تقييم العلاقة بين الشكل والهيكل الإنشائي في العمارة الرقمية

م/ محمد عبد الكريم علي[١]؛ ا.م.د/ سحر مرسي محمد[٢]; د/ أحمد حليم حسين[٣]

[١] مهندس حر.

[٢] أستاذ مساعد بقسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة بالمطرية، جامعة حلوان.

[٣]مدرس بقسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة بالمطرية، جامعة حلوان.

الملخص:

تطورت الأشكال المعمارية مع تطور استخدام برامج التصميم بمساعدة الحاسب(CAD) منذ التسعينات وحتى الأن، أصبحت الأشكال في العمارة الرقمية يتم إنتاجها وفقاً لنماذج، مما أدي الي إشتقاق مجموعة واسعة من الأشكال، والتي قد تصبح معقدة وغير منتظمة لتمثيل روح العصر، نتيجة لذلك ظهرت علاقات تصميمية جديدة بين الشكل المعماري والهيكل الإنشائي، وتنوعت تلك العلاقات تبعا لاختلاف النماذج الرقمية المختارة في بدء العملية الحاسوبية.

يتناول البحث مناقشة إشكالية التصميم الهيكلي الإنشائي في عملية التصميم المعماري الرقمي، ورصد العلاقة بين تصميم الشكل وتصميم الهيكل الإنشائي من خلال تصنيف عمليات التصميم في العمارة الرقمية، وتحديد عمليات التصميم الهيكلي الرقمي ودراسة العلاقة بين التصميم المعماري والتصميم الإنشائي للمبنى، وسيتم تحليل عدد من حالات الدراسة من مباني مصممة رقمياً لمناقشة تلك العلاقة.

بهدف تقييم طرق إنتاج الشكل وعلاقته بالهيكل الإنشائي في العمارة الرقمية، وتحديد أنواع العلاقات التصميمية بين الشكل والهيكل الإنشائي في عمليات التصميم الرقمي، وما إذا كانت العلاقة الخطية بين التصميم المعماري والإنشائي قد تأثرت.

مصطلحات البحث: التصميم المعماري الرقمي، التصميم الهيكلي الإنشائي، عمليات التصميم الرقمي، النماذج الرقمية.

١ مقدمة:

سبقت صناعة السيارات والطائرات والسنيما صناعة المباني في اللجوء الي استخدام الحاسب الآلي لإنتاج الأشكال، مثل برامج (Alias و Softimage و Maya و Rhino و Mudbox و Catia...إلخ). أدي استخدام تلك البرامج في مجال الهندسة المعمارية لإدخال مفردات جديدة، أحدث اختلافات كبيرة في عمليات التصميم المعماري ومع تطور التقنيات الرقمية (Digital technologies)، تحولت أجهزة الكمبيوتر وبرامجها المختلفة من إستخدامها كأدوات للإظهار المعماري الي إستخدامها كأدوات للتصميم المعماري، وأصبحت عملية التصميم المعماري عملية حسابية تقوم علي معادلات رياضية وعلاقات بارامترية تتم بمساعدة الحاسب الآلي ومن خلال البرامج المختلفة، بناءً علي هذه التغيرات في عملية التصميم المعماري إتجه المعماريون نحو عمليات التصميم القائمة علي الشكل، حيث يكون إنتاج وإختيار الشكل هو الهدف الرئيسي من عملية التصميم. (١).

٢ تصنيف عمليات التصميم الرقمي القائمة على النموذج:

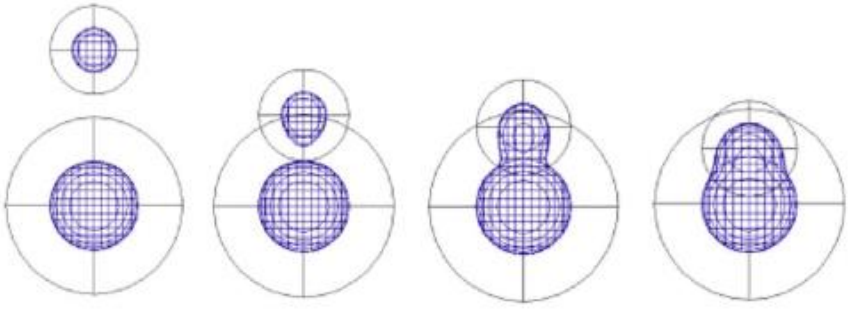
يستخدم المهندسون المعماريون والإنشائيون نماذج لإدارة عمليات التصميم للتحكم في عمليات التصميم والتحكم في التشكيل، فتكتسب العملية التصميمة أهمية كما يقول كولاريفيتش(Kolarevich) "يتحول التركيز من صنع الشكل إلى إيجاد الشكل"، ولقد تمكن المعماريون من انجاز تصاميم ذات تشكيل متنوع باتباع عمليات تكوين الشكل وفقا لخمسة نماذج رئيسية، هي النماذج البيولوجية والنماذج البارامترية والنماذج القائمة على القوة والحركة الناتجة والنماذج القائمة على الأدائية والنماذج القائمة على التطور والتي تم استخدامها من قِبل المعماريين، الامر الذي انتج توجهات معمارية رئيسية تدخل ضمن تسمية العمارة الرقمية، ويتم أخذها كقاعدة أثناء عمليات التصميم الرقمي (٢). وفيما يلي سيتناول البحث هذه النماذج بالتفصيل:

٢-١ النماذج البيولوجية Biological models:

استخدم المهندسون المعماريون برامج من صناعات أخرى كما سبق لإنشاء أشكال ذات مظهر بيولوجي، ومن أنواعها استخدام نموذج قطرة الماء ونماذج الكائنات الحية (١):

٢-١-١ نموذج قطرة الماء Drop Water model:

تعتبر قطرة الماء واحدة من نقاط البداية الملهمة لعملية التصميم في النماذج البيولوجية سواء منفردة كفقاعة (blob) أو في مجموعات متقاربة، كما هو الحال عندما تقترب قطرتين من الماء بسبب قوة الجاذبية الطبيعية، عندما تجتمع الفقاعات وتتفاعل مع بعضها البعض تتشوه أسطح الفقاعات وتشكل سطحا واحد مستمر كما هو موضح في (شكل١)، يمكن نمذجة كل من الفقاعات ومجالات تأثيرها بمساعدة التقنيات الرقمية، كما يمكن تصور التفاعل بين الفقاعات وإنتاج شكل جديد.

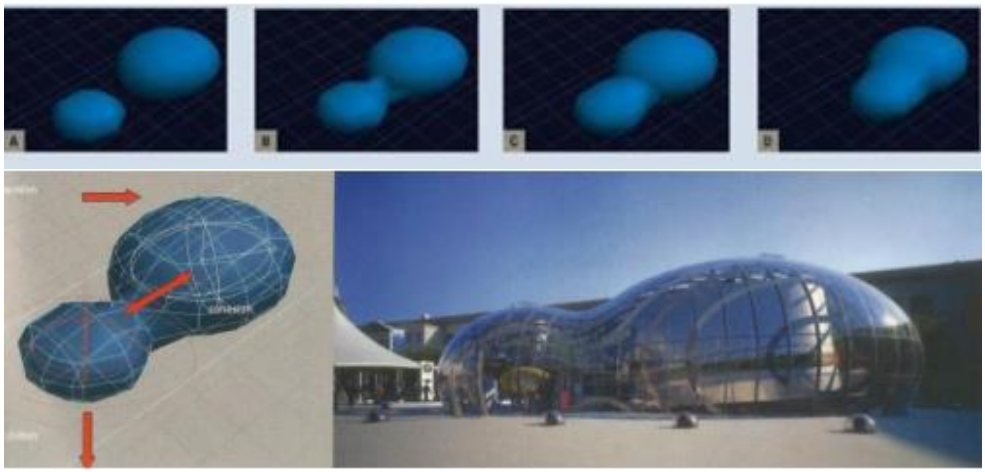


(شكل١): يوضح تفاعل الفقاعات مع بعضها البعض وتشكيل سطحا واحد.

المصدر: Mohammadi, Sharareh, Ali Ardakanian, and Mahdieh Ahmadi. "Transformation of digital and computational architectures." Transformation 3.1 (2013): 077-081.

إستخدم المعماري جريج لين (Greg Lynn) في تصاميم متعددة إعتماداً على عدة نماذج مشتقة من النموذج الأصلي (blob) أطلق عليها تسميات الكرات المؤتلفة والأشكال متعددة الأسطح المتشابهة (Isomorphic Poly &Meta-Balls Surfaces)، تساهم قوى Blobs الداخلية وعلاقاتها الخارجية مع بعضها البعض في التعرف عليها، يتم تحديد مركز كل نقطة ومساحتها وكتلتها وتنظيمها بناءً على مجالات تأثير بعضها البعض. (٣)

يعتبر مشروع جناح معرض سيارات بي إم دبليو في فرانكفورت بألمانيا للمعماري برنارد فرانكن (Bernard Franken) في عام ٢٠٠٠ مثالاً على نموذج قطرة الماء، حيث تم محاكاة قطرة الماء رقمياً كبداية الفكرة لعملية التصميم، وتم دراسة التوازن الديناميكي والاندماج لقطرتين المياه لتكون الشكل النهائي للكتلة المعمارية وتم اشتقاق الأضلاع الهيكلية الإنشائية من التكوين الهندسي للكتلة الرئيسية ، وتعتبر الفقاعة واحدة من أولى الهياكل في العالم التي تم إنشاؤها بالكامل بالوسائل الرقمية من التصميم إلى التنفيذ (شكل٢). (٤)



(شكل٢): يوضح محاكاة قطرتين الماء لتكوين الكتلة المعمارية لمشروع Bubble BMW لـ Bernard Franken.

المصدر: Dunn, Nick. Digital fabrication in architecture. Laurence King, 2012

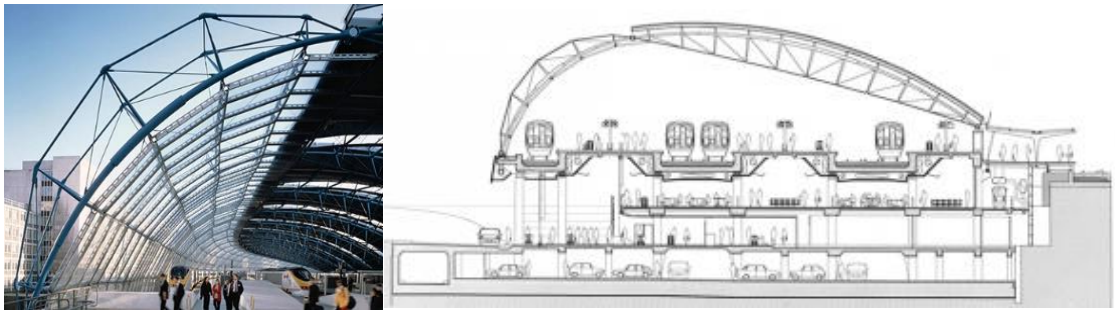
٢-١-٢ النموذج القائم على الكائنات الحية Living Organisms model:

الكائن الحي هو نموذج بيولوجي آخر يستخدمه المهندسون المعماريون لتحديد عمليات التصميم والتحكم فيها، يمكن أن تكون الحيوانات والنباتات وجسم الإنسان أمثلة الكائنات الحية حيث يتم أخذها كمراجع للأفكار التصميمية، ويتم تصميم الهيكل الإنشائي عبر برامج حاسوبية تعتمد على محاكاة هياكل وأنسجة الكائنات الحية. (٥)

٢-٢ النموذج البارامتري Parametric model:

يعتمد هذا النموذج على التغيير في مدخلات القيم الحسابية في البرامج لإنتاج الشكل بواسطة المعادلات اللوغاريتمية، هذه التغيرات تنعكس على الشكل النهائي الناتج، وتتعلق المدخلات باتجاه الريح وزوايا الشمس وحركة السيارات وحركة المشاة إلخ..، ونظراً لأن المدخلات مرتبطة ببعضها البعض حسابياً وهندسياً، إذا تغيرت قيم المدخلات فإن جميع المدخلات الأخرى تتغير وتتكيف مع الوضع الجديد بناءً على القيم الحسابية المحددة، ثم دور المصمم في اختيار ما هو مناسب منها، ليتم اعتماده في التصميم، ويطلق على العمارة الناتجة اسم العمارة البارامترية، وتوفر هذه العملية التصميمية احتمالات لانهاية بتغيير المعلومات المدخلة الى البرنامج. (٦)

يمكن استخدام النموذج البارامتري لإنتاج الشكل وتصميم الهيكل الانشائي، لذلك تحدد المدخلات (Input) متطلبات تصميم الهيكل الانشائي، ويمكن أن تكون المحددات أو المدخلات حجم العناصر الإنشائية والطول ونوع المفصل والارتفاع وقيود الموقع وما إلى ذلك، محطة سكة حديد واترلو (Waterloo) للمعماري نيكولاس جريمشو(Nicholas Grimshaw) عام ١٩٩٤، الشهيرة بالسقف الزجاجي المنحني الذي يبلغ طوله ٤٠٠ متر ويتكون من ٣٧ قوس لتشكل الهيكل الانشائي مثال على استخدام نموذج بارامتري للتصميم الهيكلي (شكل٣)، التي يتم دعمه بواسطة شبكة من الأعمدة الخرسانية الأسطوانية التي ترتفع عن مستوى موقف السيارات، حيث استخدام نموذج بارامتري لتصميم نظام يكون قابل للتعديل ويتغير باستمرار خلال المبنى، وبالتالي بدلاً من تعيين قيم ثابتة مثل البعد أو الحجم أو الطول للنظام الانشائي، تم إدخال المعادلات والعلاقات البارامترية التي يمكن تغييرها في أي وقت بناءً على معايير التصميم مثل قيود الموقع وتغيير مدى أو ارتفاع المبنى. (٧)



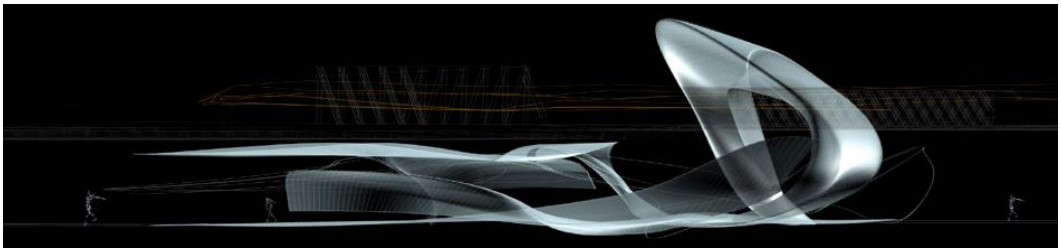
(شكل٣): يوضح السقف الزجاجي المنحني.

المصدر: https://miesarch.com/work/2647

٢-٣ النموذج القائم على القوة والحركة الناتجة Force and Motion model:

يعتمد هذا النموذج على العلاقة بين الكتلة المعمارية وبيئتها مع الأخذ في الاعتبار التأثيرات والقوى الخارجية كزوايا الشمس واتجاه الرياح وحركة السيارات والمشاة وقوة الجاذبية...الخ، بالإضافة الى تأثير المتغيرات المتعلقة بالبرنامج التصميمي المطلوب، ويتم تسجيل مدخلات القوى كبيانات رقمية في عملية التصميم الرقمي ويعتمد اختيار المدخلات على اختيار المصمم.

يُعد مشروع بارامورف (Paramorph) بوابة ساوث بانك في لندن للمعماري مارك جولثورب عام ١٩٩٩ مثالاً على عملية تصميم قائمة على الحركة والقوة الناتجة، تم إنشاء النموذج بالتفاعل مع القوى الميدانية مثل حركة الأشخاص والصوت التي كانت نتائج الطابع الديناميكي للموقع (شكل٤). (٨)



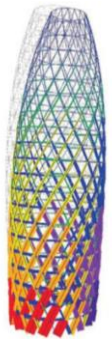
(شكل٤): يوضح محاكاه حركة وصوت الأشخاص الذين يمرون ببوابة مشروع بارامورف (Paramorph) ساوث بانك لندن.

المصدر: http://www.newitalianblood.com/show.pl?id=683

٢-٤ النموذج القائم على الأداء Performance model:

في النماذج القائمة على الأداء تتطور عملية التصميم بناءً على المحاكاة الرقمية لمحددات خارجية مثل التكلفة المالية والمنظور المكاني والثقافي والاجتماعي والتكنولوجي، في حين أن الشكل يمكن أن يتخذ شكلاً بناءً على الأداء البيئي مع مراعاة اتجاه الرياح أو زاوية الشمس...الخ، كذلك الادائية التقنية والتي تتضمن تحليل الهيكل الانشائي للقوة والثبات، يعتمد هذا النموذج على استخدام برامج التحليل حسب الادائية المطلوبة مثل برنامج(FEM) (Finite Element Method) المستخدم في التحليلات الحسابية للأداء الهيكلي وخصائص المواد، وبرنامج (Computational Fluid Dynamics) (CFD)المستخدم في تحليل تدفق الهواء. وتتشكل الكتلة كاستجابة للتحليل الأدائي وبالتالي فان الاشكال الناتجة وفق العملية التصميمية الرقمية ضمن هذا التوجه يطلق عليها العمارة الأدائية، يمكن ملاحظة التغييرات الهندسية على الشكل كاستجابة للتحليل الأدائي، بالإضافة إلى ذلك يعتمد اختيار نوع الأداء على مفهوم المشروع واتجاه التصميم للمهندس المعماري. (٩)

على سبيل المثال مبنى سويس ري ٢٠٠٤ للمعماري فوستر وشركاؤه حيث تم استخدام تقنيات الأداء البيئي لتحقيق أقصى قدر من الإضاءة الطبيعية والتهوية من أجل الحد من استهلاك الطاقة في المبنى (شكل٥). (١٠)



(شكل٥): يوضح تحليل الأداء البيئي لمبنى سويس ري ٢٠٠٤ للمعماري فوستر وشركاؤه.

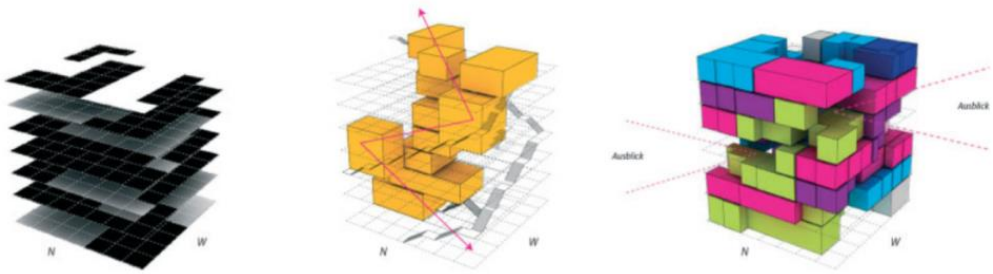
المصدر : Kolarevic, Branko, and Ali Malkawi. Peformative Architecture: Beyond Instrumentality. Routledge, 2005.

٢-٥ النموذج القائم على التطور Evolution model:

تعتمد هذه النماذج على التطور الخوارزمي الجيني والنمو البيولوجي كأساس لإنشاء النموذج بشكل يحاكي الحمض الوراثي (DNA) في نواة الخلية الحية، يتم تشفير معلومات التصميم كمدخلات فإن عملية التصميم المعماري لها أيضاً هياكل مثل الحمض النووي، لذلك يعد التنظيم والتحكم في المنطق الداخلي أكثر أهمية في النماذج القائمة على التطور وليس المنتج النهائي كما هو الحال في جميع النماذج الرقمية، وكما يحدث في الانتاج الجيني للكائن الحي بتغيير المعلومات على جينات البشر، تحدث نفس العمليات في عمليات التصميم المعماري لتوليد أشكال مختلفة.

يمكن أن تكون مدخلات التصميم هي الطول والعرض والارتفاع والألوان التي يتم تسجيلها كبيانات رقمية في عملية التصميم، بعد تسجيل المدخلات يتم تطبيق قواعد النمو والتقاطع الجيني على المدخلات القائمة على قواعد النموذج التطوري، في نهاية عملية التصميم يتم إنشاء العديد من الأشكال المماثلة، يتم اختيار الأشكال الأكثر كفاءة وملائمة، وقد ساهم التطور في برامج(CAD/CAM) في تقديم نماذج عددية كمحاكاة لعمليات النمو في الكائنات الحية، ويطلق على هذا التوجه العمارة التطورية، وتقوم الفكرة الاساسية للتشفير الجيني على نمذجة المنطق الداخلي أكثر من القوى الخارجية. (٦)

على سبيل المثال تم تطبيق نموذج قائم على التطور على تصميم مبنى كلية الهندسة المعمارية الجديد في شتوتغارت ٢٠٠٩ من قبل مختبر العمارة VOxEL للمجموعة المعمارية LAVA بالتعاون مع بولينجر وجروهمان(Bollinger & Grohmann)، مكنت عملية التصميم التطوري بإعتماد المدخلات من متطلبات التصميم المعماري والتصميم الهيكلي، أصبح التنظيم المختلف للأرضيات والجدران الداعمة في مصفوفة ثلاثية الأبعاد هي المدخلات التي تم تحليلها أثناء عملية التصميم مع مراعاة المتطلبات الوظيفية والهيكلية (شكل٦)، تم إنشاء حلول تصميم بديلة مختلفة من خلال تغيير تصميم الأرضيات والجدران الداعمة. وقد تم تحليل النتائج من حيث الأداء الهيكلي، وتم اختيار تلك التي كانت أقل من حيث عزوم الانحناء وأفضل تكوين للجدران الداعمة، استمرت عملية التوليد لإنشاء الحل الأمثل الذي يلبي جميع المعايير المعمارية وكذلك القيود الإنشائية. (١١)



(شكل٦): يوضح المفهوم الرئيسي لمبنىVOxEL

(توزيع البرنامج التصميمي ضمن شبكة ثلاثية الأبعاد-الفراغات-مناطق بكثافات مختلفة).
المصدر: https://www.bollinger-grohmann.com/en.projects.stuttgart-university-voxel.html

٣ عمليات التصميم الهيكلي الرقمي:

اهتمام المعماريين باعتبارات إنتاج الشكل وفقا للنماذج الرئيسية في العملية التصميمية الرقمية وما نتج عنه من أشكال معقدة أوجد تحدياً لإيجاد حلول انشائية مثالية، واستدعى ذلك ان يعمل كل من المهندس المعماري والانشائي سوياً ضمن عمليات تصميمية موحدة بمساعدة التكنولوجيا الرقمية للتغلب على المشاكل الانشائية، وانتج ذلك علاقات جديدة بين الهيكل والنموذج في عمليات التصميم المعماري الرقمي، فقد اتخذت توجهين رئيسيين وهما، الأول: ان يقوم كل من المعماري والمهندس الانشائي بالتصميم التفاعلي أثناء عملية إنتاج الشكل رقمياً وصولا الى المنتج النهائي المطلوب، الثاني: أن يقوم المهندس الانشائي بتصميم النظام الإنشائي ليكون التصميم المنتج مسبقا في الوسط الرقمي قابلا للإنشاء، يمثل التوجهان عمليتين تصميميتين مختلفتين، ويمكن أن تصنف عمليات التصميم المختلفة الى ثلاث فئات اعتمادا على العلاقة بين التصميم المعماري والتصميم الإنشائي للمبنى وهي: عملية التصميم المركبة وعملية التصميم القائمة على الهيكل وعملية التصميم الخطي. (١٢)

٣-١ عملية التصميم المركبة:

في عملية التصميم المركبة يتم دمج عملية التصميم الهيكلي والمعماري مع بعضمها البعض، فيتم تطور الشكل والهيكل بتوافقية أثناء عملية التصميم الرقمي، يعتبر تطور متكامل للشكل والهيكل والمواد والإنشاء وطرق التصنيع، ويسمح التحليل الإنشائي بإجراء تعديلات على شكل الكتلة أثناء إنشاء النموذج، لذلك يشارك التصميم الإنشائي في العملية الحسابية بأكملها بدء من فكرة التصميم إلى التنفيذ. (١٢)

يسمى النموذج المتكامل في التصميم المعماري الرقمي باسم نمذجة معلومات المباني (Building Information Modelling) ويصف المهندس المعماري جون بيتمان (Jon Pittman) نمذجة معلومات المباني(BIM) بأنه "نموذج يأخذ في الاعتبار خصائص الأداء والتكلفة وغيرها من الأمور المتعلقة ببناء وتشغيل المبنى وكذلك تصميمه" (١٣)

وللحفاظ على التكامل بين التصميم المعماري والتصميم الهيكلي، هناك حاجة إلى بعض التقنيات المتخصصة حيث تؤكد المعمارية نينا رابابورت (Nina Rappaport) في مقالها بعنوان"A Deeper Structural Theory" بالنسبة للنماذج المعقدة يلزم استخدام أسلوب بناء متكامل من أجل توفير التعاون بين التخصصات المختلفة، على سبيل المثال تقوم البرامج مثل (MoSS) و(GENR8) و(EifForm) من قِبل بيتر تيستا وديفين وايزر(Peter Testa & Devyn Weiser) من مجموعة (Emergent Design Group) (EDG) بدمج تصميم الهيكل الانشائي مع التصميم خلال العمليات التصميمية، مع توفير امكانيات ادخال المعلومات المتباينة المتعلقة بالتعريف الهندسي للشكل والأبعاد والنظام الإنشائي والمواصفات الخاصة بالمواد الى العملية التصميمية ويمكن استخدام هذه البرامج مع برامج حاسوبية أخرى مثل (Grasshopper) و(Rihno) و(AliasWavefront Studio) و(Maya) و(Maya) القادرة على التصميم والنمذجة والعرض. (٩)

٣-٢ عملية التصميم القائمة على الهيكل:

في عمليات التصميم القائمة على الهيكل يصبح التصميم الإنشائي هو المحور الرئيسي، يتحكم في عملية التصميم بأكملها من بداية تكوين فكرة التصميم عن طريق تركيب الشكل إلى الشكل العام للهيكل، يؤكد المهندسون المعماريون والباحثون ريفكا وروبرت أوكسمان (Rivka & Robert Oxman) على تحول أهمية تصميم النموذج إلى التصميم الإنشائي في مقالتهم بعنوان"التصميم الهيكلي والتقنيات الهندسية والمعمارية" The New Structuralism Design, Engineering and (Architectural Technologies). (١٤)

أعمال مجموعة أروب وشركة بورو هابولد والمهندسة كريستينا شيا (Arup Group–Buro Happold–Kristina Shea) أمثلة على التصميم الإنشائي الذي يقود الى تصميم الشكل، وتعبر عن أهمية التصميم الإنشائي في عمليات التصميم بدلاً من إنشاء النموذج ثم النظر في الخيارات الهيكلية، يتم التعامل مع الهيكل بشكل صريح ويقود لإظهار الشكل الخارجي والداخلي وفي هذه العملية العكسية تستخدم المهندسة كريستينا شيا (Kristina Shea) تقنيات حسابية مثل برنامج (eifForm) لإنتاج النظم الانشائية، فيقوم البرنامج بإنتاج وتحليل التصميم الإنشائي وصولا الى الحل التنظيمي الافضل مثل أداء معظم برامج التصميم الإنشائي من حيث التكوين الهندسي لإيجاد الأنظمة الأكثر كفاءة وأفضل اقتصادياً. (١٥)

٣-٣ عملية التصميم الخطية:

في عمليات التصميم الخطي يتم تصميم النموذج المعماري أولاً، ثم يتم تصميم النظام الإنشائي بناءً على محددات التكوين الهندسي للنموذج المعماري، ولا يُسمح بالتصميم الهيكلي والتحليل الإنشائي لإجراء تغييرات علي النموذج المعماري، يصمم المهندس المعماري شكل المبنى دون النظر إلى الهيكل الإنشائي إلا إذا كان تحقيق الشكل يعتمد على تصميم نظام إنشائي مناسب وفعال، لا يحتوي النموذج الذي يتم إنشاؤه بعد عملية تصميم النموذج المعماري بشكل عام على أي معلومات متعلقة بالنظام الإنشائي، ثم يقوم المعماريين والمهندسين الإنشائيين بتصميم النظام الإنشائي واتخاذ القرارات المناسبة. (٩)

٤ الدراسة التحليلية:

تركز الدراسة التحليلية على تحديد الحالات الدراسية المختارة، بهدف تحديد طرق إنتاج الشكل وعلاقته بتصميم الهيكل الإنشائي في العمارة الرقمية.

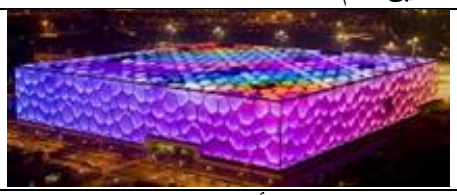
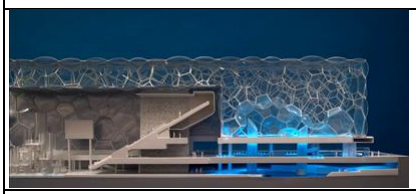
٤-١ **معايير الانتخاب:** تم اختيار مشروعات غير تلك التي استخدمت كأمثلة في متن البحث ما عدا نموذج قطرة الماء حيث لم يجد الباحث مثال أخر يعبر تعبيراً دقيقاً عن نموذج قطرة الماء.

٤-٢ **الحالات الدراسية:** تم اختيار الحالات الدراسية بما يتطابق مع التسلسل الوارد في البحث فيما يخص عمليات التصميم الرقمي باختيار حالة دراسية واحدة لكل منها، وسيتم مقارنة الحالات الدراسية المنتخبة في الجداول الأتية:

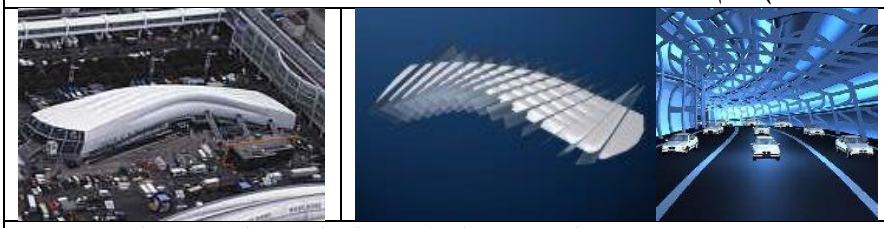
جدول (١):	الحالة الدراسية (١) العملية التصميمية القائمة على النموذج البيولوجي–قطرة الماء
اسم المشروع	جناح معرض سيارات بي إم دبليو في فرانكفورت بألمانيا للمعماري برنارد فرانكن (Bernard Franken) عام ٢٠٠٠.
صور المشروع	
نوع وفكرة المشروع	معرض سيارات، والذي يمثل الماء قيمته الفكرية لذلك اتخذت قطرة الماء كفكرة للمشروع
عملية التصميم الرقمي للشكل	تم اتخاذ قطرة الماء كبداية للتفكير في عملية التصميم، اذ تهدف القطرة الى تحقيق الشكل الكروي بسبب تأثير قوة الشد السطحي والتوازن الديناميكي لقطرتين من الماء الذي ولد الشكل النهائي باستخدام برنامج حاسوبي لمحاكاة القطرة.
عملية التصميم الهيكلي الرقمي	تم إنتاج الشكل حاسوبيا في البدء، وكانت الاولوية للشكل الذي تحكم بالتصميم الهيكلي، حيث اتبع الهيكل حدود الشكل، وبدأ التصميم الهيكلي بعد اتخاذ قرار الشكل النهائي.
العلاقة بين تصميم الشكل والهيكل الإنشائي الرقمي	تتبع العملية التصميمة الخطية، تم تصميم النظام الإنشائي بناءً على محددات التكوين الهندسي للنموذج المعماري.

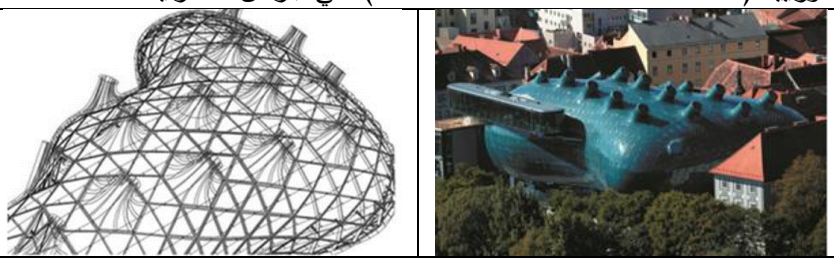
للنموذج	

جدول (٢):	الحالة الدراسية (٢) العملية التصميمية القائمة على النموذج البيولوجي–الكائنات الحية
اسم المشروع	مدخل مشروع مركز المؤتمرات في مدينة قطر الرياضية من تصميم أراتا إيسوزاكي (Arata Isozaki) في الدوحة، قطر عام٢٠١١.
صور المشروع	
نوع وفكرة المشروع	مركز وطني للمؤتمرات تقوم فكرته على أن الشجرة هي رمز التعلم والراحة في الصحراء وملاذ للشعراء والأكاديميين الذين يتجمعون تحت اغصانها للتشارك في المعرفة.
عملية التصميم الرقمي للشكل	تمثلت المحددات التصميمية للمشروع في وجود مسندين أرضيين في الطابق الأرضي والرغبة في أن يكون السقف مستوي، تم تطوير تصميم المدخل اعتمادا على الادائية الهيكلية، واستخدام طريقة التحسين الهيكلي التطوري الممتد (Extended EESO(Evolutionary Structural Optimization لتحقيق شكل الشجرة والاخذ بعين الاعتبار الأحمال الهيكلية والثبات الهيكلي.
عملية التصميم الهيكلي الرقمي	اعتمد التصميم الهيكلي على اتباع مبدأ تقليل المواد وازالة الأجزاء غير الضرورية للإنشاء من الشكل الهندسي الكلي، والاحتفاظ بالنظام الأساسي.
العلاقة بين تصميم الشكل والهيكل الإنشائي الرقمي للنموذج	عملية التصميم القائمة على الهيكل، يتحكم التصميم الإنشائي في عملية التصميم بأكملها من بداية تكوين فكرة التصميم.

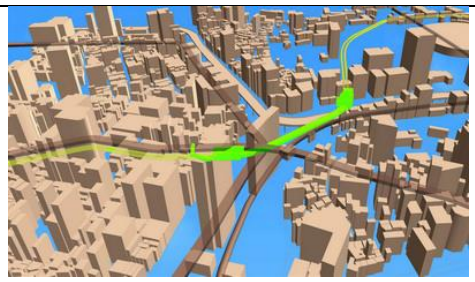
جدول (٣):	الحالة الدراسية (٣) العملية التصميمية القائمة على النموذج البارامتري
اسم المشروع	مركز بكين الوطني للألعاب المائية من تصميم (PTW Architects) في بكين–الصين عام ٢٠٠٨.
صور المشروع	 
نوع وفكرة المشروع	مركز مسابقات الألعاب المائية الاولمبية، استوحت الفكرة من التنظيم الهيكلي في الغلاف الخارجي والتنظيم الذاتي لفقاعات الصابون لتكوين الهياكل المعقدة.
عملية التصميم الرقمي للشكل	يتحكم المنطق الهيكلي في عملية التصميم الكلي للشكل. فقد تم استخدام برمجيات خاصة قام بتطويرها مهندسو شركة (Arup) لإنتاج غلاف المبنى واستخدام برنامج (CATIA)
عملية التصميم الهيكلي الرقمي	تم استخدام علاقات بارامترية اعتماداً على العلاقة بين حجم وشكل ووزن المكونات. نوع من النمط الفراغي ثلاثي الابعاد كمبدأ تنظيمي لتكوين هيكل وشكل المبنى.
العلاقة بين تصميم الشكل والهيكل الإنشائي الرقمي للنموذج	عملية التصميم القائمة على الهيكل، تستمد عملية التصميم من فكرة الهيكل.

جدول (٤):	الحالة الدراسية (٤) العملية التصميمية – النموذج القائم على الحركة والقوة الناتجة

اسم المشروع	معرض سيارات بي إم دبليو في فرانكفورت بألمانيا للمعماري برنارد فرانكن (Bernard Franken) عام ٢٠٠١.
صور المشروع	
نوع وفكرة المشروع	معرض سيارات تقوم فكرته على تصور لحظة دخول السيارة الى موقع المشروع، وما تسببه الحركة من تغير في الشكل الكلي، وتترك اثرا بانبعاج الشكل للتعبير عن السرعة في الفراغ.
عملية التصميم الرقمي للشكل	استنسخ المشروع النمط التصميمي الخارجي للموقع المحيط بالمشروع كأحد المدخلات الرقمية للبرنامج Key Frame وكذلك برامج (CAD/CAM) لإظهار التشكيل الفراغي بسبب الشد الديناميكي الناتج عن حركة التسارع اثناء دخول السيارة الى الموقع.
عملية التصميم الهيكلي الرقمي	تم اشتقاق الهيكل الانشائي من قطاعات بالنموذج المعماري.
العلاقة بين تصميم الشكل والهيكل الإنشائي الرقمي للنموذج	تتبع العملية التصميمية الخطية، لا يُسمح للتصميم الهيكلي لإجراء تغييرات على النموذج المعماري.

جدول (٥):	**الحالة الدراسية (٥) العملية التصميمية –النموذج القائم على الأدائية**
اسم المشروع	مشروع كونستهاوس جراتس (Kunsthaus Graz) من تصميم بيتر كوك وكولين فورنييه (Peter Cook & Colin Fournier) في جراتس، استراليا، ٢٠٠٣.
صور المشروع	
نوع وفكرة المشروع	متحف للفن المعاصر وتقوم فكرته على رغبة المعماري في خلق مبنى ذا شكل غريب كبالون طافي مستقل عن الطبيعة.
عملية التصميم الرقمي للشكل	تمت نمذجة الشكل باستخدام تقنيات اعادة التقسيم باعتماد التقسيمات الطولية والمستعرضة والمتقاطعة مع بعضها مكونة من وحدات مثلثة الشكل لأسباب انشائية، التي مثلت النظام الشبكي للهيكل كله.
عملية التصميم الهيكلي الرقمي	اتخذ النظام الهيكلي نفس الشكل غير المنتظم للمبنى ككل، كما اتخذ المشروع شكله بناء على تحسين الاداء الهيكلي كزيادة ثباته الهندسي والتحكم بالإنتاج مما أثر على زيادة الاستدارة في السقف، تم تصميم كل من الشكل والهيكل رقميا ونقل المعلومات الى الروبوتات لإنتاج المكونات المطلوبة في الانشاء.
العلاقة بين تصميم الشكل والهيكل الإنشائي الرقمي للنموذج	تتبع العملية التصميمية المركبة، تم تطوير الشكل والهيكل بتوافقية أثناء عملية التصميم الرقمي.

جدول (٦):	**الحالة الدراسية (٦) العملية التصميمية –النموذج القائم على التطور**
اسم المشروع	مشروع محطة إيداباشي (Iidabashi Station) من تصميم ماكوتو سي واتانابي (Makoto Sei Watanabe) في طوكيو، اليابان، ٢٠٠٠.

صور المشروع		
نوع وفكرة المشروع	محطة مترو أنفاق، تعتمد فكرة المشروع على تمثيل ما أطلق عليه المصمم نمو البذرة المعمارية (The Architectural Seed) والتي بتوفر الماء والضوء ستنمو وتمد جذورها وتنمو اوراقها وتتحول الى زهرة.	
عملية التصميم الرقمي للشكل	تم خلق الشكل بمحاكاة التصميم الهيكلي للأوراق مكونة ما يشبه الزهرة باستخدام البرنامج الحاسوبي An Artificial Intelligence (AI) وتضمنت العملية مرحلتين: الاولى تتعلق بمتطلبات البرنامج التصميمي والفراغي، والاخرى بالعملية التحليلية والتصميمية.	
عملية التصميم الهيكلي الرقمي	تم تصميم هيكل شبكي لخلق الهيكل الانشائي وتحليله حاسوبيا اعتمادا على الضغوط المسلطة بحيث صممت سماكة الاجزاء المكونة للهيكل تبعا للضغوط المسلطة عليها.	
العلاقة بين تصميم الشكل والهيكل الإنشائي الرقمي للنموذج	تتبع العملية التصميمية المركبة، تم تطوير الشكل والهيكل بتوافقية أثناء عملية التصميم الرقمي.	

٤-٣ مناقشة الحالات الدراسية:

- يمكن استخدام برامج التصميم بمساعدة الحاسب في عملية التصميم الهيكلي المركب لخلق التكامل بين الهيكل الإنشائي والشكل كما في الحالات الدراسية رقم (٥) و(٦).
- لا تظهر عملية التكامل بين العملية التصميمية للشكل والهيكل الإنشائي كما في الحالة الدراسية رقم (١) و(٢) و(٣) و(٤).
- في عملية التصميم الهيكلي القائم على الهيكل الانشائي يتبع الشكل الهيكل الانشائي الذي يكون قد صمم أولا، كما في الحالة الدراسية رقم (٢) و(٣).
- في عملية التصميم الهيكلي الخطي يتبع الهيكل الانشائي الشكل الذي يكون قد صمم اولاً، كما في الحالة الدراسية رقم (١) و(٤).

٥ النتائج:

مما سبق نجد أن التصميم الهيكلي يرتبط ارتباطاً وثيقاً بإنتاج الأشكال المعمارية الرقمية التي تمثل روح العصر ويمكن أن نلاحظ العلاقة بين التصميم المعماري والهيكل الإنشائي في العمارة الرقمية في النقاط الأتية:

- لا تقدم عملية التصميم الخطية وعملية التصميم القائمة على الهيكل منهجاً جديداً، حيث أن في عملية التصميم الخطي لا يسمح للتصميم الهيكلي بإجراء أي تغيرات على النموذج المعماري، وفي عملية التصميم القائمة على الهيكل يتحكم التصميم الإنشائي في عملية التصميم بأكملها. بينما عملية التصميم المركبة تتيح علاقة أقوي بين الشكل والهيكل الإنشائي، لأنها

تسمح بتطوير الشكل والهيكل الإنشائي بطريقة توافقية أثناء عملية التصميم الرقمي، ويسمح بإجراء أي تغيرات على النموذج المعماري بناءً على التحليلات الإنشائية.

- تحدد عملية التصميم المركبة نوعاً جديداً من العلاقة بين التصميم المعماري والهيكل الإنشائي حيث يتم هدم الطبيعة الخطية التكرارية للتصميم، كما يتم استخدام النماذج المستخدمة في إنشاء النماذج المعمارية للتصميم الإنشائي، وتعمل جميع التخصصات في بيئة تصميم مشتركة لتتكاتف وتتكامل لإنتاج التصميم النهائي.

٦ التوصيات:

- فهم عملية التصميم المعماري في سياق العلاقة التبادلية بين الأشكال الناتجة والتصميم الهيكلي الداعم والذي لا يمكن فصله.
- ضرورة فهم العلاقة بين التصميم المعماري والهيكل الإنشائي لإنتاج أشكال معمارية حرة متوافقة مع روح العصر حيث أن التصميم الخطي يؤدي الي تكرار الأشكال المعمارية، أما التصميم المركب ينتج أشكال معمارية جديدة وانساق انشائية هيكلية والاستفادة من تقنيات البرامج الحديثة.
- توجيه وتركيز الجهود لدراسة الطرق التي يصبح فيها التصميم الهيكلي الرقمي جزءاً من التصميم المعماري الرقمي.
- تطبيق منصة افتراضية تعاونية لمراجعة ودمج تعلم البرامج الحديثة في التعليم العالي.

٧ المراجع:

(١) GAGE, Mark Foster. *Composites, surfaces, and software: high performance architecture*. Yale School of Architecture, 2010.

(٢) ANTON, Ionuţ; TĂNASE, Daniela. Informed geometries. Parametric modelling and energy analysis in early stages of design. *Energy Procedia*, 2016, 85: 9-16.

(٣) KOLAREVIC, Branko (ed.). *Architecture in the digital age: design and manufacturing*. taylor & Francis, 2004.

(٤) SABUR, Hafize Büşra; SELÇUK, Semra Arslan. New Construction Methods and Hybrid Tectonics: Robotics in Architecture.

(٥) ايناس سالم؛ رنا مازن مهدي. مناهج التصميم في العمارة الاحيائية المعاصرة. مجلة جامعة بابل، ٢٠١٧، ٢٥.٣: ٩١٠-٩٣١.

(٦) سراج جبار كاظم المرشدي؛ باسم حسن هاشم الماجدي. اثر مناهج إيجاد الشكل الرقمية في خصائص النتاج المعماري المعاصر. مجلة جامعة بابل، ٢٠١٧، ٢٥.٦: ١٨٨٤-١٩٠٣.

(٧) EDWARDS, Brian. The modern station: new approaches to railway architecture. Taylor & Francis, 2013.

(٨) http://www.newitalianblood.com/show.pl?id=683 (أخر زيارة ٢٠٢٠/٨/١٦)

(٩) SZALAPAJ, Peter. Contemporary architecture and the digital design process. Routledge, 2014.

(١٠) KOLAREVIC, Branko; MALKAWI, Ali. Peformative Architecture: Beyond Instrumentality. Routledge, 2005.

(١١) BOLLINGER, Klaus; GROHMANN, Manfred; TESSMANN, Oliver. Structured becoming: evolutionary processes in design engineering. Architectural Design, 2010, 80.4: 34-39.

(١٢) KLOFT, Harald. Structural Design of Form. In: Proceedings of Game Set and Match Conference, Delf. 2006. p. 248-255.

(١٣) PITTMAN, John. Building information modeling: current challenges and future directions. Branko Kolarevic Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing, New York: Taylor and Francis, 2003, 254-8.

(١٤) LESLIE, Thomas. The New Structuralism: design, Engineering and Architectural Technologies. Journal of Architectural Education, 2013, 67.2: 323-324.

(١٥) MCDOWELL, ALEX. THE EVOLUTION OF WORLD BUILDING AS A NEW DESIGN PRACTICE. Paradigms in Computing: Making, Machines, and Models for Design Agency in Architecture, 2015, 143.