إطار نظري لمفهوم الإستكشاف في طرائق التصميم الحاسوبي

د. ضحى عبد الغني عبد العزيز القزاز
مدرس في قسم الهندسة المعمارية / جامعة الموصل

الخلاصة

برزت خلال العقود الماضية توجهات تصميمية جديدة تعتمد الحاسوب كأداة تصميمية. إذ تستلزم الطبيعة الغير محددة للمشكلة المعمارية من جهة والتفضيلات الذاتية للمصمم من جهة أخرى إعتماد طرائق موضوعية لتحليل المعرفة التصميمية تحت مسمى عمليات الإستكشاف. تناولت الأدبيات مفهوم الإستكشاف في سياق وصفها لأدوات تصميم حاسوبية محددة موضحة علاقته بإجراءات تصميمية عديدة أهمها عمليتي البحث والتقييم.

يركز البحث على بناء إطار نظري لمفهوم الإستكشاف في عمليات التصميم المعتمدة على التقنيات الحاسوبية يكون قادرا على تحديد خصوصية هذه الممارسة في الطرائق الحاسوبية المختلفة. يشتمل الإطار على أربع مفردات هي الهدف من فعل الإستكشاف، وطبيعة دور الإستكشاف في العملية التصميمية، وتسلسل فعاليات الإستكشاف في العملية التصميمية وأخيرا القائم بفعل الإستكشاف. إذ يبلور الإطار دور مفهوم الإستكشاف في المراحل الأولية لعمليات التصميم الحاسوبية ضمن محورين أساسين هما دوره كأداة بحث في فضاء المشكلة التصميمية ودوره كأداة بحث في فضاء الحل التصميمي. إذ يتراوح الأخير بين دوره كأداة للتوليد الإستكشافي وكأداة للتقييم الإستكشافي. وقد إستثمر البحث المعرفة المطروحة في الإطار النظري في تحديد خصوصية المفهوم في بعض ادوات التصميم الحاسوبية.

كلمات دالة: إستكشاف المشكلة التصميمية، إستكشاف الحلول التصميمة، توليد البدائل التصميمية، تقييم البدائل التصميمية.

A framework for exploration in design computing Methods

Dr. Dhuha Abdulgani Abdulaziz Al-kazzaz
Lecturer in Dept. of Architectural Engineering / University of Mosul

Abstract

In recent decades, new design methods have emerged in architectural domain depending on the computer as a design tool. The ill-defined nature of architectural problem and the designer subjective preferences have required the use of objective methods of knowledge analysis such as exploration. Previous studies on design computing have described exploration in relation to varied design operations; the most important of them are the search and evaluation processes.

The paper puts forward a theoretical framework for exploration in design computing which is able to differentiate the use of exploration among various computational tools. It defines the aims of exploration, the roles of exploration in a design process, the sequence of exploration activities in a design process, and the executor of exploration. The roles of exploration include searching both the design problem space and design solution space; whereas in the latter, exploration is a tool of generating and evaluating design alternatives. The framework is used to identify the tasks of exploration in some design computing tools.

Keywords: exploring design problems, exploring design solutions, generating design alternatives, evaluating design alternatives.

أستلم: 2-9-2012 **قبل: 5-3-2013**

1. المقدمة

نتج عن التصميم المعماري الموجّه بواسطة الحاسوب نوعين من التحولات في العملية التصميمية. الأولى هي القدرة والسهولة المتزايدة في نمذجة الأشكال المعمارية ورسمها وتعريف تفاصيلها والذي سمح للمعماريين بزيادة إنتاجية البدائل التصميمية. أما التغيير الثاني والأكثر أهمية فيتمثّل بإمكانية تسخير طاقة معالجة الحاسوب في تقييم البدائل التصميمة بشكل أسرع. إذ أن إستخدام الحاسوب في عملية التصميم المعماري سهّل إمكانية إختبار عدد كبير من البدائل التصميمية عن طريق السماح بالتنويع المستمر في القيود التصميمية المعرّفة مسبقا (Grobman et al.، 2010، ص43). وتشير الدراسات الى أن الحاسوب لديه القدرة على الوصول السريع الى العدد الكبير من البدائل مع إستكشافها بعمق بخلاف وسائل التصميم التقليدية كالقلم والورقة التي لاتدعم إبتكار وإستدعاء وإعادة إستخدام البدائل التصميمية بسرعة (Woodbury & Burrow، 2006b، ص64).

أكدت الدراسات على أهمية إستكشاف فضاء الحلول التصميمية في المراحل المبكرة من العملية التصميمية للوصول الى الحلول المبدعة (von Buelow، 2007)، معتبرة أن الطبيعة الإستكشافية تقود التصميم الى عالم مفتوح. ويُعزى مفهوم الإستكشاف الى وجود بدائل عديدة للنتاج تدل على وجود أكثر من مسار واحد يمكن إتباعه في العملية التصميمية والناتج بدوره عن عدم وجود تعريف محدد للهدف التصميمي (Robinson، 1986، ص67). وتشير الدراسات الى أن الخوارزميات[1] الوراثية والتوجهات الحاسوبية النشوئية تعزز الإستكشاف بشكل خاص بسبب إستخدامها لمجاميع من الحلول كمكون أساسي في منهجها التصميمي (von Buelow، 2006). كما يشترك الإستكشاف مع الخوارزميات الوراثية بخاصية أخرى وهي إكتشاف الحلول الغير متوقعة. ففي المراحل الأولى لتحديد الشكل التصميمي يساعد الإستكشاف في الوصول الى الحلول الأفضل المتسمة بالجدة عن طريق البحث في مدى واسع من إحتمالات الحلول المنطقية الجيدة التي تأخذ بنظر الإعتبار الإحتمالات التصميمية الخارجة عن المتوقع.

للتحري عن مفهوم الإستكشاف في عملية التصميم الحاسوبي، يستعرض البحث في الفقرة التالية أدوات تصميم حاسوبية تعتمد مفهوم الإستكشاف كأساس في منهجها التصميمي.

2. مفهوم الإستكشاف في أدوات التصميم الحاسوبية

طرحت البحوث التي تصف التطبيقات الحاسوبية في مجال التصميم المعماري وجهات نظر متنوعة حول توظيف مفهوم الإستكشاف في عملية التصميم. وبهدف الوصول الى تصور أولي حول دور المفهوم فيها، يستعرض البحث أدوات تصميم حاسوبية تتبنى مناهج فكرية مختلفة تتراوح بين التوجهات المعتمدة على المعرفة السابقة في توليد التصاميم الجديدة كما في أداة DEMEX وأداة SEED وأداة CYCLOPS ، والتوجهات النشوئية كما في أدوات التطور- المشترك (CoGA1 و CoGA2) وأداة IGDT وأخيرا التوجهات التي تجمع بين أدوات التصميم النشوئية والبارامترية كما في أداة ParaGen .

1.2 أداة التصميم الحاسوبي DEMEX

تمثل أداة DEMEX مختصرا لعبارة (DEsign by Memory EXploration) وهي نظام للتصميم التفاعلي[2] بمساعدة الحاسوب يستخدم تقنيات التفكير المعتمد على الذاكرة Memory-based reasoning لمساعدة المستخدمين له في إستكشاف المشاكل التصميمية المطروحة وصولا الى فهم أفضل لمتطلبات الحل التصميمي. (Garza & Maher، 1996) تعتبر الدراسة أن مفهوم الإستكشاف يهدف الى تغيير أهداف التصميم مع التتابع في الفعل التصميمي، إذ أن المصمم يبدأ بمواصفات المشكلة المعرّفة جزئيا والمهيكلة بشكل غير جيد وخلال عملية الإستكشاف يحوّر المشكلة ويحسّنها بشكل تدريجي مع التحسّن في فهمه لها، حيث تصبح المواصفات التصميمية أكثر تفصيلا. وتصنّف الدراسة التفكير المعتمد على الذاكرة الى قسمين هما التفكير المعتمد على النموذج Model-based reasoning والتفكير المعتمد على الحالة الواقعية Case-based reasoning، حيث يمثل الأول المعرفة العمومية حول التصميم بينما يمثل الثاني الخبرات المحددة بتصاميم معينة.

تم تطبيق أداة DEMEX في حقل التصاميم الإنشائية للأبنية متضمنا المعرفة التصميمية لنماذج التصميم الإنشائي المتمثلة باصناف من الأنظمة والأنظمة الثانوية المستخدمة في إنشاء الأبنية، إضافة الى حالات واقعية لتصاميم إنشائية لأبنية محددة أو لأجزاء منها. إذ يستكشف المصمم ذاكرة البرنامج باحثا عن التصميم الأولي المطابق لمواصفات المشكلة موضع الحل

[1] الخوارزميات Algorithms : مجموعة من القواعد أو التعليمات لحل مشكلة ما في عدد محدد من الخطوات.
http://dictionary.reference.com/browse/algorithm

[2] التصميم التفاعلي: هو التصميم الذي يكون فيه للمصمم أو لمستخدم البرنامج دورا في إتخاذ القرارات وتوليد التصاميم بالتعاون مع البرنامج الحاسوبي.

وذلك عن طريق إسترداد المعرفة التجريبية الناتجة عن الخبرة السابقة والمحمولة في ذاكرة النظام والمتمثلة بكلا النماذج والحالات الواقعية والإختيار من بينها على أساس المقارنة. ويعتمد إختيار التصميم الأولي إما على المصمم نفسه أو على البرنامج الذي يرشح التصميم الذي يمتلك أفضل مطابقة مع المواصفات المطلوبة. وتطرح الدراسة ستراتيجيتين للإستكشاف خلال تطوير التصميم الأولي وهما الإضافة الى والتحول في مواصفات التصميم المطلوب. الستراتيجية الأولى للإستكشاف تدعى "توسيع الفهرس إستنادا الى النموذج" والتي تستخدم ذاكرة النموذج للمساعدة في تحديد المعلومات الإضافية والمهمة ذات العلاقة بمواصفات التصميم الأولية. فهي تساعد المستخدم في إعادة صياغة المشكلة عن طريق إضافة مواصفات جديدة الى وصف المشكلة وطرح مواصفات غير مهمة وإستبدال مواصفات بأخرى. إذ أن تحسين وصف المشكلة يساعد في إسترداد الحالة أو الحالات النهائية من الذاكرة والتي يمكن إستخدامها كنقاط بدء لحل المشكلة التصميمية. بينما تمثل الستراتيجية الثانية للإستكشاف "تنقيح الفهرس إستنادا الى الحالة المصممة" والتي توفر للمستخدم إمكانيات البحث المتكرر في ذاكرة الحالات الواقعية والسماح للمستخدم بالتحول والتغيير في خصائص مواصفات التصميم الأولية وكذلك في بعض قيمها إستجابة الى الحالات المستردة. (Garza & Maher، 1996)

بناءا على ما تقدّم، يتضح أن أداة DEMEX تتبنى مفهوم الإستكشاف في إسترداها للمعرفة التصميمية السابقة والمقارنة والإختيار منها بهدف التوسع في مواصفات التصميم الحالي إضافة الى تحويره.

2.2 أداة التصميم الحاسوبي SEED

تم تطوير هذه الأداة على مراحل إعتبارا من عام 1992، وهي تمثل بيئة برامجية تدعم المراحل الأولية لتصميم الأبنية (Software Environment to Support Early Phases in Building Design)، إذ تتراوح قدرات توليدها بين التوليد المسيطر عليه من قبل المصمم الى التوليد الآلي للبدائل التصميمية. وتشجع الأسلوب الإستكشافي للتصميم عن طريق تسهيل توليد وتقييم البدائل التصميمية مع إمكانية التنقيح المتكرر لها ومتابعة البدائل الناتجة بالتوازي. وتستخدم بشكل خاص في تصميم الأبنية النمطية ذات النماذج المتكررة معتمدة على مبدأ إعادة إستخدام المعرفة التصميمية السابقة في توليد تصاميم جديدة. إذ تعمل أداة SEED على إستكشاف فضاء التصميم الذي يمثل فضاء البحث المتكون من مجموعة من الحلول الكاملة أو الجزئية لمشكلة تصميم معمارية. فهي تعتمد في ستراتيجيتها التصميمية على إعادة إستخدام الحلول السابقة الى المشاكل المشابهة الحالية وذلك عن طريق إستعادة الحلول السابقة وتحويرها لملائمة المتطلبات الجديدة. ويوفر البرنامج أسلوبا للوصول الى ذاكرة واسعة من الحلول السابقة التي تتضمن أمثلة لتصاميم لن يتمكن المصمم بنفسه من إستحضارها بسبب كثرة عددها أو لكونها مصممة من قبل مصممين آخرين، والتي تخضع الى التحوير إما من قبل المصمم أو من قبل النظام الحاسوبي (Flemming et al.، 1994). فالخبرات السابقة هذه تكون مخزونة كحالات تصميمية يتم إسترداها إما من قبل المصمم أو عن طريق التفاعل بين المصمم وأدوات التفتيش عن الحل ضمن البرنامج والتي تمثل الحالات المتضمنة للقرارات الأكثر قابلية للتطبيق الى المشكلة التصميمية موضع الحل. ويعرّف البرنامج الفضاء التصميمي بدلالة حالات البدء والمشغّلات التي تسمح بإشتقاق حالة من أخرى. ويتكون نظام SEED من ثلاث وحدات هي الوحدة الوظيفية (FU) ووحدة التصميم (DU) ووحدة المواصفات (SU). إذ تمثل الوحدة الوظيفية مواصفات الخصائص الوظيفية المطلوب تلبيتها في المشروع. بينما تُعدّ الوحدة التصميمية البؤرة الأساسية للإهتمام خلال عملية توليد الشكل وهي تمثل الحلول التصميمية الجاهزة للمشكلة المقدّمة من قبل الوحدة الوظيفية بإعتبارها كينونات مادية فضائية يتشكّل منها التصميم. أما وحدة المواصفات فهي تصف القيود على الوحدة الوظيفية الواجب تلبيتها من قبل وحدة التصميم. وتتضمن وحدة المواصفات ليس فقط القيود الثابتة مثل اللون والمواد لكن أيضا قيود يتم إستيفاؤها ضمن مديات معينة مثل مساحة الغرفة (Corbett، 2003). ولا تكون المواصفات التصميمية كاملة في أي وقت أثناء العملية التصميمية، بل تكون مقيدة في محتواها بالمتطلبات التصميمية التي تهمّ المصمم آنيا.

عند البدء في التصميم يطلب المصمم من البرنامج البحث عن الحلول التصميمية الجيدة في قاعدة الحالات لحل مشكلة التصميم الآنية. إذ يحاول البرنامج إيجاد الحلول التي تضم كل الوحدات الوظيفية المحددة حاليا والتي قد تضم أيضا وحدات تصميمية مرتبطة بوحدات وظيفية لم يتم تحديدها في المشكلة الحالية. حيث تصبح الوحدات التصميمية للحل المسترد جزءا من الحل التصميمي وتصبح الوحدات الوظيفية المرتبطة بها جزءا من مواصفات المشكلة الحالية التي تخضع الى التحري والتنقيح. ويتضمن تحوير الحالة المستردة تحويرا لمواصفات المشكلة، إذ يدعم نظام SEED تنقيح وتوسيع مواصفات المشكلة إما آليا أو تفاعليا بين المصمم والنظام، الى جانب توسيع وتحوير الحلول وفقا لمواصفات المشكلة. (Flemming et al.، 1994)

يتضح مما تقدم أن SEED تستخدم الإستكشاف في بحثها ضمن فضاء الحالات التصميمية السابقة الملائمة لقيود المشكلة موضع الحل كما تستخدم الإستكشاف في تحويرها للتصاميم السابقة لإنتاج تصاميم جديدة.

3.2 أداة التصميم الحاسوبي CYCLOPS

تمثل أداة CYCLOPS (Navinchandra، 1987) برنامج بحث متعدد الأهداف لتوليد التصاميم المثلى عن طريق تخفيف القيود وإضافة قيود جديدة. إذ يستخدم البرنامج خوارزمية للإسكشاف تعتمد على تقليل القيود والأهداف المفروضة على التصميم لتوليد بدائل تصميمة ذات تنوع واسع من خارج فضاء الحل إضافة الى تلك المتولدة عن طريق عملية البحث الإعتيادية. ويستخدم البرنامج معايير الهيمنة لإختيار التصاميم الأفضل، وفي حالة وجود بعض المشاكل في التصاميم المختارة يتم نقلها الى مكييف التصميم الذي يكييف ويحوّر التصاميم بالرجوع الى الخبرات التصميمية السابقة.

يبدأ البرنامج بالبحث في الحلول الجاهزة للمشكلة الحالية. إذ يقوم بتجميع تصاميم جزئية مع إضافة التفاصيل إليها وذلك بإعطاء قيم لمتغيراتها لتوليد البدائل التي يصار الى تقييمها وتحديد التصاميم المهيمنة والفعّالة منها لإعتمادها. وللبحث عن البدائل خارج فضاء الحل التصميمي الأصلي، يستكشف البرنامج التصاميم غير الفعّالة عن طريق تخفيف المعايير التصميمية الأصلية وإضافة معايير جديدة ناتجة عن مقارنة البدائل بالسوابق التصميمية. ويتم إستكشاف وفحص البدائل التصميمية عن طريق مقارنتهم مع قاعدة المعلومات المتكونة من الخبرات حول الحالات التصميمية المتمثلة بالنماذج السابقة precedents والتي يبحث البرنامج خلالها عن النواحي المهمة للبدائل التصميمية. وعندما يجد البرنامج تصميما مشابها من بعض الخبرات القديمة المفضلة ذي معيار جديد فإن البرنامج يستحدث معيارا جديدا مماثلا يضاف الى المشكلة موضع الحل. إذ يؤثر بروز المعايير الجديدة بشكل مهم على عملية التصميم والحلول الناتجة، فالتصميم الناتج يجمع المعرفة من مصادر متنوعة والتي قد تبدو في الوهلة الأولى ليست ذات علاقة بالمشكلة موضع الحل مولدا التكيّف المبدع عن طريق الإستفادة من المماثلات الموجودة ضمن مجموعة متنوعة من النماذج السابقة. ويمكن أن يلعب مستخدم البرنامج دورا في تفحّص التصاميم الناتجة وإقرار قبولها أو رفضها كما يمكن إنجازها أيضا من قبل البرنامج نفسه أو كلا البرنامج والمستخدم معا. وقد تمّ تطبيق أداة CYCLOPS في حقل هندسة الفضاءات الخارجية لحل مشاكل تصميم السياقات الحضرية.

بناءا عليه تستخدم أداة CYCLOPS كوسيلة لحل المشاكل التصميمية المتشابهة على أساس إستكشاف النماذج التصميمية السابقة، معتمدا على تخفيف القيود التصميمية وإضافة قيود جديدة في إنتاج البدائل التصميمية الجديدة موضع الإستكشاف.

4.2 أدوات التطور المشترك (CoGA1 و CoGA2)

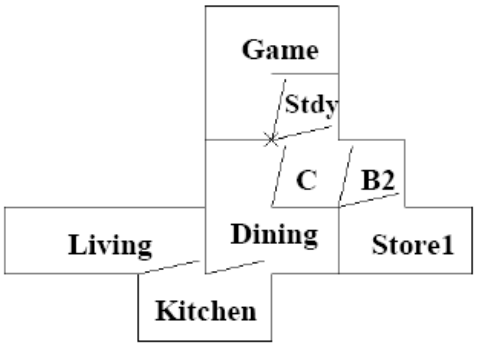
تمثل أدوات CoGA1 و CoGA2 (Maher & Poon، 1996) (Poon & Maher، 1997) موديلا حاسوبيا لإستكشاف كلا المشكلة والتصميم بإستخدم خوارزميات وراثية محوّرة تجسد ظاهرة التطور المشترك co-evolution الذي يضم نظامين للنشوء والتطور، الأول في فضاء المشكلة المتمثل بالمعايير التصميمية الخاصة بمتطلبات المشكلة المطلوب حلها والمعرّفة بدلالة دالة الجودة، والثاني في فضاء الحل الذي يمثل الخصائص التصميمية للحل والمعرّفة بدلالة الجينات التصميمية التي يمكن إشتقاق الأمثلة منها. ويكون التطور في كل فضاء موجها بالجيل الأحدث في الفضاء الآخر.

تطرح الدراسة أسلوبين لتمثيل التطور المشترك هما CoGA1 و CoGA2. الاسلوب الأول CoGA1 يوحّد كلا فضاء المشكلة المتمثل بالمتطلبات التصميمية وفضاء الحل المتمثل بالخصائص التصميمية ضمن نمط وراثي مركب منفرد genotype. إذ يُضاف البعد الإستكشافي الى التطبيق عن طريق تحوير فضاء الحل التصميمي و(أو) تحوير فضاء المشكلة التصميمية، حيث يتم تعريف دالة الجودة موضعيا لكل حل وبذلك تتراوح دالة الجودة في CoGA1 من نمط وراثي الى آخر. وتتضمن CoGA1 طورين لعمليات التبادل – التقييم في كل جيل. وفي حالة عدم الوصول الى حل مقنع للمشكلة المحددة في العمليات السابقة يتم تنقيح المشكلة لإعطاء أبعاد جديدة لفضاء الحل. بينما في الأسلوب الثاني CoGA2 يتم نمذجة فضائين كمجموعتين من الأنماط الوراثية genotypes والأنماط الموروثة phenotypes. إذ يتم نمذجة متطلبات المشكلة ضمن الأنماط الوراثية ونمذجة الحلول التصميمية ضمن الأنماط الموروثة. فمتطلبات المشكلة التصميمية تمثل تجميع من المعايير حيثما كل معيار يمثل نمط وراثي في فضاء المشكلة معرّف بدلالة رمز ووزن. فالمشكلة التصميمية تصبح تجميعا من الأنماط الوراثية المنفردة مع أوزانها الحالية. وبإستخدام عملية التبادل يتم قص ولصق وزن مختلف للمعيار يليه إختيار عدد عشوائي من الأنماط الوراثية لتعريف المشكلة التصميمية وفقا لمنظور جديد لإيجاد حل تصميمي لها. وتعتمد دالة الجودة في الفضاء الواحد على الجيل الحالي في الفضاء الآخر. فدالة الجودة للحل تعرّف بدلالة التجميع الحالي للمعايير، معتبرا ان دالة الجودة للمعيار التصميمي في فضاء المشكلة تمثل عدد المرات التي يتم فيها تلبية المعيار في المجموعة الحالية للأفراد في فضاء الحل التصميمي. وعليه تتراوح دالة الجودة في CoGA2 من جيل الى آخر. وقد تم تطبيق الأداتين CoGA1 و CoGA2 في تصميم مخطط طابق لمبنى يتكون من مجموعة من الغرف كما في الشكل 1 أدناه.

مما تقدم يتضح أن مفهوم الإستكشاف في هذه الدراسة يرتبط بتوليد وتقييم الحلول التصميمية عن طريق تحوير كل من متطلبات المشكلة التصميمية وخصائص الحل التصميمي.

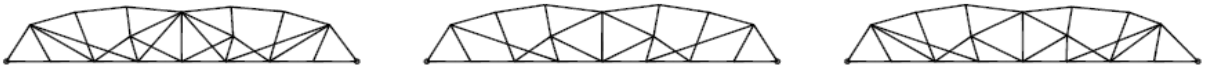
5.2 أداة التصميم الحاسوبي IGDT

تمثل أداة IGDT (von Buelow، 2006، 2007) برنامجا لإستكشاف الإحتمالات التصميمية للأشكال الإنشائية معتمدا على التوجه الحاسوبي النشوئي Evolutionary computation لمساعدة المصمم في إختيار الحلول الجيدة بدلا من الحل المثالي المنفرد.



الشكل 1: نموذج من تطبيق اداه التطور المشترك لإنتاج التخطيط الفضائي لمبنى (Poon & Maher، 1997)

تعمل أداة IGDT على توليد أجيال عديدة متعاقبة من التصاميم ضمن دورة العمل الواحدة. إذ يتم إختيار مجموعة تصاميم من كل جيل لتصبح أساسا في توليد الجيل التالي. إذ تستخدم أداة IGDT نوعين من الأهداف لتقود عملية الإستكشاف وهما: الأهداف الكمية والأهداف النوعية. ويقوم البرنامج بتقييم التصاميم الناتجة وترتيبها بشكل متسلسل وفقا للمقاييس الكميّة للهيكل الإنشائي التي تعرّف دالة الجودة للخوارزمية الوراثية أمثال مقاييس الوزن (كفاءة المادة) ومقاييس تعقيد الشكل (كفاءة الشكل الهندسي). وتدار عملية الإختيار باسلوب آلي automatic mode من قبل البرنامج معتمدا على دالة الجودة المقررّة مسبقا التي تستخدم مقاييس محددة في قيادة عملية إستكشاف فضاء الحلول التصميمية في وقت قصير وتعرض مدى من الحلول الجيدة التي إجتازت مستوى الجودة المعطاة. كما يمكن في أية مرحلة التحول الى أسلوب الإختيار التفاعلي الموّجه من قبل المستخدم، إذ تمتلك أداة IGDT الإمكانية لإستخدام الأهداف النوعية الى جانب الأهداف الكمية عن طريق تفاعل المستخدم مع الأداة الذي يسمح له بتقييم البدائل والإختيار من بينها أثناء عمل البرنامج. وتمثل الأهداف النوعية مقاييس غير قابلة للتقييس الكمي إلا أنها مدركة من قبل مستخدم البرنامج مثل القيمة الجمالية، والمعنى، والمماثلة الشكلية .. الخ، إذ يمكن عن طريق المقارنة ترتيب مجموعة الحلول بشكل متسلسل. علما أن الهدف من الأسلوب الآلي هو إكتشاف أكبر قدر من الحلول التي تلبي المقاييس الكمية المحددة مسبقا مما يساعد في توسيع إدراك المصمم الإبداعي لفضاء الحلول التصميمية. وتمّ تطبيق أداة IGDT في إستكشاف الأشكال الجيومترية والطوبولوجية لتصميم هيكل جسر bridge truss كما موضح في الشكل 2 أدناه.



الشكل 2: نماذج لتصاميم هيكل جسر منتج بإستخدام أداة IGDT (von Buelow، 2006)

بناءا على ما تقدّم، فإن أداة IGDT تستخدم الإستكشاف كوسيلة للإختيار الآلي من بين التصاميم الناتجة وفقا للأهداف المشفّرة ذات المقاييس الكميّة مع إمكانية توسيع فضاء الحل بالإعتماد على المعايير غير المشفّرة ذات المقاييس النوعية المتحكّم بها من قبل المستخدم.

6.2 أداة التصميم الحاسوبي ParaGen

تعدّ أداة ParaGen (Turrin et al.، 2011؛ Andres et al.، 2011) وسيلة مفيدة لمساعدة المصمم في المراحل الأولية لإستكشاف التصاميم بإستخدام النمذجة البارامترية والأمثلية الوراثية كأدوات لعملية الإستكشاف. فهي أداة للتصميم البارامتري تستخدم الخوارزميات الوراثية لتدعم إستكشاف الشكل المنشأ على أساس المعايير الأدائية والبصرية. وبالرغم من إستخدامها للتقنيات الأدائية إلا أنها تختلف عن الطرائق الأدائية التقليدية التي تركز في الغالب على الحل الأفضل فقط. إذ تهدف أداة ParaGen الى إستكشاف مدى من الحلول الجيدة التي يمكن المقارنة بينها على أساس الأهداف المبرمجة (كالوزن الأقل أو عدد الأضلاع الأقل) إضافة الى الإختيارات الذاتية للمصمم. (Andres et al.، 2011، ص142)

فالبرنامج يعتمد الخوارزميات الوراثية في تعريف التصميم المطلوب بوصفها نقطة بدء لتوليد جيل من التصاميم العشوائية الخاضعة الى التقييم لإختيار البدائل الأفضل التي يصار الى إعتمادها أساسا للتطور النشوئي المتمثل بتوليد بدائل جديدة الى حين الوصول الى بدائل تصميمية مقنعة. فالخوارزميات الوراثية في ParaGen تولّد الحلول الجديدة عن طريق دمج

تصميمين سابقين أو تحوير تصميم سابق واحد أو توليد مجموعة عشوائية كاملة من المعلومات لتوليد حل جديد بدون أية سوابق معتمدا في ذلك على تغيير الخصائص البعدية (البارامترية) للشكل الجيومتري المعرّف ضمن الخوارزمية الوراثية. إذ تُستخدم النمذجة البارامترية لوصف الشكل وتنوعاته الممكنة، فهي تدعم الإستكشاف في التصميم الجيومتري عن طريق تمكين المصمم من التوليد الآلي لمدى واسع من الحلول التصميمية البديلة. كما تُستخدم الخوارزمية الوراثية كوسيلة لإستكشاف العلاقة بين الشكل والأدائية. إذ يتم إستكشاف البدائل التصميمية البارامترية عن طريق الجمع بين النمذجة البارامترية، وبرامجية المحاكاة الأدائية والخوازميات الجينية إضافة الى قاعدة المعلومات لخزن وإستعادة الحلول لأجل الإستكشاف اللاحق. ويتم تعزيز الإستكشاف التصميمي عن طريق تفاعل المصمم مع العملية التصميمية، معتمدا النهج الموجه بصريا الذي يساعد المصمم في إيجاد الحل المناسب الجيد عن طريق الفرز البصري للجيل الآني من الحلول. فالمقارنة السريعة بين الحلول يلقي الضوء على الإختلافات الشكلية، كما أن وجود معلومات الأدائية مع الصور تسهّل إستخلاص المعرفة من الحلول المتولدّة وتساعد المصمم في وضع أحكام مستنيرة في إختيار الإتجاه الذي يتبعه. (Turrin et al.، 2011، ص656) (Andres et al.، 2011، ص142-144)

تم تطبيق الأداة في إستكشاف مورفولوجية القبة المعتمدة على الأدائية الإنشائية. كما أُستخدمت أيضا في مشروع بحث يهتم بإنتقال الطاقة الشمسية، ويستكشف مقادير إكتساب حرارة الشمس ونفاذية ضوء النهار عبر السقوف ذات المديات الواسعة. فالطريقة المقترحة لاتهدف الى تحديد الحلول المثالية البحتة بل تهدف الى دعم الإستكشاف الواسع النطاق للتصميم المقصود، الذي يمكن أن يتدخل فيه المصمم لمعالجة عملية البحث ولإستخلاص المعرفة من الحلول المتولدة. (Turrin et al.، 2011)

بناءا على ما تقدّم، تمثل أداة ParaGen وسيلة تصميم بارامترية تستخدم الخوارزميات الوراثية في توليد بدائل تصميمية معتمدة المعايير الأدائية والبصرية أساسا في إستكشاف الشكل الجيومتري للبدائل.

3. مشكلة البحث

يتضح مما تقدّم، التنوع الواسع في توظيف مفهوم الإستكشاف في طرائق التصميم الحاسوبي. وعليه يتبنى البحث **تعريف مفهوم الإستكشاف في أدوات التصميم الحاسوبية** كمشكلة بحثية يهدف حلها الى إيجاد تعريف شمولي لمفهوم الإستكشاف قادر على تحديد خصوصية هذا المفهوم في كل أداة من أدوات التصميم الحاسوبي المتنوعة الوارد ذكرها. إذ يطرح البحث تصوراته الإفتراضية التالية لغرض التحقق من صحتها وهي :

- تتبنى الأدوات الحاسوبية مفهوم الإستكشاف في أكثر من مرحلة من مراحل من العملية التصميمية وبشكل خاص مراحل التحليل والتركيب والتقييم.
- تتنوع الأدوات الحاسوبية في نوع آليات الإستكشاف المستخدمة ضمن كل مرحلة تصميمية.
- تتنوع الأدوات الحاسوبية في تسلسل فعاليات الإستكشاف ضمن عمليات التصميم الحاسوبي.

في الفقرات التالية يطرح البحث إطارا نظريا لمفهوم الإستكشاف مستخلصا من طيف واسع من أدبيات التصميم الحاسوبي التي أشارت الى المفهوم.

4. الإطار النظري لمفهوم الإستكشاف في طرائق التصميم الحاسوبي

يمكن تعريف مفهوم الإستكشاف في المراحل الأولية لطرائق التصميم الحاسوبية ضمن أربع مفردات أساسية هي: الهدف من عملية الإستكشاف، ودور مفهوم الإستكشاف في مناهج التصميم الحاسوبي، وتسلسل فعاليات الإستكشاف في العملية التصميمية، وأخيرا القائم بعملية الإستكشاف.

1.4 الهدف من عملية الإستكشاف

تتمحور الأهداف من توظيف فعل الإستكشاف في المراحل الأولية من العملية التصميمية حول جانبين يسعى الأول منهما الى الوصول الى حل نهائي بعد الإنتهاء من العملية التصميمية، بينما يسعى الثاني الى الحفاظ على تطور العملية التصميمية. ففي عملية التصميم الإستكشافي يتم الكشف عن الغايات التصميمية بشكل تدريجي كما يكون الحل التصميمي مفهوما ومدركا بشكل تدريجي أيضا (Robinson، 1986، ص68، 71). إذ تكمن القيمة العظيمة للإستكشاف في توسيعها لوجهة نظر المصمم نحو المشكلة نفسها إضافة الى دورها في إيجاد الحل الأفضل عن طريق البحث في مدى واسع من البدائل التصميمية آخذة بالإعتبار الإحتمالات التصميمية الخارجة عن المتوقع (von Buelow، 2006).

وعليه يمكن للبحث تحديد ثلاث أهداف أساسية لفعل لإستكشاف في المراحل الأولية لعملية التصميم الحاسوبي وهي:

- فهم المشكلة التصميمة
- تطوير الحل التصميمي
- إختيار الحل النهائي

2.4 دور مفهوم الإستكشاف في مناهج التصميم الحاسوبي

يعرّف مفهوم الإستكشاف في مراحل التصميم الأولية بأنه ظاهرة تصميمية يتفاعل فيها فضاء المشكلة (المتطلبات التصميمية) مع فضاء الحل عبر الزمن. فهو عملية متكررة للبحث في فضاء المشكلة التصميمية فضلا عن فضاء الحل التصميمي. إذ يهتم الإستكشاف بالبناء والتوسيع التدريجي لبيانات المشكلة التصميمية والحلول المتداعية معها. كما يمثل الإستكشاف عملية توليد وتقييم البدائل التصميمية التي لن تؤخذ بنظر الإعتبار في الحالات الإعتيادية (Maher & Poon، 1996). ففي ستراتيجية التصميم الموجّهة نحو إيجاد الحل solution-driven strategy يكون تركيز عملية الإستكشاف على توليد مجموعة من الحلول في فضاء الحل التصميمي بهدف إنتاج أفضل التصاميم مقارنة بالستراتيجية الموجّهة نحو المشكلة problem-driven strategy التي يركز الإستكشاف فيها على تعريف فضاء المشكلة التصميمية عن طريق جمع المعلومات وتحديد القيود التصميمية (Yilmaz & Seifert، 2011، ص385).
بناءا علية ، يمكن للبحث إن يحدد أدوار مفهوم الإستكشاف في مناهج التصميم الحاسوبي بكونه أداة للبحث في فضاء المشكلة التصميمية ، وأداة للبحث في فضاء الحل التصميمي. إذ يتراوح دوره في فضاء الحلول التصميمية بين كونه أداة لإنتاج البدائل التصميمية ، وأداة لتقييم البدائل التصميمية.

1.2.4 دور الإستكشاف كأداة بحث في فضاء المشكلة التصميمية

تشير الدراسات الى أن الإستكشاف يعيد تعريف المشكلة، فصياغة المشكلة التصميمية في أية مرحلة تكون غير نهائية، ومع التقدّم في التصميم يصبح المصمم أكثر دراية بالتراكيب المحتملة للمشكلة، إذ تظهر للعيان نواحي جديدة من المشكلة، إضافة الى الكشف عن مواطن عدم التناغم بين بعض جوانب المشكلة. ويعدّ مفهوم البحث إستكشافا عندما يتغير تركيز البحث مع الإستمرار في العملية التصميمية. فالبحث خلال المراحل الأولية لعملية التصميم لا يضمن التقارب بين المشكلة والحل بسبب أن متطلبات التصميم تتغير مع الحلول التصميمية بنفس الوقت. إذ يعدّ البحث جزءا من الإستكشاف ولكن مختلفا عنه من حيث أن البحث لديه هدف محدد fixed goal بخلاف الإستكشاف الذي لاتكون أهدافه محددة potential goals(Maher & Poon، 1996). ويشير Kalay الى أن العملية التصميمية لا تبدأ بتركيب الحلول التصميمية ولكنها تبدأ بإستكشاف المشكلة المطلوب حلها. إذ يساعد إستكشاف المشكلة على تحديد الأهداف التصميمية وعلى فهم السياقات الخاصة بالمشروع المادية منها والإجتماعية والسياسية والإقتصادية والحضارية. إذ أن المعلومات المستخلصة من إستكشاف هذه السياقات تنتج مجموعة من القيود التي يلتزم بها التصميم الى جانب الإضافة الى الأهداف التصميمية وتحويرها (2004، ص205-206).

بناءا على ما تقدّم، يعرف البحث فعالية الإستكشاف في فضاء المشكلة التصميمية بدلالة ثلاث متغيرات هي نوع المعلومات المستكشفة، الطرق الحاسوبية لإستكشاف التوافق بين الأهداف والقيود التصميمية، وأخيرا آليات إستكشاف المعايير التصميمية.

1.1.2.4 نوع المعلومات التصميمية المستكشفة (المدخلات الى العملية التصميمية)

يتمحور دور مفهوم الإستكشاف كأداة بحث في المراحل الأولية من العملية التصميمية بشكل خاص حول إستكشاف فضاء المشكلة التصميمية problem-exploration stage وإستكشاف فضاء الغايات التصميمية goal-exploration stage. وتشير الدراسات الى أن إستكشاف فضاء التصميم يمثل العملية التي تخترق ثلاث فضاءات في نفس الوقت وهي فضاء وصوفات النتاجات التصميمية design description، وفضاء المتطلبات التصميمية design requirement، وفضاء أهداف العملية التصميمية design goals. فالأهداف التصميمية تحدد الستراتيجية التي توجه وتقيّد توليد وتحوير كلا المتطلبات التصميمية ووصوفات التصميم (Van Langen & Brazier، 2006، ص113) (Woodbury & Burrow، 2006b، ص148)

ضمن توجه التصميم المعتمد على حل المشكلة problem-solving approach، يمثل مفهوم الإستكشاف أداة للتحري عن القضايا الوثيقة الصلة بالمشكلة التصميمية موضع الحل. إذ تكون محصلة عملية التصميم غير معلومة منذ البدء وعليه

يعتمد المصمم في عملية الإستكشاف على الأهداف التصميمية المعلنة في البدء goal-oriented وعلى تصوراته المسبقة preconceptions للوصول الى تعريف الحل التصميمي في نهاية طور تعريف المشكلة. وتمثل التصورات المسبقة صورا أو وجهات نظر أو تصورات مشتقة من الخبرة الشخصية للمصمم أو مستعارة من مصادر أخرى، حيث تلعب ذاتية المصمم دورا في وجودها. وهي تأخذ عدة أشكال إذ تمثل أفكارا للنتاج النهائي مشتملة على التشكيل الكلي للمبنى أو قد تمثل فكرة لجزء من المبنى كنمط تفصيل معماري (Robinson، 1986، ص74). كما تشتمل التصورات المسبقة على الخبرات حول الحالات التصميمية المشابهة والمتمثلة بالنماذج السابقة precedents. فمفهوم الإستكشاف هنا يكون أقرب الى تحديد نوع المتغيرات التي تستخدم في وصف الشكل التصميمي المطلوب (Gero, 1994).

يتضح مما تقدّم أن إستكشاف المشكلة التصميمية يشتمل على مدخلات العملية التصميمية design process inputs المتمثلة بكل من: الوصوفات التصميمية، والمتطلبات التصميمية، والتصورات المسبقة إضافة الى القيود والأهداف التصميمية.

يركز البحث في الفقرة التالية على فعالية إستكشاف الأهداف والقيود التصميمية بوصفها المدخلات التصميمية الأكثر أهمية في بلورة الحلول التصميمية.

إستكشاف الأهداف والقيود التصميمية

يمثل الإستكشاف بحثا لتلبية الأهداف المتغيرة في فضاء المشكلة المقيد بشدة. ويعدّ مفهوم الإستكشاف أساسا فاعلا ومؤثرا ومدعما بإستخدام التقنيات الحاسوبية، حيث يستفاد المصممون من الأدوات الحاسوبية التي تزيد من قدرتهم على تمثيل الأهداف وفضاءات المشكلة في بحثهم عن الحلول التصميمية (Woodbury & Burrow، 2006b، ص63). إذ تمثل القيود constraints والأهداف objectives نوعين من المعايير التصميمية المحددة لفضاء الحل الذي يمثل بدوره مجموعة ثانوية من فضاء الحالة الأوسع للتصاميم الممكنة. فمواصفات المشكلة التصميمية design problem specification تتكون من القيود والأهداف، إذ يتم تحويل كل القيود الى أهداف أي أن المواصفات التصميمية تصبح أهدافا بعضها مشتق من القيود. وهذه الأهداف الأصلية منها والمحورة من القيود تمثل المعايير التصميمية التي تقييم في ضوئها البدائل التصميمية. (Navinchandra، 1987، ص37)

يساعد تحديد الأهداف والقيود التصميمية ليس فقط في تحديد الحل التصميمي ولكن أيضا في توجيه عملية البحث عن الحل التصميمي المطلوب وذلك بإعطاء مؤشرات فحص checkpoints يمكن بواسطتها تصحيح مسار التقدم نحو الحل. فكل هدف أو قيد تصميمي يمثل عبارة موجزة للنوعية أو الخاصية التي يجب أن يمتلكها الحل. ويجب أن لا يختلط تحديد الأهداف التصميمية مع تحديد الحلول التصميمية التي تلبيهم، فالحلول التصميمية المختلفة ربما تحقق نفس الهدف، إذ أن كل حل ربما يلبي القيود المحددة للهدف بشكل مختلف. فمستويات الأدائية المختلفة التي يتوجب تلبيتها من قبل المجاميع البديلة للقيود تمثل أساس المفاضلة في إنجاز هدف محدد. وتتضمن الأهداف التصميمية كلا النواحي الموضوعية للتصميم إضافة الى النواحي الذاتية التي تمثل كل من أمنيات ورغبات الزبون، ومعتقدات المصمم الخاصة المشتقة من السياقات الإجتماعية والحضارية، والطراز الشخصي للمصمم. وتتنوع القيود أو مقاييس الأدائية بين صنفين هما : القيود المفروضة خارجيا مثل قوانين البناء والعوامل البيئية كالرياح ، أو القيود المفروضة داخليا مثل الوظيفة والطراز. (Kalay، 2004، ص216، 217، 301، 305)

يتضح مما تقدم أن المعايير التصميمية موضع الإستكشاف تجسد كلا الأهداف والقيود التصميمية. إذ تتنوع الأهداف التصميمية بين الأهداف الموضوعية المرتبطة بوظيفة المشروع مثلا أو الأهداف الذاتية المتعلقة برغبات المصمم مثلا. كما تتراوح القيود بين القيود المفروضة داخليا من قبل وظيفة المشروع مثلا أو القيود الخارجية مثل تلك المتعلقة بقوانين البناء.

2.1.2.4 الطرق الحاسوبية لإستكشاف التوافق بين الأهداف والقيود التصميمية

في حالة تمثيل الأهداف التصميمية البديلة ضمن المجاميع المرغوبة لمستويات الأدائية، تكون بعض المجاميع مفضلة على الأخرى، كما قد تكون بعض المجاميع غير مجدية إطلاقا. أشار Kalay (2004، ص218-220) الى بعض التقنيات الحاسوبية المستمدة من البحوث العملياتية Operational research والتي تساعد على إستئصال مجاميع الأهداف الغير متوافقة وعلى تحديد الأولويات في المجاميع الباقية، أمثال التحليل الموفولوجي Morphological analysis، والأمثلية Optimization ، والمحاكاة Simulation.

- التحليل الموفولوجي (تحليل عدم التوافق): يهدف الى تحديد مجاميع الأهداف الغير متوافقة التي تستلزم إعادة التوفيق فيما بينها أو إلغاء أحدها قبل التفكير بأي حل تصميمي.

- الأمثلية: تستخدم غالبا كوسائل لتحديد أولويات الأهداف والقيود التصميمية. إذ تستلزم وضع بعض الشروط أو المؤشرات التي تقاس قبالتها الأهداف. على سبيل المثال، تعد الوظيفية مؤشرا للأهداف التي يمكن تحديد أولوياتها بلغة تلبيتها للقضايا الوظيفية الأكثر أهمية.
- المحاكاة: صعوبة مقارنة الأهداف ذات الأنواع المختلفة يستلزم إستخدام طريقة المحاكاة التي تعد وسيلة لإختبار نتيجة تفاعل مجموع الأهداف والقيود ككل. إذ تفترض أن الأهداف والقيود قد تمّ إنجازها وتنظر الى النتيجة الكلية لتفاعلهم.

3.1.2.4 آليات إستكشاف معايير المشكلة التصميمية

لا يعتمد حل المشاكل التصميمية في الغالب على الحل التصميمي المنفرد الأفضل وإنما على مجموعة من الحلول المقنعة. لهذا السبب يحتاج المصمم أن يكون قادرا على تعريف وإعادة تعريف وتغيير المشكلة التصميمية أثناء إستكشاف فضاء الحلول التصميمية الممكنة (Dino، 2012، ص208). فالإستكشاف الآلي بإستخدام الحاسوب عن طريق تخفيف معايير المشكلة التصميمية يؤدي الى توليد بدائل لم تكن واضحة للمصمم. كما أن إضافة أهداف جديدة وتحوير الأهداف الموجودة أصلا أو حذفها خلال عملية التصميم تمثل مقياسا للمرونة في إستيعاب التفضيلات المتغيرة مع تطور التصميم. خلال عملية الإستكشاف، فإن إضافة المعايير التصميمية الجديدة أو تخفيف المعايير الموجودة أصلا والمتمثلة بالقيود والأهداف المحددة لفضاء الحلول التصميمية يقود الى إدراك جوانب غير متوقعة من المشكلة التصميمية والتي تؤدي بدورها الى إستكشاف البدائل التصميمية الجديدة الواقعة خارج فضاء الحل العادي. إذ ينتج عن تخفيف القيود التصميمية زيادة في حجم فضاء الحل العادي الذي يسمح بإختيار التصاميم التي تمّ تطويعها. فعلى سبيل المثال يمكن إستكشاف البدائل التصميمية عن طريق تخفيف القيد التصميمي المتمثل - بأن المساكن يجب أن تواجه الجنوب - بتحويله الى الهدف التصميمي المتمثل - بتقليل إنحراف المساكن عن الإتجاه الجنوبي. (Navinchandra، 1987، ص37، 80) (Maher & Poon، 1996).

يتضح مما تقدّم أن إستكشاف المعايير التصميمية المتمثلة بكلا الأهداف والقيود التصميمية يتم عن طريق تحوير المعايير بإضافة معايير جديدة أو تخفيف المعايير الموجودة أصلا أو إلغاء بعضها.

يستعرض جدول 1 المتغيرات الخاصة بدور مفهوم الإستكشاف كأداة بحث في فضاء المشكلة التصميمية.

جدول 1: الإستكشاف كأداة بحث في فضاء المشكلة التصميمية

نوع المعلومات التصميمية المستكشفة (المدخلات الى العملية التصميمية)	وصوفات ومتطلبات التصميم المطلوب		
	التصورات المسبقة حول التصميم		
	الأهداف التصميمية	أهداف موضوعية	قضايا وظيفية
			قضايا بيئية
			قضايا إنشائية
			أخرى
		أهداف ذاتية	رغبة الزبون
			معتقدات المصمم
			الطراز الشخصي للمصمم
			أخرى
	القيود التصميمية	قيود خارجية	قوانين البناء المحلية
			عوامل بيئية
			أخرى
		قيود داخلية	الوظيفة
			الطراز
			أخرى
الطرق الحاسوبية لإستكشاف التوافق بين الأهداف والقيود التصميمية	التحليل المورفولوجي		
	الأمثلية		
	المحاكاة		
	طرق أخرى		
آليات إستكشاف معايير المشكلة التصميمية	إضافة معايير تصميمية جديدة		
	تخفيف المعايير التصميمية الحالية		
	إلغاء المعايير التصميمية الحالية		

دور الإستكشاف كأداة بحث في فضاء الحلول التصميمية

يُعرّف الإستكشاف في مراحل التصميم الأولية بوصفه الإنتاج السريع للبدائل التصميمية وتقييمهم السريع قبالة مدى واسع من المعايير ذات العلاقة والتي قد تخالف بعضها البعض خلال تطورها الديناميكي أثناء العملية التصميمية (Flemming & Snyder، 1997). ويعرّف Gero (1994) مفهوم البحث search بأنه عملية وضع قيم للمتغيرات في فضاء الحالة التصميمية المعرّفة، بينما يمثل الإستكشاف عملية تحديد الفضاء الذي تتم فيه عملية البحث عن الحالات المناسبة ضمن فضاء الحالات التصميمية. وتشير الدراسات الى أهمية توجيه فعاليات التوليد والأمثلية كأدوات تصميمية نحو إستكشاف فضاء الحلول التصميمية لإيجاد وتطوير البدائل وتقييمها قبالة الأهداف والقيود التصميمية وذلك في المراحل المبكرة من العملية التصميمية (.Grobman et al، 2010). وتشتمل عمليات البحث الإستكشافي في فضاء الحلول التصميمية على فعاليتين أساسيتين هما:

- إنتاج الحلول البديلة للنظر فيها
- إختيار الحل الأصوب لمواصلة النظر فيه

وبناءا عليه، يتمحور دور الإستكشاف في فضاء الحلول التصميمية بين كونه أداة للتوليد الإستكشافي أو أداة للتقييم الإستكشافي، وكما موضح ادناه.

1.2.2.4 أداة للتوليد الإستكشافي للبدائل التصميمية

فعاليات التوليد الإستكشافية هي العمليات التي تحوّر فضاء الحالات المصممة للمشكلة موضع البحث. إذ تكشف البدائل التصميمية عن نواحي تصميمية لم تؤخذ بنظر الإعتبار وتقترح بذلك سبلا مختلفة للإستكشاف، كما تجعل أقسام جديدة من فضاء التصميم في متناول الإستكشاف المستقبلي. إذ تكشف البدائل التصميمية المتنوعة ليس فقط عن الهفوات ولكن أيضا عن النواحي غير الملموسة التي لايمكن أن تؤخذ شكليا بنظر الإعتبار في التمثيل الرمزي للتصميم (Woodbury & Burrow، 2006b، ص71).

تركز عملية التوليد في طريقة التصميم الغير خطية على الإستكشاف والتعريف لفضاء التصميم أكثر من تركيزها على إنتاج الحل المنفرد الأفضل. إذ أن عدد البدائل التصميمية وتنوعها يرتبط بالمرحلة التصميمية والإختلاف المتوقع بين البدائل. ومن المنطقي الإفتراض بأنه في المراحل الأولية من العملية التصميمية يتم إستكشاف الإتجاهات التصميمية المختلفة حيث يكون الإختلاف ملحوظا بين البدائل المتولدة وعليه تكون الحاجة لتوليد العديد من البدائل التصميمية، بينما في المراحل المتأخرة من العملية التصميمية تكون الحاجة لتوليد عدد أقل من البدائل التصميمية مع تنوع قليل فيما بينهم. ويمكن توليد البدائل وتقييمها في اية مرحلة تصميمية لشكل المبنى الكلي أو لأجزاء من الشكل المصمم. (.Grobman et al، 2010)

يستعرض البحث في الفقرات التالية المتغيرات المرتبطة بالتوليد الإستكشافي وهي نوع الخصائص التصميمية موضع الإستكشاف وموجهات عملية الإستكشاف، وآليات التوليد الإستكشافي، ومصدر توليد البدائل.

نوع الخصائص التصميمية موضع الإستكشاف

يعرّف Gero (1994) مفهوم الإستكشاف في عملية التصميم الحاسوبي بوصفه عملية إنتاج فضاءات للحالة التصميمية الجديدة أو تحوير الفضاءات الموجودة فعلا والتي يمكن البحث خلالها كالوظيفة، أو السلوك أو البنية. إذ تعتبر أدبيات التصميم الحاسوبي أن الخصائص التصميمية تقع ضمن ثلاث تصنيفات أساسية وهي الوظيفة function والسلوك behaviour والبنية التركيبية structure، التي تركز عمليات الإستكشاف على أحدها أو مجموعها. وتمثل الخصائص الوظيفية الأهداف والمقاصد التصميمية، بينما تمثل الخصائص السلوكية تلك الخصائص المشتقة أو المتوقعة من البنية التركيبية للتصميم والتي في ضوئها ينجز التصميم وظائفه، وأخيرا تمثل خصائص البنية التركيبية العناصر والمكونات وعلاقاتها والتي يتشكّل منها التصميم. (Gero & Kannengiesser، 2003)

موجهات عملية التوليد الإستكشافي

تلعب كلا العوامل الموضوعية المستمدة من تحليل المشكلة التصميمية الى جانب العوامل الذاتية المرتبطة بالمصمم دورا في توجيه عملية التوليد الإستكشافي. ففي مرحلة التوليد الإستكشافي تكون محصلة العملية التصميمية معلومة منذ البدء، حيث تصبح كل من مقاصد المصمم المتمثلة بالفرضيات[3] hypothesis والإفتراضات[4] assumptions والإتجاهات

[3] تمثل الفرضية hypothesis التنبؤ الذي يربط محصلة متوقعة بخاصية أو مجموعة خصائص معمارية (Robinson، 1986، ص74).

التصميمية (Robinson، 1986) إضافة الى الأهداف والقيود التصميمية مثل السلوك الفيزياوي للبيئة (Gero ، 1994) موجهات لعملية الإستكشاف وصولا الى الحل التصميمي. وتشير Goldschmidt (2006) الى أن المصمم يصل مرحلة الإستكشاف مزودا بالأسئلة والرغبات، والفرضيات التي وضعت في بداية الإستعلام عن المشكلة الى جانب قيم المصمم والخبرة والمعرفة التي تقود عملية الإستكشاف.

بناءا عليه، تتراوح موجهات عملية التوليد الإستكشافي بين النواحي المرتبطة بالتصميم كالفرضيات والإفتراضات والإتجاهات التصميمية إضافة الى الأهداف والقيود التصميمية، والنواحي الذاتية للمصمم المرتبطة بقيمه وخبرته.

آليات عملية التوليد الإستكشافي

تركز الستراتيجات التصميمية في مرحلة التوليد على إنتاج بدائل عديدة للنتاج التصميمي عن طريق تحوير المبادئ أو الخصائص التصميمية إستجابة الى موجهات عملية الإستكشاف. إذ يعرّف فضاء التصميم بواسطة مجموعة من حالات التصميم الأولية ومجموعة من أدوات تحوير الحالة (Woodbury et al.، 1999، ص288). فالتوليد الإستكشافي يمثل عملية التوليد التي تنتج البدائل عن طريق التنوع بالمعطيات التصميمية. فخلال إستكشاف الخيارات التصميمية يفهم المصمم الفضاء التصميمي بشكل أفضل وقد يلجأ الى تحسين معاييره التصميمية (Falk & von Buelow، 2011). ويساعد الإسلوب التجريبي للتصميم design heuristics في توجيه المصمم نحو عملية إستكشاف الحلول الممكنة عن طريق تنويع خصائص المنتج أو عناصره لتوليد تصاميم مبدعة مستخدما اساليب البحث الإدراكية الموجودة في ذاكرة المصمم والمطبّقة عند الحاجة للمشاكل التصميمية الجديدة (Yilmaz & Seifert، 2011، ص386).

وقد سهّل إدخال الحاسوب في عملية التصميم المعماري من إمكانية إستكشاف عدد كبير من البدائل التصميمية عن طريق السماح بالتنوع المستمر بين القيود المعرّفة مسبقا (Grobman et al.، 2010). فالتوليد المنظّم للبدائل التصميمية بإستخدام برامجيات النمذجة الثلاثية الأبعاد تسمح للمصمم بالإدراك المرئي للبدائل المختلفة وبروز تشكيلات هندسية بعيدة عن التصور العقلي والناتجة عن العدد الكبير من التوحيدات الممكنة للمتغيرات التصميمية (Turrin et al.، 2011، ص660). ويشير Gero (1994) الى أن الإستكشاف في عملية التصميم الحاسوبي يمثل عملية إنتاج فضاءات للحالة التصميمية الجديدة أو عملية تحوير الفضاءات الموجودة فعلا والتي يمكن البحث خلالها. معتبرا أن إنجاز عملية التحوير تتم بإضافة متغيرات جديدة الى المتغيرات الموجودة أصلا أو إحلال متغيرات جديدة مع طرح بعض المتغيرات الموجودة فعليا. ومؤكدا أن خاصية الجمع والتوحيد في التوجه النشوئي تجعله طريقة حاسوبية قادرة على دعم الإستكشاف في عملية التصميم. فخلال عملية الإستكشاف يمكن الحصول على تصاميم جديدة عن طريق تخفيف القيود التصميمية والمفاضلة بين الأهداف والتي قد تؤدي الى ظهور أو إضافة معايير تصميمية جديدة (Maher & Poon، 1996).

ويوجد إتجاهية مزدوجة لإستكشاف البدائل التصميمة، إذ ميّزت الدراسات بين نوعين من الإستكشاف هما: الإستكشاف المستعرض والإستكشاف المتعمق. إذ يتراوح إتساع وعمق عملية الإستكشاف من حالة الى أخرى ويتراوح معهم عدد الحلول البديلة أو الحلول الجزئية المنتجة وكما موضح أدناه.

- **التوليد الإستكشافي المستعرض**، يلجأ فيه المصمم الى توسيع ذخيرته من المفاهيم الأساسية مستخدما مجموعة جديدة من المراجع للوصول الى الأفكار التصميمية معتمدا على مبدأ المماثلة analogy لإستكشاف الحالات والتحرك فيما بينها (Goldschmidt، 2006). إذ أن إستكشاف البدائل التصميمية بشكل عرضي يمزج عددا من الإتجاهات التصميمية الممكنة المتضمنة لمفاهيم تصميمية مختلفة، وتدعى هذه الحالة بالتحولات الجانبية[5]. حيث يمكن إلغاء مجموعة من المفاهيم السطحية من الإعتبارات اللاحقة، وحلول مفاهيم أخرى يتم ترشيحها وتهذيبها الى أن يتم تحديد الحل التصميمي لتحويره لاحقا ضمن المرحلة التصميمية التالية. وتعتمد عمليات التصميم المعماري التقليدية في الغالب على الإستكشاف المستعرض مع عدم الدقة في المعلومات التصميمية المتوفرة والخاضعة الى التفسير المعتمد على معرفة وخبرة المصمم وحده. (Turrin et al.، 2011، ص659-660)

[4] يمثل الإفتراض assumption الشيء المقبول على أنه صائب او مؤكد حدوثه بدون الحاجة الى برهان. (قاموس أوكسفورد) http://oxforddictionaries.com/definition/american_english/assumption?region=us

[5] التحولات الجانبية: وهي نوع من التحولات في أطوار حل المشكلة التصميمية التي ينتقل فيها المصمم من فكرة واحدة الى فكرة مختلفة قليلا. (Goel, 1995, p. 119)

- **التوليد الإستكشافي المتعمق**

- يُعنى بإعادة التركيب والتحولات لمجموعة مختارة من المكونات والمبادئ التنظيمية والتي تستخدم في الغالب من قبل المصمم ذوي الخبرة المهنية القادر على تحديد عدد معين من الحلول والأدوات التصميمية التي تدعم التباين الممكن الحصول عليه من عدد محدود من القواعد والأمثلة (Goldschmidt، 2006). ويتجلى دور التوليد الإستكشافي المتعمق في كلا التصميم البارامتري والتصميم الأدائي، إذ يتحرى المصمم عن المفاهيم المختارة مسبقا معتمدا على التنوعات الإضافية لأشكالها الجيومترية وأدائيتها المقاسة كماً. وينطبق هذا النوع من الإستكشاف على التحولات العمودية[6] التي تحدث في التفاصيل المتتالية للمعلومات التصميمية.

ويمثل التصميم البارامتري منهج حاسوبي يلعب دورا مزدوجا تحليليا وتوليديا خلال إستكشاف التصميم، إذ تلعب الخصائص البارامترية[7] دورا بارزا في إستكشاف البدائل العديدة عن طريق التحكم بالتغييرات المستمرة للمقاييس التصميمية (Grobman et al.، 2010)، والتي تسهّل فعالية إستكشاف البدائل عن طريق تقليص الوقت والجهد اللازمين لإنجاز التغييرات (Aish & Woodbury، 2005). إذ تساهم النمذجة البارامترية في توسيع مساحة البحث لإستكشاف التصاميم عن طريق سماحها بالتوليد الآلي لمجموعة من الحلول التصميمية البديلة. فالتغيّر في المقاييس البعدية يطلق تغيّرا آليا في الشكل مولدا تنوعات شكلية مع صيانة التماسك الكامن في المخطط الأساسي schema. فقدرة الأدوات البارامترية على التكييف والإستجابة الى معايير ومتطلبات التصميم المعتمدة تجعل الموديلات البارامترية مفيدة في إستكشاف البدائل في أوضاع تصميمية معقدة وديناميكية. (Dino، 2012، ص207، 208، 211)

لتحقيق الإستكشاف الناجح في فضاء الحلول التصميمية وفقا لمجموعة من المعايير التي تعكس المتطلبات التصميمية، يكون واجبا على فضاء الحل تلبية تلك المعايير التي تمّ تحليلها في فضاء المشكلة وبشكل خاص في التصميم الموجه نحو الأدائية performance oriented design. إذ ينبغي على البدائل التصميمية أن تعكس مدى من التنوعات في مناحي اساسية مؤثرة على معايير الأدائية موضع التحليل أو النواحي المقصود البحث عنها وفقا لعلاقتها بتنوعات الأدائية. ويمكن على سبيل المثال تحقيق ذلك عن طريق عملية تحديد البارامترات parameterisation process التي تعتمد على وصف أولي لبنية النموذج التصميمي المنفذ على أساس النمذجة المتناغمة مع المعايير التصميمية. (Turrin et al.، 2011)

ويلعب التصميم البارامتري دورا في توليد البدائل التي تستجيب الى المعايير الأدائية. ففي عملية التصميم الأدائي المتكامل، يتوجب تحقيق التوافق المتبادل في المقاييس الأدائية عن طريق التصميم البارامتري المناسب لتحليل وهيكلة المخطط الأساس schema الداعم للتحول المستمر خلال إستكشاف التصميم، فالتصميم في هذه الحالة يجب أن يصف علنا ويقرر كلا المخطط الأساسي البارامتري والمقاييس الأدائية قبل إستكشاف التصاميم. في تصميم مشروع Aviva Stadium في دبلن فإن إستكشاف التكوينات الشكلية إستجاب الى معايير معينة مثل متطلبات عرض البهو، ونسبة عرض الطابق، أو ببساطة جعل الشكل جميلا (Dino، 2012، ص213). ويسمح الترابط الحالي بين التصميم البارامتري وتوجه نمذجة المعلومات البنائية (BIM - Building Information Modelling) بإستكشاف التصميم بشكل أساسي عن طريق التخالف المستمر بالخصائص البارامترية. فالمشاريع المعمارية المصممة بإستخدام هذه الطرائق تمثل إمكانية إستخدام القيود لإختبار المدى الكامل للفضاء التصميمي (Grobman et al.، 2010).

بناءا على ما تقدم، تتمحور آليات التوليد الإستكشافي بين آليات التوليد لإستكشافي المستعرض التي تنجز تحولات أساسية في البديل التصميمي بطرق عديدة منها: المماثلة مع مراجع خارجية، وتحوير المكونات والمبادئ التنظيمية للتصميم، وتوحيد مكونات ومبادئ تنظيمية من بدائل تصميمية متنوعة؛ وآليات التوليد الإستكشافي المتعمق التي تنجز تحولات ثانوية في البديل التصميمي عن طريق تغيير الخصائص البارامترية (المقاييس التصميمية)، أو إضافة خصائص جديدة، أو إحلال خصائص محل أخرى، وأخيرا إلغاء بعض الخصائص التصميمية من البديل.

مصدر توليد البدائل التصميمية

تشير الأدبيات الى إمكانية توليد بدائل عديدة من تصميم منفرد أو تصاميم متعددة والتي تتراوح بين كونها تصميم أو تصاميم واقعية سابقة precedent(s) أو تصميم أو تصاميم إفتراضية حاليّة منتجة خلال العملية التصميمية. فعلى سبيل المثال، يمكن توليد عدد هائل من البدائل التصميمية من نموذج واحد عن طريق السيطرة على التغيير المستمر بالمقاييس التصميمية. وتكون الخوارزمية الغير خطية قادرة على توليد بدائل تصميمية جديدة مشتقة من بديل أولي منفرد أو بدائل

[6] التحولات العمودية: وهي نوع من التحولات في أطوار حل المشكلة التصميمية التي ينتقل فيها المصمم من فكرة واحدة الى تنقيح مفصل لنفس الفكرة. (نفس المصدر السابق)

[7] الخصائص البارامترية تمثل الخصائص التي تملك معاملات رقمية أو قابلة للقياس.

أولية عديدة والتي تسمح للمصمم بتوحيد البدائل الناجحة من المراحل الفرعية في عملية التوليد (Grobman et al.، 2010). ومن المحتمل أن إستكشاف مديات من الحلول يكون أكثر فائدة في إنتاج الحلول الجيدة من إتباع مسار واحد معتمدا على الحلول المنفردة (Turrin et al.، 2011، ص662).

بناءا عليه تتراوح مصادر توليد البدائل بين التصاميم المنتجة سابقا أو المنتجة حاليّا والتي تكون بهيئة تصميم منفرد أو تصاميم عديدة. ويمكن بلورة المتغيرات المعرّفة لأداة التوليد الإستكشافي ضمن الجدول (2).

جدول 2: الإستكشاف كأداة للتقييم في فضاء الحلول التصميمية

نوع الخصائص التصميمية موضع الإستكشاف (المخرجات التصميمية)	**خصائص وظيفية**	
	خصائص سلوكية	
	خصائص البنية التركيبية	
موجهات عملية التوليد الإستكشافي	**الفرضيات التصميمية**	
	الإفتراضات التصميمية	
	الإتجاهات التصميمية	
	الأهداف التصميمية	
	القيود التصميمية	
	خبرة المصمم	
	عوامل أخرى	
آليات عملية التوليد الإستكشافي	**التوليد الإستكشافي المستعرض (إجراء تحولات أساسية في البديل التصميمي)**	**المماثلة مع مراجع خارجية**
		التحول في المكونات والمبادئ التنظيمية للتصميم
		توحيد مكونات ومبادئ تنظيمية من بدائل تصميمية متنوعة
		أخرى
	التوليد الإستكشافي المتعمق (إجراء تحولات ثانوية في البديل التصميمي"تنقيح التصميم")	**التغيير في المقاييس التصميمية**
		إضافة خصائص جديدة
		إحلال خصائص محل أخرى
		إلغاء خصائص تصميمية
مصدر توليد البدائل التصميمية	**تصاميم واقعية سابقة**	**تصميم سابق منفرد**
		مجموعة تصاميم سابقة
	تصاميم إفتراضية حاليّة (منتجة آنيا)	**تصميم حالي منفرد**
		مجموعة تصاميم حالية

2.2.2.4 أداة للتقييم الإستكشافي في فضاء الحلول التصميمية

يسمح التقييم الإستكشافي للمصمم بإختيار البديل الأفضل وفقا لمعايير ذاتية أو موضوعية. وتشير الدراسات الى أن المصمم يلجأ الى الإستكشاف ليقنع نفسه بإختيار الحل الأفضل (Navinchandra، 1987، ص37). فخلال عملية إستكشاف فضاء التصميم، يؤخذ بنظر الإعتبار فقط مجموعة جزئية من المتطلبات التصميمية الممكنة التي تمثل معلومات حول الوظيفة أو البنية التركيبية أو السلوك المطلوب إنجازه في التصميم المقترح، والمؤهلات التي تعبر عن قوة هذه المتطلبات. والمجموعة الجزئية هذه تقيّم من وقت الى آخر وتنقّح عند الضرورة. كما يمكن إيقاف العمل بشكل مؤقت بهذه المجموعة الجزئية من المتطلبات وإستكشاف مجموعة جزئية أخرى من المتطلبات التصميمية (Van Langen & Brazier، 2006).

يستعرض البحث المتغيرات التي تعرّف أداة التقييم الإستكشافي ومنها المعايير المستخدمة في تقييم البدائل، وآليات تقييم البدائل ومحصلة تقييم البدائل وأسلوب عرض وتمثيل نتائج التقييم.

المعايير المستخدمة في تقييم البدائل

لايزال تقييم ومقارنة البدائل التصميمية في طرائق التصميم التقليدية يُنجز يدويا بإسلوب خطي من قبل المصمم بخلاف التحول بواسطة الحاسوب الى طريقة التصميم الغير خطية التي يتم فيها توليد وتقييم البدائل في وقت واحد معتمدا على معايير أدائية وبرامجية مختلفة. فالإستكشاف المنظّم لفضاء الحل بهدف إختيار مجموعة جزئية من البدائل يشكل تحديا عند

تركه الى بديهة المصمم. وعليه فإن الأساس المعتمد في إختيار الحلول التصميمية يمثل قضية مهمة تستلزم تجميع البارامترات المستقلة التي تقود الى حلول ذات أدائية جيدة، والذي يتطلّب فهم المفاضلات في فضاء الحل عن طريق تحليل البدائل التصميمية وفقا للمتطلبات الأدائية. (Turrin et al.، 2011، ص661)

إذ ترتبط فكرة البدائل التصميمية بمفهوم التقييم الذي يُمكّن المصمم من إختيار البديل الأكثر ملائمة لمعايير الجودة الجوهرية والعرضية المحددة مسبقا. فالمعايير الجوهرية تشير الى تقييم إنجاز البدائل للمقاييس موضع الإختبار. أما المعايير العرضية فهي تمثل المعلومات الكميّة حول الشكل المصمم التي لا ترتبط مباشرة بالمعايير المستخدمة في توليد البدائل مضاف اليها المعايير النوعية، والجمالية والبصرية المعرّفة بشكل غير دقيق. على سبيل المثال، في حالة توليد نماذج بديلة لشكل معماري يأخذ بنظر الإعتبار الراحة الحرارية، عندها تكون المعايير الجوهرية متمثلة بدرجة الحرارة والرطوبة والتهوية .... الخ، بينما تكون المعايير العرضية متمثلة بمساحة الطابق، وعدد الطوابق، وإنحناء الغلاف الخارجي ومساحته، والتقييم البصري للشكل. (Grobman et al.، 2010)

ويمكن تكييف حجم وتكوين فضاء إختيار البدائل التصميمية على مدار فترة تشغيل البرنامج الحاسوبي للحد من التقارب غير الناضج بين البدائل ولضمان الإستكشاف الجيد لفضاء التصميم معتمدا على دالة الجودة في البحث نحو حلول أفضل (Turrin et al.، 2011، ص663). وتعد الأمثلية جزءا من الإستكشاف والفرق بين الإستكشاف والأمثلية التقليدية كطرائق لإيجاد الشكل يكمن في أن الأمثلية تبحث عن حل واحد بينما يبحث الإستكشاف عن مجموعة أو مدى من الحلول الجيدة (von Buelow، 2006). إذ يتمحور دور الأمثلية في التصميم حول إيجاد التشكيل ضمن فضاء التصميم الذي يملك أفضل مطابقة لأهداف الأدائية المطلوبة، وهو مما لاشك فيه واحدا من الإمكانيات الأساسية لبرامجيات الأمثلية، إلا أنه لايدعم الإستكشاف المعلوماتي الكامل للحلول التصميمية وبشكل خاص المتعلقة منها بمقاصد التصميم الجمالية والمرئية التي تفتقر الى الدعم المطلوب. بخلاف ذلك نجد أن التوليد المنظّم للبدائل التصميمية عن طريق برامجيات النمذجة الثلاثية الأبعاد تفيد المصمم في تقييم النواحي المرئية وإستكشاف التنوعات في المعايير الجمالية. كما أنه خلال التركيز على معايير الأدائية الهندسية فإن التحليل الجيومتري للبدائل التصميمية بالإعتماد على برامجيات المحاكاة simulation software وعمليات التقييم الأدائي الأخرى يسمح للمصمم بإستكشاف ومقارنة الأمثلة المحتواة في فضاء الحل المتمثلة بالنماذج البارامترية وفقا لمجموعة من معايير التصميم المقاسة والمعرّفة بدقة ووضوح. إذ يمثل النموذج البارامتري بيئة مسيطر عليها لإستكشاف التصميم يتم فيها البحث عن البديل التصميمي الأفضل. (Turrin et al.، 2011، ص660، 662)

بناءا عليه، تتراوح معايير تقييم البدائل بين المعايير الأدائية، أو الوظيفية، أو الشكلية، أو الجمالية، أو أية معايير أخرى.

آليات تقييم البدائل االتصميمية

يمكن إستكشاف البدائل التصميمية العديدة عن طريق التحكم بالتغييرات المستمرة للمقاييس ويمكن تقييم البدائل عن طريق المقارنة النوعية (بصريا) أو المقارنة الكمية (Grobman et al.، 2010). إذ يوجد ميزتان مهمتان مرتبطتان بإستكشاف البدائل التصميمية وهما الكشف revelation والمقارنة comparison. فالبدائل تكشف عن أشياء لم تؤخذ بالأعتبار وهكذا تقترح سبلا مستقبلية للإستكشاف عن طريق جعل أجزاء جديدة من فضاء الحل التصميمي خاضعة الى المزيد من التحري. ومن جهة أخرى فإن المقارنة كميا وبصريا تلعب دورا أساسيا في إدراك ما إذا كان التصميم يلبي معايير معينة وأنه يمثل الأفضل وسط التصاميم التي تؤخذ بالإعتبار. إذ أن التوليد المنظّم للبدائل التصميمية بإستخدام برامجيات النمذجة الثلاثية الأبعاد يسمح للمصمم بالإدراك المرئي للبدائل المختلفة وبروز تشكيلات هندسية بعيدة عن التصور العقلي والناتجة عن العدد الكبير من التجميعات الممكنة للمتغيرات التصميمية والتي توفر للمصمم إمكانية تقييم النواحي المرئية وإستكشاف التنوعات في المعايير الجمالية. كما أن التركيز على معيار الأدائية الهندسية عن طريق تحليل الأمثلية الجيومترية بالإعتماد على برامجية المحاكاة simulation software إضافة الى عمليات تقييم الأدائية الأخرى يسمح بإستكشاف ومقارنة الأمثلة الموجودة في فضاء الحل للنماذج البارامترية وفقا للمعايير التصميمية المقاسة والمعرفة بدقة. (Turrin et al.، 2011، ص659-660)

بناءا عليه، يوجد آليات عديدة لتقييم البدائل التصميمية منها الكشف، والتحليل، والمقارنة كميا أو بصريا.

محصلة تقييم البدائل التصميمية

الدور الأساسي لمفهوم التقييم يتمثّل بتمكين المصمم من إختيار البديل أو البدائل الأكثر ملائمة للمعايير التصميمية المطلوبة. فالمقارنة بين البدائل تلعب دورا أساسيا في إدراك إمكانية تلبية التصميم لمعايير معينة وأنه يمثل الأفضل وسط التصاميم موضع التقييم. كما يوجد غايات أخرى لتقييم البدائل منها تفحّص البدائل الذي يكشف عن نواحي لم تؤخذ بالإعتبار ويقترح

بذلك سبلا مستقبلية للإستكشاف عن طريق جعل أجزاء جديدة من فضاء الحل التصميمي موضع المزيد من التحري. (Turrin et al.، 2011)

أسلوب تمثيل وعرض نتائج التقييم

يعدّ التمثيل التماثلي من أساليب تمثيل المعرفة التصميمية موضع الإستكشاف التقييمي والمتمثلة بإستخدام الرسومات والموديلات التي تكون وثيقة الصلة بالواقع والتي تصلح لتقييم قضايا أدائية التصميم المهمة مثل التكوين، الملائمة السياقية، والإمكانية الإنشائية. يضاف الى ذلك التمثيلات الرمزية التي تكون عبارة عن وصوفات مادية وحسابية ذات علاقة بتعريف الأدائية مثل الإنتقال الحراري، وتوزيع الإضاءة والصوت (Dino، 2012، ص215). فنتائج تقييم طريقة التخصص الفضائي space allocation يتم تسجيلها بشكل مصفوفة تجاور تسرد أوزان الترابط بين كل زوج من الفضاءات. (Kalay، 2004، ص242)

وتركز أداة ParaGen على معيار الأدائية الهندسية عن طريق تحليل الأمثلية الجيومترية بالإعتماد على برامجية المحاكاة simulation software إضافة الى عمليات تقييم الأدائية الأخرى التي تسمح بإستكشاف ومقارنة الأمثلة الموجودة في فضاء الحل للنماذج البارامترية وفقا للمعايير التصميمية المقاسة والمعرّفة بدقة. وهي توفر موقعا على صفحة الإنترنيت كواجهة تفاعلية للمستخدم تسمح له بإستكشاف قاعدة المعلومات معتمدا على كلا المعلومات الرقمية المتمثلة بتقييمات الأدائية إضافة الى التصور الثلاثي الأبعاد للشكل الجيومتري. إذ تصبح قاعدة المعلومات بركة وراثية متنامية من الحلول التي من الممكن فرزها وتصنيفها وعرضها من قبل المصمم أو فريق المصممين خلال واجهة المستخدم البرامجية لإستكشافها وتعزيز فهم النتائج، حيث تسمح واجهة المستخدم للمصممين بالتفاعل مع عملية التوليد. وتوضع المعلومات في قاعدة معلومات SQL[8] لذا يكون من الممكن فرز وتصنيف النتائج بطرق متنوعة. كما يمكن تصنيف الحلول بسهولة بواسطة أي من متغيرات الشكل الجيومتري أو معلومات الأدائية. كما أن إستخدام مربعات الإختيار المنسدلة في أعلى صفحة البرنامج، يسهّل فرز وعرض كل الحلول بواسطة معيار أو معيارين للفرز إما تصاعديا أو تنازليا مما يجعل الإستكشاف التفاعلي من قبل المصمم مريح الى مدى بعيد حيث يمكن عرض نتائج SQL على الفور. وعند إختيار أي حل من الصفحة التي تعرض العينة فإن الصفحة التالية تنشأ مع صورة مفصّلة للحل جنبا الى جنب متضمنة كل قيم الأدائية والمتغيرات التي تكون مرتبطة بملفات إضافية. (Turrin et al.، 2011، ص660، 664-665)

بناءا على ماتقدم، تتراوح أساليب تمثيل نتائج التقييم بين التمثيل الرمزي بإستخدام المصفوفة أو الجدول مثلا أو التمثيل التماثلي بإستخدام الرسومات الثنائية أو الثلاثية الأبعاد.
ويمكن بلورة المتغيرات المعرّفة لأداة التقييم الإستكشافي في الجدول (3).

جدول 3: الإستكشاف كأداة للتقييم في فضاء الحلول التصميمية

نوع المعايير المستخدمة في تقييم البدائل التصميمية	معايير أدائية	
	معايير وظيفية	
	معايير شكلية	
	معايير جمالية	
	معايير أخرى	
آليات تقييم البدائل التصميمية	الكشف	
	التحليل	
	المقارنة	المقارنة كميا
		المقارنة بصريا
	أساليب أخرى	
محصلة تقييم البدائل التصميمية	إختيار الحل أو الحلول الأفضل	
	الكشف عن جوانب التصميم التي تحتاج الى الإستكشاف لاحقا	
	التحقق من مطابقة البدائل الناتجة لمعطيات تصميمية محددة	
	إستخلاص المعرفة من الحلول أو التصاميم المتولّدة	
أسلوب تمثيل وعرض نتائج التقييم	التمثيل الرمزي	مصفوفة علائقية
		جدول لقيم رقمية
		أخرى
	التمثيل التماثلي	رسومات ثنائية الأبعاد
		موديلات ثلاثية الأبعاد

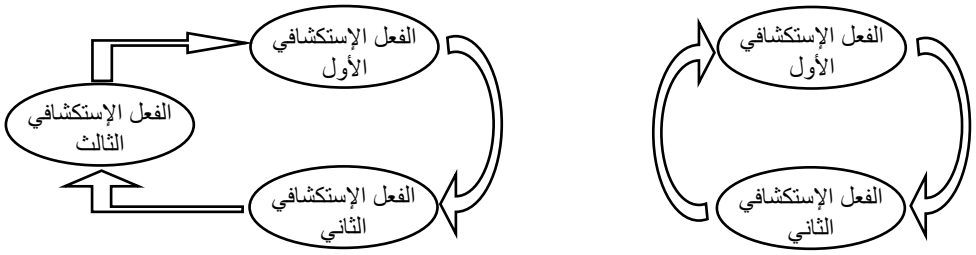
[8] SQL تمثل لغة برمجة خاصة مصممة لمعالجة المعلومات

3.4 تسلسل فعاليات الإستكشاف في العملية التصميمية

يوجد عدة سيناريوهات للإنتقال بين مراحل عملية الإستكشاف التي قد تبدأ بالبحث الإستكشافي في فضاء المشكلة التصميمية يليها كلا التوليد الإستكشافي ومن ثم التقييم الإستكشافي في فضاء الحلول التصميمية. وقد تقتصر فعاليات الإستكشاف على فضاء الحلول التصميمية المتمثلة بالتوليد والتقييم الإستكشافي من دون الإستكشاف في فضاء المشكلة التصميمية. ويمكن تعريف مفردة تسلسل فعاليات الإستكشاف بدلالة أنماط مسارات الإنتقال بين فعاليات الإستكشاف، وسيناريوهات الإستكشاف التي تعرّف بدورها بدلالة التسلسل الزمني لفعاليات الإستكشاف والتسلسل الزمني لإستكشاف البدائل.

1.3.4 أنماط مسارات الإنتقال بين فعاليات الإستكشاف

يكون مسار الإنتقال بين أي مرحلتين من فعاليات الإستكشاف إما خطيا أو حلقيا، إذ يمثل الحلقي مسارا للتغذية الإرجاعية الذي يهدف الى إعادة النظر في المرحلة التصميمية السابقة. فعلى سبيل المثال، في حالة مسار الإنتقال الخطي بين مرحلتي إنتاج الحلول البديلة وإختيار الحل الأصوب يتم إنتاج الحلول البديلة بشكل نهائي ليصار الى تقييمها وإختيار أحد الحلول لإعتمادها. بينما في حالة مسار الإنتقال الحلقي تتكرر العملية (التغذية الإسترجاعية) بسبب عدم الوصول الى حل مقنع إذ يُصار الى إنتاج حلول بديلة جديدة من الحل المنتخب وهكذا الى أن يتم الوصول الى حل مقنع يلبي المعايير التصميمية المطلوبة. ويستنتج البحث نوعين من مسارات التغذية الإسترجاعية بين فعاليات الإستكشاف. الأول هو مسار التغذية الإسترجاعية المباشر direct feedback الذي يكون مساره دائريا feedback circle ويربط فعاليتين فقط وكما موضح في الجزء الأيمن من الشكل (3)، بينما يمثل الثاني مسارا للتغذية الإسترجاعية الغير مباشر indirect feedback الذي يكون مساره حلقيا feedback loop والذي يضم أكثرمن فعاليتين كما موضح في الجزء الأيسر من الشكل (3).



مسار التغذية الإسترجاعية الغير مباشر المسار الحلقي

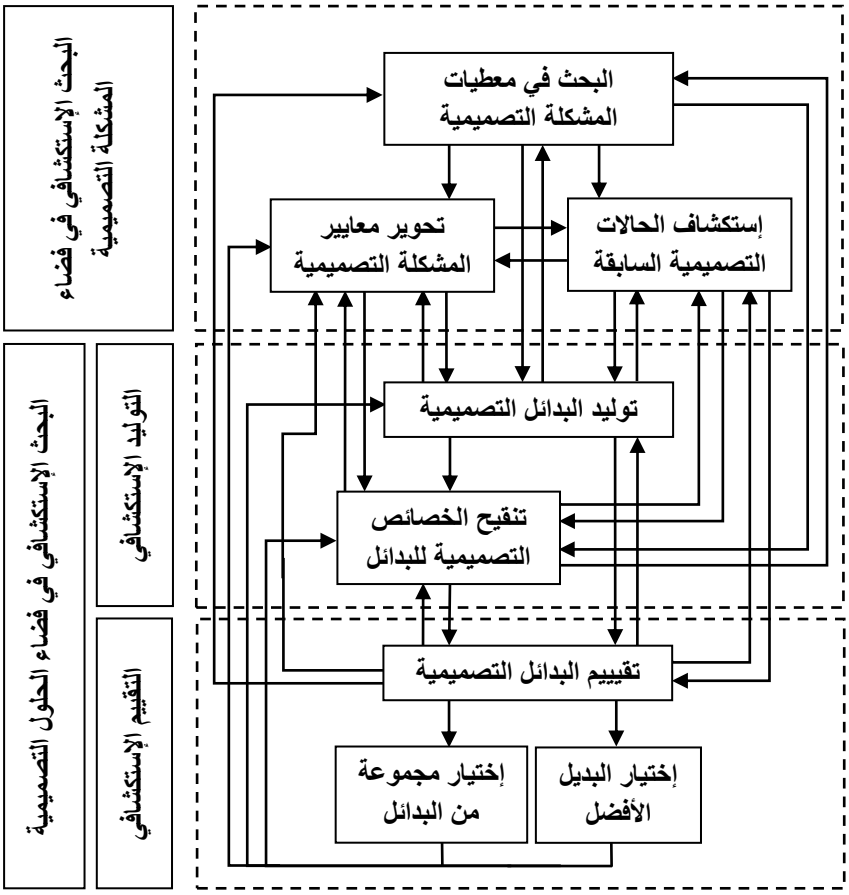
مسار التغذية الإسترجاعية المباشر المسار الدائري

الشكل 3: أنواع مسارات التغذية الإسترجاعية بين فعاليات الإستكشاف في عمليات التصميم الحاسوبية (المصدر: الباحث)

وعليه يحدد البحث ثلاث أنماط لمسارات الإنتقال بين أي فعاليتين في مراحل الإستكشاف وهي:

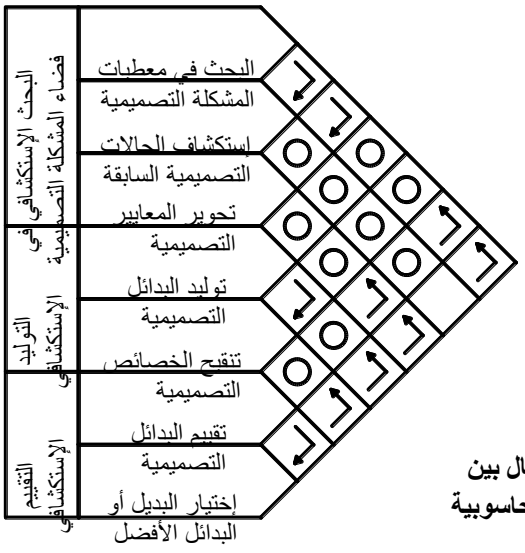
- مسار خطي تقدّمي forward move وفيه يتم الإنتقال من فعل إستكشافي الى الفعل الذي يليه.
- مسار خطي رجعي backward move وفيه يتم التراجع بهدف التغذية الإسترجاعية من فعل إستكشافي الى فعل إستكشافي لايرتبط معه بمسار خطي تقدّمي. ويكون هذا المسار جزءا من المسار الحلقي للتغذية الإسترجاعية الغير مباشر.
- مسار دائري circle move وفيه يتم التراجع من فعل إستكشافي الى الفعل الإستكشافي السابق له ضمن حلقة تغذية إسترجاعية مباشرة بين فعلين إستكشافيين.

يقدّم البحث مخططا إنسيابيا للإحتمالات الممكنة لتسلسل الفعاليات المختلفة لمفهوم الإستكشاف ضمن عملية التصميم الحاسوبي (الشكل 4).



الشكل 4: المخطط الإنسيابي لتعاقب فعاليات الإستكشاف في عمليات التصميم الحاسوبية (المصدر: الباحث)

وتوضح المصفوفة أدناه (شكل 5) أنماط مسارات الإنتقال المحتملة بين فعليات الإستكشاف في طرائق التصميم الحاسوبية.



الشكل 5: مصفوفة لأنماط مسارات الإنتقال بين فعاليات الإستكشاف في عمليات التصميم الحاسوبية (المصدر: الباحث)

وبالرجوع الى المخطط الإنسيابي في الشكل (4) والمصفوفة في الشكل (5) يمكن توضيح بعض النماذج من مسارات التغذية الإسترجاعية المباشرة منها وغير المباشرة بين فعاليات الإستكشاف المنجزة ضمن الدور الإستكشافي الواحد أو ضمن أدوار إستكشافية متنوعة وكما يلي:

على سبيل المثال، نجد أن فعاليتي البحث الإستكشافي في فضاء المشكلة التصميمية المتمثلة بالبحث في معطيات المشكلة التصميمية وتحوير المعايير التصميمية يمكن ربطهما بمسار حلقي للتغذية الإسترجاعية المباشرة مع كل من فعاليتي التوليد الإستكشافي المتمثلة بتوليد البدائل التصميمية وتنقيح الخصائص التصميمية للبدائل. إذ تؤكد الدراسات أن التوليد الإستكشافي يمثل عملية التوليد التي تنتج بدائل عن طريق التنوع بالمعطيات التصميمية. فخلال إستكشاف الخيارات التصميمية يفهم المصمم الفضاء التصميمي بشكل أفضل وقد يلجأ الى تحسين المعايير التصميمية (Falk & von Buelow، 2011). فخلال عملية الإستكشاف يمكن الحصول على تصاميم جديدة عن طريق تخفيف القيود التصميمية والمفاضلة بين الأهداف والتي قد تؤدي الى ظهور أو إضافة معايير تصميمية جديدة (Maher & Poon، 1996). كما ترتبط فعاليتي البحث في معطيات المشكلة التصميمية وتحوير المعايير التصميمية بمسار خطي رجعي للتغذية الإسترجاعية غير المباشرة المتجه رجوعا من كلا فعالية تقييم البدائل وفعالية إختيار البديل أو البدائل الأفضل. إذ تشير الدراسات الى وجود ميزة مهمة مرتبطة بإستكشاف البدائل التصميمية وهي الكشف revelation، فالبدائل تكشف عن نواحي تصميمية لم تؤخذ بنظر الأعتبار وعليه تقترح سبلا مستقبلية للإستكشاف عن طريق جعل أجزاء جديدة من فضاء الحل التصميمي معرضة الى المزيد من التحري. (Turrin et al.، 2011)

وترتبط فعالية تقييم البدائل التصميمية بمسار حلقي للتغذية الإسترجاعية المباشرة مع فعاليات إستكشاف الحالات التصميمية السابقة وتنقيح الخصائص التصميمية وتوليد البدائل التصميمية إضافة الى إرتباطها بمسار خطي رجعي للتغذية الإسترجاعية غير المباشرة مع كلا فعاليتي البحث في معطيات المشكلة التصميمية وتحوير المعايير التصميمية. إذ تشير الدراسات أن حجم وتكوين فضاء الإختيار يمكن أن يكيّف على مدار فترة التشغيل للحد من التقارب غير الناضج ولضمان الإستكشاف العميق لفضاء التصميم أثناء البحث نحو حلول أفضل إعتمادا على دالة الجودة. (Turrin et al.، 2011، ص663)

في الفقرة التالية، يستعرض البحث سيناريوهات الإستكشاف في طرائق التصميم الحاسوبية.

2.3.4 سيناريوهات عمليات الإستكشاف

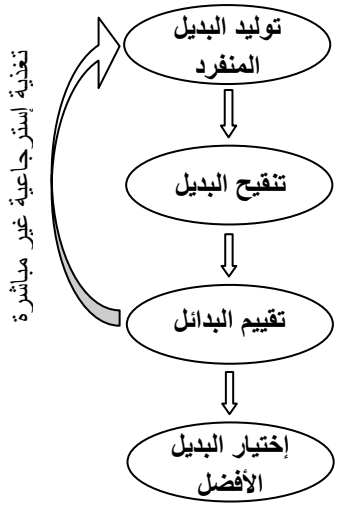
تتنوع سيناريوهات الإستكشاف[9] في أدوات التصميم الحاسوبية من حيث التسلسل الزمني لفعاليات الإستكشاف والتسلسل الزمني لإستكشاف البدائل.

1.2.3.4 التسلسل الزمني لفعاليات الإستكشاف

أشار Kalay (2004، ص19) الى وجود ثلاث طرائق للبحث في فضاء الحلول التصميمية وهي العمق أولا، والعرض أولا، والأفضل أولا. إذ يعتمد البحث هذه المناهج في تحديد ثلاث سيناريوهات لتعاقب فعاليات الإستكشاف مع إمكانية الجمع بين أكثر من سيناريو في آن واحد. وفيما يلي عرض لهذه السيناريوهات:

- تعاقب فعاليات الإستكشاف وفقا لمبدأ العمق أولا depth first : يتم في هذه الطريقة إعتماد حل واعد منفرد يتم إستكشافه الى أن يصل الى نهايته المنطقية بتلبية الأهداف التصميمية أو الفشل في تلبيتها ليتم إختبار حل مرشح آخر (Kalay، 2004، ص19). وتعتمد هذه الطريقة مبدأ المحاولة والخطأ trial and error في توليد وتحوير وتطبيق ومن ثم تقييم التصميم قبل الشروع بتوليد تصميم جديد وهكذا خلال عملية التكرار المتعدد (Yilmaz & Seifert، 2011، ص385).

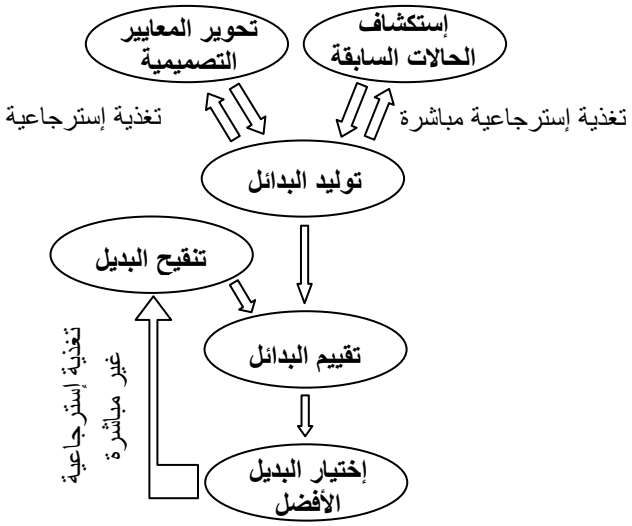
يتضح مما تقدّم أن تعاقب فعاليات الإستكشاف وفقا لمبدأ العمق أولا يعتمد المسار الخطي التقدّمي مع وجود مسار خطي رجعي للتغذية الإسترجاعية غير المباشرة يتجه من فعالية تقييم البدائل الى فعالية توليد بديل جديد وذلك في حالة عدم الوصول الى حل مقنع يلبي المعايير التصميمية المطلوبة. يوضح الشكل (6) نموذجا محتملا لتعاقب فعاليات الإستكشاف ضمن سيناريو العمق أولا.



الشكل 6: نموذج للمخطط الإنسيابي لتعاقب فعاليات الإستكشاف في منهج العمق أولا depth first (المصدر: الباحث)

[9] المقصود بسيناريوهات الإستكشاف هو التسلسل المتوقع لفعاليات الإستكشاف.

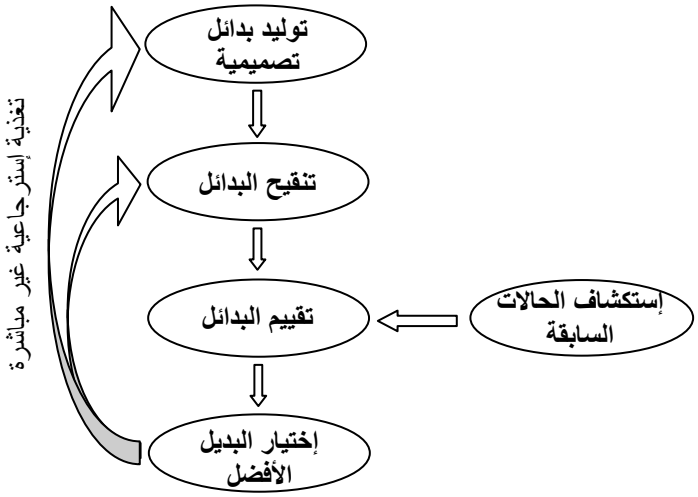
- الإستكشاف وفقا لمبدأ العرض أولا breadth first : يتم في هذه الطريقة إستكشاف طرق بديلة عديدة لتطوير الحل المرشح قبل أن يؤخذ أحدها الى نهايته المنطقية (Kalay، 2004، ص19). إذ يلجأ المصمم في الإستكشاف المستعرض الى توسيع ذخيرته من االمفاهيم الأساسية مستخدما مجموعة جديدة من المراجع للوصول الى الأفكار التصميمية معتمدا على المماثلة في إستكشاف الحالات والتحرك فيما بينها (Goldschmidt، 2006).



الشكل 7: نموذج للمخطط الإنسيابي لتعاقب فعاليات الإستكشاف في منهج العرض أولا breadth first (المصدر: الباحث)

يتضح مما تقدم أن فعاليات الإستكشاف ضمن مبدأ العرض أولا تعتمد المسارات الحلقية للتغذية الإسترجاعية المباشرة بين فعالية توليد البدائل وفعاليات الإستكشاف في فضاء المشكلة التصميمية المتمثلة بإستكشاف الحالات السابقة وتحوير المعايير التصميمية للوصول الى بدائل تصميمية متنوعة. كما تعتمد أيضا مسار خطي رجعي للتغذية الإسترجاعية غير المباشرة بين فعالية إختيار البديل الأفضل وفعالية تنقيح الخصائص التصميمية للبديل بهدف تطوير الحل التصميمي المنتخب. يوضح الشكل (7) نموذجا محتملا لتعاقب الفعاليات الإستكشافية وفقا لمبدأ العرض أولا.

- الإستكشاف وفقا لمبدأ الأفضل أولا best first : في هذه الطريقة يتم تقييم كل الحلول المتوفرة آنيا، ومن ثمّ إختيار الحل الأكثر واعدا من بينها لتطويره الى مدى أبعد (Kalay، 2004، ص19). إذ يقيّم المصممون بشكل أولي حلولا مفترضة عديدة قبل الشروع بتوليدها وتقييمها نهائيا (Yilmaz & Seifert، 2011، ص385).



الشكل 8: نموذج للمخطط الإنسيابي لتعاقب فعاليات الإستكشاف في منهج الأفضل أولا best first (المصدر: الباحث)

إذ يعتمد التوجه الإستكشافي الهادف نحو الحل الأفضل على إستكشاف الحالات السابقة التي يتم تقييمها لإختيار البديل الأفضل من بينها. حيث ترتبط فعالية إختيار البديل الأفضل عبر مسار خطي رجعي للتغذية العكسية غير المباشرة مع فعاليات التوليد الإستكشافي المتمثلة بفعالية توليد البدائل التي يكون فيها البديل الأفضل مصدرا لإنتاج البدائل، أو بفعالية تنقيح البديل التي يكون فيها عرضة لتحوير خصائصه التصميمية. يوضح الشكل رقم (8) نموذجا محتملا لتعاقب الفعاليات الإستكشافية ضمن مبدأ الأفضل أولا.

بناءا على ماتقدم، يمكن القول أن سيناريوهات الإستكشاف المذكورة أعلاه تتراوح في نوع وتسلسل فعاليات الإستكشاف الموظّفة فيها.

2.2.3.4 التسلسل الزمني لإستكشاف البدائل

يتراوح إستكشاف البدائل بين الإستكشاف المتزامن للبدائل الذي يتم فيه توليد وتطوير وتقييم مجموعة بدائل في آن واحد ضمن مسارات متوازية، أو الإستكشاف المتعاقب للبدائل الذي يتم فيه توليد وتطوير وتقييم بديل بعد الآخر. من الطرائق

الحاسوبية التي تعتمد التوليد الإستكشافي المتزامن هي طريقة السرد الكامل complete enumeration (Kalay، 2004، ص238-241)، التي تعد طريقة عقلانية تعتبر أن إحتمالية إيجاد الشكل الأكثر ملائمة لمتطلبات محددة ضمن سياق معين يزداد مع النمو في فضاء الأشكال موضع الإختيار. فهي تستثمر قدرة الحاسوب على توليد أعداد هائلة من الحلول البديلة التي تخضع في وقت واحد الى إختبار للتحقق من مدى ملائمتها للوظيفة والسياق (أو أية شروط أخرى) وذلك من قبل المصمم أو بوساطة طريقة حاسوبية أخرى. ومن تطبيقاتها طريقة التخصص الفضائي space allocation المعروفة "بالتوليد الآلي لمخطط الطابق" أو "التركيب الفضائي الآلي". إذ يعدّ التخصص الفضائي من المشاكل التصميمية الأولى الخاضعة الى التركيب بإستخدام الحاسوب مقترحا حلول عديدة وبشكل خاص في حالة الأهداف التصميمية المقيّسة كالمستشفيات والمدارس معتمدا على تحديد مجموعة من الفضاءات أو الفعاليات وعلاقات التجاور المرغوبة بينها لتوليد النسق الذي يقلل الى الحد الأدنى من المسافات بين الفضاءات الواجب تقاربها مع بعضها البعض. كما أن أداة SEED تشجع الأسلوب الإستكشافي المتزامن للبدائل التصميمية عن طريق تسهيل توليد وتقييم البدائل التصميمية مع إمكانية التنقيح المتكرر لها ومتابعة البدائل الناتجة بالتوازي (Flemming et al.، 1994). بينما تعتمد بعض برامجيات النمذجة الثلاثية الأبعاد مبدأ الإستكشاف المتعاقب بتوليد حل منفرد يتم إستكشافه الى أن يصل الى نهايته المنطقية بتلبية الأهداف التصميمية أو الفشل في تلبيتها ليتم توليد وإختبار حل مرشح آخر وهكذا.

4.4 القائم بعملية الإستكشاف

تشير الدراسات الى إمكانية تنفيذ فعاليات الإستكشاف التصميمي بأسلوب آلي automatic mode عن طريق البرنامج لوحده أو بأسلوب يدوي manual mode عن طريق المصمم أو المستخدم للبرنامج فقط أو بالأسلوب التفاعلي interactive mode الذي يتم فيه الإستكشاف من قبل كلا البرنامج والمستخدم. ففي أداة CYCLOPS يلعب المستخدم دورا مهما في عملية الإستكشاف، إذ يتم إختبار التصاميم وإقرار قبولها من عدمه إما بواسطة الإنسان أو البرنامج أو كلاهما معا (Navinchandra، 1987، ص122).

وتشير الدراسات الى شيوع إستخدام التوجه التفاعلي في طرائق التصميم الحاسوبية. مؤكدة أن إستخدام تقنيات إعادة التجميع، والطفرة، والإختيار في توجه الخوارزميات الوراثية يقدم أساسا مناسبا للإستكشاف التفاعلي من قبل المصمم مع البرنامج (Turrin et al.، 2011، ص663). كما أن مستكشف فضاء التصميم يمثل برنامج حاسوبي يلعب الإستكشاف فيه دورا داعما لعملية التصميم، وتُقاد فيه عملية الإستكشاف بواسطة مجموعة من الأهداف التي لاتحدد بمفردها القرارات التي تحكم الإستكشاف بل أن المستخدم غالبا ما يحسم إختيار الهدف (Woodbury et al.، 1999، ص287).

وفي النظام التفاعلي قد ينجز البرنامج بعض المهام فيما ينجز المستخدم للبرنامج مهام أخرى. فمثلا في حالة أداة DEMEX ينجز البرنامج آليا المهام الروتينية والمملة لنواحي التصميم المعتمدة على الخبرة مثل فهرسة الحالات السابقة ومطابقة الحالات الجديدة للقديمة منها؛ بينما يترك للمستخدم وضع القرارت المبدعة مثل جمع أجزاء مختلفة من الحالات السابقة لإنتاج حل جديد، أو تحوير مواصفات المشكلة التصميمية. (Garza & Maher ، 1996)

5. خصوصية مفهوم الإستكشاف في أدوات التصميم الحاسوبية

بالرجوع الى الإطار النظري يمكن للبحث تحديد خصوصية فعاليات الإستكشاف في مراحل التصميم الأولية في أدوات التصميم الحاسوبية الآنفة الذكر في الفقرة الثانية من هذا البحث وكما موضح أدناه:

بالنسبة الى أداة DEMEX (Garza & Maher ، 1996) نجد أن أهداف الإستكشاف تتمثل بتحسين فهم المستخدم للمشكلة التصميمية وتطوير مواصفات التصميم الأولية إضافة الى إختيار البديل التصميمي. فهي تعتمد البحث الإستكشافي في فضاء المشكلة التصميمية المتمثل بالتصاميم السابقة المخزونة في ذاكرة البرنامج التي تخضع الى التقييم الإستكشافي من قبل المصمم أو البرنامج لإختيار البديل التصميمي الذي يملك أفضل مطابقة للمواصفات التصميمية المطلوبة. ويتّبع البرنامج أسلوبين للإستكشاف ، في الأول تخضع مواصفات التصميم الأولية أو مواصفات الحالة التصميمية موضع الإختيار الى الإستكشاف عن طريق تحوير معاييرها التصميمية التي ترتبط بمسار دائري للتغذية الإسترجاعية المباشرة مع إستكشاف النماذج السابقة في ذاكرة البرنامج والتي تطلق عليها الدراسة بستراتيجية توسيع الفهرس المستند الى النموذج. بينما في الأسلوب الثاني تخضع خصائص المواصفات التصميمية أو خصائص الحالة التصميمية المنتقاة الى التحوير ضمن مسارين دائريين للتغذية الإسترجاعية المباشرة المتكررة اللذين يربطان كل من فعالية تحوير المعايير التصميمية للحالة المنتقاة أو فعالية تنقيح الخصائص التصميمية للحالة المنتقاة مع فعالية إستكشاف الحالات التصميمية السابقة في ذاكرة البرنامج والتي تطلق عليها الدراسة بستراتيجية تنقيح الفهرس المستند الى الحالة المصممة. وبناءا عليه يمكن القول أن

تعاقب فعاليات الإستكشاف في أداة DEMEX تتبنى مبدأ العرض أولا. كما تتبع آلية التوليد الإستكشافي المستعرض للتصميم المطلوب بالإعتماد على النماذج والحالات التصميمية السابقة. وأخيرا تُنجز فعالية الإستكشاف في هذه الأداة عن طريق تفاعل المصمم أو المستخدم مع البرنامج الحاسوبي.

بالنسبة الى أداة SEED (Flemming et al.، 1994)، يهدف فعل الإستكشاف فيها الى تطوير فهم المشكلة التصميمية وتطوير الحل التصميمي إضافة الى إختيار الحل المناسب. إذ تتمحور فعاليات الإستكشاف فيها حول البحث الإستكشافي في فضاء المشكلة التصميمية المتمثل بتحوير مواصفات المشكلة (تحوير المعايير التصميمية) المطلوب حلها إضافة الى البحث الإسكشافي في فضاء المشكلة التصميمية المتمثل بالتصاميم السابقة المخزونة في البرنامج والتي يصار الى تقييمها لإستكشاف البديل أو البدائل الأفضل التي تخضع بدورها الى التوليد الإستكشافي ضمن مسار خطي رجعي للتغذية الإسترجاعية غير المباشرة بهدف تحوير خصائصها أو مواصفاتها التصميمية. وعليه فإن تعاقب فعاليات الإستكشاف في أداة SEED يعتمد مبدأ العرض أولا ويدعم الإستكشاف المتزامن للبدائل. فهي تتبنى آلية التوليد الإستكشافي المستعرض في البحث عن الحل التصميمي المنشود إعتمادا على الحالات التصميمية السابقة. ويكون إنتاج البدائل التصميمية إما عن طريق التوليد الآلي من قبل البرنامج أو التوليد التفاعلي بين المستخدم والبرنامج الحاسوبي.

في أداة CYCLOPS (Navinchandra، 1987)، يهدف فعل الإستكشاف فيها أيضا الى تطوير فهم المشكلة التصميمية وتطوير الحل التصميمي إضافة الى إختيار الحل المناسب. إذ يتراوح دور مفهوم الإستكشاف بين فضاء المشكلة التصميمية وفضاء الحل التصميمي. حيث يبدأ البرنامج بإستكشاف الحلول التصميمية السابقة لإعتمادها في توليد بدائل تصميمية ومن ثم التقييم الإستكشافي للبدائل وفق لمعايير الهيمنة لإختيار التصاميم الفعّالة منها. أما التصاميم غير الفعّالة فيصار الى إستكشافها ضمن مسار خطي رجعي يهدف الى التغذية الإسترجاعية غير المباشرة وذلك عن طريق تحوير معايير المشكلة التصميمية بتخفيف القيود التصميمية من جهة وإضافة قيود جديدة ناتجة عن مقارنتها بالسوابق التصميمية من جهة أخرى حيث ترتبط في هذه الحالة كلا فعاليتي تحوير المعايير التصميمية وإستكشاف الحالات السابقة بمسار دائري للتغذية الإسترجاعية فيما بينهما. وعليه فإن أداة CYCLOPS تتبع آلية التوليد الإستكشافي المستعرض في إنتاج التصاميم الجديدة من الأمثلة السابقة. إذ تتعاقب فعاليات الإستكشاف وفق لمبدأ العرض أولا معتمدة الإستكشاف المتزامن للبدائل التصميمية. ويعمل البرنامج آليا ماعدا تفحّص البدائل وقرار قبولها أو رفضها ضمن فعالية تقييم البدائل التي يمكن أن تنجز عن طريق المستخدم أو البرنامج أو كلاهما معا.

أسوة بالأدوات السابق ذكرها يهدف فعل الإستكشاف في أداتي COGA1 و COGA2 (Maher & Poon، 1996) الى تطوير فهم المشكلة التصميمية وتطوير الحل التصميمي وإختيار الحل المناسب. دور مفهوم الإستكشاف يركز على جانبين هما تحوير المعايير التصميمية كآلية للبحث الإستكشافي في فضاء المشكلة التصميمية من جهة وتحوير الخصائص التصميمية كآلية للتوليد الإستكشافي في فضاء الحلول التصميمية علاوة على التقييم الإستكشافي. إذ ترتبط فعالية تحوير المعايير التصميمية مع فعالية تنقيح الخصائص التصميمية بمسار دائري للتغذية الإسترجاعية المباشرة. وترتبط أيضا فعاليتي تنقيح الخصائص التصميمية وتقييم البدائل بمسار دائري للتغذية الإسترجاعية المباشرة. في حين ترتبط فعالية تقييم البدائل بمسار خطي رجعي للتغذية الإسترجاعية غير المباشرة مع فعالية تحوير المعايير التصميمية. وبناءا عليه فإن أداتي COGA1 و COGA2 تتبنيان آلية التوليد الإستكشافي المتعمق في البحث عن الحلول التصميمية. كما أن فعاليات الإستكشاف تتعاقب وفقا لمبدأ الأفضل أولا معتمدة الإستكشاف المتزامن للبدائل التصميمية. وأخيرا يتم الإستكشاف في الأداتين وفقا للإسلوب الآلي.

بينما يتمحور الهدف من فعل الإستكشاف في أداة IGDT (von Buelow، 2007) حول إختيار الحل التصميمي المطلوب. إذ تركز في إستكشافها المنجز آليا أو تفاعليا عن طريق الإشتراك بين الإنسان والآلة على التقييم الإستكشافي للبدائل التصميمية بالإعتماد على المقاييس الكمية مثل مقياس الوزن (كفاءة المادة المستخدمة) والمقاييس النوعية كمقياس تعقيد الشكل (كفاءة الشكل الهندسي). إذ تتبنى هذه الأداة منهج التوليد الإستكشافي المتعمق في إيجاد التنوعات الممكنة للأشكال الجيومترية والطوبولوجية للتصاميم المطلوبة وفقا الى أدائيتها المقاسة كما ونوعا. وتتعاقب فعاليات الإستكشاف فيها وفقا لمبدأ الأفضل أولا معتمدة على الإستكشاف المتزامن للبدائل. وتوجه عمليات الإستكشاف آليا من قبل البرنامج في حالة دالة الجودة المتمثلة بالمقاييس الكمية المحددة مسبقا أو يتم توجيهها تفاعليا بين المستخدم والبرنامج في حالة إعتماد معايير التقييم النوعية.

وأخيرا تتراوح أهداف فعل الإستكشاف في أداة ParaGen (Turrin et al.، 2011، ص656) (Andres et al.، 2011، ص142-144) حول كلا تطوير الحل التصميمي وإختيار البديل الأفضل. إذ يعتمد التوليد الإستكشافي للبديل التصميمي الجديد على دمج تصميمين سابقين أو تحوير تصميم سابق واحد أو توليد مجموعة عشوائية كاملة من المعلومات لتوليد حل جديد بدون أية سوابق معتمدا في ذلك على تغيير الخصائص البعدية (البارامترية) للشكل الجيومتري المعرّف

ضمن الخوارزمية الوراثية. وتعتمد في التقييم الإستكشافي على المعايير الأدائية (كالوزن الأقل وعدد الأضلاع الأقل)، والمعايير البصرية (كالإختيارات الذاتية للمصمم) لإختيار البدائل التصميمية الأفضل التي يصار الى إعتمادها كأساس في توليد بدائل تصميمية جديدة ضمن مسار خطي رجعي للتغذية الإسترجاعية الغير مباشرة والمتكررة الى حين الوصول الى بدائل تصميمية مقنعة. وعليه يمكن القول أن أداة ParaGen تتبنى التوليد الإستكشافي المتعمق للبدائل التصميمية في الوصول الى الحل النهائي. وتعتمد في تعاقب فعاليات الإستكشاف على مبدأ الأفضل أولا، كما تعتمد الإستكشاف المتزامن للبدائل التصميمية. وتعمل أداة ParaGen وفقا للأسلوب التفاعلي الذي يلعب فيه كلا البرنامج والمصمم دورا في عملية الإستكشاف.

6. الإستنتاجات

تتمحور إستنتاجات البحث حول ثلاث جوانب يمثل الأول منها موجزا بتعريف مفهوم الإستكشاف في طرائق التصميم الحاسوبي، بينما يتناول الجانب الثاني أهمية مفهوم الإستكشاف في العملية التصميمية ويلخص الجانب الثالث الإتجاه السائد لمفهوم الإستكشاف في الأدوات الحاسوبية موضع الدراسة.

بالنسبة الى الجانب الأول، يمكن إيجاز تعريف مفهوم الإستكشاف في طرائق التصميم الحاسوبية بما يلي:

- يهدف الإستكشاف الى التوسع في فهم المشكلة التصميمية، وتطوير الحل التصميمي وإختيار الحل النهائي.
- يعد الإستكشاف أداة للبحث في فضاء المشكلة التصميمية عن طريق إضافة معايير تصميمية جديدة، أو تخفيف أو إلغاء المعايير التصميمية الموجودة فعليا.
- يعد الإستكشاف أيضا أداة بحث في فضاء الحلول التصميمية. إذ يسهم في عملية توليد البدائل التصميمية معتمدا التوليد الإستكشافي المستعرض أو المتعمق الموجه من قبل عوامل عديدة منها الإتجاهات التصميمية، أو القيود التصميمية، أو خبرة المصمم. كما يسهم الإستكشاف في عملية تقييم البدائل وفقا لمعايير عديدة منها الأدائية أو الوظيفية.
- تتنوع فعاليات الإستكشاف من حيث أنماط مساراتها التي تتراوح بين المسار الخطي التقدمي أو الخطي الرجعي أو المسار الدائري. كما تتباين سيناريوهات الإستكشاف من حيث التسلسل الزمني لفعاليات الإستكشاف الذي يتراوح بين ثلاث أنماط هي العمق أولا، أو العرض أولا، أو الأفضل أولا. كما تتراوح سيناريوهات الإستكشاف من حيث زمن إستكشاف البدائل الذي قد يكون آنيا أو تعاقبيا.
- يتراوح أسلوب تشغيل الإستكشاف في المناهج الحاسوبية بين ثلاث أنماط هي الأسلوب الآلي أو الأسلوب التفاعلي أو الأسلوب اليدوي.

يتناول الجانب الثاني من الإستنتاجات أهمية مفهوم الإستكشاف ضمن المراحل الأولية لعملية التصميم الحاسوبي والتي يمكن إيجازها في النواحي أدناه:

- يبحث الإستكشاف في المراحل المبكرة من العملية التصميمية عن مجموعة أو مدى من الحلول الجيدة التي تكون غير متوقعة أحيانا وتعدّ لذلك وسيلة للوصول الى تصميم مبدع.
- يساعد الإستكشاف في فضاء المشكلة التصميمية في تحسين فهم المصمم لها، إذ يُمكّن المصمم من تغيير أهداف التصميم مع التتابع في الفعل التصميمي، فهو يحوّر المشكلة ويحسّنها بشكل تدريجي، كما يتوسع بالتفصيل في المواصفات التصميمية.
- يشجع الإستكشاف التغذية الإسترجاعية ضمن الدور الإستكشافي الواحد أو بين الأدوار الإستكشافية المتنوعة والتي تساهم في تعزيز فهم المصمم للمشكلة التصميمية من جهة كما تساهم في تطوير الحل التصميمي.
- يتضمن التوليد الإستكشافي المستعرض والتوليد الإستكشافي المتعمق آليات لتحوير التصاميم السابقة أو الحاليّة لإنتاج طيف واسع من التصاميم البديلة.
- علاوة على إختيار البدائل التصميمية الأفضل، يساهم التقييم الإستكشافي في تطوير البدائل التصميمية عن طريق الكشف عن السلبيات التصميمية التي تحتاج الى إعادة النظر.

وأخيرا، تتنوع المناهج الحاسوبية في توظيفها لمفهوم الإستكشاف، إذ يمكن للبحث تحديد الإتجاه السائد لفعاليات الإستكشاف بين أدوات التصميم موضع الدراسة بما يلي:

- يتمحور الهدف من توظيف فعاليات الإستكشاف في أغلب الأدوات الحاسوبية موضع الدراسة حول تحسين فهم المصمم للمشكلة التصميمية، وتطوير الحل التصميمي وأخيرا إختيار البدائل الأفضل.

- تركز أغلب الأدوات الحاسوبية موضع الدراسة على توظيف أدوار مفهوم الإستكشاف الثلاث المتمثلة بكونه أداة للتحري عن المشكلة التصميمية وأداة لتوليد البدائل التصميمية وأداة لتقييم البدائل الناتجة.
- تركز أغلب الأدوات الحاسوبية موضع الدراسة على الإستكشاف التوليدي المستعرض في إنتاج البدائل التصميمية
- تتراوح سيناريوهات الإستكشاف في الأدوات الحاسوبية موضع الدراسة بين التعاقب وفقا لمبدأ العرض أولا أو التعاقب وفقا لمبدأ الأفضل.
- تتبنى كل الأدوات الحاسوبية موضع الدراسة منهج الإستكشاف المتزامن للبدائل التصميمية.
- تركز الأدوات الحاسوبية موضع الدراسة في إنجاز فعاليات الإستكشاف على الأسلوب الآلي أو الأسلوب التفاعلي بين البرنامج والمستخدم.

7. التوصيات والبحوث المستقبلية

يوصي البحث بإستثمار الإطار النظري لمفهوم الإستكشاف المطروح في هذه الدراسة في المجالات التالية:

- نظرا لأهمية مفهوم الإستكشاف في العملية التصميمية يوصي البحث بإعتماده في مناهج تدريس مادة التصميم المعماري.
- إعتماد مفهوم الإستكشاف أساسا للمقارنة بين كل من التصميم التقليدي اليدوي من جهة والتصميم الحاسوبي من جهة أخرى لإيجاد مناحي التماثل والتباين بينهما.
- إعتماد مفهوم الإستكشاف أساسا للمقارنة بين المناهج الفكرية المتنوعة للأنظمة الحاسوبية.

المصادر

1. Aish, R., & Woodbury, R. F., "Multi-level Interaction in Parametric Design", *Lecture Notes in Computer Science*, 3638, Aug. 2005, 151-162.
2. Andres, M. V. v. E., Turrin, M., & von Buelow, P., "ARCHITECTURAL DNA: A genetic exploration of complex structures", *International Journal of Architectural Computing, 9*(2), 2011, 133-149.
3. Corbett, D., "*Reasoning and Unification over Conceptual Graphs*", Springer, 2003.
4. Dino, İ. G., "Creative design exploration by parametric generative system in architecture", *Metu Jfa*, *29*(1), 2012, 207-224.
5. Falk, A., & von Buelow, P., "*Form Exploration of Folded Plate Timber Structures based on Performance Criteria*", Paper presented at the Taller, Longer, Lighter: Meeting growing demand with limited resources. Proceedings of the 35th Annual Symposium of IABSE and the 52nd Annual Symposium of IASS, London, UK, 20 Sept. - 23 Sept. 2011.
6. Flemming, U., Coyne, R., & Snyder, J., "*Case-Based Design in the SEED System*", Paper presented at the First Congress on Computing in Civil Engineering, Washington D.C., 1994.
7. Flemming, U., & Snyder, J., "*Building and databases: the SEED experience*", Paper presented at the International symposium on applications of computer science and mathematics in architecture and construction, IKM 14, 1997.
8. Garza, A. G. d. S., & Maher, M. L., "Design by interactive exploration using memory-based techniques", *Knowlge Based Systems, 9*(3), 1996, 151-161.
9. Gero, J. S., "Towards a model of exploration in computer-aided design", In J. S. Gero & E. Tyugu (Eds.), *Formal Design Methods for CAD* (pp. 315-336). North-Holland: Elsevier Science Inc, 1994.
10. Gero, J. S., & Kannengiesser, U., "*The function–behaviour–structure view of social situated design agents*", Paper presented at the Proceedings of the CAADRIA 03, Bangkok, Thailand, May 3-5, 2003.
11. Goel, V., "*Sketches of Thought*", Cambridge MIT Press, 1995.

12. Goldschmidt, G., "Quo vadis, design space explorer?", *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 20*, 2006, 105-111.
13. Grobman, Y. J., Yezioro ،A., & Capeluto, I. G., "Non-linear architectural design process", *International Journal of Architectural Computing: Computer-Based Form Generation in Architectural Design – a Critical Review, 08*(01), 2010, 41-53.
14. Poon, J. & Maher, M. L., "Co-evolution and Emergence in Design", *Journal of AI in Engineering*,11(3), 1997, pp.319-327.
15. Kalay, Y. E., "*Architecture's New Media: Principles, Theories, and Methods of Computer-Aided Design*", Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2004.
16. Maher, M. L., & Poon, J., "Modelling Design Exploration as Co-Evolution", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering: The Special Issues of Microcomputers in Civil Engineering on Evolutionary Systems in Design, 11*(3), 1996, 195-209.
17. Navinchandra, D. J., "*Exploring innovative designs by relaxing criteria and reasoning from precedent knowledge*", Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 1987.
18. Robinson, J. W., "Design as exploration", *Design Studies, 7*(2), 1986, 67-79.
19. Turrin, M., von Buelow, P., & Stouffs, R., "Design explorations of performance driven geometry in architectural design using parametric modeling and genetic algorithms", *Advanced Engineering Informatics, 25*, 2011, 656-675.
20. Van Langen, P. H. G., & Brazier, F. M. T., "Design space exploration revisited", *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 20*, 2006, 113-119.
21. von Buelow, P., "*Breeding Bridges: Genetic based form exploration*", Paper presented at the IASS 2006 International Symposium: The 8th Asian Pacific Conference on New Shell and Spatial Structures, Beijing, China, October 16-19, 2006.
22. von Buelow, P., "Advantages of evolutionary computation used for exploration in the creative design process", *Journal of Integrated Systems, Design, and Process Science, 11*(3), 2007, 3-16.
23. Woodbury, R. F., & Burrow, A. L., "A typology of design space explorers", *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 20*, 2006a, 143–153.
24. Woodbury, R. F., & Burrow, A. L. (2006b). Whither design space? *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 20*, 63–82.
25. Woodbury, R. F., Burrow, A. L., Datta, S. & Chang, T.-W, "Typed feature structures and design space exploration", *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 13*, 1999, 287–302.
26. Yilmaz, S., & Seifert, C. M., "Creativity through design heuristics: A case study of expert product design", *Design Studies, 32*, 2011, 384-415.

تم اجراء البحث في كلية ألهندسة = جامعة ألموصل