House (أ) السياق العام، (ب) مقطع للمشروع، (ج) الفضاء الداخلي، (د) التزجيج على الالواح الزجاجية. (المصدر[4] : الانترنيت)

والمشروع الثالث في الشكل (20) يمثل Cayan (Infinity) Tower الواقع في دبي، والمصمم من قبل S.O.Mوهو مبنى سكني فاخر مكون من 75 طابقا مع شكل حلزوني على ارتفاع 306 متر. يقع بالقرب من مدينة دبي للإنترنت ونادي الإمارات للجولف والعديد من مقرات الشركات، ويوفر نموذج التواء البرج عددا أكبر من الوحدات مع اطلالة مرغوب فيها على دبي مارينا والخليج العربي، مع الحفاظ أيضا على التوجيه للمقيمين الذين يعيشون في المباني المجاورة، وضمان أن يعزز البرج موقعه الرائع على الواجهة المائية [33, p.173]. تم وضع نموذج بارامتري في Catia لتحسين الإدارة للطبيعة المعقدة للشكل الجيومتري والقدرة على استكشاف سلسلة مناهج من بدائل التصميم بشكل نظامي [34, p.297].

الشكل (20) صور توضح مخططات ومقطع والشكل الخارجي لمشروع برج Infinity، [33, p. 173,177].

اما المشروع الرابع في الشكل (21) فيمثل Lotte Super tower الواقع في Seoul - South Korea والمصمم من قبل S.O.M. وقد صُمم المشروع ليمثل اطول مبنى في قارة اسيا واطول مبنى في شبه الجزيرة الكورية، فضلا عن رابع اطول مبنى في العالم. يتكون الشكل الخارجي من الزجاج الملون الذي يستمد الالهام من الخزف الكوري الذي يتميز بلمسات تخريم الفضة مع المعادن، تم تصميم النظام الهيكلي لمركز وقشرة البرج للوصول الى ارتفاع شاهق، وتعمل الخرسانة المصبوبة في موقعها مع القشرة الفولاذية diagridالتي يعبر عنها بشكل ستائر متعددة الوحدات [32, pp.63,64]. وتم استخدام التصميم البارامتري في الوصف الإنشائي وفي عناصر التغليف المنطبقة عليها.[35, p.10].

[4] https://www.archdaily.com/1323/in-progress-elephant-house-foster-partners

الشكل (21) منظور عام لبرج Lotte Super tower، [32, p.65].

ويمثل المشروع الخامس في الشكل (22) مركز Hangzhou للتنس الواقع في Hangzhou, China المصمم من قبل شركة NBBJ بالتعاون مع شركة CCDI للتصميم الانشائي. وهو أحد المباني ضمن مشاريع الحديقة الاولمبية. يستخدم المبنى 220 ألف متر مربع لاستيعاب 10 الاف مقعد، [36, p.141]. استخدم مصممو هذا المبنى التصميم البارامتري لنمذجة غلاف المركز لسببين منطقيين: الأول لإيجاد تغليف قشري خفيف ومبتكر، والثاني للتقليل قدر الامكان من كمية الحديد المستهلك. وبدأت عملية التصميم البارامتري لمركز Hangzhou مباشرة بعد تحديد الشكل الجيومتري لغلاف الملعب. [37, pp.15,18]

الشكل (22) الشكل الخارجي لمشروع Hangzhou Tennis Center،[38, p.42].

واخيرا يمثل المشروع في السادس الشكل (23) متحف اللوفر (أبو ظبي) الواقع في ابو ظبي – الامارات والمصمم من قبل Jean Nouvel. ويعد المتحف جزءا من أكبر تجمع ثقافي في العالم في منطقة جزيرة السعديات الثقافية. ويغطي المبنى قبة كبيرة بقطر (180) م مثقبة بطبقات من أنماط الاغلفة المتداخلة التي من شأنها تصفية شمس الصحراء الحارقة على المباني وعلى معرض المتحف تحته، والتي تنشئ تأثيرات الاضاءة الديناميكية المبدعة الشكل (24) [39, p.163]. وتم اعتماد التصميم البارامتري لتوليد وتطوير واختبار الشكل الجيومتري لتشكيل الضوء لمكونات الغلاف ولإنتاج الوثائق الخاصة بالتصنيع الرقمي وتجميع الغلاف. [14, p.187]

الشكل (23) قبة متحف اللوفر (ابوظبي)

[30, p.30]

الشكل (24) تأثيرات الاضاءة الديناميكية" أمطار الضوء"

[40, p.792]

وبالرجوع الى الأدبيات التي وصفت المشاريع بالتفصيل، حدّد الباحثان قيم المتغيرات لمواصفات إنشاء النموذج البارامتري للمشاريع الستة وكما موضح في الجدول (3). وقد أرفقت استمارات القياس النوعي لجميع المشاريع الجداول (9-4) ضمن الملحق الخاص بالبحث.

جدول (3) قياس القيم الممكنة لمتغيرات إنشاء النموذج البارامتري في عملية التصميم لجميع العينات (الباحثة)

	مفردات الاطار	القيم الممكنة				Aviva Stadium	Elephent House	Infinity Tower	Lotte Tower	Hangzhou Tennis Museum	Louvre	يوجد=1 لا يوجد=0 %
1	**توقيت إنشاء النموذج البارامتري**	إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة اقتراح الفكرة التصميمية				0	0	1	0	0	0	16.6
		إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة تطوير الفكرة التصميمية				1	1	1	1	1	1	100
		إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة التفاصيل				1	1	1	1	1	1	100
		إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة التصنيع				1	1	0	1	1	1	83.3
2	**المعرفة الموظفة في إنشاء النموذج البارامتري**	دقة ووضوح المعرفة الموظفة في التصميم البارامتري	وصف واضح ودقيق (تفصيلي)			0	0	0	0	0	0	0
			وصف ضمني وغير دقيق (غير تفصيلي)			1	1	1	1	1	1	100
		نوع المدخلات البارامترية	قيم رقمية			1	1	1	1	1	1	100
			علاقات شكلية			1	1	1	1	1	1	100
			خصائص شكلية			1	1	1	1	1	1	100
		مصادر المعرفة حول المشكلة الخاضعة للتصميم البارامتري	المعرفة المحددة	إسترداد حالة مشابهة	إسترداد الحالة ككل	0	0	0	0	0	0	0
					إسترداد الحالة كجزء	0	0	0	0	0	0	0
					النماذج البدئية Prototypes	1	1	0	1	1	1	83.3
					الخبرة	1	0	0	1	0	0	33.3
					أنماط تصميمية معروفة	0	0	0	0	0	0	0
					الوصف اللفظي	1	0	0	0	0	0	16.6
					رسومات CAD التقليدية	1	1	0	0	1	0	50
					الرسم التخطيطي اليدوي sketching	0	1	0	0	0	0	16.6
					النماذج المادية physical models	0	1	0	0	0	0	16.6
					اخرى	0	0	0	0	0	0	0
			المعرفة الغير محددة	المواصفات (الوظيفية، الادائية، الشكلية،.)		1	0	1	1	1	1	83.3
				اخرى		0	0	0	0	0	0	0
		اساليب تمثيل المعرفة	جداول البيانات الحاسوبية spreadsheet			1	0	0	0	1	1	50
			التمثيل الجيومتري			1	1	1	0	1	1	83.3
			التمثيل عن طريق البرمجة النصية			1	1	0	1	0	0	50
			المخطط البارامتري parametric schema			0	0	0	0	0	0	0
			الرسم البياني أو المخطط Graph or diagram			0	0	0	0	0	0	0
			القواعد Rule			1	0	1	0	0	1	50
			بيانات الإحداثيات coordinate data			0	0	0	1	0	0	16.6

			اخرى	Geometry Method Statement	0	1	0	0	0	16.6
				الاظهار والرسومات	0	0	0	1	0	16.6
				الخرائط	0	0	0	0	1	16.6
3	**تنظيم المعرفة الداخلة في إنشاء النماذج البارامترية**			منهج من الأعلى إلى الأسفل top-down	1	1	1	1	1	100
				منهج من الأسفل إلى ألاعلى bottom-up	0	0	0	1	0	16.6
4	**تنقيح بنية النموذج البارامتري (التنقيح الشمولي)**	الاضافة		مباشرة وتكون على مستوى البارامترات أو مباشرة مستوى الخصائص التصميمية أو مستوى العلاقات	0	0	1	0	0	16.6
				غير مباشرة وتكون على مستوى الخوارزميات أو الأحكام أو الأساليب الأخرى التي تتحكم في البارامترات	0	0	0	1	1	50
		الحذف		مباشرة وتكون على مستوى البارامترات أو مستوى الخصائص التصميمية أو مستوى العلاقات	0	0	1	0	0	16.6
				غير مباشرة وتكون على مستوى الخوارزميات أو الأحكام أو الأساليب الأخرى التي تتحكم في البارامترات	0	0	0	0	0	0
		الاستبدال او التعديل		مباشرة وتكون على مستوى البارامترات أو مستوى الخصائص التصميمية أو مستوى العلاقات	1	1	0	1	0	66.6
				غير مباشرة وتكون على مستوى الخوارزميات أو الأحكام أو الأساليب الأخرى التي تتحكم في البارامترات	1	1	0	0	0	33.3
5	**موضع تطبيق النمذجة البارامترية**	تطبيق النموذج البارامتري على مستوى التصميم الكلي		التصميم الحضري	0	0	0	0	0	0
				التصميم المعماري	0	0	1	0	0	16.6
				التصميم الانشائي	1	1	1	1	0	83.3
				أخرى	0	0	0	0	0	0
		تطبيق النموذج البارامتري على مستوى جزء من التصميم	ماهية الجزء	كتلة المبنى	0	0	0	0	0	0
				غلاف المبنى	1	0	1	1	0	50
				المخططات	0	0	0	0	0	0
				الواجهات	0	0	0	0	0	0
				السقوف	0	1	0	0	1	33.3
				الفتحات	0	0	1	0	0	16.6
				الأعمدة	0	0	1	0	0	16.6
				التفاصيل البنائية	0	1	1	1	1	83.3
				أخرى	0	0	0	0	0	0
			علاقة الجزء بالكل	الجزء مرتبط بالكل	1	1	1	1	1	100
				الجزء منفصل عن الكل	0	1	0	0	0	16.6
6	**تعددية النماذج البارامترية ضمن التصميم**			إنشاء نموذج بارامتري مشترك	0	0	1	1	1	66.6
		إنشاء نماذج بارامترية متعددة		نماذج بارامترية منفصلة عن بعضها	0	1	0	0	0	16.6
				نماذج بارامترية متصلة ببعضها	1	0	0	0	0	16.6

6- النتائج

تنوعت نتائج مواصفات إنشاء النموذج البارامتري في المشاريع التي تم التقصي عنها في الجوانب التالية:

- في (83,3%) من المشاريع يكون توقيت إنشاء النموذج البارامتري في مرحلة تطوير الأفكار التصميمية ويستمر خلال مرحلتي وضع التفاصيل والتصنيع. وفقط في مشروع واحد (16,6%) يبدأ إنشاء النموذج البارمتري خلال مرحلة وضع الفكرة ويستمر خلال مرحلتي تطوير الفكرة ووضع التفاصيل. وتتوافق هذه النتيجة مع فرضية البحث والتي اشارت الى انه غالبا ما يتم إنشاء النموذج البارامتري في مراحل تطوير الأفكار التصميمية الموضوعة مسبقا ويستمر العمل به في مرحلتي التصميم التفصيلي والتصنيع.
- المعرفة الموظفة في بناء النموذج البارامتري
- من حيث دقة ووضوح المعرفة الموظفة في التصميم البارامتري كان نسبة الوصف الواضح والدقيق (التفصيلي) (0%) والوصف الضمني والغير دقيق (الغير تفصيلي) بنسبة (100%). ولا تتوافق هذه النتيجة مع فرضية البحث والتي اشارت الى ان المعرفة الموظفة في إنشاء النموذج البارامتري في التصاميم المعاصرة على الأغلب تكون واضحة ودقيقة.

- اما نوع المدخلات البارامترية فتمثل قيم رقمية وعلاقات وخصائص شكلية في المشاريع الثلاثة.

- وبالنسبة الى مصادر المعرفة حول المشكلة الخاضعة للتصميم البارامتري، فقد هيمنت النماذج البدئية Protoypes والمواصفات (الوظيفية، الادائية، الشكلية ...) بنسبة (83.3%)، ثم رسومات CAD التقليدية بنسبة (50%)، ثم الخبرة بنسبة (33.3%)، ثم الوصف اللفظي والرسم التخطيطي اليدوي sketching والنماذج المادية physical models بنسبة (16,6%) ، ولم تعتمد المشاريع الستة على إسترداد الحالة او الأنماط التصميمية المعروفة. وتتوافق هذه النتيجة مع فرضية البحث التي اشارت الى تنوع مصادر المعرفة حول المشكلة الخاضعة للتصميم البارامتري بين المعرفة المحددة والمعرفة الغير محددة.

- وفيما يتعلق باساليب تمثيل المعرفة، نجد أن استخدام التمثيل الجيومتري يمثل اعلى نسبة (83,3%)، ثم جداول البيانات الحاسوبية spreadsheet والتمثيل عن طريق البرمجة النصية والقواعد Ruleبنسبة (50%)، وقد استخدمت بيانات الإحداثيات coordinate data، والاظهار والرسومات، والخرائط بنسبة (16,6%). ولم يؤشر المخطط البارامتري والرسم البياني اي نسبة.
- تمّ إستخدام منهج الأعلى إلى الأسفل top-down في المشاريع الستة بنسبة (100%)، بينما تم استخدام منهج من الأسفل إلى الأعلى bottom-up في مشروع واحد فقط (16.6%). وتتوافق هذه النتيجة كليا مع فرضية البحث والتي اشارت الى ان منهج أعلى إلى أسفل top - down يهيمن في بناء النماذج البارامترية.
- يتم تنقيح بنية النموذج البارامتري (التنقيح الشمولي) عن طريق الاستبدال والتعديل في المشاريع الستة وبنسبة (66.6%) للتعديل المباشر و(33.3%) للتعديل الغير مباشر، وبلغت نسبة الاضافة المباشرة (16.6%)، والغير مباشرة (50%)، اما متغير الحذف المباشر فقد سجل نسبة (16.6%) ولم يستخدم متغير الحذف الغير مباشر في اي من المشاريع الستة. وتتوافق هذه النتيجة مع فرضية البحث التي توقعت انه في الغالب يتم تنقيح بنية النموذج البارامتري في التصاميم المعاصرة عن طريق التعديل على مستوى البارامترات أو الخصائص التصميمية أو العلاقات التصميمية.
- تمّ إنشاء النموذج البارامتري على مستوى التصميم الكلي وذلك بنسبة (83.3%) على مستوى التصميم الانشائي ونسبة (16.6%) على مستوى التصميم المعماري ولم يسجل متغير التصميم الحضري اي نسبة بسبب عدم إعتماد البحث لمشاريع ذات مقياس حضري، اما التطبيق على مستوى جزء من المبنى فكانت النسبة الاعلى في التفاصيل البنائية بنسبة (83.3%)، ثم غلاف المبنى بنسبة (50%)، ثم السقوف بنسبة (33.3%)، ثم الفتحات والاعمدة بنسبة (16,6%). وتتوافق هذه النتيجة مع فرضية البحث والتي اشارت الى أن إنشاء النموذج البارامتري يكون غالبا على كلا المستويين الكل والجزء.
- بالنسبة الى تعددية النماذج البارامترية ضمن التصميم فقد تمّ إنشاء النماذج البارامترية المتعددة في مشروعين فقط بنسبة (33.3%) وإنشاء النموذج البارامتري المشترك في أربع مشاريع بنسبة (66.6%).، ولا تتوافق هذه النتيجة مع فرضية البحث والتي اشارت الى غلبة التعدد في النماذج البارامترية المستخدمة ضمن عملية التصميم.

7- الاستنتاجات

ألقى البحث الضوء على أهمية إنشاء النموذج البارامتري في عملية التصميم. وقدم البحث تصورا حول مواصفات إنشاء النموذج البارامتري ضمن إطار نظري يعرف ستة مفردات رئيسية متمثلة بتوقيت إنشاء النموذج البارامتري، والمعرفة الموظفة في إنشاء النموذج البارامتري، ومنهج إنشاء النماذج البارامترية، وتنقيح بنية النموذج البارامتري، وموضع تطبيق النمذجة البارامترية، واخيرا تعددية النماذج البارامترية ضمن التصميم.

ويمكن إيجاز أبرز الإستنتاجات الخاصة بمفردات الإطار النظري بما يلي:

- وضح الإطار النظري التنوع في توقيت إنشاء النموذج البارامتري والذي يتراوح بين إنشاء النموذج البارامتري في مرحلة إعداد الفكرة التصميمية و(أو) في مرحلة تطوير الفكرة التصميمية و(أو) في مرحلة التفاصيل و(أو) في مرحلة التصنيع.
- وصف البحث المعرفة التصميمية الموظفة في إنشاء النموذج البارامتري بدلالة عدة متغيرات هي: دقة ووضوح المعرفة الموظفة في التصميم البارامتري والتي تتراوح بين الوصف الواضح والدقيق (التفصيلي) او الوصف الضمني غير الدقيق (غير التفصيلي). ونوع المدخلات البارمترية التي تتراوح بين كونها قيم رقمية أو علاقات أو خصائص شكلية. ومصادر المعرفة حول المشكلة الخاضعة للتصميم البارامتري والتي تتراوح بين المعرفة المحددة التي يمكن الحصول عليها من (إسترداد حالة مشابهة، والنماذج البدئية prototypes، والخبرة، وأنماط تصميمية معروفة، والوصف اللفظي، ورسومات CAD التقليدية، والرسم التخطيطي sketching، والنماذج المادية physical models)، والمعرفة الغير محددة والتي تتمثل بالمواصفات (الوظيفية، والادائية،). كما يتم تمثيل المعرفة باساليب متنوعة مثل جداول البيانات الحاسوبية spreadsheet، والتمثيل الجيومتري، والتمثيل عن طريق البرمجة النصية، والمخطط البارامتري parametric schema، والرسم البياني diagram، والقواعد Rule، وبيانات الإحداثيات coordinate data.
- يتم تنظيم المعرفة التصميمية الداخلة في إنشاء النماذج البارامترية إما وفق منهج ينتقل من الكل الى الأجزاء أي من الأعلى إلى الأسفل top-down، أو وفق منهج ينتقل من الأجزاء الى الكل أي من الأسفل إلى الأعلى bottom-up.
- يتسم التصميم البارامتري بإمكانيه تنقيح بنية النموذج البارامتري عن طريق الاضافة او الحذف او الاستبدال والتعديل والتي قد تكون مباشرة على مستوى البارامترات أو على مستوى الخصائص التصميمية أو على مستوى العلاقات، وقد تكون غير مباشرة على مستوى الخوارزميات أو الأحكام أو الأساليب الأخرى التي تتحكم في البارامترات.
- يتنوع إنشاء النموذج البارامتري بين التصميم الكلي الحضري أو المعماري او الإنشائي أو أجزاء منه.
- امكانية استخدام نموذج بارامتري مشترك بين جميع التخصصات او استخدام نماذج بارامترية متعددة والتي قد تكون منفصلة عن بعضها او متصلة ببعضها.

اما الإستنتاجات الخاصة بالدراسة العملية فقد تمحورت حول التالي:

- اظهرت الدراسة العملية انه غالبا ما يتم إنشاء النموذج البارامتري في مرحلة تطوير الفكرة التصميمية ويستمر العمل به خلال مرحلة التفاصيل وصولا الى مرحلة التصنيع. وتتوافق هذه النتيجة مع الآراء التي طرحتها دراستي Harding & Shephered 2017 وHudson 2010 بخصوص عدم صلاحية التوجه البارمتري في إنتاج الأفكار لإفتقاره الى الإستكشاف المستعرض للأفكار التصميمية.
- تتسم دقة ووضوح المعرفة الموظفة في التصميم البارامتري بانها ضمنية وغير دقيقة حيث ان وصف المشكلة يكون غير كاملا وتتوافق هذه النتيجة مع رأي Hudson الذي يقترح بان عملية تطوير النموذج البارامتري يمكن أن تبدأ بمعرفة غير كاملة للمشكلة ill-defined problem. وهذا الإستنتاج يبدد التصورات لدى البعض من أن إعتماد الحاسوب في التصميم يستوجب مشاكل تصميمية معرفة جيدا well-defined problem.
- تتنوع المدخلات البارامترية المعتمدة في إنشاء النموذج البارامتري والتي تتراوح بين القيم الرقمية، والعلاقات الشكلية، والخصائص الشكلية. وتدل هذه النتيجة على كفاءة النمذجة البارامترية في تمثيل التصميم المعماري بكافة متغيراته الكمية والنوعية.
- أظهرت النتائج إعتماد النماذج البدئية الأصلية protoypes المصممة في مرحلة طرح الأفكار التصميمية كمصدر أساسي في بناء النماذج البارامترية ويعود ذلك الى الجدة التي تتسم بها التصاميم الخاضعة للدراسة العملية.

- اظهرت الدراسة العملية ان منهج تنظيم المعرفة التصميمية المعتمد في إنشاء النماذج البارامترية يمثل منهج من الأعلى إلى الأسفل top-down والذي يعامل المبنى كصندوق اسود بخلاف منهج من الأسفل الى الأعلى bottom-up الذي يعامل المبنى كصندوق زجاجي. وهذا الإستنتاج يدل على أن منهج التصميم البارامتري لايتعارض مع التوجه الحدسي للتصميم المعماري.
- اظهرت الدراسة العملية ان تنقيح بنية النموذج البارامتري تكون في الغالب اما عن طريق الاضافة او عن طريق الاستبدال والتعديل والتي تعكس المرونة التي يتسم بها النموذج البارمتري والتي تسهم في تحقيق التنوع في النتاجات التصميمية.
- في اغلب المشاريع تم إنشاء النموذج البارامتري على مستوى التصميم الكلي وبالأخص التصميم الإنشائي وفي نفس الوقت على مستوى أجزاء منه.
- اظهرت الدراسة العملية ان النموذج البارامتري المستخدم في المشاريع يكون في الغالب نموذجا بارامتريا مشتركا (واحدا) وذلك لسهولة التعاون والتنسيق بين التخصصات المختلفة المشاركة في العملية التصميمية.

8- التوصيات

- توصي الدراسة بالاستفادة من التقنيات الحاسوبية بشكل عام والتصميم البارامتري بشكل خاص ليس كأداة رسم وتمثيل شكلي بل كأداة تصميم تفاعلي بين الحاسوب من جهة والمصمم المعماري والمصممين من التخصصات الأخرى من جهة أخرى.
- توصي الدراسة بالاستفادة مما توصل اليه البحث في دعم مناهج التعليم الاكاديمي لأقسام الهندسة المعمارية وبالأخص مادة طرائق ومناهج التصميم المعماري ورفدها بمعرفة نظرية حول عملية إنشاء النموذج البارامتري ضمن عملية التصميم البارامتري .

CONFLICT OF INTERESTS.

- There are no conflicts of interest.

المصادر:

[1] R. Hudson, "Strategies for parametric design in architecture, an application of practiceled research," Ph.D. dissertation, University of Bath, Bath, United Kingdom, 2010.

[2] R.G. Alvarado and J.J. Munoz, "The Control of Shape: Origins of Parametric -design in architecture in Xenakis, Gehry and Grimshaw", *JFA*, vol.29, no.1, pp.107-118, Jan. 2012.

[3] F.Y. Çinci, F.O. Akipek and T. Yazar, "Computational Designe, Parametric Modiling and Architectural Education", *Arkitekt*, sayi: 518, pp.16-23, 2008.

[4] C.R. Hernandez, "Thinking parametric design: introducing parametric Gaud", *Design Studies*, vol. 27, no. 3, pp.309-324, 2006a.

[5] B. Carlos, "Transformations on Parametric Design Models", A Case Study on the Sagrada Familia Columns, *Proceedings of the 11th International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures / ISBN 1-4020-3460-1, Vienna (Austria),* pp. 393-400 ,20–22, June 2005.

[6] R.Oxman and N. Gu, "Theories and Models of Parametric Design Thinking", *In Proceedings of the 33rd eCAADe Conference*, Vienna, 2015.

[7] C. R. Hernandez, "Design Procedures: A Computational Framework for Parametric Design and Complex Shapes in Architecture", Ph.D. thesis, Massachusetts lnstitute of Technology, 2006b.

[8] H. Matcha,"Parametric Possibilities: Designing with Parametric Modelling", *In Predicting the Future: 25th eCAADe Conference Proceedings, 849-856. eCAADe: Conferences. Frankfurt am Main, Germany: Faculty of Architecture and Civil engineering, FH Wiesbaden*, 2007.

[9] R. Hudson,"Knowledge Acquisition in Parametric Model Development" , *International Journal of Architectural Computing*, vol. 6,no.4, pp.435 -451 ,2008.

[10] N.C. Katz, K. Owings and M. LLP, "Parametric modeling in AutoCAD", *AECbytes*, pp.1-6, 2007.

[11] M. Turrin, P.V. Buelow and R. Stouffs, "Design explorations of performance driven geometry in architectural design using parametric modeling and genetic algorithms", *Advanced Engineering Informatics*,vol.25, no.4, pp.656-675 ,oct.2011.

[12] MA. Gallas, K. Jacquot, S. Jancart and F. Delvaux, "Parametric Modeling: An Advanced Design Process for Architectural Education", *In Proceedings of the 33rd eCAADe Conference*, Vienna, 2015.

[13] J.E. Harding and P. Shepherd,"Meta-Parametric Design", *Design Studies*, vol.52, pp.73-95, Sept.2017.

[14] T. Wortmann and B. Tunçer,"Differentiating parametric design: Digital workflows in contemporary architecture and Building", *Design Studies*, vol.52, pp. 173-197, Sept. 2017.

[15] R. Hanna,"Parametric tools in architecture: a comparative study", *Swedish Design Research Journal* 1 | 12 issn -964X, pp.39- 47, 2012.

[16] J. Anderson and M. Tang,"Form Follows Parameters: Parametric modelling for fabrication and manufacturing Processes*", Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA), Hong Kong*, pp.91-100, 2011.

[17] İ.G. Dino, "Creative Design Exploration by Parametric Generative Systems in Architecture", *METU JFA*, vol.29, no.1 pp .207-224, 2012.

[18] A. Cavieres, R. Gentry and T. Al-Haddad, "Rich Knowledge Parametric Tools for Concrete Masonry Design Automation of Preliminary Structural Analysis, Detailing and Specifications", *26th International Symposium on Automation and Robotics in Building, Information and Computational Technology*. Pp.545- 552, 2009.

[19] R. Hudson, "Parametric Development of Problem Descriptions", *International Journal of Architectural Computing*, vol.7, no.2, pp.199-216, 2009.

[20] R. Oxman, "Thinking difference: Theories and models of parametric design thinking", *Design Studies*, vol.52, pp.1-39, Sept.2017.

[21] R. Aish and S. Hanna, "Comparative evaluation of parametric design systems for teaching design computation", *Design Studies*, vol.52, pp. 144-172, Sept.2017.

[22] R. Woodbury, *Elements of Parametric Design*, published by Routledge USA and Canada, 2010.

[23] P. Janssen and R. Stouffs,"Types of Parametric Modelling", *Proceedings of the 20th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA)*, Daegu, South Korea, pp. 157-166, 2015.

[24] D. Davis, "Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture", Ph.D. dissertation, School of Architecture and Design College of Design and Social context, RMIT University, Melbourne, Australia ,2013.

[25] FÖ. Akipek, and N. İnceoğ lu, "Bilgisayar Destekli Tasarim ve Üretim Teknolojlerinin Mimarliktaki Kullanimlari" *YTÜ Mim. Fak. E-Dergisi*, Cilt 2, Sayı 4, pp. 237-253, 2007.

[26] T.M. Echenagucia, "Computational Search in Architectural Design", Ph.D. dissertation, Architecture and Building Design, Torino, Italy, 2013.

[27] W.O. Schotborgh , C. Mc. Mahon and F. Houten,"A knowledge Acquisition Method to Model Parametric Engineering Design Processes", *Int. J. Computer Aided Engineering and Technology*, vol. 4, no. 4, pp. 373- 391, Jul .2012.

[28] Foster and Partners, "Instrumental Geometry Smithsonian Institute Courtyard Enclosure Courtyard enclosure roof structure", 2004. [Online]. Available: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/ad.239.[Accessed: July, 21, 2017].

[29] C. Eastman , P. Teicholz , R. Sacks and K. Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners ,Managers, Designers, Engeineers, and Contractors*, 2nd ed., United States of America, 2011.

[30] S.T. Feist,"A-BIM: Algorithmic-based Building Information Modelling", M.S. thesis, Tecnico Lisboa, Spain, 2016.

[31] B. Peters,"Copenhagen Elephant House a Case Study of Digital Design Processes", *In Silicon + Skin: Biological Processes and Computation: Proceedings of the 28th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA)*, 134-141. ACADIA. Minneapolis, Minnesota: University of Minnesota, 2008.

[32] Z. H. Mohsen,"Parametric Thinking procedure Design in Contemporary Architecture" M.S. thesis, University of Technology, Baghdad , Iraq, 2016.

[33] D. Gianotten, Juror and OMA," Winner Best Tall Building Middle East and Africa", Awards Book _ Cayan Tower, pp.172-177, 2014.

[34] V. Gane, and J. Haymaker ,"Conceptual Design of High-rises with Parametric Methods", *In Predicting the Future: 25th eCAADe Conference Proceedings , 293-301. eCAADe: Conferences*. Frankfurt am Main, Germany: Faculty of Architecture and Civil engineering, FH Wiesbaden, 2007.

[35] X.U. Dan 2012,"Architecture Design studio 3", Air Journal, pp.10-11, 2 May 2012. [Online]. Available: https://issu.com/daisya615/docs/final_journal.[Accessed: Nov.27, 2017].

[36] N. Miller, "The Hangzhou Tennis Center: A Case Study in Integrated Parametric Design", *ACADIA Regional 2011: Parametricism: (SPC)*, Lincoln, Nebraska, USA, pp.141-148, 2011.

[37] S. Alashar,"Computational Design of Hangzhou Tennis Center", *BIM arabia* , no.6 ,pp. 1-52, 2017.

[38] K. Kizilkay, "Peyzaj Memarliğ inda Parametrek Tasarim", M.S. thesis, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, 2011.

[39] B.S. Koren, "Louvre Abu Dhabi 1/33 – Fabrication of a large-scale physical light-test model", *Advances in Architectural Geometry 2010*, Springer Wien New York, pp.163-174, 2010.

[40] V. Tourre and F. Miguet,"A Light – based Parametric Design Model: The application of the inverse lighting in the design of the Louvre Abu Dhabi museum", *CAAD Futures*, pp.786-799, 2009.

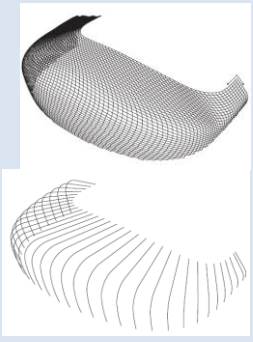
[41] V. Gane, J. Haymaker, M. Fischer and V. Bazjanac,"Application of Design Scenarios Methodology to Evaluate the Effectiveness of Transparent Parametric Design Spaces*", Journal of Architectural Engineering*, vol.20, no.2, pp.1- 46, June 2014.

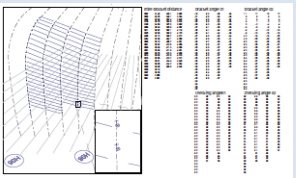
[42] K. Park and N. Holt, "Parametric Design Process of a Complex Building In Practice Using Programmed Code As Master Model", *international journal of architectural computing*, vol. 8, no.3, pp.359-376, 2010.

[43] N. Miller,"Parametric Strategies in Civic and Sports Architecture Design", *the 2009 ACADIA Conference hosted by the Art Institute of Chicago*, pp.1-22, 2009.

[44] F. Imbert, K. Stutts , A. Fisher, A. Witt, V. Tourre and B. Koren ,"Concurrent Geometric, Structural and Environmental Design: Louvre Abu Dhabi", *In: Hesselgren L., Sharma S., Wallner J., Baldassini N., Bompas P., Raynaud J. (eds) Advances in Architectural Geometry 2012*. Springer, Vienna, pp.77-90, 2012.

جدول (4) قياس القيم الممكنة لمتغيرات إنشاء النموذج البارامتري في عملية التصميم لملعب Aviva (الباحثة)

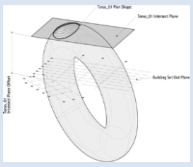
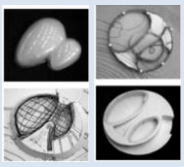
	مفردات الاطار	القيم الممكنة			النص المعتمد في القياس حسب المصدر
1	توقيت إنشاء النموذج البارامتري	إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة تطوير الفكرة التصميمية			بمجرد تحديد منطق الشكل الجيومتري للملعب، تم إعادة بناء إطار النمذجة البارامترية المطورة ل Rhinoceros في نظام Generative Components (GC)ليتم تطويره بشكل أكبر [30, p.28]. تقدم مرحلة التصميم التفصيلي لدراسة الملعب مهمة تصميم بارامتري جديدة، مشاركة المهارات عبر العقود. وشمل ذلك مساعدة المقاولين الثانويين في تطوير التصميم التفصيلي بمهارات التصميم البارامترية التي تعززت بمعرفة القصد من التصميم والمشاركة في مراحل التصميم السابقة [1, p.133] .وكان من بين أهداف التصميم الرئيسية المتعلقة بغلاف الملعب توليد سطح مستمر سلس بين السقف وتغليف الواجهة. ولذلك، كان هناك حاجة إلى تنسيق وثيق بين التغليف وتصنيع السقف[29, p.406]
		إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة التفاصيل			
		إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة التصنيع			
2	المعرفة الموظفة في إنشاء النموذج البارامتري	دقة ووضوح المعرفة الموظفة في التصميم البارامتري	وصف ضمني وغير دقيق (غير تفصيلي)		بدأ تصميم غلاف المبنى بالمعرفة الغير كاملة للمشكلة،فالمعروف في البداية هو أن غلاف المبنى (الكسوة) ينبغي أن يشمل الشكل الجيومتري الأساسي. فمهمة تصميم غلاف المبنى مثلت مشكلة غير محددة ذات وصف غير كامل، ففي البداية لم يكن كلا الاهداف والوسائل محددة والنمذجة البارامترية مثلت الوسائل للتقصي عن وصف المشكلة والحصول عليها وتمثيلها اثناء التطوير [19, pp.204,212].
		نوع المدخلات البارامترية	قيم رقمية		في البداية تم تمثيل الالواح كأشكال جيومترية بدائية تتكون من نقاط واشكال رباعية الاضلاع، الشكل (25- أ) موضوعة على الشكل الجيومتري الأساسي والتي تتألف من المنحنيات المستوية التي تصف محور كل قسم، الشكل (25- ب). فالمتغيرات التي تسيطر على تشكيل النظام محددة ب (تباعد النقطة، مواقع بداية النقاط، اتجاهات المسافة بين النقاط على المنحنيات، والتحول المنطقي الذي أدى الى برم المضلعات المستوية) [19, p.204]. النمذجة المعمارية للشكل الجيومتري لغلاف الملعب تتكون من ثلاثة مكونات: البارامترات العددية التي تمثل نقاط السيطرة على مواقع الأسطح، والشكل الجيومتري الثابت، وملفات البرمجة النصية Generative Components. [1, p.123] ، [29, p.403].  الشكل (25) أ - صف مستطيل من الالواح. ب- الشكل الجيومتري الأساسي، [1, p.134].
			علاقات شكلية		
			خصائص شكلية		
		مصادر المعرفة حول المشكلة الخاضعة للتصميم البارامتر	المعرفة المحددة	النماذج البدئية Prototypes	وقد اكتسبت المعرفة من مصدرين رئيسيين هما بناء النماذج البارامترية وتطويرها ونقدها وتحويرها والخبرة من المتخصصين العاملين في المشروع. يمكن اعتبار بداية التصميم بمثابة انطلاق من سلسلة من التجارب التاملية. وكانت هذه في شكل نماذج منشاة بسرعة مع القيود القليلة والتي صممت لفحص المشكلة من أجل تعزيز الفهم المحدود حولها مع احتمالية تغيير السياق. مثلت النماذج الأولية الواح مضلعة بسيطة، حيث اتسمت متغيراتها بالمرونة في تحديد الموقع.
				الوصف اللفظي	

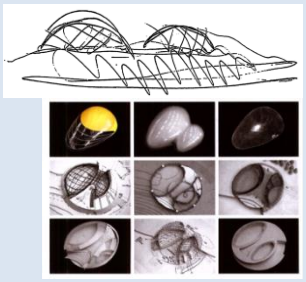
		ي		رسومات CAD التقليدية الخبرة	وفر التقييم البسيط الإمكانات لإجراء التغييرات العقلانية للشكل الجيومتري الأساسي وبهذه الطريقة وصف المشكلة بدأ في الظهور [19, pp.212,213]. وقد تم ترجمة نية التصميم بسرعة من نماذج CAD والأوصاف اللفظية إلى شكل بارامتري عن طريق معالجة النماذج [1, p.135]. معلومات مثل الشبكة الشعاعية للهيكل الخرساني لمستويات الملعب والمقاطع العرضية والمنحنيات الخلفية للمقاعد التي يقدمها أخصائيو تصميم المقاعد. تم إعادة دمج هذه الملفات مع نموذج بارامتري عن طريق تحويل الشكل الجيومتري الثابت إلى كيانات بارامترية في GC. [29, p.404]
			المعرفة الغير محددة	المواصفات (الوظيفية ، الادائية ، الشكلية ...)	
		اساليب تمثيل المعرفة	جداول البيانات الحاسوبية spreadsheet التمثيل الجيومتري		النمذجة المعمارية للشكل الجيومتري لغلاف الملعب تتكون من ثلاثة مكونات: البارامترات العددية، الشكل الجيومتري الثابت وملفات البرمجة النصية ل Generative Components. كما تبنى المصممون الاستراتيجية المعتمدة على التعاون التي بدأت من خلال الاتفاق على مجموعة من قواعد التصميم والنمذجة المشتركة التي تم تضمينها لاحقا في النماذج البارامترية. [29, pp.402,403] في البداية لم تكن المعلومات ممثلة بأي شكل من الأشكال إلا في النموذج الجيومتري. من أجل توثيق الواجهة تم استخراج هذه المعلومات الرقمية من النموذج وتسجيلها في جداول البيانات spreadsheet الشكل (26) [1, p.128].  الشكل (26) المعلومات الظاهرة لفسحة واجهة واحدة ، [1, p.128].
			البرمجة النصية		
			القواعد Rule		
3	تنظيم المعرفة الداخلة في إنشاء النماذج البارامترية	منهج أعلى إلى أسفل top-down			يمكن وصف العملية البارامترية في أربع مراحل مختلفة في جوهر العملية هو تعريف الشكل الجيومتري للغلاف الخارجي، الذي كان من مسؤولية المعماريين. وقد شكل الأساس لتصميم النظام الهيكلي والواجهة. كما تم تطوير وثائق البناء للواجهة بارامتريا. وتم تحويل معلومات الواجهة إلى مصممي التغليف المتخصصين الذين قاموا بتطوير التصميم المفصل للتصميم. [1, p.122]
4	تنقيح بنية النموذج البارامتري (التنقيح الشمولي)	الاستبدال او التعديل المباشر والغير مباشر			بناءا على نتائج التقييم تم تعديل قيم دوران اللوح من أجل تحسين الحل المقترح. وعندما تتم محاولة التحسين فان النموذج الجديد يخضع للنقد لمرة ثانية وفقا لمعايير وظيفية وتم تحوير قيم الدوران وقد تكررت العملية لحين التوصل إلى حل مرض. تم تكييف النموذج البارامتري لتجميع الألواح في نطاقات محددة مسبقًا، تم تحديد الألواح في النموذج البارامتري ضمن نطاقات محددة تتضمن 64 طولا للالواح. [19, p.210,211] تم تطوير الخوارزميات ومن ثم تقييمها لمعرفة ما إذا كان يمكن تحديد موقع المساند (البراكيتات) والألواح على الواجهة بطريقة مرضية. ردود الفعل الناتجة عن التقييم وجّهت عمل التعديلات على الخوارزمية. وبناءا على ذلك يتم إنتاج الخوارزمية الجديدة ومن ثم تقييمها وتعديلها حتى يتم العثور على حل مرض[9, p.207].
5	موضع تطبيق النمذجة البارامترية	على مستوى التصميم الكلي	التصميم الانشائي		تمّ تطوير تصميم المشروع على مسارين متوازيين الاول يمثل "قلب الملعب" أي هيكل الملعب الرئيسي الذي يتضمن اماكن الجلوس للملعب وجميع المساحات والمرافق الداخلية. أما المسار الثاني فكان تغليف الملعب. [29, p.402]

		على مستوى جزء من التصميم	ماهية الجزء	غلاف المبنى	
			علاقة الجزء بالكل	الجزء مرتبط بالكل	
6	تعددية النماذج البارامترية ضمن التصميم	نماذج بارامترية متعددة	نماذج بارامترية متصلة ببعضها		ناقش الفريق التصميمي إنشاء سطح بارامتري افتراضي يفصل مجال المسؤولية الانشائية عن مجال المعماريين. وتمّ التحكم في الشكل الجيومتري للواجهة من قبل المعماريين وتمريرها إلى المهندسين الإنشائيين. وقد سمح ذلك بالتلاعب في الشكل الجيومتري للتصميم ونقل التغييرات الى الشكل الجيومتري الهيكلي والتحليل الهيكلي المقابل تلقائيا. واستنادا إلى هذه القواعد عندما تم إحداث تغيير في انحناء على جزء من السطح المعماري، تم تحديث النظام الهيكلي تحتها تلقائيا وتقديمها للتقييم. ومن ناحية أخرى، إذا غيّر المهندسون مقياس الجمالون أو التباعد بين الدعامات فان الجانب المعماري من السطح وجميع المكونات التابعة لها مثل ألواح التغليف وألاقواس تتكيف تلقائيا كذلك. [29, pp.202,403]

جدول (5) قياس القيم الممكنة لمتغيرات إنشاء النموذج البارامتري في عملية التصميم لمبنى Elephant House (الباحثة).

	مفردات الاطار	القيم الممكنة		النص المعتمد في القياس حسب المصدر
1	توقيت إنشاء النموذج البارامتري	إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة تطوير الفكرة التصميمية		جرى تحقيق الأفكار الأولية باستخدام اساليب CAD للنمذجة التقليدية ومن ثم في وقت لاحق استخدمت الخوارزميات للحصول على قصد التصميم من نموذج CAD التقليدي وترجمته إلى نموذج بارامتري [1, p.85]. تم تطوير النظام البارامتري ليكون أداة تصميم. فمن خلال استخدام البرنامج كان الفريق قادرا على استكشاف المزيد من خيارات التصميم. وقامت الجهة المصنعة ببناء نموذج رقمي CAD ثلاثي الأبعاد من تصريح اسلوب الشكل الجيومتري. تم بناء هذا النموذج باستخدام ACAD 2005 مع سطح المكتب الميكانيكي. وكان النموذج مفصلا جدا بما في ذلك الهيكل الانشائي والزجاج والمزاريب، والتغليف. [31, pp.134,140]
		إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة التفاصيل		
		إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة التصنيع		
2	المعرفة الموظفة في إنشاء النموذج البارامتري	دقة ووضوح المعرفة الموظفة في التصميم البارامتري	وصف ضمني وغير دقيق (غير تفصيلي)	يشير الرسم التخطيطي لنورمان فوستر إلى قبتين انشائيين، أحدهما أكبر من الآخر ويرتفعان من المناظر الطبيعية مع الجزء الأكبر من المبنى الذي بني في الأرض [31, p.135].
		نوع المدخلات البارامترية	قيم رقمية	من أجل إيجاد حل لتحديد موضع العدد الدقيق لكل نوع من الالواح كانت هناك حاجة إلى تحديد الألواح الزجاجية، وموقع النوافذ القابلة للتشغيل، وعدد الأشجار، وعدد أنواع الألواح كإدخال في برنامج الحاسوب. [31, p. 140 تم استخدام 26 متغيرا تم اختيارها بعناية للسيطرة على عدد العناصر للقضبان الهيكلية، وحجمها، وتباعدها، ونوعها، والإزاحات الهيكلية المختلفة، وانصاف الاقطار العمودية الابتدائية والثانوية لشكلtorus ، وكمية الهيكل ليتم إنشاؤها. بالإضافة إلى هذه المتغيرات العددية، فان مدخلات الشكل الجيومتري كانت أيضا مطلوبة: هناك حاجة أيضا الى اثنين من خطوط الزاوية القائمة كمدخلات. عرفت هذه الخطوط نظام الإحداثيات الذي يحدد
			علاقات شكلية	
			خصائص شكلية	

					موقع torus في الفضاء ودورانه. [22, p.73]، [31, pp.137,138]. يستند كلا هيكلي القبتين لبيت الفيل على الشكل الجيومتري للنتوء المستدير torus وكل قبة منشأة من شكل torus مختلفة. كل منهما لديه أنصاف أقطار مختلفة ويميلون عن الإتجاه العمودي بنسب مختلفة. وكان كل من نصفي القطرين لشكلي torus الابتدائي والثانوي موجهة بمتطلبات المساحة في كل من منطقتي الفيلة، على ان تكون حظيرة القطيع أكبر من حظيرة الفيلة الذكور. كانت زاوية ميل كل torus موجهة ليس فقط من خلال شكل الفضاء الذي تم إنشاؤه بين منطقتي الحظيرتين ولكن أيضا عن طريق شكل التقاطع الذي تم إنشاؤه عندما يتم قطع torus مع المستوي القاطع كما في الشكل (27). فعن طريق امالة شكل torus بعيدا عن المستوى العمودي وتقاطعها مع المستوى ألافقي، يتم إنشاء شكل غير منتظم مماثل للأشكال الغير نظامية التي تم إنشاؤها في مرحلة النمذجة التخطيطية sketch modeling، كما في الشكل (28). تم كتابة برنامج حاسوبي لإنشاء انساق إبداعية من أشكال الأوراق. استخدم البرنامج الحاسوبي كمدخلات: الشكل الأساسي للوحة الزجاج والأشكال الورقية المختلفة. استخدم البرنامج الحاسوبي كمدخلات: الشكل الأساسي للوحة الزجاج واشكال الحدود الخارجية لأشكال اوراق الاشجار المختلفة. [31, pp.137,139]  الشكل (27) تقاطع كل من torus مع المستوي القاطع، [30, pp.137,136]  الشكل (28) نماذج الرسومات المادية في مراحل مختلفة لتطوير التصميم، [30, pp.137,135]
مصادر المعرفة حول المشكلة الخاضعة للتصميم البارامتري	المعرفة المحددة	النماذج البدئية Prototypes			تم اختبار مفاهيم التصميم المبكر للقبة باستخدام نماذج مادية أولية (موديلات بدئية) sketch models. وقد أدى تعقيد الشكل الجيومتري لهذه النماذج المادية المبكرة إلى إشراك مجموعة النمذجة المتخصصة Specialist Modelling Group واستخدام الحاسوب في رسم تخطيطي أولي لنماذج 3D CAD رقميا. [31, p.134] تم استكشاف تصميم القبة من نواح كثيرة، من خلال الرسوم التخطيطية sketching الشكل (29)، صنع النموذج المادي physical model الشكل (30)، والاستكشافات ثلاثية الأبعاد
		الرسم التخطيطي sketching			
		النماذج المادية physical models			

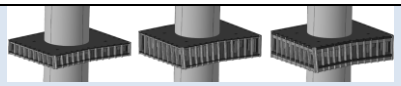
				رسومات CAD التقليدية	باستخدام النمذجة الحاسوبية [22, p.69]. كلما تم تطوير هيكل القباب رقميا، كانت النماذج البدئية السريعة وسيلة واضحة لاختبار التصاميم المتقدمة. [31, p.138]  الشكل (29) الرسوم التخطيطية، [31, p.135]. الشكل (30) النماذج المادية، [22, p.71].
		اساليب تمثيل المعرفة		التمثيل الجيومتري	البرمجة حررت الفريق من لوحة الأوامر المحدودة المتاحة في أي حزمة CAD معينة. ففي الاستخدام أصبحت البرمجة مثل أي أداة تصميم أخرى تطبّق بتكرار في جميع مراحل العملية. بدلا من الرسم مع القلم، أنجز المصممون الرسوم التخطيطية مع التعليمات البرمجية. [22, p.72,73] استلمت الجهة المصنعة تصاميم القبة كوثيقة تسمى "تصريح طريقة الشكل الجيومتري Geometry Method Statement " وليس من خلال برنامج حاسوبي أو نموذج رقمي. والذي يضمن نقل بيانات موثوق بها بين أنظمة CADمختلفة. [22, p.74] قرر فريق العمل كتابة برنامج مخصص يسمى مولد الهيكل structure generator. كما تم تطوير برنامج حاسوب آخر، يسمى مولد التزجيج frit generator لإنشاء نسق التزجيج المخصص لبيت الفيل الجديد. [22, p.72,76]
				التمثيل عن طريق البرمجة النصية	
				Geometry Method Statement	
3	تنظيم المعرفة الداخلة في إنشاء النماذج البارامترية			منهج أعلى إلى أسفل top-down	انتقل المصممين إلى الهيكل والزجاج. وسرعان ما وجدوا مهمتهم لتصميم عائلة من الأفكار واكتشاف حل معين، بدلا من تفصيل بسيط من رسم واحد. [22, pp.72]
4	تنقيح بنية النموذج البارامتري (التنقيح الشمولي)			الاستبدال او التعديل المباشر والغير مباشر	قام فريق التصميم باستكشاف مجموعة من النتائج عن طريق تعديل موضع الألواح المفتوحة وعدد الأشجار والحد الأدنى للمسافة بين الأشجار وعدد أنواع الألواح وعدد وتوزيع كل نوع من الالواح [22, p.75]. ويظهر Elephant House كيف تتطور الخوارزميات والنماذج البارامترية بشكل تدريجي على مدار المشروع الذي يتم تنقيحه باستمرار [1, p.98]. من خلال استخدام النظام البارامتري كان الفريق قادرا على استكشاف المزيد من خيارات التصميم، ويتم تعديل التصميم على نحو اضافي بموازة عملية التصميم. [31, p.134] يمكن تدوير الأوراق بشكل عشوائي، وتحجيمها، وحتى بشكل عشوائي تغير الشكل ، على الرغم من بقاء طوبولوجيا التصميم على حالها [31, p.139]
5	موضع تطبيق	على مستوى التصميم		التصميم الإنشائي	كان إنشاء النموذج البارامتري واستخدام البرمجة الحاسوبية لتوليد

	النمذجة البارامترية	الكلي			هيكل القبة وتزجيجها [31, p.138] قرر فريق العمل كتابة برنامج مخصص يسمى مولد الهيكل structure generator. وتم تطوير برنامج حاسوب آخر، يسمى مولد التزجيج frit generator لإنشاء نسق التزجيج المخصص لبيت الفيل الجديد. [22, pp.72,76] وتم تحديد مستويات التظليل المناسبة من أجل الفيلة. وقد استخدم هذا لتحديد كثافة الأنساق الصلدة (التزجيج) المطلوبة على الوجه الخارجي لكل ألواح التغليف الزجاجية، وبناءا على هذه البيانات وضعت SMG أداة بارامترية مفصلة للتحري في أنماط الطلي على الزجاج التي كانت مستوحاة من التظليل التي توفرها الأشجار. [1, p.94]
		على مستوى جزء من التصميم	ماهية الجزء	السقوف	
				التفاصيل البنائي (الواح الزجاج، ونسق التزجيج)	
			علاقة الجزء بالكل	الجزء مرتبط بالكل	
				الجزء منفصل عن الكل	
6	تعددية النماذج البارامترية ضمن التصميم	نماذج بارامترية متعددة	نماذج بارامترية منفصلة عن بعض		

جدول (6) قياس القيم الممكنة لمتغيرات إنشاء النموذج البارامتري في عملية التصميم لبرج Infinity (الباحثة).

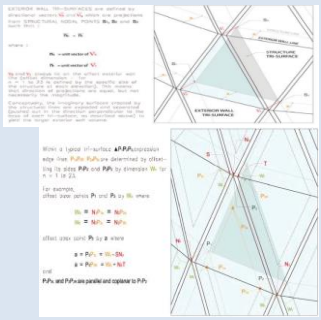
	مفردات الاطار	القيم الممكنة		النص المعتمد في القياس حسب المصدر
1	توقيت إنشاء النموذج البارامتري	إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة اقتراح الفكرة التصميمية		تم اختيار استخدام CAD البارامتري لتحديد الشكل الغير منتظم للموقع وقوانين التخطيط، الشكل الاولي الغير المنتظم للمبنى، مع تلبية قيد الارتداد 20 مترا عن الموقع المجاور، وقيد المساحة الإجمالية. وتطور التصميم الهيكلي مع الأعمدة الأولية مع انحناء مزدوج إلى أعمدة مع انحناء واحد والتي خفضت بشكل كبير من التكلفة وحافظت على القصد التصميمي المعماري الأصلي. فالحل النهائي يتطلب تعديل نموذج CAD بإضافة امتداد متقدم للسماح لارتباطات حديد التسليح بين الأعمدة. [41, pp.10,11]
		إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة تطوير الفكرة التصميمية		
		إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة التفاصيل		
2	المعرفة الموظفة في إنشاء النموذج البارامتري	دقة ووضوح المعرفة الموظفة في التصميم البارامتري	وصف ضمني وغير دقيق (غير تفصيلي)	بدأ المصممون العملية من خلال تقييم ملخص المشروع المقدّم من قبل المالك، حيث تم تقديم المتطلبات من دون أي تمييز بين الأهداف والقيود. وبعد ذلك تم تحديد الأهداف التالية: الحاجة إلى معالجة المناخ المحلي (تقليل الحمل الحراري)، وخصائص الموقع (زيادة زوايا الاطلالة)، وكفاءة العملية في استكشاف بدائل تصميمية متعددة (باستخدام التصميم البارمتري بمساعدة الحاسوب CAD parametric). [41, pp.7]
		نوع المدخلات	قيم رقمية	حدد خبير CAD مجموعة من البارامترات الجيومترية الرئيسية والعلاقات في نموذج CAD التي يمكن أن تمكن من توليد مدى محدد السيناريو للتنوعات الجيومترية. [40, p.8]. وتتراوح أنواع
			علاقات شكلية	

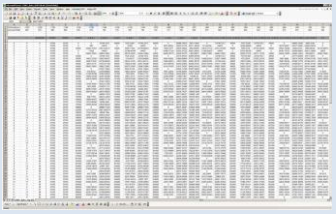
		البارامترية	خصائص شكلية	المدخلات بين تلك التي تقوم على مستوى التفكير العالي (مثل الفكرة التصميمية التي تؤدي إلى اتخاذ قرارات حول ميزات التصميم الكلية الماكرو) الى مستوى التفكير المنخفض (مثل القيود البعدية والجيومترية لتنفيذ الفكرة التصميمية جيومتريا). كما أدى شكل الموقع غير المنتظم إلى اختيار الإلتواء في التصميم الاولي لتلبية متطلبات مساحة الأرض، وبالتالي فإن القاعدة تستخدم متغير الطول الجانبي للبرج، متغير الزاوية الضيقة لجانب البرج متغير الزاوية الواسعة لجانب البرج لرسم ضلعين في التصميم الاولي. يسيطر قيد التوازي على الزاوية بين قسمين من الجانب الواسع للبرج لإدارة إلتواء التكوين، في حين أن القيد الأفقي يحافظ على الجانب الضيق ضمن تكوين أفقي. [34, pp.297]. بدأ المصممون العملية من خلال تقييم ملخص المشروع المقدّم من قبل المالك، حيث تم تقديم المتطلبات من دون أي تمييز بين الأهداف والقيود. وبعد ذلك تم تحديد الأهداف التالية: الحاجة إلى معالجة المناخ المحلي (تقليل الحمل الحراري)، وخصائص الموقع (زيادة زوايا الاطلالة)، وكفاءة العملية في استكشاف بدائل تصميمية متعددة (باستخدام التصميم البارمتري بمساعدة الحاسوب CAD parametric). [41, pp.7]
		مصادر المعرفة حول المشكلة الخاضعة للتصميم البارامتري	المعرفة الغير محددة: المواصفات (الوظيفية ، الادائية ، الشكلية ...)	
		اساليب تمثيل المعرفة	التمثيل الجيومتري القواعد Rule	النموذج يحدد أولا الشكل الاولي للمبنى، والمركز، ثم يرفع ويبرم مستويات طوابق المبنى ويضع الأعمدة بناء على بارامترات البرم الشمولية ثم ينشئ النموذج نوافذ الجدار، حيث تستند الزعانف المعمارية على البنية الأساسية. توفر الأدوات البارامترية الاساس لتوليد فضاء من التصاميم البديلة التي تعتمد على القواعد المستمدة من الافكار التصميمية العلنية وادارة المعلومات في بيئة موحدة .[34, pp.297,301]
3	تنظيم المعرفة الداخلة في إنشاء النماذج البارامترية	منهج أعلى إلى أسفل top-down		
4	تنقيح بنية النموذج البارامتري (التنقيح الشمولي)	الاضافة المباشرة الاستبدال او التعديل المباشر		النموذج يستخدم لتحسين التصميم بشكل تكراري لتحسين الحل الانشائي الهيكلي المتطور، على سبيل المثال من حيث تباعد الأعمدة، وحجم العمود، وارتفاع وعرض الجسور الركنية كما ان حساب المساحات الى جانب الزجاج وحلول الزعانف كانت عملية آلية وكل طابق يتم تصديره للتجميع في ادوات CADالتقليدية. تم تطوير التصميم الهيكلي من الأعمدة الأولية مع انحناء مزدوج إلى أعمدة مع انحناء واحد، والتي خفضت بشكل كبير من التكلفة ولكن حافظت على قصد التصميم المعماري الأصلي. [41, pp.9-15] وبتحديث قيم بارامترات الطول الجانبي للمبنى وبارامترات إرتفاع الطابق، تمكن أصحاب المصلحة في التصميم من التحقق من البدائل التي استوفت قياسات المساحة الكلية وقيود كفاءة البرج، التي تم تحديدها كبارامترات للمخرجات في نموذج CAD. توقع المهندس المعماري الحاجة إلى تحسين إلتواء المبنى وتهيئة الشكل الاولي، وحدد بارامترات مثل دوران البرج تتراوح من 0 إلى 90 درجة، وزاوية التحكم في الحافة، والطول الجانبي الفردي. إذ يستجيب النموذج لتغيرات بسيطة نسبيا في الفكرة التصميمية (مثلا من التواء البرج الى امتداده عموديا عن طريق تعديل قيمة التواء البرج إلى الصفر أو من التواءه ليميل عن طريق تعديل متغير المسافة إلى الأصل في المخططات الاولية للطابق الوسطي والعلوي أو من الالتواء الموحد الى الالتواء المخروطي المدبب عن طريق تعديل المتغيرات على الطول الجانبي للبرج في المنتصف والأعلى، الشكل (31). [34, pp.300]

					 الشكل (31) تعديل قيم البارامترات، [34, pp.299]
5	موضع تطبيق النمذجة البارامترية	على مستوى التصميم الكلي	التصميم المعماري		استنادا إلى القيود المذكورة أدى ذلك إلى اختيار تصميم برج لولبي، حيث تم وضع نموذج بارامتري في Catia. فالنموذج يحدد أولا الشكل الاولي للمبنى، والمركز، ثم يرفع ويبرم مستويات طوابق المبنى ويضع الأعمدة بناءا على بارامترات البرم الشمولية ثم ينشئ النموذج نوافذ الجدار، تستند الزعانف المعمارية على البنية الأساسية. [34, pp.297] فالنموذج يستخدم لتحسين التصميم بشكل تكراري للتحسين الامثل للحل الانشائي الهيكلي المتطور على سبيل المثال من حيث تباعد الأعمدة، حجم العمود، ارتفاع وعرض الجسور الركنية كما ان حساب المساحات الى جانب الزجاج وحلول الزعانف كانت عملية آلية وكل طابق يتم تصديره للتجميع في ادوات CAD التقليدية. [34, pp.300]
			التصميم الإنشائي		
		على مستوى جزء من التصميم	ماهية الجزء	الفتحات	
				الأعمدة	
				التفاصيل البنائية	
			علاقة الجزء بالكل	الجزء مرتبط بالكل	
6	تعددية النماذج البارامترية ضمن التصميم	نموذج بارامتري مشترك			تم بناء نموذج CAD واحد لسيناريو واحد وتستخدم للتحقيق في ما يقرب من 1000 من خيارات التصميم التي تم تنقيحها إلى 15 بديل [41, p.15].

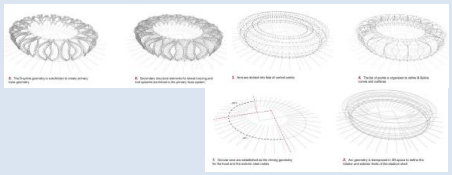
جدول (7) قياس القيم الممكنة لمتغيرات إنشاء النموذج البارامتري في عملية التصميم لبرج Lotte Super (الباحثة).

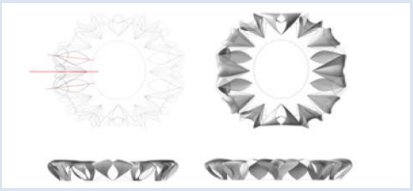
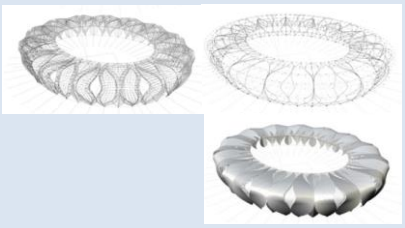
	مفردات الاطار	القيم الممكنة			النص المعتمد في القياس حسب المصدر
1	توقيت إنشاء النموذج البارامتري	إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة تطوير الفكرة التصميمية إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة التفاصيل إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة التصنيع			استخدم التصميم البارمتري لتوفير مسار حلقي تقييمي متكرر لاستكشاف التصميم في المرحلة الأولى من المشروع: البعد الكلي أو عدد وحدات (موديولات) الواجهة من أجل تقييم التناسبات، وكذلك التقييم الوظيفي مثل متطلبات أبعاد أرضية الطابق، المساحة المغلقة. إذ كان النموذج الرئيسي بمثابة مستودع مركزي لمختلف التكرارات والنتائج التي تم الحصول عليها من التحليل المحدد. تم وصف حالتين من هذا القبيل جدوى التركيب، وتحليل التصنيع لتفاصيل الجدار الخارجي واستراتيجيات تركيب ألواح الجدران الخارجية [42, pp.360,368]. تسيطر البارمترات في البرنامج على شبكة الإسناد المائل، حيث يتم تحسين البارامترات بعد العديد من التكرارات للوصول الى التصميم الأمثل لكل من الأداء الانشائي، ومساحة البرنامج الواردة داخل المبنى، والأحكام الجمالية. [10, p.5]
2	المعرفة الموظفة في إنشاء النموذج البارامتري	دقة ووضوح المعرفة الموظفة في التصميم البارامتري	وصف ضمني غير دقيق (غير تفصيلي)		الشكل الجيومتري يبدأ مع التحول المستمر من قاعدة مربعة إلى دائرة في الأعلى بطول اجمالي يبلغ 555م. فتوثيق المنطق التوليدي في شفرة البرمجيات يسمح بتنسيق قصد التصميم مع المهندسين الإنشائيين للبدء على المستوى المفاهيمي، فضلا عن التعرف على معرفتهم حول النموذج الرئيسي. إذ تم تحديد الزاوية المثلى لهيكل شبكة الإسناد المائل (أعمدة قطرية من امتداد الأقواس الفرعية المقسمة عبر نقاط الارتفاع المحجوزة) رياضيا كدالة للحمل المطلوب من كل القضبان member التي تحملها في مواقعها الفردية. [42, pp.365,367]
		نوع المدخلات البارامترية	قيم رقمية		تم حل التحدي الجيومتري لتحويل المربع إلى دائرة من خلال انشاء الأوجه المثلثة الشكل على المبنى. وكان تعريف العلاقة بين الهيكل الإنشائي والجدار الستاري مهمة معقدة لأنها امتدت من مشكلة مفهوم الشكل جيومتري الواضح الى فهم متطلبات التصنيع والتركيب. وتظهر المخططات التالية الشكل (32- أ، ب) مثالا واحدا لاستراتيجية الإزاحة التي تم استكشافها من أجل تحديد العلاقة بين الهيكل والجدار
			علاقات شكلية		
			خصائص شكلية		

					الخارجي التي تستوفي شروطا متعددة. متغيرات مثل أقصى زاوية حادة أو الحد الأدنى لعرض قطعة من الزجاج تعتمد على الشركة المصنعة، والتي أصبحت مدخلات البارامیتر في الخوارزمية. [42, pp.365,369,373]  الشكل (32) أ- المنطق التوليدي لتحديد العلاقة بين النقطه الوسطى الانشائية والجدار الخارجي ب- المنطق التوليدي لجيومتري لوحة التعبير الجدار الخارجي[42, p.370].
		مصادر المعرفة حول المشكلة الخاضعة للتصميم البارامتري	المعرفة المحددة	النماذج البدئية Prototypes	الشكل الجيومتري يبدأ مع التحول المستمر من قاعدة مربعة إلى دائرة في الأعلى بطول اجمالي يبلغ 555م. النقاط المعرفة من التخصصات المشتركة: أن توثيق المنطق التوليدي في شفرة البرمجيات يسمح بتنسيق قصد التصميم مع المهندسين الإنشائيين للبدء على المستوى المفاهيمي، فضلا عن التعرف على معرفتهم حول النموذج الرئيسي. العديد من الشركات المصنعة وغيرها من التخصصات المتعلقة بالجدار الخارجي، فضلا عن المهندسين المعماريين مع سنوات من الخبرة في مجال البناء، جمعوا خبراتهم جنبا إلى جنب فيما يتعلق بالتنوع الكمي ودقة البناء المتاحة التي هي مطلوبة عمليا من قبل بعد اللوحة. بعد استشارة مهندسي الجدار الستائري والأطراف المختلفة الأخرى المشاركة في تصنيع وتركيب الجدار الستائري، وضعت خوارزمية إجرائية وصفت استراتيجية للجمع بين الألواح غير النظامية الصغيرة في اللوحة ألاكبر المجاورة لها وطبق المنطق القائم على القواعد في الخوارزمية مستوى القناعة الذي قدمه الاستشاريون. وقد تم تحديد قيم الإرتفاعات في المقام الأول من خلال المتطلبات البرنامجية والمعمارية، والتي تذبذبت أيضا في جميع مراحل التصميم. تم تشغيل الخوارزمية لإنشاء مجموعة الواح وفقا لمعايير الشركة المصنعة. [42, pp.365, 373-374]
				الخبرة	
			المعرفة غير المحددة	المواصفات (الوظيفية،الادائية ،الشكلية)	وقد تم تحديد قيم الإرتفاعات في المقام الأول من خلال المتطلبات البرنامجية والمعمارية، والتي تذبذبت أيضا في جميع مراحل التصميم. تم تشغيل الخوارزمية لإنشاء مجموعة الواح وفقا لمعايير الشركة المصنعة. [42, p.373].
		اساليب تمثيل المعرفة		بيانات الإحداثيات coordinate data	يتم تصور النموذج الرقمي عن طريق الاظهار renderings والرسومات drawings لضمان المقاصد التصميمية. [35, p.10]. تم وصف الصيغ والمنطق التوليدي في التعليمات البرمجية عن طريق AUTOLISP وتم الاحتفاظ بقيم البارامیتر في ملف تكوين منفصل حيث يقرأه البرنامج كجزء من عملية التهيئة [32, pp. 64]. وقد سمحت ترجمة هذا النوع من المعلومات إلى شفرة البرنامج software code بالتواصل بين فريق التصميم والمهندسين الإنشائيين للبقاء عند مستوى يوفر الدقة والكفاءة التي لا يمكن تحقيقها بواسطة النماذج ثلاثية الأبعاد. هذا يتطلب من النموذج الرئيسي إخراج الشكل الجيومتري للجدران الخارجية والشكل الجيومتري الإنشائي في مجموعة من بيانات الإحداثيات التي يمكن قراءتها في برنامج Digital Project. ويوضح الشكل (33) مثالا خاصا لبيانات الإحداثيات coordinate dataالمتولدة عن الأوجه المثلثة التي تصف سطح الجدار الخارجي أنتج البرنامج ملف نصي محدد من الإحداثيات
				التمثيل عن طريق البرمجة النصية	

				اخرى	الاظهار renderings الرسومات drawings	والأبعاد والزوايا لكل لوحة في الجدار الستاري. [42, pp.367,373]  الشكل (33) تصميم انتاج النموذج بوصفه coordinate data للاستيراد إلى منصات التحليل الأخرى [42, pp.371].
3	تنظيم المعرفة الداخلة في إنشاء النماذج البارامترية			منهج أعلى إلى أسفل top-down منهج من أسفل إلى أعلى bottom-up		تسيطر البارمترات في البرنامج على شبكة الإسناد المائل، حيث يتم تحسين البارامترات بعد العديد من التكرارات للوصول الى التصميم الأمثل لكل من الأداء الانشائي، ومساحة البرنامج الواردة داخل المبنى، والأحكام الجمالية. [10, p.5] بسبب الاستدقاق والتحول في شكل البرج، كل واجهة مثلثة (سطح ثلاثي) من السطح الخارجي أدت إلى الشكل الجيومتري الفريد من نوعه، وبصرف النظر عن التناظر عبر مركز السطح الكلي. ولذلك، كان من الضروري معالجة تركيب الالواح لكل سطح على حدة. [42, p.372]
4	تنقيح بنية النموذج البارامتري (التنقيح الشمولي)			الاضافة المباشرة		تم تطوير خوارزمية إجرائية التي تصف استراتيجية لتجميع الألواح غير النظامية الصغيرة في اللوح ألاكبر المجاور لها وطبق المنطق القائم على الاحكام في الخوارزمية. متغيرات مثل أقصى زاوية حادة أو الحد الأدنى لعرض قطعة من الزجاج تعتمد على الشركة المصنعة، والتي أصبحت مدخلات البارامتر في الخوارزمية. [42, p.373] تم تعديل قيم دوران اللوح من أجل تحسين الحل المقترح. [19, p.210]
5	موضع تطبيق النمذجة البارامترية	على مستوى التصميم الكلي	التصميم الانشائي			توسع استخدام التصميم البارامتري من الوصف الإنشائي إلى عناصر التغليف المنطبقة عليها. [35, p. 10] كان توثيق المنطق القائم على القواعد Rule-based logic حاسما في استكشاف تصميم الجدار الخارجي للمبنى، حيث تم تحديد الشكل الجيومتري للجدار الخارجي للبرج من خلال ازاحة النموذج السلكي المركزي للهيكل بطريقة منهجية. وجرى استكشاف وتوثيق منطق الكيفية التي ينبغي بها تركيب الواح كل سطح وتوثيقه في شفرة البرنامج واعتمادا على موقع السطح، تم تطبيق واحدة من الاستراتيجيات الثلاث الأخيرة المذكورة أعلاه على سطح ثلاثي. [42, pp.369, 373]
		على مستوى جزء من التصميم	ماهية الجزء	غلاف المبنى		
				التفاصيل البنائية (الجدارالخارجي - تركيب الالواح الزجاجية)		
			علاقة الجزء بالكل	الجزء مرتبط بالكل		
6	تعددية النماذج البارامترية ضمن التصميم			نموذج بارامتري مشترك		يتطلب التصميم البارامتري نموذجا موحدا رئيسيا يمثل حالة التصميم الحالية حيث ان كل بارامتر يتم استكشافه هو حالة حرجة فرعية لهذا النموذج طوال التغييرات المستمرة لعملية التصميم فمن المفيد الابقاء على النموذج الرئيسي (الاولي) الذي يتسم بالمرونة والتكييف.[32, p.64]

جدول (8) قياس القيم الممكنة لمتغيرات إنشاء النموذج البارامتري في عملية التصميم لملعب Hangzhou Tennis Center (الباحثة).

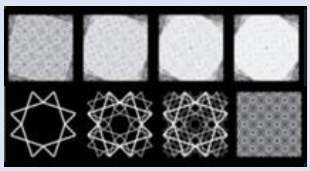
	مفردات الاطار	القيم الممكنة		النص المعتمد في القياس حسب المصدر
1	توقيت إنشاء النموذج البارامتري	إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة تطوير الفكرة التصميمية		بدأت عملية التصميم البارامتري لمركز Hangzhou مباشرة بعد تحديد الشكل الجيومتري لغلاف الملعب. حيث اعتزمت شركة NBBJ من التصميم التقليل من كمية الحديد التي ستستخدم في هيكل الغلاف من أجل تصميم غلاف قشري فعال يوفر مجال رؤية واضح للمتفرجين. تم استخدام التصميم البارامتري لتسهيل عملية حساب عدد وكمية الواح الألمنيوم المستخدمة في التغليف. ال Rhinoceros وGrasshopper لديها أدوات لحساب مساحات الاسطح المنحنية المزدوجة والواح الألمنيوم على هذه الأسطح بدقة. وبالإضافة إلى ذلك، ساعدت هذه البرامج في تصنيع هذه الالواح عن طريق تبسيط هذه السطوح في البرنامج وجعلها مسطحة وقطعها بواسطة آلات التصنيع باستخدام الحاسب الآلي [37, pp.18,22]. تشمل الأدوات البارامترية المتقدمة الشكل الجيومتري للبتلة (تويجية النبات) واستخدمت في عملية التصميم للتطور المتزامن. تم تطوير القشرة الخارجية التي تشكل الفكرة الرئيسية للمشروع باستخدام عدد من العناصر النمطية الفريدة المحيطة بالملعب، الشكل (34) [38, p.42]. لتحليل وهندسة التفاصيل استخدمت البرمجة النصية المخصصة لأتمتة الاتصالات من المعلومات المركزية لفريق المهندسين الإنشائيين. [36, p.141]  الشكل (34) استخدام عدد من العناصر النمطية لتشكيل الفكرة. [38, p.45].
		إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة التفاصيل		
		إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة التصنيع		
2	المعرفة الموظفة في إنشاء النموذج البارامتري	دقة ووضوح المعرفة الموظفة في التصميم البارامتري	وصف ضمني وغير دقيق (غير تفصيلي)	استخدم مصممو هذا المبنى التصميم البارامتري للنموذج لغلاف المركز لسببين منطقيين: أولا، لإيجاد تغليف قشري خفيف ومبتكر والثاني للتقليل قدر الامكان من كمية الحديد المستهلك [37, p.15]. من أجل تصور الشكل تم تعيين نظام بارامتري ليعرف بصراحة الشكل الجيومتري للسطح المسيطر ودراسة التنويعات الشكلية. [36, p.141]
		نوع المدخلات البارامترية	قيم رقمية	استند مفهوم التصميم الرئيسي للغلاف على سطح منحنى مزدوج تم تطويره من قوس دائري. تم تحويل السطح بارامتريا إلى مجموعة من نقاط السيطرة NURBS. تم إنشاء هذه النقاط لإنتاج الأسطح المتكررة للمنحنى المزدوج التي كانت مرتبة ضمن مصفوفة على طول قوس دائري .[37, p.19] كان الخط المركزي لنموذج الدعامات موجهة بارامتريا من السطح المحكوم المسيطر عليه جيومتريا . وقد وضعت البارامترات للسماح للسيطرة على تباعد القضبان الانشائية وعمق الدعامات. [36, p.144] وقد اشتق هذا المفهوم الجيومتري الأصلي من دراسة ال 3D، الأنماط المتناظرة من B-spline الناتجة عن عملية النسخ - المرآتي حول شكل الملعب البيضوي الشكل. باستخدام نموذج الفكرة الأصلية كنقطة انطلاق، تم تعريف الحدود الداخلية والخارجية للشكل الجيومتري في المقطع. من هذه الحدود، تم تعيين نقاط التي من شأنها أن تكون بمثابة نقاط السيطرة للمنحنيات B-spline. وتستخدم هذه المنحنيات لتحديد المقطع العرضي للهيكل الجمالوني
			علاقات شكلية	
			خصائص شكلية	

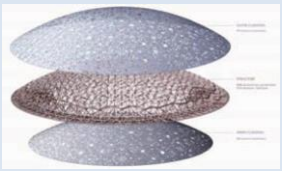
					الاساسي وترتبط بفضاء مقاعد الجلوس، الشكل (35). [43, pp.14,15]  الشكل (35) عملية النسخ- المرآة B-spline المستخدمة لاشتقاق مفهوم الغلاف الخارجي [43, pp.14]
		مصادر المعرفة حول المشكلة الخاضعة للتصميم البارامتري	المعرفة المحددة	النماذج البدئية Prototypes	استخدم مصممو هذا المبنى التصميم البارامتري للنموذج لغلاف المركز لسببين منطقيين: أولا، لإيجاد تغليف قشري خفيف ومبتكر والثاني للتقليل قدر الامكان من كمية الحديد المستهلك. وبدأت عملية التصميم البارامتري لمركز Hangzhou مباشرة بعد تحديد الشكل الجيومتري لغلاف الملعب [37, p.18].. وقد اشتق هذا المفهوم الجيومتري الأصلي من دراسة الأنساق الشكلية الثلاثية الأبعاد 3D المتناظرة منB- spline الناتجة عن عمليات النسخ – المنعكس (المرآة) حول شكل الملعب البيضوي الشكل. ويستند تنفيذ الملعب أيضا إلى العديد من الاستراتيجيات المبينة في المشاريع السابقة وينسقها في نظام بارامتري واحد. كما ان تحديد الشكل الجيومتري إلى السطوح القابلة للتطوير لها أهمية خاصة عند النظر في كيفية أن تكون أشكال البتلة (تويجية النبات) منبسطة في نهاية المطاف لأغراض التصنيع تم تقسيم الشكل الجيومتري المنحنى التي تحدد الدعامات والبتلات (تويجيات النبات) لتحقيق التثبيت المتقاطع والخطوط المركزية للدعم الجانبي، الشكل (36). [43, pp.14,15]  الشكل (36) رسم تخطيطي يوضح الارتباطات البارامترية من الشكل الجيومتري إلى الهيكل والقشرة [43, p. 15]
				رسومات CAD التقليدية	
			المعرفة الغير محددة	المواصفات (الوظيفية ، الادائية ، الشكلية ...)	
		اساليب تمثيل المعرفة	التمثيل الجيومتري		تم تحويل السطح بارامتريا إلى مجموعة من نقاط السيطرة NURBS. تم إنشاء هذه النقاط لإنتاج الأسطح المتكررة للمنحنى المزدوج التي كانت مرتبة ضمن مصفوفة على طول قوس دائري. أخذت السطوح ذات المنحنى المزدوج شكل من أشكال تويجة النبات. [37 ,p.19]. وقد استخدمت هذه الرسومات جنبا إلى جنب مع جدول بيانات لكميات السطح spreadsheet. كما أنتجت الخوارزمية جدولا مباشرا يتضمن معلومات عن انحناءات السطح. [36, p.147]
			جداول البيانات الحاسوبية spreadsheet		
3	تنظيم المعرفة الداخلة في إنشاء النماذج	منهج أعلى إلى أسفل top-down			تم توسيع خوارزمية مركز التنس بشكل كبير وشملت قدرات متكاملة لتصميم الشكل الجيومتري للغلاف، التنويع الشكلي، التعاون الانشائي، المحاكاة المفاهيمية، تحليل السطح والإكساء ،التنسيق ،التوثيق.[36, p.143]

	البارامترية				
4	تنقيح بنية النموذج البارامتري (التنقيح الشمولي)	الاضافة الغير مباشرة			أن الفريق الانشائي كان قادرا على إجراء تحليل شامل لهندسة النظم الانشائية، تم إضافة وظائف إضافية للمحاكاة المفاهيمية في خوارزمية Grasshopper [36, p.145]. تم تركيب نظام بارامتري لتوسيع مناطق الجلوس في المشروع، وتم ربط هيكل البتلة (تويجية النبات) الخارجية بمنطقة الموقع. هذا يسمح نظام البتلة إلى أن تتكيف وتعديلها على أساس تعديل البارامترات الجلوس. وقد أدى تغيير عدد مناطق الجلوس الجديدة أو مستوى زاوية الرؤية إلى تكييف القشرة الخارجية مع القشرة الجديدة. [38, p.46]
5	موضع تطبيق النمذجة البارامترية	التصميم الانشائي	على مستوى التصميم الكلي		استخدم مصممي هذا المبنى التصميم البارامتري لنموذج غلاف المركز لسببين منطقيين: أولا، لإيجاد القشرة المبتكرة المناسبة والثاني، للحد من استهلاك الفولاذ للهيكل. تم تطبيق التصميم البارامتري أيضا على مهام أخرى في هذا المشروع للمرة الأولى: تصميم الشكل الجيومتري للغلاف، التنويع الشكلي، التعاون الانشائي، المحاكاة المفاهيمية، تحليل السطح والإكساء ،التنسيق ،التوثيق. [37, p.19] وقد أدى تغيير عدد مناطق الجلوس الجديدة أو مستوى زاوية الرؤية إلى تكييف القشرة الخارجية مع القشرة الجديدة. ويتيح ربط الانظمة بشكل بارامتري لاستكشاف العلاقات بين جميع عناصر التصميم الرئيسية بطريقة شاملة. [38, p.44,46]
			على مستوى جزء من التصميم	ماهية الجزء	غلاف المبنى
					التفاصيل البنائية
				علاقة الجزء بالكل	الجزء مرتبط بالكل
6	تعددية النماذج البارامترية ضمن التصميم	نموذج بارامتري مشترك			وقد استخدم برنامج Grasshopper لأول مرة لتوليد التصميم لوغاريتمي دقيق للغلاف القشري ومن ثم تم استخدامه لنقل معلومات التصميم إلى التخصصات الأخرى وتحقيق التعاون الفعال. وكان الهدف من تصميم الغلاف هو الحصول على نموذج لغلاف يوفر الظل الكافي على تجويف الملعب وحماية المتفرجين من المطر، ويتيح مساحة مغطاة للمعدات الميكانيكية وأجهزة الإضاءة. لتحويل البتلات (تويحيات النباتات) إلى العناصر الانشائية، تعاونت NBBJ مع شركة CCDI لتحويل الأسطح المنحنية المزدوجة الى نموذج نمطي لجمالون بخطوط مركزية. وقد تم إنتاج هذا النموذج بواسطة Grasshopper وهو قابل للتشغيل في برامج التصميم الانشائي الاخرى. وبالتالي، فإن التعاون الفعال بين NBBJ و CCDI قد صممت الشكل الجمالوني الكفوء والمناسب للغلاف[37, p.19,22].

جدول (9) قياس القيم الممكنة لمتغيرات إنشاء النموذج البارامتري في عملية التصميم لمتحف اللوفر (أبو ظبي) (الباحثة).

	مفردات الاطار	القيم الممكنة		النص المعتمد في القياس حسب المصدر
1	توقيت إنشاء النموذج البارامتري	إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة تطوير الفكرة التصميمية		كان نموذج Digital Project بمثابة قاعدة للتطوير المستمرة للهيكل، والغلاف، والإضاءة، وتفاصيل القبة [44, p.84]. تم بناء هذا النموذج بمواصفات مفصلة، إلى جانب وجود مستوى متأصل من التعقيد الجيومتري، وأبعاد كبيرة ومستويات عالية من الدقة المطلوبة لتطوير واستخدام مجموعة من الأساليب المتقدمة في الحاسوب وتقنيات متكاملة للحاسوب المساعد في التصنيع CAM: من جيل بارامتري من المكونات غير القياسية، خوارزميات التحسين الامثل الجيومتري لتصنيع فعال للأجزاء، إلى المهام الآلية للإنتاج [39, p.163]. تم تجربة نموذج الإضاءة المعكوسة في المراحل المبكرة جدا من التصميم المعماري لمتحف اللوفر أبو ظبي من قبل المصمم[40, p.792.]
		إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة التفاصيل		
		إعتماد النموذج البارامتري في مرحلة التصنيع		
2	المعرفة	دقة المعرفة	وصف ضمني وغير دقيق	تصّور القبة على أنها سلسلة من الطبقات من الأنماط الجيومترية ،

	الموظفة في إنشاء النموذج البارامتري	الموظفة في التصميم البارامتري	(غير تفصيلي)	والتي تكون متداخلة بطريقة تبدو ملموسة على الرغم من أنها ذات سيطرة عالية وكان دور فريق التصميم المتعدد التخصصات هو تحقيق هذه الرؤية في الواقع، مع مراعاة سلسلة من القيود: الجمالية، الإضاءة الطبيعية، البيئة، الهيكل الانشائي، وأساليب العرض في المتحف ، والتصنيع، التجميع والصيانة.[44, p.89]
		نوع المدخلات البارامترية	قيم رقمية	تم أخذ نموذج منشأ بخطوط مركزية (centre-line) للقبة كمدخل لإنشاء بنية بيانات ارتباطية، تم تعريف كل من القضبان والعقد كمكونات بسيطة بشكل بارامتري، وشملت خصائص مثل السمك والطول وطول الذراع وعدد الدبابيس وتعريفات عناصر الارتباط. [39, p.168]
			علاقات شكلية	
			خصائص شكلية	وكان النسق الجيومتري الأساسي لإنشاء شبكة ذات ثقوب تزينية في المظلة عامل جوهري لجميع قرارات التصميم والتحليل اللاحقة. ويتكون هذا النسق من مثلث متساوي الساقين تم تكريرها وتدويرها لتشكيل نظام المربعات والسداسي، الشكل (37). [44, pp.80]
				
				الشكل (37) نسق القاعدة المطبق على القبة، مع دراسات من الأنماط المشتقة[44, pp.80].
		مصادر المعرفة حول المشكلة الخاضعة للتصميم البارامتري	المعرفة المحددة: النماذج البدئية Prototypes	في نهج التصميم الأدائي تطبيق نموذج الإضاءة العكسية على التصميم المعماري يستخدم من أجل إنتاج هذه الخريطة الشفافة. ويتحقق دمج هذا النهج في عملية التصميم التعاوني من خلال استخدام أداة التصميم البارامتري القائم على الضوء: EEL، التي تم تطويرها للتعامل مع هذه السمات المعقدة مثل توزيع الضوء غير المتجانس. تصوّر القبة على أنها سلسلة من الطبقات من الأنماط الجيومترية، والتي تكون متداخلة بطريقة تبدو ملموسة على الرغم من أنها ذات سيطرة عالية وكان دور فريق التصميم المتعدد التخصصات هو تحقيق هذه الرؤية في الواقع، مع مراعاة سلسلة من القيود:
			المعرفة الغير محددة: المواصفات (الوظيفية ، الادائية ، الشكلية ...)	الجمالية: ويهدف الى تحقيق الشكل العائم، مظلة ذات عمل فني زخرفي تمثل في الواقع، تركيبة ديناميكية رائعة، تتكون من أجزاء متساوية الغموض والدقة. الإضاءة الطبيعية: تحت المظلة، تدعو رؤية التصميم الى مشاهدة "امطار الضوء:" وهي أشعة مرئية من الضوء والإضاءة الديناميكية المتحركة على الساحة والجدران. وهذا يتطلب السيطرة الدقيقة في مستويات الثقب والضوء المنتشر. البيئة: ولتحقيق مناخ مريح تحت القبة، يجب تحقيق مستوى الهدف التراكمي البالغ 1.8٪ فقط لانتقال الضوء، ويلزم وجود مادة انبعاث منخفضة للسطح الداخلي. Museography. على مستوى تصميم المتحف، يتم تحقيق الإضاءة الطبيعية للمعارض مع مستويات متغيرة، محددة بوجه الخصوص للثقوب في القبة [43, pp.82,89]. تم تنسيق القبة في 1028 مثلث كما هو مطلوب شبكة مثلث من قبل النموذج البدئي EEL، واعتبر كل التصحيح مثلث الضوء الافتراضي. تم إنشاء الإضاءة التي ينتجها كل ضوء افتراضي باستخدام نموذج pin-hole من النموذج البدئي EEL مع الأخذ بعين الاعتبار الشمس والسماء.[40, p.795]
		اساليب تمثيل	التمثيل الجيومتري	كان نموذج Digital Project بمثابة قاعدة للتطوير المستمرة

		المعرفة	القواعد		للهيكل، والغلاف، والإضاءة، وتفاصيل القبة. ترجمت القيود إلى قواعد جيومترية محددة للتصميم. في كل مستوى من متطلبات الأداء، ترجمت المتطلبات إلى قواعد جيومترية مدمجة في النموذج البارامتري الأساسي. [44, pp.84,89]
			جداول البيانات الحاسوبية spreadsheet		
			الخرائط		يوفر النموذج البارامتري وثائق التنفيذ من خلال جدول البيانات الحاسوبية spreadsheet يوثق ملفات الألومنيوم المطلوبة ووثائق التجميع للاستخدام في المصنع وفي الموقع [14, p.185]. تم تعريف خريطة قصد الإضاءة، التي هي نقطة الانطلاق من أجل إجراء محاكاة الإضاءة العكسية. [40, p.793]
		اساليب تطوير المعرفة	التغذية الاسترجاعية feedback		أصبح النموذج المركزي أداة مستجيبة تعتمد على البيانات لتجميع معلومات الضوء الخارجي ومقاييس التحليل الهيكلي. وقد تكيف النموذج نفسه مع كل مجموعة من البيانات، مما يوفر التغذية الاسترجاعية المتبادلة للعلاقة المتداخلة بين الاثنين
			تجزئة المشكلة		
3	تنظيم المعرفة الداخلة في إنشاء النماذج البارامترية	منهج أعلى إلى أسفل top-down			[44, p.84]. كما كانت الاستراتيجية تقسيم الشكل الجيومتري عند المقاييس الأصغر والاستفادة من خصائصها الجيومترية وفقا لذلك وكان التقسيم من (1) القبة بأكملها، (2) أجزاء بنائها، (3) الوحدات (الموديولات) الفردية وصولا الى (4) القضبان الفردية والعقد. [40, pp.164,165]
4	تنقيح بنية النموذج البارامتري (التنقيح الشمولي)	الاضافة الغير مباشرة			تم دمج خوارزمية التحسين الامثل كخطوة ثانية في Plug-In. ونتيجة لذلك، تم تخفيض أنواع القضيب المختلفة من 1250 إلى 44 عناصر قياسية، والحد بشكل كبير من تكلفة الإنتاج والمساعدة في مهمة التجمع. [39, p.169]
5	موضع تطبيق النمذجة البارامترية	تطبيق النموذج البارامتري على مستوى جزء من التصميم	ماهية الجزء	السقوف	وكان نموذج Digital Project بمثابة قاعدة للتطوير المستمرة للهيكل، والغلاف، والإضاءة، وتفاصيل القبة، الشكل (38). [44, pp.84]
				التفاصيل البنائية	
			علاقة الجزء بالكل	الجزء مرتبط بالكل	كلما تم تطوير التصميم تم أيضا معالجة التحديات المتعلقة بتفاصيل قضبان الغلاف المعدنية والارتباطات عبر القبة بأكملها بشكل تعاوني مع النموذج البارامتري. [44, pp.86]، [30, pp.32]  الشكل (38) الرسم التخطيطي لإنشاء نموذج الهيكل (وسط)، طبقات الغلاف (أعلى وأسفل). [39, pp.164]
6	تعددية النماذج البارامترية ضمن التصميم	نموذج بارامتري مشترك			اختار فريق التصميم استخدام عملية تصميم متزامنة حيث تم توليد نموذج مركزي بارامتريا في Digital Project تم مشاركته بين المعماريين والمهندسين والاستشاريين من أجل ضمان التنسيق والتعاون السليمين بين جميع الأطراف. [30, p.31]