مبادئ العمارة المرنة كوسيلة لتعزيز الصور البنائية لأنظمة الإنشاء المعدني الخفيف

The Principles of Flexible Architecture as a mean for Enhancing Structural Forms of Lightweight Metal Buildings System

أ. د/ أحمد حامد مصطفى

الاستاذ بقسم تصميم الأثاث والإنشاءات المعدنية - كلية الفنون التطبيقية جامعة حلوان

Prof. Ahmed Hamed Mostafa

Department of metal furniture and constructions, Faculty of Applied Arts, Helwan University, Cairo, Egypt.

Drahmed1394@yahoo.com

م. د/ هاني فوزي أبو العزم

المدرس بقسم التعليم الصناعي - كلية التربية جامعة حلوان

Dr. Hany Fawzy Abu Alazm

Department of Industrial Education - Faculty of Education - Helwan University

hanyabualazm14@gmail.com

الملخص

مع تسارع التطورات في مجالي تقنيات البناء واستحداث المواد، وفي ظل كثير من التحديات الاقتصادية والبيئية والمجتمعية التي تحيط بنا، فقد طرأت متغيرات عدة على أساليب التصميم والتجميع والإنشاء؛ بحثا عن تحقيق نتائج متفردة لمقابلة المتطلبات المتزايدة للمستخدمين، وتلاحقت الدراسات التي تنادي بأهمية التوجه نحو تطبيقات العمارة المرنة، بما يساعد في الإستجابة للتحديات المتلاحقة والمتشابكة في المجتمعات الديناميكية، ويقدم رؤى تصميمية مبتكرة يتم تشكيلها حسب طبيعة الموقف لدمج متطلبات الحاضر مع التغييرات المحتملة في المستقبل، بهدف جعلة أكثر مرونة وتكيفاً وكفاءة.

ومن ثم تكمن **مشكلة البحث** في الحاجة إلى الية لتوظيف مبادئ العمارة المرنة لتعزيز الصور البنائية لأنظمة الإنشاء المعدني الخفيف؛ لتكون اكثر تكيفا مع التغييرات الوظيفية والبيئية المحتملة، بما يسمح بعمل تعديلات مستقبلية تتوافق مع إحتياجات ورغبات مستخدميها. وعليه تنطلق مبررات البحث في ضوء الاستفسارات التالية: ماهي العمارة المرنة؟ وكيف يمكن الإستفادة من مبادئها في تعزيز الصور البنائية لأنظمة الإنشاء المعدني الخفيف؟ وكيف سينعكس ذلك على تطبيقات تلك النظم في المستقبل؟ و**يهدف البحث** إلى إلقاء الضوء على العمارة المرنة باعتبارها أحد الأتجاهات الحديثة المتوقع ان تحتل مكانة مهمة في عمارة المستقبل، وفي ذات الوقت الإستفادة من دراسة مبادئها وتحليل بعض تطبيقاتها لتعزيز الصور البنائية لأنظمة الإنشاء المعدني الخفيف. ومن المنتظر تحقيق هذا الهدف إنطلاقاً من **فرضية بحثية** مفادها: أن العمارة المرنة تتضمن سمات ومبادئ يمكن الإستفادة بهما في تعزيز الصور البنائية لأنظمة الإنشاء المعدني الخفيف، ويساهم في ترسيخها وانتشارها. وقد تم انجاز هدف البحث وفقاً **لمنهج وصفي تحليلي** يرتكز بدورة علي **عدة محاور**: أولها مدخل حول المرونة في العمارة والإنشاءات الخفيفة؛ وثانيها دراسة تحليلة لبعض تطبيقات العمارة المرنة، وثالثها المرونة وتعزيز الصور البنائية لنظم الإنشاء الخفيف، وقد أختتم البحث بعرض ومناقشة بعض **النتائج** ذات الصلة.

كلمات مفتاحية:

العمارة المرنة، قابلية التحول، قابلية التكيف، الإنشاء الخفيف، سبق التجهيز، المرونة الانشائية

The Abstract

Due to developments in construction and material techniques, as well as the economic, environmental and societal challenges that surrounding us; many changes have occurred in the design and construction methods, to achieving unique results to meet an increasing requirement of users. Many studies were recommended for the importance of moving towards the principles and applications of flexible architecture. This will help in responding to the successive and intertwining challenges in dynamic societies. At the same time, it will provide creative design insights, in which the requirements of the present are combined with the potential changes in the future, with the aim of making them more adaptive and efficient.

The problem of research lies in the need to utilize the principles of flexible architecture in enhancing the structural forms of lightweight metal building systems. This will make them more adaptive to potential functional and environmental changes, and allow future adjustments to be made that are compatible with the needs and desires of their users. Accordingly, the research questions include the following: What is flexible architecture? How can its principles be used to enhance the structural forms of lightweight metal building systems? And how will this be reflected in the applications of these systems in the future? Accordingly, the research aims to shed light on flexible architecture, as one of the trends expected to occupy an important place in future architecture. At the same time, benefit from studying its principles and analyzing some of its applications to enhance the structural forms of lightweight metal building systems. It is expected to achieve this aim based on a research hypothesis that: Flexible architecture includes features and principles that can be used to enhance the structural forms of lightweight metal building systems, and contribute to their spread. The aim of the research was accomplished according to a descriptive and analytical approach. Finally the research was concluded by discussing some of the related findings.

Keywords

Flexible architecture, adaptability, transposition, Mobility, Lightweight Metal Buildings, pre-fabrication, structural flexibility

مقدمة البحث:

مع تسارع التطورات المتلاحقة في مجال تقنيات البناء وتخليق المواد، وفي ظل كثير من التحديات الاقتصادية والبيئية والمجتمعية التي تحيط بنا، فقد طرأت متغيرات عديدة على أساليب التصميم والتجميع والإنشاء بحثا عن تحقيق نتائج متفردة لمقابلة المتطلبات المتزايدة للمستخدمين، وتعددت الدراسات التي تنادي بأهمية التوجه نحو العمارة المرنة وتطبيقاتها، بما يساعد في الإستجابة للتحديات المتلاحقة في المجتمعات الديناميكية.

وبشكل مبسط يُعرف هذا النمط من العمارة وفقا لـ **أنس Anas** م.١٤ص٥١٠بأنها "العمارة التي تؤمن بالإستجابة للتغيير بدلاً من البقاء في وضع الخمول"أو هي كما عرّفها **كرونبورغ Kronenburg** م.٩ص٢٤ "البنية المرنة التي تكتمل بمجرد أن يسكنها الناس ويستخدمونها، وتهدف إلى احتضان التغييرات والتحديات في العالم الديناميكي الحديث، وتتطلب تصميمًا يتم تشكيله حسب طبيعة الموقف لدمج متطلبات الحاضر مع التغييرات المحتملة في المستقبل". كما أنها نمط من العمارة يرتبط بديناميكية المجتمع وثقافته؛ حيث رات **أشاريا Acharya** م.٩ص٨٠ " ان العمارة المرنة هي التي تعكس باستمرار الطريقة التي ندرك بها إمكانيات وقواعد الحياة وتعيد هيكلتها، بهدف تلبية إحتياجات العصر الحالي، وانها تدفع بتحول العمارة إلى منتج ثقافي أكثر كفاءة واستدامة لمجتمع ديناميكي"

ومن ثم فقد زاد اهتمام المصممين في العديد من البلدان؛ بمبادئ العمارة المرنة وتطبيقاتها، وسعوا إلى الإستفادة من خصائصها الفريدة؛ والتي منها: الخفة، الطي، سرعة التركيب، سهولة التنقل، إمكانية التوسع والإمتداد، التكيف مع الوظائف والانشطة المحدودة، توفر حلول أكثر حداثة وخصوصية، قابلية للفك والتركيب والنمو، الديناميكية، التصنيع تحت رقابة، التجهيز المسبق والدقيق، التركيب باقل قدر من المهارة، الاستخدام متعدد الأغراض. تلك الخصائص وغيرها هي التي تجعلها تلبي المطالب المتزايدة للمجتمعات الديناميكية، وتضمن لها في ذات الوقت احتلال مكانة مهمة في عمارة المستقبل. وعليه، تسعى الدراسة إلى تسليط الضوء على هذا النمط من العمارة، بهدف الإستفادة من دراسة مبادئها وتحليل بعض تطبيقاتها لتعزيز الصور البنائية لأنظمة الإنشاء المعدني الخفيف.

مشكلة البحث : تكمن مشكلة البحث في الحاجة إلى توظيف مبادئ العمارة المرنة بهدف تطوير أنظمة الإنشاء المعدني الخفيف لتكون اكثر تكيفا مع التغييرات الوظيفية والبيئية المحتملة، بما يسمح بعمل تعديلات مستقبلية تتوافق مع إحتياجات ورغبات مستخدميها. وعليه تنطلق مبررات البحث في ضوء الاستفسارات التالية: ماهي العمارة المرنة؟ وكيف يمكن الإستفادة من مبادئها في تعزيز الصور البنائية لأنظمة الإنشاء المعدني الخفيف؟ وكيف سينعكس ذلك على تطبيقات تلك النظم في المستقبل؟

هدف البحث: سعياً إلى ترسيخ مبادئ المرونة في نظم الإنشاء المعدني الخفيف، وتعزيزا لقدراتها في التكيف مع وظائف ومتطلبات متغيرة، وبحثا عن وسيلة لتوفير بدئل وخيارات تصميمية ممكنة تسمح بتلبية متطلبات انسانية ووظيفية متغيرة. فإن الهدف من البحث إلقاء الضوء على مبادئ العمارة المرنة وتحليل بعض تطبيقاتها والإستفادة من ذلك في تعزيز الصور البنائية لأنظمة الإنشاء المعدني الخفيف.

المحور الأول: المرونة في العمارة والإنشاءات الخفيفة

"بغض النظر عن كيفية تعريفك للنجاح، يجب أن تكون مرنًا وقويًا وأصيلًا ورشيقًا للوصول إلى هناك" بهذه الكلمة عبّر **كونيل** [م-٢١ص١] عن أهمية المرونة **Flexibility**، ذك المصطلح الذي يعني لغة؛ سهولة التغيير في الشيء لكي يناسب ظروف جديدة [م-٣ص٦٢٠]. وتضم المرونة بمعناها العام وفقا لـ **الهيتي** [م-٢ص١] نمطان: أولهما مرونة تلقائية، تتمثل في إمكانية الإتيان ببدائل فكرية متعددة عند التعامل مع قضية أو موقف ما، وثانيها مرونة تكيفية، تعني القدرة على تغيير الأفكار والأساليب تبعًا لمعطيات لها صفة الصدق والواقعية والموضوعية. ووفقاً لـ **متولي** [م-١ص٤٧] " فإن المرونة بالنسبة لمنتجات ونظم التاثيث والإنشاء المعدني، تعني القدرة على المواءمة مع المتغيرات في البيئة ومتطلبات ومستخدمي هذه المنتجات، وهي من الأهداف الهامة التي يعتمد عليها في بقاء تلك المنتجات واستمرارها".

وحول ذات الإطار عرّف **جرواك Groák** [م-١٩ص٣] المرونة بالقدرة على عمل ترتيبات مادية مختلفة، وان التكيف **Adaptation** هو القدرة على إجراء تعديلات وتغييرات للاستخدامات الاجتماعية المختلفة. وعن أهمية تضمين المرونة في التصميم الهندسي، أكدت **كاردين Cardin** [م-١٣ص٥] على ان ذلك يتم على خمسة مراحل: عند التصميم الأساسي؛ حيث يتم وصف إجراءات الإنشاء، وعند ادراك حالات عدم اليقين حيث توظف إجراءات مناسبة لذلك، وعند إنشاء مفاهيم تصميم الأنظمة المرنة؛ لمعالجة الدوافع الرئيسية لعدم اليقين، وعند استكشاف حيز التصميم، لتحديد شكل التصميم المفضل اعتماداً على خيارات محسنة وتقنيات إحصائية، وأخيراً عند إدارة العمليات في كل المراحل السابقة، حيث يتم ضم كل المعنيين في إنشاء وتصميم وتنفيذ وإدارة المرونة في العمليات.

ورغم أن المرونة صفة بشرية أصيلة، إلا أن كثير من الناس يتوقون أيضًا إلى أن تكون المنشآت التي يستخدمونها أكثر مرونة وقابلية للتكيف. ولصفة المرونة أهمية عند مصمم الأنظمة المعدنية، فالتفكير المرن يعد أحد أنماط التفكير الإبداعي

الذي يتيح للمصمم التحول والانتقال النوعي والسريع باستخدام أكبر عدد ممكن من زوايا الرؤية للأفكار والمواقف والمشكلات، مع القدرة على ايجاد الاحتمالات أو البدائل أو التصورات أو الخيارات الممكنة المؤدية للغرض ورؤيتها والاحاطة بها، وانتقاء الافضل في الوقت الانسب وفي ظل المتطلبات والإمكانات المتاحة. وفي مجال الإنشاء الخفيف يمكن تعريف المرونة بالقدرة على البحث في البدئل والخيارات التصميمية الممكنة التي تهتم باستمرار أداء النظام المستهدف لوظيفتة رغم تغيير الاشتراطات الوظيفية، عن طريق إعادة تشكيله لمقابلة متطلبات جديدة، وتوفير إمكانية التعديل وإعادة التصميم في معالجات بنائية مبتكرة؛ وتوظيف التكنولوجيا لتقديم حلول أكثر حداثة وخصوصية، بهدف تحقيق ملاءمة وتكيف اكبر مع الإحتياجات الأنية والمتطلبات المستقبلية المتوقعه.

1- مفاهيم العمارة المرنة Flexible Architecture

من الناحية التاريخية؛ يُعد والتر **غروبيوس Gropius** واحد من أوائل المصممين الذين دمجوا العمارة بمصطلح المرونة في خمسينيات القرن الماضي، وبعدها تلاحقت البحوث والدراسات في هذا المجال؛ وبخاصة الاستخدام متعدد الأغراض، حيث كان للنزعات الاستهلاكية وتوافر المواد والتقنيات الجديدة، دورًا حيويًا في قبول ذلك على المستوى العالمي. وفي هذا السياق أكد **أنس Anas** م١٤ص٥١٠ على أن التقنيات المتقدمة التي تم اعتمادها في تصميم المباني والهياكل الانشائية والمنتجات اعطت الفرصة لعناصر الفراغ الداخلي: كالأثاث والنوافذ والأبواب، بحيث لا تكون صلبة، ما يسمح بمزيد من الجمال والمرونة في الفراغ". وأضاف أن المباني المرنة **Flexible buildings** تمثل نوعا جديدا من العمارة يرتكز على الاستخدام الكامل للموارد الحالية، وقادر على احتضان التغييرات والتحديات من خلال التوظيف العميق للتقنيات الجديدة. وبهذا المعنى زادت قدرة العمارة المرنة على مواجهة التحديات العالمية والبيئية مثل: الاحتباس الحراري والكثافة السكانية والأحداث الكارثية وغيره، دون إغفال للأعتبار الجمالي.

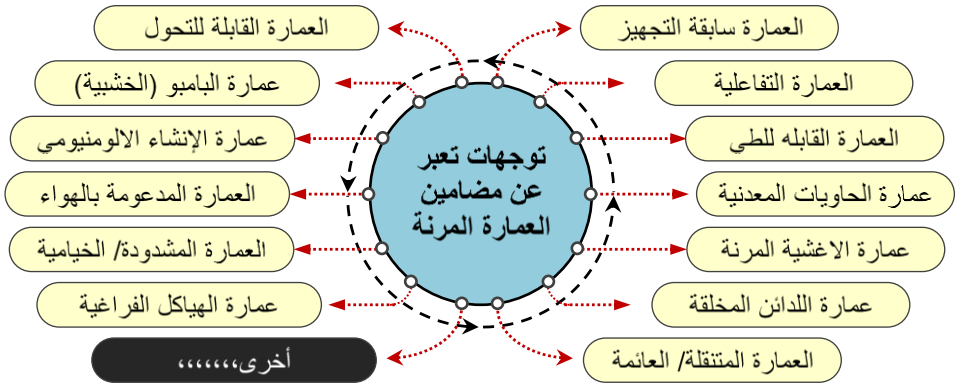
وقد كان للتحول الحضاري المصحوب بالتقدم التكنولوجي، أثر كبير في تحول الحياة البشرية لتكون أكثر مرونة، وحول إنعكاسات تلك التحولات المتسارعة على الشكل المادي للمدينة، أعتبر **أشاريا Acharya** م٩ص٧ "أنة لم يعد من الممكن تعريف الحياة الحديثة على المدى الطويل، وبالتالي لا يمكن احتواؤها ضمن ترتيب ثابت للمنشآت والفراغات الرمزية، ولم تعد المنشآت ترمز إلى ترتيب هرمي ثابت، وإنما أصبحت بمثابة حاويات مرنة للاستخدام من قبل مجتمع ديناميكي". وفي ضوء أن المعايير الرئيسية في تصميم العمارة المرنة تتحدد بناء على طبيعة الوظائف وأنماط الاستخدام ومتطلبات المستخدمين الحالية والآنية، فقد أعتبر **كرونبورغ Kronenburg** م٩ص٢٤ ان العمارة المرنة بمثابة "بنية مرنة تكتمل بمجرد أن يسكنها الناس ويستخدمونها، وأنها تهدف إلى احتضان التغييرات والتحديات في العالم الديناميكي الحديث، وأنها تتطلب تصميمًا يتم تشكيله حسب الموقف لدمج متطلبات الحاضر مع التغييرات المحتملة في المستقبل.

ومن منطلق ان العمارة هي فن ابداع التكوين في بيئة معينة من أجل تكيفها لتلبية إحتياجات مادية وثقافية متعددة للناس، فقد ركّز **جيربيانيس Gierbienis** م١١ص٨ مصطلح المرونة في "قدرة العمارة على التكيف مع الإحتياجات البشرية". في حين أعتبر كيم **Kim** م٢٠ص١٥،١٠٠ المرونة نوعا من الوظيفية **Functionalism** وعرفها بأنها "القدرة على تحقيق تغيير في الظروف دون تغيير النظام، في حين أن التنوع **variability** هو القدرة على الحصول على تغيير في الظروف عن طريق تغيير النظام". وذهب شنايدر وتيل **Schneider and Till** م١٩ص٣ إلى إن المرونة تعني استيعاب التغيير في السكن، وأنها تعالج عددًا من القضايا المتعلقة بالإحتياجات الحالية والمستقبلية للمستخدمين ومن ذلك: تقديم تنوعً في تصميم الوحدات، يشمل قابلية تعديل الوحدات وتكّيفها بمرور الوقت، ويسمح للمنشآت باستيعاب الوظائف الجديدة.

وفي ذات الإطار؛ ذهب **كيم** [م٢٠ص١٥،١٠٠] إلى أن المرونة تعني القدرة على تحقيق تغيير في الظروف دون تغيير النظام، وأنها تقابل التباين **variability** لكونة يعني القدرة على الحصول على تغيير في الظروف عن طريق تغيير النظام. وأضاف أن الفراغ المرن يشير إلى فراغ متعدد الوظائف، وأنه لا يمكن مناقشة المرونة الفراغية **Spatial flexibility** دون النظر في الأداء الوظيفي للفراغ، مستخلصا بذلك أن المرونة تقدم مجموعة من الحلول غير الملاءمة لمشكلة ما. وذهب **آنس Anas** [م١٤ص٢١١] إلى أن البناء المرن **Flexible building** هو معامل تفاضل لمختلف معايير العمارة والمجتمع التي ظهرت لخدمة الإحتياجات والمتطلبات المختلفة للأفراد وللمجتمع وللبلد. وأضاف تشتمل العمارة المرنة على مبدأ في التصميم يستوعب فكرة المرء وخياله للتوسع وفقًا لتوجيهات مجموعة من الأغراض والاستخدام. لقد ألهمت العمارة المرنة المصممين في جميع أنحاء العالم بخصائصها الفريدة من الخفة، والعبور والتطبيق العملي، وإمكانيات النقل، والتصنيع المسبق، والقدرة على التفكيك، والديناميكية، والقدرة على التكيف، والقدرة على نقل الهياكل التي تنمو باستمرار .

وقد أضحت المرونة أحد المصطلحات الحداثية الهامة، وفي هذا الإطار أكد **اشاريا Acharya** [م٩ص٢٣] على خلو مفهوم العمارة المرنة من الحدود؛ كونه يتوافق مع التغييرات سواء في المكان وفي الزمان، أو في الحجم (الشكل) وفي الغرض". وحول تعدد مفاهيم العمارة المرنة وتنوعها من قِبل العديد من الباحثين، علق **هابراكين Habraken** [م١٦ص٢٩٠] قائلا "إن تكريس كتاب لمفهوم المرونة في العمارة أمر يتطلب شجاعة، لأن كلمات مثل القدرة على التكيف **adaptability** والمرونة التكافؤ المتعدد **polyvalence** احيانا تعطي معاني كثيرة ومتداخلة؛ تجعل من المستحيل فعليًا التوصل إلى مفردات مقبولة للجميع". كما أكد **هيرتزبيرجر Hertzberger** [م١٩ص٣٠،٤]على أن المرونة تقترح حلاً بنهاية مفتوحًة **open ended solution**، معتبرا ان مصطلح التكافؤ المتعدد يعني أنه في التصميم المرن لا يوجد حل واحد أفضل من جميع الحلول الآخرى.

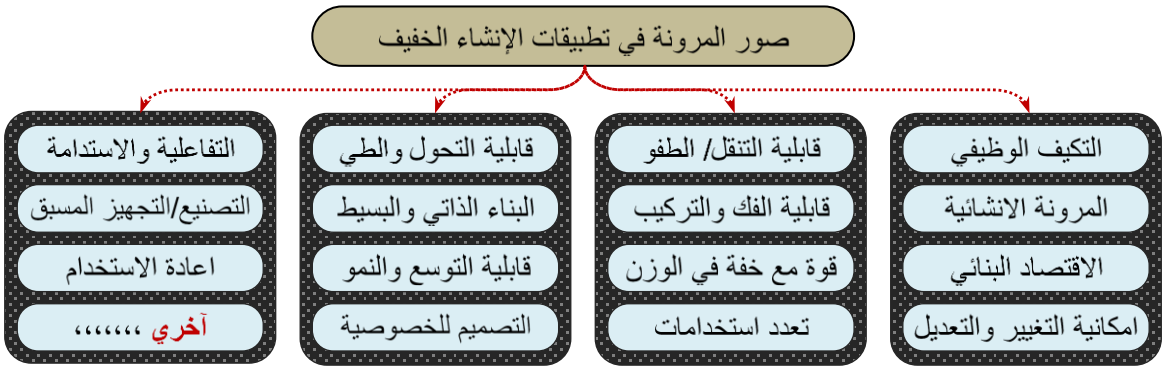
وبناء على ما سبق، يرى الباحثان أن المرونة مصطلح متعدد الدلالات يعبر عن عناصر عدة: الفراغ والهيكل والوظائف والمواد والتقنية..الخ وأن مضمون هذا المصطلح يكمن في القابلية للتعديل والتكيف والتحول والإستجابة والتلاءم، والقدرة على التعامل مع تغييرات محتملة أو متوقعة في زمان ومكان محددين، في ظل قراءات صحيحية ومستبصرة للأعتبارات الاستخدامية والوظيفية والبيئية والتكنولوجية. وان هذا التعريف للمرونة يطرح تساؤلين: ما هي صور تاثير العمارة المرنة على تطبيقات وأنظمة الإنشاء الخفيف؟ وكيف يمكن لمزيد من الدراسات التجريبية ترسيخ مفهوم المرونة والمساهمة في استحداث انماط جديدة لتلك الأنظمة مستقبلا؟ وأن الاجابة على ذلك قد تظهر ملامحة في العديد من صور وتطبيقات الإنشاء الخفيف موضحة بالشكل (١.) على على النحو التالي : (إنشاء تفاعلي، إنشاء سابق التجهيز، إنشاء قابل للطي، إنشاء بالحاويات المعدنية، إنشاء بالاغشية واللدائن، إنشاء متنقل، إنشاء قابل للتحول، إنشاء بالبامبو، إنشاء الومنيومي، إنشاء مدعوم بالهواء، إنشاء خيامي، إنشاء بالشبكات الفراغية..الخ).



شكل (٠١) توجهات تعبر عن مضامين أساسية للعمارة المرنة (اعداد الباحثان)

2- مبادئ رئيسية في العمارة المرنة Principles of Flexible Architecture

هناك ضرورة لدمج مبادئ المرونة في العمارة، وفي هذا الإطار أعتبر **بنيامين Benjamin** [٩ص٢٣] "إن العالم الخارجي يؤثر علينا اليوم بأكثر الطرق كثافة وتباينًا، ولهذا فإن طريقة حياتنا ستتغير بسرعة أكبر من الأوقات السابقة، وأن محيطنا سيخضع لتغييرات مماثلة، وأن هذا سيقودنا إلى تخطيطات وفراغات ومنشأت تتسم بالمرونة، حيث يمكن تغيير كل جزء منها، ويمكن دمجها في أشكال مختلفة". ووفقاً لـ **كرونبورغ Kronenburg** [٩ص٢٥] فإن العمارة المرنة تتصف بأربعة مبادئ رئيسية هي: التكيف، والتنقل، والتحول، والتفاعل، يمكن شرحها على النحو التالي:



شكل (٠٢) صور المرونة في تطبيقات الإنشاء الخفيف (اعداد الباحثان)

أولا التكيف Adaptation

"ليس أقوى الأنواع هو الذي يعيش، ولا أذكاها من يبقى على قيد الحياة، إنما افضلهما الأكثر قابلية للتكيف مع التغيير" بهذه المقولة أكد **داروين Darwin** [٩ص٢٥] على أن أهم الدروس التي يمكن أن تعلمها من الطبيعة تكمن في القدرة على التكيف، اي القدرة على التغير أو التغيير لتتلائم مع الظروف الحالية. وفي مجال العمارة يشير مصطلح القدرة على التكيف **Adaptability** بأهمية إدراك أن المستقبل ليس محدودًا، وأن التغيير لا مفر منه، وان إطار العمل هو عنصر مهم في السماح بحدوث هذا التغيير، وان عملية التكيف أحد أنها أهم سمات العمارة المرنة.

شكل (٠٣) صور بنائية مختلفة لبعض المنشآت الخفيفة توضح قابلية التكيف مع أغراض متنوعة (internet web، مرجع٢٢)

يُطلق على العمارة أحيانًا اسم البناء المفتوح **open building** مع وجود مساحة يمكن استيعابها بسهولة في مرحلة لاحقة، وتعتبر استراتيجية البناء المفتوح **OBS** الأكثر اعتمادية للعمارة القابلة للتكيف. لتحقيق استمرارية عملية التغيير ليتوافق مع الاحتياجات لمستقبلية، حيث تتضمن مشاركين مختلفين للتفاعل في تصميم الفراغ المرغوب وفي أوقات ومواقع وانشطة وإحتياجات مختلفة. وفي هذا الإطار جرت العديد من الدراسات والتطبيقات حول عمارة الحاويات **containers archeticture** التي تقوم على إعادة توظيف/ تكيف الحاويات المعدنية المخصصه للشحن، لتتلائم مع العديد من الاستخدامات والأغراض والتطبيقات.

ثانيا قابلية التنقل Mobility

"أنا مع المنشآت المحمولة والأثاث القابل للطي (البدوي) **nomadic furniture**، أي شيء لا يمكنك طيه وأخذه معك هو آفة على البيئة، وإهانة لحرية الفرد" بهذا المدخل عرّف **كودريسكو Codrescu** [م٩ص٢٦] العمارة المتنقلة **Mobile architecture** على أنها "بنية تمثل الحركة المادية والهندسة المعمارية التي تغير الأماكن في نطاق زمني محدد" يشير مصطلح التنقل إلى المنشآت التي يمكن أن تنتقل فعليًا من مكان إلى، في حين اعتبر كرونبورغ العمارة المتنقلة نمط من العمارة التي تتدحرج أو تطفو أو تطير.

شكل (٠٤) صور بنائية مختلفة لبعض المنشآت الخفيفة توضح قابلية التنقل في بعض تطبيقات العمارة المرنة (internet web)

ومن أقدم الأمثلة على العمارة المتنقلة، الخيام البدوية **Bedouin tents**، والتي ما زال بعضها موجود حتي الان، وخيام المجتمعات المنغولية **Mongolian yurts** والكرافانات المحمولة أو المتنقلة. وهناك العديد من المنشآت المعدنية سابقة التجهيز التي يتم إنتاجها تجاريًا اليوم وتستخدم على نطاق واسع في عدد من المجالات: كالتجارة والصناعة والجيش والتعليم والرعاية الصحية والإسكان. وتتميز تلك النوعية من المنشآت المؤقتة في المرونة والتنوع الأغراض، فضلاً عن إمكانية إعادة الاستخدام، بما يعني توظيفا فعالا للمواد والموارد، وتوفر فرصه لإمكانية إعادة التدوير لمواكبة التغييرات وفقًا للإحتياجات المطلوبة.

ثالثا قابلية التحول Transformation

"أريد إعادة اختراع البيئة المشيّدة من أجل توسيع نطاق الوعي" بهذه الطريقة عبر **جانتزن Jantzen** [م٩ص٢٨] عن فكرته عن التحول، فالمباني القابلة للتحول **Transformable buildings** قادرة على تغيير شكلها، ومساحتها، ومظهرها من خلال التغيير المادي لمكوناتها الإنشائية، أو غلافها الخارجي أو أسطحها الداخلية. يجب أن تتيح العمارة القابلة للتحويل **transformable architecture** (القابلة للطي) يجب ان تسمح بتغييراً جذرياً في طبيعة البيئة المعمارية بأكملها. هذه هي العمارة التي تفتح أو تغلق أو تتوسع أو يحدث لها طي. إن إدخال خصائص التحول إلى منشأ ثابت يجلب شيئًا سحريًا حول هذا الأداء، فالمبنى يصبح متحركًا بلمسة زر واحدة، من خلال عملية بسيطة أو أكثر تعقيدًا، يغير المبنى شكله ويعطي انطباعًا بأنه على قيد الحياة.

شكل (٠٥) صور بنائية مختلفة لبعض المنشآت الخفيفة توضح قابلية التحول (الطي) في بعض تطبيقات العمارة المرنة (internet web)

يتمثل الجانب الأضافي المهم للمنشات القابلة للتحول في قدرة المنشآ على التفاعل مع البيئة الخارجية والإستجابة للمواقف المناخية. حيث يمكن فتح الأسقف أو النوافذ أو أجزاء آخرى من الواجهة على سبيل المثال للضوء أو إغلاقها لأي أسباب

جوية آخرى. يزيل هذا النوع من التحكم الحاجز الذي عادة ما يكون للمباني بين الداخل والخارج، ويساهم مرة آخرى في الاستدامة البيئية. م٩ص٢٩

شكل (٠٦) خطوات نشر نموذج أولي لقبة متعددة الوجوه، مكونة من وحدات مثلثة، يمكنها التشكل في عدة صور (Temmerman,2012)

رابعا التفاعلية Interaction

تعد العمارة التفاعلية **interactive architecture** أحد انماط العمارة التي تقوم بالتفاعل بين المبنى والأشخاص والأجهزة. فيها يدمج التفاعل المادي للبيئة مع الأشخاص والتصميم التفاعلي، حيث يتحرك العقل عبر مساحات مجردة. يعتمد التصميم التفاعلي إلى حد كبير على النظام التكنولوجي المستخدم في إنشاء المبنى التفاعلي. تُستخدم أنظمة البناء الذكية **Intelligent building systems** لإنشاء بنية تفاعلية تستجيب لمتطلبات المستخدمين بطرق تلقائية أو بديهية. م٩ص٣٠إنها العمارة التي تستجيب لإحتياجات الناس لتغيير بيئتهم ولديها آليات قائمة للقيام بذلك بسهولة. تعمل المستشعرات على تشغيل مشغلات يمكنها إطلاق مجموعة واسعة من الإجراءات، أو الأنظمة الحركية **kinetic systems** التي تغير الفراغ فعليًا، والخدمات التي تغير البيئة أو المواد التي تغير حالتها. تفاعل المباني عندما تستجيب لمتطلبات المستخدم بطرق تلقائية أو بديهية، وعندما يصبح الأشخاص مشاركين بدلاً من مستخدمين.

شكل (٠٧) التفاعلية في بعض تطبيقات العمارة المرنة: الحمام الأوليمي بالصين، كوخ مرن يتسم بالتفاعلية، واجهه تفاعلية (internet web)

ورغم أهمية المبادئ الأربعة السابقة، الا إنة لا يمكن حصر المرونة فيها فقط، بل من المهم جدا أضافة نقاط آخرى تتوافق مع تطبيقات الإنشاء المعدني الخفيف، لعل أهمها التجهيز المسبق **prefabrication** والذي عرّفه ويبستر **Webster** بمعني "تصنيع الأجزاء في المصنع بحيث يتكون البناء بشكل اساسي من تجميع ودمج أجزاء قياسية" م١٨صXIيعد التجهيز المسبق من المبادئ المهمه جدا لتطبيقات الإنشاء الخفيف، كونه يقوم على التصنيع خارج الموقع **offsite fabrication** ويتعامل مع المنشأ الخفيف كنظام يتم تصنيع وتجهيز عناصره خارج الموقع في بيئات صناعية خاضعة للرقابة، ثم يتم تجميعها لاحقا في موقع الإنشاء، سواء بوسائل تجميع دائمة كاللحام والبرشام، أو بوسائل مؤقتة كالوصلات الميكانيكية. ولهذا المبدأ تاثير كبير على ترسيخ صور آخرى لمرونة المنشأ مثل: قابلية الفك والتعديل والتغيير والتوسع والأضافة والحذف والإمتداد والنمو والانتقال وغيرها. وعليه اضحى من المهم السعي نحو تعزيز صور المرونة في تطبيقات الإنشاء الخفيف ودعم ميزاتها التنافسية، عبر التركيز على النقاط التالية: التوسع في البحوث التجريبية والبينية في مجال الإنشاءات الخفيفة، توظيف عمليات التصنيع سابق ووسائل التجميع المؤقت، مع الإستفادة من التقنيات المتطورة في الصناعة وفي

تخليق المواد وفي اساليب الوصل لدعم تطبيقات الإنشاء، وأخيرا تحسين كفاءة التواصل الفعال بين كافة المعنين بتطبيقات الإنشاء الخفيف: مستثمرين، مصممين، فنيين، مركبين، موردين ...الخ ودعم بحوث الابتكار والتطوير ذات الصلة بالإنشاءات الخفيفة.

المحور الثاني: دراسة تحليلية لبعض تطبيقات العمارة المرنة

تعكس العمارة المرنة باستمرار، وفقا لـ أشاريا م٩ص٨٠ الطريقة التي ندرك بها إمكانيات الحياة وتعيد هيكلتها، بهدف تلبية إحتياجات العصر الحالي، مثل القضايا الإجتماعية والثقافية والسياسية والبيئية، كما تحأول دفع العمارة إلى لتكون منتج ثقافي أكثر كفاءة واستدامة لمجتمع ديناميكي. وتسعى كل الأنظمة الحية الموجودة على الأرض إلى بناء مسكنها الخاص القادر على تلبية إحتياجاتها الذاتية، لكن فقط، الجنس البشري هي النمط الوحيد الذي يؤمن دائمًا بتطوير أفكار جديدة حول مسكنة، وبالتالي يقبل بالمبدأ الفلسفي: التغيير هو الثابت الجديد، الذي أفسح المجال للمرونة في العمارة التي لديها صفات عدة كالقدرة على التكيف، والتنقل، والقدرة على التحول. وفي هذا الإطار يؤكد **آنس** م١٤ص٥١١على "أن العالم يتطور بسرعة في تقنيات ومواد البناء الجديدة، بشكل يجعلها قادرة على إحداث تغييرات ثورية في مجال العمارة، ويسمح بمزيد من الخيال الرائع والنتائج الفريدة، ما يشير إلى طريقة مختلفة في التفكير في طرق العيش". وفيما يلي دراسة تحليلية لبعض تطبيقات الإنشاء المعدني المرن.

1- نموذج للهياكل الخيامية المرنة : tent structures

تعد مكة المكرمة واحدة من أكبر المدن الخيامية في العالم، جرى تخطيطها لاستيعاب ما يقارب ثلاثة ملايين حاج سنويا؛ بكثافة تتجأوز ستة أشخاص لكل متر مربع، ما يتطلب بيئة مريحة وآمنة لكل المتواجدين. ولضمان حركة آمنة وفعالة الحجيج وإقامة اقتصادية، فقد تم التغلب على التركيز الكثيف للأشخاص خلال فترة قصيرة، وتم الاستعانة بمجموعة من تطبيقات الإنشاء الخيامي ذات المرونة والمعدة بسبق التجهيز، لتشييدها في وادي منى بالقرب من مكه. ووفقا لـ الاراجي **Alaraji** م١٤ص٥١٧ قد تم استبدال الخيام القطنية التي دمرت سابقا خلال حريق مميت في العام ١٩٩٧، بآخرى مصنوعة من ألياف زجاجية مقأومة للحرائق، لشغل مساحة ٢٠ كيلومترًا مربعًا، وتم تصميم الخيام كفراغات مكيفة ومجهزة بالمرافق المطلوبة، واتسمت بكونها قابلة للتكوين ومقأومة للرياح وغير سامة، وتسمح فقط باختراق ١٠٪ من حرارة الشمس، أضافة لكونها مدرعة بمكبرات صوت وأجهزة إنذار للحريق، لخلق فراغات آمنه مريحة وصالحة للسكن.

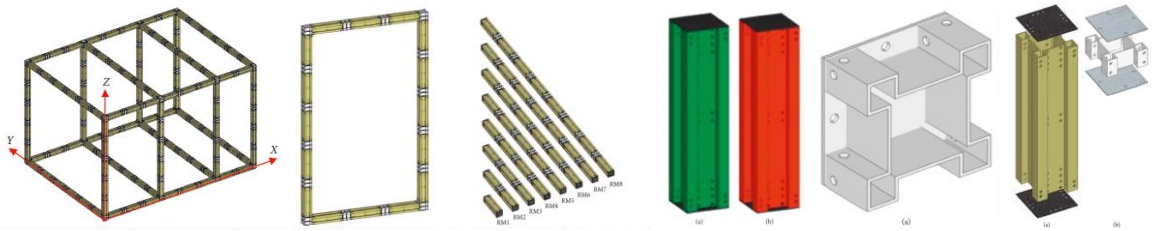
شكل (٠٨) المرونة الانشائية والقابلية للطي في مظلة الحرم النبوي الشريف بالمدينة المنورة (internet web)

اما في المدينة المنورة فقد استوحى المصمم الألماني **Fre Otto** والمصمم محمد روش **Rosch** أصل التصميم في أشكال سقف المسجد النبوي من الطبيعة، وذلك في سياق الفتح والإغلاق للهيكل مثل ازدهار البرعم. ولا تضيف هياكل القبة المتحركة والقماش جمالًا فحسب، بل تخلق أيضًا إحساسًا بالانفتاح والتقارب. تفتح هذه الهياكل خلال النهار لتوفير الظل للمصلين من أشعة الشمس الحارقة، مما يخلق بيئة ممتعة وملائمة تفتح في المساء وتضيف جمالًا عند الشفق. وإلى جانب القباب المتحركة، يحتوي المسجد النبوي على اثني عشر مظلة فردية قابلة للتمدد والانكماش يبلغ مقاسها ١٧م×١٨م ويصل

ارتفاعها إلى ١٤م في الوضع المفتوح الذي يناسب الساحات، ويبلغ إمتدادها القطري ٢٤ مترًا، ما يجعلها الأكبر من نوعها على الإطلاق. يخلق الغشاء المخروطي الشكل تأثير قبو نصف شفاف يمتد بين الأعمدة والأروقة. وتم مزج الأسطح المصممة، مع العمارة الحجرية التقليدية، ما اعطي تأثيرا قويا وبخاصة عندما يتكشف الغلاف الرأسي للمظلات المغلقة ويفتح الغشاء المتجمع مثل الزهرة.

2- نموذج الهياكل الإطارية: النظام الانشائي المرن Flexible Structural System (FSS)

من أجل أن يقوم المستخدم بتصميم وبناء منزله بنفسه وإجراء التعديلات اللازمة عليه طوال عمر المنشأ؛ فقد سعى **لورنزو Lozano** م.ص١ وزملائه إلى تصميم واختبار نظام انشائي سهل ومرن وخفيف يعرف اختصارا بـ **(FSS)** باستخدام مكونات بسيطة، صغيرة الحجم وقليلة العدد. هذا النظام له القدرة على التكيف مع أشكال هندسية مؤطرة أو صندوقية، ويوفر المرونة اللازمة لإجراء تعديلات على هيكل المنشأ طوال فترة استخدامة، أضافة إلى ان عمليات تجميعه لا تتطلب خبرات كبيرة، ويمكن ان يقوم بها شخص واحد. ويتالف النظام من قطعتين مختلفتين تسمى الوحدات الأساسية **(Bui1)** & **(Bui2)** مع سماكتين محتملتين لكل منهما. ويتكون النظام من خمسة قطع مختلفة، وتعتمد عملية توليد الهيكل على مجموعات مختلفة من الوحدات الأساسية للحصول على أعضاء مقاومة تسمح بدورها ببناء إطارات هيكلية **frames** وأخيرا تسمح أضافة الإطارات الهيكلية بتوليد حجوم شفافة **diaphanous volumes** والحصول على الهيكل المطلوب للمنشأ. ويدعم هذا النظام التكيف البنائي مع حيزات فراغية مختلفة، أضافة إلى إمكانية إجراء تغييرات سهلة طوال فترة استخدامه.



شكل (٠٩) مكونات النظام FSS: الوحدة الأساسية ومربع تأطير، وحدتين أساسيتين الأولى بلون أخضر والثانية بلون أحمر، سلسلة متدرجة من أعضاء انشائية، وحدة إطارية وواخرى صندوقية ناتجتين عن تجميع عناصر النظام (Lozano,2019)

وقد حدد **لورنزو** م.ص١٧ بتصرف المزايا الأساسية لهذا النظام في نقاط عدة أهمها: النظام سهل النقل والتخزين، يسمح بتوليد مجموعة كبيرة ومتنوعة من الهياكل المتعامدة بطريقة منهجية، يعتمد توليدها على إنشاء موديول طولة ٦٠٠ مم. كما يوفر النظام هياكل بنائية معدله تتالف بدورها من عنصرين فقط يرمزان إلى الوحدات الأساسية، تقدم كل واحدة منها في سماكتين فقط. يتكون النظام اجمالا من سبعة مكونات بنائية فقط (اربع وحدات أساسية، ومربع تأطير، واثنين من البراغي بنفس القطر وبأطوال مختلفة). لا يتطلب تجميع عناصر النظام اي عمالة متخصصة، لان عملية تجميع وتفكيك مكونات النظام تتم عبر وضع البراغي في الموضع الصحيح وربطها بسهولة. يحقق النظام القياسية في المواد الإنشائية عبر تعيين سمكين فقط للقطاعات المستخدمة، وتم التميز بينهما بلونين أخضر وأحمر. يوفر النظام المرونة البنائية وإمكانية التوسع واحاطة الفراغ بما يتناسب مع إحتياجات المستخدمين. تتسم المعالجات الهندسية للنظام، ببساطة التصنيع والتركيب والتجميع، ما يعطيه ميزة تنافسية واقتصادية عند إنتاجة كميا وطرحة في الأسواق واخيرا يتيح نظام التجميع باستخدام مربعات التأطير ان تتصرف كوصلة صلبه نسبيا.

3- نموذج الهياكل الصندوقية: حاويات معدنية معاد استخدمها containers architecture

شهدت العقود السابقة إعادة استخدام العديد من المواد في إنشاء فراغات يمكنها إحتواء وظائف مختلفة، ليس فقط لأسباب اقتصادية أو مالية ولكن أيضًا لأسباب بيئية، أضافة إلى خفض تكاليف التخلص منها أو إعادة معالجتها بأي وسيلة. ومن أمثلة ذلك إعادة استخدام حاويات الشحن الفولاذية في تطبيقات معمارية عديدة، أدت إلى ظهور ما سمي بعمارة الحاويات. وكان الهدف من هذا التوجه؛ إنشاء بعض الفراغات المعمارية التي تستضيف وظائف وأنشطة بشرية مختلفة، ليس فقط على نطاق مبنى فردي ولكن أيضًا على نطاق أوسع، حيث يمكن أن يساعد في إنشاء حلول سريعة أو مؤقتة لمبنى أو مجموعة منشات مستقرة من الناحية الهيكلية وآمنة بيئياً، مع قدرات عالية للغاية في إعادة تضمينها لقيم جمالية عديدة.

شكل (١٠) إعادة استخدام حاوية شحن معدنية في منزل الضيافة للمصمم Jim Poteet (Radwan,2015)

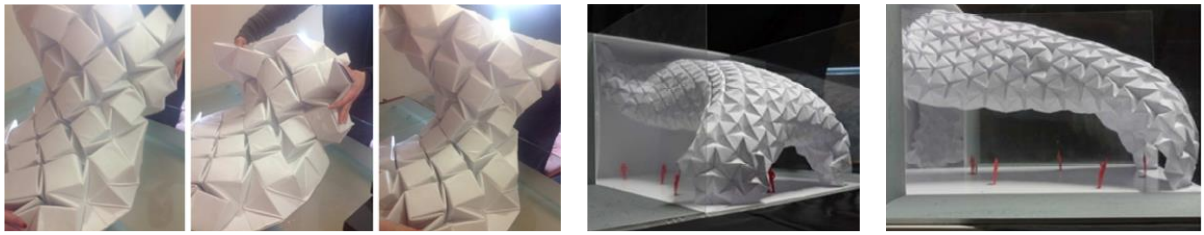
وعلى مستوى العديد من البلدان، تم إجراء محأولات كثيرة لإنشاء فراغات معمارية، يمكن بناؤها في فترة قصيرة نسبيًا وبتكلفة معقولة، أضافة إلى المرونة وإمكانية إعادة البناء في مواقع عدة. وعلى الرغم من أن عمارة الحاويات تعتمد نسبيا على نمطية الأحجام، إلا ان تطبيقاتها اثبتت انها ليست نوعًا صارمًا من الإنشاءات الخفيفة. وفي هذا الإطار أوجز رضوان **Radwan** م٤ص١٦-١٧ مجموعة من المزايا لإعادة توظيف الحاويات المعدنية لأغراض عدة في النقاط التالية**:** يمكن تجديد الحاويات المعدنية المنتشرة في موانئ عدة حول العالم والتي لم تعد قيد الاستخدام. وان الحاويات غير مكلفة للغاية، مقارنة بمواد البناء التقليدية، ويتراوح سعرها ما بين **١٥٠٠-٣٠٠٠$** لكل حاوية. وان الحاويات أكثر ثباتًا مقارنة بالهياكل الخشبية، كما أن تحللها يتاخر لعدة عقود. وان الحاويات تتسم بتصميمات متطابقة واحجام قياسية، وبالتالي يمكن تكديسها أو وضعها جنبًا إلى جنب دون الحاجة إلى موارد أضافية للتخطيط. ان تجديد الحاويات يستغرق وقت قليل، وقد ورد في احدى التقارير ان تجديد حاوية بنجاح للعيش الشخصي يستغرق اقل من ٧٢ ساعة. ان للحاويات مقأومة كبيرة لارتفاع درجات الحرارة وللآفات. يمكن تقسيم الحاويات بسهولة للحركة وإعادة تجميعها بنفس الهيكل السليم، مما يتطلب نفقات أقل للنقل. يتسم الهيكل الانشائي للحاويات بمتانة كبيره يجعلها تستمر لعقود دون الحاجة إلى صيانة باهظة الثمن. وأخيرا هناك دائما فرصة لمزيد من لعمل توسعات في الحجم وإمتدادات افقية وراسية.

وعن مرونة الحاويات في التكيف مع انشطة مختلفة، راى ماكرينور **Maccreanor** م٤ص١٩ أن "القدرة على التكيف، كأحدى صور المرونة، تشير إلى تعدد الوظائف وتحولها **multifunctionality & transfunctionality**، وأضاف ان المنشأت الأكثر قابلية للتكيف هي تلك التي لم يتم التخطيط لها في الأصل لتحقيق المرونة" ومن التطبيقات التي توضح مفهوم التكيف، بيت الضيافة **Guest House** في تكساس للمصمم بوتيت **Jim Poteet**، وتميز بالنقاط التالية م٤ص٨ بتصرف:تم تصميم المنزل بالكامل من حاوية معدنية مساحتها ٨*٤٠ قدم، يمكن أن تعمل كمنتجع في الحديقة واستوديو وحتى مسرح للأطفال والكبار. وتحتوي هذه الكابينة على أبواب ونوافذ زجاجية، على حمام، أضافة إلى تضمنه لأنظمة تبريد وتدفئة، وتم معالجة سطحه بمجموعة متنوعة من النباتات. بسبب الطبيعة الصندوقية للحاوية، كانت احتمالات التزيين محدودة، وتمت إزالة قسمين كبيرين من الفولاذ للمدخل المنزلق والنافذة وتم طلاء الحاوية باللون الأزرق. تم معالجة السقف

من الواجهه بمظلة مما يقلل من فرص سقوط مياه الأمطار على الزجاج. اعدت المقصورة الداخلية من الخشب لتعكس الشعور بالراحة والهدوء. وتم استخدام مزيج من المواد والألوان لاعطاء فرادة في بيت الضيافة.

4- نموذج للهياكل الحيوية: Life form structure

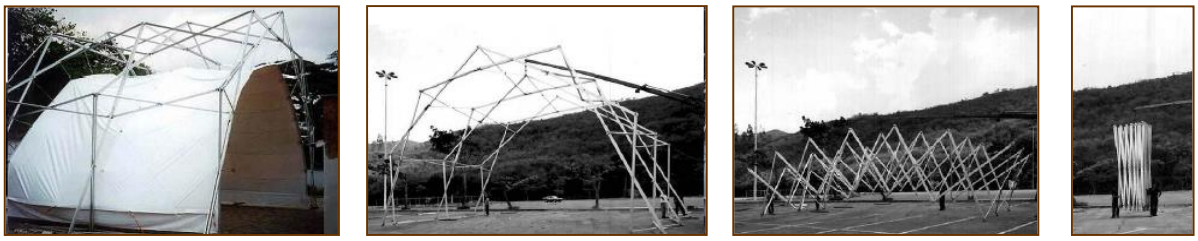
ابتكر **كونها Cunha,F** وفريقة م.ع٦ص٤٢٧ بتصرف نظام جديد للإنشاءات الخفيفة، متعدد الطبقات له القدرة على تغيير شكله وفقًا لظروف البيئة المحيطة، ويمثل انموذجا للتحول ثلاثي الأبعاد، وقد سمي بهيكل الشكل الحيوي وعرف اختصارا **(LFS)**، هذا النظام يتمتع بمرونة جيدة جدًا في جميع الاتجاهات وله القدرة على تغيير شكله بسرعة إلى شكل جديد، عن طريق عمليات: تمدد أو انكماش أو التواء في الهيكل، تعتمد بدورها على مصفوفة هندسية تتميز بخصائص عدة لتغيير الشكل الهيكلي. ويتكون النظام من مواد خفيفة الوزن ذات مرونة عالية، ويتصف بمعالجات داخلية وخارجية تتسم بالجمال والجاذبية من الناحية الاستخدامية، وقابلية التكيف وفقًا للحاجة والوظائف التي تظهر بمرور الوقت. يوفر النظام الحماية ضد جميع أنواع الظروف البيئية: كالمطر والرياح وأشعة الشمس وغير ذلك، وقد تم اختبار النظام بنجاح من قبل معهد البحث والتطوير التكنولوجي في علوم البناء **(ITeCons)** لتحديد مؤشر الاشتعال والتوصيل الحراري وامتصاص الصوت.



شكل (١١) التجارب والاختبارات والنمذجة على نظام هيكل الشكل الحيوي LFS لفرناندو كونها وفريقه (Cunha,2016)

5- نموذج للهياكل المتحولة: Transformable structures

تعد الهياكل القابلة للتحويل أحد أنماط الهياكل الخفيفة التي يمكنها إعادة تكييف شكلها أو وظيفتها وفقًا لظروف متغيرة، وهي تستخدم لتلبية إحتياجات سريعة التطور، ويتم تصميمها في حالة انتقالية، وليس نهائية، ووفقا لذلك فقد ميّز **تيمرمان Temmerman** م.ع١٥ص٤٥٧ بين نوعين من تلك الهياكل بناءً على الكيفية التي يتم بها هذا التحول: أولهما دمج آلية حركية **kinematic mechanism** وتمكين الهيكل من الانتشار من تكوين مضغوط إلى حالة أكبر وموسعة يمكنه فيها أداء وظيفته المعمارية (مثل وحدات الايواء العاجل). وثانيهما من خلال تصميم الهيكل كنظام مكون من عدة أجزاء، مع وصلات جافة وقابلة للانعكاس بين مكونات تأسيسية، ما يتيح التصميم للفك، حيث يمكن إعادة تكوين جميع المكونات أو استبدالها أو إعادة استعمالها.



شكل (١٢) خطوات فرد هيكل شريطي خفيف متنقل قابل للتحول إلى خيمة مؤقتة (Temmerman,2012)

والمثال في الشكل السابق يوضح مدى مرونة الهياكل، سواء في خفة وزنها ودقة تصنيعها وسهولة نقلها وتخزينها وهي في حالة طي، أو في قابليتها الكبيرة للتحويل وتغيير الحجوم، أضافة قابليتها للفك والتركيب والإزالة والاستبدال، مع إمكانية إعادة الاستخدام أو إعادة تشكيل مكوناتها وبخاصة الانشائية منها، وغير ذلك. وهي هياكل لها تأثير أقل على موقع الإنشاء مما يجعلها ملاءمة من الناحية البيئية.

المحور الثالث: المرونة وتعزيز الصور البنائية في نظم وتطبيقات الإنشاء الخفيف

ان تصميم نظام إنشاء معدني جديد، عادة ما ينشأ عنه تغيرات عدة: سواء في الوظيفة أو السلوك أو المعالجة الهيكلية، وان التوجة نحو اكساب ذاك النظام؛ لميزات تنافسية تعزز من إمكاناته في التعامل مع متطلبات سوق البناء المتغيرة باستمرار؛ يؤكد على أهمية ترسيخ مفاهيم وخصائص المرونة في عمليات التصميم والتصنيع والإنشاء لهذا النمط من الأنظمة، وان الوصول إلى ذلك يرتكز على عمليات استكشاف وتحليل وتجريب واختبار بشكل منهجي. وعن أهمية تمكين المرونة في عملية التصميم، تؤكد كاردين **Cardin** م١٢ص٦ على "أن تصميم الأنظمة الهندسية من أجل المرونة ليس بالأمر السهل، لانه يتطلب توجيه من خبرة بحثية وتطبيقات صناعية". في حين أعتبرت **Alaraji** م٨ص٢ "ان المرونة هي الشاغل الرئيسي للعديد من المصممين، بهدف تحقيق القدرة على التكيف والسماح بالتعديل للتعامل مع إحتياجات المستخدمين في المستقبل، وان ذلك يتم تنفيذه عادةً وفقًا لتوقعات المصمم- وأحيانًا العملاء المستثمرون- حول إحتياجات المستخدمين المستقبلية. وعن نمط التكاليف المصاحبة لتضمين المرونة في المنتجات بشكل عام، ترى **مابل تشو Mable Chou** م١٠ص٣ "ان العيب الرئيسي للمنتج المرن **flexible product** يكمن في الزيادة المصاحبة في تكلفة إنتاجة، وانه يمكن التغلب غلى ذلك عبر وضع نظام مرن لتقديم المنتجات واستغلال القواسم المشتركة في الأجزاء ومتطلبات الخدمة للاستفادة الفعالة من الموارد المتاحة".

وعن اهمية المرونة في عمليات تصميم المنشأ الخفيف بشكل عام، فقد أعتبر **زانج Zhang** وآخرين م١٧ص٨٢٤ أن المرونة عندما تتصل بعملية معينة؛ يجب أن يتضمن تعريفها إجابة واضحة على التساؤلين التاليين: ما الذي يتغير؟ ومتى تحدث التغييرات؟ وفي محاولة للاجابة حدد **متولي** م١ص٥١ خمسة عناصر لتحقيق المرونة في تصميم المنتج أو النظام هي: مرونة الفك وإعادة التركيب، مرونة الأضافة والحذف (الاستغناء)، مرونة الاحلال والتبديل (الاستعاضة)، مرونة التوحيد القياسي (التبسيط، التوحيد، التوصيف)، مرونة عناصر الوصل. ورغم ذلك إلا ان هذا لا يمنع وجود عوامل آخرى تجعل تصميم المنتج أو النظام في حالة غير مرنة، وفي هذا الإطار أكد عبد الخالق م١ص٤٨ بتصرف على ان ذلك يمكن ان يحدث عندما تكون: مواصفات النظام ذات تاثير ثابت، قلة عدد منتجيه، تعقد وتعدد عملية تصميمة، الافتقار إلى دراسة كافية لمتطلبات السوق، اعتماد تصميم النظام على مواصفات ثابته يصعب تغييرها خلال فترات قصيرة، افتقار المصمم للكفاءات التصميمية المطلوبة والاعتماد على الخبرة الذاتية فقط، تبني اسلوب التقليد في التصميم، وأخيرا توظيف مكونات واجزاء معقدة يصعب معها إجراء تحسين أو تطوير. وعن عملية التحسين الانشائي **Structural optimization** لاى نظام يخضع للتطوير، أكد سكوديري **Scuderi** م٧ص٦ ان كل جزء من المنشأ يجب أن يؤدي وظيفتة بمعايير محددة جيدًا وقابلة للقياس، وان كل مكون يخضع للتحسين، ويعزز من خفة الوزن ويبسط الهيكل ككل، ويتم ذلك عبر استغلال الإمكانات الكاملة للتقنيات والمواد والتصميم"

وبناء على ما سبق فالمرونة سمه تتيح إمكانية عمل تعديلات في النظام الوظيفي أو الفراغي أو البنائي للمنشأ الخفيف بعد اكتمال تكونه، بما يلبي إحتياجات أو متطلبات وظيفية متوقعة للمستخدم خلال العمر الافتراضي للمنشأ، وتسمح المرونة باستمرارية استخدام المنشأ بجودة عالية لأطول فترة ممكنة، وبإمكانية إجراء التعديل وإعادة التصميم للنظام المستهدف، في اي مستوى من مستوياتة، بما يضمن الاستمرارية والانسجام التام مع المتطلبات الانسانية والوظيفية والبيئية المتغيرة. ويمكن تحقيق مرونة التصميم في تطبيقات الإنشاء الخفيف عبر وسائل عده منها: إعادة الاستعمال كما في الحاويات المعدنية، المسقط المفتوح كما في نظم الهياكل الفراغية، التكيف طويل الأمد كما في النظم الإطارية، الإمتداد أو التوسع كما في النظم الصندوقية والخيامية، أو عن طريق التحول كما في النظم الجمالونية والهجينة. ولابد من مراعاة ان تتحقق المرونة وتستمر طوال عمر المنشأ، ليس فقط في توفير إمكانات التعديل والتغيير في مرحلة التصميم، ولكن تمتد لتشمل تقييم الأداء لعمليات الإنشاء والاستخدام، وهذا يتطلب ديناميكية جديدة بحيث يبدو المنشأ متكاملاً متزناً في أثناء مراحله المختلفة قبل التغيير وبعده.

وللمرونة الانشائية دور مهم في تعزيز الصور البنائية للمنشات المعدنية الخفيفة يمكن توضيحها في النقاط التالية: التركيز على أنظمة الإنشاء الجاف (الخفيف)، استخدام مواد إنشاء يسهل إعادة استخدمها، استغلال الإمكانات الكاملة للتقنيات والمواد والتصميم، التقليل من التأثيرات البيئية أثناء الإنشاء والاستخدام، الإستجابة للمتطلبات الانشائية التي توازن بين الكفاءة والاقتصاد في الهيكل، التصميم للحد الأدنى لعدد المكونات الانشائية، تبسيط الهيكل الانشائي والتقليل من التعقيد البنائي قدر الامكان، التصميم لإحتواء حيزات مختلفة ومرتبطة هيكليًا باقل قدر من المواد، تصميم هياكل تتيح التكيف مع فراغات ووظائف متعددة، تصميم الهيكل لإمكانية عمل إمتدادت أفقية أو راسية وعمل تعديلات، تنميط أنظمة وعناصر الوصل بما يسهل من عمليات تجميع وتفكيك المكونات الانشائية، إتاحة تجميع الهيكل الانشائي وعمل التغييرات بأقل قدر من المهارات الفنية، تقليل عدد المكونات الإنشائية، التبسيط البنائي لمراحل التجميع ولعمليات الفك والتركيب، تصنيع عناصر الإنشاء وفقا لمبادئ سبق التجهيز، استخدام مكونات انشائية خفيفة الوزن، واخيرا استحداث مقاطع انشائية خفيفة غير قياسية تتسم بالمرونة.

المناقشة والاستنتاج

إن إبداع أو تطوير بيئات مرنة ومحفزة وصالحة للعيش تتوافق مع التحول في الإحتياجات والتغير في الوظائف، يفرض على للمصممين؛ الإستفادة من التطورات التكنولوجية الحديثة، والتوجة نحو ترسيخ مبادئ العمارة المرنه في نظم وتطبيقات الإنشاء المعدني الخفيف. وان تحقيق ذلك سيساعد في توفير إطر يمكن من خلالها دعم مسارات جديدة لأساليب التصميم والتصنيع والإنشاء، وفي نفس الوقت سيعزز من الصور البنائية لتلك النظم ويستحدث تطبيقات مرنة لم يتم توقعها من قبل، ويوفر حلول أكثر خصوصية ويدعم ميزاتها التنافسية في سوق البناء. ان تطبيقات الإنشاء الخفيف التي تتسم بمرونة التصميم والإنشاء، عادة ما تتوفر لها سمات مادية تجعل تصميمها وتطويرها أسرع وأسهل وأكثر ملائمة للتطورات المستقبلية، وإن المطالب المتزايدة لمجتمعنا الذي يتسم بالديناميكية توجب التوجة نحو انماط الإنشاء المرن لمواجهة التحديات الاقتصادية والبيئية والمجتمعية التي تحيط بنا. وعندئذ يمكن ان تتطور الصور البنائية لأنظمة الإنشاء الخفيف؛ وان تتحقق الملاءمة بشكل أكبر مع الإحتياجات والتطورات المستقبلية المحتملة، وان تتبوأ تلك النظم مكانة أفضل في تصورات العمارة المستقبلية. وعليه،، فقد سعى الباحثان إلى تقديم دراسة وصفية تحليلية حول مبادئ العمارة المرنة وتطبيقاتها، والإستفادة منها في دعم وتعزيز الصور البنائية لنظم الإنشاء المعدني الخفيف، وتم خلال ذلك طرح ومناقشة أراء عدد من الباحثين في مجال العمارة

المرنة، وتحليل نماذج متنوعة من تطبيقاتها، بغية إلقاء الضوء على أهمية هذا الاتجاه، والعمل على ترسيخ مبادئ ومفاهيم الإنشاء المرن، وتقديم قراءة استشرافية حول مستقبلة .

نتائج وتوصيات البحث

1. ساهم التطور في تقنيات التصميم والتصنيع ومواد البناء، في توفير حلول وصور إنشائية مبتكرة لتطبيقات الإنشاء الخفيف، وجعلها أكثر كفاءة وتكيفا ومرونة في مواجهة التحديات الإقتصادية والبيئية والمجتمعية.

2. المرونة مصطلح متعدد الدلالات يعبر عن عناصر عدة: كالفراغ والهيكل والوظائف والمواد والتقنية؛ وان مضمونه يكمن في القابلية للتعديل والتكيف والتحول والإستجابة والتلاءم، والقدرة على التعامل مع تغييرات محتملة في ظل قراءات مستبصرة للاعتبارات الاستخدامية والوظيفية والبيئية والتكنولوجية.

3. تتميز نظم وتطبيقات الإنشاء المعدني الخفيف بخصائص بنائية مرنة، تجعلها الأسرع في الإستجابة للتحولات والتحديات المتلاحقة في المجتمعات الديناميكية والتغييرات المحتملة في المستقبل.

4. يتم تضمين المرونة في عملية تصميم المنشأ الخفيف في مراحل عدة: في التصميم الأساسي، عند ادراك حالات عدم اليقين، عند إنشاء مفاهيم تصميم الأنظمة المرنة، عند استكشاف حيز التصميم وعند إدارة العمليات.

5. إن تطبيق المرونة يحتاج إلى مصمم ذو تفكير مرن له القدرة على التحول والانتقال النوعي بين المواقف ورؤية المشكلات بزوايا عدة، مع قدرة على إيجاد حلول أو تصورات تحقق الغرض بكفاءة وتكيف وملاءمه.

6. يكتسب المنشأ الخفيف صفة المرونة اذا استطاع الملاءمة والتكيف مع أكبر مع قدر من الإحتياجات والتغييرات المتوقعه، واستجاب لمتطلبات الحاضر والتغييرات المحتملة في المستقبل، وتم خلاله استخدام أمثل للموارد المتاحة والتقنيات الجديدة، وتوفرت عبره حلول أكثر خصوصية قابلة للتعديل والأضافة.

7. يمكن تعزيز صور المرونة في تطبيقات الإنشاء الخفيف من خلال الإستفادة من تطور التقنيات الرقمية في التصميم والتصنيع وتخليق المواد وتوظيف مبادئ سبق التجهيز، وعبر عبر التوسع في البحوث البينية ذات الصلة المتعلقة بالابتكار والتطوير الاستكشاف والتحليل والتجريب والاختبار بشكل منهجي.

8. تعزز خاصية التحول المرن من الاستدامة البيئية للمنشآت الخفيفة، عبر التفاعل مع البيئة الخارجية والإستجابة للمواقف المناخية، والإستفادة من مكوناتها الانشائية لعمل تغييرات ملموسة في الشكل والحيز والمساحة.

9. تكمن المرونة الانشائية في التكيف مع فراغات ووظائف متنوعة، واستغلال أمثل للتقنيات والمواد المتاحة، والتقليل من التأثيرات البيئية، التوازن بين الكفاءة والاقتصاد، والتصميم للحد الأدنى لعدد المكونات الانشائية، والتبسيط البنائي والتجميع باقل قدر من المهارات، والتصنيع وفقا مبادئ سبق التجهيز وإعادة الاستخدام.

10. تتنوع صور المرونة في تطبيقات الإنشاء الخفيف لتشمل: التكيف الوظيفي، تعدد الاستخدام، قابلية التحول، البناء البسيط، التوسع والنمو، التصميم للخصوصية، التفاعلية والديناميكية ، التجهيز المسبق، إعادة الاستخدام، المرونة الانشائية، الاقتصاد البنائي، التغيير والتعديل، قابلية التنقل، الفك والتركيب، المتانة مع خفة في الوزن.

11. تتعدد اتجاهات الإنشاء الخفيف التي تعبر عن مضامين العمارة المرنة مثل: الإنشاء سابق التجهيز، الإنشاء القابل للطي، الإنشاء بالحاويات المعدنية، الإنشاء بالاغشية المرنة، الإنشاء باللدائن المخلقة، الإنشاء القابل للتحول، الإنشاء المتنقل، الإنشاء المشدودة، الإنشاء المدعوم بالهواء، الإنشاء الالومنيومي.

12. ان توظيف وترسيخ المبادئ العامة للعمارة المرنة في تطبيقات الإنشاء الخفيف، يوفر إطر يمكن من خلالها تعزيز أساليب التصميم والإنشاء في البحث عن مسارات جديدة لايجاد تطبيقات مرنة لم يتم توقعها مسبقًا.

13. (توصية) التناول بالدراسة والتحليل مفاهيم وخصائص التصميم المرن وإمكانية الإستفادة منه فى مجال التصميم بصفة عامة وفى مجال تصميم الاثاثات والإنشاءات المعدنية الخفيفة بصفة خاصة.

14. (توصية) ادراج نظريات وإستراتيجيات التصميم المستحدثة، ضمن اللوائج الدراسية، وإستخلاص مبادىء تصميمية يمكن توظفيها فى مجال تطوير الفكر التصميمى لمصممى انظمة الانشاء المعدنى الخفيف.

15. (توصية) التوسع في اجراء بحوث تجريبية وبينية تتعلق: بتقنيات التصنيع، المواد المستحدثة، التصميم بالتجربة والاستدامة البيئية، بما يعزز الحلول التي تتلائم مع إحتياجات مستقبلية متغيرة.

المراجع:

- مرسي، محمد متولي. دور المرونة في تصميم نظم التأثيث والإنشاء المعدني، بحث منشور، مجلة علوم وفنون دراسات وبحوث، جامعة حلوان، القاهره، المجلد الخامس عشر العدد الرابع.
- Moursy,Mohamed mtwly. dor almorona ve tasmem nothm altalases &elenshaa almadany,maglet alom&fnon,maglat gamat hlwan.
- الهيتي، هادي نعمان. (اغسطس ٢٠٠٥م) التفكير المرن والسلام الاجتماعي، مقال الكتروني منشور، مجلة العربي، دورية ثقافية شهرية، الكويت، العدد (٥٦١).
- Alhaty,hady nomann. altafker elmarn&alslam elegtmay,mglat elaraby,no(516).
- طنوس، وعد & زياد المهنا، عقبة فاكوش. المرونة التصميمية كإحدى أهم معايير السكن الاقتصادي، بحث منشور، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، سوريا، المجلد التاسع والعشرون العدد الأول.
- Tanos,waad&zeadelmhanaa. elmoronaa eltasmemaa kahdy maaer elsakn ele;tsady,mgalt gamat dmashk ,mogald29,eladad1.
- Radwan, Ahmed H. Containers Architecture Reusing Shipping Containers in creating Architectural Spaces. International Conference on Architecture, Civil and Environment Engineering (ICACEE 2015)) at Kuala Lumpur, Malaysia.
- Lozano, Diego & Angel Mart´ın , Miguel A. Serrano , and Carlos (2019) Design of Flexible Structural System for Building Customization, Advances in Civil Engineering, Hindawi, Published 16, Volume 2019, Article ID 2103830.
- Cunha, Fenando & Mota, Reis, Marques, Pinto & Fangueiro (2016) Development of a flexible, light weight structure, adaptable to any space through a shape shifting feature, International Symposium on "Novel Structural Skins, Published by Elsevier Ltd, Procedia Engineering (155).
- Scuderi ,Giuliana (January 2019) Designing Flexibility and Adaptability: The Answer to Integrated Residential Building Retrofit, journal of designs, MDPI.
- Alaraji, Khwla & Mahmud Mohd Jusan (January 2012 January 2012) Flexible Architectural Design And User Participation , Architecture in the Faculty of Built Environment at Universiti Teknologi Malaysia. (https://www.researchgate.net/publication/262002345)
- Acharya , Larissa (Spring 2013) FLEXIBLE ARCHITECTURE FOR THE DYNAMIC SOCIETIES Reflection on a Journey from the 20th Century into the Future, Master's thesis in Art History, Faculty of Humanities, Social Sciences and Education ,University of Tromsø.
- Chou , Mable & Chung-Piaw Teo , Huan Zheng (August 2008), Process Flexibility: Design, Evaluation and Applications, National University of Singapore.

- Marcin Gierbienis (3/2019) Sustainable and creative temporary architecture: the activities of the assemble collective, Technical Transactions, Architecture And Urban Planning, Cracow University of Technology.
- Cardin, Michel-Alexandre (January 2014) Enabling Flexibility in Engineering Systems: A Taxonomy of Procedures and aDesign Framework, Journal of Mechanical Design, M.-A. Cardin, Paper MD-12-1468.
- Cardin , Michel Alexandre & others ( ) Design Catalogs: A Systematic Approach to Design and Value Flexibility in Engineering Systems, Massachusetts Institute of Technology, United States.
- Anas Mohd.& Safiullah and Zeba Nisar (July 2017) Flexible Architecture: Optimization of Technology and Creativity, International Journal of Engineering and Technology (IJET), Vol 9 No 3S .
- Temmerman, N. De, & others (2012) Transformable structures in architectural engineering, WIT Transactions on The Built Environment, High Performance Structure and Materials VI , WIT Press , Vol (124).
- Habraken , N. John (2008) Desig n for £exibility, BUILDING RESEARCH & INFORMATION Towards a Research Agenda, Tatjana Schneider and JeremyTil, Flexible Housing, Architectural Press,UK.

Zhang ,Qiang & Desheng Wu, Chao Fu, Claude Baron, and Zhanglin Peng(2017) A new method for measuring process flexibility of product Design, International Transactions in Operational Research, Published by John Wiley & Sons Ltd, Malden, USA.

- Smith , Ryan E. (2010) Prefab Architecture, A Guide To Modular Design And onstruction, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. Canada
- Inani , Siddharth & Ashok Kumar (2012) Flexibility Concept in Design and Construction for Domestic Transformation, CSIR- Central Building Research Institute, Roorkee, Roorkee, Uttarakhand, India.
- Kim , Young-Ju (February 2008) Organism of Options: ADesign Strategy for Flexible Space, Master of Architecture at the Massachusetts Institute of Technology
- https://ar.questionofwill.com/6459-the-100-best-resilience-phrases
- https://www.architecturaldigest.com/gallery/container-architecture-slideshow