توليد الشكل المعماري باستخدام نهج التصميم التوليدي

م.م/ صبحي إبراهيم إسماعيل[١]، أ.د/محمد علاء مندور[٢]، د/ ممدوح أحمد فرج[٣]
[٢،١] كلية الهندسة بالمطرية - جامعة حلوان - مصر. [٣] كلية الهندسة -جامعة الفيوم - مصر.

الملخص

أصبح استخدام الحاسب الآلي لا يقتصر علي عمل الرسومات فقط في عملية التصميم المعماري، بل يشارك المصمم أيضا في مراحل عملية التصميم المعماري نفسها وحل مشكلاتها التصميمية المعقدة التي تواجه المصمم وذلك باستغلال القدرة الحسابية العالية له في إنتاج عدد كبير من الحلول المعمارية المختلفة التي يصعب علي المعماري إيجادها بمفرده في مدة زمنية قصيرة ، ثم يقوم المصمم بتقييمها والاختيار من بينها، وهذا ما يسمي بالتصميم التوليدي والذي يعرف بانه عملية تعاونية بين البشر وأجهزة الحاسب الآلي لحل مشكلات التصميم، لذا فان هذا البحث ركز على تطبيق نهج التصميم التوليدي لإيجاد شكل الكتلة من محددات الأرض.

الكلمات الدالة

التصميم التوليدي– التصميم الحسابي – الخوارزميات – تشكيل كتلة المبني.

Abstract

The use of computers is not limited to making drawings only in the architectural design process, but the designer also participates in the stages of the architectural design process itself and solving its complex design problems facing the designer by exploiting his high computational ability to produce a large number of different architectural solutions that are difficult for the architect Finding them alone in a short time, then the designer evaluates them and chooses from them, and this is what is called generative design, which is known as a collaborative process between humans and computers to solve design problems, so this research focused on applying the generative design approach to finding building mass from the layout space.

Key Words

Generative Design - Computational Design – Algorithm- Building Mass.

المشكلة البحثية

مشاكل التصميم متعددة الأبعاد بطبيعتها فهي تتألف من شبكة معقدة من الوظائف غير الخطية، التي يفترض أن يلبي الحل منها العديد من الأهداف مثل الوظيفة والشكل والقيمة الاقتصادية والحاجات الاجتماعية والسياسية، وما إلى ذلك، وغالبا ما يكون الجدول الزمني لعملية التصميم محدوداً، في ضوء ذلك يصعب علي المصمم المعماري استكشاف بدائل متعددة يمكن أن تكون حلولا أفضل للمشكلات المعمارية التي يواجها، ويقوم باختبار وتحسين عدد محدود من بدائل التصاميم قبل اختيار الحل النهائي.

المقدمة

إن ما تشهده الساحة المعمارية عالميا من تأثيرات الثورة الرقمية والمعلوماتية وتكنولوجيا البرمجيات والحاسب الآلي في مجالات التصميم المعماري ومجالات تصنيع مواد البناء المتطورة والذكية وأساليب الإنشاء الحديثة يمثل مرحلة جديدة تعد بمثابة الانطلاقة في تحول العمارة العالمية، وهو بدوره ما يشكل عمارة المستقبل.

في السنوات الأخيرة ظهرت حقبة جديدة من منهجيات التصميم في العمارة ودخلت حيز التنفيذ، ولاقت اهتماما متزايدا تحت مصطلح "التصميم التوليدي Generative Design". وقد بدأ هذا

النهج الذي يعلن ارتباطه الوثيق بتطور التكنولوجيا والوسائل الرقمية والتفاعلية في تسعينيات القرن الماضي، وكان يستخدم لإبداع الأعمال الفنية والرسوم المتحركة البسيطة [١]. ثم تطور استخدامه ليشمل العديد من المجالات المعمارية وغيرها من المجالات الاخري التي تحتاج الي دراسة واستكشاف بدائل متعددة وتقييمها واختيار المناسب من بينها.

١- تعريف التصميم التوليدي

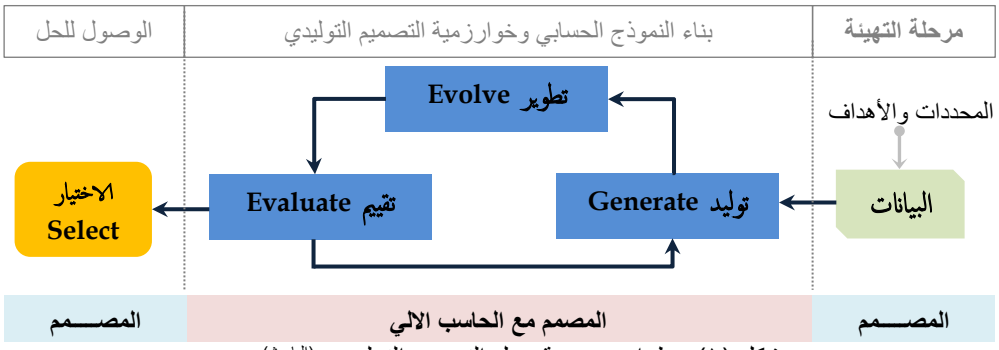
التصميم التوليدي هو عملية خوارزمية تعتمد على قواعد يجري تطبيقها بطريقة منظمة لتوليد وإبداع مجموعة من حلول تصميمية محتملة متنوعة تلك القواعد تسمي "الجينات genes" [٢].

ومن بين الآراء التي تسعى لتحديد هوية التصميم التوليدي، والمكملة للتعريف السابق، هو رأي. Sivam Krish الذي أسهب في وصف التصميم التوليدي وتأثيره في استكشاف الإمكانيات التصميمية الجديدة، يعرف التصميم التوليدي بأنه "تحويل الطاقة الحاسوبية إلى طاقة استكشافية إبداعية تمكن المصممين البشريين من استكشاف عدد أكبر من إمكانيات التصميم ضمن المحددات القابلة للتعديل" [٣].

ومما سبق نستنتج أن **التصميم التوليدي هو عملية تعاونية بين البشر والحاسب الآلي لحل مشاكل التصميم، في هذه العملية يحدد المصمم الأهداف ومحددات التصميم، ويقوم الحاسب الآلي بتوليد العديد من بدائل التصميم لإيجاد مجموعة متنوعة من الحلول المثلى التي تساعد المصمم في تلبية اهدافه.**

٢ - منهجية عمل التصميم التوليدي

تتسلسل منهجية التصميم التوليدي عبر عدة مراحل للوصول الي الحلول التي تلبي الأهداف والمتطلبات التصميمية المطلوبة، فالتصميم التوليدي يهدف الي سير العمل بشكل أكثر تكاملا بين الإنسان والحاسب الآلي، لذلك يلزم اتخاذ سلسلة من الخطوات التي تؤدي الي إجراءه بصورة صحيحيه يتم توضيحهم كما يلي:



شكل (١) خطوات منهجية عمل التصميم التوليدي. (الباحث)

٢-١ مرحلة التهيئة Initialization

تعد هذه المرحلة من اهم مراحل عملية التصميم التوليدي والتي يقوم فيها المصمم بتحديد المشكلة التي يتوجب على التصميم التوليدي حلها، والأهداف التي يتوجب عليه الوصول إليها، والتي يقوم على أساسها أيضاً بناء النموذج الحسابي الذي سيقوم بتوليد البدائل التصميمية، ويقوم المصمم بتحديد الاتي:

٢-١-١ تحديد المشكلة Defining the problem

في هذه الخطوة يقوم المصمم بتحديد المشكلة التي قام باختيار نهج التصميم التوليدي من أجلها ويجب أن تكون هذه المشكلة قابلة للقياس الكمي لكي يكون التصميم التوليدي فعال في ابتكار حلول لها،

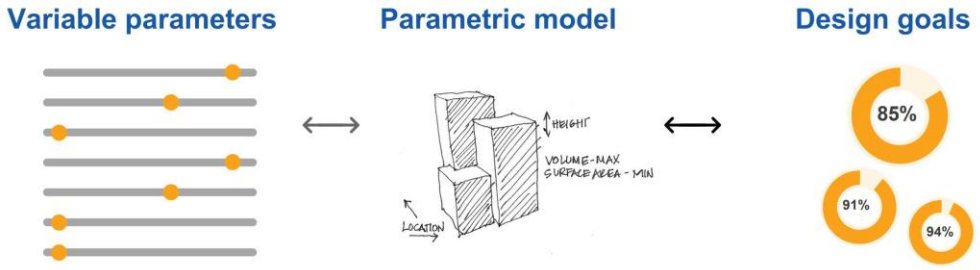
كما يقوم المصمم بجمع بيانات ومعايير وشروط التصميم الأساسية من الجهات المختصة لوضعها إما كمحددات أو متغيرات للعملية التصميمية.

٢-١-٢ تحديد الأهـداف Objectives

الخطوة الثانية من مرحة التهيئة والتي يقوم المصمم أيضا بتحديدها هي وضع أهداف لعملية التصميم التوليدي، وترتكز هذه الخطوة على متطلبات المشروع ومحدداته التي قام المصمم بها في الخطوة الأولي مثل البرنامج الوظيفي للمشروع، تحليل الموقع، حجم المبني أو المساحة التي يشغلها التصميم النهائي، معايير الأداء، استهلاك الطاقة، الإضاءة، الأحمال الهيكلية، القوى المؤثرة، المواد المستخدمة وخصائصها ، قيود التصنيع، وغيرها من المتطلبات المعمارية والإنشائية، والبيئية، والميكانيكية، والمادية هذه الكميات الهائلة من البيانات المعقدة التي تكون في كثير من الأحيان متناقضة وغير متجانسة يتم علي أساسها تحديدا الأهداف المرجوة من عملية التصميم التوليدي بها ،وبعد ذلك يتم افتراض معايير للحكم على البدائل التصميمية المولدة، مثل استهلاك الطاقة، التكاليف، ....الخ. [٣]

٢-٢ بناء النموذج الحسابي Computational model

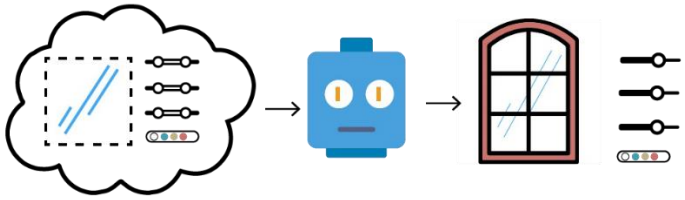
في هذه الخطوة يقوم المصمم بعمل رسم ابتدائي مبدئي يوضح مراحل إنشاء النموذج الذي سيقوم بتوليد البدائل التصميمية في ضوء الأهداف والمحددات التي قام بوضعها في المرحلة الأولي ثم يقوم باختيار أحد الأدوات الرقمية التي تدعم بناء النماذج الحسابية، ثم يقوم بعمل خوارزمية بناء النموذج بداية من المدخلات وحت الوصول الي الأهداف كما يلي:



شكل (٢) تعتمد عملية التوليد على إنشاء نموذج بارامترى يعتمد على إدخال البيانات والتي تمثل القيود ويقوم بحساب الأهداف التي تقيم الحلول المناسبة. [٤]

٢-٢-١ المدخلات (Variable parameters)

المدخلات يتم وضعها من قبل المصمم وهي تكون إما ثابته وتعتبر في هذه الحالة هي المحددات، أو تكون مدخلات متغيرة والتي تستخدمها خوارزميات التصميم التوليدي للبحث فيها للوصول الي الأهداف.



شكل (٣) تحويل المدخلات الى بارامترات لتوليد العديد من البدائل من خلال خوارزمية التصميم الحسابي. [٤]

٢-٢-٢ خوارزمية إنشاء النموذج البارامتري (Parametric model)

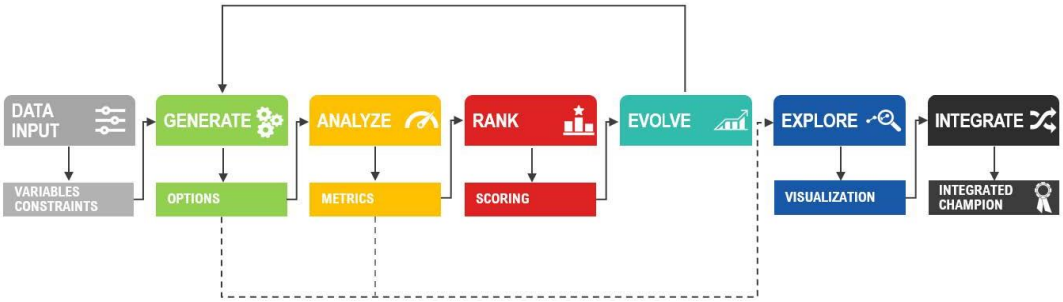
لإجراء عملية التصميم التوليدي نقوم بإنشاء خوارزمية التصميم الحسابي وهي عبارة عن سلسلة من الخطوات المنطقية المتتالية والتي تكتب بشكل منطقي لحل مشكلة معينة، يقوم المصمم بوضع خطواتها للوصول الي الأهداف المطلوبة. [٥]

٢-٢-٣ الأهداف Design goals

الدور الأساسي لوضع الأهداف هو تمكين المصمم من اختيار البديل أو البدائل الأكثر ملائمة للمعايير التصميمية المطلوبة، فالمقارنة بين البدائل تلعب دورا أساسيا في إدراك إمكانية تلبية التصميم للمعايير الرئيسية والثانوية، وأنه يمثل الأفضل وسط التصاميم موضع التقييم. [٦]

٢-٣ استخدام خوارزمية التصميم التوليدي

تقوم هذه المرحلة على التعامل مع محددات ومتغيرات التصميم المتعددة المحددة بالمرحلة السابقة، لتكوين البدائل المختلفة للحلول التصميمية التي تلبي الأهداف، فمن خلال تشغيل الخوارزميات يبحث نظام التصميم الحاسوبي فضاء التصميم لتوليد عدد كبير من الخيارات التصميمة الممكنة والفريدة وغير القابلة للتكرار كحل للمجموعة الواسعة من متغيرات الإدخال، وأيضا تحليل الأداء وتقييم كافة الحلول التصميمية. [٧] وتشمل هذه المرحلة عدة خطوات كالتالي:

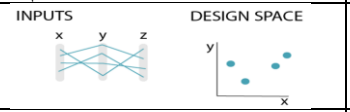
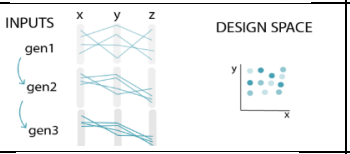
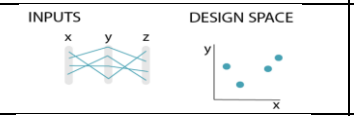
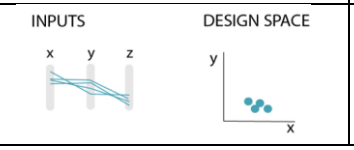


شكل (٤) خطوات عمل خوارزمية التصميم التوليدي. [٤]

٢-٣-١ اختيار طريقة توليد البدائل Solvers

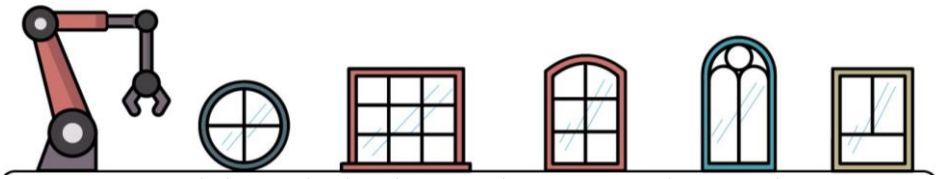
هي طريقة التعامل مع المتغيرات للوصول الي الأهداف. يتطلب أسلوب التوليد أن تكون المدخلات محددة لذا في كثير من الأحيان، يكون التحدي الأكبر هو تحديد المشكلة التي يمكن لأسلوب التوليد فهمها والأساليب المتوفرة حاليًا في التصميم التوليدي كما يلي (جدول (١)) [٤].

جدول (١) أساليب توليد البدائل Solvers. (الباحثون)

	طرق التوليد	الوصف	مساحة التصميم
أساليب توليد البدائل Solvers	١- العشوائي Randomize	يُنشئ اختيار "العشوائية" عددًا محددًا من بدائل التصميم عن طريق التعيين العشوائي لقيمة لكل متغير من متغيرات الإدخال.	
	٢- التحسين (الوصول للأمثل) Optimize	إنشاء "أجيال" متعددة (أو تكرارات) من التصميم، حيث سيستخدم كل تكرار تكوين الإدخال من الجيل السابق لتحسين خيارات التصميم الجديدة.	
	٣- المنتج المتقاطع Cross Product	يتيح استكشاف مساحة التصميم الكاملة لإنتاج الحلول من خلال دمج كل خطوة من كل متغير مع متغيرات الأخرى المتاحة.	
	٤- الحل المشابه Like this	يطبق اختلافات طفيفة على تكوين الإدخال الحالي .باستخدام هذه الطريقة، يمكن استكشاف أشكال مختلفة من التصميم الذي نال على رضي المصمم بالفعل.	

٢-٣-٢ تشغيل / توليد الحلول Run/Generate

بمجرد تحديد طريقة توليد البدائل وضبط المتغيرات المصاحبة له، يبدا في إنشاء خيارات تصميم مختلفة. وتتم هذه المعالجات داخل النظام الحاسوبي [٨].



شكل (٥) مرحلة إنشاء خيارات التصميم داخل عملية التصميم التوليدي. [٩]

الأشـياء التي يتم إنشـاؤها في خطوه التشـغيل هي النتائج النهائية أو المخرجات لكل مرحله وتستخدم كمدخلات في المراحل اللاحقة. علي سبيل المثال، يتم استخدام التصاميم التي تم إنشاؤها في مرحله الإنشاء كمدخلات في مرحله التحليل.

٢-٣-٣ مرحلة التحليل Analyze

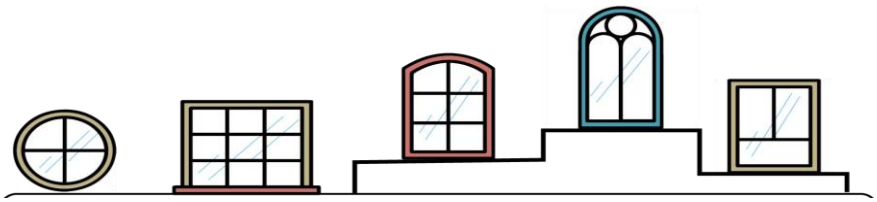
يتم في هذه المرحلة تحليل التصـاميم التي تم إنشـاؤها في الخطوة السـابقة ومدي تحقيقها للأهداف المحددة من قبل المصمم بناءً على معايير التقييم التي تم وضعها سابقاً.

شكل (٦) مرحلة تحليل بدائل التصميم داخل عملية التصميم التوليدي على أساس معايير الإضاءة والرؤية. [٩]

تتراوح أساليب تمثيل نتائج التقييم بين التمثيل الرمزي باستخدام المصفوفة أو الجدول مثلا أو التمثيل التماثلي باستخدام الرسومات الثنائية أو الثلاثية الأبعاد.

٢-٣-٤ مرحلة التقييم Evaluate

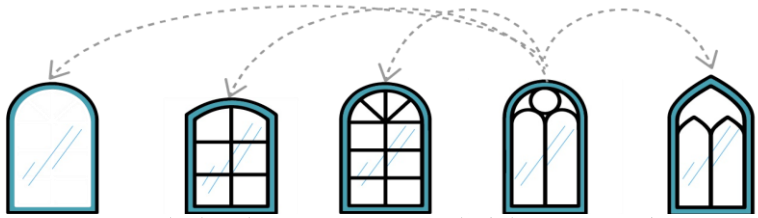
استنادا إلى نتائج التحليل في الخطوة السابقة، يتم ترتيب خيارات التصميم أو تقييمها اعتمادا على خوارزمية تقييم النتائج المحددة التي وضعها المصمم.



شكل (٧) مرحلة تقييم بدائل التصميم داخل عملية التصميم التوليدي للوصول الى الحل المناسب. [٩]

٢-٣-٥ مرحلة التطور Evolve

في حالة عدم قبول نتائج المرحلة السابقة من الأطراف المشاركة يقوم التصميم التوليدي بإعادة تكرار الدورة وتوليد حلول أكثر ملائمة لأهداف التصميم أو تطوير الحل المناسب الذي تم اختياره من المرحلة السابقة، ويتم عرض بدائل التصميم الناتجة مرة أخرى إلى جانب بيانات الأداء لكل حل.



شكل (٨) تطوير الحل المناسب بعد تقييمه في المرحلة السابقة. [٩]

وتعرف هذه الخطوة بحلقة التغذية المرتدة وهي من أهم خصائص التصميم التوليدي، وتمتد من الآليات البسيطة حيث يتم أخذ مخرجاته الخاصة وإدخالها مرة أخرى، إلى الآليات المعقدة نسبية

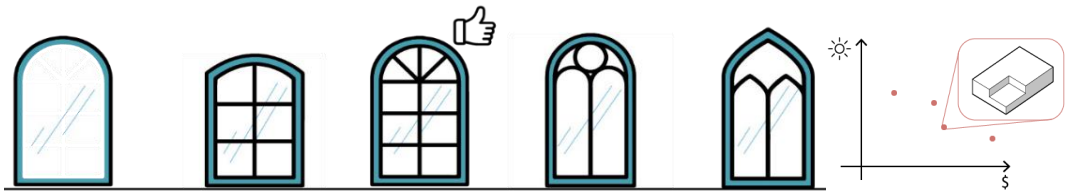
والتي تتضمن إجراءات تقييم التصميم. [١٠] يمكن للنظام الحاسوبي أن يكرر هذه العملية آلاف المرات ليولد آلاف التصميمات المختلفة.

فتقييم الحلول التي تم توليدها وإعادة ضبط الأهداف والمحددات لتحديد المشكلة، يؤدي لتوليد نتائج جديدة حتى يتم تحديد الحل المناسب.

٢-٣-٦ مرحلة الاستكشاف Explore

يتم استكشاف ودراسة وفهم مختلف البدائل الممكنة لحل التصميم، وبعد الفحص الكاف، يتم اختيار أفضل الحلول التصميمية، التي تساعد عن طريق دمجها على تعديل الأهداف والقيود في محاولة لتحسين المشكلة.

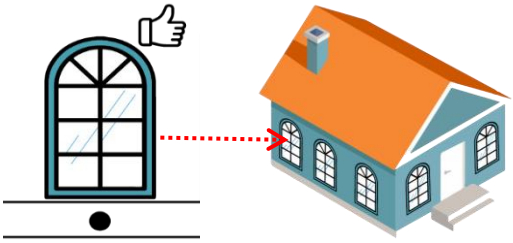
وأخيرا باستخدام الحدس البشري يتم تحديد هوية الحل الأمثل والأكثر ملائمة وذلك اعتمادا على البيانات التي يوفرها النموذج الحسابي أو عوامل أخرى يحددها المصمم مثل الجماليات الشكلية، ملائمته لاحتياجات المستخدمين، والهيكل الإنشائي، وجماليات وثقافة العميل وغيرها من العوامل التي تساعد على الاختيار المناسب بشكل مثالي.



شكل (٩) مرحلة استكشاف أفضل الحلول التي تحقق أهداف التصميم المطلوب. [٩]

٢-٣-٧ مرحلة الدمج Integrate

بعد اختيار بديل التصميم المفضل، يستخدم المصمم أو يدمج هذا التصميم مع باقي أجزاء المشروع لاستكمال مراحل تصميم المشروع اللاحقة.



شكل (١٠) المرحلة الأخيرة هي دمج بديل التصميم مع باقي أجزاء المشروع. [٩]

٣-الدراسة التطبيقية: توليد الشكل باستخدام نهج التصميم التوليدي Form Generation

يقوم البحث في هذه الدراسة بمحاولة إيجاد شكل كتلة المبني باستخدام نهج التصميم التوليدي كمرحلة أولية من مراحل تصميم المشروع المبكرة (Conceptual Design) والتي من شأنها ان تختصر وقت التصميم في هذه المرحلة لإتاحة الفرصة للمصممين لإبداع وتطوير التصميم الابتدائي لشكل الكتل المعمارية.

٣-١ وصف التجربة Description

في هذه الدراسة تم عمل نموذج حسابي بواسطة الخوارزميات وتطبيق نهج التصميم التوليدي عليه لإنتاج العديد من البدائل التصميمية التي يمكن ان تكون حلول محتمله لشكل كتلة المبني، وتقع هذه الكتل داخل حدود الارض التي سيتم اختيارها بارتدادات ومحددات يحددها المصمم.

٣-٢ تحديد المشكلة

في المراحل المبكرة من عملية التصميم المعماري غالبا ما يكون الوقت غير كاف لاستكشاف بدائل كثيرة ومتنوعة قد تكون أفضل لتشكيل كتلة المشروع ويتم الاكتفاء بدراسة بدائل محدودة نظراً لمحدودية تفكير المصمم ولما يتطلبه كل بديل من وقت لعمل الحسابات اللازمة لتقييمه.

٣-٣ أهداف التجربة

تم تحديد هدف رئيسي لهذه الدراسة يتمثل في استكشاف أكبر عدد ممكن من البدائل التصميمية لشكل كتلة المبني في ضوء شكل ومساحة اي قطعة ارض يتم اختيارها من قبل المصمم، وحساب البيانات التي سيقوم المصمم بالاطلاع عليها لتقييم البديل المناسب مثل (المساحة - عدد الأدوار -ارتفاع المبني، النسبة البنائية، معامل الاشغال).

٣-٤ موقع مشروع:

تم اختيار أحد قطع الأراضي المراد تصميمها في منطقة الاستعمالات المختلطة متوسطة الكثافة في مشروع (Downtown – GOV2) بالعاصمة الإدارية الجديدة - جمهورية مصر العربية وهي عبارة عن قطعة ارض بمسطح ٧٤٤٤ م٢ أي بحوالي ١,٣٩٤ فدان كما هو محدد بالشكل أدناه.

شكل (١١) موقع المشروع محل الدراسة. (الباحثون)

٣-٤ الشروط البنائية:

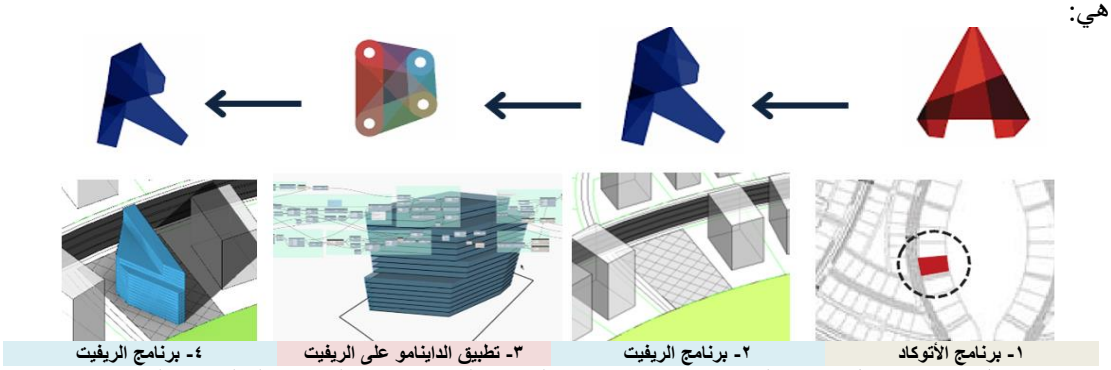
كما هو موضح بالجدول ادناه تم وضع المحددات البنائية للمشروع كما يلي:

جدول (٢) الشروط البنائية والمعلومات الأساسية لتصميم المبني. [11]

استعمال قطعة الأرض	مختلط الاستعمال (متوسط الكثافة)
مساحة الأرض الكلية (متر مربع)	٧٤٤٤,٢٦١
مساحة حدود الملكية (متر مربع)	٥٨٥٤,٦٣٥
الارتفاع الأقصى (متر)	٥٥
عدد الأدوار التقديرية	أرضي + ١٢دور
الحد الأقصى لنسبة البنائية من حد الملكية	٣٠٪
الحد الأقصى للمساحة البنائية (متر مربع)	٢٢٨٣٣,٠٧٦
الحد الأقصى لمعامل الإشغال (FAR) من مساحة حدود الملكية	٣,٩

٣-٤ أدوات التجربة

تم اختيار الأدوات التطبيقية المتاحة والأكثر انتشاراً وتكاملاً مع أنظمة النمذجة الحديثة في البناء (BIM) لإجراء لسهولة تطوير النموذج واستكمال باقي مراحله التصميمية المختلفة، وهذه الأدوات التطبيقية هي:

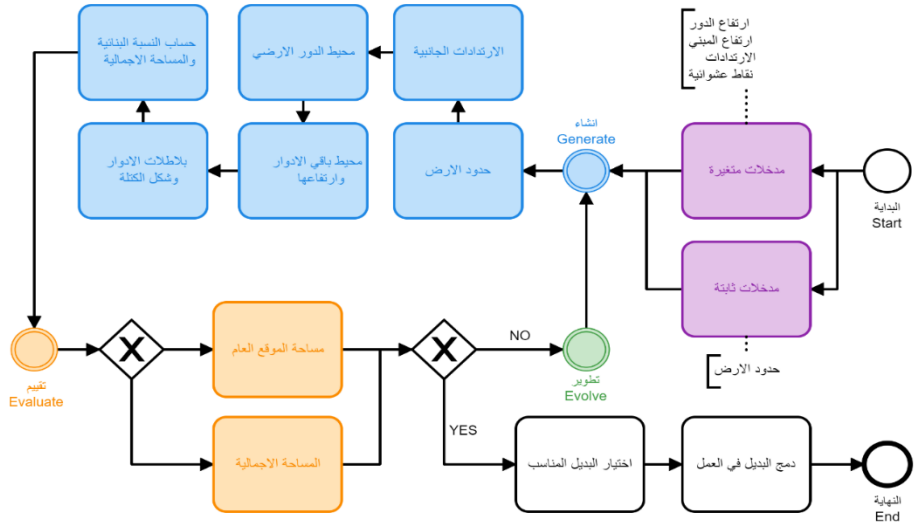


شكل (١٢) مراحل إجراء التجربة باستخدام برامج الحاسب لتطبيق منهج التصميم التوليدي. (الباحثون)

[١] برنامج (AutoCAD) - إصدار ٢٠٢٠ من انتاج شركة Autodesk
[٢] برنامج (Revit) - إصدار ٢٠٢٢ من انتاج شركة Autodesk
[٣] برنامج (Dynamo Revit) – إصدار ٢,١٠,١,٤٠٠٢ من انتاج شركة Autodesk أيضاً

٣-٤ بناء النموذج الحسابي

تم وضع منهجية لعمل النموذج الحسابي من خلال إدخال المحددات التصميمية لقطعة الأرض للوصول الي الأهداف المطلوبة كما بالشكل التالي:



شكل (١٣) بناء النموذج الحسابي لهيكل عمل التجربة من بداية إدخال البيانات حتى النهاية (الوصول للحل). (الباحثون)

٣-٤-١ إدخال البيانات Data define

في هذه المرحلة تم تحديد المدخلات التي يقوم المصمم بإدخالها لإنتاج بدائل لا نهائية لشكل الكتلة الابتدائية لاي مشروع وستكون هذه المدخلات هي انطلاقة النموذج لتوليد شكل الكتل وتنقسم المدخلات إلى مدخلات ثابتة وهي المحددات الثابتة للمشروع، واخري مدخلات متغيرة، تم تحديد المدخلات لهذه الدراسة على النحو المبين بالجدول التالي:

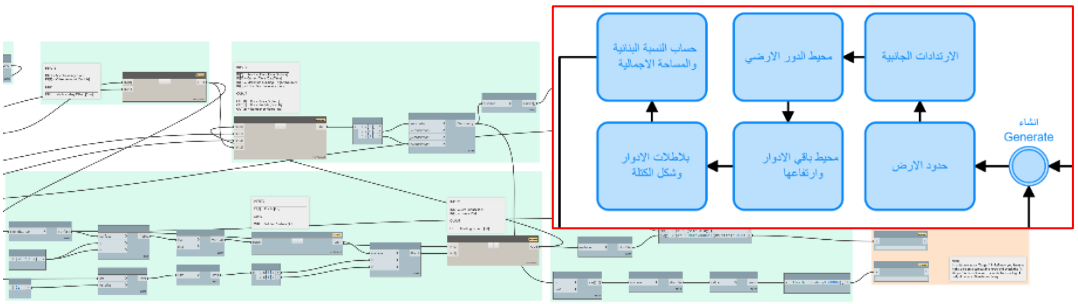
شكل (١٤) مرحلة إدخال البيانات التي توضح محددات ومتغيرات التصميم. (الباحثون بواسطة ديناموا)

جدول (٣) تحديد المدخلات التي يقوم المصمم بإدخالها لإنتاج البدائل. (الباحثون)

نوع المدخلات	الاسم	الوصف
مدخلات ثابتة	حدود الأرض	اختيار حدود الأرض المطلوب عمل الدراسة عليها اما عن طريق رسمها او اخيارها من داخل برنامج Revit
	الردود	متغير لتحديد مسافة الارتداد الجانبي للكتلة
	ارتفاع المبني	تحديد الارتفاع الإجمالي للمبني
	ارتفاع الدور	ارتفاع الدور من سطح بلاطة الدور الي الدور الذي يليه
مدخلات متغيرة	U Values (%)	تحدد أماكن النقاط على قطعة الأرض في الاتجاه الافقي والتي سينتج منها شكل الدور
	V Values (%)	تحدد أماكن النقاط على قطعة الأرض في الاتجاه الراسي والتي سينتج منها شكل الدور

٣-٤-٢ مرحلة الإنشاء

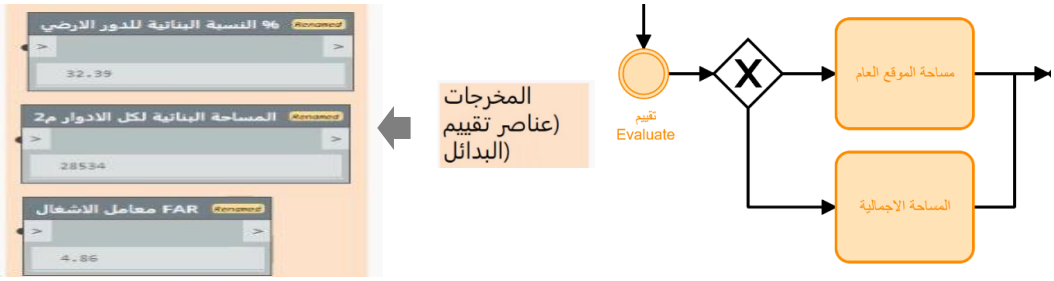
تقوم الخوارزمية في هذه المرحلة بإنشاء النموذج الحسابي بناء علي المدخلات التي تم وضعها في الخطوة السابقة ، وبنيت هذه الخوارزمية بشكل متسلسل للوصول الي بناء كتلة المشروع من حدود الأرض والارتدادات التي تم إدخالها ثم فرض محيط للدور الأرضي بناء علي شكل الأرض ومتغيرات يمكن تغيرها فيما تكون هذه المتغيرات هي نواة عمل التصـــميم التوليدي فيما بعد، ثم افتراض محيط وارتفاع باقي الأدوار بناء علي شكل الدور الأرضي والارتفاع وعدد الادوار الذي يحدد المصمم ، ومن ثم بناء الكتلة علي محيط الأدوار وحســاب النســب والمســطحات البنائية التي يتم اســتخدامها عند تقييم البديل المناسب.



شكل (١٥) إنشاء النموذج الحسابي بناء على المدخلات التي تم وضعها في الخطوة السابقة. (الباحثون بواسطة دينامو)

٣-٤-٣ معايير التقييم (الأهداف)

بعد تحديد أهداف الدراسة والمدخلات اللازمة لتوليد الشكل المعماري للمشروع محل الدراسة يتم تحديد المخرجات اللازمة، والتي يتم على أساسها تقييم البدائل التصميمية واختيار البديل المناسب وهي النسبة البنائية والمسطحات البنائية الاجمالية كما هو موضح بالشكل التالي:



شكل (١٦) وضع معايير التقييم على أساس الأهداف المطلوب تحقيقها من التصميم. (الباحثون بواسطة دينامو)

٣-٥ استخدام خوارزمية التصميم التوليدي

بمجرد الانتهاء من بناء النموذج الحســابي، يتم عمل دراســة لاســتكشــاف البدائل التصــميمية الممكنة في ضــوء المحددات والاهداف التي وضــعها المصــمم، وتقييم كل بديل لاختيار الأفضــل منهم طبقا لأهداف الدراسة.

٣-٥-١ التشغيل Run

يقوم المصمم في هذه المرحلة بتحديد خيارات التوليد المناسبة للدراسة والتي على أساسها يتم توليد النماذج تم تحديد الخيارات التالية للوصول الي النتائج

أ- الأسلوب التوليدي المستخدم

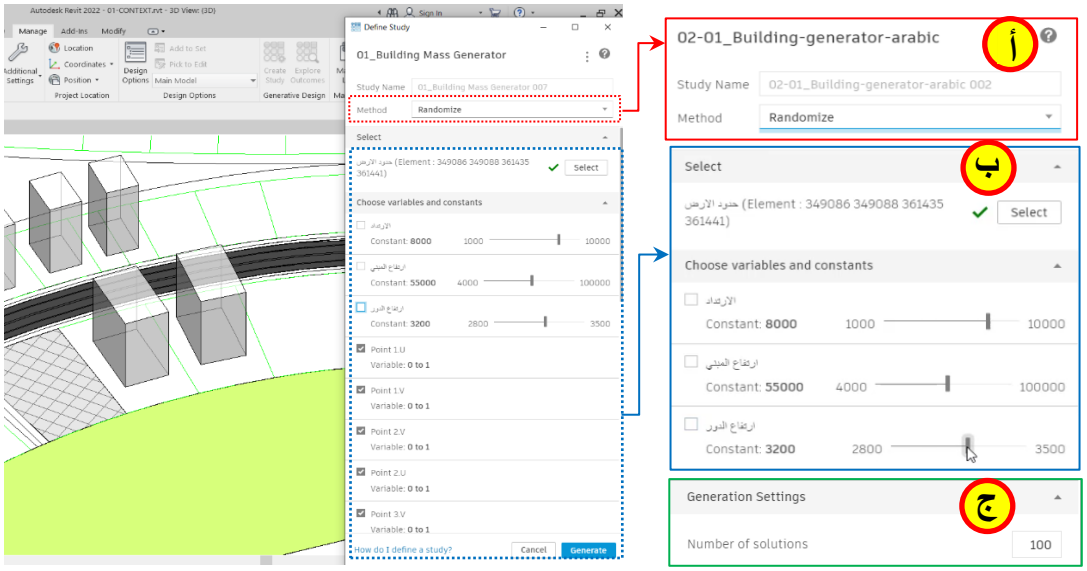
تم استخدام اسلوب التوليد العشوائي للبدائل "Randomize " لان هذا المثال يهدف إلى توليد مجموعة متنوعة من أشكال كتل المبني بغرض إنشاء تباين بدلا من التحسين"Optimization" لذا فإن استخدام هذا الأسلوب هو الأكثر ملائمة لهدف الدراسة.

ب- تحديد المتغيرات التي تدخل في عملية التوليد

في هذه التجربة تم اختيار المدخلات المتغيرة التي تم تحديدها في المرحلة الاولي من بناء النموذج الحسابي.

ج- تحديد عدد البدائل المطلوبة

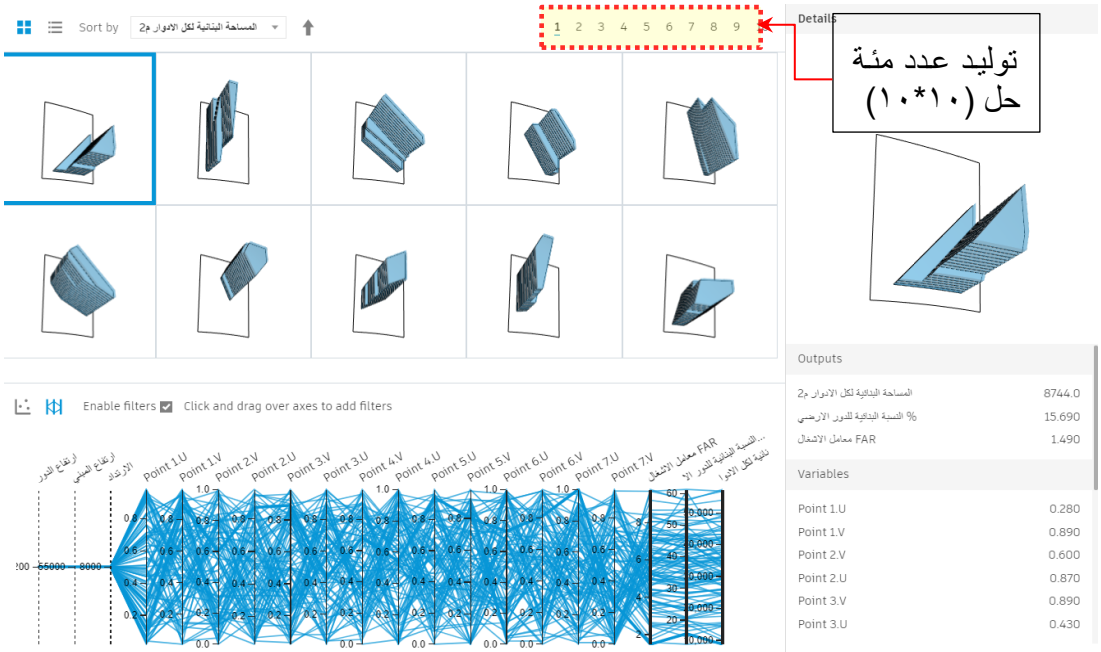
تم اختيار عدد ١٠٠ بديل عشوائي للتجربة



شكل (١٧) تحديد المتغيرات واختيار أسلوب التوليد وعدد بدائل الحلول المطلوبة لمرحلة التشغيل. (الباحثون)

٣-٥-٢ النتائج

بمجرد الضغط على توليد (Generate) تم توليد عدد ١٠٠ بديل في اقل من دقيقتين كما بالشكل التالي:



شكل (١٨) توليد مئة حل من البدائل المتنوعة في أقل من دقيقتين. (الباحثون بواسطة ديناموDynamo)

٣-٥-٣ تقييم النتائج واختيار البديل المناسب

تم تقييم النتائج تبعاً لعدة اهداف كما يلي

١- شكل الكتلة من الناحية الجمالية (يقوم المصمم بالاختيار).

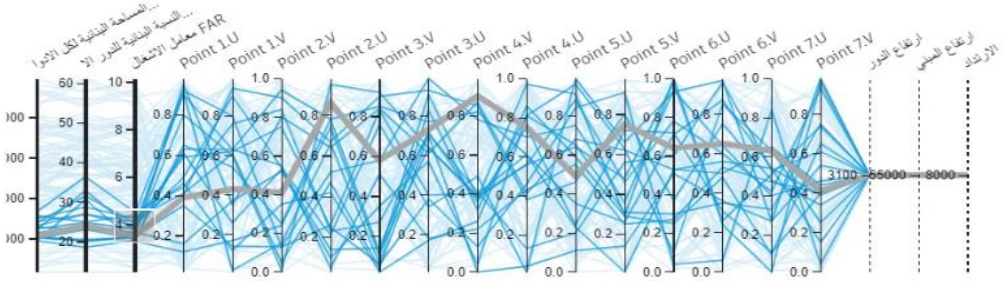
٢- معامل الاشغال المسموح به لأرض المشروع وهو (٤,٩): (يقوم البرنامج بحسابها بعد تطبيق المعادلة الخاصة بها على مسطحات المشروع).

٣- النسبة البنائية للدور الارضي (يقوم البرنامج بعمل الحسابات ويقوم المصمم باختيار النسبة المثالية).

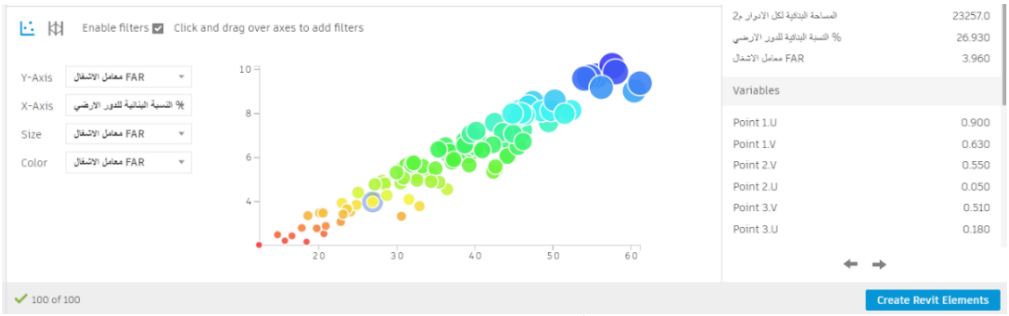
٤- المسطحات الاجمالية للمشروع (يقوم البرنامج بعمل الحسابات ويقوم المصمم باختيار المساحة المطلوبة).

يتم تقييم النتائج داخل البرنامج بأسلوبين أما عن طريق الرسم البياني (Scatter plot)أو الإحداثيات المتوازية (Parallel Coordinates).

- طريقة الإحداثيات المتوازية (Parallel Coordinates).



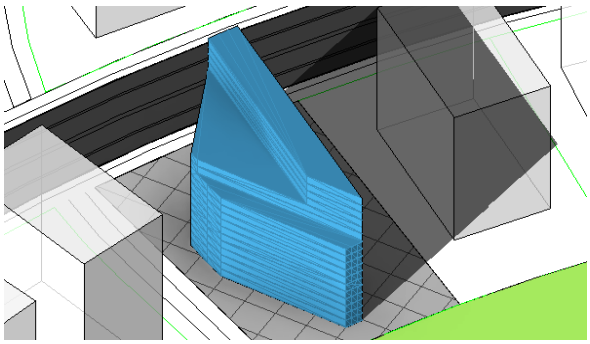
- طريقة الرسم البياني (Scatter plot)



شكل (١٩) طرق تقييم النتائج تبعاً لأهداف التصميم واختيار البديل المناسب. (الباحثون)

٤-٥-٤ دمج البديل

في هذه المرحلة تم دمج البديل في بيئة عمل برنامج الريفيت (Revit) لإجراء دراسات اخري عليه في باقي مراحل المشروع.



شكل (٢٠) دمج البديل المناسب في برنامج الريفيت لتكملة باقي تفاصيل المشروع. (الباحثون)

٤- النتـــــائج والتوصيات

يمكن اسـتخلاص النتائج والتوصـيات لهذا البحث من خلال الإطار النظري والإطار التحليلي الاستنباطي في عدة نقاط يمكن إيجازها فيما يلي:

٤-١ النتـــائج

- استخدام التطبيقات والبرامج الرقمية لا يقتصر على كونها للرسم المعماري فقط بل أصبح لها دور رئيسـي وهام في مسـاعدة المعماري لإنجاز عملية التصـميم نفسـها، بل وتوليد أفكار لحل مشـكلات التصميم المعقدة.
- التصـميم التوليدي ليس اداه او تطبيق بل هو نهج او طريقة تصـميم تعتمد على تعاون بين الحاسـب الالي والمصمم لحل مشاكل التصـميم. في هذه العملية، يحدد المصـمم الأهداف ومتغيرات التصـميم ويقوم الحاسـب الآلي بتوليد العديد من بدائل التصـميم لإيجاد مجموعة من الحلول المثلى، ولا يمكن فيها الاستغناء عن المصمم لأنه هو الذي يحدد اهداف ومتغيرات العملية التصـميمية واختيار البديل المناسب يقع على عاتقه ايضاً.
- لاسـتخدام نهج التصـميم التوليدي الحاسـوبي أهمية كبيرة في تحسـين تشـكيل الكتل المعمارية من خلال مسـاعدته في اسـتكشـاف عدد لانهائي من البدائل التصـميمية في وقت قصـير والتي يصـعب علي المصمم ايجادها بمفرده، بل وتقييمها بجانب المصمم لاختيار البديل المناسب منها.
- التصميم التوليدي هو نهج قائم على مساعدة الحاسب الالي في العملية التصميمية نفسها لذا يجب ان تكون المشـــكلات التي يشـــارك بها قابلة للقياس الكمي وليس لاحد المقاييس الأخرى مثل المعايير الجمالية او غيرها التي هي من صميم عمل المصمم المعماري.
- أوضحت الدراسة أننا أمام مرحلة جديدة من التطور الرقمي وأمام نوع من نشاط التصميم المختلط بين الإنسـان والحاسـب الالي (نهج اسـتخدام التصـميم التوليدي في عملية التصـميم المعماري). هذا النوع من التصـميم يسير نحو تغير المرحلة الحالية من العمارة وربما المستقبل حيث أصـبح القوي المحركة للعديد من المباني الجديدة الأكثر إثارة للإعجاب، لما لدية من قوة مدهشـة على دعم حدود الإبداع البشري ودفعه للأمام، والذي لا يمكن تصوره بدون هذه الأدوات.

٤-٢ التوصـــيات

- الحاجة الماسـة للاتجاه نحو اسـتخدام نهج التصـميم التوليدي كمرحلة جديدة في عملية التصـميم لما تتيحه من قدرات جديدة تؤدي لمواكبة التطور الحالي في العمارة، فاســـتخدام هذا النهج يؤدي الي تصميمات أفضل تؤدي إلى تطوير بيئتنا المبنية.
- ضرورة تعرف المعماريين وبشكل خاص صـغار المعماريين على أحدث ما وصلت إليه اتجاهات التصـميم بمسـاعدة الحاسـب الالي وبالأخص التصـميم التوليدي، لما له من تأثير مباشـر على تنمية القدرات الإبداعية في التصميم واختصار الوقت والجهد.
- اعتماد التصـــميم التوليدي كوســـيلة تدريس فعالة في مادة التصـــميم المعماري، كما يجب توفير الأدوات والأجهزة اللازمة لتدريب طلاب الأقســـام المعمارية على مبادئ هذا التصـــميم لإطلاق المنابع الإبداعية وتطوير القدرات والمهارات لديهم.

المـــــــراجع الإنجليزية

[1] 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 3-6-2021) ..

[2] Fasoulaki, E, (2008), "Integrated Design -A Generative Multi-Performative Design Approach", Master of Science in Architecture, Massachusetts Institute of Technology, P.10 ..(

[3] Adeeb, H., (2017)," Generative Design-New Phase in Architectural Design", Journal of Urban Research, Cairo University, Faculty of Urban and Regional Planning, 23(1), 36-55 ..

[4] ,.(2021-5-7https://www.generativedesign.org/02-deeper-dive/02-01_algorithms/02-01-04_solvers (Accessed .

[5] Skiena, S. S. (2008). The Algorithm Design Manual (Vol. 2). New York: Springer-Verlag London Limited ..

[6] Turrin, M., Von Buelow, P & ,.Stouffs, R. (2011). Design explorations of performance driven geometry in architectural design using parametric modeling and genetic algorithms. Advanced Engineering Informatics, 25(4), 656-675 ..

[7] https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Hands-Project-Rediscover-Generatively-Designing-Autodesk-Toronto-Office-2020(Accessed 9-6-2021) ..

[8] Kumar, D., Samalia, H. V & ,.Verma, P. (2017). Factors influencing cloud computing adoption by small and medium-sized enterprises (SMEs) In India. Pacific Asia Journal of the Association for Information Systems, 9(3), 3 ..

[9] https://www.generativedesign.org/01-introduction/01-02_generative-design/01-02-04_examples-of-generative-design/01-02-04-01_mars-innovation-district-of-toronto(Accessed 13-6-2021) ..

[10] 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 ..

المراجــع العربيــة

[١١] شركة العاصمة الإدارية للتنمية العمرانية.