https://doi.org/10.33261/jaaru.2022.29.4.008 *Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences (2022)29(4):83–94*

Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences
مجلة اتحاد الجامعات العربية للدراسات والبحوث الهندسية

كلية الهندسة - جامعة بغداد

جمعية كليات الهندسة اعضاء اتحاد الجامعات العربية

دور الأنظمة الذكية في تحقيق الكفاءة الهيكلية المتحدية للجاذبية الأرضية للعمارة الآيقونية

سارة مازن عبد الرحمن [1]، صفاء الدين حسين علي [2] *

[1] قسم هندسة العمارة ، الجامعة التكنولوجية، بغداد، العراق ae.19.20@grad.uotechnology.edu.iq

[2] قسم هندسة العمارة ، الجامعة التكنولوجية، بغداد، العراق Safaaaldeen.h.Ali@uotechnology.edu.iq

* الباحث الممثل : سارة مازن عبد الرحمن ، ae.19.20@grad.uotechnology.edu.iq

نشر في: 31 كانون الاول 2022

الخلاصة – ساعدت الثورة الألكترونية وتطبيق التكنولوجيا المتقدمة والأنظمة الذكية في التصميم والتنفيذ في تحقيق نتاج معماري مميز بإستخدام الأنظمة الإنشائية التي تعكس العناصر الجمالية الإنشائية وعلاقتها بالجاذبية الأرضية والتي كان يصعب تنفيذها من قبل وبهذا دعمت التكنولوجيا هذا التوجه وأدت الى ظهورعمارة بأشكال جديدة غير مألوفة .إنّ مفهوم الأنظمة الذكية قد لا يكون جديداً، إلا انّ الباحثين يعملون بإستمرار لتطوير المواد الذكية وتكوين أنظمة تستطيع السيطرة على المواد وتوجيهها لخلق عمارة ذات كفاءة أدائية (هيكلية وجمالية) أعلى وتأثيرات سلبية أقل .وقد لاتكون العمارة الآيقونية مفهومًا جديدًا ،وتطبيقات المنتجات المعمارية ذات الميزات الذكية موجودة منذ وقت طويل. لكن تطوير النظم الذكية يمكن أن يدفع العمارة الآيقونية إلى مستويات جديدة ويخلق بنية ذات حالة أعلى من الكفاءة الادائية وتعمل على مستويات متعددة مع نتائج أفضل للمستخدمين. ولقد تناولت الدراسات اليات تحقيق الكفاءة الهيكلية بشكل واضح لكن لم تتطرق الى دور الأنظمة الذكية في تحقيق الكفاءة الهيكلية ضمن نظرية الجمال الجديدة لذا جاءت المشكلة البحثية بالصيغة الاتية" قلة الدراسات النظرية التي تتناول دور الأنظمة الذكية التي تعد جزء في وسائل تحسين الكفاءة الهيكلية والجمالية للأبنية الآيقونية في العمارة المعاصرة " .ويهدف البحث الى إستكشاف الخصائص والمميزات التي تحققها الأنظمة الذكية في مجال العمارة ولاسيما العمارة الآيقونية، لتوفير فهم أكثر وضوحاً في التأثير الذي تمتلكه النظم الذكية على عمليتي التصميم والإنشاء المعماري، وكيف يمكن لها ن تنتج عمارة آيقونية تتحدى الجاذبية الأرضية ,أكثر كفاءة هيكلية تنعكس أدائياتها في النواحي الوظيفية (الإنشائية) والمعمارية (الجمالية). وقد تم استخلاص المفردات الرئيسية من المفاهيم المتعلقة بالبحث والدراسات السابقة ومن ثم اجري التطبيق العملي على ثلاثة عينات من المشاريع التي اعتمد على الأنظمة الذكية للوصول الى اهم الاستنتاجات النهائية التي تبين أهمية ودور الأنظمة الذكية والتكنولوجيا الحديثة من اجل الوصول الى عمارة آيقونية ذات طابع جمالي فريد.

الكلمات الرئيسية – الأنظمة الذكية , الكفاءة الهيكلية , الكفاءة الجمالية , الهياكل الآيقونية , الهياكل التي تتحدى الجاذبية الأرضية.

1. المقدمة

إن التطور والتقدم السريع لتكنولوجيا الإنشاء المعماري ولاسيما في برامج الحاسوب ووسائل الانتاج المرتبطة بها بالاضافة الى ظهور مواد انشائية جديدة (مواد نانوية – مواد ذكية) ذات خصائص جديدة مثل المرونة والصلابة وسهولة التشكيل ,كل هذه العوامل ساعدت المعماريين ان يكونوا اكثر ابداعاً دون الخوف من الصعوبات التي قد تواجههم في تنفيذ اشكال جديدة ,وبالتالي ظهرت النتاجات المعمارية المعاصرة المتحدية للجاذبية والتي امتازت بإستخدام الزوايا الحادة وعدم الاستقرار البصري. شهدت العقود الماضية إهتماماً متنامياً في البحث المعرفي عن الأنظمة الذكية وتطبيقاتها في المجالات المختلفة، لاسيما في حقلي العمارة وتكنولوجيا البناء. إنّ مفهوم الأنظمة الذكية قد لا يكون جديداً، إلا انّ الباحثين يعملون باستمرار لتطوير المواد الذكية وتكوين انظمة تستطيع السيطرة على المواد وتوجيهها لخلق ابنية ذات كفاءة هيكلية اعلى وتأثيرات سلبية اقل في السنوات الماضية, اذ وظفت النظم الذكية كتطبيقات تقنية بدلاً من أن تكون جزءاً من العملية التصميمية, وغياب العملية التصميمية ذات التنظيم الواضح التي تعتبر الأنظمة الذكية جزءاً أساسياً في تحقيق بيئة مبنية أكثر كفاءة من الجوانب الوظيفية (الإنشائية) والمعمارية (الجمالية).

مناهج البحث العلمي:

- إنشاء إطار نظري شمولي لدورالأنظمة الذكية في تحسين الكفاءة الهيكلية والجمالية للأبنية الآيقونية في العمارة المعاصرة.
- تحديد الإجراءات العملية.
- تحديد العينات وبيان مبررات إختيارها.
- تحديد إسلوب القياس
- تحديد طريقة القياس
- تحديد طريقة تحليل البيانات
- تطبيق مفردات الإطار النظري .
- تحديد النتائج والإستنتاجات.

2. مراجعة الأدبيات

2.1 *مفهوم الكفاءة :*

تعرف الكفاءة بانها القدرة على تجنب إهدار المواد والطاقة والجهود والمال والوقت في القيام بشيء ما أو في تحقيق النتيجة المرجوة. بمعنى أكثر عمومية ، إنها القدرة على القيام بالأشياء بشكل جيد ونجاح وبدون إهدار(18),

1726-4081© 2022 The author(s). Published by Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences. This is an open access article under the CC BY-NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

وبمصطلحات رياضية أو علمية أكثر، يشير إلى مستوى الأداء الذي يستخدم أقل قدر من المدخلات لتحقيق أكبر قدر من المخرجات. غالبًا ما يشتمل بشكل خاص على القدرة على تطبيق معين للجهد لتحقيق نتيجة محددة بأقل كمية أو كمية من النفايات أو المصاريف أو الجهد غير الضروري (25). كما اكدت Tatjana Samsonowa (2012) بأن جميع التعريفات المختلفة التي كان عليها مراجعتها ، في أدبيات قياس الأداء ، لها خاصية واحدة مشتركة ؛ كلها مرتبطة بمصطلحين:الفعالية والكفاءة ؛ الفعالية كمؤشر على درجة تحقيق الهدف ،والكفاءة كمؤشر على الموارد التي تم استهلاكها للوصول إلى مستوى الإنجاز (24), تجدر الإشارة إلى أن مفهوم الكفاءة (efficiency) يركز على الاستفادة القصوى من الموارد المتاحة بأقل التكاليف للوصول إلى الأهداف المرجوة ، وهو ما يتماشى مع مفهوم الأداء من خلال حصره في أحد شقيه(أي الكفاءة) الأساسيين حيث عرف بعض الباحثين الأداء على أنه "علاقة الموارد المخصصة بالنتائج المحققة (23), فالعملية الفعّالة (ذات فعالية) هي الوصول إلى الأهداف وتحقيقها . وتحسب الفعالية من خلال العلاقة أو النسبة بين الانجازات المحققة و الانجازات المحددة والمخطط لها ،أي هناك عنصرين للمقارنة في درجة بلوغ الأهداف أهداف مسطرة و أهداف منجزة". فمفهوم الأداء مرتبط بتحديد وتعريف الأهداف ولا يمكن فصلها عنه (21).

2.1.1 مفهوم الكفاءة الهيكلية:

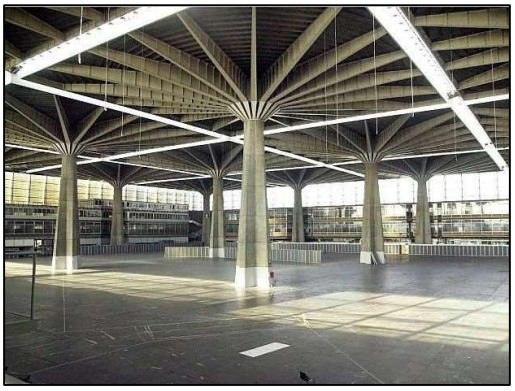
تعد الكفاءة الإنشائية في العمارة من أهم معايير نجاح المنشأ وقياس ديمومته وملائمته، ان النظام الإنشائي الذي يستخدمه المبنى لمقاومة جميع الاحمال التي يتعرض اليها المبنى وان هذا النظام هو الذي يضمن بقاء شكل المبنى متزناً. يجب ان تحقق عملية التصميم الإنشائي العديد من الاهداف وبطريقة فعالة مثل مواجهة العديد من التحديات والمتمثلة ليست فقط بوزن المنشأ ,انما الاحمال الاخرى المسلطة عليه ,كالقوى الناجمة عن المستخدمين ,والاثاث ,والثلوج والرياح والزلازل. فشكل المبنى هو الذي يؤثر على الكفاءة الإنشائية. ولذلك من الضروري مراعاة جميع الجوانب المرتبطة بإنشاء المبنى لضمان تحقيق المبنى اعلى مستويات الكفاءة الإنشائية. ان أي فعالية تكنولوجية(ومن ضمنها الفعالية المنشئية) تخضع للتقييم والمسائلة على أساس الكفاءة (efficiency) لقياس ومقارنة مدى قدرة هذه الفعالية لتحقيق الهدف أو الغرض,حيث يسبق التقييم على أساس الكفاءة مفهوم الغرض(15). يمكن توضيح مفهوم الكفاءة المنشئية عن طريق معادلة رياضية تعتمد على نسبة الحمل المسلط مقسمة على وزن المنشأ نفسه,كما يأتي(11) :

$$Structural\ Efficiency\ Rating = \frac{Maximum\ Design\ Load\ Applied\ to\ Structure}{Weight\ of\ Structure}$$

وهذا يدل على ان الحد الأعلى لتصميم الحمل المسلط على المنشأ ليس من الضرورة ان يكون هو الحد الأعلى للأحمال التي يمكن ان يتحملها المنشأ.ويعد مقياس الكفاءة الهيكلية أحد مقاييس وفعالية تكلفة المنشأ (11). تستند كلفة المواد الإنشائية للهيكل الإنشائي على وزن مواده ,فيصبح الهيكل الإنشائي فعالاً وكفوءاً من حيث التكلفة من خلال إستخدام أقل كمية من المواد اللازمة لتوفير منشأ يمكنه تحمل الأحمال المسلطة عليه بصورة آمنة ,لذلك تعد الهياكل الإنشائية القوية والخفيفة الوزن هي الاكثر كفاءة (15). أكد Eric أنه يجب على المهندس الإنشائي لتوفير تصميماً كفوءاً التأكيد على تصميم منشأ له القدرة على مقاومة الاحمال التي من المتوقع ان تحدث والتي يطلق عليها حمل التصميم (design load) .لذلك نجد ان الكفاءة الهيكلية تستند على الحد الاعلى لحمل التصميم وليس على التحميل الفعلي الذي يمكن ان يتحمله الهيكل الإنشائي والتي قد تكون أعلى بكثير من حمل التصميم (design load) وبالنتيجة يعتبر الهيكل الإنشائي الذي يملك اقصى قدرة تساوي الحد الاقصى لحمل التصميم (design load) هو الهيكل الأكثر كفاءة (11).

2.2 علاقة بين الكفاءة الإنشائية وجمالية الهياكل :

ان الشكل المنشئي له علاقة كبيرة بعاملي الإبداع والكفاءة ,حيث تعتبر عناصر ذات أهمية كبيرة تؤثر وتتأثر بالشكل المنشئي ,ولا يكمن وجودها كعناصر تصميمية فقط بل تعتبر أحد أسباب الشكلين المعماري والمنشئي معاً ,ان لم يكونا كياناً واحداً (15). ظهرت العديد من الآراء التي تناقش العلاقة بين الإبداع والكفاءة المنشئية للمنشأ والتي تنص على ان الاشكال المنشئية التي تكون مشابهة للاشكال في الطبيعة ,عادةً ماتتصف بالابداع (سواء على مستوى الشكل او المضمون) وهذه الفرضية أكدت على ان بقاء هذه الاشكال الطبيعية المطورة واستمرارها في الطبيعة هو دليل على كفائتها. لذلك يتم انشاء الهياكل المنشئية من خلال نسخ تلك الاشكال من مثيلاتها في الطبيعة وبالتالي يتم الحصول على الكفاءة المطلوبة .كما في مبنى قصر العمال للمعمار (Nervi) حيث كان هيكله الإنشائي مشابه لهيكل الشجرة واعتماد مبدأ الاذرع المتشعبة لجمع الاحمال ونقلها الى الاعمدة (والتي تمثل الجذع في الطبيعه)والذي بدوره ينقل الاحمال الى الاسس ,(لاحظ الشكل 1) (12).وقد قسم (Nervi) العملية الابداعية وفقاً لتحقيق الكفاءة الى مرحلتين , المرحلة الاولى: تمثلالملائم الموضوعية وتحقيق المتطلبات التقنية ,والمرحلة الثانية تمتاز بكونها شخصية جداً ولا يمكن ان تكون تحت سيطرة القواعد والقوانين.وقد اكد (Nervi) ان الابداع يتحقق من خلال الدمج بين هاتين المرحلتين في عقل المصمم أو يتشارك المعماري والإنشائي بالمناقشة للوصول الى التصميم المبدع(15). كلما ازداد الاجهاد والاحمال المسلطة يجب زيادة كفاءة النظام الإنشائي المستخدم ,ويتم ذلك بتقليل كمية المادة البنائية المستخدمة, بالأضافة الى إستخدام العناصر الإنشائية التي تتبع المسار الطبيعي لانتقال القوة(30) . أن لشكل العناصر الإنشائية دوراً مهماً في مقاومة القوة, حيث ان الشكل الذي يتبع الخط الطبيعي لمسار القوة,يضمن تعرض المادة الى الاجهاد المباشر بالشكل الذي تستطيع المادة مقاومته بإستخدام أقل كمية منها وبذلك تزداد كفاءة النظام الإنشائي , حيث أن لشكل العناصر الإنشائية دور كبير في رفع الكفاءة الهيكلية وخاصة في شكل محورها الطولي وعلاقته بالحمل المسلط عليه خاصة في تعيين نوع القوى الداخلية التي تحدث عند تسليط الأحمال وقيمة تلك القوى(15), ومن هنا يمكن تصنيف النظام الإنشائي حسب العلاقة بين الشكل وكفاءة الهيكل ,والتي تعتمد بشكل كبير على عاملين أساسيين هما (نوع وحجم القوى الداخلية) التي تتكون عند تسليط الأحمال الكبيرة والتي تؤثر بشكل كبير على مستوى كفاءة المنشأ ,لذلك يجب اختيار نوع المواد التي يجب توفيرها لتعطي تلك العناصر الإنشائية المقاومة والصلابة اللازمتين (7).



شكل 1: منشأ قصر Labour في Turin للمعمارNervi (8)

2.3 الهياكل الآيقونية التي تتحدى الجاذبية الأرضية (خفيفة الوزن):

من أساسيات وظيفة الهيكل الإنشائي هو الصمود في وجه الجاذبية الأرضية التي تحاول أن تسقط المبنى (26) .اكد Valhonrat على اهمية الجماليات الإنشائية المتعلقة بالجاذبية الأرضية والمنشأ والمواد وما لها من دور في تحقيق نتاج معماري مميز بإستخدام الأنظمة الإنشائية التي تعكس العناصر الجمالية الإنشائية وعلاقتها بالجاذبية الأرضية (28). بعد شيوع إستخدام الاسمنت المسلح نتجت العديد من الانجازات والاشكال المعمارية ذات العناصر الجمالية التي تمتاز بالخفة والشفافية والتي لها دور في تحدي الجاذبية الأرضية في العقد الماضي مما انتج العديد من القيم الجمالية الجديدة التي برزت بوضوح في النتاج المعماري المعاصر, حيث ان التقدم الملحوظ في تكنولوجيا المواد والإنشاء في بدايات القرن الحادي والعشرين ساهم في تشجيع المعماريين على ابداع اشكال جديدة دون الخوف من انهيار المبنى بسبب قوة الجاذبية الأرضية. ان تحدي الجاذبية الأرضية يمنح هذا التحدي المبنى الحركة والديناميكية في الشكل لاضفاء البهجة والمتعة والابهار ويبين قدرة الانسان على خلق عمارة تتحدى الجاذبية الأرضية وقوانينها الثابتة, لذا

يعد هذا التحدي مصدر تشويق وفعالية في العمارة (14). ولعل ابرز مثال على هذا النوع من المباني هي اعمال زها حديد والتي وصفت اعمالها بأنها سائلة متحركة, تبدأ برسوم يدوية وتتحول الى واقع بمساعدة التطور التكنولوجي في التصميم بإستخدام الحاسوب والتصنيع الرقمي (9). اعتمدت في اعمالها على استراتيجيات ومعالجات شكلية مختلفة عن طريق إستخدام المواد التي تمتاز بالقدرة التعبيرية والقابلية على التنويع الشكلي والمرونة الإنشائية لتؤكد على الخروج عن الانتظامية وتعكس الاحساس بتحدي الجاذبية الأرضية . . حيث تعتمد على السماح لبعض اجزاء الهيكل الإنشائي بالبقاء دون دعم . تستخدم عادة أعمدة وأسطح مائلة بدلاً من التعامل مع الزوايا المنتظمة (20).حيث تعتمد على اضافة المواد الدقيقة للمواد الإنشائية التقليدية مما يساهم في تحسين خواصها بشكل افضل مثل اضافة المواد الدقيقة الى الاسمنت المسلح مما يجعل قوة تحمله اكبر واكثر متانة وسريع التصلب ,مما يساعد على انشاء مباني اكثر خفة واعطى حرية للمصمم في منح التصميم صفة اللامادية والخفة (3) .كما في تصميم الحرم الجامعي لجامعة فيينا للاقتصاد والأعمال افتتح سنه 2015 .(لاحظ الشكل 2).

شكل 2 : الحرم الجامعي لجامعة فيينا للاقتصاد والأعمال في فيينا (16)

أيضاً كمثال على تحدي الجاذبية الأرضية نذكر متحف الغد The Museum of Tomorrow الذي صممه المهندس المعماري سانتياغو كالاترافا يتميز المبنى بوجود السقف الكابولي الذي يمتد بأجنحته المتحركة الكبيرة وهيكل الواجهة على الطول الكامل للرصيف تقريبًا ، ويمتد 75 مترًا فوق الساحة و 45 مترًا باتجاه البحر.كما في الشكل (3).

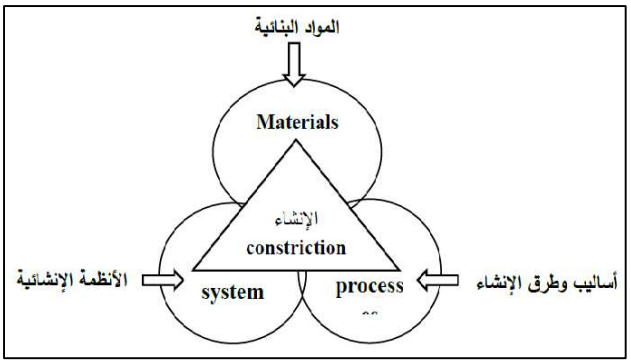
شكل 3 : متحف الغد The Museum of Tomorrow لسانتياغو كالاترافا (17)

2.4 *دور التكنولوجيا في إبراز الجوانب الجمالية للمنشأ.*

أثرت التطورات في الهندسة الإنشائية بعمق على العمارة ، حيث أتاح إستخدام الانظمة الإنشائية الهيكلية الجديدة لتحديد الخصائص الشكلية للعمارة المعاصرة ، وظهور البرمجة الرقمية والتصميم البارامتري العودة إلى الرموز التكتونية التاريخية والتعديل الذاتي في علم الهياكل الطبيعية والمواد وتحليلها لإنشاء الهياكل المعمارية المعاصرة (22). ان توظيف التكنولوجيا الرقمية في العمارة المعاصرة ساعد على توفير امكانيات جديدة على صعيد خلق الشكل وتصميم الهياكل الإنشائية ووسائل انتاج المكونات والإنشاء، بالأضافة الى توفير امكانيات اختبار ادائية العمارة. وأصبح للأدوات الرقمية دورا في تزويد المعماري بالوسائل اللازمة لخلق الشكل علاوة على تكامله مع التصميم الهيكلي، وانتاج المكونات وعمليات الإنشاء والقدرة على ادارة التعقيد الشكلي .وأفرز ذلك توجها معماريا هو العمارة الرقمية، التي تميز بها القرن الواحد والعشرين (4). ابرز الخصائص التي امتازت بها الجماليات التكنولوجية هي الحركة والإثارة وتغيير الوضع والتكيف مع الظروف البيئية ,والتي تعد السمات الجمالية التكنولوجية الجديدة للمباني المعاصرة. أشار Khan إلى أن الجماليات والتكنولوجيا بحاجة إلى لم شمل والعمل بروح تكاملية من أجل إيجاد الحلول المناسبة من الناحية الجمالية والتكنولوجية.حيث أتاح تطور التفكير الحديث والتطور التكنولوجي فرصة للمهندسين المعماريين لتقديم هياكل انشائية بأسلوب مذهل للعالم. حيث دمجوا الهيكل والفضاء وخلقوا مساحة مناسبة ومحددة للإنسان من خلال التعرف على الهيكل كعنصر أساسي في إنشاء الفضاء المعماري (10). أن أهم مايميز العمارة المعاصرة أنها ذات جمالية جديدة مدفوعة بالأيمان المتجدد بالتقدم التكنولوجي , حيث تعتمد جمالية التكنولوجيا المنشئية بشكل اساسي على الأمكانات التي تقدمها التقنيات الحديثة وتتحقق جمالية العمارة المعاصرة من خلال المواد والحلول التكنولوجية الجديدة , حيث ساعد إستخدام المواد الجديدة والأنظمة الهيكلية الجديدة على تحديد خصائص شكلية مميزة للعمارة المعاصرة بمساعدة التقنيات الجديدة كالبرمجة الرقمية والتصميم البارامتري وتكنولوجيا البناء الجديدة بالاضافة الى المواد الذكية والنانوية التي لعبت دوراً مهماً في تحقيق الأبداع في التشكيل المعماري المعاصر وأنتاج جمالية تكنلوجية ذات سمات مميزة غير مسبوقة كالحركة والأثارة والمرونة والتفاعل مع المؤثرات البيئية وغيرها .

2.5 *دور النظم الذكية في جماليات الهياكل الإنشائية الآيقونية*

أعاد العصر الرقمي تشكيل العلاقة بشكل جذري بين التصور والإنتاج، مما أدى إلى إنشاء رابط مباشر بين ما يمكن تصوره وما يمكن بناؤه. تدرك الصناعة الآن قيمة تخصص تكنولوجيا العمارة باعتبارها أمرًا بالغ الأهمية في العصر الرقمي نظرًا لتركيزها على التصميم القائم على التجربة. تتعلق رقمنة التصميم والبناء من خلال نمذجة معلومات البناء BIM بالإنتاج والأداء والاستدامة البيئية والكفاءة والفعالية الاقتصادية. يتيح BIM المحاكاة والتوحيد والتنظيم والتحسين في التصميم والبناء. ترتبط تكنولوجيا العمارة، كوظيفة تصميمية ، بتشريح وظائف المباني وإنتاجها وأدائها وعملياتها وتستند إلى معرفة وتطبيق العلوم والهندسة والتكنولوجيا. يرتبط هذا أيضًا بالمتانة وخصائص العمر الافتراضي لأنظمة البناء والمواد والمكونات لتحقيق الكفاءة الادائية للمباني على المدى الطويل. كما أنه أساسي للتصميم التحديثي للمباني القائمة وطرق التقييم اللازمة لتقييم الهياكل (8). أن أكثر صفة تميز العمارة الأيقونية المعاصرة هي " الهوية التكنولوجية " حيث ساعدت النظم الذكية والتكنولوجيا الرقمية الجديدة كالتصميم الحسابي والتصميم البارامتري والعمارة الرقمية على ظهور انماط وحركات معمارية جديدة وأشكال معقدة لم يكن من الممكن تحقيقها سابقاً , حيث تلعب التكنولوجيا الرقمية في التصميم والبناء من خلال نمذجة معلومات البناء (BIM) دوراً مهماً في الانتاج والاداء والاستدامة البيئة والكفاءة والفعالية الأقتصادية وبالتالي تحقيق الكفاءة الادائية العالية للمباني المعاصرة على المدى الطويل. تتغير التكنولوجيا وتتحسن بمعدل غير عادي ، وتؤثر على صناعة تشييد المباني المعاصرة بشكل لم يسبق له مثيل. حيث أصبحت المباني مؤتمتة إلى حد كبير وموجهة نحو الخدمات وفعالة. بالنظر إلى وفرة التغييرات التكنولوجية في الوقت الحاضر، من الضروري إنشاء توازن بين ميزات البناء الذكي للجودة المعمارية ، الجمالية والوظيفية ، التي يمكن أن تساعد علاقتها المناسبة في تلبية احتياجات المستخدم (27), يستند مفهوم الإنشاء المعماري بصورة عامة على ثلاثة مرتكزات أساسية تعمل بشكل متكامل ومتجانس بعضها مع بعض والتي تُكسب بدورها القوة للإنشاء من جانب وتجعل آلية البناء تجري بصورة منمذجة من جانب آخر ، وتتمثل هذه المرتكزات التي تم التطرق إليها في العديد من الدراسات السابقة ب (المواد البنائية materials, اساليب وطرق الإنشاء processes, الأنظمة الإنشائية structural system) (1) ,(2),لاحظ الشكل(4).



الشكل 4 : مرتكزات الإنشاء في العمارة (2)

كما اشار Warland انه يمكن تقسيم عناصر تكنولوجيا الإنشاء الى ثلاثة عناصر هي (تكنولوجيا النظم المنشئية, تكنولوجيا مواد الإنشاء , تكنولوجيا طرق وأساليب الإنشاء) (29). والتي تعمل هذه العناصر بشكل متجانس ومتكامل مع بعضها البعض, ارتبطت بالتطور التكنولوجي الحديث والتي لعبت دوراً كبيراً في العملية الأبداعية والرمزية في العمارة المعاصرة حيث ساعدت على تحويل العمارة الى أداة للتعبير المعماري الجمالي , بالأضافة الى أنتاج عمارة معاصرة ذات كفاءة تصميمية واقتصادية وتكنولوجية عالية .

2.5.1 تكنولوجيا المواد

ان للمواد المكونة للهيكل المنشئي والتطور الحاصل فيها دوراً كبيراً في اكسابة التعبيرية الشكلية التي تعكس على المنشأ بفعل التكامل بين المادة والهيكل والشكل للمبنى , وفر التطور المعاصر في تكنولوجيا المواد مدى واسع من الإستخدامات ,حيث استخدمت نمذجة المواد النانوية المحاكاة الحاسوبية للتعرف اكثر على خواص هذه المواد والحصول على نماذج اكثر كفاءة وتحقق اختصاراً للوقت والجهد كبديل عن الطرق التقليدية (6) .يتيح التقدم التكنولوجي إنشاء أشكال جديدة وطريقة جديدة لتشكيل المواد. لذلك ، فإن التكنولوجيا الذكية والنانوية لها تأثير كبير ليس فقط على المباني الحديثة، ولكن أيضًا على ظهور تعبير وأسلوب معماري جديد, حيث أثرت التقنيات الذكية الجديدة والمواد الحديثة على الاحتياجات البيئية والجمالية للعمارة الحالية (27), وقد احدثت تقنية المواد النانوية أمكانات لاظهار صفات عديدة اهمها : المرونة, والدينامية, والجماليات, و الوصول الى الارتفاعات الشاهقة, والتكيف مع المتطلبات الخارجية والداخلية, وانشاء المباني المعقدة هندسياً , وتطور السطوح الخارجية وانتاج هياكل مستوحاة من الطبيعة , والسيولة في الفضاء المعماري. نجد مما سبق أن إستخدام المواد الحديثة أدى الى ظهور أنجازات جديدة في العمارة المعاصرة والتي حققت مسألة العلاقة بين الجماليات المعمارية والتكنولوجية, حيث تلعب تكنولوجيا النانو والمواد الذكية الدور الأكثر أهمية في أنشاء الهياكل المنشئية ذات الجمالية والتعبيرية الأيقونية سواء في مجال التصميم (كالتصميم بمساعدة الحاسوب، والمساحات الافتراضية، والرسوم المتحركة), أو في مجال البناء (الخرسانة المسلحة ، والتكنولوجيا المتقدمة ، والمواد الجديدة ، وأجهزة الاستشعار عن بعد), حيث ساعدت المواد النانوية على تغيير الصفات المختلفة للمواد وتحسين خصائصها مما يزيد من كفاءتها للأستفادة منها في تحقيق سمات جمالية والحصول على هياكل فائقة الخفة أو شاهقة الأرتفاع , أو متغيرة المظهر واللون بالتفاعل مع المؤثرات الخارجية.

2.5.2 تكنولوجيا طرق وأساليب الإنشاء

يعد إستخدام معدات البناء المؤتمتة في مرحلة تنفيذ المباني من اهم التغيرات التي احدثتها التقنيات الرقمية في مجال الإنشاء في العمارة , فهذه المعدات والتي تتميز بالذكاء قادرة على تنفيذ مباني معقدة حيث تمتاز بقدرتها على التفاعل وتنفيذ التعليمات من بعد , وتركيب العناصر الإنشائية المختلفة كالطوابق والشبابيك والحوائط وغيرها من مكونات المبنى, بدقة وسرعة فائقة. يعمل التصنيع بمساعدة الحاسوب على أساس الأشرطة المنتجة بواسطة CAD والتي تتحكم عدديًا في أدوات الماكينة عن طريق رسم مسارات القطع حول رسم ثنائي الأبعاد. من خلال تقنية تصنيع المكونات التي يتم تشغيلها بواسطة الحاسوب وتطوير آلات المعالجة والفحص الميكانيكية التي يتم التحكم فيها بنفس الطريقة العددية ، يمكن تحقيق عملية التصنيع التلقائي بالكامل (19), أحد التطبيقات الرئيسية لتكنولوجيا الحاسوب هو في مجال التحليل الهيكلي. يمكن للمهندسين والمعماريين أن يصمموا بشكل حقيقي بعض التقاطعات والتفاصيل الدقيقة لتصميماتهم بحيث يمكن ملاحظة الواقع المادي لهذه التصاميم, يتم وضع المعادلات المطلوبة لتحليل الهيكل في النظام ويتم حلها تلقائيًا بناءً على طلب المخرجات التحليلية. النزوح والأحمال والقص واللحظات كلها عوامل يمكن توقعها. يتم تسهيل تغييرات المدخلات بسهولة ويمكن عرض النتيجة المقابلة عند الطلب.

نجد مما سبق أهمية التطور التكنولوجي في طرق وأساليب الإنشاء مثل تكنولوجيا الحاسوب التي ساعدت على تصميم نماذج ذات مزايا فريدة وأشكال ثلاثية الأبعاد, التصميم البارامترى الذي يوفر الرابط الفعال والمطلوب بشدة لجماليات الهياكل. التي مكنت الهندسة المعمارية من القيام بقفزة عملاقة واحدة في تحقيق الهياكل التي بدت ذات يوم أنها تسكن فقط في الأوهام. بالأضافة الى دور تقنيات التصنيع الرقمي في توليد الأشكال المعقدة وسهولة أنشاءها بالأعتماد على المعلومات الرقمية بواسطة برامج خاصة , في الحصول على هياكل أنشائية مبتكرة ومبدعة , أيضاً امكانية تصنيع أجزاء أنشائية للمبنى بواسطة أجهزة مؤتمتة تستمد معلوماتها من النموذج الرقمي مباشرةً مما يساعد على أستمرار عملية التصميم اثناء تنفيذ المبنى.

2.5.3 تكنولوجيا النظم المنشئية

ساعد الترابط بين التكنولوجيا الرقمية والنظم المنشئية على انتاج أشكال وفضاءات معمارية شكلية انشائية غير محدودة , يمكن تمثيلها بعناصر أنشائية وعلاقات ترابطية وقوانين ضمن مفهوم النظام ,فأصبح النتاج المعماري في ضل التكنولوجيا الحديثة أكثر تحرراً من تصميم الأشكال التقليدية ,وأعطت مجالاً لظهور مواد بنائية جديدة بتعبيرية تعكس الأمكانات التكنولوجية. حيث أزدادت العناصر الإنشائية خفة وشفافية وأصبحت بعض العناصر قادرة على تغيير صفاتها لتحقيق أهداف جمالية وتكنلوجية (5). كما ظهرت طرق الإنشاء المؤتمتة المعتمدة على الإنترنت . وأمكن الاستفادة من النماذج الرقمية للمنشآت في عمل الحسابات المختلفة للهيكل الإنشائي وفي تصنيع أجزاء مختلفة من هيكل المبنى بواسطة المعلومات الرقمية للنموذج ، كما ظهرت مواد البناء الذكية، فأمكن تنفيذ مباني بأشكال جديدة وتقنيات عالية في فترات زمنية قليلة (36), . لقد شجعت التقنية التكنولوجية الجديدة المعماريين على ايجاد طرق تعبيرية جديدة فظهرت عدد من التوجهات والحركات التي أصبحت ممكنة بسبب التطور الحاصل في تكنولوجيا المعلومات وتوفر المواد الجديدة وبالاخص المواد النانوية التي تسمح بالتغيير والتفاعل مع المعلومات المستلمة, من خلال توفير القدرة على تحسس المعلومات من البيئة المحيطة وتوفير الاستجابة المناسبة والدقيقة. تتمثل هذه التيارات ب (6): العمارة التفاعلية interactive architecture و العمارة القابلة للتغيير changeable architecture, و العمارة المستجيبة Responsive architecture, و العمارة الديناميكية dynamic architecture .

3. الدراسات السابقة التي تناولت مفهوم الكفاءة الهيكلية في العمارة المعاصرة :

تضم هذه الفقرة مجموعة من الدراسات العالمية والعربية والمحلية التي تناولت موضوع الكفاءة الهيكلية في العمارة المعاصرة ,بهدف التوصل الى عدد من المؤشرات لتوضح مفهوم الكفاءة الهيكلية في الأبنية الآيقونية للاستعانة بها في الأطار النظري .

3.1 دراسة (13) (Hu, Ming. 2016)

Performance Driven Structural Design – Biomimicry) (in Structure

وضحت الدراسة أن صفة الآيقونية للمباني تتحقق عندما يعكس المبنى عاملين أساسيين هما: الأداء(ادائية هيكلية) والمظهر(الجمالية) ,وذكرت انه يمكن مزج هذين العاملين في مبنى هيكلي واحد من خلال محاكاة الطبيعة والأعتماد

على مفاهيم التقليد الحيوي في التصميم الهيكلي ,حيث ظهرت العديد من الأنظمة الهيكلية ذات صفات آيقونية مبدعة كالهياكل الكابلية والهياكل القشرية والهياكل الغشائية , والتي أعتمدت على محاكاة الطبيعة في سلوكها الهيكلي لأنشاء هياكل أكثر كفاءة ومرونة وجمالية . أعتبرت الدراسة الهياكل المقاومة لقوى الشد تعد أكثر المباني كفاءة في مقاومة القوى حيث تستخدم الشكل بأكمله لمقاومة القوى الخارجية .كما اعتبرت الدراسة ان ايجاد الشكل وخصائص المواد هي أهم العوامل التي تؤثر بشكل كبير على تحقيق تصميم هيكلي عالي الأداء. كما بينت الدراسة دور المواد وخصائصها (كالمواد الذكية والمواد النانوية) في بناء الهيكل ورفع ادائيته الهيكلية والجمالية.

3.2 دراسة (15) (Khuraibet,2017)

(الكفاءة الإنشائية في عمارة الأهوار التقليدية)

أكدت الدراسة (الكفاءة الإنشائية في عمارة الأهوار التقليدية) على ان الكفاءة الإنشائية في العمارة تعد أهم معايير نجاح أي منشأ ومقياس لديمومته وملائمته عبر الزمان والمكان. يتضح مما سبق أن الدراسة أشارت الى أن الكفاءة الإنشائية (التقنية , والهيكلية , والأقتصادية , والتعبيرية الجمالية) تعتبر من أهم معايير نجاح المنشأوملائمته عبر الزمان والمكان , وذلك لأهميتها العالية في تحقيق الأبداع الإنشائي والمادي الأنتفاعي للمنشأ والذي يتحقق من خلال تحقيق الكفاءة في أستعمال المادة الإنشائية وتوافق المتطلبات مع المواد والعمالة والتكنولوجيا المتوفرة .

3.3 دراسة (17) (Lauriola, Domenico. 2017)

(Combining Efficiency and Aesthetics):

ركزت الدراسة (الجمع بين الكفاءة والجماليات) على البحث عن التوازن بين الكفاءة الجمالية والهيكلية من خلال تحقيق التقارب المثالي بين الوظائف والجمالية.للوصول لهذا التقارب اختارت الدراسة العمل بمبدأ "التحسين الهيكلي", هذا النوع من التحسين يبحث عن التكوين المكاني الأفضل للعناصر وفقًا للمتغيرات الرياضية المستخدمة (وزن الهيكل، والإجهاد، وتقليل الإجهاد الداخلي وما إلى ذلك) بالاعتماد على التكنولوجيا الرقمية. أعتمدت الدراسة مبدأ التحسين الهيكلي في تحقيق التوازن بين الكفاءة الجمالية والهيكلية وأنتاج أشكالاً مبتكرة ذات أدائية هيكلية مثالية من خلال تقنيات التحسين الهيكلي للتصميم الهيكلي وتحقيق تصاميم أنيقة تجمع بين الجمالية والكفاءة الهيكلية بالأعتماد على التكنولوجيا الرقمية والخوارزميات في التصميم الهيكلي بالأضافة الى تقنيات النمذجة البارامترية في تحسين العملية الصناعية والتي تؤدي الى تقليل المواد المستخدمة بنسبة عالية مما يخلق فرصاً في توفير الوقت والمال .

3.4 دراسة (14) (Jalil, Wijdan Deyaa Abdul. 2018)

(تحدي الجاذبية الأرضية في عمارة زها حديد):

ركزت الدراسة على أمكانية تحقيق التحديات الجمالية وأنتاج مباني تمتاز بالخفة والشفافية وعدم الأستقرار البصري كالعمارة المتحدية للجاذبية بالأستفادة من التطورات التكنولوجية الحديثة والتي تشمل تكنولوجيا الإنشاء , وتكنولوجيا المواد الجديدة التي تمتاز بسهولة التشكيل والصلابة والمرونة , بالأضافة الى التقنيات الرقمية . كل هذه التطورات تعمل على رفع الكفاءة الإنشائية للمنشأ وتحقق حالة من الإبتكار والأبداع في النتاج المعماري المعاصر .

3.5 دراسة (16) (Latif, Aseel & Shahin, Bahjat, 2021)

Structural Design According to Constructal Theory in) :(Architecture

ناقشت الدراسة (التصميم الإنشائي حسب النظرية الإنشائية في العمارة) مفهوم النظرية الإنشائية ودورها الرئيسي في مرحلة التصميم المفاهيمي للنظام الهيكلي في العمارة. حيث يوفر إطارًا مفاهيميًا للتنبؤ بالشكل اعتمادًا على الأنظمة الطبيعية ، والتي تقدم تنوعًا هائلاً من حيث الأشكال. حيث إنها بعيدة كل البعد عن المثالية الناتجة عن التناظر الهندسي الذي قد نراه في بعض الأشكال الهندسية ,حيث يتم نمذجة تلك الأنظمة هندسيًا بالاعتماد على تكنولوجيا الحاسوب المعاصرة. أشارت الدراسة الى أن التصميم الإنشائي وفق النظرية الإنشائية يحقق كفاءة أنشائية عالية حيث تعتمد هذه النظرية على محاكاة النظم الحية في عملية أنتاج الشكل المعماري المعاصر وتعزيز كفائته الهيكلية من خلال الأعتماد على تكنولوجيا التقنيات الرقمية المعاصرة , كما بينت الدراسة أن تحقيق كفاءة هيكلية عالية يتطلب تحقيق الحد الأدنى من أستهلاك المواد وأقل وزن للمادة (والذي يتناسب عكسياً مع الكفاءة الهيكلية).

4. إطار التطبيق العام:

تضم هذه الفقرة تبلور عدد من المفردات الرئيسية والثانوية, فضلاً عن قيمها الممكنة ,مع الأخذ بنظر الأعتبار الجوانب التي أعتمدتها الدراسات لبناء الأطار النظري .

4.1 *الإطار النظري:*

تمت صياغة الإطار النظري للبحث من المؤشرات المستمدة من المقترحات السابقة وتصنيفها إلى ثلاثة مفردات رئيسية، المجموعة الأولى تتعلق بالكفاءة الهيكلية وهي: (أنواع الكفاءة الهيكلية ,ومعايير تقييم الكفاءة الهيكلية), وشملت المجموعة الثانية مفردات تتعلق بتحسين الكفاءة الهيكلية وهي: (مجالات التحسين الهيكلي, وأهداف تحسين الكفاءة الهيكلية ,آليات تحسين الكفاءة الهيكلية), أما المفردة الأخيرة تناولت دور النظم الذكية في العمارة الأيقونية المعاصرة وهي : (تكنولوجيا النظم المنشئية ,وتكنولوجيا المواد , وتكنولوجيا طرق وأساليب الإنشاء) .والتي أدرجت في الجدول أدناه:

جدول 1 : الاطار النظري الشمولي

جدول رقم (1) المفردات الرئيسية والثانوية والقيم الممكنة للأطار النظري					
ت	المفردات الرئيسية	المفردات الثانوية		القيم الممكنة	
1	(x1) الكفاءة الهيكلية	(x1.1) انواع الكفاءة الهيكلية	الكفاءة التقنية		x1.1.1
			كفاءة مادية	تعاون كل جزء من اجزاء المبنى في مقاومة الاحمال الواقعة عليه (الاستمرار المادي)	x1.1.2
			كفاءة اقتصادية	إستخدام اقل كمية من المادة الإنشائية	x1.1.3
			كفاءة تعبيرية (جمالية)	جمالية المنشأ	x1.1.4
		(x1.2) معايير تقييم الكفاءة الهيكلية	من حيث الشكل	طريق القوى (ضمان الممرات المباشرة للقوى الداخلية المتولدة داخل أجزاء النظام)	x1.2.1
				نوع القوى (ضمان أصغر القوى الداخلية ضمن العناصر الهيكلية)	x1.2.2
				توزيع القوى (ضمان توزيع موحد للقوى داخل أجزاء النظام)	x1.2.3
			من حيث المواد	كمية المواد(اعتماد أقل استهلاك للمواد)	x1.2.4
				وزن المادة (يتناسب عكسيا مع الكفاءة الهيكلية)	x1.2.5
2	(x2) تحسين الكفاءة الهيكلية	(x2.1) مجالات التحسين الهيكلي		تحسين الحجم	x2.1.1
				تحسين الشكل	x2.1.2
				تحسين الهيكل	x2.1.3
		(x2.2) أهداف تحسين الكفاءة الهيكلية		الاقتصاد في الكلفة	x2.2.1
				تحقيق الابداع المادي الأنتفاعي	x2.2.2
				تحقيق الابداع الانشائي	x2.2.3
				تحقيق الكفاءة الجمالية والهيكلية	x2.2.4
				إنشاء نماذج أساليب جديدة وأكثر كفاءة	x2.2.5
				توفير الوقت والمال	x2.2.6
		(x2.3) أليات تحسين الكفاءة الهيكلية		الكفاءة في استعمال المادة الإنشائية	x2.3.1
				وتوافق متطلبات التنفيذ والمنظومة الإنشائية مع المواد والعمالة والتكنولوجيا المتوفرة	x2.3.2
				محاكاة النظم الحية في تكوين الشكل	x2.3.3
				الابتعاد عن مثالية الاشكال الهندسية المتناظرة	x2.3.4
				تعزيز الكفاءة الهيكلية للاداء الانشائي	x2.3.5
				تطور تكنولوجيا الإنشاء	x2.3.6
			تطور تكنولوجيا المواد	مواد ذكية	x2.3.7
			تقنيات النمذجة المتقدمة	BIM	x2.3.8
				تحسين الخوارزمية الجينية	x2.3.9
3	(x3) دور النظم الذكية في العمارة الآيقونية	(x3.1) تكنولوجيا الإنشاء	تكنولوجيا النظم المنشئية	التصميم بمساعدة الحاسوب	x3.1.1
				إستخدام أدوات التصميم الرقمية	x3.1.2
			تكنولوجيا مواد الإنشاء	إستخدام المواد النانوية	x3.1.3
				إستخدام المواد الذكية	x3.1.4
			تكنولوجيا طرق واساليب الإنشاء	نمذجة الحاسوب	x3.1.5
				التوليد الرسمي	x3.1.6
				محاكاة النماذج الحقيقية	x3.1.7
				تقنيات التصنيع الرقمي	x3.1.8

4.2 الدراسة العملية:

تم تحديد قيم القياس للمتغيرات مابين 1-2-3-4, فالواحد قيمة للتأثير الضعيف, أما الأثنان فهي قيمة للتأثير المتوسط , والثلاثة للقيم ذات التأثير الجيد, وأخيراً القيمة أربعة للتأثير القوي, وستعتمد المعادلات الأحصائية التالية لطريقة أحتساب التكرار النسبي المئوي, حيث تمت الأستعانة بها في أحتساب قيم المفردات الرئيسية والثانوية وقيمها الممكنة لغرض القياس كما ستدرج المشاريع الثلاثة المنتخبة في الأستمارة لقياسها وحسب ترتيبها . لاحظ الملحق (1).

إسلوب القياس المعتمد:

أعتمد البحث المنهج الوصفي التحليلي في قياسه للمشاريع المنتخبة. من أجل توضيح كيفية أحتساب النسب المئوية الخاصة بالمفردات الرئيسية والثانوية والقيم الممكنة لها تم الأستعانة بالمعادلات التالية :

- المعادلة الأولى : لحساب النسبة المتحققة للقيم الممكنة

$$x = \frac{xi}{\sum xi} * 100\%$$

- المعادلة الثانية : لحساب المعدل الحسابي للمفردات الرئيسية والثانوية

$$x = \frac{\sum xi}{n}$$

- يمثل X النسبة المئوية , تمثل Xi عدد القيم المتحققة , وتمثل n عدد القيم , أما ∑X فيمثل مجموع القيم

4.2.1 المشاريع المنتخبة :

تتضمن هذه الفقرة وصفاً يشمل العينات المنتخبة لأغراض البحث والتطبيق للدراسة العملية , أذ تم أختيارها من شبكة المعلومات الدولية Internet , أضافة الى مصادر اخرى من الكتب والبحوث , مع الأخذ بنظر الأعتبار تنوع العينات من حيث التطبيقات المختلفة للنظم الذكية والأهداف المتحققة منها للتوصل الى مدى تأثيرها على الكفاءة الهيكلية للهياكل المعاصرة التي تتحدى الجاذبية الأرضية .

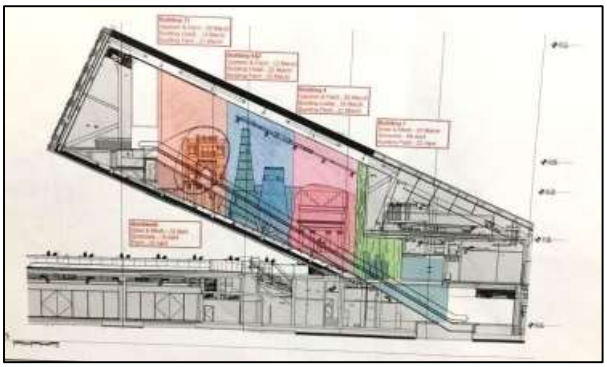
4.2.1.1 المشروع الأول : جناح السعودية إكسبو دبي 2021 KSA Pavilion for the Expo 2021-

أعتمدت فكرة المشروع على موضوع "السماءهي الحد".يدمج الجناح الحديث الهندسة المعمارية مع التكنولوجيا الرقمية, تتخذ واجهة الجناح السعودي شكل مستطيل يتكشف، منحدر عالياً وكأنه يصل إلى السماء. الهيكل عبارة عن منحدر مائل يحلق في السماء مصممة لتبدو وكأنها نافذة عملاقة تنفتح على السماء .مشكلاً وأكبر شاشة مرآة رقمية في العالم في الجانب السفلي من المنحدر(الشكل 5) ، الذي يواجه الزوار عند دخولهم الجناح، وهي أكبر شاشة عرض LED في العالم . تم انشاء الهيكل بزاوية 360 درجة مما يجعله يعكس التحدي الكبير للجاذبية(34) (الشكل 6) .

الشكل 5 : واجهة المبنى, أكبر شاشة مرآة رقمية في العالم

الشكل 6: الواجهة الجانبية للمبنى

يحتوي المبنى عدد الميزات التي حطمت الأرقام القياسية، والتي تشمل ميزة المياه الرقمية المذهلة التي يبلغ ارتفاعها 32 مترًا والتي يبلغ ارتفاعها ما يقرب من ثلثي ارتفاع قوس النصر في باريس، ستجعل من الجناح السعودي نقطة جذب مؤكدة. محققة رقما قياسيا في موسوعة غينيس للأرقام القياسية كأطول معلم مائي تفاعلي على أحدث طراز, وأكبر شاشة عرض مرآة LED؛ وأكبر أرضية إضاءة تفاعلية. يعد الجناح أيضًا أحد أكثر الهياكل استدامة في إكسبو 2020 دبي، وقد حصل على أعلى تصنيف استدامة معترف به دوليًا في الريادة في مجال الطاقة والتصميم البيئي تقديراً لالتزام المملكة العربية السعودية بإستخدام مواد البناء المستدامة وإعادة تدوير النفايات أثناء عملية البناء . إن هيكله الجريء ونظام سمعي بصري متطور للغاية مدمج في الواجهات الخارجية وأرضية ساحة الجناح جعل منه المعلم الأكثر تميزًا وإثارة ولا يُنسى(الشكل 7 و8). بفضل هذا النهج المتكامل، تكون النتيجة الإجمالية هندسة وظيفية عالية التقنية ومستدامة مدمجة بمحتوياتها. مدمجة بمحتوياتها(37).



الشكل 7 : يوضح مقطع للمبنى

الشكل 8 : يوضح عناصر الهيكل الأنشائي

4.2.1.2 المشروع الثاني : مبنى اتحاد أمم أمريكا الجنوبية - UNASUR Building-2016 2016

يقع المقر الرئيسي للأمين العام لاتحاد أمم أمريكا الجنوبية في كيتو، الإكوادور، على بعد 14 كيلومترًا شمال العاصمة كيتو، على مساحة 20 ألف متر مربع. تم تصميم مبنى المقر الجديد من قبل Diego Guayasamin Arquitectos. أعتمدت فكرة التصميم على انشاء صرح يتحدى الجاذبية الأرضية ويتناسب مع الطموحات السامية لما كان من المفترض أن يكون رمزًا لوحدة أمريكا الجنوبية (الشكل 9) . حيث يرتفع جناحان زجاجيان ناتئان بشكل كبير فوق بركة عاكسة ، يرمزان إلى الحرية والشفافية ويبدوان وكأنهما شيء من فيلم خيال علمي. الأشكال والخطوط المعقدة المستخدمة في التصميم تخلق مثل هذا التأثير الدراماتيكي ؛ يشكل الجزء الناتئ أقوى عنصر في الهيكل. يطفو حجم ناتئ ضخم فوق سطح مائي ضحل ، ويرمز إلى الشعور بالحرية. تم تصميم المبنى كدلالة نحتية لإثارة مفاجأة وإظهار صورة مختلفة حسب المكان الذي يتم المشاهدة منه. المبنى مكون من طبقة مزدوجة، الأولى صلبه ومعتمة على النقيض من الثانية المضيئة والشفافة . شكل التصميم الإنشائي للمبنى يمثل تحديًا كبيرًا، لأن المبنى يقع في منطقة زلزالية (31). من الناحية الهيكلية، فإن المواد المستعملة في الهيكل الإنشائي هي الخرسانة والصلب. اقتراح لبنية صلبة من الخرسانة المسلحة حيث تم تثبيت دعامتين معدنيين كبيرين بطريقة شعاعية. ينتج عن الهيكل نظام هيكلي إيجابي واستباقي وقوي ويمثل ايقونة مبدعة متحدياً للجاذبية من خلال انشاء أكبر درع ناتئ في أمريكا الجنوبية بطول 56 مترًا بدون دعم. وذلك من خلال الاعتماد على نمذجة التكنولوجيا المتطورة والقيادة والإبداع. ايضاً يتم تعزيز هذه الفكرة من خلال العناصر الهيكلية الخارجية في ألواح الألمنيوم والزجاج المتمايزة لونيًا. يمتاز التصميم الداخلي بالمرونة ، وذلك بفضل تكوينها وإستخدام المواد.كما يلتزم المشروع بالتصميم الحيوي والاستراتيجيات

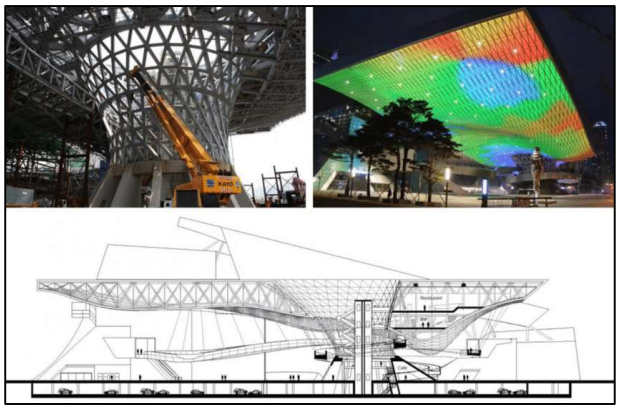
الفعالة التي تساعد في التخفيف من البصمة الكربونية التي يتركها المبنى والسيطرة عليها. بدءًا من المواد الموجودة في الموقع، والتكنولوجيا المتطورة، والاستراتيجيات المستدامة (35) (الشكل 10) .

الشكل 9 : مبنى UNASUR Building-2016

الشكل 10 : تفاصيل الهيكل الإنشائي للجزء الناتئ أقوى عنصر في الهيكل

4.2.1.3 المشروع الثالث : مبنى مهرجان بوسان السينمائي (BIFF) في كوريا الجنوبية - 2011 Busan Cinema Center

يقع المقرالجديد لمهرجان بوسان السينمائي (BIFF) في كوريا الجنوبية ، تم افتتاحه في 29 سبتمبر 2011 بحضور رئيس كوريا الجنوبية. أحد أهم العناصر المميزة للمبنى هواحتواءه على أطول ناتئ في العالم الذي يمتد فوق شوارع بطول 85 مترًا مع سطح سقف مذهل يبلغ 60 × 160 مترًا. متحديًا الجاذبية الأرضية ، يتم تثبيت ناتئ إطار الفضاء في الأرض من خلال عمود مخروطي كبير يضم المدخل الرئيسي والمقهى. ولتعزيز التجربة الإجمالية ، تم تغطية الجانب السفلي من السقف المدعم بسطح إضاءة LED ديناميكي. بمجرد أن يعمل المجمع بكامل طاقته ، سيعمل سطح LED كعرض ضوئي ديناميكي مصمم خصيصًا لأحداث مهرجان الأفلام ويكون بمثابة لوحة فنية للفنانين المرئيين. ستتمكن مساحات الأداء الداخلية والخارجية من استيعاب ما يصل إلى 6800 زائر عبر مجموعة متنوعة من المساحات. عند الانتهاء ، ستشكل المساحة الكاملة المخصصة للأداء ، والمطاعم ، والترفيه ، والمساحة الإدارية ، البالغة 60 ألف متر مربع ، إضافة ممتازة لمدينة بوسان. فاز المبنى بالفعل بجائزة العمارة الدولية وChicago Athenaeum في عام 2007 أيضًا كأرقام موسوعة غينيس للأرقام القياسية لـ "أطول سقف ناتئ" في العالم .يعتمد الحل الهيكلي للمشروع على مزيج من الخرسانة والفولاذ.حيث تم تنفيذ الكتل الصلبة لجميع المساحات الداخلية من الخرسانة المسلحة بألواح معدنية متناوبة النهاية بواجهة زجاجية بالكامل (32). أما الأسقف الكابولية الكبيرة مصنوعة من الفولاذ غير المطلي بالخرسانة ،لأن هذا من شأنه أن يزيد من وزن الهيكل الزائد والذي يمكن أن يساهم فعليًا في عدم إجهاد الشد الذي يخضع له كل جزء. لتغطية مساحة 60 × 120 قدمًا بامتداد 85 م ،تم إستخدام هيكلًا ثلاثي الأبعاد من العوارض الفولاذية التي تشكل سلسلة من الجمالونات المتصلة ببعضها البعض وبالتالي دعامة تدعمهم بشكل مستمر. أما المواد الرئيسية المستخدمة في المشروع هي العناصر الهيكلية الخرسانية والفولاذية والألواح الزجاجية والقشرة الحجرية للتشطيبات الخارجية (33) (الشكل 11) .



الشكل 11 : مركز بوسان السينمائي ، بوسان ، كوريا الجنوبية ،2011

4.3 تحليل مشاريع التطبيق العملي للمفردات الرئيسية ونتائجها

من خلال القيم الممكنة للمفردة الرئيسية الأولى (الكفاءة الهيكلية x1) نجد أن المشروع الأول حقق المفردة الرئيسية الأولى بنسبة (97%) وهي النسبة الأعلى بالمقارنة مع المشروعين الثاني والثالث اللذان حققا نسباً متقاربة (80 %) و(83 %). أما المفردة الرئيسية الثانية (تحسين الكفاءة الهيكلية x2) ومن خلال المفردات الثانوية (مجالات التحسين الهيكلي x2.1, وأهداف تحسين الكفاءة الهيكلية x2.2 ,وآليات تحسين الكفاءة الهيكلية x2.3) نجد أن المشروع الأول حقق المفردة الرئيسية الثانية (تحسين الكفاءة الهيكلية x2) بنسبة إجمالية (94%) حيث حقق المفردة الثانوية الأولى (الكفاءة الهيكلية x2.1) بنسبة (100%) بينما حقق المفردة الثانوية الثانية (أهداف تحسين الكفاءة الهيكلية2x) بنسبة (95%), اما المفردة الثانوية الثالثة (آليات تحسين الكفاءة الهيكلية x2.3) فقد حقق نسبة (91%). في حين حقق المشروع الثاني المفردة الرئيسية الثانية (تحسين الكفاءة الهيكلية x2) بنسبة إجمالية (75%) وهي النسبة الاقل مقارنةً بالمشروعين الأول والثالث ,حيث حقق المفردة الثانوية الأولى (مجالات التحسين الهيكلي x2.1) بنسبة (83%) بينما حقق المفردة الثانوية الثانية (أهداف تحسين الكفاءة الهيكلية2x) بنسبة (70%), اما المفردة الثانوية الثالثة (آليات تحسين الكفاءة الهيكلية x2.3) فقد حقق نسبة (75%). أما المشروع الثالث فقد حقق المفردة الرئيسية الثانية (تحسين الكفاءة الهيكلية x2) بنسبة إجمالية (83%), حيث حقق المفردة الثانوية الأولى (مجالات التحسين الهيكلي x2.1) بنسبة (100%) بينما حقق المفردة الثانوية الثانية (أهداف تحسين الكفاءة الهيكلية2x) بنسبة (75%), اما المفردة الثانوية الثالثة (آليات تحسين الكفاءة الهيكلية x2.3) فقد حقق نسبة (83%), بينما المفردة الرئيسية الثالثة (دور النظم الذكية في العمارة الأيقونية x3) فقد حقق المشروعين الأول والثالث نسباً متقاربة بقيمة (96%) و(93%) على التوالي ,وهي أعلى من النسبة التي حققها المشروع الثاني والذي حقق نسبة قيمتها (87%).

الاستنتاجات النهائية :

1. تتولد جمالية العمارة الأيقونية المعاصرة من خلال جمالية وكفاءة هيكلها الإنشائي حيث ساعدت التقنيات التكنولوجية الحديثة وتطور المواد الجديدة والأدوات المعمارية المختلفة وأسس التصميم المستدام في أكساب الهياكل الإنشائية المعاصرة الكفاءة الهيكلية والتعبيرية (الجمالية) وبالتالي إبتكار هياكل معاصرة ذات قيم جمالية نابعة من الصدق الإنشائي وجماليات التكنولوجيا الحديثة.
2. يمكن تحسين الكفاءة الهيكلية للمنشأ من خلال محاكاة النظم الحية في تكوين الشكل ,حيث يعد الإستلهام من الطبيعة أحد وسائل إنتاج أبنية تتصف بالإبداع والجمال على مستوى الشكل والهيكل الإنشائي .
3. أظهرت الدراسة العملية أن الكفاءة الهيكلية العالية تتحقق من خلال تحقيق الحد الأدنى من أستهلاك المادة الإنشائية وأقل وزن للمادة, حيث تعتبر العلاقة بين ادائية الهيكل وتكلفته هو أهم ما يحدد الكفاءة الهيكلية للمنشأ.

4. الترابط بين التكنولوجيا الرقمية والنظم المنشئية ساعد على إنتاج هياكل إبداعية ذات أشكال معقدة بمساعدة البرامجيات الرقمية الإنشائية والمواد النانوية التي تعمل على تغيير صفات العناصر الإنشائية وجعلها أكثر خفة ومرونة وشفافية والتي تعد إحدى صفات العمارة الآيقونية .
5. لعبت تكنولوجيا الكمبيوتر والتصميم البارامتري دوراً مهماً في تحقيق جماليات الهياكل بالإضافة إلى دور تقنيات التصنيع الرقمي في توليد الأشكال المعقدة وسهولة إنشائها بالإعتماد على المعلومات الرقمية بواسطة البرامج الحاسوبية.
6. تعمل المواد النانوية على تغيير صفات المادة الإنشائية وتحسين خواصها ممايزيد من كفائتها وبذلك فهي تلعب الدور الأكثر أهمية في أنشاء الهياكل المنشئية ذات الجمالية الآيقونية والحصول على هياكل تتحدى الجاذبية الأرضية بميزات جمالية مميزة .

المصادر

المصادر العربية :

[1] الحيالي ، محمد محفوظ طه ، "أثر الإمكانات المحلية على استدامة السكن المحلي" ، 2012.

[2] السهيري ، عاطف ، "تشييد المباني" توزيع مكتبة الصحوة العربية ، بغداد ، العراق 1997.

[3] عبد الجليل, وجدان ضياء,"اثر تكنلوجيا النانو في امكان العمارة المستقبلية ", اطروحة دكتوراه غير منشورة, جامعة بغداد, قسم الهندسة المعمارية, 2013.

المصادر الأجنبية :.

[4] Abdul Jaleel, Wjdan.(2018)" Generating Shape and Relationship to Structure in Digital Architecture", Journal of University of Babylon.DOI: 10.29196/jub.v26i2.839

[5] Ali, S.A. (2014). The Impact of Construction Systems Technology in Contemporary Architectural Product. *The Journal of Engineering, 20*.

[6] Ali, Safaa Aldeen Hussein, and Faten Yaseen Ali. "The Role of Materials Technology in Enhancing the Aesthetic Values of Contemporary Buildings." Design Engineering (2021): 13730-13750.

[7] Angus J, Macdonald, Structure and Architecture, University of Edinburgh, British Library Cataloguing in Publication Data, 2001.

[8] Armstrong, Gill & Allwinkle, Sam. (2017). Architectural Technology: the technology of architecture.

[9] Didero, C. M., "Zaha Hadid and suprematism", Domus magazine, 2012, Retrieved from:https://www.domusweb.it/en/bookreview/zaha-hadid-and-suprematism

[10] El-Eqapy, Ahmed & Al-Zaidi, Marwa. (2020). Coexistance of form and structure in contemporary architecture. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 881. 012003. DOI: 10.1088/1757-899X/881/1/012003.

[11] Eric, Tomas, Structural Efficiency, Project Lead The Way INC press, USA, 2010.

[12] Holgate, Alan, The art in Structural Design, Oxford University Press, London, 1986.

[13] Hu, Ming. (2016). Performance Driven Structural Design – Biomimicry in Structure.

[14] Jalil, Wijdan Deyaa Abdul. (2018), تحدي الجاذبية الأرضية في عمارة زها حديد

[15] Khuraibet, U. A.-M. (2017) "Constructional Efficiency in Al_Ahwaar Traditional Architecture", Journal of Engineering, 22(3), pp. 1–19. Available at: https://www.joe.uobaghdad.edu.iq/index.php/main/article/view/251 (Accessed: 19 February 2022).

[16] Latif, Aseel & Shahin, Bahjat. (2021). Structural Design According to Constructal Theory in Architecture. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1090. 012070. DOI: 10.1088/1757-899X/1090/1/012070.

[17] Lauriola, Domenico. (2017). Combining Efficiency and Aesthetics through the Integration of Structural Topology Optimization in Architecture.

[18] Longman Dictionary of Contemporary English.Archived from the original on 13 February 2018.Retrieved 9 May 2018.

[19] Lyall, Sutherland, "Remarkable Structures, Engineering Today's Innovative Buildings", Princeton Architectural Press, New York, 2002.

[20] Mertins, D.,"The Modernity of Zaha Hadid", 2006, Guggenheim Museum Publication, New York, USA, 2014.

[21] Monteiller, Gaëlle. (2001). Méthodes ET pratiques de la performance. Le pilotage par les processus ET les compétences.Pilippe LORINO.

i. مواقع الانترنيت :

[31] https://architectureprize.com/interviews/unasur-general-secretary-headquarters/
[32] https://en.wikiarquitectura.com/building/busan-cinema-center /
[33] https://www.archdaily.com/347512/busan-cinema-center-coop-himmelblau
[34] https://www.archdaily.com/915266/saudi-arabia-unveils-massive-window-to-the-future-for-expo-2020-dubai-pavilion.
[35] https://www.archilovers.com/projects/148130/unasur-general-secretary-headquarters.html.

[36] https://www.benaa.com/new%20tech.htm.

[37] https://www.designboom.com/architecture/boris-micka-associates-saudi-arabia-pavilion-expo-2020-dubai-11-19-2021/.

Revue Française de Gestion Industrielle. 20. 129-132. DOI:10.53102/2001.20.02.349.

[22] Qingpeng LI 2018 Form Follows Force Dissertation for the purpose of obtaining the degree of doctor (China: Delft University of Technology) pp31.

[23] R.Bosquet, Fondements de la performance humaine dans l'entreprise. Ed. d'Organisation. Paris (1989). 2-7081-1047-0

[24] Samsonowa, Tatjana. (2012). Industrial Research Performance Management.DOI: 10.1007/978-3-7908-2762-0.

[25] Sickles, R., and Zelenyuk, V. (2019). Measurement of Productivity and Efficiency: Theory and Practice. Cambridge: Cambridge University Press. DOI: 10.1017/9781139565981.

[26] Silva, L. Borgonovi and Kotnik, T.," Confrontation between Building and Ground: Notions of Force and Gravity in the Work of João Vilanova Artigas, in " Structures and Architecture: Concepts, Applications and Challenges " Cruz (ed.), Taylor & Francis Group, London, 2013.

[27] Stankovic, Danica & Tanic, Milan & Cvetanovic, Aleksandra. (2019). the impact of intelligent systems on architectural aesthetics. E3S Web of Conferences. 110. 01044. DOI: 10.1051/e3sconf/201911001044.

[28] Valhonrat, Carles,"Tectonic considered, between the presence and the abstract of Valhonrat, Carles",1988, Retrieved from: http://blog.acastronovo.com/ClassHtms/ClassDocs/Tectonics.pdf

[29] Warland, D.E.,Assisted by many specialist contributors,Modern Building cons.,Volume Warland , Sir Isaac Pitman Son Lt d.,1969,p:32.

[30] Zuk, William and Clark, Kinetic Architecture; Van Nostrand Reinhold Company; New York; 1970.

ملحق رقم -1-

ت	الدراسة العملية													
	المفردات الرئيسية	المفردات الثانوية		القيم الممكنة	الرمز	رقم المشروع								
						1	2	3						
	الكفاءة الهيكلية X1	انواع الكفاءة الهيكلية X1.1		الكفاءة التقنية	X1.1.1	4	4	4	12	100%		85%	86%	
			كفاءة مادية	تعاون كل جزء من اجزاء المبنى في مقاومة الاحمال الواقعة عليه (الاستمرار المادي)	X1.1.2	4	4	4	12	100%				
			كفاءة اقتصادية	إستخدام اقل كمية من المادة الإنشائية	X1.1.3	2	3	4	9	75%				
			كفاءة تعبيرية (جمالية)	جمالية المنشأ	X1.1.4	4	1	3	8	66%				
				(4 * 4 = 16)		14	12	15						
						87%	75%	93%						
		معايير تقييم الكفاءة الهيكلية X1.2	من حيث الشكل	طريق القوى (ضمان الممرات المباشرة للقوى الداخلية المتولدة داخل أجزاء النظام)	X1.2.1	4	4	4	12	100%		88%		
				نوع القوى (ضمان أصغر القوى الداخلية ضمن العناصر الهيكلية)	X1.2.2	4	4	4	12	100%				
				توزيع القوى (ضمان توزيع موحد للقوى داخل أجزاء النظام)	X1.2.3	4	4	4	12	100%				
			من حيث المواد	كمية المواد(اعتماد أقل استهلاك للمواد)	X1.2.4	2	3	4	9	75%				
				وزن المادة (يتناسب عكسيا مع الكفاءة الهيكلية)	X1.2.5	2	2	4	8	66%				
				(5 * 4 = 20)		16	17	20						
						80%	80%	95%						
				(9 * 4 = 36)		30	29	35						
						83%	80%	97%						
	تحسين الكفاءة الهيكلية X2	مجالات التحسين الهيكلي X2.1		تحسين الحجم	x2.1.1	4	4	4	12	100%		94%	85%	
				تحسين الشكل	x2.1.2	4	2	4	10	83%				
				تحسين الهيكل	x2.1.3	4	4	4	12	100%				
				(3 * 4 = 12)		12	10	12						
						100 %	83%	100 %						
		أهداف تحسين الكفاءة الهيكلية X2.2		الاقتصاد في الكلفة	x2.2.1	1	2	3	6	50%		80%		
				تحقيق الابداع المادي الأنتفاعي	x2.2.2	4	2	4	10	83%				
				تحقيق الابداع الانشائي	x2.2.3	4	4	4	12	100%				
				تحقيق الكفاءة الجمالية والهيكلية	x2.2.4	4	3	4	11	91%				
				إنشاء نماذج أساليب جديدة وأكثر كفاءة	x2.2.5	4	4	4	12	100%				
				توفير الوقت والمال	x2.2.6	1	2	4	7	58%				
				(6 * 4 = 24)		18	17	23				18		
						75%	70%	95%						
		اليات تحسين الكفاءة الهيكلية X2.3		الكفاءة في استعمال المادة الإنشائية	x2.3.1	3	3	4	10	83%		83%		
				وتوافق متطلبات التنفيذ والمنظومة الإنشائية مع المواد والعمالة والتكنولوجيا المتوفرة	x2.3.2	4	4	4	12	100%				
				محاكاة النظم الحية في تكوين الشكل	x2.3.3	4	1	1	6	50%				
				الابتعاد عن مثالية الاشكال الهندسية المتناظرة	x2.3.4	4	4	4	12	100%				
				تعزيز الكفاءة الهيكلية للاداء الانشائي	x2.3.5	4	4	4	12	100%				
				تطور تكنولوجيا الإنشاء	x2.3.6	4	4	4	12	100%				
				تطور تكنولوجيا المواد (مواد ذكية)	x2.3.7	2	2	4	8	66%				
				تقنيات النمذجة المتقدمةBIM	x2.3.8	4	4	4	12	100%				
				تحسين الخوارزمية الجينية	x2.3.9	1	1	4	6	50%				
				(9 * 4 = 36)		30	27	33						
						83%	75%	91%						
				(18 * 4 = 72)		60	54	68						
						83%	75%	94%						
	دور النظم الذكية في العمارة الايقونية X6	تكنولوجيا الإنشاء X6.1	تكنولوجيا النظم المنشئية	التصميم بمساعدة الحاسوب	X6.1.1	4	4	4	12	100%	100%	90%	90%	
				إستخدام أدوات التصميم الرقمية	X6.1.2	4	4	4	12	100%				
			تكنولوجيا مواد الإنشاء	إستخدام المواد النانوية	X6.1.3	4	3	4	11	91%	70%			
				إستخدام المواد الذكية	X6.1.4	2	1	3	6	50%				
			تكنولوجيا طرق واساليب الإنشاء	نمذجة الحاسوب	X6.1.5	4	4	4	12	100%	100%			
				التوليد الرسمي	X6.1.6	4	4	4	12	100%				
				محاكاة النماذج الحقيقية	X6.1.7	4	4	4	12	100%				
				تقنيات التصنيع الرقمي	X6.1.8	4	4	4	12	100%				
				(8* 4 = 32)		30	28	31						
						93%	87%	96%						
				(37*4=140)		120	111	134						
						85%	79%	95%						

The role of smart systems in achieving the gravity-defying structural efficiency of iconic architecture

Sarah Mazin Abdelrahman* [*1] and Safaaaldeen Hussein Ali [2]

[1] Department of Architectural engineering, university of technology, Baghdad, Iraq, ae.19.20@grad.uotechnology.edu.iq

[2] Department of Architectural engineering, university of technology, Baghdad, Iraq Safaaaldeen.h.Ali@uotechnology.edu.iq

**Corresponding author and email: Sarah Mazin Abdelrahman, ae.19.20@grad.uotechnology.edu.iq*

Published online: 31 December 2022

Abstract— The electronic revolution and the application of advanced technology and smart systems in design and implementation helped achieve a distinctive architectural product using structural systems that reflect the structural aesthetic elements and their relationship to Earth's gravity, which was difficult to implement before, and thus technology supported this trend and led to the emergence of architecture in new, unfamiliar forms. The concept of Smart Systems may not be new, but researchers are constantly working to develop smart materials and configure systems that can control and direct materials to create architecture with higher performance efficiency (structural and aesthetic) and fewer negative impacts. Iconic architecture may not be a new concept, and applications for architectural products with smart features have been around for a long time. But the development of intelligent systems can push iconic architecture to new levels and create anarchitecture with a higher state of performance efficiency that operates at multiple levels with better outcomes for users .The studies have clearly addressed the mechanisms of achieving structural efficiency, but did not address the role of smart systems in achieving structural efficiency within the new aesthetic theory, so the research problem came in the following form: "Lack of theoretical studies dealing with the role of smart systems, which are part of the means of improving the structural and aesthetic efficiency of iconic buildings." In Contemporary Architecture." The research aims to explore the characteristics and advantages achieved by smart systems in the field of architecture, especially iconic architecture, to provide a clearer understanding of the impact that smart systems have on the architectural design and construction processes, and how they can produce an iconic architecture that defies gravity, more Structural efficiency whose performance is reflected in the functional (structural) and architectural (aesthetic) aspects. The main vocabulary was extracted from concepts related to research and previous studies, and then the practical application was conducted on three samples of projects that relied on smart systems to reach the most important final conclusions that show the importance and role of smart systems and modern technology in order to reach an iconic architecture with a unique aesthetic character.

Keywords— Smart Systems, Structural Efficiency, Aesthetic Efficiency, Iconic Structures, Gravity Defying Structures.