

تأثير التقييمات الأدائية المتزامنة والمتسلسلة في تقييد التنوع الشكلي للحلول التصميمية

م.م. أياد وليد جلال أسود¹ayad.waleed.jalal@gmail.comأ.م.د. ضحى عبدالغني عبدالعزيز القزاز¹dhuha_kazzaz@yahoo.com

جامعة الموصل – كلية الهندسة – قسم هندسة العمارة/ العراق – الموصل 1-1

المستخلص:

يعد التصميم المعماري الأدائي منهجاً تصميمياً يكون فيه أداء المبنى العنصر الأساسي في توليده وتشكيله. إذ أصبح هذا التوجه ممكناً نتيجة لتطور التقنيات الرقمية التي مكّنت المصمم من محاكاة جودة أداء المبنى حاسوبياً في مجالات تصميمية مختلفة كالمجال الإنشائي والبيئي وغيره. إذ يمثل التقييم الأدائي فعالية أساسية في عملية إشتقاق الشكل المعماري المدفوع أدائياً. وقد تباينت الدراسات في وصفها للمعايير المعتمدة في التقييم الأدائي من حيث نوعها وعددها ومتى وأين وكيف يتم تطبيقها أثناء عملية التصميم المفاهيمي. وبرزت عن الطروحات السابقة عدم وجود تصور واضح حول تأثير الأساليب المتباينة لتقييم المعايير الأدائية (المتزامن والمتسلسل) على تنوع النتائج الشكلية للحلول التصميمية. وبناءً عليه، يتحرى البحث عن تأثير التقييم المتزامن والمتسلسل على تنوع النتائج الشكلية للتصاميم المتولدة. إذ يتبنى البحث دراسة عملية إستكشافية تعتمد إستراتيجية تصميم أدائي حاسوبي مستندة على معايير أدائية متعددة وباستخدام أدوات حاسوبية تجارية للتحري عن تأثير التباين في تطبيق المعايير الأدائية على التنوع الشكلي للبدائل التصميمية المختارة. أظهرت نتائج البحث أن التصاميم الأفضل الناتجة عن التقييم المتزامن للمعايير الأدائية تختلف عن تلك الناتجة عن التقييم المتسلسل كما تختلف التصاميم الناتجة عن عملية التقييم المتسلسل في حالة تغيير تسلسل المعايير الأدائية المعتمدة في تقييمها.

ARTICLE INFO

Received: 12/09/2017

Accepted: 21/05/2018

الكلمات المفتاحية:
التصميم الأدائي، المحاكاة،
التقييم، التقييم المتزامن،
التقييم المتسلسل.

The Effect of Simultaneous and Sequential Performance Evaluations on Restricting the Formal Diversity of Design

Assis. Prof. Dr. Dhuha A. Al-Kazzaz¹dhuha_kazzaz@yahoo.comAyad Waleed Jalal Aswad¹ayad.waleed.jalal@gmail.comUniversity of Mosul / College of Engineering / Department of Architecture Iraq / Mosul¹⁻¹**Abstract:**

Performance-based architectural design is an approach to consider building performance as a key element in its generation and formation. This trend has become possible due to the development of digital technologies which enabled the designer to simulate the building performance digitally in different areas of design such as constructional, environmental, etc. In this approach, the performance assessment is an essential facility in the derivation of architectural form. Previous studies showed different opinions about where, when and how to apply evaluation criteria. Consequently, the research problem has been identified as: there is no clear understanding of the effect of different methods of assessing performance criteria (simultaneous and sequential) on the formal diversity of design alternatives. Accordingly, the paper adopts a computerized design strategy based on specific performance criteria and using commercial CAD software to explore the impact of changing the sequence of performance criteria on the formal diversity of design alternatives. The results show that the best designs resulting from the simultaneous evaluation differ from those resulting from the sequential evaluation. In addition, designs resulting from the sequential evaluation process vary when the sequence of performance criteria adopted in the evaluation is changed.

Keywords:

Performance-based
Design, Simulation,
Evaluation,
Simultaneous
evaluation, Sequential
..Evaluation

المقدمة: التوجه الأدائي في المراحل الأولية لعملية التصميم المعماري

اكتسب موضوع التصميم الأدائي أهميته وأصبح محط الأنظار بسبب ظهور الحاجة الى تطبيق مفاهيم الإستدامة في مجالات العمارة والهندسة والبناء AEC، إذ يحظى تصميم العمارة المستند على الأداء بأهمية في سياق التصميم المستدام والعمارة الخضراء. فالتصميم الأدائي يمثل استجابة الى مواجهة التحديات البيئية التي تؤدي الى استنزاف الموارد ونقص الطاقة، وهو يمثل قفزة نوعية من التركيز على الشكل والجمالية إلى التركيز على الموازنة ما بين الاهتمامات التقليدية في تصميم العمارة وصولاً الى تصميم أفضل في جميع الجوانب وبالأخص الأداء الهيكلي والبيئي (Shi, 2010, p.514).

برز مفهوم العمارة الأدائية في العقود الأخيرة كطريقة للتصميم الأولي تستند على الأداء بوصفه عاملاً موجهاً للتصميم، فهي تهدف إلى توسيع مدى التقييمات الأدائية في مرحلة التصميم المفاهيمي، ومن جانب آخر تدعم التقييمات المعتمدة على التقديرات الحسابية المبكرة. فخلال عملية التصميم يتغير الوصف الجزئي لأهداف ومتطلبات التصميم، فهي تتطور من كونها تعريف مجرد للمواصفات الأدائية الناتجة عن مرحلة التحليل لتصبح معايير قابلة للقياس خلال مرحلة التقييم. فعملية التصميم الأدائي تخالف عملية التصميم المعماري التقليدي التي تكامل المعايير القابلة للقياس في مراحل متأخرة نسبياً من العملية التصميمية. إذ يكون تعاملها مع تلبية متطلبات التصميم بالاعتماد على فكرة المصمم والتركيز على مدى محدود من القضايا الأدائية كالوظيفية والجمالية منها، متجاهلة متطلبات الأداء الأخرى التي يؤجل تقييمها الى مراحل لاحقة في عملية التصميم. وبالنظر لأهمية وتأثير القرارات الموضوعية خلال مرحلة التصميم المفاهيمي على نجاح الحل التصميمي فإن التوجه التقليدي يقلل فرص نجاح العملية التصميمية (Turrin et al, 2011, pp. 656, 658).

وتشير Oxman الى تعريف Kalay لمفهوم الأداء في عملية التصميم المعماري التقليدي، معتبراً أنه يمثل عملية تقييم، حيث يمثل التقييم جزءاً من عملية المحاكاة التي تعمل على تخمين الأداء المتوقع للحل التصميمي المعماري. وبذلك يرتبط مفهوم الأداء في التصميم التقليدي بالفعل التحليلي analytical act للتقييم اللاحق لعمليات التصميم السابقة له والتي تتميز بفعل توليدي generative أو تركيبى synthesis. وتؤكد الدراسة بأن توليد التصميم في عملية التصميم الأدائي التقليدي يتبعها تقييم أدائي والتي قد تشترط عمليات لاحقة من التحويلات التوليدية لتحسين أدائه. وتطرح الباحثة وجهة نظرها بأن الأداء بحد ذاته قد يصبح طريقة لصنع الشكل المعماري، وقد يعتبر التصميم المستند على الأداء توجهاً يصبح فيه أداء البنية العامل الموجه في تصميمها وأنه يمكن توليد المبنى من خلال محاكاة أدائه (Oxman, 2008, p 3). ففي النموذج الأدائي للتصميم المعماري تدخل الشروط الأدائية المطلوبة مباشرة في العمليات التوليدية، فالمحاكاة الأدائية للقوى قد تحوي على أداء الهيكل الإنشائي والبيئي وأداء الكلفة. إذ يجب أن تتضمن النماذج الشكلية الرقمية منطوق خاص يتعلق بكيفية مزامنة كل من التوليد والأداء (Oxman, 2009, pp.1026-1029).

ويشير Kolarevic بان استراتيجية التصميم الأدائي وفقاً لوصف Maver في عام 1980 تتكون من أربع عناصر وهي: التمثيل (Representation)، والقياس (Measurement)، والتقييم (Evaluation)، وأخيراً التحوير (Modification)، إذ يولد المصمم تصميمًا افتراضياً يتم إدخاله في الحاسوب وهو ما يعرف بالتمثيل، وبرامج الحاسوب تتمتع بسلوك التصميم الافتراضي وتنتج مخرجات مقاييس الكلفة والأداء وفق أسلوب التقييم، وأخيراً يقرر المصمم التغييرات الملائمة للتصميم الافتراضي من خلال التعديل (Kolarevic, 2004, p47).

ويعرف Shi ثلاث مراحل لعملية التصميم الأدائي وهي: التوليد Generation والتقييم Evaluation والتكيف Adaption، ويعدّ التقييم هو حلقة الوصل المهمة ما بين التوليد والتكيف. إذ يركز المصمم على أداء التصميم المقترح الذي يمكن تكيفه ليكون مثالياً في تصميمه لتحقيق أفضل أداء. ويعتبر Shi أن محاكاة الأداء في التصميم المستند على الأداء تندرج ضمن عملية التصميم، حيث ينفذ التصميم المفاهيمي باستخدام مناهج تقليدية، وبعد إعداد النموذج التصميمي يتم استخدام برنامج المحاكاة لتحليل واحدة أو عدة حالات أداء يهتم بها المصمم، يليها تحليل نتائج المحاكاة وبعد ذلك يتم تقييمها ويعدل المعماري التصميم بالاستناد الى نتائج التقييم في محاولة لتحسين أداء المبنى المقترح (Shi, 2010, p.515).

ويؤكد Turrin et al. على أهمية عمليات التوليد والتقييم في مرحلة التصميم المفاهيمي باعتبارها من المراحل القابلة للتشخيص والتي يتم فيها تحليل متطلبات التصميم وتمثيلها، ولذا فإن إضافة الشفافية إلى العملية تهدف لدعم نشاطات المصمم وفسح المجال لمساهمة أوسع حتى من معرفة المصمم نفسه وخبرته (Turrin et al, 2011, pp. 656). ويصف الباحثان Preiser & Vischer في كتابهما Assessing Building Performance عملية التصميم الأدائي بأنها

تتضمن جانب تحليلي والثاني تقييمي فهي تبدأ من المشكلة والاحتياجات وأهداف الزبون وتنتهي بالحلول من خلال المطابقة أو المقارنة مع المعايير التي يحددها المصمم وفقاً للأهداف الموضوعية (Preiser & Vischer, 2005, P.4). يتضح مما تقدم أهمية التوجه الأدائي في الفكر والممارسة المعمارية المعاصرة. إذ تؤكد الطروحات السابقة على الدور البارز لفعالية التقييم في بلورة الأفكار التصميمية المعتمدة على الأداء. وعليه سيركز البحث في مشكلته الخاصة على فعالية التقييم في التصميم الأدائي.

1- التقييم الأدائي في عملية التصميم المعماري المفاهيمي

التصميم الأدائي كفعل تقييمي هو عملية قياس كفاءة ونجاح التصميم المقترح للمبنى في القيام بواجبه للوصول الى الهدف المحدد مسبقاً. وتتم هذه العملية في شكل نقد وإعادة نظر في التصميم المقترح خلال مرحلة وضع الفكرة التصميمية، والتي تسمح للمصمم بتصور تأثير القرارات التصميمية على تحقيق المتطلبات الأدائية، مع إمكانية تحويل التصميم في تلك المرحلة المبكرة (Preiser & Vischer, 2005, p.18).

ويطرح Kolarevic مفهوم الأداء المعتمد على المحاكاة الحاسوبية Simulation باعتباره الأساس التكنولوجي لنشوء العمارة الأدائية الكمية والنوعية والتي جعلت فكرة العمارة الأدائية ممكنة (Kolarevic, 2003, p461). وحددت دراسة Grobman & Ron نوعين من توجهات التصميم بالمحاكاة في العمل المعماري وهي: المحاكاة البعدية (after-the-fact) التي تكون فيها المحاكاة بعد التصميم وذلك لأغراض التقييم وهنا يكون الشكل ساكن بارامترياً وتجرى عليه عملية المحاكاة، والمحاكاة القبلية (before-the-fact) حيث تستخدم أدوات المحاكاة الحاسوبية بأسلوب توليدي يسبق التصميم بحيث يتم توليد أشكال معمارية ثلاثية الأبعاد مباشرة من معلومات الأداء. ووفقاً للباحث فإن أغلب الممارسات المعمارية المعاصرة استخدمت أسلوب المحاكاة البعدية الذي يقوم بالمحاكاة بعد التصميم وذلك لأغراض التقييم، وهذا النوع من عملية التصميم يدرس مدى تقارب الحلول التصميمية الأولية مع معايير الأداء ومن ثم يتم تعديل التصميم حسب النتائج لتحسينه (Grobman & Ron, 2011, p107).

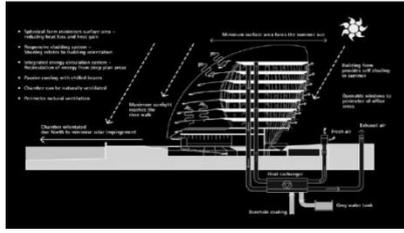
وتعتبر Oxman أن التقييم في التصميم الأدائي يمثل جزءاً من عملية المحاكاة اللاحق لعمليات التصميم. وأوضحت أن أنظمة التصميم الرقمية في التطبيقات المعمارية تتضمن ثلاث مكونات تدعم عملية التصميم الأدائي عن طريق تكاملها مع بعضها البعض وهي النموذج الجيومترى Geometry Model الذي يصاغ بأسلوب قادر على التحول والتوليد وفقاً لمدخلات عملية التقييم، ومن ثم عمليات التقييم Evaluation Processes التي يمكن أن تتكامل مع النموذج الجيومترى لإنتاج عمليات التحويل/التوليد في النموذج، تليها المرحلة التفاعلية Interactivity التي يوفرها النظام الحاسوبي للمصمم كمشرف على العمليات المختلفة من خلال وصفه للنماذج الخوارزمية لتوليد الشكل أو تعديله أو كلاهما (Oxman, 2008, p 3).

وبناءً على ما تقدم تعتمد عملية التصميم الأدائي فعالية التقييم ضمن توجه المحاكاة البعدية التي تختبر مدى تلبية المتطلبات التصميمية للمعايير الأدائية التي تتنوع ما بين البيئية والانشائية والاقتصادية... الخ، بهدف إستكشاف الخصائص الشكلية للحل التصميمي الأفضل. إذ يركز البحث في الفقرة التالية على دور معايير التقييم الأدائي الحاسوبي في توليد الشكل في طور التصميم المفاهيمي.

2- توظيف معايير التقييم الأدائي الحاسوبي في توليد الشكل

أشارت الدراسات الى دور مفهوم التقييم الأدائي الحاسوبي في بلورة الشكل المعماري. إذ تطرح دراسة Oxman مثلاً على ذلك وهو مشروع تصميم مقر بلدية لندن عام 2002 من قبل Foster and Partners والذي إعتمد معيارين أدائيين هما تحسين أداء الطاقة وتحسين أداء الصوت. حيث تم وضع توازن ما بين الشكل المثالي وبساطة الإنشاء، فكان التحكم البعدي بالشكل الكروي المشوه (الشكل 1) يهدف إلى جعل الغلاف الخارجي أقل مساحة مما يقلل خسارة الطاقة وتحقيق الظل الذاتي، والزيادة القصوى لمقدار الإنارة الطبيعية والتهوية، وتحسين الأداء الصوتي وذلك من خلال استخدام تقنيات محاكاة الأداء البيئي متكاملة مع تحويل الأبعاد الجيومترية للواجهة المنحنية.

(Capeluto and Yezioro, 2012, p183) (Oxman, 2009, p1032)



الشكل 1: قاعة مدينة لندن (Abel, 2004, pp.146,154)

وتعرض Oxman (2008 و 2009) تجربة عملية تعتمد المعايير الأدائية المتمثلة بعامل الرياح أساسا في توليد الشكل وإعتماد عامل الإضاءة أساسا في إختيار الشكل وتعديله. ويمثل الشكل المصمم قشرة خارجية (غلاف) تعمل على حماية المبنى من اشعة الشمس، وتم تصميم واجهة البناية بطريقة تجعل المتحسسات التي فيها قادرة على الحركة الديناميكية وتعديل الفتحات في القشرة الخارجية إستجابة الى حركة الرياح مستخدمة البرمجيات الحاسوبية (3d Max ونظام CFD).

وتطرح Fasoulaki مفهوم التصميم المتكامل Integrated Design: وهو مصطلح يطلق على عملية التحول من التصميم التوليدي الأدائي الذي يستخدم الحاسوب في التوليد والتقييم الآلي لمجموعة من الحلول التصميمية والذي يُعنى بتلبية الأداء من مجال واحد للمبنى الى التصميم التوليدي المتعدد الأداءات Generative Multi-Performance Design الذي يعنى بأكثر من أداء واحد للمبنى ومن تخصصات مختلفة (Fasoulaki, 2008, p27). وأشارت الباحثة الى مفهوم بيئات المحاكاة المتعددة المعالجات Multi-Physics Simulation Environment الذي يعمل على التحليل والتنبؤ المتزامن لعدد من المعايير الأدائية المترابطة ومن مجالات مختلفة لتلبية هذه العمليات في بيئة واحدة. ومثالا لذلك تشير الباحثة لنموذج ANSYS وهو نظام متعدد المعالجات يكامل الهيكل الانشائي والحرارة وحركة الموائع وتقييمها في بيئة موحدة (Abel, 2004, p37). وتعرض الباحثة تجربتين عمليتين تعتمد فيهما الخوارزميات الوراثية نظاما للتوليد، ففي التجربة الأولى تم تقييم التصاميم المتولدة وفقا للمعايير الأدائية المتعددة بشكل متزامن وفي أكثر من مرحلة واحدة. إذ إستخدمت الباحثة معيار الإضاءة النهارية الذاتية ومعيار الإضاءة النهارية المفيدة ومعيار معامل الإضاءة النهارية لغرض تقييم جودة الأشكال المتولدة في الجيل الأولي وفي الأجيال اللاحقة الناتجة عن عمليات التزاوج والطفرة للتصاميم الأفضل أداءا لمبنى ناطحة السحاب (Fasoulaki, 2008, pp. 46,47) (الشكل 2). وفي التجربة الثانية تم تطبيق المعايير الأدائية المتعددة المختلفة على الجيل الأولي وعلى الأجيال اللاحقة وهي معيار جودة التطبيق، ومعيار جودة الهيكل الانشائي، ومعيار جودة التشميس، إذ كان تطبيقها بشكل متزامن وبصورة مستقلة لكل معيار لإيجاد الشكل المثالي لكل أداء على حدة (Fasoulaki, 2008, p58).



الشكل 2: تسلسل مراحل عملية التصميم التوليدي الأدائي في التجربة الأولى للباحثة Fasoulaki

وتعتمد تجربة Grobman et al. المعايير الأدائية المتعددة وتطبيقها في أكثر من مرحلة في توقيت متسلسل ومتعاقب. إذ تختلف هذه المعايير في كل مرحلة عن المرحلة السابقة أو اللاحقة لها. وقد تم اعتماد مجموعة من المعايير لتوليد اغلفة المبنى تراعي القيود والشروط المحددة للتصميم ثم تبعه استخدام معياري الرياح والتظليل. وبعدها قام الباحث باستخدام ثلاث معايير لتقييم النتائج وهي معايير ملائمة الطوابق ومعيار التصنيف العام للقيمة الكلية والمعيار الثالث هو معيار الأداء البصري والعلاقات الجمالية، وأخيرا استخدام معيار التعرض الشمسي للواجهات المحيطة بالمبنى المصمم المتمثلة بمعيار حق التشميس ومعيار اشعة الشمس المكتسبة لقياس مدى تأثير التصميم على المجاورات (Grobman et al., 2007, pp 43-47). ووفقا للباحثين Turrin et al. فإنه يتم توليد الأشكال بإستخدام برمجية توليد خاصة بالبحث هي ParaGen يليها تقييم النواحي الأدائية لكل حل هندسي بإستخدام برامج محاكاة تجارية كبرنامج

Ecotect لمحاكاة الأداء الحراري والإضاءة النهارية وبرنامج STAAD.Pro للتحليل الإنشائي الذي يمثل برمجية FEA للتقييمات الهيكلية الإنشائية. ويمكن جمع عدة قيم للأداءات المختلفة كمعدلات موزونة لإنتاج درجة كلية تستخدم كدالة لجودة للتصميم. (Turrin et al, 2011, p663)

مما تقدم يتضح أن الدراسات السابقة حول التصميم الأدائي التوليدي توظف معايير أدائية متعددة يمكن أن يستجيب لها الشكل الخارجي للمبنى ويتكيف وفقا لنتائجها ضمن عملية حاسوبية تتضمن برمجيات محاكاة الأداء performance simulation التي توفر امكانية التنبؤ بأداء تصميم المبنى. فمثلا دراسة Oxman إستخدمت معيار أداء الرياح في توليد التصاميم ومن ثم إستخدمت معيار الإضاءة في إختيار البدائل الأفضل. واستخدمت Fasoulaki معيار الإضاءة النهارية ومعيار التطبيق ومعيار الأداء الهيكلية ومعيار التشميس. واستخدم Grobman معايير أدائية متعددة منها: معيار أداء الرياح ومعيار حق التشميس ومعيار اشعة الشمس المكتسبة. اما دراسة Turrin et al. فقد إعتمدت الأداء الإنشائي والأداء البيئي متمثلا بمعيار أداء الطاقة ومعيار الراحة الحرارية ومعيار الإضاءة النهارية ومعيار كسب الأشعة الشمسية. إذ إسمت هذه الدراسات بتعددية المعايير الأدائية التي تعتمدها والتي تباينت في أسلوب تقييمها للبدائل التصميمية المتولدة بين التقييم المتزامن (أي تطبيق المعايير المتنوعة في آن واحد) أو التقييم المتسلسل (أي تطبيق كل معيار على حدة لإختيار التصاميم الأفضل التي تخضع بدورها الى التقييم وفق المعيار الأدائي التالي وهكذا). ونظرا لأهمية فعالية تقييم المعايير الأدائية وتأثيرها في عملية إختيار الحل النهائي الأفضل أداءا أو مجموعة الحلول التصميمية الأفضل أداءا، تظهر الحاجة الى إستكشاف تأثير التباين بين أسلوب التقييم المتزامن والمتسلسل للمعايير الأدائية على تقييد التنوع الشكلي للتصاميم الأفضل أداءا التي يتم إختيارها.

3- مشكلة البحث وأهدافه وفرضياته

بناءً على ما تقدم، تم تحديد مشكلة البحث وهي: (عدم وجود تصور واضح حول تأثير الأساليب المتباينة لتقييم المعايير الأدائية (المتزامن والمتسلسل) على تقييد التنوع في الناتج الشكلي للبدائل التصميمية التي يتم إختيارها). وفي ضوء مشكلة البحث تم تحديد هدفه بالتحري عن تأثير الأساليب المتنوعة للتقييم على تنوع الناتج الشكلي للتصاميم الأفضل أداءا. إذ يعتمد البحث المنهج التجريبي في تحريه عن تأثير التباين في تطبيق المعايير الأدائية على التنوع الشكلي للبدائل التصميمية المختارة وذلك عن طريق التطبيق العملي لإستراتيجية تصميم أدائي حاسوبي مستندة على معايير أدائية معينة وباستخدام أدوات حاسوبية تجارية. إذ يطرح البحث تصورات الإفتراضية التالية حول أثر التحديد الزمني لتطبيق المعايير الأدائية على تنوع الناتج الشكلي للتصاميم المختارة بوصفها الأفضل أداءا وكما يلي:

اولا: يفترض البحث أن التصاميم الأفضل أداءا الناتجة عن التقييم المتزامن والمتسلسل للمعايير الأدائية يكون تنوعها الشكلي أقل من مجموعة التصاميم الكاملة التي يتم إختيارها منها.

ثانيا: يفترض البحث أن التصاميم الأفضل أداءا الناتجة عن التقييم المتزامن للمعايير تختلف شكليا عن تلك الناتجة عن التقييم المتسلسل، وأن التصاميم الأفضل أداءا الناتجة عن التقييم المتسلسل للمعايير تختلف شكليا في حالة تغيير تسلسل تطبيق المعايير.

ثالثا: يفترض البحث أن نسبة الإختلاف الشكلي الناتجة عن المقارنة بين التصاميم الأفضل للتقييم المتزامن للمعايير وأي مسار من مسارات التقييم المتسلسل تكون أقل من نسبة الإختلاف الشكلي بين التصاميم الأفضل الناتجة عن مقارنة مسارين مختلفين من مسارات التقييم المتسلسل.

رابعا: يفترض البحث أن التصاميم الأفضل الناتجة عن التقييم المتزامن للمعايير تكون خصائصها الشكلية أقل تنوعا وتباينا فيما بينها من التصاميم الناتجة عن التقييم المتسلسل.

4- الدراسة العملية

يتحرى البحث عن تأثير التقييم المتزامن والتقييم المتسلسل للمعايير الأدائية على تنوع الناتج الشكلي عن طريق تبني إستراتيجية تصميم أدائي توليدي باستخدام التقنيات الحاسوبية. إذ يتناول البحث في الفقرات التالية تصميم الدراسة العملية ومن ثم يعرض مراحلها بالتفصيل.

1.4 تصميم التجربة العملية

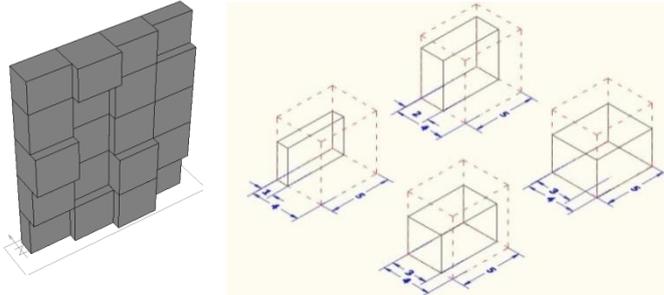
يقدم البحث وصفا للشكل الجيومترى المقترح لأغراض البحث، والمواصفات الأدائية والبرامج الحاسوبية التي يعتمدها.

1.1.4 تعريف الشكل الهندسي Geometry

يعتمد البحث منهج تصميم توليدي يتبنى شكلا افتراضيا اوليا ذي خصائص بعدية متغيرة تساعد في عملية توليد مجموعة من الحلول البديلة، تكون هذه الخصائص بمثابة المواصفات او النمط الجيني (Genotype) المعرفة لهوية الشكل المولد، وتميز البدائل الشكلية ادهم عن الاخر، كما وتعمل هذه الصفات على تحسين أو تقليص قدرة الشكل على تلبية الأداء المطلوب من قبل المصمم او الزبون.

اولا: النموذج البدئي

تم وضع تصميم اولي افتراضي للنموذج البدئي الذي سيخضع لعمليات التوليد، وهو عبارة عن مبنى مكون من خمس طوابق بأبعاد أفقية 20م x 20م وارتفاع يتراوح بين 15م كحد أدنى الى 25م كحد أقصى، مكون من هيكل الشكل (Body) وغلاف الشكل (Envelope) والذي سيخضع لعمليات التقييم المختلفة. يتكون غلاف الواجهة من مجموعة من الوحدات الصندوقية Boxes المتغيرة الابعاد بعدد 20 وحدة، ويعتمد تصميم النموذج البدئي على خصائص بعدية ساكنة واخرى متغيرة، إذ تمثل الخصائص البعدية الساكنة لهيكل الشكل (Body) كل من: عمق وعرض هيكل المبنى وهو 20م x 20م، وسمك السقف والمحدد بمقدار 20سم. بينما تمثل الخصائص المتغيرة ارتفاع الطوابق والتي تتراوح ما بين 3م - 5م. وتتضمن الخصائص البعدية لغلاف الواجهة المتكون من الوحدات الصندوقية كلا الخصائص الساكنة المتمثلة بعرض الوحدة وهو (5م) والخصائص المتغيرة المتمثلة بكل من بروز الوحدة (V) : والذي يتراوح مداه ما بين (1م - 4م) ويتغير بمقدار 1م لينتج أربع احتمالات بعدية وهي (1م ، 2م ، 3م ، 4م)، وارتفاع الوحدة (H) : والذي يتراوح مداه ما بين (3م - 5م) ويتغير بمقدار (1م) لينتج ثلاث احتمالات بعدية وهي (3م ، 4م ، 5م). وقد تم اعتماد هذا التباين في كل من بروز وإرتفاعات الوحدة لغرض الحصول على تنوع شكلي يؤدي الى بيانات أدائية متباينة لأغراض التحقق من فرضيات الدراسة. إذ ينتج عن التغير في الخصائص البعدية للوحدات الصندوقية إثني عشر احتمالا شكليا لكل وحدة صندوقية والتي تتنوع أيضا في مواقعها من الواجهة. وكما موضح في الشكل (3).



الشكل 3: نماذج من الوحدات الصندوقية المكونة للغلاف يميناً ونموذج لغلاف المبنى يساراً (المصدر: الباحثان)

ثانياً: مواصفات النمط الجيني للشكل (Form Genotype)

اثناء عملية التوليد الحاسوبي باستخدام تقنية التصميم الباراميتري تنتج الأشكال المتولدة في خصائصها البعدية كنتيجة للتغيير في ابعاد الوحدات الصندوقية لغلاف المبنى. وتعد المواصفات البعدية خصائص جينية للشكل المصمم تعرف هويته بدلالة (Form ID) رقمي يمكن من خلالها تمييز تصميم عن الاخر. ونتيجة لاحتواء غلاف واجهة النموذج البدئي على (20) وحدة صندوقية وكل وحدة تتضمن بعدين متغيرين فان كل شكل متولد يمتلك (40) بعداً متغيراً (Genes) تمثل الكروموسوم الخاص بالنمط الجيني لذلك التصميم، وكما موضح في الشكل (4). فعلى سبيل المثال، تمثل قيمة V1 مقدار عمق الوحدة الصندوقية الأولى للتصميم وتمثل قيمة H1 ارتفاعها.

ID	V1	H1	V2	H2	V3	H3	V4	H4	V5	H5	V6	H6	V7	H7	V8	H8	V9	H9	V10	H10	V11	H11	V12	H12	V13	H13	V14	H14	V15	H15	V16	H16	V17	H17	V18	H18	V19	H19	V20	H20
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

الشكل 4: مخطط يمثل هيكل الكروموسوم الخاص بالنمط الجيني للنموذج الشكلي (المصدر: الباحثان)

2.1.4 المعايير الأدائية

لغرض اختيار الحل الأفضل تم وضع اسس ومعايير أدائية للمفاضلة بين الأشكال وهي: معيار التعرض الشمسي Solar Exposure و معيار التظليل Shading و معيار معامل الإضاءة النهارية Daylight Factor. وتم إختيار هذه المعايير لكونها الأكثر تأثيراً على نجاح المبنى بيئياً بالإضافة الى توفر البرمجيات الحاسوبية التجارية القادرة على محاكاة أداءها وتمثيل النتائج لغرض المقارنة. حيث ان معيار التعرض الشمسي ومعيار التظليل لهما تأثير مباشر على كمية الانتقال الحراري للمبنى وبالتالي يؤثر على الراحة الحرارية لمستخدمي المبنى، بينما يقيس معامل الإضاءة النهارية كمية الإضاءة الداخلة لفضاءات المبنى المختلفة. وقد تم اخضاع الأشكال المتولدة لعملية التقييم في ظروف قياس افتراضية من حيث المكان: المتمثل بالعراق - الموصل وقد تم توجيه المبنى باتجاه الجنوب، والزمان: حيث تمت المحاكاة البيئية لاختبار النماذج بشكل افتراضي في فصل الصيف في شهر تموز July.

3.1.4 الأدوات الحاسوبية المستخدمة في عملية المحاكاة لتقييم المعايير

أولاً: برمجية Rhino وهي إحدى البرمجيات التجارية¹ الكرافيكية الثلاثية الابعاد التي تسمح للمستخدم ببناء الاوامر والقوائم الخاصة به لإنجاز مهام مختلفة من خلال استخدام البرمجة النصية.
ثانياً: برمجية Ecotect Analysis وهي اداة تحليل بيئي تسمح بمحاكاة أداء المبنى من المراحل المبكرة للتصميم.
ثالثاً: برمجية DIVA وهي برمجية تمكن للمستخدم من حساب خارطة الوهج الشمسي الموسمية ومعامل الإضاءة النهارية وديناميكية حركة الظل على المباني وغيرها. لا توفر هذه البرمجية شاشة تفاعلية ولكنها توفر لوحات إعدادات تمكن المستخدم من وضع شروط العمل وظروفه المحيطة.

2.4 مراحل التجربة العملية

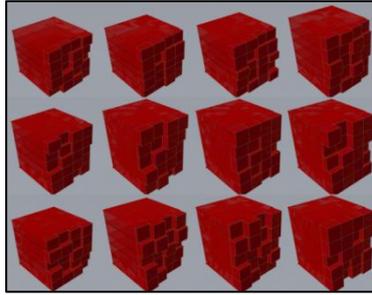
تتكون خطوات الدراسة العملية من أربع مراحل وهي:



1.2.4 مرحلة التوليد الشكلي

بعد الانتهاء من عملية صنع الشكل الجيومترى للنموذج البدئي في برمجية AutoCAD، تم اعتماده في توليد الأشكال بالاستناد الى معيار التنوع الشكلي من خلال استخدام برمجية Rhino الحاسوبية التي تعتمد على تقنية التصميم البارامتري والخوارزميات العشوائية. إذ يقوم البرنامج بتوليد عدد كبير من الأشكال في كل جولة توليدية، وفي هذه التجربة تمت عملية توليد الأشكال في ثلاث جولات توليدية، علماً أن عدد الجولات تحدد وفق رغبة المصمم، حيث يؤدي زيادة عدد الجولات الى زيادة احتمالات الحلول المتولدة إلا أنها تستغرق زمناً أكبر. وقد تم توليد أكثر من 100 نموذج شكلي في كل جولة، ويقوم البرنامج آلياً بإختيار أفضل التكوينات المتولدة والتي تتمتع بأفضل تنوع شكلي. وقد إختار البرنامج (114) نموذجاً شكلياً وفقاً لأداء التنوع الشكلي من مجموع النماذج المتولدة في الجولات الثلاث بواقع (30) نموذجاً شكلياً في الجولة الاولى، و (34) نموذجاً شكلياً في الجولة الثانية، اما الجولة الثالثة فقد إختار البرنامج (50) نموذجاً شكلياً. يعرض الشكل (5) نماذج من الأشكال المتولدة من الجولات الثلاث والتي اختارها برنامج Rhino بشكل آلي. وبعد توليد واختيار الأشكال الأكثر تنوعاً يتم تحويل مواصفات الخصائص الشكلية آلياً الى برمجية Excel Spread Sheet التي تقوم بدورها بتسجيل الخريطة الجينية لكل شكل متولد. وكما موضح في الشكل (6).

¹ حصل الباحث على الرخصة من القائمين على ادارة برنامج Rhino لإستخدامه لأغراض البحث مجاناً في الدراسة العملية.



الشكل 5: نموذج من الأشكال المتولدة من الجولات الثلاث باستخدام برمجية Rhino (المصدر: الباحثان)

ID	V1	H1	V2	H2	V3	H3	V4	H4	V5	H5	V6	H6	V7	H7
1	3	4	2	3	1	4	3	4	2	4	2	4	2	
2	3	4	1	4	1	3	1	4	2	4	1	4	3	
3	2	3	3	3	1	4	2	3	3	4	1	3	3	
4	2	4	2	4	3	4	3	4	3	4	2	4	2	

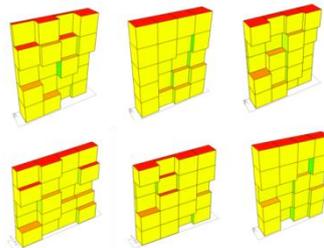
الشكل 6: يمثل عينة من الخرائط الجينية لمجموعة من الأشكال باستخدام برمجية Excel (المصدر: الباحثان)

بعد ذلك تم إخضاع الأشكال المختارة آليا من قبل برمجية Rhino الحاسوبية لعملية الترشيح من قبل الباحثين لتقليل التشابه بين بعض الأشكال المتولدة. وعليه فقد أصبح عدد الأشكال الجاهزة لعملية التقييم الأدائي هي (101) حيث تم استبعاد (13) شكلا. ومن الجدير بالذكر ان عمليات التوليد الشكلي تبدأ في كل جولة من الجولات الثلاث بنفس النموذج البدئي والذي تكون جميع جيناته في اقل قيمة لها وهي 3م لارتفاعات و 1م للبروز. وبعد توليد الأشكال وتحديد المواصفات البعدية للخصائص الشكلية (Genotype) يتم تقييمها أدائيا عن طريق المحاكاة وباستخدام الأدوات الحاسوبية Autodesk Ecotect Analysis و DIVA ضمن نظام حاسوبي غير متوافق يتم فيه استخدام بعض الملحقات لتوفير لغة مشتركة متوافقة ما بين البرمجيات المختلفة.

2.2.4 مرحلة التقييم الأدائي للأشكال المتولدة

بعد إنجاز عملية توليد الأشكال حاسوبيا واختيار الأشكال الأكثر تنوعا بعملية الترشيح، سيتم في هذه المرحلة تقييم الأشكال المتولدة أدائيا بالاستناد الى ثلاث معايير أدائية وهي معيار التعرض الشمسي Solar Exposure ومعيار التظليل Shading ومعيار معامل الإضاءة النهارية Daylight Factor.

اولا: معيار التعرض الشمسي Solar Exposure Criteria، إذ يعتبر معيار التعرض الشمسي احد المعايير المهمة في عملية الانتقال الحراري من والى المبنى. وبما ان التصميم الافتراضي هو لمبنى في منطقة ذات ظروف بيئة حارة فان تحسين الجودة تكون بتقليل الانتقال الحراري الى داخل المبنى في فصل الصيف عن طريق خفض كمية أشعة الشمس الساقطة عليه. وبناءا عليه، فإن عملية حساب جودة هذا المعيار تتناسب عكسيا مع كمية التعرض الشمسي. وقد تم اخضاع الأشكال المتولدة لعملية التقييم باستخدام برمجية Ecotect Autodesk، حيث تم حساب النتائج كمعدل لشهر تموز وبوحدة (Wh/m²). إذ يقاس مخطط التعرض الشمسي للبرنامج كمية الاشعاع الشمسي الساقط على سطح او مجموعة من الاسطح لنموذج التصميم قيد الدراسة ويعرض المعلومات والبيانات كما موضح في الشكل (7).



الشكل 7: نماذج من الأشكال الخاضعة لعملية التقييم بمعيار التعرض الشمسي في الاول من تموز الساعة 1 ظهرا باستخدام برمجية Ecotect (المصدر: الباحثان)

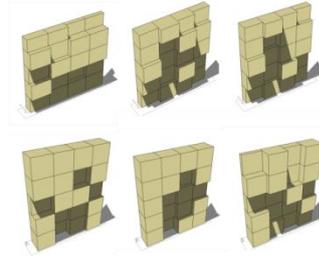
ثانيا: معيار التظليل Shading Criteria، يكتسب معيار التظليل اهمية في التأثير على جودة الأشكال الأفضل بيئيا، فالزيادة في كمية المساحة السطحية المظلمة يساعد على تقليل عملية الانتقال الحراري من الخارج الى الداخل. ويتم حساب

هذا المعيار باستخدام برمجية Ecotect Autodesk أيضا حيث يقوم البرنامج بحساب معدل النسبة المئوية للأسطح الواقعة في الظل كما موضح في الشكل (8).

الشكل 8: نماذج من الأشكال الخاضعة لعملية التقييم بمعيار التظليل

في الاول من تموز الساعة 1 ظهر باستخدام برمجية Ecotect

(المصدر: الباحثان)



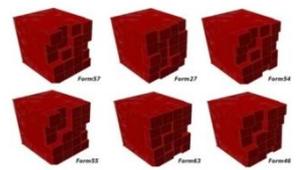
ثالثا: معيار معامل الإضاءة النهارية **Daylight Factor Criteria**، يعرف معامل الإضاءة النهارية معماريا على انه النسبة ما بين مستوى الإضاءة الداخلية للمبنى مقسوما على مستوى الإضاءة الخارجية (خارج المبنى) وحسب المعادلة التالية: $(DF = (Ei / Eo) \times 100\%)$ ، ويستخدم معيار الإضاءة النهارية لتقييم مستوى الإضاءة الطبيعية الداخلية حيث وتحديد كفاءة الإضاءة للسماح للشاغلين بالقيام بفعاليتهم ضمن الفضاء الداخلي. ولغرض تقييم الأشكال المتولدة وفق معيار معامل الإضاءة النهارية تم استخدام برمجية Diva لمحاكاة معامل الإضاءة في ظروف افتراضية تعتبر أن المساحة السطحية الكلية لكل وحدة صندوقية من الزجاج المنفرد وبسمك 8.8 ملم عدا أرضية المكعب. وتم إفتراض أن الجدران الخارجية ذات سمك 30سم مع مواد التغليف وأن السقف بسمك 70سم من ضمنه مواد تغليف السقف الثانوي.

بما أن الهدف من اجراء التجربة العملية هو استكشاف مدى تأثير التقييم المتزامن (بوقت واحد) وغير المتزامن (المتسلسل) على تنوع التصاميم المختارة بوصفها الأفضل أداءً أولاً، واستكشاف مدى تأثير التغيير في تسلسل تقييم المعايير الأدائية على تنوع التصاميم المختارة بوصفها الأفضل أداءً ثانياً، لذا يعتمد البحث أسلوبين للتقييم الأدائي هما:

أولاً : التقييم المتزامن Simultaneous Evaluation: تم إخضاع الأشكال المتولدة لعملية المحاكاة الأدائية باستخدام برمجية Autodesk Ecotect و برمجية Diva لإيجاد قيم المعايير الأدائية الثلاث بشكل متزامن (في وقت واحد) لمجموعة التصاميم البالغة (101) شكلاً، حيث تم إخضاع الأشكال للتقييم وفق أداء التعرض الشمسي Solar Exposure وأداء التظليل Shading وأداء الإضاءة النهارية Daylight Factor. وبعد ظهور النتائج الأولية تم قياس الأداء الأفضل بطريقة الامثلية المتعددة الاهداف حيث تم وضع وزن (Weight) متماثل لكل أداء وقيمه (0,333) لإعطاء أفضلية متساوية لجميع المعايير الأدائية. بعد ظهور النتائج تم ترتيب الأشكال من الحل الأفضل أداءً الى الحل الأسوأ باستخدام برمجية Excel Spread Sheet واختيار الأشكال الستة الأفضل كما في الجدول (1). من الجدير بالملاحظة أن أفضل الأشكال أداءً هو الشكل رقم 57 وبمعدل جودة أداء مقدارها 80,3% من بين جميع الأشكال المتولدة الخاضعة لمحاكاة الأداء والبالغ عددها 101 شكلاً.

جدول 1: التصاميم الستة الاولى الناتجة عن عملية التقييم المتزامن مع قيم أدائها (المصدر: الباحثان)

No.	Form ID	Best Result %
1	57	80.32954478
2	27	80.2180259
3	54	80.02045405
4	63	79.53992992
5	61	78.59675949
6	55	78.47104794



وقد تم حساب جودة كل معيار أدائي لكل تصميم ضمن مقياس تناسبي يعطي للتصميم الأعلى أداءً في نتائج المحاكاة لكل معيار القيمة (100) كمقياس لجودته في ذلك المعيار بينما يأخذ التصميم الأدنى جودة في ذلك المعيار قيمة (صفر). أما التصاميم الأخرى التي تتراوح قيم أدائها بين الحد الأدنى والأعلى فيتم حساب قيم جودتها كما في المعادلة التالية: قيمة الجودة للمعيار = (قيمة الأداء للتصميم - القيمة الأدنى لذلك الأداء) // الفرق بين القيمتين الأعلى والأدنى لذلك الأداء * 100، وبسبب أن جودة معيار التعرض الشمسي تتناسب عكسياً مع كمية التعرض الشمسي المحسوبة في برنامج المحاكاة لذا يتم طرح

الناتج المحسوب وفق المعادلة أعلاه من مئة، بحيث تكون جودة التصميم الذي يسمح بأكبر كمية تعرض شمسي صفر والذي يسمح بأقل كمية تعرض شمسي مئة. يوضح الجدول (2) قيم الأداء لكل تصميم من التصاميم الستة.

جدول 2: يمثل قيم المعايير الأدائية للتصاميم الستة الأفضل الناتجة عن التقييم المتزامن باستخدام برمجية Excel (المصدر: الباحثان)

No.	Form ID	Fitness of Daylight Factor	Fitness of Shade	Fitness of Solar Exposure
1	57	100	58.62068966	84.80217331
2	27	96.28623172	62.06896552	84.72972973
3	54	95.27376487	62.06896552	85.14349401
4	63	87.2528883	65.51724138	88.25996099
5	61	85.12480444	65.51724138	87.52995263
6	55	93.70784032	58.62068966	85.46252438

ثانياً: عملية التقييم المتسلسل **Sequential Evaluation**: في عملية التقييم المتسلسل تم اخضاع الأشكال المتولدة لعملية المحاكاة الأدائية بشكل متسلسل مع ترشيح التصاميم على ثلاث مراحل وفق معيار أداء التعرض الشمسي Solar Exposure ومعيار أداء التظليل Shading ومعيار أداء الإضاءة النهارية Daylight Factor وفقاً لإحتمالات التسلسل الثلاث التالية (A, B, C)، وكما موضح ادناه كما في الشكل (9):

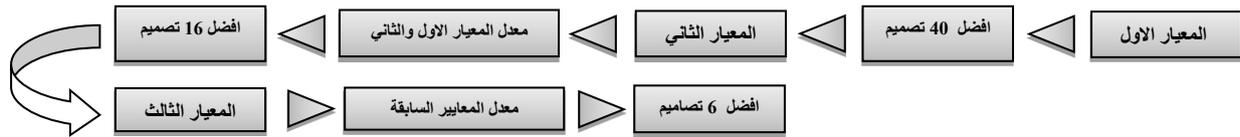


الشكل 9: يمثل A تسلسل التقييم للمعايير الأدائية بدءاً من الإضاءة يليه التعرض الشمسي ثم التظليل، ويمثل B تسلسل التقييم بدءاً من التعرض الشمسي يليه التظليل ثم الإضاءة، ويمثل C تسلسل التقييم بدءاً من التظليل يليه الإضاءة ثم التعرض الشمسي (المصدر: الباحثان)

إذ تخضع التصاميم الكاملة والبالغة (101) شكلاً إلى المعيار الأدائي الأول ويتم اختيار أفضل 40% من التصاميم والبالغة (40) تصميماً لإخضاعها إلى المعيار الأدائي الثاني، ومن ثم يتم اختيار أفضل 40% منها والبالغة (16) تصميماً لتخضع إلى المعيار الأدائي الثالث، وأخيراً يتم اختيار أفضل 40% منها والبالغة (6) تصاميم لتمثل التصاميم الأفضل. ويعتمد البحث طريقتين في حساب الكفاءة الأدائية للأشكال خلال التقييم المتسلسل: الطريقة الأولى (إعتماد التأثير الفردي Individual impact للمعيار الأدائي في عملية الترشيح): يتم من خلالها ترشيح أفضل 40% من التصاميم اعتماداً على قيمة معيار أدائي واحد لكل مرحلة من المراحل الثلاثة وبمعزل عن تأثير قيمة المعيار السابق له في حالة المعيارين الثاني والثالث. أي يؤخذ ناتج كل تقييم أدائي بشكل مستقل، وبعد الوصول إلى التصاميم الستة الأفضل يتم جمع قيم أدائها الثلاثة لترتيبها تنازلياً من الأفضل أداءاً إلى الأقل.



الطريقة الثانية (إعتماد التأثير التراكمي Accumulated impact للمعايير الأدائية في عملية الترشيح): يتم من خلالها ترشيح أفضل 40% من التصاميم اعتماداً على حساب مجموع تأثير التقييمات المتسلسلة للمعايير الأدائية أي تؤخذ الأشكال الأفضل البالغة 40 شكلاً والناتجة من تقييم المعيار الأدائي الأول ومن ثم تخضع إلى المعيار الأدائي الثاني ويتم إيجاد معدل التقييمين الأدائيين الأول والثاني لإختيار أفضل 16 تصميماً التي تخضع للتقييم وفق الأداء الثالث وبعدها تحسب معدل المعايير الثلاث لإختيار أفضل ست نماذج شكلية.



3.2.4 مرحلة تحليل البيانات: قياس التنوع الشكلي

يعتمد البحث طريقتين في مقارنة درجة التنوع الشكلي بين مسار التقييم المتزامن ومسارات التقييم المتسلسل وهما:
أولاً: المقارنة بين التصاميم الأفضل معرفة بدلالة (ID) أساسا في إستكشاف التباين بين مسارات التقييم، وذلك بهدف التحري عن نسبة الإختلاف بين التصاميم الأفضل الناتجة عن مسار التقييم المتزامن وكل مسار من مسارات التقييم المتسلسل. وكذا مقارنة نسبة الإختلاف بين التصاميم الأفضل الناتجة عن مسارات التقييم المتسلسل.
ثانياً: المقارنة بين نتائج مقياس التنوع الشكلي الجيني لكل مسار أساسا في إستكشاف التباين بين مسارات التقييم. إذ تختلف درجة التنوع الشكلي ما بين التصاميم الست الأفضل المتولدة من عملية التقييم المتزامن او الناتجة من كل مسار من مسارات التقييم المتسلسل A و B و C بطريقتيه التراكمي والانفرادي، حيث يتم إحتساب درجة التنوع بالإعتماد على مقدار الاختلاف الموجود في قيمة الجين نفسه بين الأشكال الست الأفضل للمسار الواحد. وللوصول لقيمة التنوع الشكلي الجيني بصورة دقيقة تم اعتماد طريقة حسابية تمثلت بالمعادلتين التاليتين وكما يلي: لحساب درجة التنوع في جينات عمق الوحدة الصندوقية (V) والذي تتراوح قيمه بين (1، 2، 3، 4) نستخدم المعادلة التالية: $[(6 - A / 4) * (B / 4) * 100\%]$ ولحساب درجة التنوع في جينات ارتفاع الوحدة الصندوقية (H) والذي تتراوح قيمه بين (3، 4، 5) نستخدم المعادلة التالية: $[(6 - A / 4) * (B / 3) * 100\%]$. ففي كلا المعادلتين يمثل الرقم 6 عدد التصاميم الكلية بينما يمثل A أكبر عدد موجود فعليا من التصاميم المتشابهة في قيمة ذلك الجين وتتراوح قيمه بين (2، 3، 4، 5، 6). ويمثل الرقم 4 في القوس الأول لكلا المعادلتين الحد الأقصى من التصاميم الممكن وجودها في ذلك الجين والتي تختلف عن A وبما أن أقل قيمة للمتغير A هي 2 فأكبر عدد من التصاميم المختلفة عنه سيكون 4. أما B فتمثل عدد القيم المتباينة المستخدمة فعليا في ذلك الجين مقسومة على عدد القيم الممكن إستخدامها وهي أربع قيم في حالة العمق، وثلاث قيم في حالة الإرتفاع. يوضح الجدولان التاليان (3) و (4) جميع المعادلات المستخدمة لقياس درجة التنوع الشكلي ولجميع الاحتمالات.

جدول 3: الاحتمالات الممكنة في حالة جينات عمق المكعب ومعادلات حساب درجة تنوعها (المصدر: الباحثان)

المعادلة المتبعة في تحديد درجة التنوع	الاحتمالات في حالة جينات عمق المكعب بين التصاميم الست الأفضل أداءا
$(6 - 2 / 4) * (4 / 4) * 100\% = 100\%$	وجود زوجين من التصاميم المتماثلة والتصميمين الآخرين مختلفين
$(6 - 2 / 4) * (3 / 4) * 100\% = 75\%$	وجود ثلاث أزواج من التصاميم المتماثلة
$(6 - 3 / 4) * (4 / 4) * 100\% = 75\%$	وجود ثلاث تصاميم متماثلة والثلاث الأخرى مختلفة عن بعضها البعض
$(6 - 3 / 4) * (3 / 4) * 100\% = 56\%$	وجود ثلاث تصاميم متماثلة والثلاث الأخرى اثنان منها متماثلان والثالث مختلف
$(6 - 3 / 4) * (2 / 4) * 100\% = 38\%$	في حالة وجود ثلاث تصاميم متماثلة والثلاث الأخرى متماثلة
$(6 - 4 / 4) * (3 / 4) * 100\% = 38\%$	في حالة وجود أربع تصاميم متماثلة والاثنين الآخرين مختلفين عن بعضهما البعض
$(6 - 4 / 4) * (2 / 4) * 100\% = 25\%$	في حالة وجود أربع تصاميم متماثلة والاثنين الآخرين متماثلين
$(6 - 5 / 4) * (2 / 4) * 100\% = 13\%$	في حالة وجود خمس تصاميم متماثلة وواحد مختلف
$(6 - 6 / 4) * (1 / 4) * 100\% = 0\%$	في حالة وجود ست تصاميم متماثلة

جدول 4: يمثل الاحتمالات الممكنة في حالة جينات ارتفاع المكعب ومعادلات حساب درجة تنوعها (المصدر: الباحثان)

المعادلة المتبعة في تحديد درجة التنوع	الاحتمالات في حالة جينات ارتفاع المكعب بين التصاميم الست الأفضل أداءا
$(6 - 2 / 4) * (3 / 3) * 100\% = 100\%$	في حالة وجود ثلاث أزواج من التصاميم المتماثلة
$(6 - 3 / 4) * (3 / 3) * 100\% = 75\%$	في حالة وجود ثلاث تصاميم متماثلة والأخرى اثنان منها متماثلان والثالث مختلف
$(6 - 3 / 4) * (2 / 3) * 100\% = 50\%$	في حالة وجود ثلاث تصاميم متماثلة والثلاث الأخرى متماثلة
$(6 - 4 / 4) * (3 / 3) * 100\% = 50\%$	في حالة وجود أربع تصاميم متماثلة والاثنين الآخرين مختلفين عن بعضهما البعض
$(6 - 4 / 4) * (2 / 3) * 100\% = 33\%$	في حالة وجود أربع تصاميم متماثلة والاثنين الآخرين متماثلين
$(6 - 5 / 4) * (2 / 3) * 100\% = 16\%$	في حالة وجود خمس تصاميم متماثلة وواحد مختلف
$(6 - 6 / 4) * (1 / 3) * 100\% = 0\%$	في حالة وجود ست تصاميم متماثلة

4.2.4 نتائج قياس التنوع الشكلي

1.4.2.4 نتائج المقارنة بين التصاميم الأفضل لمسارات التقييم معرفة بدلالة (ID)

بعد انجاز عمليات التقييم المتزامن والمتسلسل على الأشكال المتولدة، جاءت النتائج لأفضل 6 تصاميم لكل مسار من مسارات التقييم المتسلسل كما موضحة في الجدول (5). حيث حققت الأشكال رقم (61 و 63) نسبة تكرار عالية مقدارها 100% في جميع المسارات مع تباين تسلسلاتها ، بينما حقق الشكل (62) نسبة تكرار مقدارها 80% والشكل (54) تكرر في اربع مسارات أي بنسبة تكرر 60% والأشكال (51 و 113 و 114) تكررت بنسبة 40% والشكلين (27 و 108) بنسبة 20%، اما الأشكال (58 و 107 و 112) فلم تسجل اي تكرار ضمن مسارات التقييم.

جدول 5: التصاميم الست الأفضل لمسارات التقييم المتسلسل الإنفرادي (Ind) والتراكمي (Accum) (المصدر: الباحثان)

No.	A Ind. impact	B Ind. impact	C Ind. impact	A Accum Impact	B Accum Impact	C Accum Impact
1	63	27	63	27	54	63
2	61	54	61	54	63	61
3	114	63	62	63	61	62
4	113	61	114	61	51	114
5	107	51	108	51	62	108
6	112	62	113	62	58	113

أولاً: المقارنة بين المسارات الثلاثة الإنفرادية التقييم والمسارات الثلاثة التراكمية التقييم:

يوجد تباين في نسبة تكرار الأشكال بين التصاميم في المسارات الثلاثة لكل من التقييم الإنفرادي والتقييم التراكمي، ففي المسارات ذات التقييم الإنفرادي نلاحظ بان 2 من مجموع 11 شكلاً أي (18%) قد حققت نسبة تكرار 100% بينما تزداد هذه النسبة الى (30%) بواقع 3 من مجموع عشرة أشكال في حالة التقييم التراكمي. وكانت نسبة الأشكال التي حققت نسبة تكرار 50% هي 3 من مجموع 11 شكل أي (27%) للإنفرادي وتقل النسبة الى (20%) بواقع 2 من مجموع عشرة أشكال في حالة التقييم التراكمي. اما الأشكال التي لم تحقق اي تكرار فكانت نسبتها متقاربة وهي (54%) في التقييم الإنفرادي ونسبة (50%) في التقييم التراكمي. كما موضح في الجدولين (6) و (7) أدناه.

جدول 6: نسبة التكرار في التصاميم الأفضل لمسارات التقييم الإنفرادي (المصدر: الباحثان)

No.	Form ID	No. of Paths	Repetition %
1	61, 63	3	100%
2	62,113, 114	2	50%
3	27,51,54,107,108, 112	1	0%

جدول 7: نسبة التكرار في التصاميم الأفضل لمسارات التقييم التراكمي (المصدر: الباحثان)

No.	Form ID	No. of Paths	Repetition %
1	61, 62, 63	3	100%
2	51,54	2	50%
3	27,58,108,113,114	1	0%

ثانياً: المقارنة بين نتائج التقييم الإنفرادي ونتائج التقييم التراكمي لكل مسار على حدة A و B و C

بلغت نسبة التطابق بين الأشكال في التقييمين الإنفرادي والتراكمي للمسار A (33,3%) بينما كانت نسبة التطابق في الأشكال بين جزأي المسار B (83,3%) وسجل المسار C تطابق (100%) بين التقييمين الإنفرادي والتراكمي. وتدل هذه النتيجة على أن تسلسل تطبيق المعايير يؤثر على مدى التطابق بين التقييمين التراكمي والإنفرادي، كما في الجدول (8).

جدول 8: مقارنة بين التصاميم الست الأفضل لمسارات التقييم المتسلسل (A و B و C) الإنفرادي والتراكمي (المصدر: الباحثان)

No.	A Ind. impact	A Accum Impact	B Ind. impact	B Accum Impact	C Ind..Impact	C Accum Impact
1	63	27	27	54	63	63
2	61	54	54	63	61	61
3	114	63	63	61	62	62
4	113	61	61	51	114	114
5	107	51	51	62	108	108
6	112	62	62	58	113	113

ثالثاً: المقارنة بين نتائج التقييم للمسارات الثلاثة A و B و C لكل من الإنفرادي والتراكمي

وبمقارنة نتائج التقييم في المسارات الثلاثة التي تكون معاييرها ذات التأثير الإنفرادي نلاحظ وجود تماثل بين بعض الأشكال الناتجة من المسارات A و B و C. إذ تمثل نسبة التطابق بين الأشكال في المسارين B و C (50%) وتزداد النسبة الى (66.6%) في المسارين A و C وتنخفض الى (33.3%) في المسارين A و B. ويكون الشكل (63) في المرتبة الأولى في مسارين من المسارات الثلاثة للتقييم الإنفرادي، وكما موضح في الجدول (9). وبمقارنة الأشكال الناتجة من المسارات ذات التأثير التراكمي للمعايير نجد ارتفاع نسبة التطابق بين الأشكال في المسارات A و B الى (83.3%) بينما بلغت نسبة التطابق ما بين الأشكال في المسارات B و C والمسارات A و C (50%). وتتنوع التصاميم في المرتبة الأولى بين مسارات التقييم التراكمي الموضحة في الجدول (10). ويمكن أن نستدل بأن التنوع الشكلي في التصاميم الأفضل أداء لمسارات التقييم التسلسلي الإنفرادي أكثر قليلاً من التنوع في التصاميم الأفضل أداء لمسارات التقييم التسلسلي التراكمي.

جدول 9 يمين: النتائج الست الأفضل لمسارات التقييم المتسلسل الإنفرادي (المصدر: الباحثان)
جدول 10 يسار: النتائج الست الأفضل لمسارات التقييم المتسلسل التراكمي (المصدر: الباحثان)

No.	A Accum.	B Accum.	C Accum.
1	27	54	63
2	54	63	61
3	63	61	62
4	61	51	114
5	51	62	108
6	62	58	113

No.	A Ind.	B Ind.	C Ind.
1	63	27	63
2	61	54	61
3	114	63	62
4	113	61	114
5	107	51	108
6	112	62	113

رابعاً: المقارنة بين نتائج التقييم المتزامن والتقييم المتسلسل بمساراته الستة

وبمقارنة النتائج ما بين كل مسار من المسارات الستة ذات التقييم التسلسلي بنوعيه المنفرد والتراكمي من جهة وما بين التقييم المتزامن من جهة أخرى، نجد أن أعلى نسبة تطابق (66.6%) بين التقييم المتزامن والمسار A ذي التأثير المتراكم والمسار B ذي التأثير الإنفرادي، بينما كانت نسبة التطابق للمسار B ذو التأثير التراكمي ومسار C ذي التأثير الإنفرادي والتراكمي (50%)، وتكون نسبة التطابق في أدنى قيمها (33.3%) مع المسار A ذي التأثير المنفرد، ولم يؤثر أي مسار تطابقاً بنسبة (100%). ونلاحظ بأن الشكل رقم 57 حقق التسلسل الأول في التقييم المتزامن ولم يحقق أحد المراتب الست الأولى ضمن جميع مسارات التقييم المتسلسل، ويعود السبب الى أن الشكل يحتل المرتبة الأولى من بين التصاميم الكاملة (عدد 101) في معيار الإضاءة، بينما يحتل الترتيب 24 من مجموع 101 في معيار جودة التعرض الشمسي والترتيب 44 من مجموع 101 في معيار التظليل والتي تعد السبب في عدم نجاح الشكل في تحقيق الأفضلية للترشح ضمن أفضل 40% في أي من مسارات التقييم التسلسلي A و B و C. أما الشكلين (61 و 63) في التقييم المتزامن فقد تكررا في جميع مسارات التقييم المتسلسل الست وبنسبة تكرار 100% ولكنها احتلت تسلسلات متنوعة تراوحت بين الأول والثاني والثالث والرابع، ويليهما الشكل (54) الذي يتواجد في ثلاث مسارات للتقييم المتسلسل أي بنسبة تكرار 50% والشكل (27) الذي يتواجد في مسارين للتقييم المتسلسل أي بنسبة تكرار 33.33%، أما الشكلين (55 و 57) فلم يتواجدا في أي مسار حيث بلغت نسبة تكراره 0%. وكما موضح في الجدول (11).

جدول 11: نتائج التقييم المتزامن والتقييم التسلسلي بمساراته الستة (المصدر: الباحثان)

No.	Simultaneously	A Ind.	A Accum.	B Ind.	B Accum.	C Ind.	C Accum.
1	57	63	27	27	54	63	63
2	27	61	54	54	63	61	61
3	54	114	63	63	61	62	62
4	63	113	61	61	51	114	114
5	61	107	51	51	62	108	108
6	55	112	62	62	58	113	113

2.4.2.4 نتائج قياس التنوع الشكلي للتصاميم الأفضل لمسارات التقييم معرفة بدلالة (ID)

نالت أربع تصاميم المرتبة الأولى في المسارات السبعة للتقييم التسلسلي والتزامني كما موضح في الجدول (12)، والتي حققت نسبة تنوع في التصاميم الأفضل أداء مقداره 50%، علماً أن وجود سبع تصاميم متباينة في المسارات السبع يحقق

تتوفا بنسبة 100% بينما وجود تصميم واحد في المرتبة الأولى لكل المسارات السبع يحقق تتوفا بنسبة 0%. كما أن قيمة التنوع الشكلي في الأشكال الأفضل أداءاً للمسارات ذات التأثير المنفرد كانت أكبر بنسبة قليلة من المسارات ذات التأثير التراكمي، حيث بلغت نسبة التنوع بين الأشكال في المسارات المنفردة (41.6%)، حيث تم حسابها وفق المعادلة التالية: $(41.67\% = 100\% * (11-6)/(18-6))$ ، حيث يمثل الرقم 11 عدد التصاميم الأفضل أداءاً في المسارات الانفرادية الثلاث، ويمثل 6 أقل عدد ممكن للأشكال في المسارات الثلاث، بينما يمثل 18 أكبر عدد ممكن من الأشكال في المسارات الثلاث. بينما بلغت نسبة التنوع الشكلي في المسارات التراكمية (33.33%)، حيث تم حسابها وفق المعادلة التالية: $(33.33\% = 100\% * (10-6)/(18-6))$ ، إذ أن عدد التصاميم الأفضل أداءاً في المسارات التراكمية الثلاث يمثل 10، ويمثل 6 أقل عدد ممكن للأشكال في المسارات الثلاث، بينما يمثل 18 أكبر عدد ممكن من الأشكال في المسارات الثلاث. علماً أن قيمة التنوع بين الأشكال في المسارات الثلاثة للتقييم التراكمي أو الإنفرادي تكون 100% في حالة وجود 18 شكلاً مختلفاً في المسارات الثلاثة، وتكون قيمة التباين 0% في حالة وجود ست أشكال متكررة في المسارات الثلاثة. ولإيجاد مقياس التنوع الشكلي في نتائج المسارات المتسلسلة التراكمية والإنفرادية معاً، نجد أن عدد التصاميم الأفضل أداءاً فيها يمثل (12) تصميمًا والتي حققت نسبة تنوع في التصاميم الأفضل أداءاً مقداره 20%، حيث تم حسابها وفق المعادلة التالية: $(20\% = 100\% * (12-6)/(36-6))$ ، علماً أن وجود (36) تصميمًا متبايناً في المسارات المتسلسلة الست يحقق تتوفا بنسبة 100% بينما وجود ست تصاميم في كل المسارات الست يحقق تتوفا بنسبة 0%. كما نجد أن مجموع التصاميم في المسارات السبعة للتقييم التسلسلي والتزامني هو (14) تصميمًا والتي حققت نسبة تنوع فيما بينها مقداره 22%، حيث تم حسابها وفق المعادلة التالية: $(22.2\% = 100\% * (14-6)/(42-6))$ ، علماً أن وجود (42) تصميمًا متبايناً في المسارات السبع يحقق تتوفا بنسبة 100% بينما تكرر الست تصاميم في كل المسارات السبع يحقق تتوفا بنسبة 0%. وكما موضح في الجدول (12).

جدول 12: مقياس التنوع الشكلي للتصاميم الأفضل أداءاً المعرفة بدلالة (ID) ضمن مسارات التقييم (المصدر: الباحثان)

نوع التصاميم	أكبر عدد من التصاميم في المسارات	عدد التصاميم الأفضل أداءاً	مقياس التنوع الشكلي %
التصاميم الأولى في المسارات السبعة	7	4	50
التصاميم الست الأفضل في المسارات الإنفرادية	18	11	41.6
التصاميم الست الأفضل في المسارات التراكمية	18	10	33.3
التصاميم الست الأفضل في المسارات المتسلسلة	36	12	20
التصاميم الأفضل في المسارات المتسلسلة والمتزامنة	42	14	22.2

3.4.2.4 نتائج المقارنة بين مقياس التنوع الشكلي الجيني لمسارات التقييم

بعد دراسة الخارطة الجينية للأشكال الست الأفضل أداءاً الناتجة من عملية التقييم المتزامن وفق المعادلات المذكورة سابقاً في الجدولين (3 و 4) تبين أن مقدار التنوع الشكلي في تصاميمها والناتج عن اعتماد قيم رقمية متباينة لكل جين من الجينات الأربعة هي بحدود (13.9%) وقد تراوحت نسبة التنوع في قيمة كل جين ضمن مجموعة الأشكال ما بين (13% - 56%) وبلغت نسبة التنوع الشكلي في التصاميم الستة الأفضل لجميع مسارات التقييم المتسلسل بجزئيه الانفرادي والمتراكم ما بين (12.22% - 18.32%) حيث كان المسار A ذو التأثير الانفرادي أقل تنوعاً بينما المسار B ذو التأثير الانفرادي الأكثر تنوعاً. وكما موضح في الجدول (13) ادناه. وبسبب أن جميع التصاميم الأفضل تماثلت في ارتفاع وحداتها الصندوقية البالغة خمسة أمتار والذي يعود سببه في جزء منه إلى وجود تماثل كبير في هذا الارتفاع بين التصاميم عدد (101) المنتجة حاسوبياً وبواقع (64%) والذي يؤثر على مصداقية قياس التنوع الشكلي الجيني بين التصاميم الأفضل لكل مسار من مسارات التقييم. وعليه لجأ البحث إلى قياس التنوع الشكلي للجينات بالاعتماد على جينات العمق فقط للوصول إلى نتائج أكثر مصداقية للتنوع الشكلي للتصاميم. وكانت نتيجة مقياس التنوع الجيني بين التصاميم الست الأفضل أداءاً الناتجة من عملية التقييم المتزامن هي (27,8%) وتراوحت نسبة التنوع الشكلي الجيني في التصاميم الستة الأفضل لجميع مسارات التقييم المتسلسل بجزئيه الانفرادي والمتراكم ما بين (24,45% - 36,65%)، حيث كانت تصاميم المسار A ذو التأثير الانفرادي للمعايير الأقل تنوعاً بينما يمثل المسار B ذو التأثير الانفرادي للمعايير الأكثر تنوعاً كما موضح في الجدول (14).

جدول 13 يمين: مقياس التنوع الشكلي الجيني لكلا جينات الارتفاع والعمق لمسارات التقييم (المصدر: الباحثان)
جدول 14 يسار: مقياس التنوع الشكلي الجيني لجنات العمق للتصاميم الست الأفضل لمسارات التقييم (المصدر: الباحثان)

النسبة المئوية للتنوع %	نوع المسار
27.8	المتزامن
29.98	معدل مسارات المتسلسل
24.45	المتسلسل الإفرادي A
36.65	المتسلسل الإفرادي B
26.05	المتسلسل الإفرادي C
36.65	المتسلسل التراكمي A
30.05	المتسلسل التراكمي B
26.05	المتسلسل التراكمي C

النسبة المئوية للتنوع %	نوع المسار
13.9	المتزامن
14.98	معدل مسارات المتسلسل
12.22	المتسلسل الإفرادي A
18.32	المتسلسل الإفرادي B
13.02	المتسلسل الإفرادي C
18.32	المتسلسل التراكمي A
15.02	المتسلسل التراكمي B
13.02	المتسلسل التراكمي C

4.4.2.4 مقياس التنوع الشكلي الجيني لمسارات التقييم

إن معدل قياس التنوع الشكلي الجيني للأشكال الناتجة من عملية التقييم المتسلسل بجزئها بلغت (29.98%) بينما بلغت في التقييم المتزامن (27.8%). وبالرجوع الى الأشكال الاولى الأفضل لكل من عملية التقييم المتزامن والتقييم المتسلسل بجميع مساراته بجزئها الإفرادي والمتراكم والتي تمثل أربعة تصاميم هي (54,27,63,57). نجد بأن درجة التنوع الجيني للأشكال الأربعة المتولدة بلغت (31.25%). ولمعرفة مدى تأثير التقييم الأدائي على التنوع الشكلي الجيني للتصاميم الأفضل تم حساب درجة التنوع الشكلي لعينة من التصاميم الكاملة المتولدة (عدد 101)، إذ تم اختيار عينة من ست تصاميم وفق ترتيب معين وهي الأشكال (15,30,45,60,75,90) وكانت درجة التنوع الجيني فيما بينها هي (55.65%)، وعند مقارنة مع معدل درجة التنوع الجيني للأشكال الستة الاولى لجميع مسارات التقييم المتزامن والمتسلسل البالغ (29.66%) ومعدل التنوع الشكلي الجيني للأشكال الاولى فقط من كل مسار من مسارات عملية التقييم المتزامن والمتسلسل البالغ (31.25%)، نلاحظ انخفاض درجة التنوع الجيني في الأشكال الأفضل أداء مقارنة بالتنوع الجيني في عينة من التصاميم الكلية. فإذا اعتبرنا أن درجة التنوع الشكلي في عينة من التصاميم الكلية هو (100%)، فإن معدل درجة التنوع الشكلي لكل من التصاميم الأولى في المسارات السبعة والتصاميم الأفضل أداء هو على التوالي (56%) و (53%). حيث يتضح وجود تأثير للتقييم الأدائي يتمثل بالحد من التنوع الشكلي للتصاميم المختارة بوصفها الأفضل أداء، إلا أن هذا التأثير يكون ضمن مدى وسطي في حالة التجربة موضع الدراسة.

5- إستنتاجات البحث

تتمحور إستنتاجات البحث حول الجوانب التالية:

- تسهم عملية التقييم الأدائي في تقليل التنوع الشكلي بين الحلول التصميمية الأفضل أداء. ووفقاً لنتائج الدراسة العملية فإن هذا التأثير يكون متوسطاً.
- أن التنوع الشكلي للحلول التصميمية الناتجة عن عملية التصميم الأدائي الحاسوبي يعتمد على أسلوب التعامل مع المعايير الأدائية المتعددة المختارة ضمن المسار التقييمي. حيث يتأثر نوع الحلول التصميمية الأفضل أداء الناتجة عن عملية التصميم الأدائي التوليدي بأسلوب تطبيق المعايير الأدائية من حيث تزامنها أو تسلسلها. إذ يعد توقيت توظيف المعايير الأدائية عاملاً مهماً في تحديد شكل العملية التصميمية الأدائية وعدد خطواتها اللازمة لتلبية الاهداف الأدائية والتي تنقسم ما بين التوظيف المتزامن للمعايير الأدائية المتعددة ضمن مرحلة واحدة، أو التوظيف المتسلسل للمعايير المتعددة في أكثر من مرحلة والتي تستلزم الاهتمام بتسلسل ونوع المعيار الأدائي المستخدم في كل مرحلة باعتباره عنصر مهم في توجيه وترشيح الحلول التصميمية الأفضل.
- ان التصاميم الأفضل أداء الناتجة عن التقييم المتزامن للمعايير تختلف عن تلك الناتجة عن التقييم المتسلسل. فالأشكال الناتجة عن عملية التقييم المتزامن قد تكون أكثر تنوعاً أو أقل تنوعاً من الأشكال الناتجة من عملية التقييم المتسلسل إعتقاداً على نوع المسار المتبع ضمن عملية التقييم المتسلسل وهذا الإستنتاج يخالف فرضية البحث التي توقعت أن الأشكال الناتجة عن التقييم المتسلسل هي الأكثر تنوعاً.
- تسمح عملية التقييم المتزامن بوصول أشكال ليست كفوءة أدائياً في كل المعايير، بخلاف التقييم المتسلسل الذي يرشح في كل مرحلة التصاميم الأفضل أداء وفقاً لمعيار أدائي.

- يعد تسلسل تطبيق المعايير عاملاً مؤثراً على التنوع الشكلي. إذ تختلف بعض التصاميم الناتجة من مسارات عملية التقييم المتسلسل عند تغيير تسلسل المعايير الأدائية المعتمدة في تقييمها.
- يؤثر نوع المعيار المختار في بداية المسار لعملية التقييم المتسلسل بصورة أكبر على نوع وشكل الحلول التصميمية الناتجة بسبب أنه يرشح العدد الأكبر من التصاميم.
- يستنتج البحث عدم وجود تباين واضح ما بين الأشكال الناتجة عن التقييم المتسلسل الإنفرادي عن التقييم المتسلسل التراكمي حيث إن الأشكال الناتجة عن التقييم الإنفرادي تماثل إلى حد كبير الأشكال الناتجة عن التقييم التراكمي. ويمكن تبرير ذلك باعتماد البحث ثلاثة معايير فقط. وربما في حالة وجود عدد أكبر من المعايير فإن النتيجة ستكون مختلفة.
- أن نسبة التنوع في التصاميم الناتجة عن المقارنة بين التصاميم الأفضل لكل من التقييم المتزامن للمعايير وأي مسار من مسارات التقييم المتسلسل الستة تكون أكبر من نسبة التنوع بين التصاميم الأفضل الناتجة عن مقارنة مسارين من مسارات التقييم المتسلسل.
- إن التنوع الشكلي بين التصاميم الأفضل أداءً ضمن المسار الواحد يقل كلما تقلص عدد الحلول المختارة الناتجة من عملية التصميم الأدائي. حيث تميل الأشكال إلى التقارب شكلياً مع التقدم في عمليات ترشيح الحلول الأفضل.

References:

- Abel, C., 2004, Architecture, Technology and Process, Oxford, UK: Elsevier.
- Capeluto, G., and Yezioro, A., 2012. Foster + Partners, Perform: Performance as Producer of Architectural Form, In *Performatism: Form and Performance in Digital Architecture*, Grobman, Yasha J. and Neuman, Eran (eds), London: Routledge.
- Fasoulaki, E., 2008. Integrated Design, A Generative Multi-Performative Design Approach, MSc. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, USA.
- Grobman, Y. J., Ron Ruth, 2011. Digital Form Finding, Generative use of simulation processes by architects in the early stages of the design process". Proceeding of the 29th eCAADe: City Modeling, pp. 107-115.
- Grobman, Y.J., Yezioro A. and Capeluto I.G., 2007. Performance Based Form-generation in Architectural Design – Using Performance Envelopes in a Generative Computer-Oriented Design Method". Proc. of Tectonics Making Meaning International Conference, Eindhoven University of Technology, Netherlands.
- Kolarevic, Branko, 2004. Back to the Future: Performative Architecture International, *Journal of Architectural Computing*, vol. 2 - no.1.
- Kolarevic, Branko, 2003. Computing the Performative in Architecture" Digital Design, 21th. eCAADe Conference Proceedings, Graz, Austria.
- Oxman, Rivka, 2008. Performance-based Design: Current Practices and Research Issues , *International journal of architectural computing*, issue 01, volume 06.
- Oxman, Rivka, 2009. Performative design: a performance-based model of digital architectural design, *Environment and Planning B: Planning and Design*, volume 36, pages 1026 –1037, 2009.
- Preiser ,W. F.E. and Vischer, J. C., 2005. *Assessing Building Performance*, Butterworth Heinmann: Elsevier.
- SHI, Xing, 2010. Performance-based and performance-driven architectural Design and Optimization. *Front. Archit. Civ. Eng. China* 2010, 4(4): 512–518.
- Turrin, M., Buelow, P. V., & Stouffs, R., 2011. Design explorations of performance driven geometry in architectural design using parametric modeling and genetic algorithms, *Advanced Engineering Informatics*, 25, 656–675.