التصميم من أجل التغيير
الهياكل المعدنية الخفيفة ذات القابلية للبسط الفوري ... نموذجا

أحمد حامد مصطفى [١] ياسر محمد الصادق [٢]

(١) أستاذ بقسم تصميم الاثاث والإنشاءات المعدنية كلية الفنون التطبيقية جامعة حلوان مصر
(٢) أستاذ (م) بقسم تصميم الاثاث والإنشاءات المعدنية كلية الفنون التطبيقية جامعة حلوان مصر

Submit Date: 2020-12-11 01:03:48 | Revise Date: 2021-03-22 05:38:15 | Accept Date: 2021-04-10 23:02:55

DOI: 10.21608/jdsaa.2021.52618.1090

ملخص البحث:-

التصميم للتغيير هو بمثابة منهج يمكن من خلاله تحسين الإبداع الإنشائي والفراغي، يرتكز بدوره على ثلاث عناصر: تبدأ بتوفر مبررات التغيير كالمتطلب الوظيفي أو البيئي او الطارئ، ثم تعيين آليات التغيير وتشمل المسارات والوسائل والآليات، ثم تحديد تأثير التغيير التي تتعلق بالتباين في الشكل المورفولجي للنواتج. وفي هذا الإطار تعد الهياكل المعدنية القابلة للبسط الفوري نماذج جذابة لتطبيق هذا المنهج التصميمي بسبب: قدرتها على التكيف الوظيفي والتحول الحركي، والتطويق المؤقت لفراغات ديناميكية قابلة لإعادة الاستخدام، الاستجابة لتغيرات بيئية محتملة، توفير حلول بناء سريعة ومبتكرة، وإتاحة الفرصة للمستخدم في التحكم في بيئته المحيطة وإعادة تصميمها وفقاً لتوقعاته. كما يمكن لتلك النوعية من الهياكل تقديم نوع فريد من التطبيقات الخفيفة، يمتزج فيها الفراغ بالحركة بالإنشاء. تكمن مشكلة البحث في الحاجة إلى الاستفادة من منهج التصميم للتغيير في تطوير الهياكل القابلة للتحول، مع التركيز على الهياكل المعدنية الخفيفة ذات القابلية للبسط الفوري، كنموذج متميز في التعامل مع تغييرات وظيفية او بيئية متوقعة. وقد انطلقت مبررات البحث في ضوء الإستفسارات التالية: ما هي أسباب التوجة نحو منهج التصميم للتغيير؟ ما هي خصائص وأنماط الهياكل القابلة للبسط الفوري؟ ما هي آليات الحركة المستخدمة فيها؟ وما هي الوسائل والمعايير الأساسية في تصميمها؟ ويهدف البحث إلى إجراء دراسة حول منهج التصميم للتغيير وما يتصل به من موضوعات تتعلق بتصميم وتصنيف وإنشاء هياكل قابلة للبسط الفوري، يمكن إعادة تكوينها لتلبية احتياجات متغيرة. وقد انجز هدف البحث وفقاً لمنهج وصفي تحليلي، وتضمن البحث محوريين اساسين: أولهما مدخل حول العمارة المتحولة والهياكل القابلة للبسط الفوري، وثانيها اعتبارات هامة في تصميم وإنشاء هياكل معدنية قابلة للبسط الفوري، وقد أختتم البحث بمناقشة واستخلاص لبعض النتائج ذات الصلة.

الكلمات المفتاحية:-

(التصميم للتغيير، قابلية التحول، الهياكل القابلة للبسط، آليات الحركة، التطويق المؤقت للفراغ، البسط الفوري)

المقدمة :

«الشئ الوحيد الثابت في الحياة هو التغيير المستمر» بهذة الجملة عبر هيراقليطس م.٢٢ص١ عن مبدأ اساسي نعيشة في واقعنا وهو السعى الدئم نحو التغيير. لعقود عدة كان يُنظر دائماً إلى المنشآت المعدنية على كونها هياكل ترتبط بمفاهيم الاستقرار والصلابة وعدم الحركة، وهذا أدى الى صعوبة في تغيير الفراغات أو الهياكل لتتوافق مع احتياجات مستقبلية متغيرة مثل: المتطلبات الوظيفية والظروف البيئية وحالات الطوارئ..الخ. ولأن التغييركان وسيظل جزءً من حياة المجتمعات الديناميكية التي تتبدل احتياجاتها وأنماط حياتها وأنشطتها باستمرار. فقد تنوعت استجابات الباحثيين والمصممين لهذه التغييرات، وقدمت دراسات وتجارب عدة حول تصميم وتحليل وإنشاء هياكل متحولة قابلة للبسط والطي، ذات تكيف تحويلي، تتصف بالمرونة والحركة، ويمكنها التعبير عن تغييرات محتملة، وتوفير فراغات ديناميكية قابلة لإعادة التشكيل. وقد بزغت تطبيقات الهياكل القابلة للبسط الفوري منذ منتصف القرن العشرين، حيث قُدم خلالها نوعًا فريدًا من الهندسة المتغيرة سريعة الاستجابة، يسمح بتجهيز تلك الهياكل في حزم صغيره للغاية يسهل نقلها وتخزينها، وعند الحاجة يتم بسطها بسرعة للاستخدام الفوري لتطويق فراغات متنوعة. اضافة الى ذلك، فغالبا ما يتم إنشاء تلك الهياكل من مواد مرنة، خفيفة الوزن، يسهل تشكيلها وإعادة استخدامها ما يقلل من تأثيراتها على البيئة. وبسبب تلك الخصائص، فقد اضحى هذا النمط من الهياكل أكثر ملاءمة وانتشارا للتطبيقات المؤقتة مثل: المعارض، وحدات الإيواء والإغاثة، تطبيقات الطوارئ، الكباري المتحركة، المعارض.. الخ. وعليه يسعى الباحثان الى القاء الضوء على إمكانيات التصميم الجديدة للهياكل المعدنية القابلة للبسط الفوري، واستكشاف أهم التجارب التي جرت حولها، والتعرف على بعض الأنظمة الحركية لعمل التحول الهيكلي، وأهم وسائل ومعايير تصميمها. وذلك على النحو التالي:

١- مدخل حول العمارة المتحولة والهياكل المعدنية القابلة للبسط الفوري

«أن نكون عصريين يعني أن نجد أنفسنا في بيئة تعدنا بالمغامرة والقوة والفرح والنمو والتحول في أنفسنا وفي العالم، ولكن هذا قد يهدد بتدمير كل ما نعرفه وكل ما نحن عليه». بهذه الكلمة عبّر بيرمان Berman م.١٠ص١٣ عن أهمية الحاجة للتغيير في حياتنا. وهو ذات المعني الذي خلصت إليه ورشة عمل أقيمت بمعهد بيرلاج Berlage م.٨ص٥٩ تحت عنوان العمارة وقابلية التنقل، حيث طرحت الاسئلة التالية: هل يمكننا التخطيط لمستقبل كهذا؟ هل يمكننا اقتراح مدينة ذات سلوك أخف من أجل ان تكيف نفسها؟ ألا يمكن أن ينتج عن ذلك شكلاً أخف من أشكال التمدن يهيمن عليه الزمن وقابلية التغيير والمرونة؟. والخلاصة السابقة تتوافق ايضا مع المساهمة التي انتهت اليها احدى الدراسات التي أجراها هابراكين Habraken وزملائه م.٨ص١١٢ من «ان البناء ليس كيانًا ثابتًا» آي أنه يمكن ان يخضع للتغيير لتوصيل معنى معين. وحول هذا راى نوربيرج وشولتز Norberg & Schultz م.٣ص١٠٠٦ إنة «يمكن للعمارة تحديد مكان وإعطاء معنى له، كما يمكنها تغيير الفهم البشري للفراغ، ويمكن للمنشأ أن ينقل رسالة جديدة إلى مستخدميه، كما يمكنه إنشاء هوية جديدة قد تؤثر إيجابًا على حياة مستخدمية»

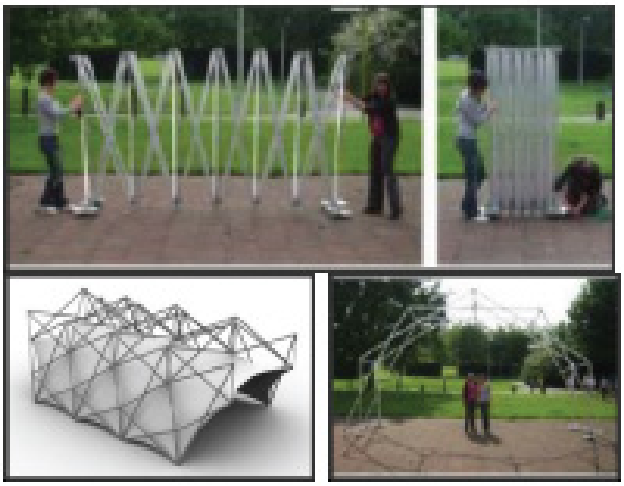
١-١ قابلية التحول والحركة في العمارة المعاصرة

قابلية التحول Transformability صفة متأصلة في كثير من نظم الإنشاء الطبيعية، وحول هذا اشار ايوان Ioan م.١٣ص٢٣٣ «أن الطبيعة تتضمن صور متنوعة من الهياكل القابلة للتحول، مثل الدودة القابلة للتمدد extensible worm، أوراق الشجر القابلة للبسط، أجنحة الحشرات والهيكل العظمي المتحرك لجسم الإنسان». وبالتالي فقابلية التحويل ليست مصطلحا مستحدثا، حيث بدأ الاهتمام بتصميم وبناء منشآت خفيفة قابلة للتحول منذ عصور قديمة. وتُعد نماذج الخيام البدوية ذات العناصر والمكونات القابلة للفتح والغلق، أحد هذه التجارب الرائده للحماية من التقلبات البيئية. حيث يتم خلالها استغلال المواد المحلية لإنشاء وحدات خيامية من هياكل صلبة وجلود مرنة، يمكن تجميعها وفكها وإعادة استخدامها بسهولة، وقد تتغير أشكالها بتغير نمط الحياة. ومن منطلق ان القابلية للتحويل تعد وسيلة مهمة للاستجابة لطموحات المستخدم، فقد اعتبر آصفي Asefi م.٣ص١٠٠٩ «أن قابلية التمدد والوظائف المتعددة وقابلية النقل والمرونة والتحكم البيئي والتحكم عن بعد؛ هي الفرص التي يمكن أن تقدمها العمارة القابلة للتحول لمستخدميها». وأضاف في موضع آخر م.٣ص١٠٠٥ «ان العمارة القابلة للتحول هي استراتيجية مناسبة للمنشآت والهياكل التي تحتاج إلى إعادة تشكيل، سواء عن طريق طيها الى شكل مضغوط لتسهيل النقل والتركيب، أو عن طريق تغيير هندستها وشكلها، من أجل التمكن من الاستجابة لتغييرات وظيفية ومتطلبات جمالية». وفي ذات السياق وصف جي دي لي J.D. Lee م.٢٠ص١٠ العمارة القابلة للتحول «بانها هياكل قادرة على اتخاذ: هيئات، أشكال، وظائف وسمات جديدة بسرعة وبطريقة منضبطة من خلال تغييرات في الهيكل أو التجليد أو الأسطح الداخلية، وان مشاريعها تكون عادة في الهواء الطلق». ان مفهوم العمارة القابلة للتحول، قد يتشابه مع مفهوم قديم لـ لوكوربوازيية Corbusier م.٣ص١٠٠٦ «عرّف العمارة بانها آلة للعيش بها»، حيث يمكن دمج قيم الآلة، بما في ذلك الوظيفة والتنظيم والكفاءة والقدرة على الحركة، في منشآت قابلة للتحويل، ما يجعلها أكثر كفاءة في التكيف مع متطلبات المستخدم. وفي المقابل، وبسبب التغييرات البيئية والاجتماعية التي تحدث في عالمنا، فقد تطور هذا المفهوم ليصل الى العمارة المتحركة Kinetic Architecture، والتي وصفها جي دي لي م.٢٠ص١٠ بأنها «هياكل أو مكونات ذات قابلية تنقل متغيره، سواء في الموقع أو في تركيبها الهندسي، وان مشروعاتها غالبا ما تسعى لتوفير تأثيرات جمالية أو جذب الانتباه». وذهب كوركماز Korkmaz م.٩ص٧،٩ الى ان العمارة الحركية تتألف من منشآت أو مكونات ذات موقع متغير وقابلية للتنقل في الفراغ و/أو هي بمثابة هندسة أو تكوين متغير». ولاحقا تطور المفهوم بشكل أكبر ليصل الى مصطلح العمارة الفورية Instant Architecture م.١ص٧٠ والتي تُعنى بالتطبيقات التي يتم انشائها بشكل فوري وسريع وعاجل ودون أي تأخير كوحدات الايواء في مناطق الكوارث، وتتطلب إنتاج اقتصادي، وسهولة في التجميع والنقل، وحيز لتطوير الوظائف على فترات زمنية أطول، وعادة ما يتطلب تصميمها نقاط مهمة كالتكرار والتجميع في بيئات قاسية محتملة.

١-٢ الهياكل المعدنية الخفيفة بين قابلية التحول وقابلية البسط

من الناحية اللغوية فإن بسط الشئ يعني: تكشف، إتسع، إنبسط أو تمدد، وعكسها ضاق، إنكمش، تقلص أو انقبض. اما كلمة deployable فتعني الترتيب أو الانتشار بشكل استراتيجي في جبهة ممتدة، أو الوصول إلى وضع جاهز للاستخدام، وهي مشتقة من الكلمة اللاتينية displicare بمعنى أن تتكشف أو تتفتح م.٢٣ص١ وعملية البسط هي التي تصف التحول الذي يحدث في الهيكل من تكوين صغير مضغوط في حالة طي، إلى تكوين منتشر ومتمدد، ليصل إلى حالة يكون فيها الهيكل مستقرًا وقادرًا على رفع الأحمال. اما مصطلح

قابلية البسطdeploya¬bility فيعني وفقا لـ برانكارتBrancart م.٥ص٣٥٨ «السماح بالفتح أو الإغلاق الفوري للهيكل، وتحويله من تكوين مضغوط إلى تكوين موسع يحوي فراغ وظيفي مطلوب، ومن أمثلتة هيكل المقص القابل للبسط deploy¬able scissor structure». وعن تعدد مسميات الهياكل القابلة للبسط أكد ويرنر Werner م.٢٠ص١١ «أنها تأخذ أسماء أخرى: مثل هياكل قابلة للنقل، قابلة للتوسيع، قابلة للتمديد، قابلة للتطوير أو هياكل محمولة»



شكل (01) أ،ب،ج هيكل معدني سريع وسهل البسط د- هيكل قابل للبسط يتضاعف لرفع المظلة (Temmerman, 2012, 2014)

وحول الخصائص والسمات الأساسية للهياكل القابلة للبسط؛ رأى فينشي Fenci م.9ص1 "ان الهياكل القابلة للبسط تتمتع بالقدرة على التحويل، وعمل تكوينات متعددة محددة مسبقاً، وتتحرك عبر مسارات معروفة، وأن البسط يتم بطريقة آمنة ومحكومة". وفي ذات الإطار أعتبر بيليجرينو Pellegrino م.9ص2 "أن الهياكل القابلة للبسط تتسم بقابلية التحويل، ولديها القدرة على توفير تغييرات كبيرة في التكوين بطريقة مستقلة، وأن العملية العكسية لها تشير الى إنقباض او تقلص الهيكل". وبسبب المرونة البنائية للهياكل القابلة للبسط وعدم حاجتها الى تجهيزات كبيرة في التشييد، أكد سبستيان Sebestyen م.17ص85 "أن الهياكل القابلة للبسط تجعل سقالات التشييد المؤقتة غير ضرورية". وبسبب قدرتها على تحسين المناخ الداخلي للمنشأ، اشار ايوان م.13ص233 "ان الهياكل القابلة للبسط والطي تتضمن نظامًا متعدد الأجسام multibody system، مما يسهل مرحلة بنائها قبل أن يتم دمجها في تجميع هيكلي، وان خصائصها في قابلية الطي والبسط والتوسيع وإعادة التشكيل توفر تغيراً في الشكل الهندسي لغلاف البناء، وتسهم في جعله قابلاً للتكيف مع عوامل مناخية متغيرة". وحول علاقة البسط بمبادئ سبق التجهيز، اعتبر بروكس Brookes م.20ص11 أن "مصطلح البسط لا يتعلق بالأمور المتلعقة بالتصنيع المسبق لعناصر الهيكل، ولكن بشكل أو بآخر يتعلق بالتجميع المسبق للهيكل بأكمله عند فتحه أو بسطه في موقع الاستخدام".

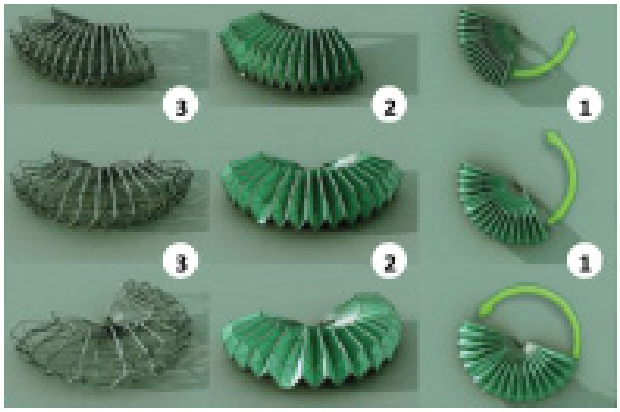
وحول أهمية هذا النمط من الهياكل، رأى جيندينا Gnedina م.11ص1 "أن الهياكل القادرة على تغيير موقعها الفراغي أو شكلها الهندسي اضحت فرعًا للعمارة والتصميم، وأن الهياكل التي يمكن أن تعيد ترتيب شكلها تتمتع بإمكانيات كبيرة كأجسام حركية في العمارة والهندسة". كما اعتبر آصفي م.2ص513 "أن التفكير في تصميميات معاصرة يظهر الطلب المتزايد على تطوير هياكل مرنة أكثر قابلية للتحويل، ويمكنها أن تتكيف مع الظروف البيئية المتغيرة وتلبي وظائف مختلفة، كما يمكن أن تساعد في الحد من النفايات البيئية والتلوث المرتبط بالمباني، وقبل كل شيء يمكن أن توفر التكلفة والوقت". وعن أهم التحديات المتعلقة بهذا النمط من الهياكل رأى سانشيز Sanchez م.14ص144 "أننا عندما نفكر في عمارة متجاوبة تتكون من هياكل قابلة للتحويل، فإننا مضطرون لمواجهة قضايا القوة البشرية، والتحكم في الفراغ، والتلاعب البيئي والاقتصاد المادي والفعالية التشغيلية، واستثمار الطاقة". وبالنسبة لمرونة الهياكل القابلة للتحويل في التكيف مع التغييرات المستقبلية، أشار برانكارت م.5ص358 "أنه يتم تصميم الهياكل القابلة للتحويل لتوقع التغييرات المستقبلية والسماح بالتكيف بطريقة أكثر كفاءة". كما اعتبر بوتين Bouten م.4ص1 "أن الهياكل القابلة للتحويل يمكن أن تقدم إجابات ديناميكية للمشكلات الحديثة، مثل البسط لإنشاء فراغات مؤقتة والاستجابة للتأثيرات المناخية وتغيير الاستخدام، وأن تصميمها يكون لأجل التغيير" وحول خاصية الاستدامة لها؛ أكد تيرمان Temmerman م.18ص457 "أن تلك الهياكل يمكنها تكييف شكلها أو وظيفتها وفقاً لظروف متغيرة، لتلبية متطلبات سريعة، باستخدام آليات قابلة للبسط أو للطي، أوباستخدام مكونات قابلة للفك وإعادة التشكيل، ليتحقق مفهوم التصميم المستدام". ولتوضيح الفرق بين مفهومي قابلية التحويل transformable وقابلية البسط de-ployable، يمكن الرجوع الى اقتباسان مهمان: م.20ص11 الأول لـ بروكس Brookes الذي رأى أنه- في العمارة المتنقلة- يمكن تصنيف جميع الأنظمة ضمن الهياكل القابلة للبسط أو سابقة الصنع. والثاني لـ آصفي الذي يؤكد أنه في بعض الأحيان تكون قابلية البسط هي نفسها قابلية التحويل، معتبراً أن الهياكل القابلة للبسط هي هياكل قادرة على إجراء تغييرات كبيرة في التكوين بطريقة مستقلة. ولتوضيح الفرق بصور افضل، اعتبر ويرنر م.20ص12 "أن صفة قابلة للبسط تعني فعل الحركة على هيكل يمكن وصفة بقابل للتحول، ولكن لا يمكن تعريف جميع الهياكل القابلة للتحويل على أنها هياكل قابلة للبسط". وبناء عليه، يرى الباحثان أن الهياكل المعدنية القابلة للبسط تعد نمط من الإنشاء الذي له القدرة على التحول من حالة، غالباً ما تكون مضغوطة، إلى أخرى منبسطة عبر آليات حركية مختلفة يسمح بتركيبها بسرعة للاستخدامات المؤقتة أو في حالات الطوارئ، مع حد أدنى من التأثير البيئي على الموقع، وأن الفرق بين الهياكل القابلة للبسط الفوري ونظيرتها ذات البسط المتدرج يكمن في كون تطبيقات النوع الفوري تُوجة بالأساس إلى مجال الإنشاء السريع، وتتطلب خفة الوزن وسرعة في عمليتي البسط والطي لتطويق الفراغ، بينما يهدف النوع الثاني إلى السماح للهيكل بالتكيف الفراغي تدريجياً وبمرور الوقت، وغالبا ما تتضمن أنظمة وصل منفصلة.

1. 3 محددات في تصنيف الهياكل المعدنية القابلة للتحول والبسط

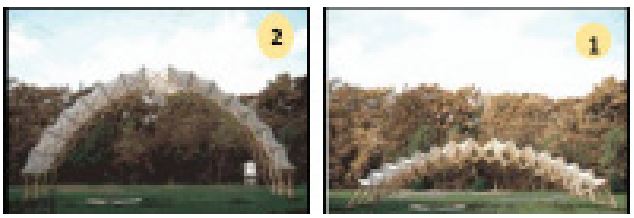
إن تصنيف الهياكل القابلة للتحويل الى مجموعات مختلفة، هو أمر مفيد لكثير من المصممين لاكتساب نظرة ثاقبة عن السمات العامة لها. حيث ان الهياكل القابلة للتحويل يمكنها التغيير في شكلها أو وظيفتها استجابة لـ: ظروف مناخية وبيئية متغيرة، أو متطلبات وظيفية أو لحالات طوارئ، وقد سعى عدد من الباحثين الى تقديم تصنيفات عدة للمنشآت القابلة للتحويل انطلاقاً من منظور الدراسة ومجالها لكلا منهم، غير مبالين بالتسمية قابلة للتحويل، قابلة للحركة أو قابلة للبسط. وارتكزت أكثر التصنيفات على الرصد الانشائي أو الميكانيكي، أو على تقييم التطبيقات وآليات الحركة التي تأخذ في الاعتبار التحولات القصوى، سواء في حالة الطي بالكامل أو حالة البسط بالكامل.

الشكل (02) مبررات أساسية لتغيير الشكل في الهياكل القابلة للبسط (من اعداد الباحثين)

وتأسيساً على الكيفية التي تجرى بها عملية التحويل في الهياكل القابلة للبسط، فقد ميّز تيرمان م.9ص2 بين مجموعتين: الاولى هياكل ذات آليات حركية تسمح بالبسط من تكوين صغير ومحكم إلى تكوين مفتوح وموسع. والثانية هياكل مصممة كنظم مكونة من عدة أجزاء kit-of-parts structures تصنّع من مكونات أساسية يمكن إعادة تكوينها واستبدالها وإعادة استخدامها. وهو ذاته الذي ذهب اليه برانكارت م.16ص276 عندما صنّف الهياكل القابلة للتحويل الى نوعين، استنادا إلى مبدأ التصميم لقابلية الفك، أولهما هياكل قابلة للفك تتكون من مجموعة أجزاء، يمكن دمجها في تكوينات متنوعة، عن طريق وصلات قابلة للانعكاس، تسمح بإعادة الاستخدام وضغط حجم الهيكل. وثانيهما هياكل قابلة للبسط تلغي الحاجة إلى التجميع والتفكيك بفضل آلية البسط الفوري. وفي ذات التوجه ميّز ايوان م.13ص233 بين أربعة مجموعات للهياكل القابلة للتحويل: هياكل القضبان الفراغية spatial bar structures (هياكل شبكية قابلة للتحويل)، وهياكل لوحية قابلة للطي fold-able plate structures، وهياكل غشائية، وهياكل كابلات الشد. ومن انواع الاخير هيكل المقصات الكابلية انظر م.11ص5Cable Scissors structer الذي يتم شدة بكابلات يتم التحكم في بسطها وطيّها بواسطة بكرة، ويتغير ارتفاعها تباعا وفقاً لقوة الشد التي تم تطويرها في الكابل. وصنّف تيرمان م.19ص6 الهياكل المتنقلة القابلة للبسط الى: هياكل مقصية (البانتوغرافي pantographic)، وهياكل الشد القابلة للبسط deployable tensegrity، والأوريغامي الهيكلي structural origami، وهياكل الأغشية القابلة للطي والانشداية Tensairity.

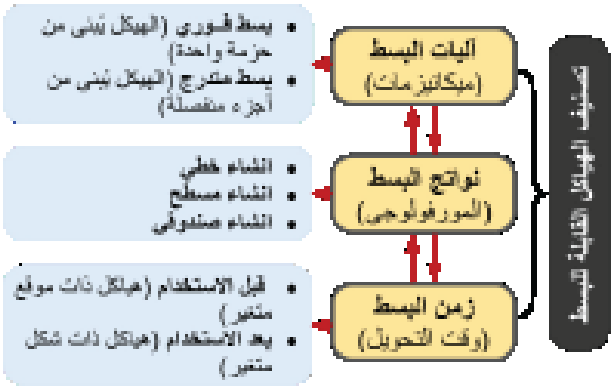


شكل (03) جناح دائري متنقل ذو شكل اوريجايمي قابل للبسط والطي يمكن غلقه بمجرد تثبيت أطرافه المتقابلة؛ من تصميم (Tang (Bouten, 2015



أ-القوس في مرحلة بداية البسط ب-القوس بعد اكتمال البسط
شكل (04) هيكل قوس المقصات الكابلية (Gnedina, 2019)

وفي محاولة لتقديم تمييز ثنائي الإتجاه للهياكل القابلة للبسط، قدّم هانور وليفي Hanaor and Levy م.4ص1 تصنيفاً مفصلاً، ميزا خلاله بين محورين اساسين. الاول يتصل بعلم الحركة kinematics ويشير الى كيفية تحقيق التحول ويضم: (آليات من روابط صلبة rigid links توفر حركة موضوعية محكمة، أو هياكل من روابط قابلة للطي deformable links يمكنها تغيير الشكل بسبب مرونة المواد). والثاني يتصل بعلم التشكل morphology ويصنف الأشكال الأساسية للتحولات (لهياكل شبكية، هياكل مستمرة او هياكل ذات جلد مجهد). كما اضاف معلم ثالث للتميز وهي قابلية التنقل mobility التي تشير إلى الحرية التي يتحرك بها الهيكل القابل للتحول.



الشكل (05) محددات رئيسية في تصنيف الهياكل القابلة للبسط (آليات البسط ونواتجة وزمنه) (من اعداد الباحثين)

وفي تركيز على محدد آخر للتصنيف، اعتبر كوركماز م.9ص7،9 ان الوقت محدد رئيسي في تصنيف الهياكل الحركية معتبراً ان وقوع الحركة قبل وقت الاستخدام بصفتها الفعل الذي ينشئ الهندسة الأولية للهيكل ينتج عنها نوع اول من المنشآت يكون ذا موقع متغير، واذا وقعت الحركة بعد تحديد الهندسة واستخدام المنشأ، ويكون الهيكل قادر على التعديل والتكيف مع تغييرات مستقبلية، ينشأ نوع ثاني من المنشأت تكون ذات هندسة أو حركة متغيرة. واضاف كوركماز الحركة النشطة kinetic movement كمحدد ثاني للتصنيف، حيث ربط الحركة بطبيعة مادة الهيكل، ورأى أن الأشكال الناعمة يمكنها تنفيذ مجموعة واسعة من الحركات دون الحاجة إلى مفصلات كونها حركة متأصلة في الماده، وان الأشكال الصلبة يمكنها أن تؤدي حركات منزلقة أو قابلة للطي أو الدوران عن طريق وصلات تربط أعضاء الهيكل. ومن ثمّ يمكن القول إن تعدد المحاولات لتصنيف وتمييز الهياكل القابلة للبسط، وتعيين الروابط المختلفة بين أنماطها؛ قد بيّن ان هناك صعوبة في التوصل الى تصنيف شامل لهذة الهياكل، وبخاصة مع كثرة الآليات والطرق التي يمكن أن يحدث بها البسط، فالتطبيق الواحد قد لا ينتمي بالضرورة إلى فئة واحدة، بل يمكن لخصائصه أن تقع في أكثر من فئة فرعية. ورغم قيام كثير من الباحثين، على مدى اكثر من ثلاثة عقود، بتقديم دراسات نقدية للتوصل الى تصنيف يُجمع علية، الا ان التطور المتوالي في التقنيات والمواد، يجعل التوصل الى تصنيف نهائي أكثر تعقيداً. ومع ذلك فقد سعى الباحثان الى تقديم تصنيف للهياكل القابلة للبسط يرتكز على ثلاث محددات أساسية: حركية أو شكلية أو زمنية (انظر شكل 05)، وقد تضمن المحدد الاول: الآليات الحركية المستخدمة في بسط الهيكل بصورة فورية او بصورة متدرجة، في حين ركز المحدد الثاني على النواتج الشكلية (المورفولوجي) المتولدة عن عملية البسط في اشكال خطية او مسطحة

او مركبة، وتعلق المحدد الثالث بزمن البسط سواء قبل الاستخدام او بعدة، والذي يتحدد في ضوئهما وقوع التغيير في الشكل ام في الموقع.

1. 4 تحليل بعض تطبيقات الهياكل المعدنية القابلة للتحول

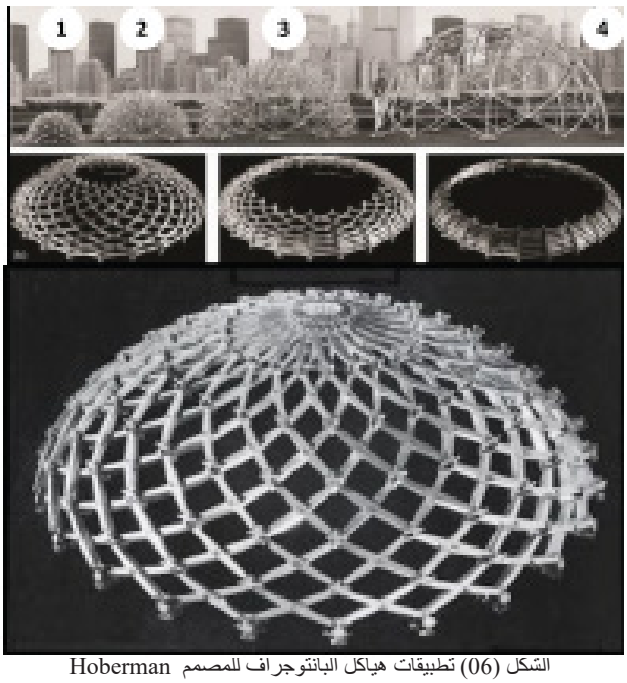
بسبب خصائص الهياكل المعدنية القابلة للتحويل في تغيير نفسها إلى تكوينات هندسية مختلفة وفقاً لمتطلبات المستخدم، نوع النشاط أو الظروف البيئية، فقد أكدت مادن Maden م.15ص465 "أنه قد ثبت أن لتلك الهياكل مجموعة واسعة من التطبيقات في العمارة، مثل الأسطح القابلة للسحب والجسور المتحركة وملاجئ الطوارئ وقاعات المعارض والملاعب الرياضية والأجنحة والمسارح". من الأمثلة الرائعة على الهياكل المعدنية القابلة للتحويل، هياكل القضبان القابلة للبسط، والتي تشبه المقص(Scissor like Elements (SLEs، التي تم استخدامها في تطبيقات معمارية عديدة. ويعد المصمم الإسباني بينيرو Piñero م.10ص89 رائداً لهذا التوجه، حيث كان أول من بنى هيكل قابل للبسط مكون من عناصر تشبه المقص (SLEs)، وحلل مبادئه الهندسية والهيكلية وحصل على براءات اختراع عدة عنها، وخصص أول اعماله في العام 1961م لإنشاء مسرح متنقل قابل للطي أو للبسط في كل اتجاه وسهل النقل، وكان هيكله الخاص يشبه آلية حركية، لأنه خالٍ من الإجهاد أثناء الانبساط في التكوينات المدمجة والمنبسطة، وباستثناء وزنه الثقيل، فقد تطلب الأمر استخدام بعض الكابلات الإضافية لغلق النظام وتوفير الاستقرار اللازم بعد طيه. كما وضع بينيرو العديد من التصاميم الأخرى القابلة للبسط، وكانت أكبر عيوب تصميماته هي المفاصل الثقيلة والكبيرة نسبياً بسبب الوصلات غير المركزية والدعم المؤقت الضروري، حيث كان يتم تقوية الهيكل بواسطة قضبان وسيطة أو عناصر شد تمت إضافتها بعد بسط الهيكل في التكوين المطلوب. وباستخدام مبادئ العنصر المقصيه (SLEs)اقترح بينيرو راجع م.15ص554 العديد من تطبيقات الهياكل المعدنية القابلة للبسط لتحقيق تطويق مؤقت للفراغ temporary enclosures، وتوافرت بها قابلية النقل، وتحقق فيها مفهوم الحركة والمرونة في التكيف مع التغيير. ولهذة الاسباب كانت تجارب وتطبيقات بينيرو مصدر إلهام للعديد من الباحثين والمصممين على مستوى العالم. ومن أمثلة ذلك ما يلي:

أ- تطبيقات هياكل البانتوغراف

استخدم المصمم هوبرمان Hoberman م.4ص23 وحداته ذات الزوايا، لبناء العديد من هياكل البانتوغراف على نطاق النحت المعماري. وجميعها قابلة للبسط شعاعياً، إما بالضغط على موضع مركزي كما في القبة الجيوديسية أو على طول محيطها كما في قبة ايريس. ومن ابرز التطبيقات البارزة في هياكل القضبان القابلة للبسط المشكّلة من عناصر مقصية SLEs، القبة الجيوديسية القابلة للتوسيع التي قدمها هوبرمان م.15ص554 والتي تتمدد وتنبسط من مجموعة مدمجة بطول 1.5م إلى قبة بطول ستة أمتار عن طريق سحبها للخارج من قاعدتها، وهي على نفس النمط المثلثي في قبة فولر الجيوديسية geodesic dome. كما صمم هوبرمان قبة إيريس Iris Dome وهي عبارة عن قبة لاميلا ذات هندسة لولبية متشابكة، وهي تتكون من ست حلقات متحدة المركز من عناصر زاوية، وتستخدم ألواح صلبة لتكسية الهيكل، حيث تعلق اللوحات على العناصر الزاويّة المنفردة، وتنزلق بدورها فوق بعضها البعض، ويتم تكديسها او طيها فوق بعضها في التكوين المفتوح، بينما تشكل سطحاً مستمراً عند إغلاق القبة.

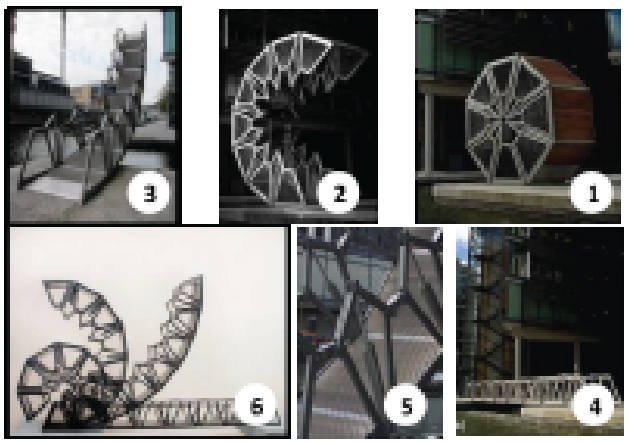
ب- الجسور القابلة للبسط

بسبب تنوع المتطلبات الوظيفية للجسور: سواء في الحاجة الى تغيير



الشكل (06) تطبيقات هياكل البانتوجراف للمصمم Hoberman
مراحل البسط لـ: القبة الجيوديسية وقبة إيريس (Maden,2019)

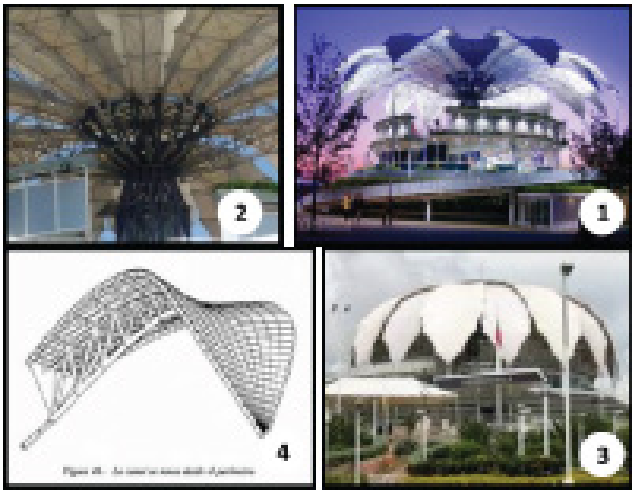
موضعها أو شكلها أو في السماح بمرور القوارب في المجرى المائي، فقد تم دمج مفهوم الحركة مع الهيكل في تصاميم عدة لجسور مشاة متحركة. ومن أمثلتها ما قام به المصمم هيذرويك Heatherwick م.15ص563 في العام 2004 من تصميم جسر دائري للمشاه، لعبور جزء من قناة جراند يونيون Grand Union في لندن. يتكون الجسر من ثمانية أقسام معلقة على مستوى الممشى، ويمتد بطول 12.9متر. ولتوفير طريق وصول لكل من المشاة والقوارب في المدخل، فقد تم تصميم الجسر كهيكل معدني متحرك يمكن أن يتحول من جسر مستقيم تقليدي إلى شكل منشوري متموضع على ضفة القناة. وتم فيه استخدام سلسلة من ازرع هيدروليكية على كلا الجانبين، لبسط الهيكل أو طيه حتى يتلامس طرفاه. يتم رسم أقسام الجسر المحورية تجاه بعضها البعض مما يخلق حركة انكماش بطيئة، يسمح النظام أيضاً بإيقاف الجسر في أي وقت خلال عملية التحول.



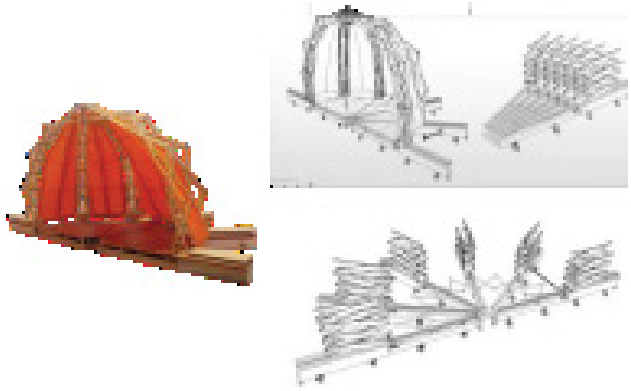
شكل (07) ا- مراحل بسط الجسر الدائري Rolling Bridge للمصمم Heather-wick (google.com)

ج- المعارض الدولية (الجناح الفنزويلي إكسبو 2000)

يُعد السقف المتحرك للجناح الفنزويلي في معرض إكسبو 2000 راجع م.3ص1008 في هانوفر بألمانيا، مثالاً مميزاً على الإطارات المعدنية القابلة للبسط، والتي تلبي توقعات وظيفية وفنية. يتم فتح السقف وغلقة مثل زهرة تم طلائها بالألوان الوطنية الفنزويلية، اشتمل السقف على (16) مقطعاً متحركاً على شكل ورقة نباتية في ترتيب حلزوني الشكل. تتكون كل ورقة من دعامات فولاذية مثلثة منحنية مغطاة بأغشية مشدودة مسبقًا بواسطة كابلات شد من أجل تحقيق الاستقرار الهيكلي ضد القوى الخارجية. تتشعب الأجنحة القابلة للسحب للخارج من المركز في طبقات متداخلة. صمم السقف الضخم، ليغطي مبنى أسطواني الشكل، ويرمز إلى المناظر الطبيعية لفنزويلا. وقد حقق التصميم، الوحدة بين المكونات الهيكلية والنسجية، وأوجد تفاعلاً وثيقاً واستجابة مع الظروف الجوية المتغيرة، وأيضا سلط الضوء على الإمكانات الرمزية للهيكل الإطاري المعدني القابل للتحويل.



الشكل (08 الجناح الفنزويلي القابل للبسط والطي من تصميم Fruto Vivas بالتعاون مع Frei Otto (web & Diego,2001)



شكل (09) خطوات البسط الفوري لهيكل خفيف على شكل قبة نصف كروية من تصميم ناتاليا لوندانو (Natalia,2013)

بناء على ما سبق، يمكن استقراء ان هناك توجة بنائي نحو التصميم للتغيير باستخدام هياكل معدنيه مرنة قابلة للبسط بشكل فوري، يمكنها المساهمه في تحسين الإبداع الانشائي، عبر النمو من بُنى صغيره الى أخرى كبيره قابله للاتساع، كما يمكنها تغيير شكلها أو وظيفتها من أجل تطويق فراغات ديناميكية، والاستجابة المرنة والسريعة لبعض المشكلات: كالمحافظة على البيئة، التكيف مع مناخات مختلفة وظروف طارئه واحتياجات وظيفية وبيئية متوقعة، اضافة الى إتاحة أشكال مرغوبة وحلول فراغية مبتكرة تتيح للمستخدمين التحكم في بيئتهم المحيطة وإعادة تصميمها وفقاً لطموحاتهم. كما يرى الباحثان أن بعض المفاهيم مثل: الحركة، المرونة، التكيف، قابلية التحول وقابلية البسط، يمكن أن تعزز من القدرات البنائية لمصممي المنشأت الخفيفة، وترسخ مزايا مبتكرة ومستحدثة لتطبيقاته، وتزيد من قدرات الأخيرة في الاستجابة للتغيرات الفراغية والبيئية المحتملة. اضافة الى ذلك فإن القدرات التحويلية للهياكل المعدنية القابلة للبسط، قد زاد من فرص استخدامها في تطبيقات مؤقتة، وعزز من قدراتها في التعاطي مع قضايا مستحدثة تتعلق بـ: سهولة النقل والتركيب، سرعة التشييد، الاستدامة، والإزالة، والاستبدال، الكفاءة في توظيف المواد، قابلية التنقل، التجهيز الفوري للطوارئ، خفض التأثيرات البيئية على مواقع الإنشاء.

-2 اعتبارات هامة في تصميم وإنشاء هياكل معدنيه قابلة للبسط الفوري

يرتكز مبدأ التصميم من أجل التغيير على تبني منهج تصميمي يهدف إلى تطوير أنظمة هيكلية قابلة للتحول يمكن تكيفها مع حد أدنى من تدخل فنيين ذووا خبرة، ويتم بنائها عبر عملية تشاركية يستطيع المستخدم خلالها تشكيل بيئتة المشيدة، ما يمنحة فرصة التحكم في إجراء التغييرات وفقًا لاحتياجاته. ولتحقيق ذلك فإن الامر يتطلب أنظمة حركية تتيح فكها وتركيبها وإعادة تكوينها بسهولة لمرات عدة، وعندئذ يمكن أن نتحصل على تغييرات تلقائية وفورية في المنشأ المستهدف. وتعد الهياكل المعدنية القابلة للبسط ذات التطبيقات المؤقتة، مناسبة تماماً لهذا التوجة البنائي، وخاصة انها تتصف بالخفة وتوفر مستويات عدة لمشاركة أشخاص عاديين في بناء النظام. وفي هذا الإطار قدّم كوي كو koi khoo م.14ص146 تصور عام حول العوامل الرئيسية لتصميم هيكل مرن قابل للتحول: أولها الوحدات Modules حيث يتم تصميم مكونات معيارية ويتم تمثيلها في شكل نماذج بارامترية، وثانيها المواد حيث البحث في المواد المرنة والمتاحة لتنفيذ الهيكل، وثالثها آلية للحركة، حيث البحث في بدائل جديدة لآليات بسيطة مثل الوصلات. وأخيراً طريقة التجميع assembly لوحدات الهيكل المرن القابل للتحويل. ويمكن توضيح هذا العناصر عبر نقطتين: آليات الحركة ومعايير التصميم للهياكل القابلة للبسط الفوري، وذلك على النحو التالي:

2. 1 آليات الحركة في الهياكل المعدنية القابلة للبسط الفوري

"إن التطبيقات النموذجية في العمارة هي بمثابة هياكل متحركة قابلة للبسط أو أسقف قابلة للسحب" تلك مقولة لـ تيمرمان م.18ص460 أكد خلالها ان إدخال آلية الى الهيكل، يعني تزويده بدرجة حرية حركية واحدة أو أكثر Degrees of freedom وأن هذا يوفر للهيكل القدرة على تكرار التحول من حالة إلى أخرى وبالعكس. وحول أهمية البحث في آليات الحركة في الهياكل المعدنية القابلة للبسط، أشار دوروفتي Doroftei م.7ص2 ان ذلك يهدف الى إيجاد حلول للآلية التي يمكن أن تسمح للهيكل بالطي في حزمة مدمجة، وفي ذات الوقت الحصول على أقصى تكوين موسع وصلابة عالية أيضاً، واضاف ان تحقيق ذلك يتطلب خطوة أولى، هي إيجاد الالية الامثل للهيكل، والتي يجب أن تتطلب حد أدنى من المشغلات لفتحها أو طيها، وفي خطوة تالية يتم حل مشكلة توليف الأبعاد. وبشكل عام، يمكن تقسيم مكونات المنشآت القابلة للتحويل إلى ثلاثة عناصر، كما بالرسم، هي : آليات حركة، هياكل حاملة ومكونات سطحية.

الشكل (10) مكونات المنشآت المعدنية القابلة للتحويل : هيكل انشائي، آليات الحركة تجاليد او تغطيات (من اعداد الباحثين)

وحول ذات الإطار راى برانكارت م.16ص279 "ان الميزة الرئيسية في الهياكل المعدنية القابلة للبسط الفوري تكمن في قدرتها على التحول من حزمة مدمجة إلى حجم يحيط بالفراغ بسرعة كبيرة، دون الحاجة إلى تجميع متدرج، وان تصميمها يتطلب معرفة دقيقة بالمبادئ الحركية السائدة" ونظرا لان الهياكل المعدنية المقصية أكثر تلك الهياكل المعدنية ذيوعاً، فان عملية التحول فيها تتم عبر آلية مقصية تتكون من عناصر شريطية تتصل من خلال مفصلات. وفي هذا السياق اشار فريدمان Friedman م.10ص88 إن النظام الحركي لعدد كبير من الهياكل المعدنية التي يمكن فتحها وإغلاقها يعتمد على مصطلح يعرف بنظام الملقط البطئ lazy tong system، وان الحد الأدنى من مكونات هذا النظام هو عناصر شبيهه بالمقص (SLE) تتكون من شريطين متصلين ببعضهما البعض بمفصل دوار. وحول فرص انتشار تلك الهياكل المعدنية أشار دوروفتي م.7ص1 "أن الهياكل المعدنية القائمة على المقص هي هياكل شبكية قابلة للتوسيع تتكون من قضبان مفصلية، تتصف بالتعقيد الميكانيكي لأنظمتها الخاصة بالطي والبسط، وهذا ما يقلل من فرص انتشار تطبيقاتها بشكل واسع".

الشكل (11) مكونات النظام في الهياكل المعدنية القابلة للبسط الفوري: جانب انشائي، جانب وظيفي، جانب تقني (من اعداد الباحثين)

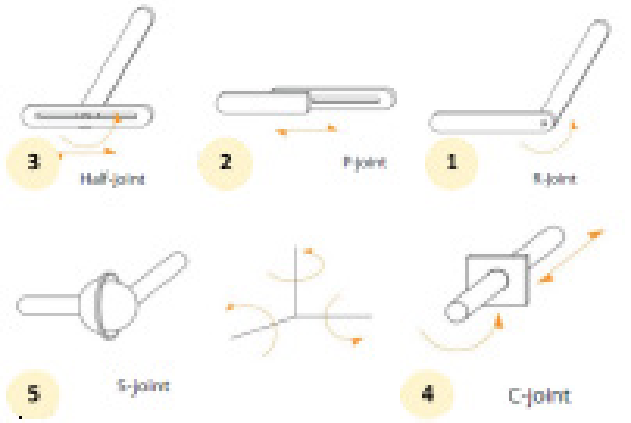
وحول ضرورة الاهتمام بالانظمة المتحركة للحصول على هياكل ذات كفاءة وفعالية، أعتبر ويرنر م.20ص17 "أنه من الثابت أن آي نظام تجميع مصمم جيداً، لا يتم فهمه تماماً في جميع معلماته حتى يتم تجربتة ماديا، وأحياناً، ومع المعرفة المتقدمة ومساعدة البرمجيات والنماذج، فإن تصميم أنظمة معقدة ذات مفاصل متحركة، يكون أمر يصعب فهمه ككل، ما يؤدي إلى مشاكل لا يمكن توقعها". وحول ضرورة الاهتمام بانظمة الوصل والتجميع في الانظمة المتحركة، قدّم ويرنر رؤية عامة لفهم كيفية عمل المنشآت القابلة للتحويل وقسّم النظام المتحرك فيها إلى ثلاثة أجزاء: جزء انشائي يتضمن (الصلابة، الاستقرار، التوازن والتحمل) وجزء وظيفي (قابلية التحويل وإمكانية النقل)، وجزء تقني (تعديل العناصر وخفة النظام والتجميع بين العناصر). وحول طريقة التعامل مع تلك الانظمة المتحركة أشار بوتين م.4ص3 الى "أن أهم شيء يجب مراعاته عند التعامل مع الجوانب الميكانيكية في الهياكل المعدنية القابلة للتحويل هي أنها تتصرف كنظام مغلق، وليس مجرد آليات منفصلة مرتبطة ببعضها البعض". كما طالب تيمرمان م.18ص459 بمراعاة "أن تلك الهياكل المعدنية ليست مصممة في حالة نهائية، ولكن في حالة انتقالية".

ومن منطلق أن الهياكل المعدنية القابلة للبسط الفوري هي بمثابة آليات حركة mechanisms بطبيعتها، فإن فهمها من هذا التوجة، يتطلب عرض بعض المفاهيم على النحو التالي:

أ- درجات الحرية (D.O.F.):

ان أي حركة محتملة لنظام ميكانيكي يمكن أن تخضع لدرجات حرية أو درجات تنقل. وقد اعتبر نورتن Norton م.4ص3 "ان درجة الحرية للآلية: تساوي عدد القياسات المستقلة اللازمة لتحديد موقعها في الفراغ بشكل فريد في أي لحظة، أو بعبارة أخرى: تساوي عدد المدخلات التي يجب توفيرها من أجل إنشاء مخرجات يمكن التنبؤ بها". وتعد دراسة درجة الحرية من الامور الهامة في تصميم الهياكل المعدنية القابلة للبسط والطي.

ب- أشكال الوصلات المرنة: الوصلة وسيلة تسمح باتصال رابطين أو أكثر، ونظراً لوجود مشاكل عملية لا يمكن تجنبها، فإنة يمكن الحصول على المفصل Joint المطلوب باستخدام وصلات منفصلة connec-tors، ويتم تحديد المفاصل بشكل أكبر من خلال درجات الحرية التي تمنحها بين عناصرها المتصلة، وعادة ما تأخذ المفاصل الأكثر استخداماً في الهياكل المعدنية القابلة للبسط الفوري الاشكال التالية.



الشكل (12) الوصلات المستخدمة في الهياكل المعدنية القابلة للبسط الفوري (1/ مفصل دوّار 2 R/ مفصل منشوري3 P/ نصف مفصل 4/ مفصل أسطواني 5 C/ مفصل كروي S) (راجع Sam Bouten, 2015)

ب1.مفصل دوّار Revolute joint:

وصلة مسمارية Pin joint تعمل على إصلاح اتصالات مرتبطة على محور مشترك، بحيث يكون له حرية دوران واحدة (1DoF) وتعرف بالوصلة R ، كما هو موضح بشكل(12-1)

ب2.مفصل منشوري Prismatic joint:

عبارة عن اتصالات مجمعه لها حرية انتقالية واحدة مقيدة (1DoF). كما في الأنظمة التلسكوبية، وتعرف بالوصلة P ، كما هو موضح بشكل(12-2)

ب3. نصف مفصل Half-joint:
روابط لها درجتي حرية (2DoF) واحدة لدوران انتقالي واخرى لدوران مستوي، ويشار إليها بنصف مفصل لأنها تحد من نصف DoF كمفاصل نموذجية من النوعين السابقينP & R،كما هو موضح بشكل(3-12)

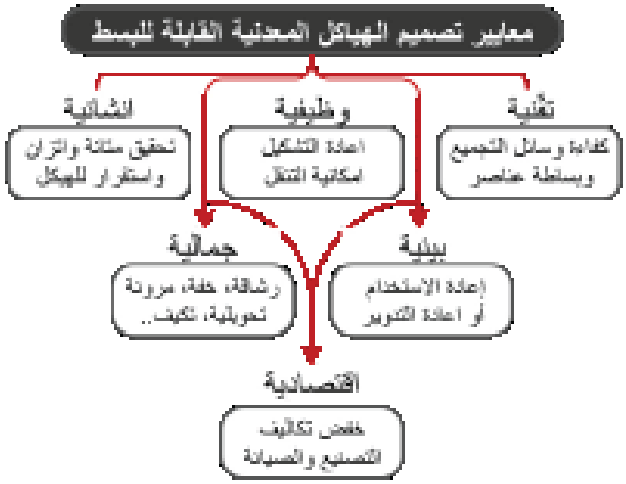
ب4. مفصل أسطواني (C Cylindrical joint)-:
روابط لديها درجتي حرية (2DoF): واحدة لدوران انتقالي وواحدة عمودي، وتعرف بوصلات من نوع C ،كما هو موضح بشكل(-12 4)

ب5. مفصل كروي Spherical joint:
روابط لها ثلاث حريات دوران مستقلة (3DoF)، لكن جميع الدرجات الانتقاليةملزمة،وتعرفبوصلاتمننوعS،كماهوموضحبشكل(-512)

ج- التصنيع سابق التجهيز:
يعرف هذا الاسلوب وفقاً لـ آشاريا Acharya م.1ص74 "بأنه أحدى طرق البناء البديلة والشائعة، التي ترتبط بإنتاج مكونات بنائية في منطقة خاضعة للرقابة، ثم تسلم وتجمع لاحقاً في موقع الإنشاء". هذا الاسلوب مهم جداً في اعداد وتجهيز اجزاء ومكونات الهياكل المعدنية القابلة للبسط الفوري، وذلك بسبب اتاحتة لمزايا عديدة مثل: امكانية تصنيع وتجميع وتركيب الهيكل في وقت قليل جدا، سرعة في الإنشاء، تكلفه قليلة، توفير حلول عملية لمواقف انشائية صعبة، توفير مكونات بناء معقدة منتجة بدقة عالية وفقا لتقنيات رقمية، توظيف مواد خفيفة الوزن، المساهمة في الحدّ من التأثيرات البيئية، توحيد قياسي، تحسين مراقبة الجودة، تقليل مخلفات المواد، وإتاحة الفرصه لإعادة الاستخدام أو إعادة التدوير لمكونات الهيكل.

2.2 وسائل هامة في تصميم وتحليل الهياكل المعدنية القابلة للبسط
إن تصميم وتحليل الهياكل المعدنية القابلة للبسط الفوري هو أمر دقيق تماماً، لان تلك العملية تتصف بدرجة عالية من التعقيد في العلاقة بين مجالات العمارة والإنشاء والميكانيكا، وخاصة عند التدقيق في أشكالها وسلوكها الحركي وأدائها الانشائي. وفي بعض الأحيان قد تزداد الصعوبة عند دمج متغيرات تصميميه أخرى يجب أخذها في الاعتبار كالعوامل الاجتماعية والثقافية. إن توفر برامج تحليل يمكنها أن تأخذ في الاعتبار كل العناصر السابقة ليست متاحة على نطاق واسع. وفي هذا السياق أشار تيمرمان م.19ص18 الى أنه "من المهم توظيف أدوات البرامج الرقمية التي لا غنى عنها أثناء تصميم هياكل قابله للبسط، لأن تلك الأدوات يمكن ان تساعد في كفاءة وسرعة عملية التصميم، وفي الوقت نفسه توفر نظرة ثاقبة للمصمم، كما انها تتيح دمج بيئة التصميم التفاعلية مع مكونات التحليل، مما ينتج عنه تغذية مرتدة مباشرة على خيارات التصميم التي يتم إجراؤها". ولا تعد النمذجة البارامتريةparametric modelling وسيلة جيدة فقط لتوليد الاشكال الهندسية وتكييفها بسهولة، لكنها أيضاً أداة مناسبة للتقييم الفوري للسلوك الحركي للآليات الهيكلية. وفي هذا السياق رأى تيمرمان م.18ص464 إن معظم أدوات البرامج لا يمكنها التعامل مع الاشتراطات الحدية المحددة ومتطلبات الأنظمة القابلة للبسط، ورغم ذلك اشار الى برنامج Rhinoceros 3Dللنمذجة ثلاثية الأبعاد، كأحد برامج التصميم المتطورة في هذا المجال. وأكد على إمكانية توظيف البرنامج في إنشاء جميع أنواع الهياكل المعدنية المعقدة، والاستفادة من المكونات الإضافية المبتكرة التي يتيحها، والتي يتم تطويرها غالبا بواسطة المستخدمين. وقد سعي Hussein وزملائه م.12ص747 الى تطوير نموذج أولي للكتل الحركية kinetic blocks لهياكل القضبان الفراغية، وتقييم إمكاناتها في احداث تحول للاشكال الحره، واوصوا بضرورة وجود إطار تصميم يشتمل على استراتيجيات تصميم بارامترية وخوارزمية وحركية. واقترحوا منهجية للتصميم تتضمن ثلاث مراحل رئيسية هي اكتشاف الشكل والتحقق من استقراره وتشغيله. ورغم المزايا التي توفرها أدوات البرمجة الرقمية عند تصميم وتحليل هياكل قابلة للبسط، إلا أنة لا يمكن أغفال أهمية توظيف أدوات التصميم المفاهيمي والتصميم بالتجربة واستخدام نماذج مادية ذات مقياس مناسب، وخاصة في المراحل الأولى للتصميم، وذلك بهدف الكشف عمليا على بعض عيوب التصميم التي قد يتم تجاهلها في النماذج الرقمية، اضافة الى إتاحة رؤية عميقة حول اتزان الهيكل، وتزويد المصمم بردود فعل فورية على التصور المقترح، عبر تدقيق وملاحظة مباشرة للجوانب الشكلية والانشائية والحركية للهيكل.

2. 3 معايير اساسية في تصميم الهياكل المعدنية القابلة للبسط
عند تصميم الهياكل المعدنيه القالبة للبسط الفوري، من المهم توجيه جُل جهود التصميم والإنشاء نحو مكونات الهيكل، مع التركيز على توافق المكونات ووسائل وصلها واستقرار الهيكل ، إن بناء وإنشاء وإزالة هيكل معدني يمكن تكرار بسطة أو طية بكفاءة وفعالية وسرعة من قِبل اشخاص قليلي الخبرة في بيئات متنوعة وفي فترة زمنية قصيرة وبأقل قدر من المخلفات، وذلك يتطلب التركيز على مجموعة من معايير التصميم التالية:



شكل (13) يوضح معايير اساسيه لتصميم هياكل معدنيه مؤقتة قابلة للبسط والطي (من اعداد الباحثين)

أ- **جوانب تقنية:** يراعى تصنيع مكونات الهياكل المعدنية بالكامل وفقا لمبادئ سبق التجهيز، حتى يسهل شحنها إلى الموقع النهائي للتركيب، كما يراعي تبسيط وسائل الوصل والتركيب وتقليل الوصلات، مع تحقيق الدقة والتنميط، وتجنب التفاصيل المعقدة، وتبسيط آلية التجميع، وتحقيق ذلك سيؤثر اجمالا على تكلفة التصنيع والإنشاء.

ب- **جوانب بيئية:** يراعى التصميم وفقا لدورة حياة متكاملة للهياكل المعدنية، بدء من التصميم مرورا بالإنتاج والتركيب والاستخدام ونهاية بإعادة الاستخدام او التدوير، ويستفاد بذلك من التقنيات المتقدمة والمواد الجديدة في تقليل الوقت اللازم لإنشاء الهيكل، مع التركيز على استخدام مكونات قابلة لإعادة التدوير وغير ضارة بالبيئة، وتصميم آلية البسط والطي بطريقة يمكن أن تقلل من التآكل والتلف أثناء عملية التحول، وان يكون الهيكل ككل قابلاً للتكيف مع ظروف بيئية مختلفة.

ج- جوانب وظيفية: تتميز الهياكل المعدنية القابلة للبسط بوجود وظيفة مزدوجة لعناصرها الانشائية، فلديها وظائف ميكانيكية وانشائية توفر المأوى، وفي نفس الوقت تنقل المكونات الميكانيكية الأحمال لإنشاء تكوينات قادرة على تحقيق الاتزان، وهذا ما يعزز

من مزايا تلك الهياكل المعدنية في قابليتها لإعادة التشكيل الفوري. ويراعى التصميم الفعال لآلية طي الهيكل المعدني في حزم صغيرة جداً يسهل نقلها وتخزينها وتحقق قابلية التنقل، مع إتاحة الفرصة لامكانية استخدام الهيكل المعدني في مواقف مؤقتة وتطبيقات متنوعة.

د- جوانب جمالية: يراعى ان تكون تفاصيل الهياكل المعدنية فعالة وبسيطة ودقيقة وجذابة، مع تقديم معالجات فراغية للهياكل المعدنية تتسم بالابتكار والحداثة والمرونة والخفة والرشاقة، والتعامل مع الهياكل المعدنية كتشكيل نحتي يعبر عن مضامين الإنشاء المستقبلي، ومبادئ العمارة المتحولة والعمارة الديناميكية.

هـ- جوانب انشائية: يراعى تصميم الهياكل المعدنية ليكون قابل لإعادة التكوين بطريقة مستقرة أثناء عمليتي الطي أو البسط، وان يكون متزناً عند الاستخدام لضمان سلامة المستخدمين، نظراً لتكرار عمليات الفتح والإغلاق له ومن المهم اتخاذ ترتيبات خاصة لضمان الحركة السلسة والموثوقة للمكونات الهيكلية، والاهتمام بآليات الحركة والتفاصيل، وان يتم اختيار مواد ومكونات الهيكل المعدني بكفاءة وفعالية في كل حالاتة المفتوحة والمغلقة وأثناء عمليات التحول.

و- جوانب اقتصادية: من المهم مراعاة كل التكاليف الخاصة بإنشاء والتصنيع والتشغيل والصيانة الفعالة لاجزاء ومكونات الهياكل المعدنية القابلة للبسط الفوري، لانه من المتوقع عند خفض التكاليف، ان ترتفع مشاركة قطاع أكبر من المستخدمين لتلك الهياكل المعدنية، وان تتزايد فرص انتشارها في العديد من التطبيقات المؤقتة.

مناقشة لاهم ما جاء في البحث

يرى الباحثان أن التصميم للتغيير بمثابة منهج يمكن من خلاله تخطيط وتحليل وإنشاء تطبيقات خفيفة ذات تكوينات او حركات متغيرة، لها القدرة على التكيف الفراغي من حالة الى أخرى مع امكانية الرجوع الى الحالة الاولى دون عوائق، وعادة ما يرتكز هذا منهج للتغيير على ثلاث عناصر: اولها توفر مبررات التغيير كالمتطلب الوظيفي، البيئي أو الطوارئ، وثانيها تعيين آليات التغيير التي تشمل المسارات والوسائل والآليات التي تُحدث التغيير، وثالثها تأثير التغيير والذي يتعلق بالتباين في الشكل المورفولجي لنواتج التغيير. كما يرى الباحثان أن ذاك المنهج التصميمي للتغيير يكاد ينطبق على الهياكل المعدنية القابلة للبسط بشكل فوري، التي يتحقق فيها الإبداع الانشائي والمرونة الوظيفية بشكل مميز، وذلك لكونها نموذج مثالي للهياكل المرنة القابلة للتحويل، التي يمكن تغيير شكلها أو وظيفتها من أجل تطويق فراغات ديناميكية، والاستجابة المرنة والسريعة لبعض المشكلات: كالمحافظة على البيئة، وظروف طارئه واحتياجات وظيفية وبيئية متوقعة. اضافة الى ذلك فان هذا النمط من الهياكل المعدنية يمكنه تطويق فراغات مؤقتة بشكل فوري وتلبية متطلبات استخدامية متغيرة، وبالتالي فهي بمثابة توجة بنائي نحو عمارة أكثر ديناميكية. وان مفاهيم: كالحركة وقابلية التحول وقابلية البسط والطي، قد عززت المزايا المبتكرة والمستحدثة لتطبيقات الهياكل المعدنية الخفيفة، وزادت من قدراتها في الاستجابة للتغيرات الفراغية والبيئية المحتملة، وساهمت في توفير أشكال مرغوبة وحلول فراغية مبتكرة تتيح للمستخدمين التحكم في بيئتهم المحيطة وإعادة تصميمها وفقاً لطموحاتهم كما يرى الباحثان ان الفرق بين الهياكل المعدنية ذات البسط الفوري ونظيرتها ذات البسط المتدرج يكمن في ان تطبيقات النوع الفوري تُشكل كحزم وتوّجة بالاساس إلى مجال الإنشاء السريع، وتتطلب خفة وزن وسرعة في عمليتي البسط والطي، بينما تطبيقات النوع الثاني تسمح للهيكل بالتكيف الفراغي تدريجياً وبمرور الوقت، وغالبا ما تتضمن أنظمة وصل منفصلة. رغم أن الهياكل المعدنية القابلة للبسط الفوري تسمح بالتركيب السريع جدًا، إلا أن تصميمها وتفاصيلها غالبًا ما تكون معقدة، بسبب تضمنها لمدخلات معمارية وانشائية وميكانيكية، ومع ذلك فان عملية تجميعها غالبا ما تكون بسيطة نسبيًا ويمكن تنفيذها بواسطة أشخاص قليلي الخبرة. ويرى الباحثان ان تعدد المحاولات التي جرت لتصنيف الهياكل المعدنية القابلة للتحويل، وتعيين الروابط المختلفة بين أنماطها؛ يبين انه ما زالت هناك صعوبة في التوصل الى تصنيف جامع لتلك الهياكل المعدنية، وذلك بسبب كثرة الآليات والطرق التي يمكن أن يحدث بها البسط، وكذا بسبب التطورات المتوالية في التقنيات والمواد. وقد سعى الباحثان الى تقديم تصنيف للهياكل المعدنية القابلة للبسط يرتكز على ثلاث محددات أساسية: أولها الآليات الحركية المستخدمة في بسط الهيكل، وثانيها النواتج الشكلية المتولدة عن عملية البسط في اشكال خطية، مسطحة او مركبة، وثالثها زمن البسط سواء قبل الاستخدام او بعدة، والذي يتحدد في ضوئهما نمط التغيير؛ في الشكل ام في الموقع. وقد خلص الباحثان الى ان التوصل الى معالجات مبتكرة في تصميم الهياكل المعدنية القابلة للبسط الفوري، تكون ذات كفاءة وفعالية، لا يعتمد على ادوات رقمية للتصميم والتحليل فقط، بل يحتاج ايضا الى توظيف متوازن لنماذج مادية ورقمية، ما يتيح فهم افضل لنقاط القوة والضعف في اتزان الهيكل، وإتاحة الفرصة للمصمم لرؤية عميقة ومباشرة حول الجوانب الشكلية والانشائية والحركية للهيكل، وان تحقيق الفعالية والكفاءة في الهياكل المعدنية القابلة للبسط الفوري، يتطلب توجيه جُل جهود التصميم والإنشاء نحو: تحقيق مبادئ التصميم للتغيير، دراسة متأنية للمتطلب الوظيفي والجمالي، تبسيط وسائل الوصل، تبسيط آلية التجميع، إعادة الاستخدام للمكونات، التصنيع وفقا لمبادئ سبق التجهيز، خفض التكاليف الكلية للتصميم والتصنيع والصيانة.

1. التصميم لاجل التغيير هو منهج مقترح يمكن من خلاله تحسين الإبداع الانشائي عبر تخطيط وتحليل وإنشاء تطبيقات خفيفة ذات تكوينات متغيرة، لها القدرة على التكيف الفراغي والوظيفي والحركي، ما يزيد من استخدامها في مجالات متنوعة، ويجعلها أكثر قابلية للتطبيقات المؤقتة في المستقبل القريب.
2. يرتكز المنهج المقترح للتصميم للتغيير على ثلاث عناصر أساسية: توفر مبررات التغيير؛ كالمتطلب الوظيفي، البيئي، المناخي او الطوارئ، ثم تعيين آليات التغيير وتشمل المسارات والوسائل والآليات التي تُحدث التغيير، وثالثها تأثير التغيير الذي يتعلق بالتباين في الشكل المورفولجي لنواتج التغيير.
3. ان الحاجة الى هياكل معدنيه قابلة للتحويل يرجع الى: قلة تأثيراتها البيئية، تكيفها مع مناخات مختلفة في تطبيقات صغيرة ومتوسطة الحجم، توفر حلول بناء سريعة، وتعزز المرونة الفراغية والوظيفية لتكون أكثر توافقاً مع احتياجات المستخدم المتغيرة.
4. يكمن الفرق بين الهياكل المعدنية ذات البسط الفوري ونظيرتها ذات البسط المتدرج في ان تطبيقات النوع الفوري توّجة في إلى مجال الإنشاء السريع، وتتطلب خفة وزن وسرعة وتلقائية في عمليتي البسط والطي، بينما تطبيقات النوع الثاني تسمح للهيكل بالتكيف

الفراغي تدريجياً وبمرور الوقت وتتضمن أنظمة وصل منفصلة.
5. تتضمن الهياكل المعدنية القابلة للبسط خصائص عدة تجعلها نموذج مثالي لتطبيق منهج التصميم لاجل التغيير، كالاستجابة السريعة لبعض المشكلات البيئية، والتكيف مع مناخات مختلفة وحالات طارئة واحتياجات وظيفية متوقعة، ما يجعلها اداه للتطور البنائي تعزز التوجه نحو عمارة اكثر ديناميكية.
6. ان المفاهيم المتعلقة: بالحركة والمرونة وقابلية التحول والبسط، قد رسخت من المزايا المبتكرة والمستحدثة لتطبيقات الهياكل المعدنية الخفيفة، وزادت من قدراتها في الاستجابة للتغيرات البيئية المحتملة، وساهمت في توفير حلول فراغية مبتكرة وديناميكية تتيح للمستخدمين التحكم في بيئتهم المحيطة وإعادة تصميمها وفقاً لتوقعاتهم.
7. رغم أن الهياكل المعدنية القابلة للبسط الفوري تسمح بالتجميع والتركيب السريع بواسطة أشخاص قليلي الخبرة، إلا أن تصميمها وتفاصيلها غالباً ما يتصفا بالتعقيد، بسبب تضمنها لمدخلات معمارية وانشائية وميكانيكية.
8. يمكن تصنيف الهياكل المعدنية القابلة للبسط وفقا لثلاث محددات أساسية: أولها آليات حركية تستخدم في بسط الهيكل، وثانيها نواتج شكلية تتولد عن عملية البسط في اشكال خطية، مسطحة او مركبة، وثالثها زمن البسط سواء قبل الاستخدام او بعدة، والذي يتحدد في ضوئهما وقوع التغيير في الشكل ام في الموقع.
9. ان التوصل الى تصميمات مبتكرة في الهياكل المعدنية القابلة للبسط الفوري، لا يتطلب الاعتماد على ادوات رقمية فقط، بل يحتاج ايضا الى توظيف متوازن بين النماذج المادية والرقمية، لإتاحة رؤية عميقة للمصمم حول الجوانب الشكلية والانشائية والحركية، والتعرف على اتزان الهيكل ونقاط القوة والضعف فيه.
10. ان ابتكار هياكل معدنيه ذات فعالية في البسط الفوري، يتطلب توجيه جهود التصميم والإنشاء نحو: تحقيق مبادئ التصميم للتغيير، دراسة البعد الوظيفي والجمالي، تبسيط وسائل الوصل، تبسيط آلية التجميع، إعادة الاستخدام للمكونات، التصنيع وفقا لمبادئ سبق التجهيز، خفض التكاليف الكلية للتصميم والإنشاء والصيانة.
11. يوصي الباحثان بدمج مبادئ التصميم للتغيير وتطبيقات الهياكل المعدنية القابلة للتحول في المناهج ذات الصلة في القسم.

المصادر الرئيسية في البحث

Acharya, Larissa: (Spring 2013), Flexible Archi-.1 tecture 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
Asefi , Maziar & Foruzandeh, Aysan: (June 2011).2 Nature and Kinetic Architecture: The Development of a New Type of Transformable Structure for Temporary Applications, Journal of Civil Engineering and Ar- .(chitecture, ISSN 1934-7359, USA, Vol. (5), No. (6
Asefi, Maziar: (2012), Transformation and move-.3 ment in architecture: the marriage among art, engineering and technology, Procedia - Social and Behavioral Sciences (51), Published by El- .sevier Ltd, doi: 10.1016/j.sbspro.2012.08.278
Bouten, Sam: (2015) Transformable Structures and.4 their Architectural Application, Master of Science, Department of Structural Engineering, faculty of engi- .neering and Architecture, GENT University, Belgium
Brancart, Stijn et al: (January 2017), Transformable.5 structures: Materialising design for change, international Journal of Design & Nature and Ecodynamics. Vol. (12), No. (3). DOI: 10.2495/DNE-V12-N3-357-366
Diego, Ch. García; Poppinghaus& Arquitectos:.6 (June-2001), El pabellón de Venezuela en la Expo 2000 de Hannover, (Venezuela's Pavilion In The Hannover Expo 2000), Fecha de recepción: 6-11-01, In- .fonnes de la Construcción, Vol. (53) no. (473), mayo
Doroftei, C Bujoreanu & I Doroftei: (2019),.7 Structural and kinematic aspects of some bar mechanisms for deployable structures, Modern Technologies in Industrial Engineering VII, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 591. doi:10.1088/1757-899X/591/1/012077
Durmisevic, Elma : (2006), Transformable Building.8 Structures Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction, Technische Universiteit Delft, Printed by: Cedris M&CC, Netherlands. ISBN-13: 978-90-9020341-6
Fenci, GE & Currie, NGR : (2017) Deployable.9 structures classification: a review, International Journal of Space Structures, SAGE, University of Salford, .Manchester, UK. doi.org/10.1177/026635111771129
Friedman, Noemi& Ibrahimbegovic, Adnan:.10 (2013), Overview Of Highly Flexible, Deployable Lattice Structures Used In Architecture And Civil Engineering Undergoing Large Displacements, VERSITA, .(YBL Journal of Built Environment, Vo(1), Issue (1
Gnedina, L Y & V V Dolgusheva and V V.11 Danko : (2019), Transformable structures, International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 687, IOP Pub- .lishing, doi:10.1088/1757-899X/687/3/033029
Hussein, H., Agkathidis, A., & Kronenburg, R.:.12 (September-2017), Free-form Transformation of Spatial Bar Structures: Developing a design framework for kinetic surfaces geometries by utilizing parametric tools, the 35th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe, eCAADe Volume (1), 1st Edition, Faculty of Civil and Industrial

.Engineering, Sapienza University of Rome, Italy Ioan, Doroftei & Alexandru, Doroftei Ioan: (2014),.13 Deployable Structures for Architectural Applications - a Short Review, Applied Mechanics and Ma-.terials Vol. 658, Trans Tech Publications, Switzerland koi khoo, chin & flora dilys salim: (2011) Designing.14 Elastic Transformable Structures, Towards Soft Responsive Architecture, Proceedings of the 16th International Conference on Computer- Aided Architectur-.al Design Research in Asia (CAADRIA), Hong Kong Maden, Feray: (September-2019), The Architec-.15 ture of Movement: Transformable Structures and Spaces, Replacing architecture, Livable environ-.(ments & architecture, Congress (LIVENARCH vi S. Brancart, L. De Laet & N. De Temmer-.16 man: (July-2016), Transformable bending-active structures: Manipulating elastic deformation in kinetic and rapidly assembled structures, Structures & Architecture-Cruz (Ed), Taylor & Francis Group, London, ISBN978-1-138-02651-3 Sebestyen, Gyula & Pollington, Chris:.17 (2003), New Architecture and Technology, Architectural Press, An imprint of Elsevi-.er Science, Printed and bound in Great Britain Temmerman, N. De & Others: (2012) Trans-.18 formable structures in architectural engineering, High Performance Structure and Materials VI, WIT Transactions on the Built Environment, Vol .(124), WIT Press, doi: 10.2495/HPSM120411 Temmerman, N. De & Others: (2014), Light-.19 weight transformable structures: materialising the synergy between architectural and structural engineering, Mobile and Rapidly Assembled Structures IV, WIT Transactions on The Built Environment, .Vol. (136), WIT Press, doi:10.2495/MAR140011 Werner , Carolina De Marco: (September-.20 2013), Transformable and transportable architecture: analysis of buildings components and strategies for project design, final Master Thesis, Uni-.versidad Politécnica de Cataluña , Barcelona, España Natalia T. Londoño: (April- 2013) Deployable stage:.21 Proposal of an application with mobile structures, https://smia-experimental.com/2013/04/23/deployable-stage-/proposal-of-an-application-with-mobile-structures-2 https://arabic-quotes.com/uploads/quotes/1701.jpg.22 https://www.dictionary.com/browse/deployable.23