تأثير الحوسبة و البرمجة الرقمية على تطور تكنولوجيا العمارة و التصميم الداخلى

The Effect of Computational and Digital Programming on interior design and Architecture Technology's Development

أ.د/ ياسر على معبد

أستاذ نظريات التصميم بقسم التصميم الداخلى و الآثاث, كلية الفنون التطبيقية, جامعة دمياط

Prof. Yasser Ali Maebed

Professor of the design theory at interior and Furniture Design Department, Faculty of Applied Arts, Damietta University

Yassermabad@du.edu.eg

أ.م.د/ علاء محمد شمس الدين العيشى

أستاذ مساعد بقسم العمارة, كلية الهندسة, جامعة المنصورة

Assist. Prof. Dr. Alaa Mohamed Shams Eldeen Alaeshy

Professor at Architecture Department, Faculty of Engineering, Mansora University

Arabeskal_arch@yahoo.com

الباحثة/ إيمان عمرو الشناوى

باحث ماجستير و مصمم ديكور بدار جامعة دمياط للطباعة و النشر

Researcher. Eman Amr ElShenawy

Master Reseacher, interior Designer at Damietta University House for Printing and Publishing

Designer.Eman.Amr@Gmail.com

ملخص البحث:

قد كان للتقدم التكنولوجى الذى بدأ مع الثورة الصناعية خلال القرن الثامن عشر"حقبة التصميم الحديثة (١٨٥٠:١٨٩٠م)" تأثيرا مباشرا على مدارس التصميم المعمارى، وصولا إلى الحقبة الرقمية المعاصرة من ١٩٨٠م حتى الآن.

التصميم الحسابى/ الرقمى Computational/ Digital Design هو ذلك التطبيق للاستراتيجيات الحسابية لعملية التصميم. إذ أنه فى حين يعتمد المصمم على الحدس و الخبرة بشكل كبير فى حل المشاكل التصميمية، فالتصميم الرقمى يهدف إلى تعزيز تلك العملية من خلال ترميز Encoding قرارات المصمم باستخدام لغة الحوسبة. فالتصميم الرقمى مصطلح واسع المدى يبدأ من عملية تخليق التصميم إلى عملية التنفيذ الآلى، لذا فاستخدام أداة البرمجة البصرية المناسبة هو بمثابة الخيط المشترك بين التصميم و التنفيذ، نظرا لما توفره للمصمم من القدرة على محاكاة التصميم و محاكاة أدائه و ذلك بتوفير وسيلة لتقييم التصميم وفقا لمعايير مماثلة لبيئة التصميم.

و مع ازدياد التوجه نحو المبانى المعقدة اعتبرت استراتيجية إيجاد الشكل من أهم الاستراتيجيات التى تعنى بإيجاد حلول مناسبة لتصميم تلك الهياكل، فكان لابد من تطوير الأنظمة الانشائية لهذه الهياكل بالاعتماد على الأدوات التناظرية لمحاكاة التأثير المتغير الواحد و الثابت Mono Parameter و هو عنصر الجاذبية. و فيما بعد أتاحت هذه الأدوات التلاعب بالمعادلات البارامترية لتطوير هذه الاستراتيجيات لإيجاد نماذج تخضع لتأثير عدة متغيرات مختلفة و غير متجانسة Multi Parameter مثل: الشكل الهندسى, القوى الديناميكية, البيئة و المتطلبات الاجتماعية.

فتتلخص مشكلة البحث فى: استنتاج تأثير الحوسبة و البرمجة الرقمية على عملية التصميم و تكنولوجيا التنفيذ، فهذا الدور لم يتوقف عند العملية التصميمية، بل استمر إلى عملية الانتاج و التصنيع و التنفيذ الرقمى، ليس هذا فحسب بل وصل إلى مرحلة اندماج عملية التصميم و عملية الانتاج و التصنيع و التنفيذ معا.

منهج البحث: استخدم الباحث المنهج الوصفى التحليلى.

الكلمات الافتتاحية:
(البرمجة الرقمية- المحاكاة- التصميم- القوى التطبيقية).

Abstract:

The Technological progress that began with the industrial revolution during the 18th century was "the modern design epoch (1890:1850)", that has had a direct impact on schools of architectural design, down to the contemporary digital age of the 1980 to the present.

Computational/ Digital Design is an application of computational strategies for the design process. While the designer relies on intuition and considerable experience in solving design problems, so digital design aims to reinforce that the process by encoding the designer's decisions using the language of computing. So The Digital design is a far-reaching term that starts from a design creation process to a design automation process, so using a suitable visual programming tool serves as a common line between design and execution, given the ability to simulate a design and performance by providing a means for evaluating a design to similar standards for a design environment.

As the trend towards complex buildings increased, the form creation strategy was considered to be one of the most important strategies for finding suitable solutions for the design of these structures, so the construction systems had to be developed based on analogue instruments for simulating the mono constant influence of gravity. These tools then allowed the manipulation of parameter equations to develop these strategies for models influenced by several different and heterogeneous variables such as geometry, dynamic forces, environment and social conditions.

So the Research Problem is: deducing the effect of computing and digital programming on the design process and implementation technology. This role did not stop with the design process, but continued with the production, manufacturing, and digital implementation process, but eventually came to merge the design, production, manufacturing, and implementation process.

Key words:

(Digital Programming - Simulation – Design – Applied Forces).

المقدمة:

مع ازدياد التوجه نحو المبانى المعقدة اعتبرت استراتيجية إيجاد الشكل من أهم الاستراتيجيات التى تعنى بإيجاد حلول مناسبة لتصميم تلك الهياكل، فكان لابد من تطوير الأنظمة الانشائية لهذه الهياكل بالاعتماد على الأدوات التناظرية لمحاكاة التأثير المتغير الواحد و الثابت Mono Parameter و هو عنصر الجاذبية. و فيما بعد أتاحت هذه الأدوات التلاعب بالمعادلات البارامترية لتطوير هذه الاستراتيجيات لإيجاد نماذج تخضع لتأثير عدة متغيرات مختلفة و غير متجانسة Multi Parameter مثل: الشكل الهندسى، القوى الديناميكية، البيئة و المتطلبات الاجتماعية.

كما تم تقديم مفهوم تحسين النتائج و تحقيق الأمثلية إلى عالم المعمار كأداة لتحقيق الأداء الأفضل بأعلى درجة من الفعالية و أقل تكلفة ممكنة عن طريق دراسة أداء المبانى من خلال مجموعة من الخصائص مثل (العوامل الإنشائية، الصوتية، الإنارة، الطاقة، الفراغات...إلخ). فجاءت الخوارزميات الجينية لتعالج بعض المشكلات المعمارية و معايير أداء المبنى

باستعراض عددا من الحلول المقترحة لاختيار النتائج الأفضل باستخدام المحددات المطلوب تحقيقها لحل أو تحسين أو اجراء أبحاث على المشاكل المطروحة، و يتم اللجوء إلى التحسينات التصميمية و الانشائية للمبانى لتقليل الوزن و الحمل العام، و بالتالى تقليل تكاليف مواد البناء. و يمكن إضافة محددات أخرى مثل طرق التصنيع و الكثير من المحددات الأخرى. كما يجب أن يكون هناك تمييز بين الأشكال مع الحفاظ على تماسك التكوينات فيما بينها هذا التميز يمكن كذلك أن يكون ذكيا أى أنه قابل للتطويع لتحقيق محددات معينة يجب اتباعها مثل تشكيل كتلة المشروع لكى تتجنب الفتحات أشعة الشمس و هذا يؤدى إلى تميز الكتل و المسطحات و الخطوط.

و حينما نتعرض لمصطلح التصميم الحسابى فإننا بصدد بعض المصطلحات ذات الصلة التى تندرج تحت هذا المسمى كـ"تصميم المحددات اللوغارتمية Parametric Design"، "التصميم الخوارزمى Algorithmic Design "، التصميم التوليدى Generative Design".

مشكلة البحث:

- كيف نستطيع الدمج بين عملية التصميم و عملية الإنتاج و التصنيع و التنفيذ معا؟

أهمية البحث:

- التوعية بأهمية الحوسبة و البرمجة الرقمية فى تطور عملية التصميم و تكنولوجيا التنفيذ.
- أهمية فهم خصائص و قواعد الأشكال و المنحنيات حتى يسهل إجراء التمثيل رقميا فى العملية التصميمية و التنفيذية.

أهداف البحث:

- تحديد آليات التكامل بين عمليات التصميم و التنفيذ فكرا و تقنية باستخدام التقنيات الرقمية، لينعكس ذلك على تطوير الرؤى التصميمية.

دور التكنولوجيا الرقمية فى عملية التصميم و التنفيذ:

من خلال تجربة المعمارى فرانك جيرى Frank Gehry تم استنتاج أهمية دور التكنولوجيا الرقمية على عملية التصميم، فإن هذا الدور لم يتوقف عند العملية التصميمية، بل استمر إلى عملية الانتاج و التصنيع و التنفيذ الرقمى، ليس هذا فحسب بل وصل إلى مرحلة اندماج كلا من العمليتين معا، عملية التصميم و عملية الانتاج و التصنيع و التنفيذ معا. فكان تصميم الهيكل السمكى الكبير و الذى أطلق عليه (فيللا أوليمبكا ببرشلونة/أسبانيا عام ١٩٩٢م) **شكل (١)** و الذى واجه جيرى مشاكل و صعوبات فى تنفيذه، بالإضافة إلى القيود المالية مما دفع جيرى للبحث عن أسلوب جديد لتسهيل التنفيذ، و بالفعل اقترب جيرى من تكنولوجيا التصنيع ليسهل الاستفادة منه فى البناء، فكان الحل فى إعادة إعداد خطوات التصميم و التنفيذ فى شكل معلوماتى بنائى، و من خلال دراسة ماكينات التصنيع و أسلوب توقيع الأسطح رقميا استنتج الآتى:

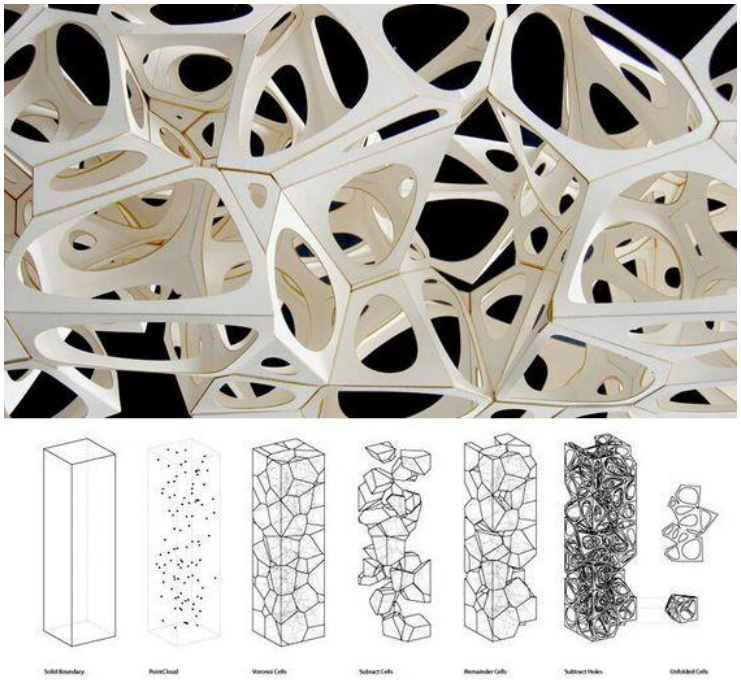
1- كل مراحل التصميم لها تداخل مع إجراءات و عمليات التصنيع و التنفيذ و من ثم استلزم تطوير عملية التصميم لتكون عملية رقمية لا ورقية.
2- أهمية النماذج الرقمية و دورها فى تحقيق المبنى.
3- أهمية فهم خصائص و قواعد الأشكال و المنحنيات حتى يسهل إجراء التمثيل رقميا فى العملية التصميمية و التنفيذية.
4- يجب وضع خطة واضحة لإدارة منظومة البناء. ثم وضع خطة توضح مراحل التصنيع المختلفة لتبسيط الأشكال المعقدة و تطوير المواد المناسبة لهذه الأشكال.

و يرى باتريك شوماخر "اننا نحتاج إلى التميز من حيث المعايير التعبيرية و الجمالية و لأن هذه المعايير تعبر عن أسلوب حياة المجتمع الحالى الذى يفضل أفراده التميز و ليس التكرار. هذا التميز تحتاجه كذلك مشاريع تخطيط المدن لعرض أكبر قدر من الحلول التخطيطية". فالتميز يمكن أن يكون ذكيا بحيث يتناسب مع الرغبات المختلفة لسكان المدينة. كما يجب أن يكون هناك علاقات متبادلة بين عناصر التكوين، فالمدن و المبانى تصمم من خلال أنظمة تسلسلية، هناك نظام أولى ثم يتبعه نظام ثانوى مثل نظام كتلة المبنى ثم نظام تصميم الفتحات و كلها يجب أن تبنى بمراعاة علاقات متبادلة بينها. فإذا أجرى تعديل على تصميم كتلة المبنى فإن ذلك يرتد على تصميم الفتحات و هكذا. كل المبادئ سواء السلبية منها أو الإيجابية يجب أن يستخدمها المعمارى فى مراجعة تصميمه و التأكد من أنها تحقق هذه العلاقات المتبادلة.

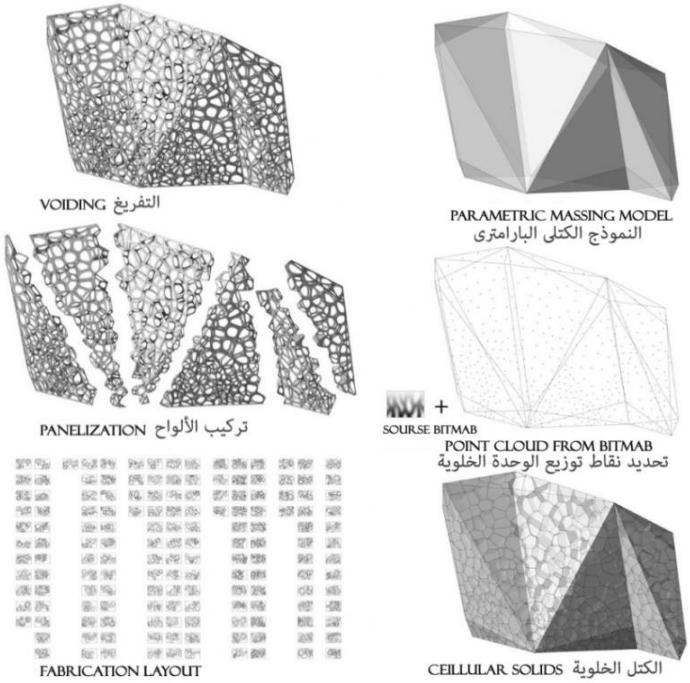
و قد نجحت البرامج المعمارية كـ (Grasshopper- Marionette - Dynamo -Rhino -Maya -3DS Max) فى إعداد العديد من الأدوات للتحكم فى انتاج الأشكال، و التحكم فيها عن طريق التعديل و التطوير بواسطة إدراج كافة المتغيرات التى يمكن أن تؤثر على الأسطح. و يتميز استخدام الحاسب الآلى فى هذه المرحلة فى أنه يمكن المصمم من التحكم فى الأسطح باستخدام المواد المختلفة، و التعامل معها وفقا لخواصها الطبيعية، كما أنه يساعد المصمم على إعطاء العديد من البدائل و المقترحات لتكسية الأسطح حسب شكل المواد المستخدمة و طرق تصنيع أجزاء و مواد البناء المختلفة بأكثر من طريقة تصنيع رقمية.

شكل (١) فيلا أوليمبكا ببرشلونة/ اسبانيا للمعمارى فرانك جيرى.

ثم تأتى مرحلة تجميع هذه العناصر فى الموقع لكى تعطى التكوين النهائى للمبنى، و هى المرحلة النهائية فى تنفيذ المبنى، ففى مرحلة التجميع تستخدم التكنولوجيا الرقمية فى هذه المرحلة بكاملها دون تدخل أى من الطرق التقليدية مثل القياس بواسطة شريط الأبعاد، أو استخدام المهارات الحرفية و اليدوية. فالعملية التى تتم كلها تعتمد على النموذج الرقمى الثلاثى الأبعاد، و على مرحلة تكويد و تشفير العناصر و الأجزاء التى تم تصنيعها، بحيث يتم وضعها فى أماكنها باستخدام التكويد و الشفرة و بدقة عالية جدا حيث لايسمح بالخطأ. فقد تم بناء النماذج فى جميع مراحل التطبيق بواسطة النمذجة البارامترية، مع مزيج من الخوارزميات التوليدية لاستكمال الخطوط العامة فى عمليات تقسيم الأسطح و تكرار الأنماط الهندسية التى تستغرق وقتا طويلا جدا فى النمذجة التقليدية، مما سهل من عملية توليد رسومات التنفيذ. و كذلك عمل الاختبارات الإنشائية الخاصة بالمشروع التطبيقى بواسطة برامج التحليل الإنشائى الاستاتيكى **شكل(٣،٢).**



شكل (٢) خطوات تجميع الألواح من خلال اجراء تباديل و توافيق باستخدام البرامج المعمارية و اعطاء بدائل للمصمم.



شكل (٣) مزج النمذجة البارامترية مع الخوارزميات التوليدية فى عمليات تقسيم الأسطح و تكرار الأنماط الهندسية مما سهل من عملية توليد رسومات التنفيذ.

إمكانيات الحاسب الآلى فى تنفيذ التصميم:

قد كان المعمارى هو الفائز الأكبر فى هذه الطفرة التكنولوجية، حيث تحولت الاسكتشات و الأفكار المعمارية غير التقليدية إلى واقع, و للتعرف على إمكانيات استخدام الحاسب الآلى كأداة مساعدة يتم من خلالها تحقيق الأشكال، نستعرض بإيجاز أحد المشروعات ذات التشكيلات المعقدة التى اعتمد تنفيذها على تقنيات الحاسب الآلى.

مبنى Fresh H2O Expo, Zecland:

استلهم مكتب NOX فكرة المشروع من خواص و طبيعة و حركة السوائل، و ظهر ذلك فى استخدام المواد فى التشكيل العام للمبنى، و انعكس أيضا على الفراغ و البيئة الداخلية لفراغ المشروع، و المشروع مكون من ١٤ شكلا بيضاويا ممتدا على طول ٦٥ مترا، و مرتب بمنظومة تشكيلية تعبر الانسيابية فى الفراغ الداخلى و التشكيل العام للمبنى، و لقد تم تطوير التشكيل الداخلى للفراغ بالاعتماد على تطبيق ال(CAD) كذلك تم عمل محاكاة للفراغ الداخلى بواسطة برامج متعددة للحصول على أفضل تكوين ممكن يتناسب مع فكر و طبيعة المشروع.

فبدأت تنشأ موجة جديدة من المبانى التى اعتمدت على التطور سواء كان مساعدا فى العملية التصميمية أو جزء منها كوسائل التحكم و المراقبة من بعد من خلال تقنية فائقة و كذلك الاعتماد على توليد أشكال جديدة من الطبيعة و تتمتع بخواصها و تنفيذها باستخدام مواد بناء مبتكرة و وسائل متطورة، فتم توليد فراغات مبتكرة من خلال هذه الكتل.

الحاسب الآلى و تأثيره على تكنولوجيا البناء:

نتيجة لظهور الحاسب الآلى حدثت طفرة مهمة فى منظومة عناصر التكنولوجيا تمثلت فى التطور المدهش لكل من مواد البناء، و ظهر تأثير ذلك واضحا فى ملامح العمارة منذ أواخر القرن العشرين، خاصة فى أساليب و وسائل التنفيذ.

١: مواد البناء:

كان لتأثير الحاسب الآلى انعكاسا مباشرا على حدوث طفرة فى مواد البناء، سواء كانت مواد بناء أساسية، أو مواد بناء تكميلية، و التى يلعب الحاسب الآلى فيها دورا كبيرا سواء كان غير مباشر من خلال عمليات التصنيع و الاختبارات و غيرها، أو دورا مباشرا من خلال البرمجيات المختلفة، و كذلك التعرف بإيجاز على امكاناتها، لكشف أبعاد عمارة المستقبل.

١/١: الحديد الصلب:

حدثت طفرة كبيرة فى مجال تصنيع الحديد الصلب تمثلت فى استخدام برنامج (CATIA) فى تنفيذ متحف جوجنهايم بأسبانيا **شكل (٤)**، حيث كان العائق حينئذ هو كيفية تنفيذ ذلك التشكيل الصعب باستخدام الحديد الصلب، و كذلك كيفية تحويل ذلك التشكيل إلى قطاعات محددة الأبعاد يمكن تصنيعها مسبقا.

و لقد فتح الاعتماد على تطبيقات الحاسب الآلى آفاقا جديدة فى مجال استخدام الحديد الصلب، حيث لم يعد التشكيل يمثل أى عائق يذكر، و ظهر ذلك واضحا فى مشروعات فرانك جيرى، نورمان فوستر، روجرز، ريم كولاس، برنارد تشومى و غيرهم من المعماريين الذين أبدعوا فى استخدام الحديد الصلب كمادة إنشائية مهمة و توظيفها بما يتناسب مع إمكاناتها.

شكل (٤) مراحل تنفيذ متحف جوجنهايم بأسبانيا باستخدام الحديد الصلب.

٢/١: الخرسانة المسلحة:

لم يعد استخدام الخرسانة المسلحة يمثل أى صعوبة، و لم يعد التشكيل فى الخرسانة المسلحة يمثل أى عائق، حيث إن الاعتماد على تطبيقات الحاسب الآلى فتحت الطريق أمام العديد من المعماريين للإبداع فى استخدام الخرسانة المسلحة للتحسين فى خواصها، و ذلك عن طريق الإضافات المتعددة، و هى إضافات إما تكون لزيادة الأحمال أو تكون لتخفيف الوزن، حيث تتنوع هذه الإضافات طبقا للمكان و لظروف الاستخدام **شكل (٥)**.

شكل (٥) تطور استخدام الخرسانة المسلحة فى التشكيل المعمارى فى النصب التذكارى "الهولوكوست" في أوتاوا بكندا، و متنزه بحيرة كونفلوينس Gallery of Confluence Park / Lake .

٣/١: الزجاج:

إن صناعة الزجاج قد تأثرت بشكل كبير نتيجة لتكنولوجيا المعلومات، و ذلك سواء من ناحية التصنيع أو التنفيذ، و لقد ظهرت أنواع و معالجات عديدة من الزجاج، منها الزجاج المزدوج الذى يضم شحنات إلكترونية بداخله، كذلك الزجاج الذى يتم توليد الطاقة من خلاله، و ظهر مؤخرا الزجاج الذاتى التنظيف و المعالج كيميائيا ليقوم بتنظيف نفسه تلقائيا عن طريق خواصه الطبيعية التى تمت معالجتها من قبل، و غيرها الكثير من الأنواع العديدة التى تخدم مجال العمارة.

و لقد ظهرت إمكانات استخدام برمجيات الحاسب الآلى فى عمليات التصنيع و خاصة فى انتاج النماذج البالغة التعقيد المصنوعة من الزجاج، حيث يتدخل الحاسب الآلى فى تجسيد تلك النماذج و تحويلها إلى نماذج مصنعة، و لقد ظهرذلك واضحا فى عدد كبير من المبانى الحديثة، و التى تمكن المعماريون من تصميمها دون آية عوائق تشكيلية أو تصميمية، و أظهرت مدى قدرة تطويع الزجاج بها كأحد المواد المهمة.

٤/١: الورق:

الورق كمادة غير طبيعية يتم تصنيعه مع الأخشاب، و لقد استخدم الورق المقوى لأول مرة كمادة إنشائية خفيفة الوزن فى معرض (EXPO 1992) فى جناح سويسرا، و ظهر أيضا فى جناح اليابان بمعرض هانوفر بألمانيا عام ٢٠٠٠م حيث تطلب تنفيذه العديد من الحسابات الإنشائية بواسطة البرمجة الرقمية، لضمان تحمله لمختلف المؤثرات المحيطة **شكل (٦)**.

شكل(٦) جناح اليابان بمعرض هانوفر بألمانيا من تصميم ليجيرو بان منفذ بالورق المقوى.

٥/١: الأخشاب:

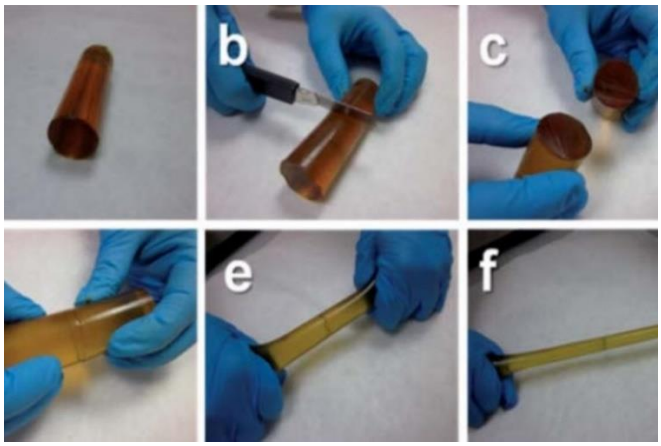
كان الاعتماد على الأخشاب فى البناء كبيرا، حيث استخدمت فى تنفيذ العديد من الصالات ذات البحور الكبيرة، كذلك ظهرت الإمكانيات التصنيعية و التنفيذية الكبيرة لها، و حاليا ظهرت العديد من الإضافات لتحسين أداء الأخشاب كعناصر إنشائية، و ذلك عن طريق مواد دهانات مخصوصة تزيد من صلابة الخشب.

و من أهم أنواع الخشب الحديثة- الخشب المرنFlexible wood- و هو عبارة عن خشب مضغوط غير معالج كيميائيا، يتم التحكم فيه و تشكيله بمرونة حتى يجف، ثم يصبح صلدا بعد ذلك، و هو مصنوع من الخشب الأوروبى، و استخداماته غالبا ما تكون فى التصميم الداخلي و الآثاث بالإضافة إلى إمكاناته الواعدة كمادة بنائية مرنة.

٦/١: المواد المصنعة:

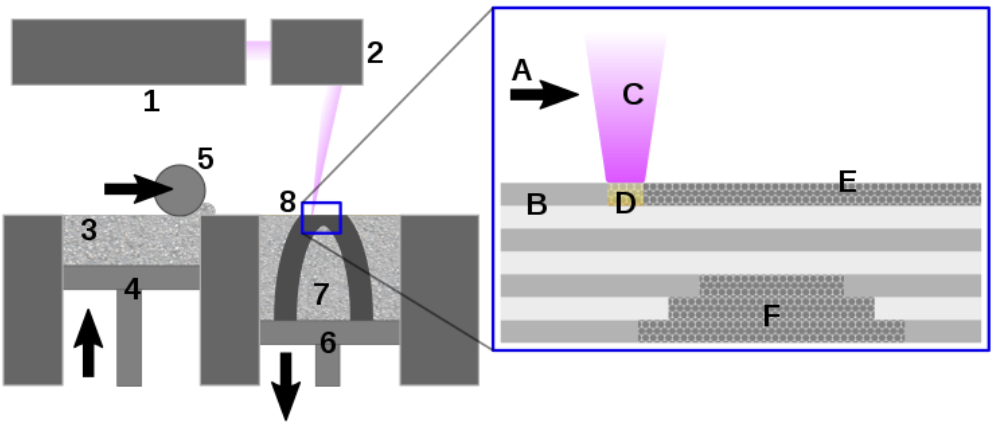
هناك العديد من المواد المصنعة الجديدة التى تستخدم حاليا فى المبانى سواء كمواد إنشائية أو كمواد تكسيات داخلية و خارجية، و يعد التطور العلمى الكبير خاصة مع بداية القرن الواحد و العشرين هو العامل الأساسى فى اكتشاف تلك المواد الجديدة الواعدة، و منها على سبيل المثال:-

١-٦/١: المواد ذاتية الإصلاح Self-Healing Polymers: و هى نوع من المواد الذكية لديها قدرة بنائية على إصلاح الأضرار الناتجة عن الاستخدام الميكانيكى بمرور الوقت. فهى نوع من البوليمرات التى يمكنها القيام بإصلاح التلف الناتج عن الاستخدام الطبيعى ذاتيا تساعد فى تخفيض تكلفة عدد من العمليات الصناعية المختلفة من خلال زيادة العمر الافتراضى لها و الحد من عدم الكفاءة الناتج عن عوامل التعرية فضلا عن عدم وجود تكلفة لفشل المواد **شكل (٧)**.



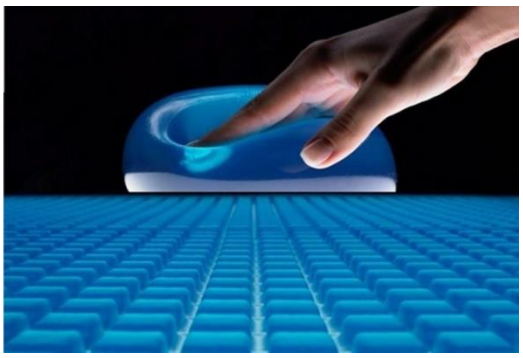
شكل (٧) قدرة المواد ذاتية الإصلاح على إصلاح التلف.

٦/١-٢: Selective Laser Sintering (SLS): مادة من الفايبر جلاس معالجة بالليزر تم اختراعها فى الثمانينات بواسطة (كارل ديكارد) [٢] عن طريق الطباعة ثلاثية الأبعاد، بتحويل التصميمات الرقمية إلى تصميمات ثلاثية الأبعاد. بالإضافة إلى أنها طريقة ملائمة و معقولة التكلفة و تتميز بالصلابة الشديدة مما يجعلها أكثر رواجا فى معالجات المبانى أثناء التنفيذ **شكل (٨)**.



شكل (٨) Selective Laser Sintering (SLS).

٦/١-٣: TechnoGel: مادة مرنة تتكون من خليط صلد و سائل يتم مزجهم لتكون فى النهاية مادة مرنة يمكنها التشكيل بسهولة و فى نفس الوقت تتميز بصلادة هائلة **شكل (٩)**.

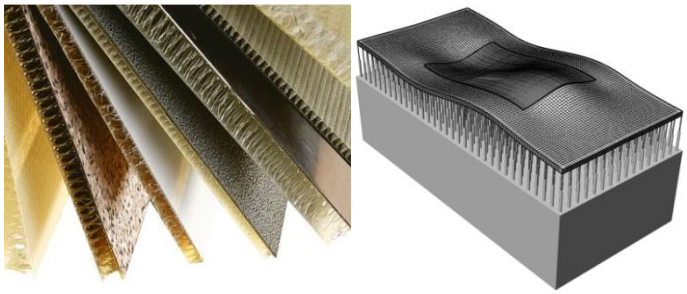


شكل (٩) مادة TechnoGel حيث تجمع بين الصلابة و المرونة.

٦/١-٤: Textile Carbon Fiber-reinforced concrete : مادة معالجة بالكربون تحت درجات حرارة عالية تصل إلى ٢٠٠٠:٣٠٠٠ درجة سيليزيوس، تتحمل العوامل الجوية و لها استخدامات عديدة فى مجال البناء و خاصة التكسيات الخارجية **شكل (١٠)**.

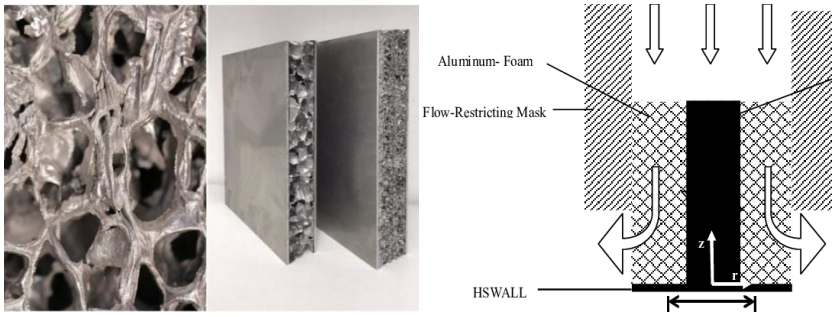
شكل (١٠) الخرسانة المعالجة بالكربون TCFC.

١/٦-٥: Parabeam: مادة من الفايبر جلاس معالجة بمادة الراتنج (Resin) و تستخدم فى المنشآت الخفيفة **شكل (١١)**.



شكل (١١) مادة Parabeam المعالجة بالراتنج.

١/٦-٦: Foam Aluminum : ألومنيوم معالج بالفوم يتم تصنيعه بمواصفات خاصة و يتميز بخفة الوزن و يستخدم فى التكسيات الداخلية و الخارجية **شكل (١٢،١٣)**.



شكل (١٢) ألواح Foam Aluminum.

شكل (١٣) استخدام ألواح Foam Aluminum فى التكسيات الداخلية و الخارجية.

٢- تأثير استخدام الحوسبة و البرمجة الرقمية على التصميم الداخلى:

انعكس استخدام الحوسبة و التقدم التكنولوجى على بعض عناصر التصميم الداخلى, فتطورت وظيفتها و لم يعد فقط الغرض منها تحقيق الوظائف المتعارف عليها، فنرى تطور (الحوائط- الأرضيات- الأسقف- الإضاءة- الأثاث) التى تأثرت بتطبيقات الحوسبة.

١/٢: الحوائط: شهدت الحوائط الداخلية و الخارجية (الواجهات) تطورا ملحوظا من كونها مجرد ساتر إلى غشاء أكثر تفاعلا و نشاطا، حيث أصبح الهدف المطلوب منها هو إدارة المناخ الخارجى، فنلاحظ ظهور نوعين من تلك الحوائط لم تكن موجودة فيما مضى تكمن فيما يلى:

١-١/٢: الواجهات الذكية Smart Facade: الهدف الرئيسى لهذه الواجهات هو جعل الواجهة غلافا نشيطا من خصائصه الاستجابة إلى الظروف البيئية داخل و خارج المبنى، و ذلك من خلال المعادلة بين تعظيم ضوء الشمس الطبيعى

و الحماية من الإشعاع الشمسى، مع التحكم فى التهوية و الحرارة الداخلة و الخارجة. و يمكن أن يحدث ذلك عن طريق التزجيج (Glazing) ، من خلال تغيير خصائص نفاذية الضوء بتغيير الجهد الكهربائى، الضوء أو الحرارة، مما يؤدى لتغيير مظهر الزجاج و شفافيته و الأطوال الموجية للضوء.

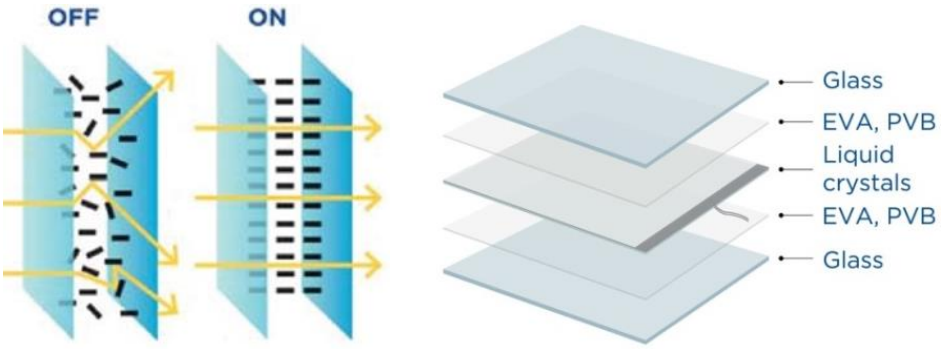
١/٢-١-أ: الزجاج الديناميكى (SageGlass)Dynamic: و هو زجاج كهربائى من انتاج شركة SAGE Electrochrome INC, Saint gobain. Quantum glass من خلال تعديل الضغط الواقع على شريحة الزجاج مما يؤدى إلى امكانية التحكم فى تغيير لونه و بالتالى تغيير شدة الضوء و الأشعة فوق البنفسجية و الأشعة تحت الحمراء المنتقله عبره بنسبة ٦٠% **شكل (١٤).** فهو نوع من الزجاج الذكى يمتلك القدرة على التلوين المتغير على أساس صبغة محفزة الكترونيا، و بذلك فهى توفر قدر كبير من الطاقة كما تعمل على خفض تكاليف تبريد و تدفئة المبانى بنسبة تصل ٢٥%.

أى أن هذا الزجاج الديناميكى يسمح بالتحكم الفعال فى الضوء الطبيعى و اكتساب الحرارة مع المحافظة على الاتصال بالمنظر الخارجى، مما يزيد من الراحة و يقلل من استهلاك الطاقة.

يتم ذلك عن طريق نظام تحكم ذكى يستخدم أجهزة استشعار تقوم بالإظلال (Tinting) تلقائيا حسب شدة الإضاءة. كما يمكن أيضا التحكم عن بعد عن طريق جهاز تحكم أو هاتف محمول.

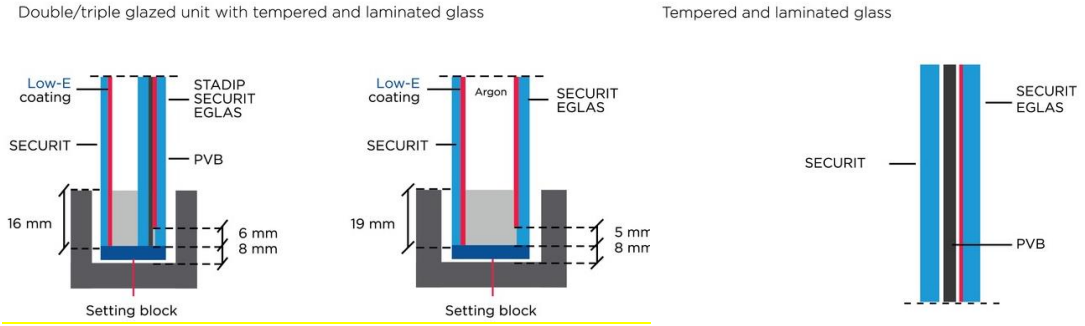
شكل (١٤) يوضح ترتيب الأجزاء المزدوجة المتلونة كهربائيا بوحدات SageGlass و تأثيرها داخليا.

١/٢-١-ب:PRIVA-LITE : و يعتبر حل فريد فى التحكم فى الفراغ من خلال التحكم الفورى فى التزجيج(Glazing) . فهو زجاج نشط يعمل كهربيا دون تغيير نفاذية الضوء. و تكمن فائدته الرئيسية تحديدا فى الحصول على الخصوصية مع الحفاظ على قدر من الضوء الطبيعى. كما يوفر إمكانية إجراء إسقاطات ديناميكية لمقاطع فيديو أو الصور، مما يجعل الواجهة بمثابة شاشة كبيرة **شكل (١٥).**



شكل (١٥) تركيب Priva-Lite فى حالة تشغيله و ايقافه.

١/٢-١-ج: الزجاج الجاذب للحرارة للداخل EGLAS Laminated Glass : و هو حل متكامل للتدفئة الغير مرئية، مما يوفر الكثير من الراحة البصرية منها و الحرارية. تم تطويره فى فنلندا عام ١٩٨٦م، و هو مخصص للمناطق الأكثر برودة. و تستند فكرة عمله على عاملين: التيار الكهربائى و طبقة من أكاسيد المعادن، يتم تطبيقها على سطح واحد من الزجاج. اعتمادا على نوع الهيكل الزجاجى، فيقوم برفع درجة الحرارة داخليا كما يمكنه منع ظاهرة التكثف و ذوبان الجليد **شكل (١٦)**.

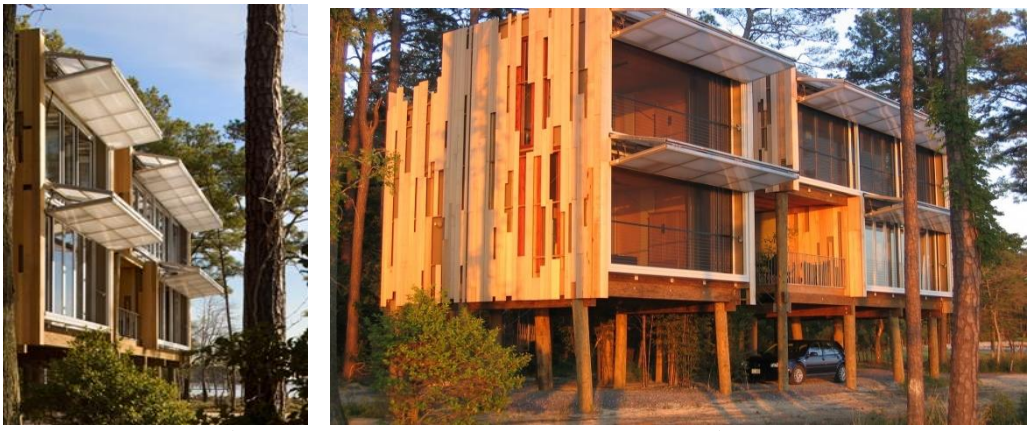


شكل (١٦) الزجاج متعدد الطبقات الجاذب للحرارة EGLAS Laminated Glass .

١/٢-١-د: الزجاج ذاتى التنظيف: و هو زجاج معالج بطبقة شفافة من المواد المعدنية الماصة للماء Hydrophilic و المحفزة للضوء Photocatalytic خلال عملية التصنيع، و ذلك لتمكين الزجاج من استخدام قوة الأشعة فوق البنفسجية من ضوء الشمس و الأمطارللسيطرة على الأوساخ و منعها من التراكم خارج النوافذ، فالتعرض للأشعة فوق البنفسجية يؤدى إلى تحلل الأوساخ العضوية و يجعل من سطح هذا النوع من الزجاج ماص للماء Hydrophilic، فالماء يشكل طبقة طاردة للأوساخ العضوية و المعدنية. و يتميز هذا النوع من الزجاج بسهولة الصيانة، و تقليل التكلفة الخاصة بالرافعات و السقالات اللازمة للصيانة و التنظيف خاصة فى المبانى شاهقة الارتفاع.

١/٢-١-هـ: أنظمة الواجهات خفيفة الوزنLightweight Façade System:

و هو من الأنظمة التى تساعد على توفير مقاومة حرارية بالإضافة إلى درجة عالية من الشفافية. فقد طورت شركة Kieran Timberlake استراتيجية لتحقيق أداء عالى فى أنظمة الواجهات من خلال ثلاثة مشاريع هم قاعة Melvin J و Claire Levine فى جامعة بنسلفانيا فى فيلادلفيا، و منزل لقضاء العطلات فى جزيرة تايلور The Loblolly House **شكل (١٧)**، و معرض النحت فى جامعة Yale فى نيوهافن. ففى كل مشروع منهم اعتمد المعماريون زجاج مكون من طبقتين Double-Glazed Curtain wall يعمل على التدفئة و التهوية و تكييف الهواء. كما يتم الحفاظ على الجدار الزجاجى الداخلى بدرجة حرارة الغرفة، مما يقلل من فقدان الحرارة الإشعاعى، و يبقى الجزء الداخلى أكثر راحة.



شكل (١٧) واجهة منزل The Loblolly House بنظام الواجات خفيفة الوزن.

أما عن واجهة منزل The Loblolly House 2006 فقد صممت ذات طبقة مزدوجة لتناسب الأجواء السكنية، و ذلك عن طريق شريحتين من النوافذ القابلة للطى بعرض ١٨ بوصة لخلق مساحة مظللة من الجزء العلوى و ذات نفاذية فى الجزء السفلى. و تتكون الطبقة الخارجية للواجهة المزدوجة من نوافذ شفافة من البولى كربونات تتحرك أفقيا. أما الطبقة الداخلية فهى عبارة عن نوافذ زجاجية قابلة للطى عموديا. فبذلك تتيح الاختلافات بين الطبقة الداخلية و الخارجية ثلاثة تكوينات مميزة بالنسبة للآداء الحرارى و هى كالأتى:

1- يمكن فتح كل من الطبقتين أو غلقهما كليا مما يسمح بدخول الهواء كليا حسب الحاجة.
2- يمكن إغلاق الطبقة الداخلية مع طى الطبقة الخارجية للأعلى فتعمل كمظلة شمسية.
3- يمكن غلق كلا الطبقتين, حيث يتم تسخين الهواء بالداخل فى وجود الشمس و عمل ما يطلق عليه البطانية الحرارية Thermal Blanket.

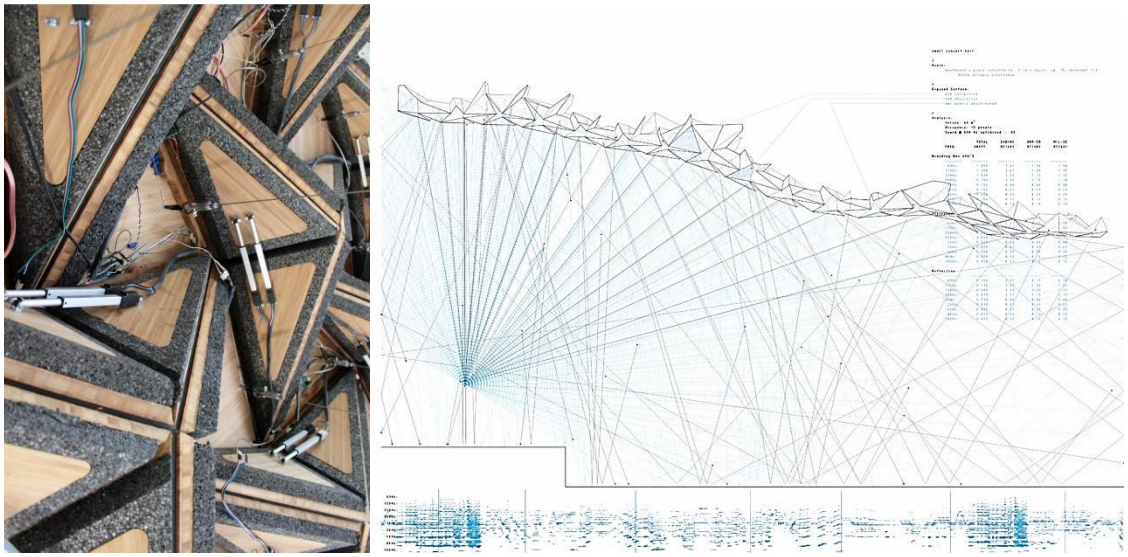
٢-١/٢: نظام الأظرف الداخلية للحوائط و الأسقف/غرفة الرنين/An Interior :Resonant chamber rvtr envelope System:

وهو نظام يحول البيئة الصوتية Acoustic environment من خلال التقنيات الديناميكية و المادية و الكهربائية، فالهدف منه تطوير مجال صوتى قادر على تعديل خصائصه استجابة للظروف الصوتية المتغيرة، و ابتكار أداة مرنة لتغيير صوت الفراغ الداخلى خلال صدوره.

تم ابتكارها و تمويلها من قبل مكتب U-M Making Grant عام ٢٠١١، و قد تم تطوير المشروع و اختباره حسابيا Computational و ديناميكيا فى الواقع Dynamic Surface Geometries من حيث المواد التطبيقية و الكفاءة الأدائية و الاستجابة المتغيرة.

يتكون السطح الصوتى ذو الأوجه من مجموعة مركبة من الألواح العاكسة و الامتصاصية و الكهربائية، تتجمع حول لوحة إلكترونية تحتوى على عناصر تحكم للتشغيل الخطى، و التضخيم الصوتى لمكبرات الصوت الموزعة بداخله بنظام تشغيل DML و مجموعة من مدخلات الاستشعار. فقد تحتوى لوحة إلكترونية واحدة على معالجة كافية للتحكم فى أربعة مكبرات صوت DML، و مستشعرات للضغط الصوتى و ثلاث مجموعات من المحركات الخطية التى بدورها تتحكم فى ثلاث خلايا مسطحة قابلة للطى **شكل (١٨)**.

تم تصميم الهيئة و التكوين الهندسى لغرف الرنين بشكل تنبؤى بواسطةRhinoceros 4.0 و Grasshopper و إضافة Kangaro لمحاكاة العلاقة المادية بين القمم Vertices و القوى التطبيقية، و بذلك سمحت المحاكاة بمعرفة كيفية ترتيب الألواح بالوضع الأمثل من حيث الاختلافات الصوتية بناءا على قيود الإدخال مثل (وقت الصدى، معامل الامتصاص، التضخيم الاتجاهى، الاستجابة الصوتية المبكرة/ المتأخرة). فيمكن لنظام التشغيل DML ترجمة النمذجة التنبؤية إلى أطوال محسنة محسوبة للإزاحة للتشغيل داخل النموذج الرقمى إلى إشارات PWM التى تعمل على تشغيل مكونات النظام الحركية و وضع سطحه المغطى بالفسيفساء **شكل (١٩)**.



شكل(١٨) محاكاة الألواح العاكسة و الامتصاصية و الكهربائية من خلال برامج الحوسبة الرقمية, تتجمع حول لوحة إلكترونية بنظام تشغيل DML و مجموعة من مدخلات الاستشعار و مكبرات للصوت.

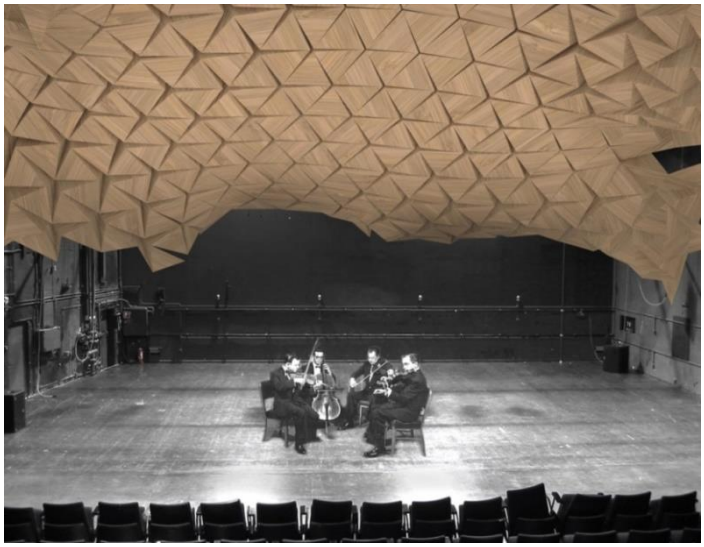
كما تسمح الأسطح القابلة للطى (الأوريغامى) بتغيير خصائص السطح المكشوف بعدد تنبؤى DOF. فتتم ترجمة هذه الخلايا القابلة للطى بشكل هندسى بواسطة المشغلات الخطية المركبة بالتوازى مع الجزء العلوى من اللوحة. و يتم التحكم فى المحركات الخطية من خلال إشارة PMW للتحكم فى زاوية الطى مما ينتج عنه نسبة محددة من السطح المكشوف. يوفر هذا النهج القدرة على تعديل الشكل الجمالى مع التلاعب فى نفس الوقت بالصوتيات فى الفراغ.

كما يسمح DOF بتنسيق عدد محدود (مقابل متسلسل Versus serial) من نقاط التشغيل عبر السطح، مما يؤدى إلى تحويلات مخصصة استنادا إلى معايير الإدخال لتحسين الأداء الصوتى.

شكل (١٩) التكوين الأوريغامى المثقب لغرف الرنين ذات السطح المغطى بالفسيفساء و ترتيب الألواح بالوضع الأمثل.

تم تطوير الأنواع الثلاثة (العاكسة و الامتصاصية و الكهربائية) بواسطة محاكاة صوتية رقمية قائمة على مواد (خامات) مختلفة لتحديد الهندسة و الخصائص المثالية و علاقتها بالأداء الصوتى عند دمجها فى التكوينات الهندسية المقترحة. كما

تضيف هذه الألواح Solid panels للإطار الصلب و المثبتة على الغشاء الداخلى كثافة ١٢٠ بسكال ($pa(N/m^2)$ و هى بمثابة كثافة مثالية للانعكاسات الصوتية. مما يسمح بتحديد سمك اللوحة بالنسبة لخصائص المادة المستخدمة بسمك ٩،٥ مم. و تعد الألواح الصوتية المسامية المصنوعة من البولى بروبلين (PEPP) ذات معامل الامتصاص الصوتى المطلوب لتأثيرات التخميد الصوتى، كما تسمح بتشكيل التكوينات الهندسية (الأوريغامى) القابلة للطى، كما يتم تشكيلها مثقبة مما يتيح تعريضا للضوء بنسبة ٢٥% على الأقل مع وضع الحد الأمثل من معامل تقليل الضوضاء. كما تسمح هذه التقنية الكهروإجهادية Piezoelectric بإخراج الصوت من خلال لوحات الوجه نفسها عن طريق إدخال اهتزازات من خلال جهاز تحفيز صوتى كهربائى. و على الرغم من وجود سوابق فى التحكم فى الاستجابة المتأخرة للغرفة من خلال استخدام أنظمة للتحكم فى ارتفاع أو اتجاه عاكس السقف Ceiling reflector **شكل (٢٠)**، فإن استخدام نظام للتحكم فى انحناء جبهة الموجة, المستوى، و وقت وصول الانعكاسات المبكرة لم يسبق له مثيل فى البحث الصوتى و الاستكشافات الآلية robotic architecture.

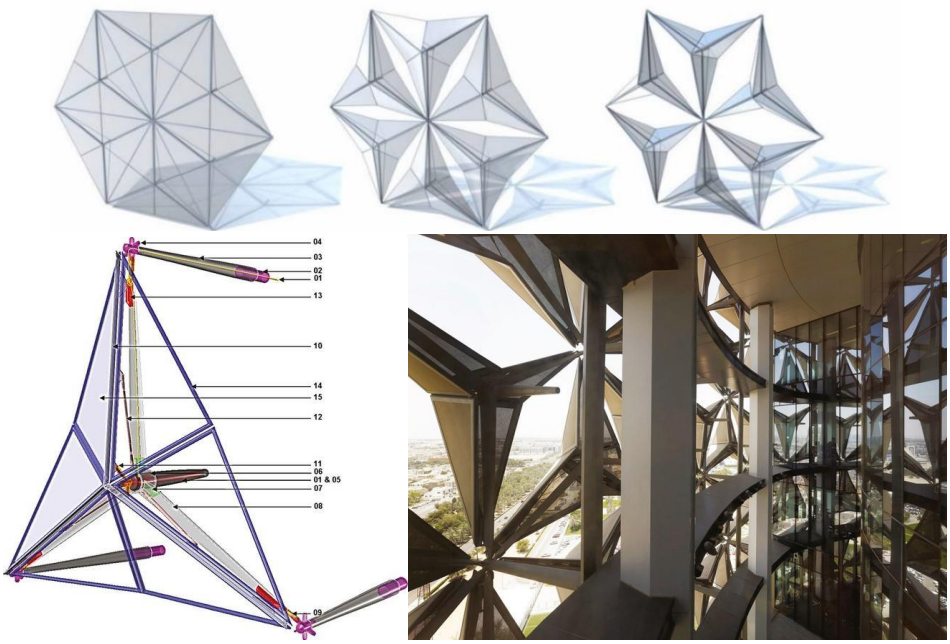


شكل (٢٠) استخدام غرف الرنين للتحكم فى ارتفاع أو اتجاه عاكس السقف و انحناء الموجة، و وقت الانعكاسات.

٣-١/٢: أنظمة الواجهات المرنة المضادة للوهج الشمسى:

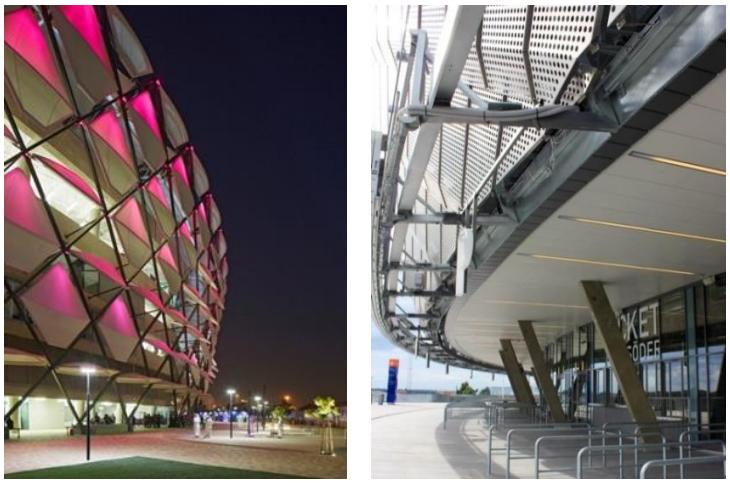
حيث تعمل كحائط ستارى، على بعد قد يصل إلى حوالى ٢ متر من خارج المبنى مثبته على إطار مستقل. و تكون على هيئة مثلثات مطلية بالفيبرجلاس و مزودة بحساسات رقمية مبرمجة للاستجابة لحركة الشمس كوسيلة لتقليل الكسب و التوهج الشمسى. و عند غياب الشمس يتم إغلاقها (طويها) تلقائيا **شكل (٢١)**.

فعند شروق الشمس تبدأ بالإغلاق على طول الواجهة الشرقية و كلما تحركت الشمس حول المبنى تحرك معها القطاع العمودى بأكمله. و بذلك يمكنها تقليل الوهج الشمسى لأكثر من ٥٠% و التقليل من حاجة المبنى إلى تكييف الهواء داخليا و بذلك يتم توفير قدر كبير من الطاقة و تقليل الحاجة للضوء الاصطناعى، كما تسمح بفلترة الظل و الضوء مما يجعل المعمارى و المصمم الداخلى أكثر انتقائية فى تشطيب زجاج الواجهة مما يتيح استخدام زجاج ملون (مظلل) بشكل طبيعى Naturally tinted glass.



شكل (٢١) الواجهة المرنة المضادة للوهج الشمسى على بعد من خارج المبنى مثبته على إطار مستقل.

و تعد واجهة أبراج البحرAl Bahar Towers Facade و استاد هزاع بن زايد Hazza Bin Zayed Stadium بأبو ظبى أفضل مثال للواجهات المرنة المضادة للوهج الشمسى **شكل (٢٢)**، و سنقوم بتحليل أبراج البحر بشكل أكثر تفصيلا فى الباب الثالث.



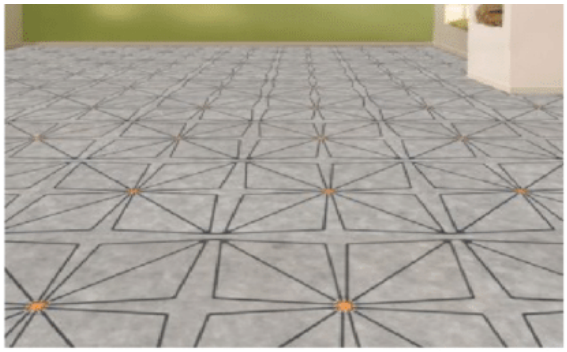
شكل (٢٢) واجهة استاد هزاع بن زايد المرنة المضادة للوهج الشمسى على بعد من المبنى مثبته على إطار مستقل.

شكل (٢٣) واجهة أبراج البحر بأبو ظبى المرنة المضادة للوهج الشمسى .

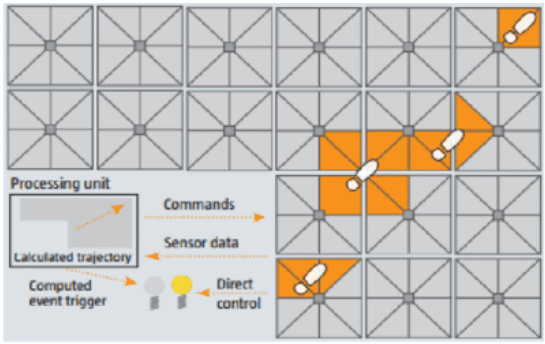
٢/٢: الأرضيات: شهدت الأرضيات الداخلية تطورا ملحوظا نتيجة للتقدم التكنولوجى الرقمى، فلم تعد مجرد سطح أفقى ساكن، بل تحولت إلى سطح نشط تفاعلى فمنها الذكية و التفاعلية.

١-٢/٢: الأرضيات الذكية Sens-Floor:

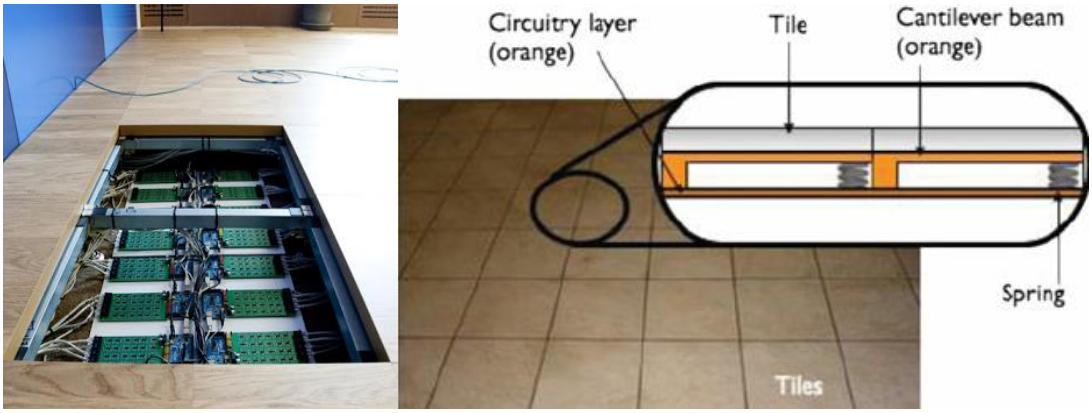
نتيجة اتصال عناصر التصميم الداخلى بالبرمجة الرقمية, قامت شركة Future Shape GmPH الألمانية بتطوير تقنية مبتكرة و هى Sens-Floor، و هى عبارة عن طبقة من أجهزة استشعار تراقب حركة الإنسان و يمكن تثبيتها تحت أى نوع من الأرضيات. و تقوم فكرة عمله عن طريق إرسال شحنة كهربائية صغيرة من خلال نسيج موصل Conductive Fabric يحتوى على لوحات استشعار مدمجة، فعندما يمشى الشخص فوق أجهزة الاستشعار، يحدث تغيير طفيف فى سعة الشحن إلى تشغيل النظام. و قد استخدمت تطبيقات هذا النظام فى تأمين المنازل و مراقبة الأطفال و كبار السن و تفعيل أضواء الغرف أوتوماتيكيا **شكل (٢٤)**.



(a) The sensing floor of Future Shape.

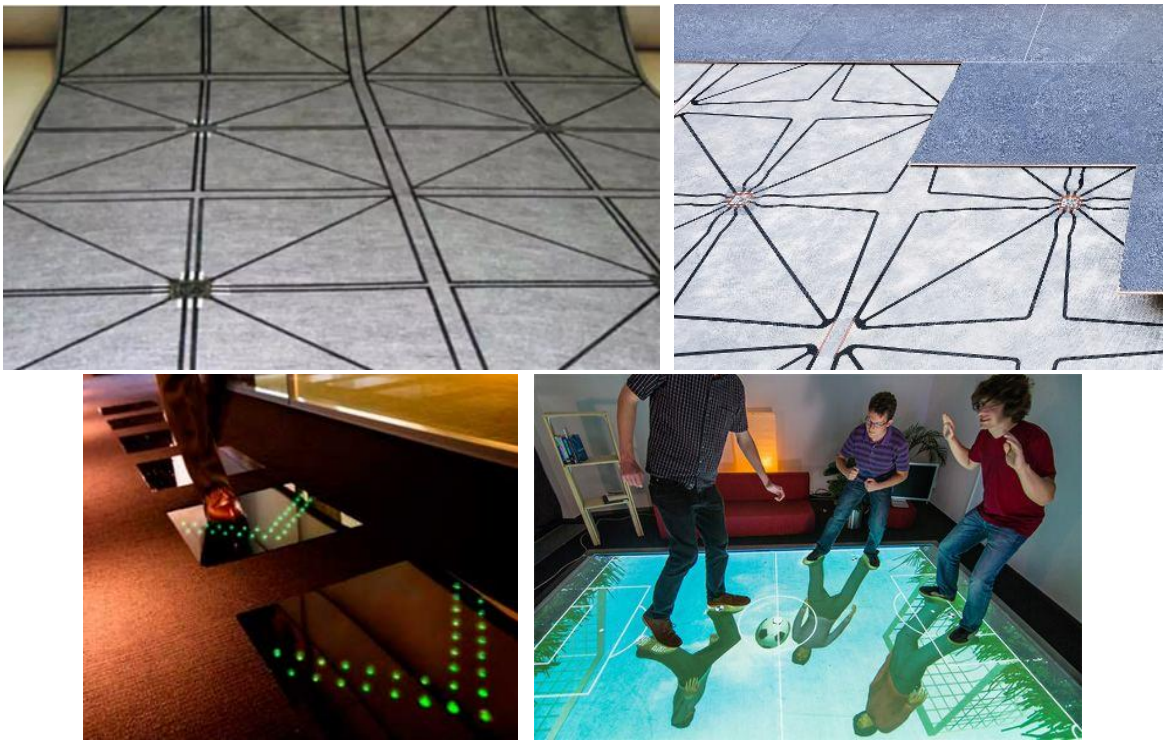


(b) The footsteps trigger sensor events, which are sent wirelessly to the processing unit for evaluation.



شكل (٢٤) الأرضيات الذكية Sens-Floor،عبارة عن طبقة من أجهزة تثبت تحت البلاطات. عن طريق إرسال شحنة كهربائية صغيرة من خلال نسيج ذو لوحات استشعار مدمجة تلقائيا مع خطوات الأقدام.

فعلى سبيل المثال، يمكن لهذة الأرضيات اكتشاف شخص معين (من خلال الوزن و حجم القدم و ما إلى ذلك)، فتقوم تلقائيا بضبط الإضاءة و الأصوات و الروائح تلقائيا حسب تفضيلات هذا الشخص المبرمجة على نظام التشغيل **شكل (٢٥)**. كما يمكن استخدام تلك الأرضيات فى الجوامع و دور العبادة و ضبطها تلقائيا لرفع الآذان و الشعائر الدينية المختلفة.



شكل (٢٥) طريقة وضع الأرضيات الذكية Sens-Floor تحت البلاطات التقليدية و تقوم بالتفاعل تلقائيا.

٢-٢/٢: الأرضيات التفاعلية Interactive Floor:

يعد الهدف الرئيسى من تلك الأرضيات هو التفاعل المباشر بينها و بين الإنسان من خلال الضغط عليها، فقد قامت وزارة التربية و التعليم الدنماركية بالاستفادة من تلك التكنولوجيا المتقدمة من خلال إدراج العديد من الألعاب التعليمية و التى يمكن تصميمها بقياسات متنوعة، مما عمل على دعم التعليم الرقمى التفاعلى بين الطلاب و المعلمين.

٣/٢: الأسقف: لعبت الأنظمة الذكية دورا مهما فى تطوير الفكر التصميمى للأسقف، سواء من ناحية الشكل أو الوظيفة، حيث اعتمدت الفكرة الأساسية فى تصميمات الأسقف على تحقيق استجابة ذاتية منظمة لقابلية فتح أو غلق السقف كليا أو جزئيا من خلال الأنظمة الحركية، تبعا للمؤثرات المناخية مما يعمل على تحقيق الأهداف البيئية مثل التهوية الطبيعية و الاستفادة المثلى من الإضاءة الطبيعية, و فيما يلى سنعرض بعض النماذج التى اعتمدت على استخدام تلك الأنظمة.

بعض التطبيقات المتقدمة لأنظمة الحركة فى تصميم الأسقف:

تعتمد على تفاعل نظم التحكم الأوتوماتيكى و الميكانيكى من أجل الوصول إلى تصميم مرن قادر على توفير البيئة الداخلية الملائمة، و من النماذج التى اعتمدت على هذه الأنظمة.

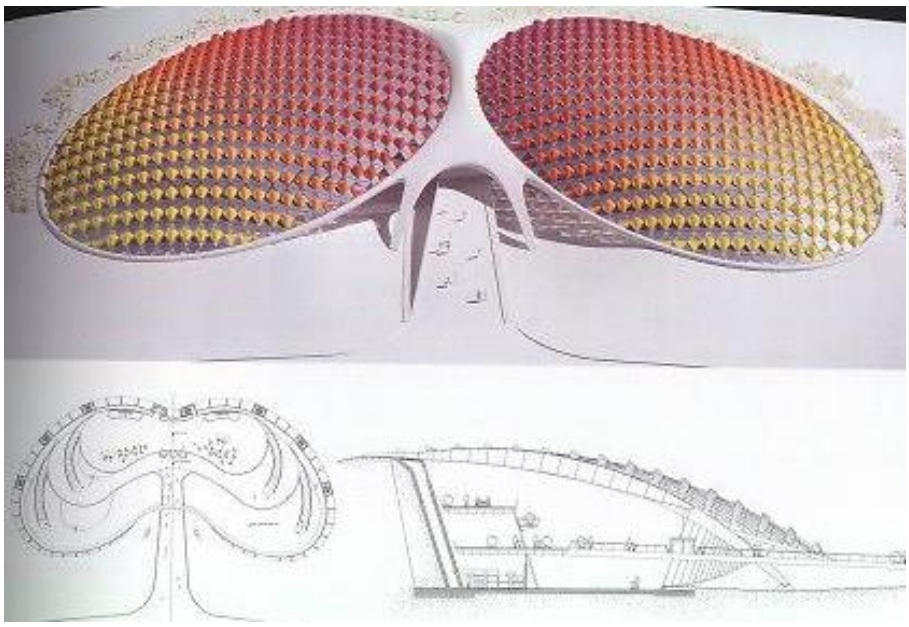
١-٣/٢: استاد أوتا "Oita" باليابان:

تم تصميمه معماريا مستوحى من شكل عين الإنسان، و من أهم ما يميزه السقف المتحرك حيث يتكون من جزئين من الأغشية المرنة ذات الأسطح الكروية، مصنوعة من خامة التيفلون Teflon التى تتميز بتحملها للإجهاد الشديد، و توافر إضاءة طبيعية جيدة، كما انها غير منفذة للماء، و تعتمد أنظمة الحركة على استخدام دلائل حركية من البكر المشدود بكابلات من الصلب و المتصلة بموتور كهربى يعمل بنظام تحكم رقمى، مع أجزاء لامتصاص الصدمات و منع الاهتزازات أثناء الحركة الميكانيكية **شكل (٢٦)**.

شكل (٢٦) استاد أوتا "Oita" باليابان.

٢-٣/٢: أسقف الخلايا الكهروضوئية:

يعد تصميم معرض "The Ark" من تصميم مكتب "Future System" عام ٢٠٠١ م، كأحد التصميمات التى طبقت فكرة أسقف الخلايا الضوئية، فهو عبارة عن صالة عرض كبيرة بمساحة ١٠ آلاف متر مربع تحتوى على عدد من المعارض التى تدور حول مفهوم الاستدامة، فانعكس ذلك الفكر من خلال تصميم المبنى الذى يأخذ الشكل العضوى مع استخدامه لأحدث تكنولوجيات القرن الواحد و العشرين غير الملوثة للبيئة. فنلاحظ سقف المعرض الذى يشبه جلد الإنسان، فهو عبارة عن بانوهات تحوى العديد من الخلايا الكهروضوئية التى تولد الطاقة و التى تسمح للمبنى بالكامل أن يضاء طبيعيا من خلال السقف **شكل (٢٧)**.



شكل (٢٧) مبنى the Ark و سقفه يتنفس بالمئات من الخلايا الضوئية.

نتائج البحث:

١- أثرت التكنولوجيا و البرمجة الرقمية بشكل كبير على العملية التصميمية فى العمارة و التصميم الداخلى منذ بداية العملية التصميمية وصولا لمرحلة التنفيذ.

٢- للحوسبة و البرمجة الرقمية دورا هاما فى دقة و سرعة تنفيذ التصميم مما لا يضع حدود أمام ابداع المصمم.

٣- استعراض لبعض الخامات و الأنظمة المعتمدة فى تصميمها وتنفيذها على البرمجة الرقمية و إمكانية تطبيقها فى التصميم المعمارى و الداخلى.

توصيات البحث:

يوصى البحث بضرورة و أهمية اتقان برامج البرمجة الرقمية مثل (Dynamo -Rhino -Maya -3DS Max - Grasshopper- Marionette – Flux)، و الاستفادة منها محليا لانتاج تصميمات مبتكرة و مواكبة للتطور الرقمى و التكنولوجى فى مجال التصميم الداخلى و العمارة.

المراجع

المراجع العربية:

١ فريد، ابتسام: نظرية العمارة ٢، بحث مقدم إلى موقع issuu، ٢٠١٥، ص٢:٣.

1 Farid, Ebtisam, Nazaryat AlEmara 2, Bahs Mokadam ela Mawkea issuu, 2015, P2:3
https://issuu.com/ebtissammohamedfarid/docs/late_modern_architecture

٢ الأرشل، يارا بركات ابراهيم: سمات ابتكارية لتصميم داخلى معاصر من وحى اتجاه البارامترسيزم، رسالة ماجستير، كلية الفنون التطبيقية، جامعة دمياط، مصر، ٢٠١٩، ص ١٣.

2 Al Arshal, Yara Barakat Ebrahim: Semat Ebtkaryah le tasmeem dakhely moaser men wahy Etgah Al parametrcism, Resalat Majester, Kolyat Al fnon Al Tatbekya, Gameat Domyat, Masr, 2019, P13.

٣ أ.د/ حسن، سعيد: أنظمة التصميم التطورى فى العمارة الحديثة، بحث مقدم لمجلة العمارة و الفنون العدد الحادى عشر، مصر، ٢٠١٧، ص٨٢٣.

3 prof. Hassan, Saied: Anzemat Al Tasmeem Al Tatawory fi Al Emara Al Hadesa, Bahs Mokadam Lemagalat Al Emara wa Alfnoon Al adad AlHady Ashr, Egypt, 2017, P823.

٤ أبا الخيل، ابراهيم عبد الله، العمارة البارامترية- عمارة زها حديد و باتريك شوماخر، مجلة البناء، نوفمبر٢٠١٧.

4 Aba Alkayl, Ebrahim Abd Ellah, al Emara al Parametryah-Emarat Zaha Hadid wa Patric Shomakhar, Magalat AlBena, Nov2017.

٥ العرنوس، شيرين السعيد، مدى تأثير التطور الرقمى للتصميم البارامترى على تصميم الوحدات المعمارية الخزفية، ورقة بحثية، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، مصر، ٢٠١٨، ص ٦.

5 Al Arnoos, Shereen Al Saied, Mada Tather Al Tatawr Al Rakamy leltasmeem al Parametry ala tasmeem al wahadat Almemarya al Khazafyah, Warakah Bahsyah,Kolyat Alfnoon Altatbekya, Gameat Helwan, Masr, 2018, P6.

٦ الأرشل، يارا بركات ابراهيم، إشكالية التطبيقات البارامترية كمدخل لاتجاه البارامترسيزم، بحث مقدم للمجلة الدولية، العدد الثالث، مصر، ٢٠١٨، ص ٦٣ بتصرف.

6 Al Arsal, Yara Barakat Ebrahim, Eshkalyat Al Tatbekat Al Parametryah Kamadkhal Letegah Al Parametricism, Bahs Mokadam Le Magalet al Emara w al Fenoun w al Elom al Insania, Al adad Al Thalith, Masr, 2018, P63 Betasarof.

٧ قورة، شيماء عاطف محمد عبد السلام، التوافق الوظيفى بين التصميم الداخلى و العمارة المعاصرة، رسالة ماجستير، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، مصر،٢٠١٥، ص ٢٤٠:٢٤١ بتصرف.

7 Kora, Shaymaa Atif Mohamed Abd ElSalam, al Tawafok Alwazefy Bayn al Tasmeem al Dakhly w al Emara almoaserah, Resalat Majestair, Kolyat Alfnoon Altatbekyah, Gameat Helwan, Masr, 2015, P 240:241 betasarof.

٨ اسماعيل، علا محمد سمير، العمارة الذكية و أثرها على التصميم الداخلى و الخارجى، رسالة دكتوراه، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، مصر، ٢٠٠٦، ص ٢٠٠.

8 Esmael, Ola Mohamed Samier, Al Emara Al zakyah wa atharha ala altasmeem Al Dakhly wa Alkhargy, Resalat Doctorah, Kolyat Alfnoon Altatbekyah, Gameat Helwan, Masr, 2006, P200.

٩ الهوارى، سارة محمد عبد المقصود، التكنولوجيا المتقدمة و العمارة الرقمية الحيوية و أثرهما على التصميم الداخلى للحيز الإدارى بالفندق، رسالة ماجستير، كلية الفنون التطبيقية، جامعة ٦ أكتوبر، مصر، ٢٠١٦، ص٢٣٦.

9 Al Hawary, Sara Mohamed Abd Elmaksood, al Tochnologyah al Motakademah wa alemarah alrakamyah alhayawyah wa atharhma ala altasmeem al dakhly lelhayz al Edary belfondok, Resalat Majestair, Kolyat alfnoon altatbekyah, Gameat 6 october, Masr, 2016, P 236.

المراجع الأجنبية:

10 Jeffries, Paul, What is Computational Design, Translated by Eman Amr. Ramboll Blog, 1 Des,2016. https://blog.ramboll.com/rcd/articles/what-is-computational-design.html

11 Kilkelly, Michael, 5 ways Computational Design will change the way you work, Translated by Eman Amr, Arch Daily, 15 Apr,2016.
https://www.archdaily.com/785602/5-ways-computational-design-will-change-the-way-you-work

12 Jabi, Wassim, Parametric design for Architecture. London, Laurence King Publishing, 2013, Page 11.

13 Annette W, LeCuyer, Steel and Beyond, Birkhauser Verlag AG, 2003,Page 5.
https://www.livescience.com/38862-selective-laser-sintering.html3

14 Souza, Eduardo, Smart Facades: Building that Adapt to the Climate Through their Skin, ArchDaily, Translated by Eman Amr, 2019.
https://www.archdaily.com/922537/smart-facades-buildings-that-adapt-to-the-climate-through-their-skin

15 Compagno, Andrea, Energy- Optimised construction with smart facades, GEZE Website, Translated by Eman Amr, 2012.
https://www.geze.com/en/discover/topics/smart-facade

16 Gerfen, Katie, Lightweight Façade Systems, Architect A Journal, Translated by Eman Amr, 2007.
https://www.architectmagazine.com/awards/r-d-awards/lightweight-facade-systems_o

17 Furuto, Alison, Resonant Chamber/ rvtr, Archdaily, Translated by Eman Amr, 2012. https://www.archdaily.com/227233/resonant-chamber-rvtr

18 Karanouh, Abdulmajid & Kerber, Ethan, Innovation in dynamic architecture, IOS Press Content Library. Translated by Eman Amr, 2015. https://content.iospress.com/articles/journal-of-facade-design-and-engineering/fde0040

19 Byod, Drew, Innovation Sighting- Smart Floors. Innovation Excellence, 2017.
https://innovationexcellence.com/blog/2009/11/13/innovation-sighting-smart-floors/