

توليد الشكل وعلاقته بالهيكل في العمارة الرقمية

وجدان ضياء عبد الجليل

قسم هندسة البناء والانشاءات، الجامعة التكنولوجية

Wijdan_wijdann@yahoo.com

الخلاصة

وفر توظيف التكنولوجيا الرقمية في العمارة المعاصرة امكانيات جديدة على صعيد خلق الشكل وتصميم الهياكل الانشائية ووسائل انتاج المكونات والانشاء، علاوة على توفير امكانيات اختبار ادائية العمارة. ونتيجة لذلك ظهرت علاقات جديدة بين الشكل المعماري وهيكله الانشائي. وتتنوع تبعا لاختلاف النماذج الرقمية المختارة في بدء العملية الحاسوبية واختلاف المحددات الرقمية المدخلة للبرامج التي يختارها المصمم. وانعكس استخدام البرامج الرقمية في العمارة على واجهات المبنى في الظهور او الاختفاء لقيمة التكتونيك. وفي ضوء ذلك تمثلت مشكلة البحث في: الحاجة الى تحديد طرق توليد الشكل وعلاقته بالهيكل في العمارة الرقمية وأثرها في توفر قيمة التكتونيك في الأنماط الرقمية للواجهات. وتحددت فرضيته في: ان تحديد طرق توليد الشكل وعلاقتها بالهيكل في العمارة الرقمية هي عامل مؤثر في توفر قيمة التكتونيك أو عدم توفرها في الأنماط الرقمية للواجهات. وتحدد هدف البحث في: تحديد طرق توليد الشكل وعلاقته بالهيكل في العمارة الرقمية وأثرها في توفر او عدم توفر قيمة التكتونيك في الأنماط الرقمية للواجهات. اتبع البحث منهجية من خمس خطوات هي: أولا، تصنيف عمليات التصميم في العمارة الرقمية. ثانيا، تحديد عمليات التصميم الهيكلية الرقمي. ثالثا، دراسة تأثير العلاقة بين التصميم المعماري والتصميم الهيكلية للمبنى. رابعا، دراسة دور الأنماط التكتونية في الواجهات المعمارية. خامسا، تحليل تأثير نوع العمليات التصميمية الرقمية و العلاقة بين التصميم المعماري والتصميم الهيكلية للمبنى من خلال فحص قيمة التكتونيك في الحالات الدراسية المختارة. وتوصل البحث الى ان العملية الرقمية التكاملية في تصميم الشكل والهيكل الانشائي، قد لا توفر قيمة التكتونيك في انماط الواجهات. اذ تعتمد ايضا على نوع العملية التصميمية للواجهات أيضا، وكونها متضمنة أو غير متضمنة في العملية التصميمية الرقمية للشكل أو الهيكل أو كليهما.

الكلمات المفتاحية: التصميم الرقمي، تصميم الهياكل الرقمية، التكتونيك، التكتونيك الرقمي، الأنماط الرقمية.

Generating Shape and Relationship to Structure in Digital Architecture

Abstract

Applications of digital technology in contemporary architecture provide new possibilities for the creation of architectural form, structural design, production of components and construction, as well as providing the potentiality to test architectural performance. As a result new relationships has been appeared between architectural form and its structure, which varies depending on digital models selected at the start of computing process and the different digital input parameters for the programs chosen by the designer. The use of digital programs in architectural design is reflected on buildings facades, where it varies in the appearance or disappearance of tectonic values. In light of this, the problem of research is: The need to identify the methods of generating the shape and its relationship to the structure in digital architecture and its impact on the availability of tectonic value in the digital patterns of the facades

The research hypothesis is: the methods of generating the architectural form and its relation to the structure in digital architecture are factors in the availability or unavailability of tectonic value in the digital patterns of the facades.

The goal of the research is: to identify the methods of generating the shape and its relation to the structure in the digital architecture and its effect on the availability or of tectonic value in the digital patterns of the facades. The research follows a methodology with the five-step: first, the classification of design processes in digital architecture. Second, identifying of the processes of the digital structural design. Third, studying the impact of the relationship between the architectural design and structural design of the building. Fourth, study the role of tectonic patterns in architectural facades. Fifth, analysis of the impact of the type of digital design processes and the relationship between architectural design and structural design of the building in the case studies. The research concluded that the integrative digitizing process of the design of the and structure may not provide the tectonic value in the facade patterns, because It also depends on the type of design process of the facades as well and if it is being included or not included in the digital design process of the form or structure or both.

Key words: Digital design, Digital Structural Design, Tectonic, Digital Tectonic, Digital Patterns.

المقدمة:

بدأ المعماريون باستعمال الحواسيب منذ الستينات. وتمثلت البدايات في تحقيق أهداف النمذجة والاضهار. واستخدمت جزئيا في التصميم، اضافة الى انتاج الرسوم المخططات والمقاطع والواجهات للمشاريع المختلفة. وتطور الأمر في التسعينات ليتمد الى استخدام الحواسيب لتكون الوسط الذي يشمل العملية التصميمية بأكملها، بدء من التفكير الى الانشاء المعماري. وبدأ المعماري بدراسة الاشكال ثلاثية الابعاد لتوظيفها في التصميم. ولعبت البرامج التصميمية المساعدة دورا في تشكيل الفكرة التصميمية، وتوفير امكانية خلق اشكال معقدة، من خلال خلق الاشكال وتغييرها باللف او الدوران او التشويه...الخ. واستخدمت عدة برامج لتحقيق هذا الغرض مثل (D studio Max3)، (Softimage)، (Alias)، و (Maya) وغيرها. وبالرغم ان هذه البرامج لم تصمم ابتداء للعمارة، وانما خدمة لصناعة الطائرات والسيارات والأفلام المتحركة لإنتاج الشخصيات الحيوانية او أفلام الخيال العلمي بهدف خلق تأثيرات معينة، الا انها وظفت فيما بعد في التصميم المعماري (Lynn and Gage, 2010). وأصبح للأدوات الرقمية دورا في تزويد المعماري بالوسائل اللازمة لخلق الشكل علاوة على تكامله مع التصميم الهيكلي، وانتاج المكونات وعمليات الانشاء والقدرة على ادارة التعقيد الشكلي. وأفرز ذلك توجهها معماليا هو العمارة الرقمية، التي تميز بها القرن الواحد والعشرين. ظهرت العديد من الكتابات التي تناولت العمارة الرقمية في جوانب متعددة، علاوة على الكتابات التي تناولت ما يرتبط بها فيما يخص كل من التكتونك^١ والتكتونك الرقمي^٢:

١ - الأدبيات السابقة:

١-١ - دراسة نيلز لارسين (Niels Larsen)، ٢٠١٤ في كتاب: Digital Tectonics

تناولت المستويات التي تستخدم فيها التكنولوجيا الرقمية ومنافعها في السماح بدرجة اعلى من التعقيد في الحلول المعمارية، وتوفير انماط متنوعة كفاءة، وامكانية ان تقود العملية التصميمية الى التكامل ما بين التصميم ومحددات الانتاج وخصائص المواد. تتم عمليات التصميم في العمارة الرقمية بالاستعانة بالحاسوب لتطوير او خلق الشكل المعماري باستخدام برامج النمذجة الثلاثية الابعاد، التي توفر نتائج غير مسبقة التوقع. ويمكن تغيير الشكل الناتج بتغيير المدخلات الرقمية الى البرنامج مما يوفر امكانيات مفتوحة. اذ تسمح

¹ - التكتونيكTectonics: اثنق مصطلح التكتونيك Tekton من الكلمة الاغريقيةArchitekton التي تعني نجار أو بناء. ولها معاني اوسع مشيرة الى فعل التصنيع أو الانتاج. وظهر المصطلح في القرن التاسع عشر مرتبطا بالاهتمام بالحرف اليدوية القديمة والتقنيات الانشائية في كتاب (Four Elements of Architecture) لمؤلفه (Gottfried Semper)، حيث تضمن التطور التاريخي والحضاري للعمارة، والبحث العميق في شرح التغيير في التعبير المعماري، وارتباطه بالتغيير الحاصل في الظروف المحيطة، والعلاقة بين العمارة والتصنيع. وأشار سمبر (Semper) الى اهمية الاخذ بنظر الاعتبار كل من طبيعة المواد والتكتيك المستخدم عند تصنيع الاعمال الفنية والموتيفات المعمارية، والا فإنها برأيه ستفقد معانيها الرمزية (Frampton, 1995, p. 87)، فالتكتونيك لدى سمير لا يعبر عن المفهوم الجمالي - الهيكلي، وانما عن الحرف اليدوية بدء من المواد الطبيعية (الخفاجي، ٢٠١٥، ص١٢٧). وطرح الخفاجي، ٢٠١٥، في بحث (التكتونيك في العمارة) فكرة التكتونيك على انها التعبير الجمالي عن توازن القوى التي يوفرها المنشأ مما يعكس على الشكل في جميع أجزائه. وتتمثل العلاقة بين القوة للشكل في العامل المادي (الملموس) للمواد والهياكل وغير المادي (غير الملموس) كالجمال والجوانب الرمزية (الخفاجي، ٢٠١٥، ص١٢٧-١٢٨).

² - التكتونيك الرقمي Digital Tectonics: قيمة تعكس التعبير الجمالي عن توازن القوى التي يوفرها المنشأ المصمم باستخدام البرامج الرقمية نتيجة لتوظيف تكنولوجيا الحاسوب كجزء متكامل مع الانتاج المعماري.

عمليات التوليد الرقمية بالتعامل مع كمية اكبر من المعلومات، حيث يكون بالإمكان اشتقاق المعلومات الضرورية لجعل النموذج حقيقي وقابل للإنشاء، لأنه يقوم على المنطق الرياضي (Larsen, 2014).

٢-١- دراسة كريغ لين (Greg Lynn) ومارك كريج (Greg Mark)، ٢٠١٠ في كتاب:

Composites, Surfaces, and Software: High Performance Architecture

تتاولت التقاطعات بين التكنولوجيا والجماليات والوظيفة في العمارة المعاصرة والتوجه الذي يشمل اختصاصات متنوعة وبالأخص تكنولوجيا المواد المركبة في السعي لتوفير امكانيات جديدة في التصميم الرقمي.

٣-١- دراسة برانكو كولارييفيك (Branko Kolarevic)، ٢٠٠٩ في كتاب:

Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing

تتاولت التغيير الحاصل في العملية التصميمية والانشائية بسبب دخول الوسائل الرقمية اليها، والذي وفر امكانيات تصميمية جديدة لإنتاج الأشكال المتعددة والديناميكية غير مسبقة التحديد مع توفر امكانيات لا متناهية في (إيجاد الشكل) المتولد بالأدوات الرقمية. وصنف كولارييفيك العملية التصميمية الرقمية بناء على المدخلات الباراميتريية والعلاقة بينهما، ويرى بأن المعماري في العملية التصميمية الرقمية، يستخدم نماذج حاسوبية لإدارة العملية التصميمية. ويقوم المنطق الداخلي التوليدي للنموذج بتوليد الشكل، ثم اختيار المعماري للشكل من بين الأشكال المتنوعة الممكنة التي ينتجها البرنامج. وتسبب ذلك في ازاحة التصميم المعماري من (صنع الشكل الى اختيار الشكل) (Kolarevic, 2009). وأكد أيضا على ان عملية التوليد الرقمي للشكل تؤدي الى فتح افاق جديدة في التفكير المعماري والشكل الناتج، مما يولد قيم تكتونيك جديدة بسبب الإمكانيات المتنوعة في التفاعل ما بين المكونات في الانماط المغطية للسطوح المعمارية.

٤-١- دراسة كريغ لين (Greg Lynn)، ١٩٩٩ في كتاب: **Animate Form**

أكدت على مفردات التشويه والتحول والتعقيد والحركية، مؤكدا على التشويه لتعريف عملية التوليد في مشروعه (House Proto Type) في (Long Island). إذ استخدم التشويه للحصول على التغييرات في الشكل. ويرى: (بان القوى التي تشوه الشكل، تنتج حقل منحدر من الجاذبية والتناظر خلال الموقع). ويقوم هذا الحقل بتشكيل النمط المرين لدراسة تشوّهاته، إذ ينمو الشكل ويتولد استجابة للقوى المشكلة له، مستجيبا الى سياق الموقع وينمو بتجاذبه مع مجاوراته (Lynn, 1999).

٥-١- دراسة كنيث فرامبتون (Kenneth Frampton)، ١٩٩٥ في كتاب:

Studies in Tectonic Culture

قامت بتحليل النتائج المهمة في عمارة القرن العشرين. وطرح قضية نقل الافكار من الحقول الأخرى كالفن التصويري والفلسفة الى العمارة، بدلا من اعتماد التصميم على العناصر الأساسية. فبالرغم من أهمية اعتبارات النمط والموقع والتكتونيك، إلا أنها ركزت على الأخيرة مستخدمة تعبير شاعرية الإنشاء Poetics of Construction. وان تحقق القيمة التكتونيكية متمثلة في الحالة التي يكون فيها لكل من الهيكل والإنشاء علاقة اعتمادية متبادلة بينهما (Ibid, p.20). ان توفر قيمة التكتونيك يعتمد على التكامل في العلاقة ما بين الشكل والهيكل الإنشائي ليكون ظاهرا في النمط المستخدم في الواجهات. وظهرت استمرارية هذه الفكرة في العمارة المعاصرة بعد توظيف التكنولوجيا الرقمية في التصميم المعماري شكلا وإنشاء.

٦-١- دراسة ليج واخرون (Leach et al.) ، ٢٠٠٤ ، في كتاب: **Digital Tectonics**

تتاولت فكرة التكتونيك الرقمي كنتيجة لتوظيف تكنولوجيا الحاسوب كجزء متكامل مع الإنتاج المعماري، وقضية المستجندات في المواد والخصائص الهيكلية التي وفرتها الحواسيب كجسر رابط بين

المعماريين وباقي المهندسين في تبادل المعلومات والافكار خلال تطور الحل التصميمي، والتأكيد على اهمية العمليات التوليدية المؤسسية على القيم الباراميتريية، واقتصار دور المصمم على اتخاذ القرار بشأن المحاور الاساسية التي تعرف الشكل، ثم اطلاق العنان للبرنامج كي يقوم بالعمليات الحاسوبية، التي يتبلور عنها الشكل النهائي (Leach et. al., 2004). كما قامت الدراسة بفحص الاستكشافات الرقمية عبر النتاج المعماري للتصاميم المعدة من قبل كل من (Decoi)، (FOA) و (UNstudio)، والمقارنة بين التكتونيك في الشكل الساكن في العمارة التقليدية، والتكتونيك في التشكيل الرقمي الديناميكي (Leach, 2004).

٧-١ - مقالة بيرنارد كاتشييه (Bernard Cache)، ٢٠٠٢ بعنوان (Digital Semper) في كتاب: **Rethinking technology: a reader in architectural theory**

تناولت التكتونيك الذي طرحه سمير، باعتبارها نتيجة للحلول المتوفرة للإنتاج المعماري المتزامن مع التطورات التكنولوجية آنذاك، وظهور علاقات تكتونيكية مختلفة في الوقت الحاضر بسبب التطور الذي سببه توفير التكنولوجيا الرقمية في التصميم، الانشاء، الانتاج والمواد، معتبرا المعلومات نوعا من انواع المواد. فبالنسبة لكاتشييه فان الأشكال لم تعد تصمم، وانما تحسب. كما ان تصميم الاجسام المعقدة ذات السطوح المنحنية والطبقات المتعددة يطلب التقدم في التصنيع التحويري في الصناعة الانشائية. فقد وفرت التكنولوجيا الرقمية امكانية خلق الانظمة الديناميكية والمتحركة غير القابلة للتنبؤ المسبق، وامكانية خلق السطوح باستخدام المنحنيات الرقمية، وانتاجها باستخدام CNC، والتي ساهمت في توفير امكانيات القطع، التصنيع والاضافة لإنتاج سطوح ذات تكتونيكية جديدة خاصة بالعمارة الرقمية (Cache,2002).

٨-١ - دراسة لارس سبببرويك (Lars Spuybroek)، ٢٠٠٤، في كتاب:

Machining Architecture

قامت الدراسة بتحليل الاعمال المعمارية في ضوء التكنولوجيا الرقمية، مفترضة بان العملية الثابتة التقليدية للتكتونك قد أعيد تشكيلها الى عملية مرنة. والنظر الى العمارة على انها (فن الخط). وتميزت تصاميم سبببرويك بالخطوط المعقدة التي مثلت الناتج النهائي للعمليات الحاسوبية المعتمدة على النموذج القائم على الادائية (Spuybroek, 2004).

٩-١ - دراسة مارجان كوليتي (Marjan Colletti)، ٢٠١٣ في كتاب:

Digital Poetics: An Open Theory of Design-Research in Architecture

تطرح ظاهرة استمرار معضلة التكتونيك التقليدية في العمارة المعاصرة هي من خلال توجيهين رئيسيين هما، الاول: التضارب في التصور الرقمي من جهة، والتكتونيك الرقمي من جهة اخرى، والثاني: التضارب في التمثيل الرقمي مقابل العملية التصميمية الرقمية أو خصائص التصميم التقني للمواد مقابل المحددات الهيكلية الحقيقية. يتمثل التكتونيك الرقمي بالنسبة لكوليتي في اعادة توليد الشكل في الجوانب المعمارية والهندسية، ليتغير دور المعماري الى كونه المسيطر على العملية التصميمية وتحول الفعل التصميمي من فعل التفكير (Doing the thinking) الى تفكير الفعل (Thinking the Doing) (Colletti,2013).

نستنتج من ذلك بأن العملية التصميمية في الماضي كانت معتمدة على تفكير المعماري في شيء ما، ثم تجسيده شكليا، اما في التكتونيك الرقمي فقد تم الاعتماد على الحاسوب في تجسيد الشكل ثم ايجاد المعماري للفكرة المرتبطة به. وملخص ذلك ان الادبيات السابقة وان اختلفت في تناولها التكتونيك من زوايا مختلفة، الا انها اكدت على التغير الدرامي في الانشاء وعلاقته بالشكل المعماري الذي تسببه دخول التكنولوجيا الرقمي. فبالرغم من اختلاف نقطة تركيزها على العملية التصميمية الرقمية، لكن ثمة اتفاق على حدوث تغير في طرق

توليد الشكل المعماري رقميا وتغير في العلاقة ما بين الشكل التصميمي وتصميم الهيكل الانشائي، وما ينتج من أثر في توفر القيمة التكتونك او عدم توفرها.
تمكن البحث من مراجعة الادبيات السابقة التي تناولت موضوع توليد الشكل الرقمي والعلاقة مع والتكتونك الرقمي أن يقوم بتحديد الاطار البحثي كما يرد في الجدول رقم (١).

جدول رقم (١) يوضح الاطار النظري للبحث لتوليد الشكل وعلاقته بالهيكل في العمارة الرقمية وتوفر قيمة التكتونك أو عدم توفرها في الأنماط الرقمية للواجهات (المصدر: الباحثة)	
المشكلة	الحاجة الى تحديد طرق توليد الشكل وعلاقته بالهيكل في العمارة الرقمية وأثرها في توفر قيمة التكتونيك في الأنماط الرقمية للواجهات.
الفرضية	ان تحديد طرق توليد الشكل وعلاقتها بالهيكل في العمارة الرقمية هي عامل مؤثر في توفر قيمة التكتونيك أو عدم توفرها في الأنماط الرقمية للواجهات.
الهدف	تحديد طرق توليد الشكل وعلاقته بالهيكل في العمارة الرقمية وأثرها في توفر او عدم توفر قيمة التكتونيك في الأنماط الرقمية للواجهات.
المنهج	تصنيف عمليات التصميم في العمارة الرقمية كاستخدام المسح الرقمي والنماذج التصميمية الرئيسية المستخدمة في عمليات التصميم في العمارة الرقمية. تحديد عمليات التصميم الهيكلي الرقمي. دراسة تأثير العلاقة بين التصميم المعماري والتصميم الهيكلي للمبنى. دراسة دور الأنماط التكتونية في الواجهات المعمارية تحليل تأثير نوع العمليات التصميمية الرقمية وتأثير العلاقة بين التصميم المعماري والتصميم الهيكلي للمبنى في توفير قيمة التكتونيك في الواجهات الرقمية من خلال فحص قيمة التكتونيك في حالات دراسية مختارة.

٢- تصنيف عمليات التصميم في العمارة الرقمية:

٢-١- استخدام المسح الرقمي الثنائي الابعاد للمخططات اليدوية: يتم مسح المخططات اليدوية الأولية بأجهزة المسح الثنائية الابعاد، واكمال عمليات التصميم وتنفيذ الرسومات المعمارية باستخدام برامج الحاسوب.

٢-٢- استخدام المسح الثلاثي الابعاد للنماذج اليدوية الأولية للمشروع: يتم استخدام المسح ثلاثي الابعاد ليس كوسط لخلق الشكل، وانما لنقله من العالم المادي الى العالم الرقمي. حيث ينتج عن عملية المسح نقاط متعددة. تمثل حدود الشكل الذي تم مسحه. ويتم استخدامها لخلق منحنيات (NURBS) وهي مختصر-Non Uniform Rational B-Splines، والتي تستخدم حاسوبيا لخلق السطوح المكونة للشكل (Kolarevic,2009). تكمن المشكلة في هذه الطريقة في ان الشكل الناتج قد يتعارض مع المحددات الانشائية المطلوبة (Larsen, 2014). وتتميز السطوح المتولدة بهذه المنحنيات بإمكانية التحكم بها من خلال النقاط المكونة للشكل، وتعرف بدوال باراميتريية (المرشدي والماجدي، ٢٠١٧).

٢-٣- استخدام النماذج الرئيسية لعمليات التصميم في العمارة الرقمية: تمكن المعماريين من انجاز تصاميم ذات تنوع شكلي عالي باتباع عمليات تأسيس الشك Form-Based وفقا لخمسة نماذج الرئيسية، والتي تم استخدامها من قبل المعماريين، الامر الذي انتج توجهات معمارية رئيسية، تدخل ضمن تسمية العمارة الرقمية

مثل العمارة الحيوية *Animated* والعمارة الباراميتريية *Parametri*، العمارة التشاكلية *Isomorphic*، العمارة الأدائية *Performable* والعمارة التطورية *Evolutionary*. ويمكن تصنيف النماذج التصميمية الرئيسية لعمليات التصميم في العمارة الرقمية كالآتي:

٢-٣-١- **النماذج البيولوجية Biological**: يتم اعتماد النموذج البيولوجي كنقطة بدء في العملية التصميمية. ومن أنواعها استخدام نموذج قطرة الماء ونماذج العضويات الحية.

أ- **النموذج القائم على قطرة الماء Water Drop**: يقوم على البدء من قطرة الماء كإلهام للشكل التصميمي، ومحاكاة عملية اقتراب قطرتين من الماء، وتشوههما في نقطة الالتقاء بسبب قوة الالتصاق الطبيعية. حيث تتم محاكاة ذلك رقمياً وتحولها إلى نموذج رقمي. وقد صممت هذه البرامج في البدء لدراسة الجزيئات المعقدة، ثم استخدمها لين في التصميم المعماري. كمثال ما قام به من تصاميم معتمدة على نماذج متعددة مطلقاً عليها تسميات مثل *Meta-Balls* أو *Isomorphic Poly Surfaces*، *Meta-Clay* أو *Models*، حيث يمكن تعريف نمطين من التفاعل بين القطرات، وهما الصهر *Fusion* أو التثني *Inflection* اعتماداً على خصائص جاذبية القطرات عند التقائها (Lynn,1998). ويصنفها كولارييفيك على أنها نمطين هما: الإضافة *Additive* (الإيجابية) أو الطرح *Subtractive* (السلبية). وتسمى العمارة الناتجة بالعمارة التشاكلية. وتعرف على أنها شبيهة بالكائنات الحية الأولية أحادية الخلية، متفاعلة مع قوى داخلية للجذب (Kolarevic,2009).

ب- **النموذج القائم على العضويات الحية Living Organisms**: يستخدم المعماريون هذا النموذج للتعريف والسيطرة على العملية التصميمية. وتمثل الحيوانات والنباتات وأجزاء جسم الإنسان أمثلة للنماذج الحية التي يمكن أن تتخذ كمراجع للأفكار في التصميم المعماري. تستخدم المماثلات الاحيائية لتصميم الأنظمة الهيكلية عبر برامج حاسوبية تعتمد محاكاة الأنسجة الحية النباتية أو الهياكل الحية (سالم ومهدي، ٢٠١٧).

٢-٣-٢- **النموذج القائم على معلومات الإدخال (الباراميتري) Parametric**: يقوم على تأثير التغيير في مدخلات القيم الحاسوبية في البرامج المولدة للشكل المعتمدة على المعادلات اللوغاريتمية، مما ينعكس على الشكل النهائي الناتج. وقد تتعلق هذه المدخلات بزوايا الشمس، اتجاه الرياح، حركة المشاة وحركة السيارات. كما أن تغير أي منها ينعكس على البقية. وبذلك تحدد المدخلات الرقمية متطلبات تصميم الهيكل الإنشائي ومكوناته كأبعاد، ارتفاع، موقع ونوع المفاصل بينها. وبدلاً من تعيين قيم ثابتة مثل الأبعاد، الحجم والطول للنظام الهيكلية (Burrows,2009). ويقوم هذا التوجه بنقل التصميم من الأفكار إلى التقييم المتسلسل والمتغير لإنتاج الأشكال بالاعتماد على المدخلات، والية توليد المعطيات الرياضية، والبدائل المتعددة للمنتج الشكلي، ثم دور المصمم في اختيار ما هو مناسب منها، ليتم اعتماده في التصميم. (المرشدي والماجدي، ٢٠١٧). ويطلق على العمارة الناتجة اسم العمارة الباراميتريية. توفر هذه العملية التصميمية إمكانية إيجاد نسخة معدلة من الشكل بتغيير المعلومات المدخلة إلى البرنامج، مما يوفر احتمالات لانهاية لها من الأشكال المشابهة للشكل الابتدائي (Kolarevic,2009).

٢-٣-٣- **النموذج القائم على الحركة والقوة Motion and Force**: تعتمد على العلاقة بين المبنى وبيئته. حيث يتم توليد الشكل المعماري اعتماداً على علاقته مع بيئته، والأخذ بنظر الاعتبار تأثير العوامل الخارجية المحيطة بالمبنى كاتجاه الرياح، زوايا الشمس، حركة المشاة والسيارات، قوة الجاذبية... الخ، بالإضافة إلى تأثير المتغيرات المتعلقة بالبرنامج التصميمي المطلوب. ويعتمد اختيار المدخلات الرقمية لقوى البيئة المؤثرة في خلق الشكل على حكم واختيار المعماري. فقد يختار حركة المشاة والسيارات أو اتجاه الرياح

ويهمل انسياب المشاة، او يتم خلق الشكل اعتمادا على المتغيرات المتعلقة بالبيئة مع اهمال المتغيرات المتعلقة بالحركة. ويعرف لين استخدام القوة والحركة في حقل التصميم لغرض تشويبه وتوليد الشكل على انها عمارة حيوية **Animated Architecture** . ويستخدم في التصميم بعض تقنيات النمذجة المعتمدة على الحركة مثل **Key Frame Animation** وغيرها لخلق العمارة المتحركة، ولنموذجة الوسط التصميمي كفضاء للقوى المتفاعلة. وتعتمد المحاكاة الديناميكية على تأثير حركة جسم الانسان وتأثيرات القوى المحيطة كمعلومات إدخالية تؤثر في الشكل النهائي للمبنى (Lynn,1999).

٢-٣-٤- **النموذج القائم على الأداء Performance**: تقوم العملية التصميمية في هذه الحالة على التحليل الأدائي (المالي، الثقافي، الاجتماعي، الوظيفي... الخ) أو ادائية المواد، اضافة الى الادائية الايكولوجية. اذ يؤخذ بعين الاعتبار زوايا الشمس واتجاه الريح... الخ. وكذلك الادائية التقنية والتي تتضمن تحليل الهيكل الانشائي. ويعتمد هذا النموذج على توظيف برامج التحليل حسب الادائية المطلوبة مثل برنامج (**Finite Element Method (FEM)** المستخدم في تحليل الديناميكا السائلة والطاقة، وبرنامج **Dynamics Computational Fluid (CFD)** المستخدم في تحليل تدفق الهواء. ويتشوه الشكل كاستجابة للتحليل الأدائي (Kolarevic,2009)، وبالتالي فان الاشكال الناتجة وفق العملية التصميمية ضمن هذا التوجه. ويطلق على هذا التوجه العمارة الأدائية.

٢-٣-٥- **النموذج القائم على التطور Evolution Based Models**: يعتمد الشكل المعماري الناتج عن هذه النماذج على اللوغاريتمات الجينية والنمو الاحيائي كأساس لخلق الشكل بشكل يحاكي الحامض الوراثي **DNA** في نواة الخلية الحية. وتعد المعطيات المعمارية المدخلة للبرنامج بمثابة محاكاة للشفرة الوراثية في الحامض الوراثي. وهنا يكون التنظيم والسيطرة على المنطق الداخلي أكثر أهمية من المنتج النهائي في النماذج القائمة على التطور. وعند تزويد البرنامج بالمدخلات الرقمية الخاصة بالأبعاد واللون وغيرها الخاصة بالمشروع، سيظهر التغيير على النموذج الأصلي بشكل مشابه لما يحدث في الانتاج الجيني للكائن الحي (Ibid,P.11-28). وقد ساهم التطور في برامج (CAM/CAD) في تقديم نماذج عديدة كمحاكاة لعمليات النمو في الكائنات الحية (الخفاجي، ٢٠١٥). ويطلق على هذا التوجه العمارة التطورية. وتقوم القضية الاساسية للتفسير الجيني على نمودجة المنطق الداخلي أكثر من القوى الخارجية (Kolaravic,2000).

ونستخلص من ذلك ان العمليات التصميمية الرقمية لا توفر تصور مسبق لما سيكون عليه الشكل التصميمي النهائي، فبالرغم من ان المعماري هو من يعرف محددات التصميم وينظم المعلومات المدخلة وعلاقتها في العملية التصميمية، الا انها تنتهي بشكل تصميمي نهائي مختلف عن النموذج البدئي للشكل الذي يقوم عليه البرنامج.

٣- عمليات التصميم الهيكلي الرقمي **Digital Structural Design Process**:

مثل اهتمام المعماريين باعتبارات خلق الشكل وفقا للنماذج الرئيسية في العملية التصميمية الرقمية وما نتج عنه من أشكال معقدة تحديا لإيجاد حلول انشائية موازية. اذ مثلت الأشكال غير النظامية تحديا للمهندسين لإيجاد حلول انشائية مثالية. واستدعى ذلك ان يعمل كل من المهندس المعماري والانشائي سوية ضمن عمليات تصميمية انشائية موحدة بمساعدة التكنولوجيا الرقمية، للتغلب على المشاكل الانشائية. وانتج ذلك علاقات جديدة بين الشكل والمنشأ في التصميم الرقمي. فقد اتخذت توجهين رئيسيين وهما: الاول- ان يقوم كل من المعماري والمهندس الانشائي بالتصميم التفاعلي أثناء عملية خلق الشكل رقميا وصولا الى النتائج

النهائي المطلوب. الثاني- ان يقوم المهندس الانشائي بتصميم النظام الهيكلي ليكون التصميم المنتج مسبقا في الوسط الرقمي قابلا للإنشاء.

يمثل التوجهان عمليتين تصميميتين مختلفتين. ويمكن أن تصنف الى ثلاث فئات (اعتمادا على العلاقة بين التصميم المعماري والتصميم الهيكلي للمبنى) وهي:

٣-١- العملية التصميمية المركبة:

هي الحالة التي يكون فيها التصميم المعماري والتصميم الهيكلي للمبنى متكاملان. اذ يتم تطوير الهيكل والشكل بتوافقية خلال العملية التصميمية. ويتم تطوير متكامل للشكل، الهيكل، المواد، طرق التصنيع والانشاء. ويسمح التحليل الهيكلي بالقيام بالتعديلات على الشكل خلال عملية خلقه، ولذلك فان التصميم الهيكلي يكون ضمنا في كل العمليات الحاسوبية بدء من التفكير التصميمي الى الانشاء (Kloft,2006,p.248)، ويسمى النموذج التكامل في التصميم المعماري الرقمي بالنموذجة المعلوماتية للمباني (255)، ويسمى النموذج التكامل في التصميم المعماري الرقمي بالنموذجة المعلوماتية للمباني (Building Information Modeling (BIM)، ويعرفه المعماري بتمان (Pittman) على أنه "النموذج الذي يأخذ بالحسبان الخصائص الادائية، الكلفة والامور الاخرى المتعلقة بالإنشاء وتشغيل المبنى، علاوة على تصميمه" (Pittman,2009). وتمكن العملية التكاملية الحاسوبية من التفكير حول الشكل، الهيكل والمواد في نفس الوقت وفي نفس النموذج. وتقوم العملية التصميمية على كونها عملية متميزة، حيث يقوم كل المشاركين في المشروع بالعمل في اطار المسؤولية بالعلاقة مع بعضهم في العمل، بدء من تصميم الشكل الى الانشاء وباستخدام نفس البرنامج التصميمي.

ويتم تصميم تقنيات متخصصة في التركيب الهيكلي من أجل المحافظة على التكامل بين التصميم المعماري والتصميم الهيكلي، وذلك لتوفير امكانية تصميم وتنفيذ الأشكال الحرة والمعقدة التي تتكامل فيها المتطلبات المختلفة (Rappaport, 2010)، وتقوم برامج مثل (EifForm) و (MoSS) و (GENR8) لبيتر تيستا (Peter Testa) وديفن ويسر (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، الأبعاد، النظام الهيكلي والموصفات الخاصة بالمواد الى العملية التصميمية. وتستخدم هذا البرامج مع برامج حاسوبية اخرى مثل (Alias Wave Front Studio) و (Maya Platforms) التي توفر امكانية النمذجة والاطهار (Testa,2002).

وتكون العملية التصميمية المعمارية متكاملة. حيث يتم معالجة الشكل التصميمي والهيكل الانشائي معا من خلال التأثير المتبادل لكليهما. اذ تتطلب الاشكال المعقدة فهم كل من العملية التصميمية -الانشائية والعلاقة بين الشكل والهيكل.

٣-٢- عملية التصميم القائمة على الهيكل: يتم في هذه العملية الاهتمام بالتصميم الهيكلي كمحور رئيسي. اذ تتحكم بالعملية التصميمية الكلية منذ بداية تركيب الشكل للفكرة التصميمية الى الشكل الكلي. وتمثل تصاميم كل من (Arup)، (Buro Happold) و (Kristina Shea) أمثلة على التصميم الهيكلي، الذي يقود الى تصميم الشكل. وبدلا من خلق الشكل ثم الاخذ بعين الاعتبار الخيارات الانشائية، فانه تتم معاملة الهيكل بوضوح ليقود تعريف الشكل الخارجي والداخلي. وتستخدم في هذه العملية العكسية تقنيات حاسوبية مثل (eifForm) لخلق النظم الانشائية، اذ يقوم البرنامج بخلق وتحليل التصميم الهيكلي وصولا الى الحل التنظيمي الافضل (Shea,2002,P.42). ويتم الاعتماد على نماذج فيزيائية مثل السلاسل او الانسجة المشدودة (المرشدي والماجدي، ٢٠١٧).

٣-٣- العملية التصميمية الخطية: يتم تصميم الشكل في البدء اعتمادا على المحددات الهندسية للشكل. ولا يسمح في هذه العملية ان يؤدي التصميم الهيكلي والتحليلات المتعلقة به الى تغيير الشكل. وهنا يقوم المعماري بتصميم الشكل دون الاخذ بنظر الاعتبار الطرق التي سيصمم بها الهيكل الانشائي. ثم يقوم لاحقا كل من المعماريين والمهندسين باتخاذ القرارات الخاصة باختيار الهيكل الانشائي المناسب والمواد (Kloft, 2006).

٤ - الأنماط التكتونية **Tectonic Patterns**: تتميز المشاريع المعاصرة بوجود علاقة مباشرة بين الجزء والكل. اذ يتكون المبنى من تكوين متدرج ومتربط يختلف شكلا ووظيفة عن العمارة التقليدية. وفي بعض الاحيان تكون الانماط المحيطة بالشكل لغرض تزييني فحسب، وفي احيانا اخرى تكون العنصر الاساسي في تكوين الشكل بأكمله، لتكون العناصر الاولية لإسناد المنشأ بأكمله. وتصبح هذه الانماط اساسية في التكوين بأكمله وبمقاييس مختلفة. اذ تتميز العمارة المعاصرة بانها مكونة من أجزاء صغيرة مرتبطة بمفاصل لتخلق النمط التصميمي للواجهة، والتي تتصف بتميز كل جزء منها. وتعمل كقناع يغطي الواجهة لمنحه تعبيراً متنوعاً ومتجانساً. ويكون الجزء ذا اهمية حاسمة للكل في المبنى الذي يتضمنه الى الحد الذي قد يجعل النمط التكتونيكي هو من يعرف شكل المبنى. وتصبح هوية المبنى الرئيسية معتمدة على نظام تكتونيكي فريد وخاص بها ومطور لمبنى محدد دون غيره (Moussavi & Kubo, 1996). ويعود السبب في ذلك الى تميز كل مبنى معاصر بشكل مختلف عن الاخر بسبب ما وفرته التكنولوجيا الرقمية من الامكانيات غير المحدودة من التنوع في خلق الشكل بمجرد تغيير القيم المدخلة للبرامج أو تغيير النموذج الذي تقوم عليه البرمجة، والذي سبق طرحه في البداية البحث. وهذا ولد علاقات جديدة غير مسبوقه بين الشكل والهيكل الانشائي وانعكاسه في الانماط المصممة لغللاف المبنى أو واجهاته.

٤-١- دور الأنماط التكتونية في الواجهات المعمارية:

تتولد قيمة التكتونيك في الواجهات المعمارية عندما تتوفر التعبيرية عن الجوانب الجمالية والمعرفية، وظهور ذلك في واجهات المبنى كتعبير عن وحدة التكامل بين شكل المبنى وهيكله الانشائي (الخفاجي، ٢٠١٥). يمكن تقسيم دور الانماط في الواجهات في العمارة الرقمية تبعا لعلاقتها بالمنشأ والشكل الى ثلاثة فئات.

٤-١-١- أن تمثل العنصر التزييني للواجهات، وفي هذه الحالة لا تتوفر قيمة التكتونيك في المبنى.

٤-١-٢- ان تكون الهيكل المكون للواجهة المعمارية، وفي هذه الحالة لا تتوفر قيمة التكتونيك في المبنى، لأنها لا تعكس العلاقة بين الشكل والهيكل الانشائي للمبنى.

٤-١-٣- ان تكون الهيكل الاساسي لإسناد المبنى. اذ يتم تصميم انماط ثلاثية الابعاد في هذه الحالة، مع خصائص تمكنها من اسناد المبنى. اذ يمكن تصميم هياكل تكون القشرة فيها سائدة لكل او معظم القوى المسلطة على الهيكل. وتقوم الفكرة على دمج القشر المغلفة والهيكل كعنصر واحد، وتنفيذها بمواد جديدة تتناسب هذا الهدف كالمواد الرغوية ذات الحرارة العالية، وانواع جديدة من المواد المطاطية والبلاستيكية والمواد المركبة. حيث توفر هذه المواد امكانية ان تكون للقشرة وظيفة انشائية (Kolarevic, 2003). وفي هذه الحالة تتوفر قيمة التكتونيك بسبب تعبير الواجهات عن التكامل بين الشكل والهيكل الانشائي. وتشمل أنظمة التغطية الصندوقية المفرغة والانظمة القشرية أو المرنة حيث يقوم التكتونيك على ارتباط هيكل المبنى بقشرته لتكون الاخيرة هي الهيكل نفسه (الخفاجي، ٢٠١٥).

٤-٢- انماط الواجهات في العمارة الرقمية:

٤-٢-١- تصنيف انماط الواجهات المستخدمة تبعا لإمكانية الحركة: وتصنف الى:

٤-٢-١-١- الانماط الثابتة: ويقصد بها الانماط التي لا تمتلك مكونات قابلة للحركة.

٤-٢-٢-١- الانماط المتحركة: ويقصد بها ان يتضمن النمط أجزاء متحركة. ويعتمد التكتونيك في هذا النمط على اعادة التشكيل التي تحدث في الواجهة لغرض معين. وتكون حركة الاجزاء بالنسبة للكل هي الدوران، الالتفاف، النقل، التمدد أو الانتفاخ. ويمكن ان تتم الحركة بتقنيات ميكانيكية او اعتمادا على امكانية المواد المستخدمة القادرة على التشوه بفعل حافز معين. حيث يعتمد تصميم النمط المتحرك على تقنيات السيطرة على تصميم الحركة في مكونات النمط والاخراج الرقمي الذي يتحول الى تغير في الشكل وينتج عنه التكتونيك المطلوب في النمط المصمم(Moreno and Celani,2015).

٤-٢-٢-٢- تصنيف الانماط الرقمية تبعا لطريقة توليد النمط رقميا:

٤-٢-٢-١- الواجهات ذات الأنماط الخطية **Linearity** والتكرار الدوري **Periodicity**: وتتكون من الوحدات المتكررة التي تشكل نمط الواجهة. مما يوفر سيطرة مباشرة على تنظيم عناصر النمط مع وجود ثبات بين النمط المستخدم والهندسة الكلية للشكل. يصف النظام الخطي سلوك النظام الذي اذا يؤدي تغير اي جزئ فيه الى تغير تناسبي مباشر في اجزاء النظام الاخرى. ويمكن تمثيل العلاقة الرياضية بخط مستقيم(Runco,1999).

٤-٢-٢-٢- الواجهات ذات الأنماط غير الخطية **Nonlinearity**: وتظهر من خلال التأثيرات المتبادلة بين العناصر المكونة للنمط. وهي الحالة التي يعتمد فيها كل جزء على الاجزاء الاخرى. وينتج ذلك من العلاقة غير المباشرة بين العناصر المدخلة والنمط الناتج. يعرف النظام غير الخطي على انه ذلك النظام الذي يتغير فيه سلوكه مع الزمن. ويرتبط بالديناميكية بالإشارة الى فعل القوة الذي ينتج الحركة. ويكون النظام غير خطي عندما تكون احدى العلاقات لعناصره المكونة (على الاقل) غير خطية(Ibid,p.260).

٤-٣- توليد الأنماط غير الخطية:

يمكن توليد الأنماط غير الخطية باتباع طرق عديدة اعتمادا على البرامج الرقمية المستخدمة. يقوم المصمم باختيار كثافة الوحدات المكونة للنمط الذي يشكل غلاف المبنى اعتمادا على عوامل تكتونية، تقنية، وظيفية أو إنتاجية. وبالتالي يتم اتخاذ القرار بشأن ابعاد، حجم واتجاه كل مكون ضمن السطح الكلي. ترتبط درجة التعقيد في انماط السطوح المغلفة للمبنى على العمليات الحاسوبية، والتي قد تكون وحداتها الاساسية ذات اشكال من الطبيعة، اعتمادا على البرنامج المولد للشكل. كمثال يمكن ان تكون الوحدات المكونة للسطح محاكاة لفقاعات الصابون، والتي يمكن تمثيلها رقميا باستخدام برامج خاصة لوغاريتمية لملائمة النمط المستخدم مع المحددات الخاصة بالبيئة او الشكل. يمكن توليد الأنماط غير الخطية باتباع طرق عديدة اعتمادا على البرامج الرقمية المستخدمة. سيقصر البحث على ذكر أهمها وهي كالآتي:

٤-٣-١- الانماط ذات التوليد الذاتي **Self-Organisation**: وهي الانماط المتعلقة بمبادئ التنظيم بين العناصر المتفاعلة للنظام اثناء عملية خلق الشكل المعماري، والتي تتكون ذاتيا خلال العمليات الحاسوبية التي يجريها البرنامج. وهي انماط ليست عشوائية وانما حصيلة للمنطق الداخلي للنظام اللوغاريتمي الحاسوبي(Moreno and Celani,2015). ومن انواعها تلك المتولدة باستخدام منحنيات (NURBS)، التي ينتج عنها ما يسمى بالنمط العميق **Deep Pattern** يكون فيها كل من المظهر الخارجي والداخلي متصف بالوحدة مع الشكل الكلي. وتكمن أهميتها في عملية توليدها وامكانية تطبيقها (Larsen, 2014)، مما ينتج قيم جمالية وتأثيرية تكتونيك جديدة، وتتصف بالتعقيد الهندسي. وقد تكون هذه الانماط مستقلة عن الهيكل خلفها او متكاملة معه. وتمثل المنحنيات وسيلة مناسبة لدمج كل من الهيكل الانشائي مع الفضاء

والهندسة مع السطوح والتكتونيك مع الزخرفة، وبإمكانها أن تستوعب متغيرات تعريف الفضاء والهيكل الإنشائي (Colletti,2013).

٤-٣-٢- الانماط الباراميتريّة Parametric: وتقوم عملية توليد السطوح فيها وتصميمها بما يتناسب مع الشكل الكلي باستخدام المدخلات الرقمية ولكونها عضوية بطبيعتها، وتسمح بتصميم مكونات المبنى في قياسها وخصائصها لتتكامل مع الشكل الكلي اعتمادا على مواقعها. وترتبط المكونات مع السطح المعرف مسبقا في البرنامج من خلال المدخلات الرقمية التي يزود بها. ولا توجد علاقة مباشرة بين المعلومات المدخلة والخارجة حيث ان النظام المتبع غير خطي ولكونها عضوية بطبيعتها، ويسمح بحرية اكبر في التشكيل (Larsen, 2014).

٤-٣-٣- الانماط المعتمدة على طوبولوجيا التفرع Branching Topologies: وتتميز بانها انماط ذات اشكال حرة ثلاثية الابعاد ولكونها عضوية بطبيعتها، ويتم استخدام برمجيات متنوعة لإنتاجها مثل نظام (L-system) لمحاكاة توليد التفرع في النبات لوغاريتميا.

٤-٣-٤- الانماط القائمة على الأداء Performance: تدخل المحددات الخاصة بالبيئة وادائية البيئية المطلوبة في المبنى في نمط الواجهة. ويتم ربط المتغيرات العامة للمشروع مع الوظائف الادائية للواجهة التي تغطيها.

٤-٣-٥- الانماط الخلوية (Cell): وهي انماط محاكيه لنماذج موجودة في الطبيعة ولكونها عضوية بطبيعتها، ويتم توليدها باستخدام برنامج (Cellular Automation CA) (Moreno and Celani , 2015).

٥- استخلاص مفردات الاطار النظري:

تم استخلاص مجموعة من المفردات الرئيسية والثانوية، وتم تبويبها ضمن ستة مفردات رئيسية هي:
اولا: عمليات التصميم الرقمي، وتشمل مفردات: ١- المسح الرقمي للمخططات اليدوية. ٢- المسح الرقمي للمخططات اليدوية. ٣- استخدام نماذج التصميم الرقمي، وتشمل مفردات: ١- النماذج البيولوجية. ٢- النموذج (الباراميتري). ٣- النموذج القائم على الحركة والقوة. ٤- النموذج القائم على الادائية. ٥- النموذج القائم على التطور.

ثانيا: العلاقة بين التصميم الرقمي للشكل والتصميم الهيكل الرقمي. ويشمل مفردات ١- عمليات التصميم المركبة. ٢- عمليات التصميم القائمة على الهيكل. ٣- عمليات التصميم الخطية.

ثالثا: دور الأنماط التكتونية في الواجهات المعمارية، ويشمل مفردات: ١- دور التزيين. ٢- الهيكل المكون للواجهة. ٣- الهيكل الاساسي لإسناد المبنى.

رابعا: انماط الواجهات المستخدمة تبعاً لإمكانية الحركة، وتشمل مفردات: ١- الانماط الثابتة. ٢- الانماط المتحركة.

خامسا: الانماط التكتونية في الواجهات تبعاً لطريقة توليد النمط رقميا، وتشمل مفردات: ١- الأنماط الخطية. ٢- الأنماط غير الخطية، وتشمل: ١- الانماط ذات التوليد الذاتي. ٢- الانماط الباراميتريّة. ٣- الانماط المعتمدة على طوبولوجيا التفرع. ٤- الانماط القائمة على الادائية. ٥- الانماط الخلوية.

سادسا: توفر قيمة التكتونيك في الأنماط الرقمية للواجهات / استنتاج الباحث.

٦- الدراسة العملية:

تركز الدراسة العملية على تحديد الحالة الدراسية المختارة، بهدف تحديد طرق توليد الشكل وعلاقته بالهيكل في العمارة الرقمية، وأثرها في توفر قيمة تكتونيك أو عدم توفرها في انماط الواجهات المعمارية في كملنها. كما تركز على قياس المفردات المستخلصة من الاطار النظري.

٦-١- معايير الانتخاب: تم اختيار الحالات الدراسية استنادا الى عمليات التصميم في العمارة الرقمية التي سبق شرحها في المتن.

٦-٢- اسلوب القياس وطريقته: اعتمد البحث في اسلوب قياس المتغيرات الى طريقة التحليل الوصفي المقارن بين الحالات الدراسية المختارة. وهي الطريقة التي سيتم اتباعها لقياس المفردات.

٦-٣- الحالات الدراسية: تم اختيار الحالات الدراسية بما يتطابق مع التسلسل الوارد في متن البحث فيما يخص عمليات التصميم الرقمي باختيار حالة دراسية واحدة لكل منها. سيتم وصف الحالات الدراسية اعتمادا على الادبيات لغرض اجراء التطبيق على المفردات المستخلصة من الاطار النظري. وسيتم مقارنة مفردات القياس المستخلصة من الاطار النظري على الحالات الدراسية المنتخبة في الجداول المرقمة من ١ الى ٩.

الجدول رقم (٢) العملية التصميمية القائمة على تحويل المخططات اليدوية الى الوسط الرقمي.	
اسم المشروع	الحالة الدراسية رقم (١)، مشروع (Municipal Funeral Hall) للمعماري (Ito Toyo) في (Kakamigahara) في اليابان (Detail, 2008).
مخططات و صور المشروع	 
نوع وفكرة المشروع	وهو قاعة مآتم، بدأت بمخطط يدوي بسيط متأسس على رغبة المعماري في شكل معقد يشبه الغيمة التي تطفو فوق الفضاءات الداخلية. ويمثل صدئ للجمال المحيطة بالموقع.
عملية التصميم الرقمي للشكل	تم تحويل المخططات اليدوية الى الوسط الرقمي من خلال طريقة (Repeated Passes of Pefinement Algorithm) لمنح السقف الكفاءة الاعلى للشكل. اختار المصمم عنصرا مفردا ذا منحنيات متكررة. وتمت المعالجة الحاسوبية بدون تدخل. وانتج ذلك شكلا نهائيا غير متوقع تماما (Detail,2008).
عملية التصميم الهيكلية الرقمي	غير متوفرة. اذ تمثلت العملية التصميمية لسقف المبنى التعاون بين المعماري والمهندس الانشائي.
عملية التصميم الرقمي للواجهات	غير متوفرة. اذ تتكون الواجهات من الزجاج المزوج الطبقات
العلاقة بين التصميم الرقمي للشكل والتصميم الهيكلية الرقمي	تتبع العملية التصميمية المركبة.
قيمة التكتونيك في الأنماط الرقمية للواجهات/ استنتاج الباحث	(عدم توفر قيمة التكتونيك) فبالرغم من العملية التصميمية المركبة، فان المشروع لا تتوفر فيه قيمة التكتونيك. وذلك لان النمط المستعمل في الواجهة لا يعبر عن الهيكل الانشائي للمشروع وتكامله مع الشكل.

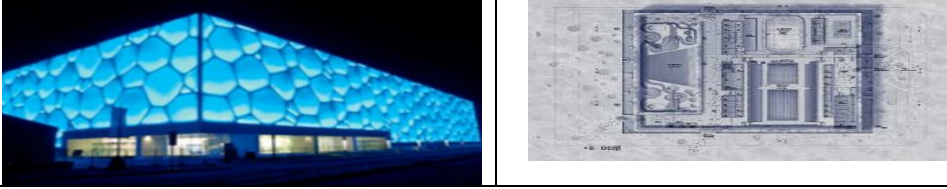
الجدول رقم (٣) العملية التصميمية القائمة على استخدام المسح الثلاثي الابعاد للنموذج اليدوي الصنع	
اسم المشروع	الحالة الدراسية رقم (٢)، مشروع (Marta Herford Museum) من تصميم (Frank Gehry) في (Herford) في المانيا (Marine et. al.,2008).

		<p>صور المشروع</p>
<p>مركز مؤقت للفنون.فكرته التصميمية هي التعبير عن الذاتية والوظيفية والتميز والتعددية.</p>		<p>نوع وفكرة المشروع</p>
<p>تم صنع نموذج اولي يدوي للمشروع، ثم اجري عليه المسح الثلاثي الابعاد، وتحليله اعتمادا على البرنامج الوظيفي ومحددات الموقع بعد نقله الى الوسط الرقمي ببرنامج CATIA.</p>		<p>عملية التصميم الرقمي للشكل</p>
<p>عملية التصميم الهيكلية الرقمي: بدأت دراسات التصميم الهيكلية بعد أن اتخذ الشكل صيغته النهائية. حيث قام المصمم بتعريف الغلاف الخارجي والداخلي، لتوفير فضاء بينهما لاحتواء النظام الهيكلية. وحدد بذلك الحدود المقررة للشكل ليكون الهيكل الإنشائي منسجما معها. مما ولد صعوبة لدى المهندس الإنشائي في تصميم النظام المنسقل الذي يسند انحناءات الشكل ويبقيها ضمن حدود الشكل ثابتة(Marine et. al.,2008).</p>		<p>عملية التصميم الرقمي</p>
<p>عملية التصميم الرقمي للواجهات: تم استخدام برنامج SPP 1542 لتصميم الهياكل المؤقتة المرنة المستخدمة لصب الجدران الكونكريتية(Hickertb,2015).</p>		<p>عملية التصميم الرقمي للواجهات</p>
<p>العلاقة بين التصميم الرقمي للشكل والتصميم الهيكلية</p>	<p>العملية التصميمية الخطية.</p>	<p>الرقمي</p>
<p>قيمة التكنولوجيا في الأنماط الرقمية للواجهات / استنتاج الباحث</p>	<p>(عدم توفر قيمة التكنولوجيا) بسبب الانفصال بين العملية التصميمية للشكل والعملية التصميمية للهيكلي.</p>	<p>الرقمي</p>

<p>الجدول رقم (٤) العملية التصميمية القائمة على النموذج البيولوجي - قطرة الماء</p>		
<p>اسم المشروع</p>	<p>الحالة الدراسية رقم (٣) مشروع (The Bubble, BMW Exhibition Pavilion) من تصميم (Bernhard Franken and ABB Architects) في فرانكفورت - ألمانيا، ١٩٩٩ (Kolarevic,2000).</p>	
		<p>صور المشروع</p>
<p>نوع وفكرة المشروع وهو معرض سيارات. تعتمد فكرته للاصميمية على استحصال الطاقة الهيدروجينية النظيفة من الهيدروجين، والذي يمثل الماء قيمته الفكرية لذلك اتخذت قطرة الماء كفكرة للمشروع.</p>		
<p>عملية التصميم الرقمي للشكل تم اتخاذ قطرة الماء كبدائية للتفكير في عملية التصميم. اذ تهدف القطرة الى تحقيق الشكل الكروي بسبب تأثير قوة الشد السطحي والتوازن الديناميكي لقطرتين من الماء والانصهار النهائي الذي ولد الشكل النهائي باستخدام برنامج حاسوبي لمحاكاة القطرة(Kloft,2006).</p>		
<p>عملية التصميم الهيكلية الرقمي تم خلق الشكل حاسوبيا في البدء. وكانت الاولوية للشكل الذي تحكم بالتصميم الهيكلية، بحيث اتبع الهيكل حدود الشكل. وبدأ التصميم الهيكلية بعد اتخاذ القرار بشأن الشكل النهائي(Franken,2009,p.125).</p>		
<p>عملية التصميم الرقمي للواجهات تم استخدام ال(NURBS) بالاستعانة بالبرامج المعتمدة على الادائية في تصميم الواجهات.</p>		
<p>العلاقة بين التصميم الرقمي للشكل والتصميم الهيكلية</p>	<p>تتبع العملية التصميمية الخطية.</p>	<p>الرقمي</p>
<p>قيمة التكنولوجيا في الأنماط الرقمية للواجهات / استنتاج</p>	<p>(عدم توفر قيمة التكنولوجيا)، نظرا لكون الواجهات تمثل الهيكل الساند</p>	<p>الرقمي</p>

الباحث	للتقسيمات الثانوية المكونة ولا علاقة لها مع الهيكل الانشائي الحقيقي الداخلي.
--------	------------------------------------------------------------------------------

الجدول رقم (٥) العملية التصميمية القائمة على النموذج البيولوجي- العضويات الحية	
اسم المشروع	الحالة الدراسية رقم (٤) مدخل مشروع مركز المؤتمرات في مدينة قطر الرياضية من تصميم (Arata Isozaki) في الدوحة، قطر، ٢٠١١ (Burry,2010).
صور المشروع	
نوع وفكرة المشروع	مركز وطني للمؤتمرات تقوم فكرته على أن الشجرة هي رمز التعلم والراحة في الصحراء وملاذ للشعراء والاكاديميين 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 EESO Extended Evolutionary Structural Optimization لتحقيق شكل الشجرة والاخذ بعين الاعتبار الاحمال الهيكلية وقضية الثبات الهيكلية.
عملية التصميم الرقمي	اعتمد التصميم الهيكلية على اتباع مبدأ تقليل المواد وازالة المناطق غير الضرورية للإنشاء من الشكل الهندسي الكلي، والاحتفاظ بالنظام الاسنادي الكلي (Burry,2010).
عملية التصميم الرقمي للواجهات	عملية التصميم الرقمي للواجهات: عملية موحدة مع التصميم الهيكلية.
العلاقة بين التصميم الرقمي للشكل والتصميم الهيكلية الرقمي	عملية التصميم القائمة على الهيكل.
قيمة التكنونيك في الأنماط الرقمية للواجهات / استنتاج الباحث	(توفر قيمة التكنونيك) لان نمط الواجهة يعكس الهيكل الانشائي في الخارج والداخل

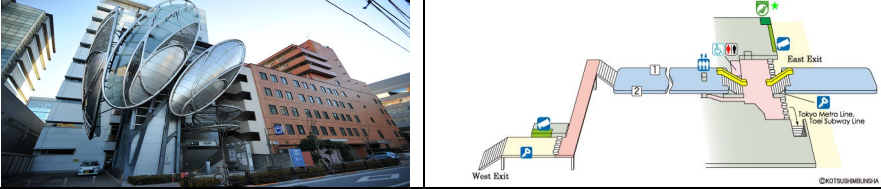
الجدول رقم (٦) العملية التصميمية القائمة على النموذج الباراميتري	
اسم المشروع	الحالة الدراسية رقم (٥) مشروع (Beijing National Aquatics Center) من تصميم (PTW Architects) في بكين- الصين (Burrows and Simpson,2009).
مخطط وصورة المشروع	
نوع وفكرة المشروع	مركز للمسابقات المائية الاولمبية. استوحيت الفكرة من التنظيم الهيكلية في الغلاف الخارجي والتنظيم الذاتي لفقاعات الصابون لتكوين الهياكل الطبيعية المعقدة.
عملية التصميم الرقمي للشكل	يتحكم المنطق الهيكلية في عملية التصميم الكلي للشكل. فقد تم استخدام برمجيات خاصة قام بتطويرها مهندسو شركة (Arup) لإنتاج غلاف المبنى واستخدام برنامج (Parametric Design Platform of CATIA).
عملية التصميم الهيكلية الرقمي	تم استخدام علاقات باراميتريّة مؤسّسة على العلاقة بين حجم وشكل ووزن المكونات. نوع من النمط الفضائي ثلاثي الابعاد كمبدأ تنظيمي لتعريف هيكل ومظهر المبنى وهنا تكون الانماط التكنونيكية لكل من الهيكل الفضائي والقيمة التكنونيكية للواجهات معا (Leach et al.,2004).
عملية التصميم الرقمي	العلاقة بين التصميم الرقمي للشكل والتصميم الهيكلية الرقمي: العملية التصميمية القائمة على الهيكل.

للواجهات	
العلاقة بين التصميم الرقمي للشكل والتصميم الهيكلي	تتبع عملية موحدة مع التصميم الهيكلي.
الرقمي	
قيمة التكنولوجيا في الأنماط الرقمية للواجهات / استنتاج	(توفر قيمة التكنولوجيا) لان الواجهات تعكس المنشأ
الباحث	

الجدول رقم (٧) العملية التصميمية - النموذج القائم على الحركة والقوة	
اسم المشروع	الحالة الدراسية رقم (٦) مشروع (BMW Frankfurt Motorshow Pavilion) من تصميم (Bernhard Franken) في ألمانيا، ٢٠٠١ (Liu and Lim,2006).
نموذج وصورة 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 الفضاء (Liu and Lim,2006).
عملية التصميم الرقمي للشكل	استنسخ المشروع النمط التصميمي الخارجي للموقع المحيط بالمشروع كأحد المدخلات الرقمية للبرنامج (Key-Frame)، وكذلك برامج (CAD/CAM) لإظهار التشكيل الفضائي بسبب الشد الديناميكي الناتج عن حركة التعجيل اثناء دخول السيارة الى الموقع (Ibid,p.295).
عملية التصميم الهيكلي الرقمي	تم اشتقاق الهيكل الإنشائي من مقطع في الشكل الكلي، وصمم في عملية تكاملية مع الشكل.
عملية التصميم الرقمي للواجهات	صممت الواجهات في نفس العملية الرقمية، الا انها فصلت عن الهيكل. واتخذت مظهرا ناعما (Ibid,p.294).
العلاقة بين التصميم الرقمي للشكل والتصميم الهيكلي	تتبع العملية التصميمية المركبة.
قيمة التكنولوجيا في الأنماط الرقمية للواجهات / استنتاج	(عدم توفر قيمة التكنولوجيا) فالواجهات لا تعكس الهيكل الإنشائي المعقد، بالرغم من التكامل في العملية التصميمية الرقمية بين الشكل والهيكل الإنشائي.

الجدول رقم (٨) العملية التصميمية - النموذج القائم على الأدائية	
اسم المشروع	الحالة الدراسية رقم (٧) ، مشروع (Kunsthau Graz) من تصميم (Peter Cook and Colin Fournier) في (Graz) في استراليا، ٢٠٠٣ (Liu and Lim,2006).
مخطط وصورة المشروع	
نوع وفكرة المشروع	وهو متحف للفن المعاصر وتقوم فكرته على رغبة المعماري في خلق مبنى ذا شكل غريب كبالون طافي مستنقل عن الطبيعة (Fournier and Peter,2003,p.1).
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 (Kloft,2006).
عملية التصميم	اتخذ النظام الهيكلي نفس الشكل غير النظامي للمبنى ككل. كما اتخذ المشروع شكله بناء على تحسين الاداء

الهيكل الرقمي	الهيكل كزيادة ثباته الهندسي والتحكم بالإنتاج مما اثر على زيادة الاستدارة في السقف تم تصميم كل من الشكل والهيكل رقميا ونقل المعلومات الى الروبوتات لإنتاج المكونات المطلوبة في الانشاء.
عملية التصميم الرقمي للواجهات	تم تقسيم غلاف المبنى (حيث لا توجد حدود فاصلة بين الواجهات والسقف) حاسوبيا ضمن نفس العملية التوليدية للشكل والهيكل الى وحدات مثلثية اصغر حجما باستخدام (FEN) Finite-Element Method والتي تعتمد التقييم الاديائي كأساس في العملية التصميمية (Kolarevic,2009).
العلاقة بين التصميم الرقمي للشكل والتصميم الهيكلي الرقمي	تتبع العملية التصميمية المركبة.
قيمة التكتونيك في الأنماط الرقمية للواجهات / استنتاج الباحث	(توفر قيمة التكتونيك) بسبب الوحدة بين الهيكل الانشائي والشكل الكلي الذي تم اشتقاقه حاسوبيا في عملية موحدة. وبذلك فان الواجهات تلعب دور الهيكل الحامل للشكل.

الجدول رقم (٩) العملية التصميمية - النموذج القائم على التطور	
اسم المشروع	الحالة الدراسية رقم (٨)، مشروع (Iidabashi Station) من تصميم (Makoto Sei Watanabe) في طوكيو - اليابان، ٢٠٠٠ (Liu and Lim,2006).
مخطط وصورة المشروع	
نوع وفكرة المشروع	محطة مترو أنفاق. تعتمد فكرة المشروع على ماثلة ما اطلق عليه المصمم تعبير "نمو البذرة المعمارية" The Architectural Seed والتي بتوفر الماء والضوء، فإنها ستنمو وتمد جذورها وتنمو اوراقها وتتحول الى زهرة.
عملية التصميم الرقمي للشكل	عملية التوليد الرقمي للشكل: تم خلق الشكل بمحاكاة التصميم الهيكلي للأوراق مكونة ما يشبه الزهرة باستخدام البرامج الحاسوبية باستخدام برنامج الذكاء الاصطناعي (An Artificial Intelligence (AI). ونضمت العملية مرحلتين: الاولى تتعلق بمتطلبات البرنامج التصميمي والفضائي، والاخرى بالعملية التحليلية والتصميمية.
عملية التصميم الهيكلي الرقمي	تم تصميم هيكل شبكي لأجل خلق الهيكل الانشائي وتحليله حاسوبيا اعتمادا على الضغوط المسطحة بحيث صممت سماكة الاجزاء المكونة للهيكل تبعا للضغوط المسطحة عليها (Liu and Lim,2006).
عملية التصميم الرقمي للواجهات	عملية التصميم الرقمي للواجهات: استخدم المصمم نفس العملية التصميمية المنتجة للشكل في تصميم الواجهات.
العلاقة بين التصميم الرقمي للشكل والتصميم الهيكلي الرقمي	تتبع العملية التصميمية المركبة.
قيمة التكتونيك في الأنماط الرقمية للواجهات / استنتاج الباحث	(توفر قيمة التكتونيك)، اذ ان التصميم المعماري والتصميم الهيكلي للمبنى متكاملان ويظهر ذلك في الواجهات.

٦-٣-٣- مقارنة الحالات الدراسية: تم مقارنة الحالات الدراسية فيما يخص عمليات التصميم الرقمي والمتعلقة بكل حالة دراسية واحدة، اعتمادا على وصف الادبيات لكل مشروع وطبقا لمفردات القياس المستخلصة من الاطار النظري والذي تم توضيحه في الجداول من ٢ الى ٩، ثم تضمين المعلومات لغرض المقارنة، لاستحصا النسبة المئوية لتكرار المفردات في الجدول رقم ١٠.

النسبة المئوية للتكرار	جدول رقم (١٠) يوضح مقارنة تطبيق المشاريع المنتخبة في استمارة القياس (المصدر: الباحثة)								المفردات الفرعية	المفردة الرئيسية
	٨	٧	٦	٥	٤	٣	٢	١		
12.5%								✓	المسح الرقمي للمخططات اليدوية.	عمليات التصميم الرقمي
12.5%							✓	المسح الرقمي للنماذج اليدوية الأولية		
25%					✓	✓		استخدام النماذج البيولوجية		
12.5%				✓				الباراميتري		
12.5%			✓					القائم على الحركة والقوة		
12.5%		✓						القائم على الأدينية		
12.5%	✓							القائم على التطور		
50%	✓	✓	✓					✓	العلاقة المركبة	
25%				✓	✓				القائمة على الهيكل	
25%						✓	✓		العلاقة الخطية	دور الأنماط التكنولوجية في الواجهات
0%									الدور التزييني	
37.5%				✓	✓	✓	✓		الهيكل المكون للواجهة	الأنماط التكنولوجية في الواجهات
37.5%	✓	✓	✓						الهيكل الأساسي لإسناد المبنى	
100%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	الانماط الثابتة	انماط الواجهات تبعا لإمكانية الحركة
0%									الانماط المتحركة	
12.5%								✓	الأنماط الخطية	انماط الواجهات تبعا لطريقة توليد النمط رقميا
12.5%	✓								ذات التوليد الذاتي	
37.5%			✓	✓			✓		الباراميتري	
12.5%					✓				المعتمدة على طوبولوجيا التفرع	
25%		✓					✓		القائمة على الأدينية	
0%									الخلوية	
0%	✓	✓		✓	✓				توفر قيمة التكنولوجيا في الأنماط الرقمية للواجهات	

١-٧ النتائج:

تتمثل نتائج المقارنة بين الحالات الدراسية بالاتي:

- تمثلت النسبة الاعلى لعمليات التصميم الرقمي على النماذج البيولوجية.
- تمثلت النسبة الاعلى للعلاقة بين التصميم الرقمي للشكل والهيكل في اتباع العلاقة المركبة.
- تمثلت النسبة الاعلى لدور الأنماط التكنولوجية في الواجهات في تساوي كل من كونها الهيكل المكون للواجهة والهيكل الأساسي لإسناد المبنى.
- تمثلت النسبة الاعلى تبعا لإمكانية الحركة لانماط الواجهات في الانماط الثابتة.
- تمثلت النسبة الاعلى لانماط الواجهات المولدة رقميا في الانماط الباراميتريية.
- تمثلت نسبة توفر قيمة التكنولوجيا في الحالات الدراسية بنسبة ٥٠%.

٧-٢ - مناقشة النتائج:

- يمكن ان توظف التكنولوجيا الرقمية في عملية التصميم الهيكلي المركب لخلق التكامل بين الهيكل والشكل الذي قد تنعكس في توفير قيمة التكتونيك كما في الحالات الدراسية المرقمة (٨) و (٧). وقد لا تظهر عملية التكامل بين العملية التصميمية للشكل والهيكل في كل الاحوال في نمط الواجهة، وبالتالي لا تتوفر قيمة التكتونيك في المشروع، كما في الحالة الدراسية رقم (١) و (٦)، فبالرغم من العملية التصميمية المركبة، الا ان النمط المستعمل في الواجهة لا يعبر عن الهيكل الانشائي للمشروع.
- يتبع الشكل الهيكل الانشائي الذي يكون قد صمم اولا في عملية التصميم الهيكلي القائم على الهيكل الانشائي. فاذا كان النمط التصميمي للواجهة يعكس الهيكل الانشائي عندها تتوفر القيمة التكتونية، كما في الحالة الدراسية رقم (٥) و (٤).
- يتبع الهيكل الانشائي الشكل الذي يكون قد صمم اولا في عملية التصميم الهيكلي الخطي. وبذلك لا تتوفر قيمة التكتونيك، لان الواجهات لا تعكس حقيقة الهيكل الانشائي للمبنى كما في الحالة الدراسية (٢) و (٣).

٧-٣ - الاستنتاجات:

- تحول العملية التصميمية بمعاونة البرامج الرقمية من التفكير في الشكل ثم تجسيده (الحالة التقليدية) الى عملية ايجاد الشكل رقميا ثم ربطه مع التفسير المناسب لخيارات المصمم الذهنية.
- تمثل قيمة التكتونيك في العمارة الرقمية من خلال عملية خلق الشكل المعماري وارتباطها بعملية التصميم الهيكلي ونوع العلاقة التي تربط بينهما في عملية انتاج العمارة.
- ظهور قيمة التكتونيك من خلال قدرة العمارة على التعبير عن جماليات الانشاء والوحدة بين الشكل والمنشأ بإظهار مسارات القوى لتكون جزء من التكوين الكلي للشكل، اما في حالة اخفائها فان ذلك يؤدي الى عدم توفر قيمة التكتونيك.
- توفر او عدم توفر قيمة التكتونيك في انماط الواجهات لا يعتمد على العملية الرقمية التكاملية في تصميم الشكل والهيكل الانشائي فحسب، وانما تعتمد ايضا على نوع العملية التصميمية للواجهات أيضا، وكونها متضمنة أو غير متضمنة في العملية التصميمية الرقمية للشكل أو الهيكل أو كليهما.

٨ - المصادر:

- الخفاجي، علي محسن، ٢٠١٥، التكتونيك في العمارة. المجلة العراقية لهندسة العمارة، المجلد ٣٠، العدد (٢-١).
- سالم. ايناس؛ مهدي، رنا مازن، ٢٠١٧، مناهج التصميم في العمارة الاحيائية المعاصرة. مجلة جامعة بابل/ العلوم الهندسية، العدد ٣، المجلد ٢٥.
- المرشدي، سراج جبار كاظم؛ الماجدي، باسم حسن هاشم، ٢٠١٧، أثر مناهج الشكل الرقمية في خصائص النتائج المعماري المعاصر. مجلة بابل/ العلوم الهندسية، العدد (٦)، المجلد (٢٥).
- Burrows, Stephen, and Simpson, Martin, 2009, The Stadium geometry. The Arup Journal Vol.44 No.1.
- Burry, Jane and Burry, Mark, 2010, The New Mathematics of Architecture. Thames & Hudson, London.

- Cache, Bernard,2002,P.28 digital semper in” Rethinking technology : a reader in architectural theory”, William W Braham; Jonathan A Hale; John Stanislav Sadar, Editor s., Routledge, Taylor & Francis Group, 2007
- Colletti, Marjan, 2013, Digital Poetics: An Open Theory of Design-Research in Architecture. Ashgate Publishing.
- Detail, 2008. Municipal Funeral Hall in Kakamigahara. Vol. 2008, Issue 5.
- Fournier, Colin, and Cook, Peter, 2003, Research Outputs 1 and 2: Kunsthaus Graz. UCL Discovery.
- Frampton, Kenneth,1995, Studies in Tectonic Culture. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Franken, Bernhard,2009, Real as Data. In: Branko Kolarevic, Editor. Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing, Taylor & Francis, New York.
- Hickertb, Sascha and Knaack, Ulrich,2015, Evaluation of Free-Form Concrete Architecture, Molding Systems and Their Technical Potentials. Journal of Facade Design and Engineering 3, IOS Press.
- Kloft, Harald,2006, Structural Design of Form. In: Kas Oosterhuis and Lukas Feireiss, Editors.The Architecture Co-laboratory: Game Setand Match II: On Computer Games, Advanced Geometries and Digital Technologies. Kas Oosterhuis and Lukas Feireiss, Editors. Rotterdam: Episode Publishers.
- Kolarevic, Branko, Editor,2009, Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing. Spon Press.
- Kolarevic, B., Editor, 2003, Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing. Spon Press.
- Kolarevic, Branko, 2000, Digital Morphogenesis and Computational Architectures. In: José Ripper Kós, Andréa Pessoa Borde and Diana Rodriguez Barros, Editors. Proceedings of the 4th Conference of Constructing the Digital Space. Rio de Janeiro, Brasil.
- Larsen, Niels martin,2014, To Generate Architecture. In: Larsen, Niels martin, Editors. Digital Tectonics. The Aarhus School of Architecture.
- Leach, N.,2004, Swarm tectonic. In: Leach, N.; Turnbull, D & Williams C., Editor.. Digital Tectonics, John Wiley & Sons, London.
- Liu, Yu-Tung and Lim, Chor-Kheng, 2006, New Tectonics: a Preliminary Framework Involving Classic and Digital Thinking. Design Studies 27.
- Lynn, Greg and Gage, Mark Foster, Editor.,2010,Composites, Surfaces, and Software: High Performance Architecture. New Haven, Yale School of Architecture.
- Lynn, Greg, 1999, Animate Form. Princeton Architectural Press, New York.
- Lynn, Greg,1998, Geometry in Time. In: Cynthia C. Davidson, Editors. Anyhow. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Marine, Bagneris; Motro, Rene; Maurin, Bernard and Pauli, Nicolas,2008, Structural Morphology Issues in Conceptual Design of Double Curved Systems. International Journal of Space Structures Vol. 23, No.2.
- Moreno, David and Celani, Gabriela,2015, Computer-Aided Architectural Design Futures. The Next City. 16th international conference, Paulo, brazil.
- Moussavi, Farshid & Kubo ,Michael,1996, The Function of Ornament. Harvard Graduate School of Design, Actar, New York.
- Rappaport, Nina,2010, A Deeper Structural Theory. Architectural Design: The New Structuralism-Design, Engineering and Architectural Technologies, Vol. 80, No. 4.
- Runco, Mark A.,1999, Editors. Encyclopedia of Creativity. Vol.1-A, Academic Press.

- Shea, Kristina,2002, Creating Synthesis Partners. In: Contemporary Techniques in Architecture. Architectural Design, Vol.72, Wiley-Academy, London, UK.
- Spuybroek, Lars,2004, NOX: Machining Architecture. Thames & Hudson, New York.
- Testa, Peter, and Weiser, Devyn,2002, Emergent Structural Morphology. Architectural Design, Contemporary Techniques in Architecture Academy Editions (London), Vol.72, No.1.
- Pittman, Jon,2009,Building Information Modelling: Current Challenges and Future Directions. In Branko Kolarevic, Editor. The Digital Age: Design and Manufacturing , New York: Taylor & Francis.