التصميم التوليدي -مرحلة جديدة في التصميم المعماري
Generative design - new phase in architectural design

د/ هالة أديب فهمي حنا
مدرس بقسم الهندسة المعمارية – كلية الهندسة بالمطرية – جامعة حلوان
hladeeb@yahoo.com

ملخص البحث
في تاريخ العمارة، الطرز المعمارية المختلفة قدمت العديد من الأشكال الهندسية بالإضافة لمنطق التعبير وكل حقبة أوجدت وسيلة للتعامل مع مشاكلها وقضاياها الهندسية. خلال تلك القرون، بدأ المعماريون عملية التصميم برسم مخططات المفاهيم والأشكال الهندسية. وسواء قام المعماري برسم تلك الأفكار بالقلم على الورقة أو بالفأرة على أجهزة الحاسب، فإن المخرج الناتج في الحالتين يكون هو نفسه: تمثيل مرئي للمشروع المعني. تتسم عمليات التصميم هذه بالتغيير، الذي قد ينشأ من عدم وضوح أهداف ونوايا المصمم منذ البدء، بالإضافة لنمو وتطور التفاصيل والمتطلبات التي يتم التعامل معها. مما يجعلها عملية شاقة ومجهدة، تتطلب الكثير من الوقت والجهد لتعديل او معالجة التصميم، والتي يعقبها زيادة في تكلفة التصميم. وتكمن المشكلة أن هذا النهج لا يساعد المعماريين على التعامل مع التغييرات المختلفة بطريقة سهلة وبسيطة. بشكل خاص لاستكشاف حلول مختلفة بشكل سهل وسريع فعملية التصميم تقتصر على عدد قليل من الحلول المولدة، أو تكيف التصميم مع المتطلبات المتطورة والمتغيرة والتي زادت في الآونة الأخيرة بسبب التطورات السريعة التي يشهدها العالم.
ولكن في السنوات الأخيرة، تلك الفكرة المرتبطة بعملية التصميم تتغير. فقد أعلن Abrishami واخرون أن العمارة الآن لم تعد مجرد تركيز على التشكيل الجمالي فقط، لكنها موجهة نحو العمارة المعتمدة على الأداء، يتم تصميمها واختبارها باستخدام المحاكاة والتحليل والتحسين. لذلك، للتعامل مع هذا النمو المستمر لتعقيد المشروع تبعه العديد من التقدم التكنولوجي[١]. ومع ظهور البيانات الضخمة big data والحوسبة السحابية Cloud computing تجددت فكرة أن أجهزة الحاسب يمكنها أن تعالج مهمة التصميم المعقدة. وأدخلت الأدوات الحسابية Computational Tools تقنيات مبتكرة مصممة بشكل أفضل لمعالجة التغيير بكفاءة واستكشاف الشكل form-finding. تلك التقنيات أحدثت ثورة في التصميم المعماري، ويطلق عليها مصطلحات مثل "التصميم التوليدي" Generative Design أو "التصميم الحاسوبي" computational design، حيث تهيمن الحواسيب على عملية التصميم.
تمثل هذه الدراسة البحثية لمحة عن تكنولوجيا التصميم التوليدي التي يمكن تعريفها بأنها إبداع الأشكال بواسطة الخوارزميات. وتلقي الضوء على ماهية المفاهيم الأساسية للدراسة، التصميم التوليدي وخوارزميات التصميم. بالإضافة لدراسة واستكشاف تأثير الأسلوب التوليدي على الاركان المختلفة لعملية التصميم المعماري والتي تتمثل في دور المصمم المعماري في عملية التصميم ومراحل العملية التصميمية والعمل المعماري الناتج. وذلك لمناقشة الفرضية الرئيسية للدراسة وهي أن التصميم التوليدي وسيلة تزيد من كفاءة التصميم، ودمجه في عملية التصميم يلعب دورا رئيسيا في تسهيل وتبسيط عملية التصميم المعماري بشكل مثير، حيث يبسط للمعماري التعامل مع التغيرات المستمرة. ومن ثم تختتم الدراسة بأهم النتائج البحثية، عرض التوصيات المقترحة التي من شأنها إثبات كفاءة استخدام التصميم التوليدي في عملية التصميم بالمقارنة بالمنهج التقليدي.

الكلمات المفتاحية
Generative Design, Computational Design, Algorithm Design, Algorithm approach, Generative Algorithm, Design process.

١ مقدمة: الإشكالية، الأهداف، الفرضية، المنهجية

نشاط التصميم هو مهمة غامضة ومتباينة. ومشاكل التصميم مبهمة. في العمارة، ينطوي التصميم على استجابة لمشكلة غالباً ما تكون غير واضحة في البداية، ولذلك، فإن عملية التصميم تنطوي على تطوير فهم للمشكلة. وكل مشكلة تصميم تتسم بمجموعة واسعة من الحلول الممكنة. وهذا يعنى أن التصميم ينطوي على عملية الاختيار بين البدائل. وفي هذا السياق، يمكن اعتبار نشاط التصميم عملية تطورية، تتطور من أفكار مجردة إلى حلول أكثر تعقيداً وواقعية، تراعي القيود وتجسد متطلبات التصميم. هذه العملية تتقدم وتتراجع مرات عديدة من أجل التوصل إلى حل جيد لمشكلة التصميم. والمعماري هو الشخص الذي يتولى عملية التصميم. ويقوم بنقل أفكاره ورسمها وتمثيلها باستخدام القلم والورقة. وامتدت تلك الممارسة لعملية التصميم على مدى قرون طويلة. ومع ظهور الأدوات الرقمية وانتشارها بشكل واسع. ظهرت تلك الأداة الجديدة أيضاً في العمارة، ولكن نظراً لطبيعتها الفنية الإبداعية، استخدمت كأدوات مساعدة لتسهيل المهام اليدوية، وتوثيق قرارات التصميم، تسمح بضمان دقة وسرعة الرسومات، ومعالجة الاخطاء دون إعادة الرسومات. ولكن دون المشاركة في جوانبها الإبداعية (عملية التصميم بمعناها المعروف). ولكن في العقدين الأخيرين، بجانب التطورات التي تحدث بشكل يومي في المجال المعماري، حدث شيء يسهل تمييزه، وهو تغير طريقة الفهم والتفكير في التصميم المعماري. ومع تطور مفهوم الحوسبة تطورت الأدوات وأدخلت مناهج جديدة في عملية التصميم، ويمثل التصميم التوليدي أحداها.

١/١ الإشكالية البحثية

عملية التصميم النمطية، والتي تعرف باسم عملية التصميم التقليدية -والتي تتطلب معرفة وخبرة المصمم لصياغة الكتل والهياكل التي تلبي احتياجات المستخدمين -غالباً ما تكون عملية شاقة ومجهدة، ويرجع أحد أسباب ذلك إلى الحاجة للتغيير المستمر الذي قد ينشأ من: عدم وضوح أهداف ونوايا المصمم منذ البدء، بالإضافة لنمو وتطور التفاصيل والمتطلبات التي يتم التعامل معها خاصة مع النمو المستمر لتعقيد المشروع. مما يتطلب الكثير من الوقت والجهد لتعديل او معالجة التصميم، ويعقبها زيادة في زمن وتكلفة التصميم.

وتكمن المشكلة في أن العملية التقليدية، التي لا تزال الأكثر انتشاراً في الممارسة المحلية اليوم، لا تساعد المعماري على التعامل مع التغييرات المختلفة بطريقة بسيطة من حيث:

- تكيف التصميم مع المتطلبات المتطورة والمتغيرة: ففي السنوات الأخيرة مع توجه العمارة نحو الأداء، بدأ يتعامل المعماري مع كميات هائلة من البيانات المعقدة والتي تكون في كثير من الأحيان متناقضة وغير متجانسة، لدرجة يصعب وتحليلها بالطرق التقليدية والاستفادة منها ودمجها في التصميم.
- استكشاف بدائل مختلفة بشكل سهل وسريع، فعملية التصميم التقليدي تقتصر على توليد عدد قليل من الحلول: وعلى سبيل المثال، في حالة إجراء تغير ما بالتصميم، يمكن للمصمم تحليل الاحتمالات الممكنة في عقله وتخيل عدد من البدائل التي تخدم تصميمه، وبالرغم من ذلك تفقد عدد كبير من البدائل تماماً لأنه لم يتخيلها.

٢/١ الفرضية البحثية

تعتمد الدراسة البحثية على فرضية رئيسية، تتمثل في أن التصميم التوليدي وسيلة تزيد من كفاءة التصميم. ودمجه كنظام جديد في التصميم يلعب دورا رئيسيا في تسهيل وتبسيط عملية التصميم المعماري بشكل مثير، حيث يبسط للمعماري التعامل مع التغيرات المستمرة، ويتمكن أثناء مراحل التصميم الأولية أو تحسين التصميم من:

- معالجة أكبر قدر من المشاكل والمتطلبات المتطورة والمتغيرة التي قد يكون المعماري غير قادر على التعامل معها وحلها.
- توليد العديد من بدائل ومقترحات التصميم المثيرة للاهتمام بسرعة وبدون عناء.

كما يلعب أيضاً دورا في إبداع تصميمات معمارية ذات أشكال هندسية وإمكانيات تتجاوز حدود التصميمات التقليدية.

٣/١ أهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة البحثية إلى:

- أولاً: استكشاف ومناقشة تأثير التصميم التوليدي على **الاركان المختلفة لعملية التصميم المعماري** والتي تتمثل في: **دور المصمم المعماري في عملية التصميم. - أسس ومراحل العملية التصميمية. - العمل المعماري الناتج.**

ويتم التعرف على هذه التأثيرات من خلال الإجابة على التساؤلات البحثية التالية:

- هل المورد الرقمي للتصميم التوليدي يمثل أداة رسم مثل القلم الرصاص أو برمجيات التصميم بمساعدة الحاسب؟
- هل سيغير التصميم التوليدي دور المصمم المعماري بشكل كلي؟ هل سيحل جهاز الحاسب محل المصمم المعماري؟
- هل ستتغير خصائص العمل المعماري؟
- هل هذا النوع من التصميم يغير وجه المرحلة الحالية من العمارة؟
- هل ستمهد التغيرات الطريق لمستقبل جديد؟

- ثانياً: تقديم لمحة عن التقدم الحالي في هذا المجال الناشئ والمتطور.
- دراسة واستكشاف إمكانيات التصميم التوليدي كاداه مساعدة متكاملة في عملية التصميم.

٤/١ منهجية الدراسة

المنهجية المتبعة في هذه الدراسة البحثية، بناءً على إشكالية البحث وتحقيق الأهداف المقترحة واثبات صحة الفرضية، تتضمن ٣ مراحل رئيسية كأساس منهجي:

أ- **الإطار النظري -استعراض الأدبيات**: يركز الإطار النظري في هذا البحث على التعرف على ماهية المفاهيم الأساسية للدراسة: التصميم التوليدي وخوارزميات التصميم.

ب- **الإطار التحليلي الاستنباطي**: يتألف الإطار التحليلي في هذا البحث من محددين رئيسيين:

- دراسة وتحليل أسس ومراحل عملية التصميم لاستنباط تأثير استخدام المنهج التوليدي على مراحل التصميم المعماري، والتعرف على التغيرات المحتملة في سير عملية التصميم. بالإضافة لدراسة وتحليل آراء بعض الباحثين وخبراء البرمجيات وغيرهم عن الدور الفعلي للمصمم المعماري في الأسلوب التوليدي لاستنباط تأثير هذا النوع من التصميم على دور المعماري.

- دراسة كيف يتم التعامل في الممارسة المعمارية مع المشاريع التي أظهرت الاحتياج إلى أدوات متطورة لإبداعها، وذلك اعتماداً على دراسة حالة وتحليل سير العمل لمجموعة من المشاريع المعقدة التي تم إبداعها باستخدام منهج التصميم التوليدي، لاستنباط تأثير استخدام الأسلوب التوليدي على العمل المعماري الناتج.

ج- **النتائج البحثية**: في ضوء المراحل السابقة، يتم استخلاص أهم النتائج البحثية، بجانب عرض التوصيات المقترحة.

٢ التصميم التوليدي Generative design

في السنوات الأخيرة قد زحفت حقبة جديد من التصميم في العمارة ودخلت حيز التنفيذ، ولاقت اهتماما متزايداً تحت مصطلح "التصميم التوليدي Generative Design". وقد بدأ هذا الاتجاه – الذي يعلن ارتباطه الوثيق بتطور التكنولوجيا والوسائل الرقمية والتفاعلية - في تسعينيات 1990s القرن الماضي، وكان يستخدم لإبداع الأعمال الفنية والرسوم المتحركة البسيطة[٢]. هذا الاتجاه التصميمي الجديد ليس مجرد حركة أو أسلوب كما أنه ليس ابتكاراً جديداً من قبل البشر، كما يدعي Andrew Blauvelt، مدير تصميم متحف Walker Art، لكنه طريقة جديدة لفهم دور التصميم من منظور مختلف. فالتفكير التوليدي راسخ في جيناتنا، هو ترميز طبيعتنا، هو عملية التعلم المقلدة لما هو راسخ في طبيعتنا. حيث ترتكز نظرية التصميم التوليدي على قواعد مبادئ النمو الطبيعي الموجودة في الطبيعة[٣].

١/٢ ماهية التصميم التوليدي

لفهم ما يعنيه التصميم التوليدي أو المُوَلِّد Generative Design، فإنه من المفيد إلقاء نظرة موجزة على تعريف كل من "Generative" و"Design" بصورة مستقلة. مصطلح "التوليدي Generative" ينشأ من الكلمة اللاتينية generativus، والتي تنبع من كلمة 'beget' generare [٤] وتعني ينجب أو يولد أو ينتج (جلب وإعطاء الوجود لشيء ما عن طريق عملية ما)[٥]. وبناء على ذلك، يتعلق مصطلح Generative بامتلاك القدرة أو وظيفة إنتاج وإبداع وإنشاء شيء ما[٦] أو يتسبب في تطويره[٧]. كما يستخدم في علم اللغة linguistic منذ ١٩٥٩، ليصف النهج لأي مجال لغوي والذي ينطوي على فكرة تطبيق مجموعة محدودة من القواعد على المُدْخَل اللغوي لإنتاج وتشكيل كل الجمل الممكنة من اللغة[٤].

أما بالنسبة لمفهوم التصميم "Design"، فالتعريف الموجز والمفيد له هو "الفن أو العمل على إنتاج مخطط أو رسم"[٨]. وبدون الخوض في النظريات المختلفة لمفهوم التصميم، يتم تبني النظرية التي تصف علم التصميم على أنه العلم الذي يتضمن على عملية ابتكار منتج إنساني جديد بهدف حل بعض المشاكل. وطبقاً لذلك فإن التصميم يمكن اعتباره نشاط منهجي ومقيد ومنطقي، يتضمن على تحديد ووصف للمشكلة ثم توليد الحلول البديلة والبحث فيما بينهم لاكتشاف الحل الذي يستوفي المشكلة ويلبي الأهداف المحددة[٩].

وبالتالي فإن مفهوم "التصميم التوليدي" يتم فهمه على أنه العملية التي يتم فيها تحديد المشكلة ثم باستخدام مجموعة من القواعد يتم تطبيقها يمكن إبداع كل الحلول الممكنة التي تستوفي المشكلة تمهيداً لاختيار الحل النهائي. وطبقاً لذلك التعريف، يمكن القول ان جميع ممارسات التصميم المعماري (التقليدية أو الحاسوبية) توليدية، ولكن هذا التعريف يحتاج إلى التوسع ليشمل سياق الممارسة المعمارية المعاصرة للتصميم، للتوصل إلى التعريف النهائي للتصميم التوليدي.

ومن خلال محاولة اكتشاف تعريف ماهية التصميم التوليدي في الممارسة المعاصرة، تم التوصل إلى أنه ليس هناك تعريف واحد للمصطلح، ولكن العديد من التعاريف المكملة ذات الخصائص المشتركة، والتي تختلف وفقاً لاختلاف المنظرين المعمارين. ومن هذه التعاريف: يعرف المعماري الإيطالي Celestino Soddu، وأستاذ التصميم التوليدي بجامعة Politecnico di Milano، التصميم التوليدي بأنه "عملية تخلقية morphogenetic process باستخدام الخوارزميات المنشأة باعتبارها أنظمة غير خطية لنتائج لا نهائية فريدة من نوعها وغير قابلة للتكرار يتم تنفيذها بواسطة قانون التصور idea-code، كما هو الحال في الطبيعة". ولارتباط مفاهيم التصميم التوليدي بالتشكل morphogenesis ارتباطاً قوياً. يتم التعرف على ماهية مصطلح التشكل "morphogenesis "، مشتق من الكلمات اليونانية (morphe -μορφή) بمعنى "شكل" و (genesis -γένεσις) بمعنى "ولادة"، لذلك يمكن أن تترجم حرفياً على أنها " ولادة الشكل"[١٠]. وفي هذا السياق، يمكن تعريف التصميم التوليدي أيضاً بأنه عملية خوارزمية أو عملية تعتمد على قواعد يجري تطبيقها بطريقة منظمة لتوليد وإبداع مجموعة من حلول تصميمية محتملة متنوعة[١١]. تلك القواعد تعتبر "الجينات genes". كما يعرف التصميم التوليدي أيضاً بأنه عملية استخدام الخوارزميات للمساعدة في استكشاف بدائل التصميم التي تتجاوز ما هو متاح حالياً ولم يكن من الممكن إبداعها وتخيلها باستخدام عملية التصميم التقليدية[١٢]. ويوصف نتيجة لذلك بمصطلح التصميم الخوارزمي "algorithmic design"[10].

ومن بين الآراء التي تسعى لتحديد هوية التصميم التوليدي، والمكملة للتعريفات السابقة، وتختص بالتركيز على منطقة محددة. Sivam Krish الذي أسهب في وصف محرك التصميم التوليدي وتأثير قيمته في استكشاف الإمكانيات التصميمية الجديدة، يعرف التصميم التوليدي بأنه "تحويل الطاقة الحاسوبية إلى طاقة استكشافية ابداعية تمكن المصممين البشريين من استكشاف عدد أكبر من إمكانيات التصميم ضمن المحددات القابلة للتعديل"[3]. كما يرى Heiko Dertinger أن التصميم

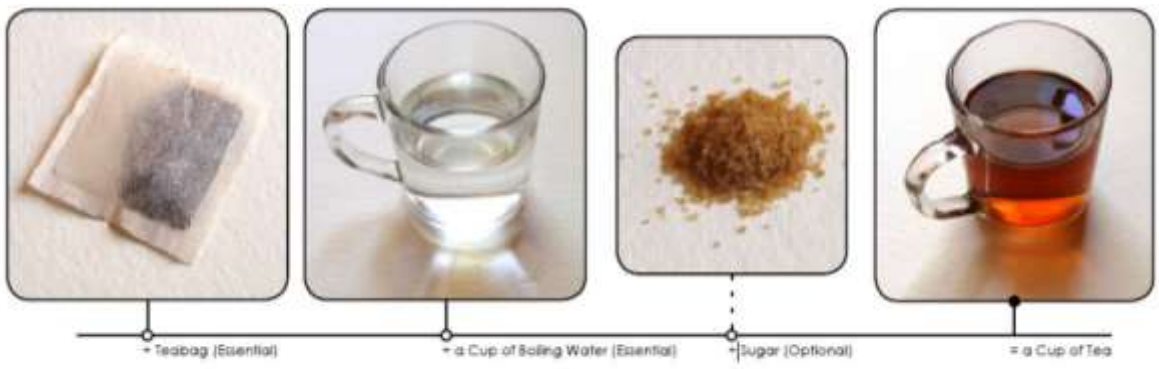
التوليدي يصف عملية التصميم حيث لم تتكون النتيجة مباشرة بواسطة المصمم، ولكن باستخدام الخوارزميات المبرمجة[١٣]. أي يكشف كيف يمكن أن يشترك المصمم مع أجهزة الحاسب في إبداع النتائج التي لا يمكن للبشر أبداً أن يتصوروها بمفردهم[١٤]. ومن خلال هذا المنظور، يطلق مصطلح "التصميم الحاسوبي Computational design" على التصميم التوليدي ويستخدما بشكل متبادل تقريباً[١٥].

ومن التعريفات السابقة للتصميم التوليدي، يلاحظ أن عملية ولادة الشكل واستكشاف البدائل التصميمية (عملية التصميم) تتم باستخدام الخوارزميات، لذا يجب التعرف على ماهية خوارزميات التصميم المبرمجة.

٢/٢ ماهية خوارزميات التصميم Design Algorithms – Generative Algorithms

في الآونة الأخيرة، أدى التقدم في علوم الحاسب إلى تبسيط تطبيق الخوارزميات كاستراتيجية للتصميم، ونشأت العناصر الخوارزمية واستخدمت على نطاق واسع في مجالات التصميم المختلفة كالعمارة وتصميم الجرافيك والرسوم المتحركة وغيرها. وأصبح النهج الخوارزمي أساس لأنظمة التصميم التوليدي. ولفهم ماهية خوارزميات التصميم، يتم إلقاء نظرة موجزة على تعريف الخوارزميات. نشأ مصطلح الخوارزمية بعد القرن التاسع واستمد من اسم عالم الرياضيات الفارسي محمد ابن موسى الخوارزمي، وتعرف الخوارزمية algorithm على أنها: "عملية أو صيغة لحل مشكلة ما، اعتماداً على إجراء سلسلة من القواعد أو التعليمات الحسابية computational* المحددة، وعادة ما تكون عملية صغيرة في عدد محدود من الخطوات لحل مشكلة متكررة"[١٦]. شكل (١). تتطلب الخوارزميات معلومات الإدخال ليولد معلومات الإخراج. تستخدم الخوارزميات لأداء المهام البسيطة أو المعقدة والتي يمكن فيها الجمع بين عدة خوارزميات قصيرة[١٧] [١٨]. ومما سبق يمكن فهم خوارزميات التصميم design algorithms على أنها عملية تستخدم الهندسة الحسابية computational geometry** لإنتاج منتجات التصميم. فيها تجمع أنواع مختلفة من المعلومات، وتنتج "الشكل الهندسي" كمخرج[١٩].

شكل (١) يوضح مفهوم الخوارزمية – سلسلة من التعليمات يتم ربطها معاً في نظام للقيام بمهمة محددة للحصول على



النتيجة. المصدر: [١٩]

بالرغم من أن القواعد الحسابية اللازمة لأداء العمليات الخوارزمية، لا تحتاج بالضرورة ان يقوم بها جهاز الحاسب. إلا أن التصميم التوليدي في الممارسة المعاصرة يعتمد على الخوارزميات الحاسوبية ليسمح للمعماري ان يتغلب على ضيق الوقت والاختبار السريع للتصميم. وتوصف الخوارزميات الحاسوبية كبرنامج مكتوب بلغة رسمية – نصية أو بصرية أو كليهما - يتم تنفيذه بواسطة الحاسب. وتلك الخوارزميات المبرمجة قد تفرض نوع من العلاقات او نهجاً محدداً لمشكلة التصميم، أو قد تكون مرنة وقابل للتعديل حيث توفر للمعماري القدرة على البرمجة لإضافة خوارزمياته الخاصة[٢٠].

يرى Alessandro Zomparelli من استوديو التصميم الإيطالي MHOX، أن التصميم بالخوارزميات الحاسوبية أشبه باستكشاف مادة جديدة للعمل بها. حيث تعمل الخوارزميات الحاسوبية على تغيير عملية التصميم. وتستخدم كأدوات لتوليد الشكل وأيضاً كأدوات لتحسينه. فالخوارزميات من خلال تغذيتها بالمدخلات المختلفة ومعالجتها تعمل على توليد كافة البدائل الممكنة لحل التصميم[2]. ومن خلال اختيار أفضل الحلول من كل تكوين يتم تغيير المدخلات والتي تؤدي أيضاً لتحديث النتيجة بتوليد حلول جديدة، وهكذا من خلال الاستجابة للتغيرات يستمر الخوارزم في التطوير عبر التكوينات المولدة حتى الوصول للحل المثالي. فالخوارزم قابل للتطبيق على نطاق واسع[٢١].

القاعدة الخوارزمية تؤدي على إبداع أشكال هندسية معقدة جداً. ينتج ذلك التعقيد من فهم الأساس الهندسي للطبيعة، حيث تعمل بالطريقة التي تشيد بها الطبيعة باستخدام المكونات الخلوية. فالقاعدة راسخة في الخلية نفسها والخلايا تنظم أنفسهم

---

* مفهوم الحساب (Computation): يشير إلى فعل الحساب calculation والمنطق reasoning في معالجة المعلومات. ويشتمل على بعض التقنيات والأساليب التي تتعامل مع المواضيع والعمليات والمهام التي يتم القيام بها من خلال معالجة المعلومات.

** الهندسة الحسابية (Computational Geometry): هو فرع من علوم الحاسب، الذي يزاوج بين الخوارزميات algorithms والهندسة geometry وفيه تستخدم الخوارزميات لحل المشكلات مع الجوانب الهندسية[١٩].

لإبداع أشكال معقدة اعتماداً على قاعدة بسيطة نسبياً. وبالتالي فالعالم الجديد للشكل يولد من العالم الجديد من الفهم الرياضي والبيولوجي وينافس أيضاً الطبيعة في تعقيده[٢٢]. كما تنتج الخوارزميات التعقيد أيضاً من التسلسلات الهرمية المختلفة لعملية التصميم حيث تبدأ من مستوى بسيط جداً وكميات صغيرة من البيانات، ثم يتم إضافة طبقات أخرى لكل منها منطقها وتفاصيلها حتى تتكون الأشكال المعقدة[٢٣]. فمع النهج الخوارزمي، المعماري لديه كل إمكانيات الأشكال الهندسية الحسابية بالإضافة إلى إدارة كمية هائلة من البيانات والأرقام والحسابات. التي تمكن من بحث المشاكل الخاصة المعلومات والوصول للحل الأمثل وتوليد مستوى عالي من التعقيد.

ومما تم استعراضه من تعاريف للتصميم التوليدي في الممارسة المعاصرة والمذكورة أعلاه، يرى الباحث ان التصميم التوليدي هو مصطلح واسع يمكن وصفه باعتباره:

أ- التكنولوجيا التي تحاكي عمليات التصميم الطبيعي والمنهج التطوري البيولوجي في الكائنات الحية، حيث يتم تطوير التصميمات باعتبارها اختلافات وراثية.

ب-عملية التصميم التي يعتمد فيها توليد الشكل وبدائله على استخدام القواعد أو الخوارزميات المبرمجة (الطاقة الحاسوبية).

ج- عملية التصميم الذي يشترك في إبداع نتائجها كلا من المصمم المعماري والقدرات الرقمية الحاسوبية.

٣ التصميم التوليدي وأركان التصميم المعماري.

في هذا القسم من الدراسة البحثية يتم استكشاف ومناقشة تأثير التصميم التوليدي على الأركان المختلفة لعملية التصميم المعماري والتي تتمثل في دور المعماري في عملية التصميم. – مراحل وأسس العملية التصميمية. - العمل المعماري الناتج.

١/٣ دور المصمم المعماري في التصميم التوليدي

على قدر كون هذا الميدان الجديد من التصميم مُمتعًا، إلا أنهُ يبدو مُخيفًا. فمن خلال استعراض وفهم تعاريف التصميم التوليدي والمذكورة أعلاه، يلاحظ تغير في الأدوار الأساسية بعملية التصميم، بمعنى أخر تغير في دور المصمم المعماري، بسبب دخول عنصر جديد في عملية التصميم (الطاقة الحاسوبية). ومن هنا تأتي عدة تساؤلات هامة: هل حقاً سيتغير دور المصمم المعماري في التصميم التوليدي؟ ما الذي سيحدث لدور المصمم عندما يستطيع نظام حاسوبي الدخول في عملية التصميم؟ وما هو دور كل منهما؟ لذلك في هذا الجزء من الدراسة البحثية يتم التعرف على ماهية التغيرات التي طرأت على دور المعماري في عملية التصميم وتحديد دور كلاً من المصمم المعماري والحاسب بشكل أكثر تفصيلاً. وذلك من خلال استعراض أراء بعض الباحثين وخبراء البرمجيات في دور المصمم المعماري بالتصميم التوليدي.

ويتضح رأي خبراء البرمجيات، من خلال رأي Diego Tamburini الخبير الاستراتيجي بشركة Autodesk – الذي يصف منهج التصميم التوليدي بأنه الأسلوب الإجباري للتصميم - عن تغيير دور المصمم بقوله: "أن دور المصمم سيتغير بالتأكيد لأن الاعتماد على التقنية أصبح على نطاق واسع" وأيضاً رأيه عن تغيير دور الكمبيوتر: " إن الكمبيوتر يولد ليس فقط الشكل بل العديد والعديد والعديد من الخيارات".

ويؤكد ذلك Jeff Kowalski الرئيس التنفيذي للتكنولوجيا بشركة Autodesk الذي ألقى محاضرة هامة عن التصميم التوليدي في مؤتمر e.g. conference، حيث قال: "ان التصميم التوليدي هو تحول عن الطريقة التي ننجز بها التصميم بشكل تقليدي" ويرى أن هذا التحول سيغير العلاقة بين المصمم وجهاز الحاسب، وسيطور دور المصممين والمهندسين، بقوله: "دورنا في التصميم التوليدي كمستخدم، كمصمم، يتغير من العلاقة التوجيهية للكمبيوتر operator – أفعل ذلك الآن، ضع هذا الخط هنا، أجعل هذا الحائط هنا، أجعل هذا الثقب في الجزء هنا - إلى حد بعيد إلى مشرف curator على ما يفعله الحاسب، بدلاً من اتخاذ جميع القرارات"، وأطلق هذا اللقب على الدور الجديد للمصمم لأن الذي يستخدم النتائج المولدة بواسطة الحاسب يؤدي دور المشرف[٢٤]. ويوجه Kowalski حديثه لتأكيد أن التصميم التوليدي سيسمح للمصممين بدفع الأشكال والأداء الوظيفي للمنتجات المصممة أكثر من أي وقت مضى، وذلك بقوله: "نحن البشر سنقلل العمل في مجال التشكيل أو النمذجة الثلاثية الأبعاد، ونكثر العمل في الواقع في مجال الفهم لما هي متطلباتنا للتصميم". أما عن دور تكنولوجيا الحاسب فيرى Kowalski: "أننا نعتمد أكثر على الكمبيوتر في إبداع وتقييم الخيارات معاً، حيث يظهر لنا أيضاً مجال الحل بأكمله، قبل أن نلتزم بواحد"[2]. ويستطرد Kowalski في عرض رأيه عن دور الحاسب بالتصميم التوليدي، في مقالة بعنوان: CAD Is a Lie: Generative Design to the Rescue، بقوله: "أجهزة الكمبيوتر التي تبتكر الأفكار بشكل خلاق من تلقاء نفسها هي محور التصميم التوليدي، الذي يسمح للمصمم بمشاركة الهدف مع الكمبيوتر، ليس ما يريد أن يفعله، ولكن ما يحاول أن يحققه، بالإضافة للقيود المتعلقة، ثم ينطلق الكمبيوتر في الواقع ليستكشف فضاء الحل، ويبدع الأفكار التي لن يفكر فيها المصمم من تلقاء نفسه، ويبتكر مجموعة كبيرة من الحلول الممكنة." ويستكمل حديثه بتوضيح الصفة التي تميز جهاز الحاسب عن المصمم قائلا: "هنا يكمن المفتاح: في الوقت الذي يتخذه المصمم لإنشاء

تصميم واحد فقط، يكون النظام الحاسوبي قد انجز كل التصميمات الممكنة. هذا هو الكمبيوتر، يصبح مبدع وقادر على توليد الأفكار التي تساعد الناس أن تطور"[٢٥].

أما عن رأي الباحثين الممارسين المتخصصين، فالفنان والمصمم والمعماري Che-Wei Wang يرى ان المصمم سيصبح إلى حد بعيد شخص ذو خبره عامة generalist، لأنه الخوارزميات تقوم بتوليد آلاف من الحلول المثلى، وأيضاً اختبار تلك التصميمات ملايين المرات أسرع من المصمم البشري، بالرغم من أن هذه الخوارزميات في حكم مدخلاته ومعاييره. وبالتالي سيكون المصممين في المستقبل أقل شبهاً من قائدي الطائرة وأشبه بمراقبي الحركة الجوية. ويضع Wang وصفاً أدق لدور ومهمة المصمم بقوله: " قد يكون من السهل التفكير في وظيفة المصمم على أنه ببساطة يقوم بعمل اختيار make the selection" حيث يقوم المصمم باختيار لل parameters - مدخلات البيانات القائمة على فهم احتياجات المستخدم من حيث الأداء وعلم الجمال والسلامة والمواد وقيود التصنيع والتنفيذ والشكل والتكلفة و...غيرها - وإدخالها، وأيضاً اختيار وتكوين الخوارزميات، ونتيجة لهذه الاختيارات يولد النظام مجموعة من الحلول، ولإيجاد أفضل الحلول التصميمية، يقوم المصمم بأخذ القرار وعمل اختيار من مجموعة التباديل الممكنة للحلول التصميمية التي تم توليدها. حيث يقدم التصميم التوليدي نهجاً جديداً يشبه المحرر والمنقح editor للتصميم[٢١].

بعد استعراض بعض من آراء الخبراء والباحثين عن تحول العلاقة بين كلاً من دور المصمم والحاسب في عملية التصميم التوليدي. يتم عمل مقارنة بين دور كلاً من دور المصمم المعماري والنظام الحاسوبي في كلاً من عملية التصميم التوليدي والتصميم التقليدي. للإجابة على التساؤلات السابقة وأيضاً لتوضيح وتحديد الأدوار المتغيرة لكلاً منهم، ويتضح ذلك في الجدول التالي، رقم (١):

جدول (١) يوضح دراسة تحليلية مقارنة بين دور كلا من المصمم المعماري والنظام الحاسوبي في التصميم التوليدي والتصميم التقليدي. المصدر: [الباحث]

	التصميـــم التـوليـــــدي	التصميـــم التـقـليـــــدي
دور المصمم المعماري	يتركز دور المصمم المعماري على عملية الاختيار، وتتضمن هذه العملية العديد من المهام، وهي: ▪ اختيار وتحديد ما يحاول أن يحققه من أهداف بالإضافة لقيود التصميم (ال Parameters / المتطلبات والمدخلات المختلفة للتصميم). ▪ اختيار وتحديد القواعد الخوارزمية. ▪ فحص ودراسة مختلف المخرجات التصميمية المولدة، لاختيار الحل التصميمي النهائي الأمثل.	هو قائد العملية الإبداعية التصميمية يتولى عملية التصميم بأكملها، ويقوم باتخاذ كافة القرارات. يختص عمله أولا بدراسة عدد من المتطلبات المختلفة للتصميم بالإضافة لأهدافه. ثم دمج كل هذه الجوانب لابتكار وتشكيل نتاج معماري جديد، وظيفي ومنطقي وأنيق، وذلك عن طريق توليد الأفكار في عقله وتحليلها وتطويرها بشكل حدسي حتى الوصول للتصميم النهائي الذي يستوفي الأهداف والمشاكل.
دور النظام الحاسوبي	يختص دور النظام الحاسوبي بـ: ▪ العملية الإبداعية -تشكيل ونمذجة النتاج المعماري، وذلك عن طريق ابداع الأفكار وتوليد ليس فقط الشكل بل عدد ضخم من الحلول التصميمية الممكنة. ▪ تقييم بيانات الأداء لكل حل من هذه الحلول.	يتوقف على كونه أداة مساعدة لتسهيل المهام اليدوية ووسيط لتحقيق أهداف وتطلعات المصمم (مجال الرسم وتدعيم قدرات النمذجة) بشكل أسرع وأفضل وأرخص، بالإضافة لتوثيق العمل.
العلاقة بين الدورين	علاقة إشرافية: يصبح المصمم المعماري مشرف curator على ما يفعله وينتجه الحاسب.	علاقة توجيهية: يكون المصمم موجه operator للحاسب – أفعل ذلك الآن، ضع هذا الخط هنا، أجعل هذا الحائط هنا، أجعل هذا الثقب في الجزء هنا – يقوم فيها الحاسب بتنفيذ متطلبات المصمم المعماري لتحقيق أهدافه.

ويتضح من الجدول السابق أن المصمم في عملية التصميم التوليدي يشارك النظام الحاسوبي في إبداع التصميم. وبمعنى أخر تغير دور كلا من المصمم المعماري والنظام الحاسوبي في عملية التصميم. حيث يقوم النظام الحاسوبي بالدور الرئيسي في عملية إبداع وتشكيل التصميمات والأفكار المختلفة التي لن يفكر فيها المصمم من تلقاء نفسه، بعد أخذ المدخلات من المعماري.

وكنتيجة تغير بعض الأدوار في عملية التصميم التوليدي، يشعر المصممون بالقلق والتهديد من فكرة نزع جزء كبير من العملية الإبداعية من عملهم وإعطائها للحواسيب. إلا أن الباحثين وخبراء البرمجيات كان لديهم آراء مختلفة، سيتم عرض بعض من تلك الآراء. فالمصمم Zomparelli من استوديو التصميم الإيطالي MHOX، يقول خلال فيلم تم تصويره بواسطة Dezeen: "من المثير أن تكون مصمم في الوقت الحاضر، لأن لدينا أدوات رقمية تسمح لنا بإبداع شيء لا يصدق، فنحن شغوفون باستكشاف النتائج الجمالية لهذا التطور التكنولوجي"[2]. حيث تساعد هذه الطريقة المصممين على

الخروج من منطقة الراحة* comfort zone الخاصة بهم إلى مسار جديد للاستكشاف والاستمتاع بالنتائج اللانهائية الفريدة الغير قابلة للتكرار[3].

إما Kowalski تعرض لهذه المخاوف في أثناء القائه للمحاضرة قال: "أنا متأكد من أن البعض قد تفكر بشأن أن هذه التقنيات ربما تشكل تهديداً، أريد أن أقول أن هذا خطأ ١٠٠%، هذه التقنيات ليست تهديداً، بل هي أشبه بالقوى الهائلة superpowers، فهذه الأدوات من ابتكار الخيال، أنها توسع تفكيرنا وقدراتنا أيضاً. ولا أتخيل أنه أمر مرعب، بل أتخيل أنه أمر مثير"[٢٦]. وفي هذا السياق يرى Sveta McShane أن "الآلات لن تحل محلنا، بل ستجبرنا على التطور". ويؤكد أنه لن يستبدل البشر عندما تبدأ الآلة أن تصمم بشكل إبداعي، بدلاً من ذلك سيخطو خطوة نحو مرحلة متطورة بشكل جديد يؤدوا فيها دور مرشدين mentor للحاسب، ويطلق هذا اللقب على الأشخاص الذين يبرمجوا الآلة لتولد أي من المنتجات بشكل تلقائي[24]. فأدوارنا المتغيرة وعلاقتنا نحو الآلات يمكن أن تتغير في الطريق الذي يجلب الكثير من الإبداع والحرية للبشر.

بجانب هذه المخاوف، تثار العديد من التساؤلات حول مستقبل مهنة المصمم المعماري في ضوء تبني ممارسات التصميم التوليدي. وفي هذا السياق يوفر كلاً من Carl Frey و Michael Osborne باحثون بجامعة أوكسفورد لمحة هامة عن مهنة المعماري من خلال تقديرهم بأن المعماريين هم من أقل المهن المحتملة أن يتم تشغيلها آلياً خلال العشرون عاماً القادمة. حيث يمنحوا المعماريين فرصة بنسبة ١,٨ % أن تكون آلية، مقارنة بفرصة المحاسبين بنسبة ٩٣,٥ %. وهذا يرجع إلى أن المعماريين ينفقوا الكثير من وقتهم في التفاوض والاشتراك مع العملاء لإيجاد حلول مقبولة للطرفين واتخاذ القرارات النوعية – كافة المهارات الأكثر تعقيداً والأكثر إنسانية التي يقوم بها البشر[15].

٢/٣ أسس ومراحل عملية التصميم التوليدي

العملية التقليدية للتصميم المعماري هي عملية عقلية منظمة تعتمد على مجموعة خطوات تبدأ بإيجاد المحددات والمتطلبات الثابتة والمتغيرة، وتحويلها إلى مشاكل، ثم عن طريق التعامل مع هذه المعلومات أو المشاكل المختلفة وخلطها بالأفكار في المخيلة الخلاقة للمعماري، يتم نقل تلك الأفكار إلى رؤى واضحة بوضع وتوليد العديد من الاحتمالات (تكوينية / تشكيلية). ومن خلال البحث فيما بينهم يتم الاختيار لإيجاد أفضل الحلول الذي يستوفي المشاكل المحددة سابقاً، ويكون التصميم المعماري هو النتاج الجديد أو المخرج المنبثق الذي يكون جملة معمارية ذو رسالة (تحقق وظيفة محددة يطرحها احتياج ما). ولكن من خلال ما سبق مناقشته في تعريف التصميم التوليدي المذكور أعلاه، والذي يتضمن استخدام النظام الحاسوبي في عملية التصميم، ومن خلال التعرف على دوره، يتبادر إلى الذهن تساؤل بشأن إجراءات التصميم: هل التصميم التوليدي يغير مراحل وأسس عملية التصميم المعماري التقليدي؟ ومن خلال دراسة العديد من الاساليب المختلفة للتصميم التوليدي، سيتم عرض موجز للتطبيق الأكثر شيوعا لعملية التصميم التوليدي[٢٧]، شكل رقم (٣):

أ- مرحلة التحديد Define: تحديد المشاكل Defining Problems

تتطلب هذه المرحلة تحديد ووصف مشاكل التصميم. ويتم صياغة مشكلة التصميم من خلال تحديد الأهداف والقيود (ما يجب الارتباط به ومراعاته أو تجنبه - بيانات التصميم) والتي تعرف بال parameters. يتم إدخال هذه parameters (المدخلات المختلفة للتصميم) لخوارزميات التصميم التوليدي الحاسوبي (برمجيات التصميم بمساعدة الحاسب) لتوثيق أهداف وقيود –بشكل واضح وضمني. ويتم إدخال تلك البيانات باستخدام عدد من وسائل الإدخال وتتضمن اللغة الطبيعية، مدلول الصورة، أشكال هندسية تم رسمها بالكاد، بيانات رقمية ونص، ..... وغيرها من وسائل الإدخال. وتتضمن أهداف وقيود التصميم -على سبيل المثال التصميم المعماري - العديد من البيانات التفصيلية المختلفة التي تم تحليلها مثل البرنامج الوظيفي للمشروع، تحليل الموقع، حجم المبنى أو المساحة التي يشغلها التصميم النهائي، معايير الأداء، استهلاك الطاقة، الإضاءة، الأحمال الهيكلية، القوى المؤثرة، المواد المستخدمة وخصائصها (الوزن والقوة والتكلفة)، قيود التصنيع، و...غيرها من المتطلبات المعمارية والإنشائية والبيئية والميكانيكية والمادية. كميات هائلة من البيانات المعقدة والتي تكون في كثير من الأحيان متناقضة وغير متجانسة. وبعد ذلك يتم افتراض معايير للحكم على البدائل التصميمية المولدة، مثل استهلاك الطاقة، التكاليف، ... .

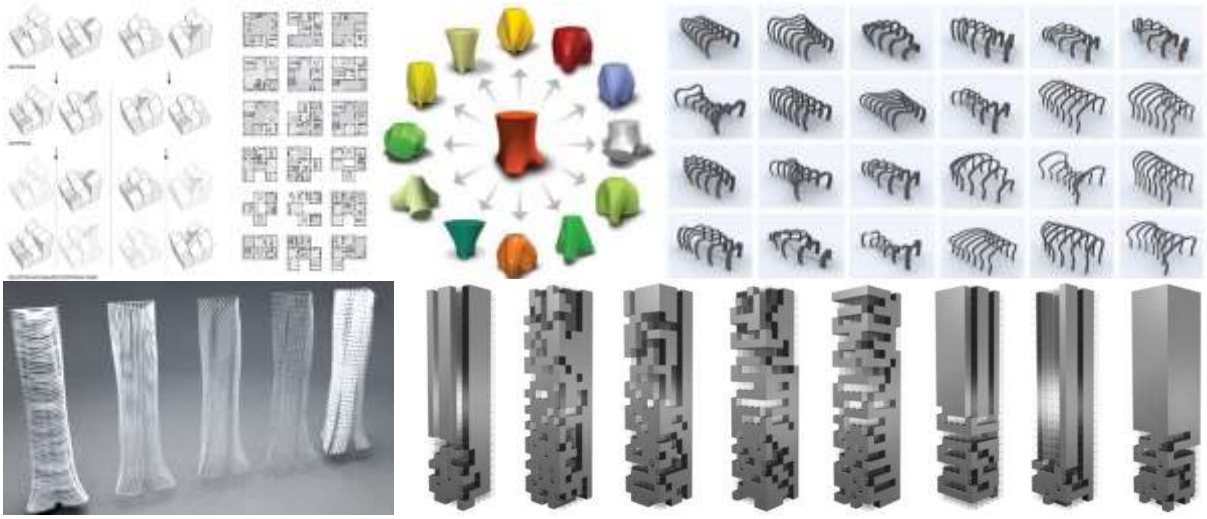
* منطقة الراحة (Comfort Zone): هي حالة سلوكية يمارسها الشخص بلا توتر بسبب اعتياده على ممارستها ضمن إطار روتيني محدد. ينتج عن هذا الروتين تكيّف ذهني يعطي الشخص شعورا بالأمان وفي نفس الوقت يحد من قدرته على التقدم والإبداع.
والخروج من منطقة الراحة يحتاج إلى شجاعة. والأفراد الناجحون، عادة ما يخطون خارج منطقة الراحة، ليخوضوا تجربة جديدة رغبة في تحقيق أهدافهم. وبرغم ما يسببه هذا من شعور بالمخاطرة وتعامل مع واقع متغير، إلا أنه يفتح لهم فرصا متجددة وقدرة على المبادرة والنجاح.
https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D9%86%D8%B7%D9%82%D8%A9_%D8%A7%D9%84%D8%B1%D8%A7%D8%AD%D8%A9

وبيانات التصميم أدوات حاسمة لها تأثيراً مباشراً على نتائج التصميم، فكلما زادت الأهداف والقيود التي يتم إدخالها في أداة التصميم التوليدي، كلما كانت النتائج أكثر تطوراً. كما تعتمد طبيعة وعدد الحلول والبدائل المولدة على كمية البيانات التي يدخلها المصمم في النظام. فعلى سبيل المثال، كلما قلت البيانات التي يتم إدخالها، كلما كانت سلسلة الحلول أكبر، بسبب قلة القواعد التي تحدها[١].لذلك يجب العثور على البيانات الهامة والتي تستخدم كمدخلات للخوارزميات، حيث تعد الجهود المركزة على تعريف المشكلة مجالاً نشطاً لاستكشاف الشكل.

ب- مرحلة التوليد Generate: تكوين الشكل Shape Synthesis

تقوم هذه المرحلة على التعامل مع بيانات ومتطلبات التصميم الضخمة parameters المحددة بالمرحلة السابقة، لتكوين البدائل المختلفة للحلول التصميمية التي تلبي الأهداف. فمن خلال تشغيل الخوارزميات ومنطقها الخاص، يبحث نظام التصميم الحاسوبي فضاء التصميم الاصطناعي لتوليد عدد ضخم من الخيارات التصميمة الممكنة والفريدة والغير قابلة للتكرار كحل للمجموعة الواسعة من معايير الإدخال، شكل (٢). وأيضاً تحليل الأداء وتقييم كافة الحلول التصميمية. وتتم هذه المعالجات داخل النظام الحاسوبي، ولكن في حالة الاحتياج لمزيد من الحسابات المكثفة يتم تحميلها على الحوسبة السحابية* Cloud computing (البنية التحتية للحوسبة العالية الأداء) لإيجاد الحلول عن طريق تشغيل محركات التحسين والتحليل.

شكل (٢) يوضح أمثلة متنوعة للتصميمات اللانهائية والغير قابلة للتكرار والمُوَلّدة من خوارزميات التصميم التوليدي.



المصدر: [٢٨] [٢٩] [٣٠] [٣١] [٣٢]

ج- مرحلة الاستكشاف Explore: تصور فضاء التصميم Design Space Visualization

بعد تحديد مشاكل التصميم، يقدم النظام المستكشف للتصميم مجموعة من الحلول المقترحة والممكنة والاستراتيجيات المرتبطة بهم. وتوفر واجهة المستخدم فضاء التصميم الفعال والتفاعلات المتغيرة. عند تلقي النتائج الأولية من نظام التصميم التوليدي يتم استكشاف ودراسة وفهم مختلف البدائل الممكنة لحل التصميم، وبعد الفحص الكافٍ، يتم اختيار أفضل الحلول التصميمية، التي تساعد عن طريق دمجها على تعديل الأهداف والقيود في محاولة لتحسين المشكلة. ثم يقوم نظام التصميم التوليدي بإعادة تكرار الدورة وتوليد حلول أكثر ملائمة. ويتم عرض بدائل التصميم الناتجة مرة أخرى إلى جانب بيانات الأداء لكل حل. وتعرف الخطوة الأخيرة بحلقة التغذية المرتدة وهي من أهم خصائص التصميم التوليدي، وتمتد من الآليات البسيطة حيث يتم أخذ مخرجاته الخاصة وإدخالها مرة أخرى، إلى الآليات المعقدة نسبياً والتي تتضمن إجراءات تقييم التصميم[3].

يمكن للنظام الحاسوبي أن يكرر هذه العملية آلاف المرات ليولد آلاف التصميمات المختلفة. وأخيراً باستخدام الحدس البشري يتم تحديد هوية الحل الأمثل والأكثر ملائمة وذلك اعتماداً على بيانات الأداء أو عوامل أخرى مثل الجماليات الشكلية، ملائمته لاحتياجات المستخدمين، والهيكل الإنشائي، وجماليات وثقافة العميل و .... وغيرها من العوامل التي تساعد على

* الحوسبة السحابية (Cloud computing): هي مصطلح يشير إلى استخدام المصادر والأنظمة الحاسوبية المتوفرة عبر شبكة الانترنت والتي تستطيع توفير عدد من الخدمات الحاسوبية المتكاملة بهدف التيسير على المستخدم، ويستطيع عند اتصاله بالشبكة التحكم في هذه الموارد عن طريق واجهة برمجية بسيطة تبسط وتتجاهل الكثير من التفاصيل والعمليات الداخلية.
https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D9%88%D8%B3%D8%A8%D8%A9_%D8%B3%D8%AD%D8%A7%D8%A8%D9%8A%D8%A9

الاختيار المناسب بشكل مثالي. فتقييم الحلول التي تم توليدها والعودة في أي لحظة لضبط الأهداف والقيود لتحديد المشكلة، يؤدي لتوليد نتائج جديدة حتى يتم تحديد الحل الأمثل.

شكل (٣) يوضح خطوات ومراحل سير العملية التصميمية بالتصميم التوليدي. المصدر: [٣٣]

يقول Lars Hesselgren مدير البحوث في PLP Architecture، والباحث والأكاديمي في مجال العمارة والعمران: "التصميم التوليدي ليس بشأن تصميم المبنى -أنه بشأن تصميم النظام الذي يصمم المبنى" ويؤكد عرض المراحل السابقة هذا القول، حيث يتضح أن فلسفة التصميم التوليدي تترجم التصميم المعماري إلى سلسلة من الخطوات المتعاقبة للحصول على مزيج بين النتائج الحاسوبية والأفكار الحرة (الذي يسمى الخيارات المولدة)، مما يمكن المصممين من تصميم إجراءات العملية وانتظار النتيجة غير المتوقعة. وبالتالي ينتقل انتباه المصمم إلى العملية المستمرة وليس فقط للمنتج النهائي[٣٤].

بعد استعراض مراحل سير العمل بالتصميم التوليدي يتم عمل مقارنة بينه وبين عملية التصميم التقليدية، للإجابة على التساؤل الرئيسي: هل التصميم التوليدي يغير مراحل وأسس عملية التصميم المعماري التقليدي؟ ويلاحظ من خلال المقارنة وجود العديد من أوجه التشابه والاختلاف بين مراحل كلا منهما. ويتم إيضاح وتحديد أوجه المقارنة بالجدول التالي، رقم (٢):

جدول (٢) يوضح دراسة تحليلية مقارنة بين مراحل عملية التصميم التوليدي وعملية التصميم التقليدي. المصدر: [الباحث]

أوجه المقارنة (مراحل عملية التصميم)		التصميم التوليدي	التصميم التقليدي
أوجه التشابه		كلاهما يتبع نفس إجراءات ومراحل عملية التصميم الرئيسية، حيث يتم: • تحديد الأهداف ومتطلبات التصميم اللازمة وتحويلها إلى مشاكل التصميم. • توليد وتكوين العديد من البدائل التصميمية. • واخيراً استكشاف ودراسة البدائل لاختيار وتحديد التصميم الملائم.	
أوجه الاختلاف	**القائم بإتمام المراحل**	يشترك كلا من المصمم المعماري ونظام التصميم الحاسوبي في إتمام المراحل المختلفة لعملية التصميم.	يقوم المصمم المعماري بإعداد وإتمام كافة مراحل عملية التصميم المختلفة.
	أسس مراحل التصميم (تفاصيل المراحل)	برغم التشابه في المراحل الرئيسية في عملية التصميم، إلا أن هناك اختلاف داخل كل مرحلة:	
		مرحلة تحديد مشاكل التصميم: - يتم إدراج كافة مشاكل التصميم (parameters) إلى النظام الحاسوبي. باعتبارها مجموعة من خصائص المبنى المقصود. وهي عبارة عن كميات هائلة من البيانات المعقدة والتي قد تكون متناقضة وغير متجانسة.	- يقوم المعماري باستيعاب كافة متطلبات المشروع / مشاكل وبيانات التصميم. ثم التعامل معها داخل عقله ومخيلته. ولكن نتيجة محدودية العقل الإنساني فإن عقل المصمم يتسع ويدرك أكبر ما يمكن من حجم البيانات.
		مرحلة توليد التصميم: - تقوم خوارزميات البرمجيات الحاسوبية بتوليد كافة البدائل التصميمية (داخل النطاق الذي يضعه المصمم). بالإضافة لتحليل وتقييم الأداء لهذه التصميمات بسرعة كبيرة. - يتم توليد عدد ضخم من الاحتمالات التصميمية توصف بأنها لا نهائية فريدة وغير قابلة للتكرار.	- يقوم المعماري بتخيل الأفكار المختلفة داخل عقله، ثم يضع ويولد التصورات التصميمية في صورة اسكتشات تساعد على تحليل الأفكار الأولية ودراستها ونقدها. - يتم توليد عدد محدود جداً من التصميمات، نتيجة عدم تخيل العديد من المقترحات. ثم يقوم بتقييم الأداء لتلك التصميمات.

		مرحلة استكشاف التصميم: (تنقيح وتطوير التصميم واستكشاف الحل النهائي) - بعد دراسة البدائل المولدة واختيار الحل الأمثل (الحل الأفضل للمشاكل المعروضة). يتم تعديل الأهداف والقيود لتحسين المشكلة على النظام الحاسوبي عن طريق التغذية المرتدة. - يتم توليد عدد ضخم من البدائل التصميمية المختلفة.	- يقوم المعماري بتخيل كل البدائل والاحتمالات الممكنة التي تخدم التصميم في عقله، وذلك بعد دراسة التصميمات أو اختبارها خلال برامج تحليل لمعرفة كيف يعمل. - يتم تخيل عدد محدود من البدائل والاحتمالات الممكنة وذلك بسبب عدم تخيل عدد كبير من البدائل والمقترحات.
	بيئة التصميم	تتم غالبية خطوات التصميم داخل النظام الحاسوبي. والذي أصبح جزء لا يتجزأ من عملية التصميم.	تتم كافة مراحل التصميم داخل عقل المعماري.

ويتضح من الجدول السابق بالرغم من تشابه المراحل الرئيسية لسير العمل بعملية التصميم وعدم تغيرها في كلاً من التصميم التقليدي والتصميم التوليدي، إلا أن هناك اختلاف في تفاصيل كل مرحلة من مراحل عملية التصميم التوليدي عن عملية التصميم التقليدي، ويرجع ذلك لدخول عنصر جديد في عملية التصميم، وهو نظام التصميم الحاسوبي، والذي أصبح جزء لا يتجزأ من عملية التصميم التوليدي.

٣/٣ العمل المعماري الناتج من التصميم التوليدي

من الملاحظ ان البعد الرقمي له تأثير على طريقة تصور وتخيل أجيال المعماريين الذين ولدوا في عصر تطور البعد الرقمي، حيث يظهر هذا البعد الرقمي نتيجة مباشرة وعميقة على عمارتهم وأبنيتهم. فالعديد من المباني المثيرة للأعجاب الشهيرة حول العالم، والتي أصبحت أيقونات جديدة، تم تطويرها من خلال منهجية التصميم التوليدي. لذلك في هذا الجزء من الدراسة البحثية يتم التعرف على وتحديد: ما هي أهم التغيرات التي انعكست على خصائص العمل المعماري الناتج؟ وذلك للإجابة على التساؤل الرئيسي: هل هذا النوع من التصميم يغير وجه المرحلة الحالية من العمارة؟ وفي محاولة التعرف على التغيرات المختلفة التي يعكسها التصميم التوليدي على العمل المعماري، يتم دراسة العديد من المباني المصممة بواسطة فلسفة التصميم التوليدي. وذلك بدراسة الفكرة التصميمية والتحديات وطريقة التصميم ووصف العمل الناتج وفوائد استخدام التوليدية.

١/٣/٣ جناح معرض Serpentine ٢٠٠٢ Serpentine Gallery Pavilion 2002

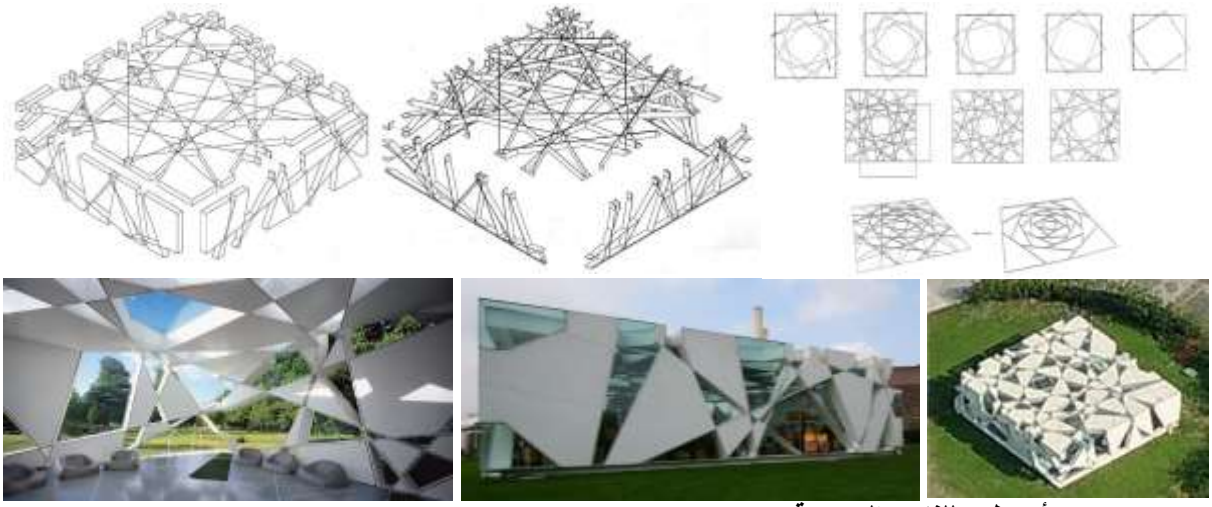
الجناح المؤقت للزوار بمعرض Serpentine في Hyde Park، بلندن، شكل (٤). تم بنائه في صيف عام ٢٠٠٢. صممه المعماري Toyo Ito بالاشتراك مع الفنان والمهندس الانشائي Cecil Balmond والشركة الهندسية Arup Advanced Geometry. جناح المعرض يبدو نمطاً عشوائياً معقداً للغاية، وأثبت بعد دراسة دقيقة انه من الأمثلة الأولية المولدة بواسطة الخوارزميات المصممة خصيصاً له.

فكرة المشروع: كانت الفكرة الأولية للجناح عبارة عن بلاطة مستويه مدعمة بواسطة هيكل صريح، تشكل معاً مكعب كامل. والاسكتش المبدئي ل Ito كان عبارة عن خطوط متقاطعة عشوائية على سطح المكعب. وتم اختيار هذه الفكرة كمفهوم رئيسي، وكان من الضروري اتخاذ قرار يتعلق بكيفية تشكيل نمط عشوائي يقسم الصندوق عن طريق الخطوط.

التحديات وطريقة التصميم: بعد العديد من التجارب والاسكتشات اليدوية غير المرضية، أدرك Balmond أنه يجب أن يخرج من المربع الأصلي لعمل مربع جديد، وعرف بصورة غريزية أن هذا سيعمل، ولكن كيف سيكون، لم يكن يعرف. وعقب هذا القرار، بدأ Balmond وفريقه استكشاف طرق لتوليد النمط من خلال عملية تعتمد على الخوارزميات. وتتضمن الخوارزميات المصممة على دوران وتغيير المقياس لسلسلة من المربعات حول محور مركزي. كل مربع يكون أصغر ومدموج في سابقة لكن مع دورانه. ومن خلال تكرار هذه العملية يتم توليد نمط من المربعات ومن خلال امتداد خطوط المربعات وتقاطعها يتم ابداع حيز كثيف من العديد من المثلثات واشباه المنحرفات. ثم تم ثني هذه الخطوط على طول المكعب. فالقرار المتعلق بنظام القاعدة نفسه يشكل الجانب الرئيسي للتشكيل، وتشغيل الخوارزميات في حالة هذا الجناح وفرت النمط الهندسي. ولكي يكون للنمط المعاني المعمارية لكلا من الوظيفة والهيكل، تم تجسيم الخطوط عن طريق اختيار حجم الصلب، كما تم أخذ شبكة الخطوط باعتبارها نمط الأعضاء الهيكلية حيث شكلت الخطوط كمرات من الصلب مرتبطة ببعضها. وتم الحصول على هذا الهيكل بعد دورة استمرت ٦ مرات من التغذية المرتدة. واخيراً حددت الخوارزميات أي من المثلثات واشباه المنحرفات التي يتم تغليفها بألواح مصمتة أو نصف شفافة لتشكل الفتحات أو شفافة لتكون المداخل (أكبر فتحات).

الوصف: مبنى يبدو معقد وعشوائي تماماً، لا يوجد فيه تمييز واضح بين الجلد والهيكل الإنشائي، يعطي أحساس بالحركة المتكررة اللانهائية[٣٥] [٢٠].

شكل (٤) يوضح التمثيل التخطيطي لتطبيق الخوارزمية للجناح المؤقت للزوار بمعرض Serpentine ٢٠٠٢. المصدر: [٣٦] [٣٧]



٢/٣/٣ مركز أبو ظبي للفنون التعبيرية Abu Dhabi Performing Arts Center

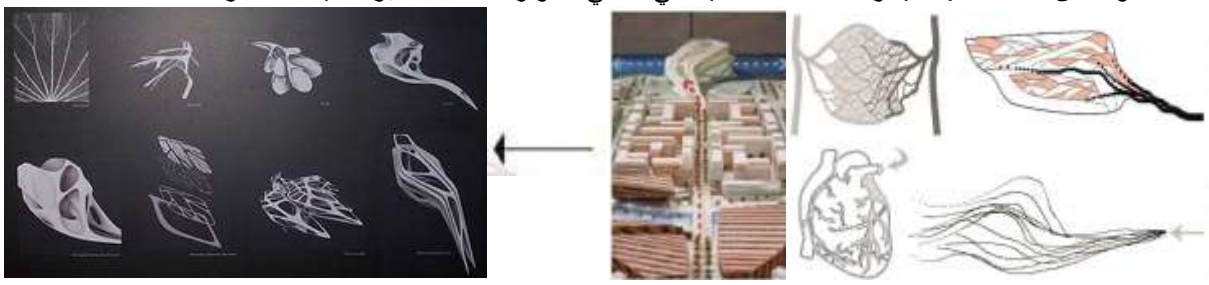
مركز أبو ظبي للفنون التعبيرية، الذي يقع على المحور الرئيسي بالمنطقة الثقافية على جزيرة Saadiyat، بالإمارات المتحدة، جاء نتيجة تكليف المكتب المعماري Zaha Hadid Architects بتصميمه. تصميم هذا المركز مثال على النهج التوليدي المسيطر حيث استخدمت الخوارزميات لتوليد شكل المبنى اعتمادا على محاكاة النمو في العالم الطبيعي والعناصر المحيطة بالمبنى.

فكرة المشروع: قام كلا من Zaha Hadid وPatrik Schumacher بدراسة انبثاق وتطور المبنى في بيئته. ويتضمن مفهوم تصميم المركز العديد من القضايا والسيناريوهات المتنوعة. فتستوحى أولى الأفكار من محاكاة عمليات تدفق الطاقة التي تسري في أنظمة النمو الطبيعي والموجودة في الهياكل والشبكات المتفرعة بالعالم الطبيعي (النبات، الجنس البشري، ... وغيرها). هذه الفكرة تعتبر قاعدة لمفهوم تصميم هيكل المبنى الذي انبثق من دراسة الأشكال الهندسية والمخططات التجريدية والمكونات الأساسية للهياكل المتفرعة بالتشابهات البيولوجية. وينبثق السيناريو الاخر من مفهوم الطاقة التي تأتي من حركة السير السائدة في النسيج الحضري على طول المحور الرئيسي لممر المشاة وأيضاً حركة على طول المتنزه البحري للمركز الثقافي – العنصرين المتقاطعين في الموقع، وتم اخذ هذا العامل الهام في الاعتبار لربط تصميم الشكل بسياق المنطقة الثقافية لان المبنى جزء لا يتجزأ من الموقع، شكل (٥). كما وضعت استراتيجية أخرى لخلق علاقة ناجحة بين الداخل والخارج تسمح بالتواصل البصري المستمر مع المحيط الخارجي بالإضافة لسحب الخارج إلى الداخل.

التحديات وطريقة التصميم: أدى الجمع بين مجموعة القضايا الأساسية والمعلومات المتنوعة (المدخلات -ال Parameters) بدءاً بالتشابهات البيولوجية بالطبيعة (الدراسات التحليلية للنمو) ومسارات المشاة بالسياق الحضري للمنطقة (الدراسات الطبوغرافية للمكان) بالإضافة للجوانب الوظيفية وروح العصر والمطالب النفسية للفراغ وغيرها من القيود إلى تكون إطار لغة الشكل الهندسي لمركز الفنون، شكل (٦). حيث تم تطبيق الخوارزميات وبشكل دقيق الخوارزميات المتفرعة Branching algorithms وعمليات محاكاة النمو لتوليد وتطوير التصورات الفراغية للمبنى في مجموعة من الأشكال الهندسية الأساسية استجابة للطاقة المتدفقة والاستراتيجيات الأخرى للتصميم. وتم إدخال مخططات البرنامج والتفسيرات المعمارية في سلسلة من الدورات التكرارية. واستخدام الخوارزميات أعطى المصممين فهم ما يمكن تحقيقه مع هذه الأداة. حيث أن النمو في شكل المبنى لم يكن تلقائيا، لكنه ينتج من نية التصميم.

الوصف: تحولت المكونات الاساسية للمخططات التجريدية المنبثقة من التشابهات البيولوجية إلى مبنى نحتي معقد ذو خطوط منحنية ينبثق من سياق مسارات المشاة ويتطور تدريجياً إلى هيكل متنامي يُخرِج شبكة من الفروع المتعاقبة[٣٨] [٣٩].

شكل (٥) يوضح مجموعة التشابهات البيولوجية للنمو والدراسات الطبوغرافية للمكان التي أدت من خلال تطبيق الخوارزميات إلى مجموعة من الأشكال الهندسية والتفاعلات الأساسية التي تحاكي النمو والمخططات البرنامجية. المصدر: [٣٨]



شكل (٦) يوضح المخططات النهائية المولدة من الخوارزميات لمبنى مركز أبو ظبي للفنون التعبيرية. المصدر: [٤٠] [٤١]

٣/٣/٣ مركز بكين الوطني للرياضات المائية Beijing National Aquatics Centre

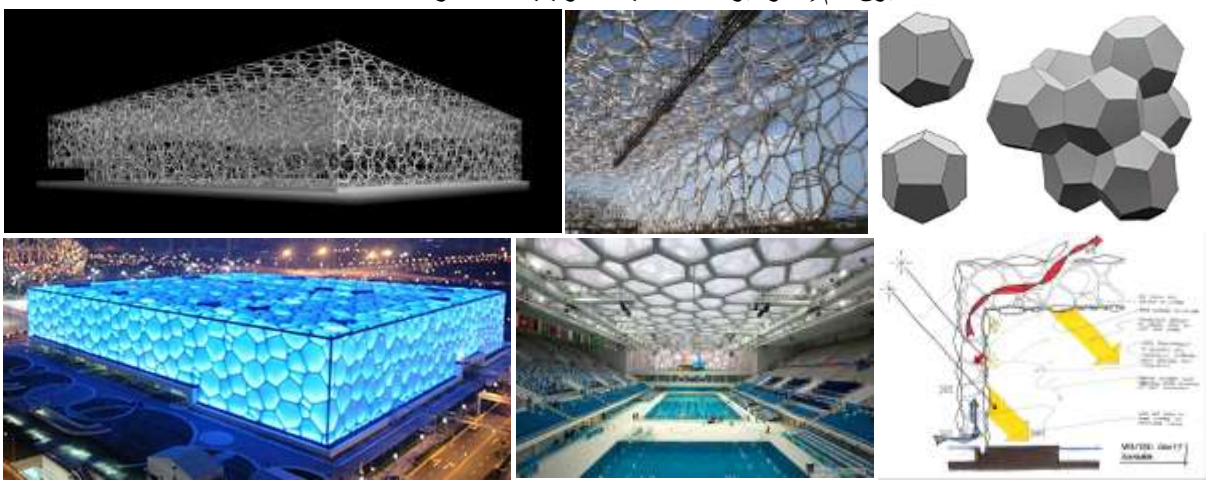
مركز بكين الوطني للرياضات المائية والملقب بـ "مكعب الماء - Water Cube"، تم بناؤه لدورة الألعاب الأوليمبية عام ٢٠٠٨. جاء المشروع نتيجة المسابقة الدولية في عام ٢٠٠٣، وقد فازت PTW Architects (شركة معمارية مقرها بسيدني، استراليا) ومجموعة OVE Arup Consulting Engineer (شركة متعددة الجنسيات) بالشراكة مع شركة الهندسة والبناء الحكومية الصينية (CSCEC). اعتمد تصميم المبنى وهندسته وبنائه بقوة على التصميم التوليدي. واستخدم لغرض توليد هيكل المبنى بناءا على parameters محددة في البداية.

فكرة المشروع: جاءت فكرة المركز المائي بمفهوم تحويل حوائط وسقف المركز إلى فراغ يشبه البيت الحراري greenhouse الذي يعمل كعازل لشتاء بكين البارد، ويجمع الحرارة القابلة للاستخدام من أشعة الشمس حيث ان حمامات السباحة تحتاج إلى تسخين، إلى جانب السماح بدخول كمية كبيرة من ضوء النهار.

التحديات وطريقة التصميم: كان أكبر تحدي يواجه مكعب الماء هو التصميم الهيكلي وتحديد شكل الهيكل. وأدت المحاولات الأولى لتحديد الشكل إلى مخططات غير ملائمة وغير متقنة تركت الكثير من التفاصيل دون حل. وبعد بحث فريق العمل للعديد من الأفكار تم التوصل إلى فكرة هيكل مكون من حائط وسقف ثلاثي الأبعاد، يقسم الفراغ إلى خلايا أو وحدات متساوية الحجم مع أقل سطح بينهم ودون ترك أي فراغ. وبعد إجراء العديد من البحوث ومن خلال استخدام برنامج حاسوبي لمحاكاة الهيكل المعقد للنمط الطبيعي لفقاعات الماء في وضع تجمع رغوة الصابون، تم التوصل إلى الحل في شكل رغوة "Weaire-Phelan foam"، شكل (٧). أسرت تلك الرغوة فريق المهندسين بـ ARUP والمكونة من وحدات متكررة ومنتظمة وفي نفس الوقت لها مظهر عشوائي تماماً. واخذ الفريق تلك الرغوة وتمكن عن طريق التقنيات البرمجية الحاسوبية للتصميم التوليدي من انشاء وتحقيق الشكل الهيكلي الأمثل، شكل (٧)، الذي يحدد الفراغ المعماري والذي تم التوصل إليه عن طريق الخوارزميات التي تطبق بشكل تكراري قواعد بسيطة نسبياً. يخلق هذا الهيكل الثلاثي الأبعاد حائط بعمق ٣,٦م، وسقف بعمق ٧,٢م، تستخدم لاحتجاز الحرارة بين طبقتين من الجلد ETFE (البلاستيك العالي الأداء)، ومنع معظم أشعة الشمس من الاختراق الداخلي. تستخدم هذه الحرارة لتسخين حمامات السباحة وبقية الفراغات، وخفض الطلب على أجهزة التسخين. كما يسمح لكميات كبيرة من ضوء النهار أن تغمر الفراغ مما يؤدي إلى توفير الطاقة بنسبة ٥٥% فيما يتعلق بالإضاءة. وبشكل علم يستخدم المركز المائي طاقة أقل تقدر بنسبة ٣٠% مقارنة بمبنى مماثل الحجم والنوع.

الوصف: كتب Arup في كتاب "Space Craft: Developments in Architectural Computing" عن فوائد دمج التصميم التوليدي في عملية تصميم مكعب الماء، ان البرمجيات جعلت عملية الرسم والتحليل آلية. فاعتماداً على سيناريوهات تحميل الاحمال التي تقترب من ٢٠٠ سيناريو والتي أدت إلى ٢٧٢ مليون قيد من قيود التصميم (البيانات الضخمة)، فحصت الخوارزميات بشكل تكراري توزيع القوى خلال الهيكل بأكمله طبقاً لأحجام الأعضاء المحددة، وتلقى الفريق رد الفعل في غضون ٢٥ دقيقة. مما سمح للفريق اختبار تكوينات التصميم المختلفة. وكانت النتيجة بناء مذهل مثير للأعجاب من وجهة نظر جمالية يحقق تأثيرات بصرية مدهشة، حيث يشبه الشكل الناتج مزيج من قطرات المياه الغير منتظمة التي تغير لونها وفقاً للون السماء. إلى جانب تحقيق هيكل متطور معقد مثالي من حيث نسبة وزن المادة لقوتها بسهولة نسبية. وبالإضافة للمزايا الجمالية والهيكلية قدر Arup أنه وفر ١٠ ملايين دولار فيما يتعلق بتكاليف التصميم وحده، وما يقرب من عام ونصف في التصميم ومستندات التوثيق بالمقارنة مع أساليب التصميم التقليدية. وفي هذا السياق قال J Parrish مدير ArupSport: "باستخدام البرمجيات، تمكنت من فحص ودراسة بدائل أكثر بكثير. وقد سمح لنا التصميم التوليدي بتحقيق نتائج أفضل في جزء صغير من الوقت. حيث استطيع ان افعل في الصباح ما كان يأخذني شهر". فالأشياء التي تبدو معقدة للغاية وصعب حلها، تصبح ممكنة من خلال تعاون المصمم مع الحاسب. ولكي ينجح هذا التعاون، يجب أن يكون لدى المصمم فهم لما يمكن للحاسب تحقيقه[٣٩] [٤٢].

شكل (٧) يوضح التشكيل الهندسي لهيكل مكعب الماء المستخرج من رغوة Weaire-Phelan المشتقة من تشكيل فقاعات الصابون، تم إنشاؤه بواسطة التقنيات التوليدية. المصدر: [٤٣] [٤٤] [٤٥]



٤/٣/٣ قاعة الحفلات الموسيقية Elbphilharmonie Elbphilharmonie Concert Hall

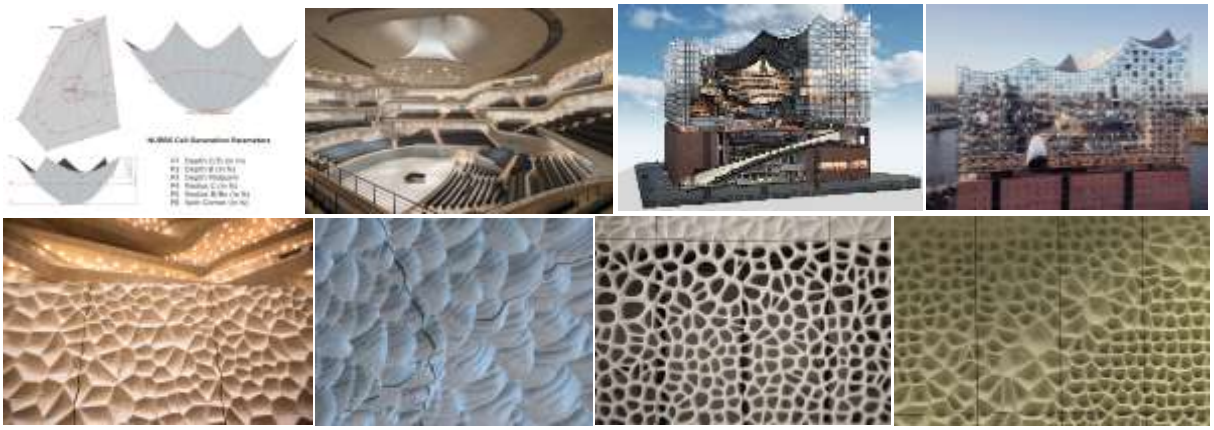
الصرح البلوري المتموج الذي يرتفع فوق الميناء والمسمى Elbphilharmonie للمعماريين السويسريين Herzog & de Meuron هو معلم رئيسي لمدينة هامبورج ومناره لألمانيا. أبرز معالم هذا الصرح، ويقع في قلب المجمع هو قاعة الاحتفالات المركزية الضخمة Concert Hall، والتي افتتحت في يناير ٢٠١٧. تم تصميم تلك القاعة باستخدام خوارزميات التصميم التوليدي لاستكشاف شكل الألواح الصوتية التي تبطن الحوائط والسقف.

الفكرة التصميمية: القاعة التي تبدو عضوية وتتبع في ترتيب مقاعدها التي ترتفع حول الأوركسترا الموضوعة في المركز مبدأ "حقل الكروم vineyard"، تتسع ل ٢١٥٠ مقعد. وضعت مهمة بناء الصوتيات المثالية لها، في أيدي مهندس الصوت Yasuhisa Toyota، الذي قام بتحديد المعايير Parameters اللازمة بدقة، فأنشأ خريطة الصوت المثلى للقاعة اعتماداً على الشكل الهندسي لها، شكل (٨). كما حدد مواصفات الألواح في كل جزء من أجزاء القاعة، حيث تتطلب الألواح المبطنة للحائط الخلفي إلى تجاويف أكبر وأعمق لامتصاص الأصداء، بينما تتطلب المناطق الأخرى مثل أسطح السقف والأجزاء العلوية للدرابزينات خلايا قليلة العمق. وبغض النظر عن المتطلبات الصوتية المختلفة لكل جزء يجب أن تكون هذه القشرة متناسقة وجذابة بصريا في جميع أنحاء القاعة لتحقيق جماليات الفراغ، حيث الجمال كان جزء من نية المعماريين. إلى جانب هذه المعايير يجب أن تميز الالواح في متناول أيدي الجمهور بتجاويف أكثر نعومة.

طريقة التصميم: قام Benjamin Koren مؤسس استديو One to One المكلف بتصميم وتصنيع تلك الألواح، بالجمع بين المتطلبات الصوتية والجمالية للفراغ واستخدمها كمدخلات التصميم Parameters. كما قام كورين بتطوير خوارزمية أدت إلى توليد ١٠,٠٠٠ لوح من الألياف الصوتية الجبسية، لكل منهم شكل ونمط فريد يفي بالمتطلبات الصوتية والجمالية، شكل (٨). ال ١٠,٠٠٠ لوح التي تبطن السقف والحوائط والدرابزينات ينتشر عليها أكثر من مليون خلية - تشبه الانطباع الذي يتركه الصدف على الرمل - تتراوح بين ٤: ١٦ سم في أي مكان باللوح. تلك الالواح صممت الأنماط الغير منتظمة لتشكيل الصوت داخل القاعة. يفسر Koren ذلك بقوله: "لكل لوح وظيفة، فعندما تصطدم موجات الصوت بلوح، الأنماط الغير منتظمة والسطح الغير مستو - المكون بواسطة الخلايا المجوفة - إما أن يمتصها أو يشتتها. ولا توجد لوحتان تمتصان الموجات الصوتية أو تشتتهما بنفس الطريقة، ولكنهما يخلقان معا صدى متوازن وصوتيات مثالية عبر القاعة بأكملها." تلك الألواح التي تبطن القاعة أدت إلى عزلها صوتياً عن بقية المبنى والمحيط الخارجي.

الوصف: يقول Koren عن دور الخوارزميات التوليدية في تصميم القاعة: "بمجرد ان تكون كل البيانات في مكانها، اضغط على الزر، وتخلق (الخوارزمية) مليون خلية، كلها مختلفة وكلها تعتمد على هذه المعايير Parameters. اتحكم بنسبة ١٠٠% في إعداد الخوارزمية، وبعد ذلك لا يوجد لدي أي تحكم في التصميم". وبالرغم من انه بالنسبة لبعض المصممين التنازل عن التحكم في التصميم احتمال مخيف. لكن Koren يجد استخدامها عملياً بقوله: "سيكون شبه مستحيل تحقيق هذا الانجاز باليدين." فألواح Elbphilharmonie المعقدة والوظيفية والجميلة هي أحدث شاهد على إمكاناتها، وتؤكد أنه لا يوجد إنسان يعرف التأثير الدقيق لكل لوح في قاعة الحفلات الموسيقية[٤٦] [٤٧].

شكل (٨) يوضح الألواح الصوتية ذات الانماط المختلفة التي تبطن حوائط وسقف قاعة الحفلات الموسيقية بمبنى Elbphilharmonie والمصممة بواسطة خوارزميات التصميم التوليدي. المصدر:]what happens[[٤٨] [٤٩] [٥٠]



٥/٣/٣ مركز نيمفا الثقافي NYMPHA Cultural Center

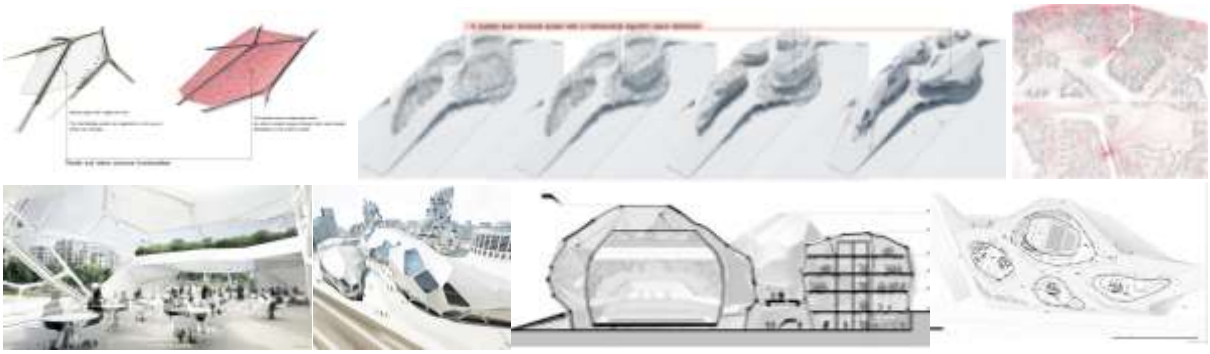
مركز نيمفا الثقافي هو مفهوم مقترح صمم بواسطة المكتب المعماري upgrade.studio بوخارست، رومانيا، وممارسة معمارية موجهة نحو التصميم الحاسوبي computational design والمفاهيم العصرية.

فكرة المشروع: اتخذ الاستوديو المعماري أثناء تصميم المركز الثقافي الجديد منهجاً مبتكراً جداً يعتمد على التحليل المكاني. لأنه يشعر أن التوسع المستمر للمدن وتركيب مشاريع جديدة في النسيج الحضري قد يضر بهويتها الثقافية. ونتيجة لذلك، ابتكر الاستوديو الهجين الحيوي الحضري urban bio-hybrid وهو رد فعل تخليقي morphogenetic لحالة التعقيد بالبيئة. ويستوحى مفهومه من محاكاة مبادئ أحد أمثلة التطور البيولوجي والمتمثل في دورة حياة الفراشة (يرقة – شرنقة – فراشة) وخاصة الشرنقة باعتبارها الغلاف التفاعلي الذكي الذي يحمي الداخل. كما يستند مفهومه على البحوث المرتكزة على تحليل الانسجة الحضرية والطريقة التي تولد بها، كاتجاه جديد للتنمية الحضرية. لأنهم يعتقدون أن النسيج الحضري يحتوي على شفرة وراثية DNA فريدة خاصة به، لذلك تتطور كل مدينة او تكوين حضري بطريقتها الخاصة، شكل (٩).

التحديات وطريقة التصميم: لبدء التصميم كان لابد من إجراء فحص وتحليل النسيج الحضري. وأعد بمساعدة برمجيات التصميم الحاسوبي القائمة على النماذج الرياضية والخوارزميات التي تم تطويرها بالأستوديو المعماري. وتم إجراء التحليل من حيث الوظائف المعمارية التي يمكن استخدامها في هذا النسيج وتعتبر وسائل جذب لإحياء النسيج الحضري. وقياس القوى في البيئة الطبيعية التي تنمو فيها تلك الوظائف (الرياح -الشمس -درجة الحرارة -.. البيانات المستمدة التي تساعد على التصميم). وإمكانية الوصول وغيرها من العوامل اللازمة لتصميم النسيج الحضري. في نهاية عملية البحث الحضري تم اختيار الموقع. ثم قام المكتب المعماري في المرحلة الثانية بتصميم ذلك الموقع على أساس ال parameters الخاصة بالهجين الحيوي عن طريق التصميم الحاسوبي.

الوصف: تولد التصميم النهائي المعقد لمركز العمليات الإبداعية وفقاً للنهج التخليقي. ويعمل كالكائن الحي الذي يتفاعل مع السياق الحضري المتغير من خلال شبكة من الأوردة veins system – ألواح بها شبكة داخلية من الانابيب الرقيقة lattice structure – مندمجة في الغلاف الخارجي لجسم المبنى باعتبارها الجلد الذكي للمبنى، شكل (٩). هذا النظام من الأوردة يعمل كعنصر هيكلي في الغلاف ويوفر المرونة والتحول في الهيكل. بالإضافة لتجميع مياه الأمطار وتخزينها لإعادة تدويرها، التقاط الطاقة الشمسية وترشيح كمية الضوء التي تخترق داخل المبنى، تبريد وتدفئة المبنى بأكمله بدون الحاجة لتكييف الهواء، التبادل الحراري الفعال مع البيئة عن طريق رصد البيئة الداخلية والخارجية من خلال أجهزة الاستشعار المدمجة لتقلل من استهلاك الطاقة وأثر المبنى على البيئة. ويضم المركز المعارض الفنية وورش عمل الفنانين والمصممين، والمركز الثقافي، ومركز الفنون المسرحية ومكتبة ومطاعم ومحلات تجارية.[٥١] [٥٢].

شكل (٩) يوضح تحليل النسيج الحضري والتصميم النهائي لمركز NYMPHA الثقافي المتفاعل مع سياقه الحضري من خلال شبكة الأوردة veins system، والمصمم بواسطة برمجيات التصميم الحاسوبي. المصدر: [٥١].



بعد دراسة العديد من الأمثلة المعمارية المصممة بواسطة فلسفة التصميم التوليدي في الاستعراض السابق، يتم التعرف على تأثير هذا النوع من التصميم على العمل المعماري الناتج وتحديد أهم الخصائص التي أضافها، ويتضح ذلك من الجدول التالي:

جدول (٣) يوضح أهم الخصائص المضافة على العمل المعماري من استخدام أنظمة التصميم التوليدي. المصدر: [الباحث]

تأثير التصميم التوليدي على العمل المعماري	من جهة البعد التشكيلي	**تصميمه أصبح معقد جداً.** فهذه التصميمات التي تبدعها البرمجيات لا يمكن تخيلها بكافة تفاصيلها بواسطة القدرات البشرية للمصممين فقط. كما انه من الصعب التعبير عنها بالوسائل التقليدية القديمة.	
		عملية تشكيله أصبحت ذات افاق جديدة وغير محدودة فالتصميمات أخذت أشكالاً جديدة مثيرة للدهشة تتجاوز حدود أشكال وفراغات الهندسة التقليدية الصريحة، وذلك عن طريق تصميم الكتل والأسطح والمنحنيات والتشكيلات الحرة المتشابكة. وتنتج تلك الأشكال الهندسية بنفس سهولة الأشكال الصريحة. ترجع هذه التشكيلات إلى ان البرمجيات تحاكي طريقة تطور الكائنات الحية في العالم الطبيعي.	
	البعد الإنشائي	**هيكل المبنى أصبح متطور من جهة الشكل، مثالي من جهة وزن المادة لقوتها،** مع عدم التمييز الواضح بين جلد المبنى وهيكله.	

بالإضافة لما تم استنباطه من تأثير التصميم التوليدي على العمل المعماري. يلاحظ ان هناك تأثيرات أخرى يتم استنباطها من دراسة الأمثلة على أركان التصميم المعماري التي سبق دراستها أعلاه (دور المصمم - عملية التصميم). ويتضح ذلك من الجدول التالي، جدول (٤):

جدول (٤) يوضح بعض تأثيرات التصميم التوليدي على دور المصمم وعملية التصميم. المصدر: [الباحث]

التأثير على دور المصمم المعماري	أن دور المصمم المعماري لا يزال مركزاً لعملية التصميم، بالرغم من أن المعماري لا يبدع تشكيل المبنى بشكل مباشر. وبالتالي فأن نظام التصميم التوليدي لا يحل محل المهندس المعماري بشكل كلي. وذلك لأن المعماري (العنصر البشري) فقط هو الذي يستطيع أن يفهم حالة التصميم ويحدد أفكاره ونواياه وأهدافه التي تكون كافية لتوجيه سياق التصميم. وبالتالي يوجد علاقة مباشرة بين أفكار وأهداف المعماري والعمل المادي (المبنى) الناتج، حتى في حالة وجود وسيط أو طرف ثالث. فالمعماري وجد في الأدوات التوليدية الوسيلة التي يستطيع بها التعبير عن أفكاره مهما بلغت تعقيداتها.
	ان مهارات البرمجة هي أحد الأدوار الضرورية للمعماريين الذين يرغبون في تبني التصميم التوليدي في عمليات التصميم، مما يتطلب إلى توسيع دور المصمم المعماري ليصبح مبرمجاً (من مستخدم للبرمجيات إلى أداة بناء). فالعديد من المباني المعمارية المذكورة سابقاً تم توليدها من تطوير الخوارزميات عن طريق لغات البرمجة وفقاً لفكر ونوايا المصمم المعماري ليحصل على عمله المعماري.
عملية التصميم	توفير زمن عملية التصميم. توفير تكاليف التصميم.

المباني التي تم دراستها دليل على الإمكانيات الهائلة المطلقة للخوارزميات لتغيير المرحلة الحالية وربما مستقبل العمارة. لما لدية من قوة على دفع حدود الإبداع البشري للأمام وقدرة على تغيير البيئة المشيدة بشكل لا يصدق. فالتصميم التوليدي ليست مجرد تقنية أو أداه حاسوبية بل هو وسيلة للتفكير في العالم الممكن، وسيلة لإحياء الابداع الخاص بنا.

٤ النتائج البحثية والتوصيات

١/٤ النتائج

من خلال الإطار النظري والإطار التحليلي الاستنباطي أمكن استخلاص العديد من النتائج، وفيما يلي تركيز لأهم النتائج:

- ❖ التطبيقات والبرامج الرقمية المساعدة للمعماري في العصر الرقمي ليست أدوات للرسم المعماري فقط، بل أيضاً للتصميم، وتقع تلك البرمجيات تحت مسمى التصميم التوليدي.
- ❖ التصميم التوليدي مصطلح واسع يمكن تعريفه باعتباره:
  - التكنولوجيا التي تحاكي عمليات التصميم الطبيعي والمنهج التطوري البيولوجي للكائنات الحية، حيث يتم تطوير التصميمات باعتبارها اختلافات وراثية.
  - عملية تصميم يعتمد فيها توليد الأشكال وتحسينها على استخدام الخوارزميات المبرمجة (الحاسوبية).

- عملية تصميم يشترك في إبداع نتائجها كلا من المصمم المعماري والقدرات الرقمية الحاسوبية.

❖ يطلق كلا من مصطلح "التصميم الحاسوبي" و"التصميم الخوارزمي" على التصميم التوليدي ويستخدموا بشكل متبادل.

❖ استخدام الخوارزميات ليست جديدة في مجال العمارة، وترجع إلى فترات لم توجد فيها أجهزة الحاسب.

❖ مفهوم الخوارزميات التوليدية الحاسوبية يستخدم لوصف عملية أو صيغة لحل مشكلة ما في عدد محدود من الخطوات، تعتمد على الهندسة الحسابية لتوليد الأشكال الهندسية (التصميم) كمخرج، بناءاً على المدخلات والمعطيات المختلفة المصاغة للمبنى المطلوب.

❖ تغير أدوات التصميم التوليدي الفكرة التقليدية للتصميم المعماري. حيث أدت إلى تغيير: (الأركان المختلفة لعملية التصميم)

- كلا من دور المصمم المعماري والنظام الحاسوبي في عملية التصميم.
- العديد من أسس وتفاصيل المراحل المختلفة لعملية التصميم، بالرغم من تشابه المراحل الرئيسية لسير العملية.
- العالم المادي وإضافة العديد من الخصائص للعمل المعماري الناتج.

❖ يتركز دور المصمم المعماري في عمل العديد من الاختيارات بدءاً من اختيار وتحديد الأهداف والقيود - ال parameters / المتطلبات المختلفة للتصميم. ثم اختيار وتحديد القواعد الخوارزمية. وتنتهي بفحص واستكشاف مجموعة الحلول التصميمية الحاسوبية المولدة لاختيار الحل التصميمي النهائي الأمثل، حيث يصبح المعماري مشرف curator على ما ينتجه الحاسب من إبداعات.

❖ تحول دور الحاسب في التصميم التوليدي إلى أداه مشاركة بشكل أساسي في التصميم والعملية التصميمية حيث يختص بالعملية الإبداعية في تشكيل النتاج المعماري دون تدخل بشري، بالإضافة إلى تقييم بيانات الأداء للتشكيلات المختلفة. لأن التطورات في مجال الذكاء الاصطناعي ومحاكاة الظواهر المعقدة مكنت البرمجيات من القيام بدور نشط في إبداع التشكيل.

❖ بالرغم من تغير دور المصمم المعماري في عملية التصميم التوليدي إلا أنه تغير جزئي، فمن خلال دراسة الأمثلة المعمارية المختلفة يلاحظ أن دور المصمم المعماري لا يزال مركزاً لعملية التصميم. لأن المصمم المعماري (العنصر البشري) فقط هو الذي يستطيع أن يفهم حالة التصميم ويحدد نواياه وأهدافه التي تكون كافية لتوجيه سياق التصميم، عن طريق إبداع وتعديل القواعد والأنظمة Parameters التي تتفاعل مع إمكانيات الحاسب لتوليد التصميم النهائي. ونتيجة لذلك يوجد علاقة مباشرة بين نوايا وأهداف المعماري والمبنى الناتج، حتى في حالة وجود وسيط أو طرف ثالث.

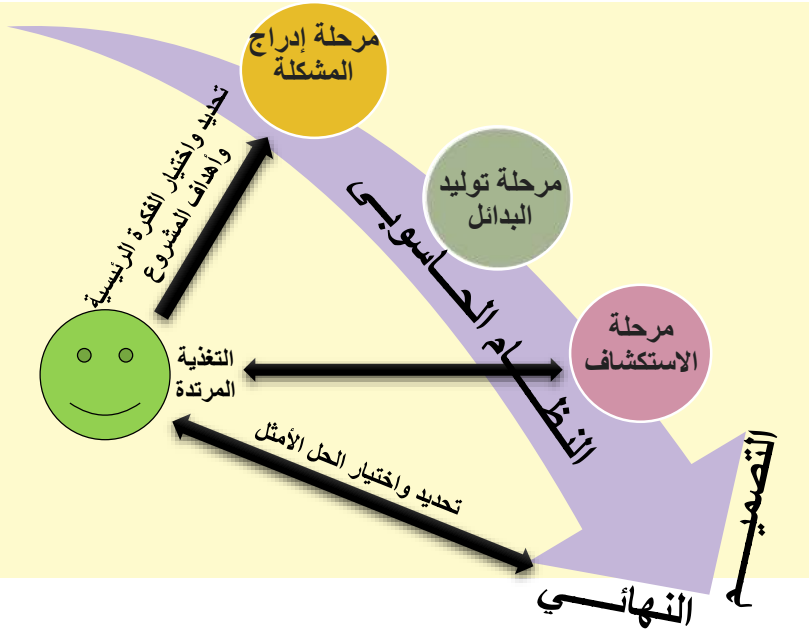
❖ مراحل عملية التصميم التوليدي هي انعكاس لمراحل عملية التصميم التقليدي ولكن بطريقة رقمية، حيث يتم:

- تحديد أهداف ومتطلبات التصميم اللازمة (مشاكل التصميم).
- توليد وتكوين العديد من البدائل التصميمية.
- استكشاف ودراسة البدائل لاختيار وتحديد التصميم الملائم.

❖ تختلف أسس وتفاصيل كل مرحلة من مراحل عملية التصميم التوليدي عن عملية التصميم التقليدي بالرغم من تشابه المراحل الرئيسية لسير العمل. ويرجع ذلك لدخول نظام التصميم الحاسوبي في عملية التصميم، والذي أصبح جزء لا يتجزأ من عملية التصميم التوليدي. (شكل (١٠)، ففي:

- **مرحلة تحديد مشاكل التصميم** بعد بناء المصمم المعماري للفكرة الأولية للتصميم وتحديد متطلباته وأهدافه وقيوده المعمارية والإنشائية والبيئية وغيرها. يقوم بإدراج كافة تلك المشاكل (parameters) إلى النظام الحاسوبي. وهي عبارة عن كميات هائلة من البيانات المعقدة والتي قد تكون متناقضة وغير متجانسة.
- أما في **مرحلة توليد التصميم** خوارزميات البرمجيات الحاسوبية -بسبب قدرتها وإمكانياتها العالية في معالجة كمية البيانات الضخمة - تقوم بتوليد ليس فقط الشكل بل عدد ضخم من الحلول والبدائل التصميمية الفريدة والغير قابلة للتكرار (داخل النطاق الذي يضعه المصمم) بشكل سهل وسريع. بالإضافة لتحليل وتقييم الأداء لهذه التصميمات بسرعة كبيرة.
- بينما في **مرحلة استكشاف التصميم** يقوم المعماري بدراسة الحلول المولدة واختيار البدائل الأمثل التي تستوفي مشاكل التصميم وتمثل نقطة انطلاق لفكرة جديدة تحسن التصميم. ثم تعديل الأهداف والقيود لتحسين المشكلة على النظام الحاسوبي عن طريق التغذية المرتدة. ثم تقوم الخوارزميات المصممة للتعامل مع المتطلبات المتطورة والمتغيرة باستمرار وتميز عملية التصميم، بتوليد عدد ضخم من البدائل التصميمية المختلفة. يتم تكرار هذه العملية عدة مرات حتى يتم تحديد هوية الحل الأمثل باستخدام الحدس البشري.

شكل (١٠) يوضح ممارسة عملية التصميم التوليدي للوصول للتصميم المعماري النهائي. المصدر: [الباحث].



- ❖ من خلال دراسة مراحل التصميم بالنهج الجديد يلاحظ أن الخوارزميات أدوات حاسمة وفعالة لسير عملية التصميم، وبالتالي فان دمج الخوارزميات التوليدية في التصميم تسهل وتبسط ممارسة عملية التصميم المعماري. فمن خلال قدراتها وإمكانياتها العالية والمعدة لمعالجة أنواع مختلفة من التغيرات المستمرة، تبسط للمعماري التعامل مع التغيرات، فتتمكن من التكيف مع ومعالجة أكبر قدر من المشاكل والبيانات والمتطلبات المتطورة والمتغيرة التي قد يكون المعماري غير قادر على التعامل معها وحلها. وتوليد العديد من بدائل ومقترحات التصميم المثيرة للاهتمام بسرعة وبدون عناء، أثناء مراحل التصميم الأولية أو تحسين التصميم. ولذلك فأن التصميم التوليدي يعتبر وسيلة تزيد من كفاءة التصميم.
- ❖ التصميمات المولدة أو التصميم النهائي تنشأ نتيجة الخواص المنبثقة من تفاعل ودمج القواعد والأنظمة أو المتطلبات Parameters التي يبدعها المصمم المعماري مع الخوارزم التوليدي الحاسوبي. وبالتالي فإن كلاهما يصبح من المبدعين المشاركين في إبداع التصميمات.
- ❖ أضاف التصميم التوليدي العديد من الخصائص على العمل المعماري المولد، وتتمثل في أن تصميم العمل أصبح معقد جداً لا يمكن تخيله بكافة تفاصيلة بواسطة قدرات المصممين فقط، وعملية تشكيلة أصبحت ذات افاق جديدة وغير محدودة تتجاوز حدود الهندسة التقليدية الصريحة بالإضافة إلى أن هيكل المبنى أصبح متطور من جهة الشكل ومثالي من جهة الوزن المادة لقوتها.
- ❖ وجد المعماري في أدوات الخوارزميات التوليدية وسيلة يستطيع بها التعبير عن أفكاره مهما بلغت تعقيداتها، وإيجاد كتل كان من الصعب التعبير عنها بالوسائل التقليدية القديمة.
- ❖ مهارات البرمجة هي أحد الأدوار الضرورية للمعماريين الذين يرغبون في تبني التصميم التوليدي في عمليات التصميم، مما يتطلب إلى توسيع دور المهندس المعماري ليصبح مبرمجاً (من مستخدم للبرمجيات إلى أداة بناء).
- ❖ استخدام لغات البرمجة تسمح بترجمة نوايا المعماري إلى خوارزميات تستخدم كجزء من عملية التصميم.
- ❖ أوضحت الدراسة أننا أمام مرحلة جديدة من التطور الرقمي وأمام نوع من نشاط التصميم المختلط بين الإنسان والرقمية (نهج الخوارزميات التوليدية الحاسوبية). هذا النوع من التصميم يسير نحو تغير المرحلة الحالية من العمارة وربما المستقبل حيث أصبح القوى المحركة للعديد من المباني الجديدة الأكثر إثارة للإعجاب، لما لدية من قوة مدهشة على دفع حدود الإبداع البشري للأمام -الذي لا يمكن تصوره بدون هذه الأدوات-وقدرة على تغيير وتطوير البيئة المشيدة.

٢/٤ التوصيات

- o الحاجة الماسة للاتجاه نحو استخدام الأدوات الخوارزمية التوليدية الحاسوبية كمرحلة جديدة في عملية التصميم لما تتيحه من قدرات جديدة تؤدي لمواكبة التطور الحالي في العمارة. فاستخدام أدوات تصميم أفضل وخلق ثقافة تحقيق أقصى استفادة من هذه الأدوات تؤدي إلى تطوير بيئتنا المبنية.
- o ضرورة تعرف المعماريين وبشكل خاص صغار المعماريين على أحدث ما وصلت إليه اتجاهات التصميم التوليدي الرقمي، لما له من تأثير مباشر على تنمية القدرات الإبداعية في التصميم.

- ينبغي اهتمام المصممين المعماريين بدراسة ومتابعة التطور التقني في مجال التصميم التوليدي من حيث الفكر الذي يحكمه وبرامجه وتطبيقاته المعمارية وإدراك مزاياه وفوائد استخدامه، لما لها من دور واضح ومؤثر على تسهيل وتبسيط عملية للتصميم. وأيضاً دراسة مدى تأثيره على النتاج المعماري، لما له من دور هائل وفعال في كفاءة التصميم الإبداعية ورفع كفاءة المبنى ولا سيما في العصر الرقمي.
- اعتماد التصميم التوليدي كوسيلة تدريس فعالة في مادة التصميم المعماري، كما يجب توفير الأدوات والأجهزة اللازمة لتدريب طلاب الأقسام المعمارية على مبادئ هذا التصميم لإطلاق المنابع الإبداعية وتطوير القدرات والمهارات لديهم.
- الاهتمام بإضافة لغات البرمجة في المناهج المعمارية الخاصة بتدريس البرمجيات الحاسوبية ليتمكن المعماري من تطوير الخوارزميات والبرمجيات التوليدية للمساعدة في عملية التصميم القائم على القاعدة.

٥ المراجع البحثية
References

[1] Korqa, Naim, (2015), "**GENERATIVE DESIGN FOR BIM - Its Influence in the Design Process**", Master of Science Degree in Architecture, Técnico Lisboa, P.28, 29.

[2] Howarth, Dan, (2017), "**Generative design software will give designers "superpowers""**, Available at: https://www.dezeen.com/2017/02/06/generative-design-software-will-give-designers-superpowers-autodesk-university/, (Accessed 4-4-2017).

[3] Shi, Ming, (2015), "**Relational Design Thinking - How graphic design can adapt to a dynamic and changing environment**", Master of Graphic Design, AKV|St.Joost, P.4.

[4] Information on line, https://en.oxforddictionaries.com/definition/generative, (Accessed 22-3-2017)

[5] Information on line, http://www.almaany.com/ar/dict/ar-en/beget/, (Accessed 27-3-2017)

[6] Information on line, https://www.merriam-webster.com/dictionary/generative, (Accessed 22-3-2017)

[7] Information on line, https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/generative, (Accessed 22-3-2017)

[8] Information on line, https://en.oxforddictionaries.com/definition/us/design, (Accessed 30-3-2017)

[9] Hudson, R, (2010), "**Strategies for parametric design in architecture - An application of practice led research**", Doctor of Philosophy, University of Bath, P.21.

[10] Agkathidis, A, (2015), "**Generative Design Methods - Implementing Computational Techniques in Undergraduate Architectural Education**", CAAD Education - Concepts - Volume 2, P.48, 49.

[11] Fasoulaki, E, (20٠٨), "**Integrated Design -A Generative Multi-Performative Design Approach**", Master of Science in Architecture, Massachusetts Institute of Technology, P.١٠.

[12] McKnight, M, (2017),"**Generative Design: What it is? How is it Being Used? Why it's a Game Changer!**", in The International Conference on Design and Technology, KEG, P.177–178. DOI 10.18502/keg.v2i2.612.

[13] Dertinger, H, (2015), "**Generative Design**", Available at: http://www.digitalwiki.de/generative-design/, (Accessed 21-3-2017).

[14] Swenson, K, (2016), "**What Is Generative Design?**", Available at: https://redshift.autodesk.com/what-is-generative-design-2/, (Accessed 22-3-2017).

[15] BUILTR, (201٥), "**Generative Architecture – Transformation by Computation**", Available at: http://www.builtr.io/generative-architecture-transformation-by-computation/, (Accessed 2٨-3-2017).

[16] Information on line, http://whatis.techtarget.com/definition/algorithm, (Accessed ٢٨-٣-2017).

[17] Information on line, http://www.businessdictionary.com/definition/algorithm.html, (Accessed ٢٨-٣-2017).

[18] Information on line, https://techterms.com/definition/algorithm, (Accessed ٢٨-٣-2017).

[19] Khabazi, Zubin, (2012), **"GENERATIVE ALGORITHMS using Grasshopper",** www.MORPHOGENESISM.com, P.7.

[20] Margarida, Rita, (2013), "**Generative Design: a new stage in the design process**", Master of Science in Architecture, Técnico Lisboa, P: 9, 16, 30.
[21] Wang, Che-Wei, (2016), "**Mindful Algorithms: the new role of the designer in generative design"**, Available at: http://ethnographymatters.net/blog/2016/06/17/mindful-algorithms-the-new-role-of-the-designer-in-generative-design/, (Accessed 4-4-2017).
[22] Krish, Sivam, (2012), **"What Is Algorithmic Design?", Available at:** https://generativedesign.wordpress.com/2012/03/11/algorithmic-design/, (Accessed 29-3-2017).
[23] Khabazi, Zubin, (2010), **"GENERATIVE ALGORITHMS using GRASSHOPPER",** www.MORPHOGENESISM.com, P.3.
[24] McShane, Sveta, (2016), "**Machines Won't Replace Us, They'll Force Us to Evolve**", Available at: https://singularityhub.com/2016/05/05/machines-wont-replace-us-theyll-force-us-to-evolve/, (Accessed 26-3-2017).
[25] Kowalski, Jeff, (2016), "**CAD Is a Lie: Generative Design to the Rescue"**, Available at: https://redshift.autodesk.com/generative-design/, (Accessed 31-3-2017).
[26] Noe, Rain, (2016), "**What Happens When AI Starts Designing Things? Autodesk CTO Sounds Off - AI vs. ID, or will we work together**", Available at: http://www.core77.com/posts/58040/What-Happens-When-AI-Starts-Designing-Things-Autodesk-CTO-Sounds-Off, (Accessed 10-4-2017).
[27] AUTODESK RESEARCH, "**Project Dreamcatcher**", Available at: https://autodeskresearch.com/projects/dreamcatcher, (Accessed 8-4-2017).
[28] Information on line, http://www.designcoding.net/computational-design-parametric-modeling-and-architectural-education/, (Accessed 29-3-2017).
[29] Information on line, http://mass-customization.blogs.com/mass_customization_open_i/2006/05/generative_desi.html, (Accessed 29-3-2017).
[30] Information on line, http://www.interactivearchitecture.org/architectural-evolutionary-system-based-on-genetic-algorithms.html, (Accessed 29-3-2017).
[31] Information on line, https://www.generativeart.com/on/cic/papersGA2003/a08.htm, (Accessed 29-3-2017).
[32] Information on line, https://mahmoudgadelhak.files.wordpress.com/2013/10/render-all-cropped.png, (Accessed 29-3-2017).
[33] Information on line, http://oraresearch.com/2015/08/autodesk-research-project-dreamcatcher-pushing-the-limits-of-generative-design/, (Accessed ١٨-٤-2017).
[34] Fiamma, Paolo, (2011), "**Architecture … from Generative Design**", DIGITAL MODELING FOR ARCHITECTURAL KNOWLEDGE, DISEGNARECON, ISSN 1828-5961, p.155.
[35] Asaf, Iris, (2014), "**The Poetic and the Thoughtful: The Creative Poiesis of Algorithmic Art and Design"**, Electronic Visualisation and the Arts (EVA), London, UK, P: 30 – 31.
[36] Information on line, http://www.thearchitect.lk/2010/07/creating-new-horizons-in-architecture-cecil-balmond/, (Accessed 8-5-2017).
[37] Information on line, https://www.flickr.com/search/?q=serpentine+%22toyo+ito%22#page=0, (Accessed 8-5-2017).
[38] "**Case study: Art Performing Center. Zaha Hadid. Abu Dhabi. 2007"**, Fall 2010, Available at: https://fatemehnasrollahi.files.wordpress.com/2010/12/case-study-form-body-technique-space.pdf, P: 30 – 31.
[39] Crawford, Scott, (20٠٩), **"An Architecture of Relationships Built on the Use of Parametric Modeling and Evaluative Analysis in Design**", Master of Architecture, University of Washington, P.20: 24**.**
[40] Information on line, http://blog.2modern.com/2007/12/modern-middle-2.html, (Accessed 11-5-2017).
[41] Information on line, http://www.pbase.com/bmcmorrow/image/139487148, (Accessed 11-5-2017).
[42] W. Stocking, Angus, (20٠٩), "**Generative Design Is Changing the Face of Architecture"**, Available at: http://www.cadalyst.com/cad/building-design/generative-design-is-changing-face-architecture-12948, (Accessed ٢٨-٤-2017).

[43] Information on line, http://architectureau.com/articles/practice-23/, (Accessed 8-5-2017).
[44] Information on line, http://bubblemania.fr/en/architecture-bulle-cube-deau-2003-2008-pekin-chine/, (Accessed 8-5-2017).
[45] Information on line, http://archinect.com/features/article/79033/beijing-cubism-how-etfe-revolutionized-the-bubble, (Accessed 8-5-2017).
[46] Stinson, Liz , (20١٧), **"What Happens When Algorithms Design a Concert Hall? The Stunning Elbphilharmonie**", Available at: https://www.wired.com/2017/01/happens-algorithms-design-concert-hall-stunning-elbphilharmonie/, (Accessed ١٨-٥-2017).
[47] American Institute of Building Design, "**Generative Design"**, Available at: http://www.aibd.org/blog/?tag=generative-design, (Accessed ٢١-٥-2017).
[48] Information on line, https://architizer.com/blog/architectural-details-herzog-de-meuron-elbphilharmonie/, (Accessed 22-5-2017).
[49] Information on line, https://www.theguardian.com/artanddesign/2016/nov/06/elbphilharmonie-hamburg-herzog-de-meuron-costly-castle-in-the-air#img-5, (Accessed 22-5-2017).
[50] Information on line, http://www.archiposition.com/information/thought/item/1075-herzog-de-meuron-elbphilharmonie-forca.html, (Accessed 22-5-2017).
[51] archello, (20١٣), **"NYMPHA Cultural Center**", Available at: http://www.archello.com/en/project/nympha-cultural-center, (Accessed ٢٣-٥-2017).
[52] Arch20 v 2.1, "**NYMPHA Cultural Center | Upgrade Studio**", Available at: http://www.arch2o.com/nympha-cultural-center-upgrade-studio/, (Accessed ٢3-٥-2017).

Generative design - new phase in architectural design

Abstract

In the History of architecture, different architectural styles have presented multiple types of geometry in addition to logic of articulation and each period has found a way to deal with its geometrical problems and questions. During these centuries, architects have begun the design process by sketching concepts and geometric forms. Whether the architect drew these ideas using a pen & paper or by using a mouse & computers, the output in both cases is much the same: a visual representation of the project concerned. These design processes are characterized by change, which may arise from uncertain design objectives since the outset, as well as the growth of details and requirements that are dealt with. Making it tedious and laborious process requires a lot of time and effort to modify or design treatment, which is followed by an increase in design cost. The problem is that this approach does not help the architects to deal with various changes in an easy and simple way. Particularly for the exploration of various solutions easy and fast, the design process is limited to a few solutions generated or to adapt the design to changing and evolving requirements, which have increased recently due to the rapid developments taking place in the world.

But in recent years, That idea associated with the design process is changing. As Abrishami, et al, have stated that architecture is no longer just about the aesthetical emphasis anymore, but it is oriented towards performance-based architecture, designed and tested by using simulation, analysis and optimization. Therefore, to deal with this continued growth of complexity of the project, followed by many technological advances. With the advent of big data and cloud computing, the notion that computers can tackle the complex task of design has renewed. The computational tools have introduced innovative techniques that are better designed for efficiently handling change and form-finding. These technologies have revolutionized architectural design are called terms such as "Generative design" or "computational design" where computers dominate the design process.

This research study is an overview of the generative design technology that can be defined as the creation of shapes by algorithms. It highlights what are the basic concepts of the study, generative design and design algorithms. In addition to studying and exploring the effect of generative method on the various aspects of the architectural design process, which are the role of the architectural designer in the design process, the stages of the design process and the resulting architectural work. To discuss the main hypothesis of the study is that the generative design is a method to increase the efficiency of design, and integration in the design process plays a key role in facilitating and simplify the process of architectural design dramatically, Where it simplifies the architects to deal with continuous changes. Then the study concludes with the most important research results, presenting the proposed recommendations that would demonstrate the efficiency of the use of the generative design in the design process compared to the traditional approach.