مجلة الفنون والعلوم التطبيقية
Journal of Applied Arts & Sciences
جامعة دمياط Damietta University
كلية الفنون التطبيقية

استخدام الهياكل الورقية في تطبيقات معماريه مؤقتة
(قـراءة استشرافيه حـول مسـتقبل الانشاءات الخفيفه)
Use of Paper Tubes Structures in Temporary Architectural Applications.. A Predictive Reading about the Future of Lightweight buildings

أحمد حامد مصطفي المعلاوي
الاستاذ المساعد بقسم الاثاثات والانشاءات المعدنية
كلية الفنون التطبيقية.. جامعه حلوان

عمرو محمد عبد القادر هديه
الاستاذ المساعد بقسم الاثاثات والانشاءات المعدنية
كلية الفنون التطبيقية.. جامعه حلوان

ملخص البحث:
في ضوء التطورات المتسارعه في تقنيات اكتشاف وتجهيز وتدوير مواد البناء، ومن منطلق انها تشكل عصب التطبيقات الهندسية، فإن الوعي بمستجدات تلك المواد والتعرف على أحدث تطبيقاتها، يشكلان ضرورة لاغنى عنها لمصمم الانشاءات المعدنية، وذلك بغية الاستفاده منهما وتوظيفهما عملياً بشكل مبتكر وفعال. ومن الامثلة العملية على ذلك استخدام قطاعات أنبوبية ورقية في تطبيقات خفيفة، حيث تمتاز بـ: اقتصاديات التجهيز والبناء، تقليل طاقة التجميع والتشغيل، استخدام تقنيات صديقة للبيئة، توفير بيئات صحية داخليا وخارجياً، اضافة إلى تمتعها بمرونة عالية في عمليات البناء والهدم وإعادة التدوير لمرات كثيره.
ومن ثم تنطلق **مشكلة البحث** من الحاجة الى توفير بدائل مادية مستحدثة وموثوقة لتطبيقات الانشاء الخفيف، بغرض دعم مبادئ الاستدامة البيئية واقتصاديات الانشاء، ويرتكز هذا المبرر البحثي على **التساؤلات التالية**: هل هناك جدوي من توظيف قطاعات أنبوبية ورقية في تطبيقات معمارية مؤقتة؟ وما هي الأعتبارات الانشائية المؤثرة في كفاءة تلك القطاعات؟ وكيف يمكن الاستفادة من خصائصها البنائية في تحقيق متطلبات الاستدامة البيئية؟ وهل سيكون لذلك إنعكاسات على مستقبل الانشاءات الخفيفة؟ وبناء على ذلك يرتكز **هدف البحث** علي التحقق من جدوي توظيف قطاعات أنبوبية ورقية كمكونات انشائية مرنة وقليلة التكلفة ومستدامة في تطبيقات معمارية مؤقتة، واستشراف انعكاسات ذلك على مستقبل الانشاءات الخفيفة. ومن المنتظر أن يتم تحقيق هذا الهدف وفقاً **لمنهج تحليلي استدلالي** يقوم على ثلاث **محاور أساسية**: أولها إلقاء الضوء على محطات ومراحل توظيف المكونات الورقية في تطبيقات الإنشاء الخفيف، وثانيها تحليل الخصائص البيئية والانشائية الحاكمه للقطاعات الانبوبية الورقية، وثالثها قراءة استشرافية حول مستقبل توظيف تلك القطاعات في مجال الانشاءات الخفيفة. وسيتم تحقيق هذا الهدف انطلاقاً من **فرضية بحثية** مفادها: ان توظيف قطاعات انشائية ورقية مختبره، في تطبيقات معمارية مؤقته؛ يدعم من استدامه واقتصاديات الانشاءات الخفيفة.
كلمات مفتاحية: (الانشاءات الخفيفة، الانابيب الورقية، الإستدامة، إعاده التدوير، السلوك الانشائي)

المقدمه:
في ضوء التطورات المتسارعه في تقنيات اكتشاف وتجهيز وتدوير مواد البناء، ومن منطلق انها تشكل عصب التطبيقات الهندسية، فإن الوعي بمستجدات تلك المواد والتعرف على أحدث تطبيقاتها، يشكلان ضرورة لاغنى عنها لمصمم الانشاءات المعدنية، وذلك بغية الاستفاده منهما وتوظيفهما عملياً بشكل مبتكر وفعال. ويتحقق ذلك من خلال الاستفاده باحدث نتائج بحوث البناء والتجريب التي تُستخدم لإبتكار مكونات انشائية مرنه، تحقق التوازن النسبي بين الأثر البيئي للبناء وبين تكلفته. ولعل في استخدام قطاعات أنبوبية ورقية في بعض التطبيقات الخفيفة، مثال واضح على ذلك، حيث تمتاز بـ: اقتصاديات التجهيز والبناء، تقليل طاقة التجميع والتشغيل، استخدام تقنيات صديقة للبيئة، توفير بيئات صحية داخليا وخارجياً، اضافة إلى تمتعها بدرجة مرونة عالية في عمليات البناء والهدم وإعادة التدوير لمرات كثيره. وبالتالي فإن الاستثمار والتوظيف الجيد لتلك الخصائص يجعل من الانشاء الورقي أحد الخيارات المثالية التي تطرح أمام مصمم الانشاءات المعدنية لاستخدامها في تطبيقات خفيفة ذات طبيعه مؤقته أو طارئه.
ومن ثم تنبع **مشكلة البحث** من الحاجة الى توفير بدائل مادية مستحدثة وموثوقة لتطبيقات الانشاء الخفيف، بغرض دعم مبادئ الاستدامة البيئية واقتصاديات الانشاء، ويرتكز هذا المبرر البحثي على **التساؤلات التالية**: هل هناك جدوي من توظيف قطاعات أنبوبية ورقية في تطبيقات معمارية

مؤقتة؟ وما هي الأعتبارات الانشائية المؤثرة في كفاءة تلك القطاعات؟ وكيف يمكن الاستفادة من خصائصها البنائية في تحقيق متطلبات الاستدامة البيئية؟ وهل سيكون لذلك إنعكاسات على مستقبل الانشاءات الخفيفة؟ وبناء ذلك يرتكز **هدف البحث** علي التحقق من جدوي توظيف قطاعات أنبوبية ورقية كمكونات انشائية مرنة وقليلة التكلفة ومستدامة في تطبيقات معمارية مؤقتة، واستشراف انعكاسات ذلك على مستقبل الانشاءات الخفيفة. ومن المنتظر أن يتم تحقيق هذا الهدف وفقاً **لمنهج تحليلي استدلالي** يقوم على ثلاث **محاور أساسية**: أولها إلقاء الضوء على محطات ومراحل توظيف المكونات الورقية في تطبيقات الإنشاء الخفيف، وثانيها تحليل الخصائص البيئية والانشائية الحاكمه للقطاعات الانبوبية الورقية، وثالثها قراءة استشرافية حول مستقبل توظيف تلك القطاعات في مجال الانشاءات الخفيفة. وسيتم تحقيق هذا الهدف انطلاقاً من **فرضية بحثية** مفادها: ان توظيف قطاعات انشائية ورقية مختبره، في تطبيقات معمارية مؤقته؛ يدعم من استدامه واقتصاديات الانشاءات الخفيفة.

أولاً: تطور استخدام القطاعات الورقية في تطبيقات انشائية خفيفة

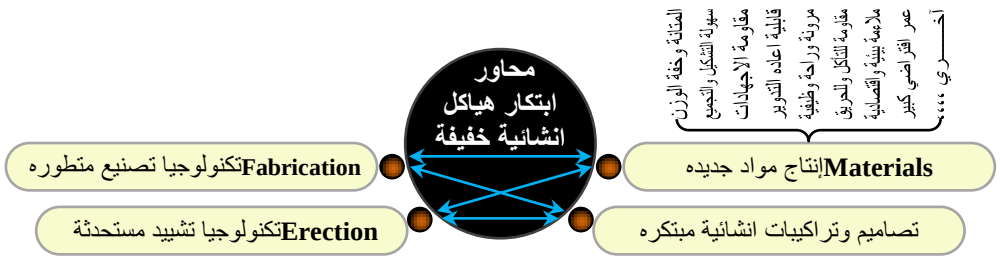
مع ظهور بوادر لمخاطر كبيرة قد يواجهها الانسان، جراء استنزافة المستمر للموارد والتراكم المتزايد للنفايات والملوثات البيئية. صار حتماً علية ان يعيد بناء علاقته الإيجابية مع البيئة، وان يسعي الى معالجة الدمار الذي أحدثه بها، وان يُوجد حلول مادية وبدائل مستقبلية لمعالجة المشكلات المتصله بها. ومن منطلق ان مواد البناء تشكل عصب التطبيقات الهندسية، لانه بواسطتها يمكن الحدّ من الاثار البيئية السلبية وتحقيق متطلبات الاستدامة ودعم اقتصاديات الانشاء، لذا فإن دراسة مستجدات مواد البناء والتعرف على أحدث التطورات المتعلقة بها، يشكلان ضرورة لاغنى عنها لمصمم الانشاءات المعدنية.

ورغم ان السائد عن الورق قديماً، أنه أحد المواد التي لا تصلح للبناء؛ كونه ضعيف نسبياً ولديه معامل مرونة منخفض ويتأثر بالرطوبة، الا ان التطورات الحديثة في تقنيات استيلاد وتجهيز وتدوير مواد الانشاء، قد جعلت من القطاعات الورقية المركبة احد الخيارات مثالية الاستخدام في التطبيقات المعمارية الخفيفة والمؤقتة، وساهمت كذلك في توفير حوافز اقتصادية وبيئية وانشائية لاستخدام تلك القطاعات في عمليات البناء على نطاق واسع، مستفيده بذلك من نتائج المشروعات العملية والتجريبية التي قام بها متخصصون في العديد من المراكز البحثية والبرامج الأكاديمية على مستوي العالم. وبشكل عام، فإن الورق مصطلح يعبر عن جميع المنتجات المصنعه من ألياف السليلوز في اشكال شبكية او شرائحية، وهو يصنف في درجتين رئيسيتين هما: الورق والورق المقوي **paper & cardboard**، والاخير عادة ما يكون أكبر سمكا وأكثر صلابة من الاول، ويصنع من عدة طبقات وينتج في صور عده: انابيب ورقية، الواح مصمطه او مموجة..الخ وعاده ما يشار الى المنتجات الورقية التي أثقل من ٢٢٥جرام/سم^{٣} على انها من الكرتون[م.١٠ص٤٧٣] وفيما يلي عرض لاهم المراحل والتجارب التي تتعلق باستخدم الورق المقوي كماه بناء:-

أ- المنشآت الخفيفة ومواد البناء المبتكرة

منذ المعرض الدولي الذي أقيم بلندن في العام **1851**م وقُدم فيه معالجات تقنية جديده لخامتي الفولاذ والزجاج، ما مهد لاحداث طفرات بنائية في أنظمة الانشاء المعدني الخفيف، مروراً ببرج أيفل في العام **1889**م، والذي قدم مدارس البولي تكنيك **Poly-technique** ذات الاتجاه الهندسي مقابل مدارس العمارة ذات الاتجاه الفني **Ecole Debox Art**. [م.٥ص٢] وصولاً لمعرضي بروكسل **1958**م وهانوفر **2000**م، دائما ما كان الإبداع الانشائي مجالاً خصباً لاستشراف المستقبل. وعاده ما تتطور تطبيقات الانشاء الخفيف نتيجة لمتغيرات ثقافية وبيئية، تستدعي بدورها تغيراً ايجابياً في مجالات: استيلاد مواد وتقنيات واساليب وطرق وعمليات، بغرض تحسين الاداء ودعم اقتصاديات البناء والحفاظ على الموارد البيئية. وغالباً ما ترتكز الابتكارات المستقبلية في مجال بحوث البناء والتجريب للمنشآت الخفيفة على محورين: ابتكار مواد بناء متعددة الوظائف؛ وتعزيز عمليات سبق التجهيز، وذلك من أجل الاستجابة لضغوط السوق المتغيرة، والتي تتطلب التوازن الدقيق بين الأثر البيئي للمنشأ وبين تكلفته.

وفي إطار أكثر تفصيلاً، ذهب **دوناي Dunai** [م.١٢ص١] الى ان الابتكار في مجال الهياكل الانشائية المركبة، دائماً ما يرتبط بالتغير الايجابي في واحد أو أكثر من المحاور التالية: إنتاج المواد؛ تكنولوجيا التصنيع؛ التصميم والتركيبات الانشائية؛ واخيرا تكنولوجيا التشييد. مضيفاً ان الأنشطة السابقة دائما ما تكون في تفاعل وثيق مع بعضها البعض؛ لان تحسين خصائص الماده الانشائية يؤدي الى نتائج ايجابية في التجهيز، قد تقود بدورها الى ملامح جديده للنظم الانشائية التقليدية، ما يساهم في تعديل طرق وأساليب التشييد، والعملية برمتها تتطلب تحسين في منهجية التصميم. وعن أهمية إستيلاد مواد مبتكره في مجال الانشاء الخفيف، اعتبر **بيكورز وهاينت Beukers & Hinte** [م.٩ص٢] أن الابتكارات في مجال المواد تمثل أحد المحاور النقاشية للعمارة الآنية، مقارنة بآي مرحلة سابقة، وانه خلال قرن ونصف أكتشفت مواد جديده: كالتيتانيوم والبوليمرات؛ وابتكرت تطبيقات جديده بالمواد الحالية: كالصلب والزجاج والورق المقوي؛ مما ساهم في تحويل الافكار النسبية من التجانس الى انشاءات خفيفة يسهل تفكيكها.



شكل (١) مخطط يبين المحاور الاساسية التي تؤدي لابتكار هياكل انشائية خفيفة ومركبة

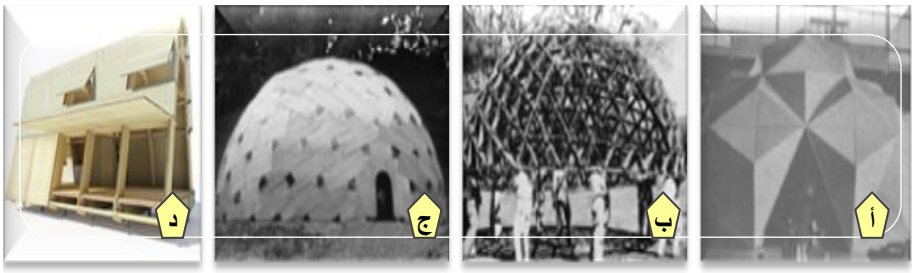
وعن أهمية الورق المقوي كماده انشائية مستحدثه، اعتبر **شونفلدر Schönwälder** م.١٠ص٧٣١ الورق احد مواد البناء التي تثير الاهتمام من الناحيتين المعمارية والخضراء، وأنه ماده جذابة للغاية بسبب تغيراته في الشكل والانشاء، وسهولته مقارنة بمواد البناء الاخري، ويتم انتاج مكوناتة البنائية عن طريق عمليات الحني والطي واللصق. وفي هذا الاطار صنّف **بريستون وبانك Preston & Bank** م.١٦ص٦٥٧ الورق والمواد المركبة ضمن المواد المستدامه القابلة لإعادة التدوير، والتي يمكن ان تكون واحده من الخيارات المثالية لبناء هياكل مؤقتة للمعارض أو لاستخدامات الطوارئ. وعليه، فإن تعدد خيارات المواد المستدامه يضع المصممين المعاصرين امام تحدي كبير يكمن، وفقاً لـ **انتونيللي Antonelli** م.٩ص١٧ في تحديدهم للخامات الجديده ذات المظاهر كثيره الاوجه، لان الخاصية المتحوله للخامة، كالتعبير عنها بكونها وظيفية وانشائية، تولد اشكال جديده، وانها أكبر من مجرد كونها مقاربة تجريبية تجاه التصميم. وبالرغم من تعدد أنماط المواد المستخدمه في أنظمة الانشاء الخفيف ما بين: الحديد، الاستانلس، الالومنيوم، البلاستيك، البامبو، الاخشاب، الألياف المركبة.. الخ، إلا ان التوجه نحو إستيلاد بدائل مادية آخري، كالمكونات الورقية، وتوظيفها في تطبيقات مؤقتة (خفيفة الوزن، موسمية، عمر افتراضي صغير، سريعه الاعداد والتشييد، سهلة الفك، غير مكلفة) يعزز من الاهداف التي تقوم علي التوجه نحو العمارة الخضراء والمستدامه، وتحقق اقتصاديات التجهيز والبناء، إضافة الي دعم وإثراء عمليات إعادة التدوير، والحدّ من التاثيرات السلبية علي البيئة والحفاظ علي الموارد.

ب- مراحل توظيف الورق المقوي في تجارب الانشاء الخفيف

بدأت التطبيقات الأولي لاستخدام الورق كماده إنشائية خلال الحرب العالمية الثانية، حيث شُيد مبني من الورق عرف لاحقاً "بالبيت ١٩٤٤". وبسبب ندرة بحوث التطوير والاختبار والمعالجه وقتئذ، فقد أعقب ذلك فترة من التطور البطيء، تخللتها بعض المحاولات لفوللر **Fuller** في العام١٩٥٠، والتي ارتكزت بدورها على فلسفة تجمع بين مبادئ البناء المستدام بيئياً ومفاهيم الاستدامة الاقتصادية. م.١٤ص٧ وفي منتصف الثمانينات ظهرت تجارب شيجيروبان التي أثرت بشكل مطرد في التقدم الحاصل في استخدام الورق المقوي في البناء، وكانت البداية لبزوغ توجه واضح المعالم للعمارة الورقية تبناه مجموعه من المصممين. واستناداً الى **سيكولتش Sekulić** م.٧ص٤ فقد تم تقسيم التاريخ التطوري لاستخدام الورق المقوي كماده انشائية الى ثلاث فترات: أولها النماذج الاولي للبناء بالورق؛ وبدأت في العام (١٩٤٤) وثانيها تجارب وتطبيقات شيجيروبان؛ وبدات في العام (١٩٨٩)؛ وثالثها النماذج والمناهج المعاصرة، والتي بدات مع العام (٢٠٠٠) ومستمره حتي الان.

شكل (٢) مخطط يوضح مراحل التطور في استخدم الورق المقوي كماده انشائية

وبنظرة تحليلية سريعه على تجارب الانشاء الورقي خلال الفتره الأولي، نجد ان معظم النماذج التجريبية بالورق المقوي قد أخفقت في اختباري: المقياس الصغير للحجم والمدي القصير للاستخدام، وذلك بسبب قلة المتابعه وضعف الاختبارات الانشائية. وفي المرحلتين التاليتين استمر التحسن التدريجي على عمليات التشكيل والتجميع والاختبار للقطاعات الورقية، واتضح من خلال مشاريع عده أن الورق المقوي يتميز بإمكانيات عالية في الانشاء؛ وبمرونة كبيره في عمليات البناء والهدم، اضافة الى الانخفاض النسبي للتكلفة، إعادة التدوير العالية، التأثير المنخفض على البيئة، المتانة الانشائية والصلابة وسهولة تصنيعه كمياً، وان تلك الخصائص مجتمعه تؤدي، اذا احسن توظيفها، الى تنشيط وتوسيع رقعة الاستخدام للانشاءات الورقية.



شكل (٣) تطبيقات تجريبية للانشاء الورقي : أ- قبة Stéréometrique بباريس ١٩٧٠ للمصممين ايمريك ويانجمان ب- قبة جيوديسية ١٩٥٤ لفوللر جامعه تولين ج- الجيل الجديد لقبة Plydome ١٩٩٤ للمصمم ميللر د- البيت الكرتوني ٢٠٠٤ للمصميمين ستاتبوري وبابي

وبنظرة فاحصة الى تجارب القباب الجيوديسية، يلاحظ انه قد تم الاستفاده من الامكانات السابقة في توظيف الورق المقوي كعناصر انشائية أساسية أو كعناصر دعم ثانوية، وانه تم اختبار تلك العناصر بغرض الحدّ من المشكلات التي تعيق التطبيق الموسع للورق المقوي في مجال الانشاء الخفيف، والتي كان من اهمها: ضرورة الحفاظ على المتانه الانشائية والصلابة لمواجهة الظروف الجوية كالرطوبة والنار. وفي حل لتلك الاشكالية قُدمت العديد من التطبيقات التي تجاوزت مرحلة النموذج التجريبي مثل: مدرسة ويستبورو **Westborough** الابتدائية في وستكليف بانجلترا، والتي صممت من قبل كاتريل وفيرمولين **Cotterel & Vermeulen** في العام **2001**. وكذلك المنزل الكرتوني لمصممه ستاتبوري وبابي **Stutchbury & Pape** في العام **2004**، وذلك بالتعاون مع وحدة **بوشان Ian Buchan** لبحوث الإسكان في جامعة سيدني. [م.٧ص٥، ٤]

ج- تطبيقات شيجروبان ومبدأ الانشاء بالحدّ الادني والضروري

على مدار تاريخهم احترم اليابانيون البيئة الطبيعية وارتبطوا بعلاقة وثيقة مع خاماتها، وأولوا الورق اهتماماً كبيراً، وبخاصة كمادة انشائية، حيث تعتبر شاشات شوجي الورقية **shoji screens** والفوانيس ملمحاً مميزاً للمنزل الياباني التقليدي. وفي هذه البيئة بزغ شيجروبان **Shigeru Ban** كأحد أكثر المعماريين اليابانين شهره في مجال التطبيقات البيئية المستدامه. وقد نبعت ابداعاتة انطلاقاً من مبدأ أرساه لنفسه، ونصه هو: ((لا التزم بآي قواعد في المصطلحات المتعلقة بالمواد أو طريقة الانشاء، وإنما أحب أن أطور أنظمة جديده؛ وأكيف توجهاتي البنائية مع ما هو متاح في الموقع)) [م.١٥ص١] وقد ذاع صيتة من كثرة استخدامه لمواد بنائية غير مألوفه، كالخشب والورق والكرتون المعاد تدويره، وهو يبرر توظيفة للورق المقوى كمادة انشائية بقوله: انه يمكنك أن تفعل به أي شيء تقريباً.

شكل (٤) تطبيقات للمصمم شيجروبان: أ- مدرسة سيشوان Sichuan ب- مركز الترجمه ٢٠٠٥ على قناة بورجون Bourgogne ج- بيت الشاي Paper Tea House د- الكوبري الورقي ٢٠٠٧ paper bridge على قناة جاردن بفرنسا

وبسبب توظيفه للورق في مجموعة متنوعة ومتميزة من التطبيقات الخفيفة، اعتبر شيجيروبان أحد رواد التصميم للهياكل الانبوبية الورقية **paper tube structures**. وكانت أولي محاولاته التجريبية بالمواد البديله في العام ١٩٨٦، عندما استخدم الورق بديلا عن الخشب في بناء شاشه عرض لمعرضه **Alvar Aalto**، وتفاجأ وقتها من قوة ومتانة الورق.م.٦ص٢ وبعد ذلك إجري عدة اختبارات، بمساعدة من متخصصين، وابدع في العام ١٩٨٩ نسخته الأولى من الهياكل الورقية الخفيفة، والمصنوعة من لفائف الورق المضغوط، وطبقها في معرض التصميم الدولي بـ ناغويا **Nagoya**، ثم قدم بعد ذلك العديد من المشروعات الورقية التي اضحت معالم مميزه في العمارة المعاصره مثل: الجناح الياباني في معرض اكسبو ٢٠٠٠ بهانوفر، القبة الورقية في امستردام، مدرسة الكرتون على البحر في **Westcliff** ببريطانيا، ملاجئ الطوارئ بـ **Durakit** بكندا، والكوبري الورقي المقوس بفرنسا. كما استخدم أنابيب ورقية لعمل عناصر الجدار الانشائي لمساكن الإغاثة المؤقتة لضحايا زلزال هانشين-أواجي ١٩٩٥، ثم طورها وتوسع في استخدامها في العام ٢٠٠١ للسكن الإغاثي في أحمد آباد **Ahmadabad** بالهند، وكذا في ملاجئ هايتي في العام ٢٠١٠، ومركز بومبيدو ميتز **Pompidou-Metz** بفرنسا الذي يستخدم كمتحف للفنون الحديثة انظر م.٢ص٧٣١ كما استفاد شيجيروبان من المرونه الابتكارية للقطاعات الانبوبية وقلة تأثيراتها السلبية على البيئة، في تطبيقات عامه كالمتحف البدوي، اضافة الى جناح الفن في ابوظبي ٢٠١٣.

ورغم ان تطبيقاته الورقية السابقة قد جعلت منه رمزا لدعاة العمارة الخضراء الصديقة للبيئة، الا ان هناك تصريح منسوب الى شيجيروبان انظرم.٦ص٢ يقول فيه أنه لم يتوقع بزوغ هذا الاتجاه، وان الغرض من وراء اعماله الاولي كان مختلف قليلاً، لان الامر عنده تجاوز وقتها تبني أيديولوجية ضد النفايات، أو تحيز واضح للبيئة من خلال استخدام مواد يعاد تدويرها، وأنه كان يعمل وفقاً لفلسفة ابداعية ترتكز على الإنشاء بالحد الادني والضروري **minimalist and essential style**، في المواد والعمليات والطاقة، وأنه حاول انجاز أعماله بطريقة تتسم بالابتكار والفضول والاكتشاف ومعالجه المشكلات بطريقة تحمل الدعابة. وهو بذلك يعتبر ان الورق، رغم كونه ماده هشه وقابله للاشتعال وقليلة التكلفة، إلا انه ماده ملاءمة لعمل مباني حقيقيه كان يصعب تصورها حتى وقت قريب.

د- تحليل احد نماذج الانشاء الورقي (الجناح الياباني بمعرض هانوفر الدولي ٢٠٠٠)

ما هي الرسالة التي يجب أن تؤديها العمارة في حياتنا؟ وكيف يمكن تحقيق التوازن بين الجمال والوظيفة وبين التقنية والبيئة؟ وما هي أفضل التصورات للتعامل مع الملوثات البيئية؟ وإلى أي إتجاه سوف تتطور منشآتنا في المستقبل؟ تلك أهم الاسئلة التي طُرحت على المشاركين في معرض هانوفر بالمانيا. وكان من نتائج ذلك ان ظهرت لأول مرة في تاريخ المعارض الدولية فكرة إبداعية إستندت الى استخدام الورق كمادة عملية، يمكن تطويعها كمادة إنشائية ذات صبغة مستقبلية، تخدم فكرة الإستدامة وتدوير النفايات الناتجة عن مواد البناء، وتسهم في تقديم تقنية صديقة للبيئة. وكان صاحب تلك الفكرة شيجروبان م.١٣ص٢ الذي صمم الجناح الياباني بمعرض هانوفر، وركز فيها على البُعد البيئي وتقليل المخلفات الصناعية لحدها الأدني. واستمد شكله من النمط التقليدي لحديقة الصخرة اليابانية، وقد شُيد الجناح خلال ثلاث اسابيع فقط، وهو عبارة عن نفق قوسي متموج يتألف من دورين وابعاده: ٧٣,٨م طولاً، ٢٥م عرضاً ١٥,٩م ارتفاعاً، وشُيد بحيث يكون ٨٠٪ منه من الورق المعاد تدويره، بالاضافة الى بعض المكونات المعدنية والخشبية والبلاستيكية.

وأعتمدت فكرة شيجرو على اختيار مواد انشائية يعاد استخدامها أو تدويرها بنسبه كبيره، وأستخدم لذلك نظام إنشائي هجين (حيث ان القوانين الالمانية تمنع استخدام الورق فقط في عمل هياكل المباني) يتكون بدوره من قشرة شبكية من الورق المقوى المجمع، مدعم بعقود خشبية وكابلات معدنية مشدودة بغرض الحدّ من الزحف الكبير في القطاعات الانبوبية الورقية، وجعل القشرة كهيكل جاسئ. م.٨ص٢٤ وقد بدأت الفكرة الانشائية الأولى باستخدام أقواس بسيطة من الأنابيب الورقية، لكن محدودية الشكل والضغط الجانبي والتكلفة العالية لعُقد الوصل، حال دون تنفيذها. لذا اقترح شيجروبان، على زميله أوتو **Otto** تعديل يقوم على عمل القشرة الشبكية باستخدام أنابيب ورقية طويلة، مشكله بدورها من خطوط منحنية وتتضمن فجوات بينية في اتجاهي الطول والعرض، مع استبعاد استخدام وصلات منفصله لتجميع القطاعات، وكانت من نتائج ذلك ان اضحت القشره اكثر استقرارا في مقاومة الضغوط الجانبية وأقل كلفة وأسهل في التركيب والتفكيك، وقابله لاعاده الاستخدام أو التدوير. قارن م.٢١ص١ م.١٦ص ٦٥٨

شكل (٥) **الجناح الياباني بمعرض هانوفر ٢٠٠٠ لـ شيجيروبان**: صور لمراحل تشييد هيكلة القشري بقطاعات انبوبية ورقية

ولتقليل كمية المواد الخرسانية، التي لا يمكن إعادة استخدامها، أكتفي شيجيرو بجعل قواعد المنشأ من الأُطر الفولاذية والمنصات المملوءة بالرمل. وقد استخدم في تشييد القشرة الضخمة أنابيب ورقية بلغ عددها ٤٤٠ أنبوب، بقطر ١٢٠مم وبطول عشرون متراً ووزن ١٠٠كجم للواحد. وقد ركبت الأنابيب الورقية على شكل تعريشة ربطت مع بعضها البعض بأطر خشبية، وتم تغطيتها بطبقات من أغشية ورقية مقاومه للنار وتسمح بمرور الضوء. م٥ص١٠بتصرف وقد أستحق شيجيرو الاشاده وتلقي العديد من الجوائز عن تصميم الجناح الياباني بهانوفر، بسبب معالجته المستحدثه ورؤيتة المتميزة اللذان استندا الي توظيف مواد قليلة التكلفة وسهلة التشكيل، متاحه ومتجدده باستمرار، تجمع بين المواد الطبيعية والتقنيات الآسيوية التقليدية. وفي العام ٢٠١٤ حصل شيجيرو على جائزة بريتزكر المعمارية **Pritzker** عن مشاريعة المبتكرة.

ومن هنا فإنة لا يمكن تقييم الطفره البنائية، التي قدمت في الجناح الياباني، إلا في سياق الأفكار والرؤي الانشائية التي تستشرف المستقبل، وتحرص على احترام البيئة وتحقيق الاستدامه والفعالية في استخدام الطاقة، وتسعي لتوفير مواد ونظم إنشائية إيكولوجية يسهل إعادة استخدامها، وتعمل على تقليل استنزاف الموارد الطبيعية، وتؤكد على أهمية التخطيط لما بعد انتهاء العمر الافتراضي للمبني، بحيث يستفاد من مواده كمورد اقتصادي يعاد تدويره، ما يقلل من كمية النفايات التي لا تستطيع البيئة استيعابها بأمان.

ثانياً: الاعتبارات البيئية و الانشائية لهياكل الانابيب الورقية

تُنتج العناصر البنائية الورقية التي توظف في الانشاءات الخفيفة في صور عده منها: الواح مصمطه، ألواح متعرجه، ألواح قرص العسل وانابيب ورقية وغيرها. وهذا التنوع يوفر للمصمم بدائل عده لاستغلالها في تطبيقات انشائية متنوعه، وتوظيفها بصور مختلفة: أعمده، كمرات، عوارض، تجاليد ..الخ. وبنظره سريعه على التطبيقات المصنوعه من الورق، يلاحظ ان القطاعات الانبوبية الورقية قد نالت النصيب الاكبر من الاستخدام كعناصر انشائية، وأنها تصنع بتقنية اللف **winding** والتي يتم فيها سحب عده شرائح ورقية، من لفافة ورقية تغمس بدورها في جرة مليئة بالغراء، ومن خلال اداه لف لها قلب اسطواني صلب، يتم السحب بشكل حلزوني لتكوين الانبوب الورقي. ويمكن انتاج الانبوب الورقي بآي طول وسمك مطلوبين من خلال التحكم في عدد طبقات الشرائح الورقية. وان الأنابيب الورقية المنتجه تكون ذات قوة شد جيده في اتجاه **X**، وان متانة الانبوب تعتمد بشكل رئيسي على نوعية الورق المستخدم وعلي تقنية اللف وكذا على جودة ماده اللصق. وقد ثبت بالتجربة انه في حالة الشد تكون الأنابيب قوية كما هو الحال في الضغط، ولكن الصعوبة تكمن في تطوير وصلات يمكنها نقل قوي الشد من الأنبوب الورقي الى عنصر الوصل.

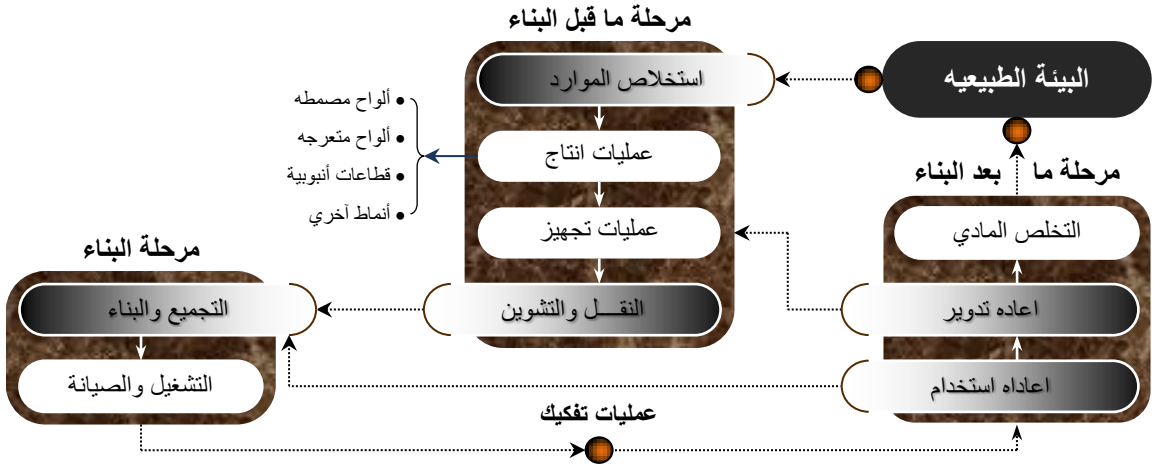
شكل (٦) **الجناح الورقي**: اول مبني دائم لشيجرو تم تشييده في اوربا من قطاعات انبوبية ورقية Paper tubes structures

واستناداً الى صودجار **Sodagar** م٦ص٢ فإن أهم مزايا القطاعات الانبوبية الورقية كمواد بناء، هي: قوة التحمل **Durability** والمتانه، اللذان يكادا يقتربا من قوة ومتانة القطاعات الخشبية المطوره، اضافة الى خفة الوزن، مقارنة بالخشب والقطاعات المعدنية، ثم المزايا البيئية المتعلقة بسهولة التصنيع والمعالجه وإعادة الاستخدام او التدوير مرارا، واخيرا جماليات المعالجه التي تجمع بين بساطه التكوين وقوتة. وبشكل عام ونظرا لارتفاع نسبة المتانه الى الوزن في الهياكل الفراغية، فإن الاخيره تعد الفئة الاكثر احتمالا ومناسبة للبناء بالقطاعات الانبوبية الورقية مع الدعائم الانشائية الاضافية، حيث يمكنها تغطية اسقف مستوية أو منحنية يتراوح بحرها بين ١٠-٥٠م، مع تغطيتها بتجاليد خفيفه مستقله عن الهيكل وتوظيفها في تطبيقات معمارية مؤقته للعرض او للطواري. ويمكن توضيح اهم الخصائص البيئية والانشائية للهياكل الانبوبية الورقية كما يلي:-

أ- الاستدامة ودورة حياة الهياكل الورقية

الاستدامة في أشمل تعريفاتها تعني تقديم افضل نواتج التطورات الى البيئات البشرية والطبيعية، وهي تستخدم بأبعادها الثلاثة: اقتصادية وبيئية واجتماعية، في تحسين نوعية الحياة للأجيال الحالية والمستقبلية. وتستند الاستدامة الى التخطيط للمستقبل من خلال التركيز على: عمليات تطوير المنشآت وأجراء الصيانة الوقائية وعلى إعادة الاستخدام والتدوير للبيئة المشيده. م٥ص٧ وبالتالي تتحقق صفة الاستدامة في اي ماده بناء عندما تعطي أقل تأثير سلبي على البيئة وتكون متجددة وقابلة لإعادة الاستخدام أو التدوير، بعد انتهاء دورة حياتها؛ والتي تشمل: استخراج الموارد، التصنيع والنقل، التجميع والبناء، التشغيل

والصيانة، إعاده الاستخدام، إعاده التدوير، التخلص المادي بالحرق او الطمر.



شكل (٧) مخطط يوضح دورة الحياة للتطبيقات الانشائية الخفيفة من الورق.. نقلا عن جين كيم بتصرف

وفي اطار تبسيط هذه المراحل صنّف أوزليم **ÖZLEM** م.٤ص٩٢ دورة دوره حياة البناء الورقي الى ثلاث مراحل: تبدأ بالانتاج والانشاء ثم الاستخدام والتشغيل واخيراً التفكيك واعاده التدوير. وفي ذات الاطار أكد جين كيم **Jin Kim** م.١١ص١١ على ان تحليل عمليات البناء في كل مرحلة يوفر فهما أفضل لكيفية تصميم وبناء وتشييد وتشغيل المبني، ويوضح اثر التخلص منه على النظام البيئي الأكبر، ومضيفا ان تصميم دورة حياة المبني **Life Cycle Design**، تستند الى فكرة تناسخ الماده، من شكل واحد مفيد للحياة الى آخر، وبدون نهاية لفائدتها. وتعرف هذه الحلقة من إعادة التدوير وإعادة استخدام للموارد باسم (من المهد إلى اللحد **cradle-to-grave**) ومؤسساها هما المصمم ماكدونو **McDonough** والكيميائي برانجارت **Braungart**. وفي ذات الاطار اعتبرا **بريستون وبانك** م.١٦ص٦٦٥ ان تقييم دورة الحياة هو تكنيك مهم ينطوي على تقييم الأثر البيئي للمشروع عن طريق جدولة الطاقة والمدخلات المادية والعواقب البيئية ذات الصلة، ثم تقييم هذه الآثار واستخدام النتائج لاتخاذ قرارات أكثر استنارة بشأن استدامة المشروع. وبالتالي فإن اجراء تقييم سليم لمؤشر الاستدامة البيئية والاقتصادية للتطبيقات الورقية الخفيفة، يتطلب تقييم دورة حياتها كما يلي:

أ١- الاستخراج والانتاج: تستخرج الماده الخام الأولية للاوراق من الأخشاب قليلة الجودة؛ التي تستخرج بدورها من الغابات الخفيفة، وعلى المستوي العالمي يستخدم ما نسبته ١٠/١ من الخشب في انتاج الورق. وبالرغم من امكانية استخراج الورق من مخلفات ورقية يعاد تدويرها كماده خام ثانوية، الا ان الناتج يكون غالباً منخفض عن نظيره المستخرج من ألياف طبيعية. وفي العقدين الاخيرين تحسنت استدامة المنتجات الورقية، خلال عمليات الانتاج، بشكل ملحوظ، وخاصه ما يتصل بكفاءة استهلاك الطاقة والمياه وانبعاثات **CO2**. والورق مادة كثيفة الطاقة تستهلك ما يقرب من ربع تكاليف الإنتاج. ان تحديد الطاقة الكامنة لمواد البناء يضم ايضا النقل الذي يكون له تأثير على الطاقة، والتي تبلغ لالواح الورق المصمط **9.4 GJ/ton**، والواح الورق المعرج **8.8 GJ/ton**، وهو ما يعادل ضعفين من الطاقة الكامنه من الخشب الذي يبلغ **4.7 GJ/ton**، وفي ذات الوقت اقل بكثير من الطاقة الكامنة المطلوبة للصلب والتي تبلغ **25 GJ/ton**. م.١٠ص٧٣٣

أ٢- اقتصاديات الانشاء الورقي: يتسم الورق المقوي بالاقتصاد لكونه ماده متجدده يسهل اعاده تدويرها، بجانب خفة وزنة التي تقلل بدورها من استهلاك الطاقة وتكاليف النقل والتجميع في الموقع، اضافة الي ان انخفاض الاحمال الميته للمكونات الانشائية الورقية، كعناصر اساسية او ثانوية، يقلل بدوره من ابعادها ويزيد من رقعه استخداماتها. ومن الامثلة علي اقتصاديات الانشاء الورقي، نموذج "الخلية السويسرية" وهو بيت مؤقت ابتكرته شركة سويسرية تدعي **The Wall** م.٤ص١مساحتة ٣٤م٢، لا تزيد تكلفتة عن **6000** فرنك سويسري، وهو من بنات افكار جيرد نيمولّر الذي أكد علي ان جدران البيت الورقية ذات الخلايا السداسية، قادرة علي تحّمل وزن يفوق مائتا طُن في المتر المرّبع الواحد، وان تلك الجدران قد عولجت بماده تسمح لها بمقاومة النار والريح والماء، وانه يمكن تركيب البيت في غضون ساعات، بكمية موادّ قليلة، وقد سعي نيمولّر لتوفير الدعم اللازم لتعميم ذاك النموذج علي مخّيمات اللاجئين ومناطق الازمات في الدول النامية.

أ٣- التفكيك وقابلية أعادة التدوير للهياكل الورقية Disassembly & recyclability : ان افضل طريقة لادارة النفايات هي في عدم إيجادها، عبارة تبنتها الوكالة الأمريكية للحماية البيئية **EPA** وتشير إلي أهمية تخفيف مصادر النفايات بدلا من التفكير في التخلص منها. م.٥ص٩ وبالتالي فقد اضحي تقليل النفايات وإعاده تدوير المنتجات الثانوية للمباني عنصراً أساسيا للتخطيط والسيطرة علي

دورة حياة المبني. واستنادا الي ذلك فإن مكونات البناء الورقية؛ هي بديل أقل تعقيداً وأكثر سلامه من الناحية البيئية عند انتهاء العمر الافتراضي، اضافة الي القيمة الاقتصادية التي يمكن ان توفرها بالمقارنه مع مواد البناء التقليدية. وعن العائد الاقتصادي الكبير من عمليات اعاده تدوير المخلفات الورقية أكد **طاحون** م.١ص٢٢٤ أنه، وطبقا لاحصائية الوكالة الامريكية لحماية البيئة، فإن تدوير طن واحد من المخلفات الورقية سيوفر كميات هائلة من المياه (٢٨م^{٣}) والطاقة (٤١٠٠ ك وات/ساعه) وتوفير الخامات الاولية التي تستخدم لصناعة الورق. اضافة الي توفير ثلاث ياردات مكعبة من المرادم والمكبات، وانقاذ (١٧) شجره من القطع. ويرتكز التسلسل الهرمي لإدارة النفايات الانشائية من الورق علي البدء، من الأفضل الي الأسوأ بيئيا وذلكً: بالمنع قدر الامكان او بالتقليل ثم اعاده الاستخدام ثم اعاده التدوير ثم التخلص بالحرق أو الطمر. م.١٨ص٣ وتمر عمليات اعاده التدوير بخمس مراحل تبدأ عاده بالغسيل الكيماوي، الخلط والعجن، الشطف، التصفية والكبس واخيرا التجفيف والتشكيل.

واستناداً الى ابراهيم م.٢٢ص٤ تكمن أهمية اعاده تدوير المنتجات الورقية في معالجه ثلاث مشكلات رئيسية: اجتماعية وبيئية وصحية، تسبب بدورها اخطار عديده تحيط بالانسان. وبالتالي فان اي توجه يسعي لمعالجة المشكلات البيئية تحديداً لابد ان يقلل من الاثار البيئية للمنشآت، وفي هذا الصدد حدد **اوزليم** م.١٤ص٩٣ ثلاث اولويات لتقليل تلك الاثار هي: استخدام مواد قابلة لإعادة التدوير، تجنب استخدام مواد تلوث البيئة، تجنب التصميمات التي يصعب تفكيكها. وعلية يمكن تحديد اهم النقاط التي يجب على المصمم أخذها في الاعتبار اذا اراد دعم عمليات إعادة تدوير مكونات البناء الورقية، وذلك من خلال: التخطيط، ومنذ بدايات عملية التصميم، لما بعد انتهاء العمر الافتراضي للمنشا الخفيف، من خلال: اختيار مواد وتفاصيل ومكونات انشائية قابله لاعاده الاستخدام او التدوير، تصميم نظم وصل تسهل من عمليات التجميع والتفكيك وإعادة التجميع، تعزيز الاستخدامات البديله للمكونات الورقية والاستفاده من خصائص المواد التي يعاد استخدمها، استبعاد المواصفات الزائدة عن الحاجة، واخيرا التقليل من الهدر في الخامات والعمليات كلما امكن.

ب- الخصائص الميكانيكية للقطاعات الانبوبية الورقية Mechanical Properties

ان البحث في السلوك الانشائي للورق المقوى هو امر ضروري لتنمية العمارة الكرتونية **Cardboard in Architecture**. ورغم توافر قاعده معلومات كبيره حول خصائص الورق، الا ان جُلها يتعلق بطرق التجهيز واساليب التعبئة والتغليف، أما ما يتعلق منها بالخصائص الميكانيكية المطلوبة للتطبيقات الانشائية، فهي عامة في حاجه الى مزيد من البحث والتقييم بغية التطوير والتدقيق. ولان السلامة الانشائية للتطبيقات الخفيفة هو امر حيوي ويتطلب التحقق من السلوك الميكانيكي للماده، لذا يمكن عرض وتحليل اهم الخصائص الميكانيكية للمكونات الانشائية الورقية كما يلي:- م.١٠ص٧٣٤، م.١٦ص٦٥٩

شكل (٨) **تجميع العناصر الانشائية الورقية بوصلات الومنيوم** أ/ وصله طرفية خماسية ب- شبكه فراغية من قطاعات ورقية مدعومة بكابلات معدنية ج-وصله طرفية سداسية د- وصله طرفية سباعية هـ- وصله طرفية سداسية من الومنيوم

ب١- المتانة والصلابة: تتماثل متانة الورق مع الخشب، غير انه أقل قساوة، اضافة الى كونه مادة لزجة واسترطابي. ويرجع التباين في خواص القطاعات الورقية الى ترتيب عمليات التصنيع، فأثناء عملية التشكيل والتجفيف تكون الالياف محاذية في اتجاه الانتاج **machine direction**، او محاذية في الاتجاه العمودي **cross-machine direction**. ويبين الشكل٩ المنحني النموذجي للاجهاد والانفعال للورق في حالتي الشد والضغط للحالتين **MD**، **CD**. وتشير المنحنيات الاربعه المختلفة الى تباين الخصائص في الورق، ففي حالة **MD** تكون الخامة اقوي مما كانت علية في حالة **CD**. ويمكن ان تنتج الاوراق بمتانة شد قصوي تبلغ **80** ميجابكسل في حالة **MD** وفي حالة **CD** يكون الكرتون اقل قساوة، وتكون المتانة أقل والتشوه أعلي. ويعتمد معدل التباين في الخصائص (**MD/CD**) على خصائص الالياف وعمليات الانتاج، وتتنوع النسبه ما بين ١,٥-٤. وعامة فمن المفترض ان يكون معامل المرونة هو نفسه في الشد والضغط، كما تُظهر المنحنيات ان الشد في حالة **CD** يكون هش نسبيا، وذلك يشير الى عدم وجود تشوه كبير قبل الكسر. وبالنسبه للخصائص الميكانيكية(كقوة الشد والضغط) توجد علاقة بين كلا من معامل المرونة والانفعال الاقصي.

شكل (٩) اختبارت انشائية على القطاعات الورقية: أ/ انبوب ورقي مشكل باللف، تجري علية اختبارات ميكانكية على ب/ المنحنيات الاربع للاجهاد والانفعال في القطاعات الورقية الانبوبية في حالتي **MD & CD**

وطبقاً لـ ايكوات **Eekhout** [م.١٠ص٧٣٧] تتراوح قوة الانضغاط للانابيب الورقية المعاد تدويرها بين **(12–6** ميجابكسل) في حين تبلغ متانة الانابيب المنتجه من الياف نقية حوالي ١٦ ميجابكسل، وإن أقل سمك جدار للأنبوب الورقي الذي يستخدم في التطبيقات الخفيفة، يجب ألا يقل عن ١٠ مم. ومن خلال تجارب شركة **سونوكو Sonoco** تم تقييم اجهاد الانحناء للانابيب الورقية (كما بالجدول ١) على اساس كلا من: القطر الداخلي، سمك الجدار، محتوى الرطوبة، نوع الورق وعمليات التصنيع. وبمعامل مرونة ٢٠٧٠ ميجابكسل، وكثافة ٠,٧٥جم/سم٣ ونسبة بواسون٠,٢٥. ونظرا للطبيعة الزائلة للهياكل المؤقتة، فغالبا ما يتم تخفيض معايير الامان القياسية لها، اضافة الى ذلك فان المخاطر المتوقعة تكون اقل لكون العمر الافتراضي للهيكل يمثل جزء من ذلك البناء. [م.١٦ص٦٦٥]

جدول (١) القيم العامة للخصائص الميكانيكية للورق المقوي طبقا لتجارب شركة سونوك

القطر الداخلي للانبوب	سمك الجدار	اجهاد الانحناء عند محتوي رطوبة ١٠ %	
٣ بوصه (٧٥ مم)	٠.٥ بوصه (١٢.٧مم)	١٣.٢٥ميجابكسل	1922 psi
٤ بوصه (١٠٠مم)	٠.٥ بوصه (١٢.٧مم)	١١.٩١ميجابكسل	1727 psi
٦ بوصه (١٥٠مم)	٠.٦ بوصه (١٥.٢مم)	١٠.٨٩ميجابكسل	1579 psi

ب٣- الزحف Creep الزحف هو زيادة الانفعال على مستوى الضغط المستمر في الوقت المناسب. ويعتمد معدل الزحف على: نوع الورق المقوى، مستوى الضغط، الرطوبة النسبية وعوامل أخرى. ويبدي الورق منحنيات مختلفة لدرجات الزحف. اما إجهاد الاسترخاء **Stress-relaxation** والذي يتعلق بانخفاض الاجهاد عند مستوى الضغط المستمر، فقد اتضح من التجارب ان غالبية الإجهاد يسجل بشكل خطي مع الوقت، ولم تتوفر بيانات دقيقة لكلا من الزحف الاسترخاء.

ب٤- الاسترطاب Hygroscopy: مصطلح يشير الى قدره الورق على جذب جزيئات الماء من البيئة المحيطة من خلال الامتصاص، وغالباً ما تكون ألياف السيليلوز هي المسئولة عن اعطاء الورق هذه الصفة. ويرتبط محتوي الرطوبة للورق المقوي بكلاً من: الرطوبة النسبية المحيطة **Relative humidity** ودرجة الحرارة، وان هذا المحتوي يكون أعلي في الظروف الرطبة والبارده. وهذا يفسر ان زياده مستوى الرطوبة في عنصر ورقي، يسبب ليونة في الألياف وفقد للروبط البينية بها، وبالتالي لابد من مراعاة ان تغير محتوى الرطوبة يؤدي الى تغير في سلوك الإجهاد والانفعال ومعامل المرونة للمكون الورقي. فمثلاً عند درجة حرارة ٢٣ سيليلوزية ورطوبة نسبية بقيمة ٥٠%، يبلغ محتوي الرطوبة في الورق المقوي ٥% تقريبا، وعند رطوبة نسبية بقيمة٩٠% يبلغ محتوي الرطوبة في الورق المقوي ١٤% وتنخفض المتانة والصلابة بنسب ٥٠%. ومن الحلول التي اقترحت للتغلب على تلك الصفة التغطية بـ: زيت بذر الكتان المغلي، دهانات البولي يوريثين، الدهانات المركبة من الراتنجات، الألياف الزجاجية على السطح الخارجي للهيكل الورقي.

ب٥- المقارنة مع مواد البناء الاخري: من المهم لمصمم المنشآت المعدنية الخفيفة ادراك اوجه التفاوت في الخصائص الميكانيكية بين مكونات البناء الورقية وغيرها من مواد البناء الاخري، لاختيار الانسب منها لتطبيقاته. وطبقا للجدول٢، يتبين انه في الوقت الذي يتناسب الورق المقوي مع مجموعه من مواد البناء، ولكن بصلابة منخفضة جدا. يلاحظ ان الصلب والزجاج من مواد بناء التي تتسم بالقوة والقساوة، غير أنها ثقيلة نوعا ما. وبالتركيز على كثافة الوزن، فإن القطاعات الورقية تعادل القطاعات الخشبية، اضافة الى ان الورق المقوي يتشابة مع الخشب في تباين الخواص، حيث ان القطاعات الورقية والخشبية يفقدان متانتهما في اتجاه **X** (شكل٩) وتنمو المتانه في الاتجاه العمودي (في اتجاه النمو) وعلى الرغم من كمّ الأبحاث التي أستوفت جُل الاحتياجات المتصله بإنتاج وصناعة الورق، إلا انها كثيرا ما تفتقر إلى بيانات انشائية

دقيقة وموحده توفر الثقة الكافية للمصممين للاستعانة بها في تطبيقاتهم. فمن أجل الحصول على نتائج عملية، يقوم مختصين باجراء اختبارات التحميل لعناصر انشائية من الورق. غير ان المشكلة، كما راها سكوليش م.ص١بتصرف تكمن في ان النتائج التي يتم التوصل اليها من مصادر مختلفة غالبا ما تكون غير متماسكه، وهو ما يثير الشك من عملية التنبؤ الدقيق حول ثبات خصائص السلوك الانشائي لتلك القطاعات على المدي الطويل. وعامة يمكن القول ان من المستحسن المتابعه في اجراء مزيد من الاختبارات الكاملة للوصول الى نتائج أكثر دقة.

جدول (٢) مقارنة بين خصائص المواد التي تستخدم في التطبيقات الانشائية الخفيفة

الخواص / ماده الانشاء	معامل المرونة Modulus of elasticity (GPa)		اجهاد الضغط الاعلي Ultimate stress compression (MPa)		اجهاد الشد الاعلي Ultimate stress tension (MPa)		كثافة الوزن Weight density (KN/m3)	الطاقة الكامنة Embodied energy (MJ/kg)	اعاده التدوير Recycling
أ- الصلب									
• Fe E235	210		360		360		78.5	25	قابل للتدوير
ب- الزجاج									
• Float glass	70-75		700-900		30/90		24	13.7	قابل للتدوير
ج- البلاستيك									
• Polyethylene	0.6-0.9		20-30		20-45		9.5	80.9	قابل للتدوير
تباين الخواص (١)	↑↑	|◄	↑↑	|◄	↑↑	|◄			
د- الخشب									
• Softwood	8.5-11	0.6-0.9	35-45	3-9	30-80	3-4	4.5-6	4.7	قابل للتدوير
هـ الورق									
• General	2-20	0.5-10	5-10	2-5	15-45	5-20	6-9	5-20	قابل للتدوير
• Solidboard (٢)	3.5	1.6	8.0	5.6	27.1	13.5	6.9	9.4	قابل للتدوير

(١) الخشب ↑↑ اتجاه موازي للنمو
|◄ اتجاه عمودي على النمو
الورق ↑↑ المحازاه في اتجاه الانتاج MD
|◄ المحازه في اتجاه عمودي CD

(٢) قدمت نتائج الاختبارات على الورق من قبل جامعة دلفت للتكنلوجيا بهولاندا TU Delft

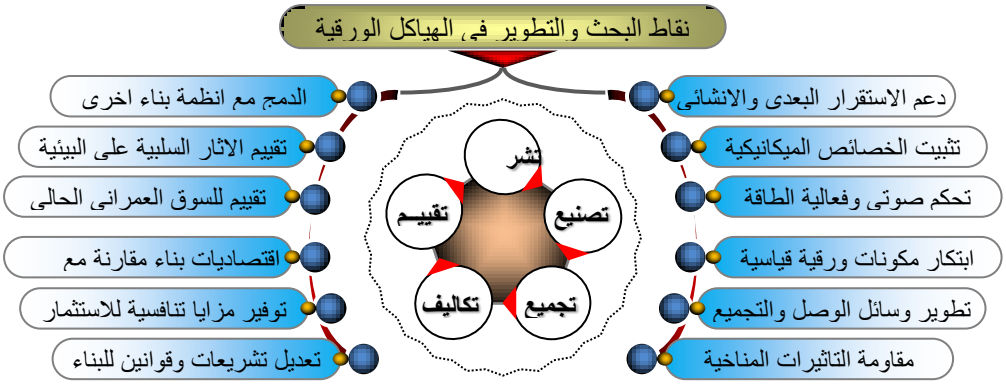
وبناء على ما سبق يمكن استنتاج عده اعتبارات انشائية يجب على المصمم مراعاتها عند توظيفة لقطاعات انبوبية ورقية في تطبيقاته، وهي: ايجاد متوسط للنتائج التي تم التوصل اليها من عدة اختبارات، أو التعامل مع الحدود الدنيا المقبولة للخواص الميكانيكية وبخاصة ما يتعلق بعامل الامان، تجنب الالتواء الموضوعي للمكون الورقي؛ مع تقليل طول العنصر الحر في مناطق الضغط، تجنب الحمل المركز على العنصر الانشائي؛ وبخاصة عند تصميم الوصلات، مراعاة ان الطبيعه اللزجه للقطاعات الورقية لها تاثير على سلوك الهيكل على المدي الطويل، ويجب ان تؤخذ في الاعتبار عند الانشاء وعند معامل الامان للماده، اضافة الى ان بعض انواع الورق المقوى لا تتسم بالقساوة الكافية وتنشأ به تشوهات كبيره، لذا يستحسن اختيار عناصر ورقية من نوعية نقية (مستخلصة مباشره من الشجر) حيث تكون التشوهات مقبوله، او استخدام دعائم مادية مساعده (كابلات معدنية، عناصر دعم او وصل من مواد اخري ...الخ)، والتاكد من كون القطاعات الورقية معزولة بما فية الكفاية، لتجنب الرطوبة التي قد تخترق العنصر الورقي وتضعف من سلوكه الميكانيكي، والاهتمام بعمليات قطع الحواف والتعامل معها بعناية مع طلائها بطبقة مقاومة للمياه.

ثالثاً: مستقبل توظيف القطاعات الورقية في مجال الانشاءت الخفيفة

يتضح من خلال التجارب والتطبيقات السابقة، ان توظيف قطاعات ورقيه في مجال الانشاءات الخفيفة؛ قدم- وما زال- مثالاً جيداً عن الإمكانيات الكبيره التي يمتلكها الانسان لإيجاد حلول إبداعية فعالة، تمكنه من الحفاظ على البيئة الطبيعية والتقليل من المخاطر المحيطة بها؛ والاستثمار الاقتصادي في مخلفات البناء من خلال إعادة الاستخدام والتدوير لمرات عده. وعن مستقبل هذا النمط من الانشاء، وفي ظل التطور المتسارع في خصائص مواد البناء الورقية، طرح **موردوك Murdock** م.١٧ص٢ في مجلة السجل المعماري **Architectural Record** السؤال التالي: هل سيكون الركود الاقتصادي الذي حدث في اواخر العقد الاول من القرن ٢١؛ سبباً في ظهور جيل جديد من المصممين الذين يعملون بالورق **paper architects**؟ وفي إجابته على ذلك لم يفرق بين عَمل نظري يتمحور حول اهتمامات محددة؛ كاللغة ومنهجية التصميم؛ وتجسد في مشاريع لم تتجاوز الاطار التجريبي، وبين اعمال اتسمت بالمضاربة وكانت تمثل شكلاً للنقد الاجتماعي وتجسدت في رؤى تتجه للمثالية، وهو في طرحه هذا يذهب الى ان تطبيقات عمارة المضاربة **speculative architecture**، ومنها الانشاءات الورقية، سواء اجريت بشكل حقيقي أو شبه حقيقي، عاده ما ترتبط بالازدهار الاقتصادي ومدي توفر رُعاه حقيقين للعمارة التقدمية.

ومن ثم فإن تسارع عمليات التطوير والاختبار للمكونات الورقية التي تستخدم في عمليات الانشاء، من المنتظر ان يحدث طفره بنائية ونقله عمرانية تتجاوز الاطار التجريبي وتستشرف مستقبل واعد لانظمة الانشاء الخفيف، وتصبح القطاعات الورقية عندئذ عنصر بناء مجدي تجارياً واجتماعياً ومادة بناء قابلة للحياة. ولعل ذلك يتفق مع رؤية **العطار** م.٢ص٦٢ انه في ظل التقدم التكنولوجي ومع الاهتمام المتزايد بالتنمية المستدامة واعادة التدوير، فمن المتوقع حدوث نمو مطرد في مجال استحداث مواد وخامات انشائية غير تقليدية، يمكنها تحقيق جُل المتطلبات الاستخدامية.

وكذلك يتفق مع رأي عبد الباقي [انظر م.٣ص١٠٨] عندما أشار الى ان التطوير وتقديم رؤي مستقبلية، يتطلبان بناء الفكر المعماري للمصمم من خلال بحوث تركز على عناصر الشق المتغير في العمارة والتي تشمل علوم وتكنولوجيا البناء. واتساقاً مع تلك الرؤي، أوصي موردوك [م.١٧ص٣] بأن تسعي المكاتب المهنية والبرامج الأكاديمية الى إعادة صياغة معاييرها في التكيف مع المتغيرات الثقافية السريعه؛ كما طالب في الوقت ذاتة بإعادة ضبط العلاقة بين الممارسة والتعليم؛ وإعادة تنظيم الممارسة التقدمية مع البحث الأكاديمي؛ معتبراً ان المشروعات التجريبية للبناء بالورق ستكون بمثابة منبر جيد وأداة للتعريف الذاتي، وأن توافر الموارد والاهتمام الاعلامي لاعداد قليلة من التطبيقات الورقية، سيؤدي حتماً الى التفاوض على نظام اقتصادي جديد؛ وعندئذ ستبتكر معه على نحو متزايد تطبيقات العمارة الورقية **paper architecture**.



شكل (١٠) مخطط يوضح اهم نقاط البحث والتطوير في الهياكل الانبوبية الورقية

واستنادا الى ما سبق يمكن استشراف مجموعه من التوجهات المستقبلية التي يمكن لمصمم الانشاءات المعدنية مع مختصين آخرين- تبنيها ودعمها والبحث فيها- لتنمية عمليات الاستثمار التجاري والتطبيق الموسع للهياكل الورقية كنظام بناء مؤقت، وهي تضم عدد من النقاط التي تندرج تحت جوانب: (التقييم، التصنيع، التجميع، الاقتصاد، قوانين البناء) المتصلة بهذ النمط من الانشاء، ويمكن توضيحها اجمالا فيما يلي:-

١. الوعي بأن مكونات البناء الورقية لن تكون بديلا لمواد الانشاء الاخري؛ وانما مكمله لها.
٢. السعي الى دمج المكونات الورقية مع مواد انشائية اخري يمكن ان يوفر حلول مبتكره وفعالة.
٣. تطوير الانشاءات الورقية يحتاج الى تقارب بين التطورات التكنولوجية والخبرات التنفيذية لـ: (مصنعين، مشيدين، جهات حكومية مختصه وبرامج اكاديمية) لتمويل ابحاث تجريبية وتوفير دعم فني.
٤. ان الجدوي الاقتصادية للتطبيقات الانشائية الورقية، يحتاج الى مزيد من البحوث بشأن عمليات: التجهيز، التخزين، التجميع والتنصيب، مقومة التاثيرات المناخية، الهدم واعادة التدوير.
٥. ان اعداد نماذج أولية لتطبيقات ورقية بمقياس وبيئة حقيقين، يساعد على استكشاف سلوكها الانشائي، ويوفر أداة فعلية للتحقق من مناخها الداخلي، ويدقق النتائج التجريبية حول اقتصادياتها ومرونتها.
٦. ان توفير ميزة تنافسية في الانشاء الورقي؛ يتطلب تطور في قياسية القطاعات الورقية وانظمة الوصل وتقنيات البناء والتحكم الصوتي وامتصاص الطاقة، كما يتطلب اخذ تدابير مناسبة لتثبيت الخصائص الميكانيكية والانشائية علي المدي الطويل.
٧. ان توسيع رقعة الاستثمار في أنظمة الانشاء الورقي مرتبط: باستكشاف مزيد من امكاناتها وتطبيقاتها المستقبلية، اعداد دراسات اقتصادية مقارنة مع مواد بديله، تقييم السوق العمراني لتحديد نقاط القوة والضعف لتلك الانظمة مقارنة بنظرائها.
٨. ان تقييم دورة حياة المنشات الورقية يتطلب مزيد من الابحاث حول: كفائة التصنيع، الأداء الانشائي، الاستقرار البعدي، التحكم الحراري، الحماية من التاثيرات الجوية، ثبات المتانه والجساءة على المدي الطويل، إعادة استخدام واعادة التدوير، زياده العمر الافتراضي.
٩. ان تعميم التطبيقات الورقية كأحد نظم البناء المستقبلية، يتطلب مراجعة تشريعات وقوانين البناء، بما يضمن الاداء والسلامة، ويطور من عمليات التفكيك وإعادة التدوير، ويوفر ميزات تسويقية لها.

واخيرا يمكن القول بان هناك دلالات عده تشير الى المستقبل الواعد للانشاء الورقي، كنظام بناء مؤقت، لعل

اهمها هو الكم المتزايد من أبحاث الانتاج والبناء بالمكونات الورقية؛ والتي بدأت تحظي بالاهتمام والدعم في كثير من الأوساط الأكاديمية على مستوي العالم. حيث انشئت أقسام ومراكز علمية متخصصه في هذا الامر ومنها: معهد **ETH** بزيورخ، الجمعية المعمارية في بريطانيا **AAUK**، ومعهد **TU Delft** في هولاندا، معهد جورجيا للتقنيات **GIT** بالولايات المتحدة، ومعهد تكنولوجيا وعلوم الورق **IPST** بولاية جورجيا، وقسم تكنولوجيا منتجات الغابات بجامعة هلسنكي للتقنيات. اما عن مستقبل الدراسات النظرية والتجريبية على هذا النمط من الانشاءات الخفيفة في مصر، يمكن القول انه ما زال في بدايته، ومن المنتظر ان يحظي بالقبول والاتساع على المدي القريب، بشرط ان يتوافر: دعم مالي واعلامي وتنسيق مؤسسي لتمويل النماذج التجريبية وتفعيل التشريعات التي تتعلق بالتخلص من النفايات. وذلك لكون مبادئ الانشاء الورقي عموماً، تتلاءم بصورة كبيره مع خصوصية المناخ الحار في مصر وقلة الرياح الشديدة وطول فصل الصيف، ووجود مخلفات ورقية بوفره، اضافة الى توافقها مع المفاهيم السائده حالياً حول الاستدامة والعمارة الخضراء.

رابعا اهم النتائج والتوصيات

١. على عكس الانشاء التقليدي، يرتكز الانشاء الورقي على فلسفة تجمع بين الاستدامة البيئية والاقتصادية، وينطلق من قاعده تستند الى الإنشاء بالحد الادني والضروري في المواد والعمليات والطاقة، وتعتمد دورة الحياة لتطبيقاته على فكره التناسخ المتكرر والغير محدود للماده.
٢. تُستحدث مواد الانشاء الخفيف كنتيجة لمتغيرات ثقافية وبيئية واستخدامية، تستدعي بدورها تطوراً ايجابياً في منهجيات التصميم وتقنيات التصنيع واساليب التجميع، بغرض تحسين الاداء ودعم اقتصاديات البناء والحفاظ على الموارد البيئية.
٣. ان الاستغلال الجيد للخصائص البيئية والاقتصادية للقطاعات الورقية، يعزز من الاهداف البنائية في التوجه نحو الانشاء المستدام، وتحقيق اقتصاديات التجهيز والبناء، ودعم عمليات إعادة التدوير، والحدّ من التاثيرات السلبية على البيئة، والتخطيط لما بعد انتهاء العمر الافتراضي.
٤. تحظي عناصر البناء الورقية بامكانيات انشائية واقتصادية وبيئية واعده، تجعلها أكثر احتمالا وأكثر جاذبية من مواد البناء التقليدية في: تلبية المطالب الهيكلية للمنشات الخفيفة، وما يتصل بها من مرونة بنائية وانخفاض نسبي للتكاليف، واعادة التدوير وتأثير منخفض على البيئة.
٥. ان تقليل الاثر البيئي للمنشات الورقية يستند الى: استخدام مواد قابلة لإعادة التدوير، تجنب استخدام مواد تلوث البيئة، التصميم لسهولة التفكيك وإعادة التجميع، اختيار مواد وتفاصيل ومكونات انشائية قابله لاعاده الاستخدام أو التدوير، منع الهدر وتعزيز الاستخدامات البديلة.
٦. ان التصميم بالقطاعات الأنبوبية الورقية المتاحه حاليا يتطلب: الأخذ بالحدود الدنيا للخواص الميكانيكية، تجنب الالتواء الموضوعي؛ تقليل طول العنصر الحر في مناطق الضغط، تجنب الاحمال المركزه؛ العزل الخارجي والاهتمام بعمليات قطع الحواف لها.
٧. ان الخصائص الميكانيكية والانشائية التي تم التوصل اليها في القطاعات الورقية، تساعد مصمم الاثاثات والانشاءات المعدنية على ابتكار نماذج تجريبية يمكن توظيفها في المنشآت المؤقتة التي تتسم بـ: خفة الوزن، موسمية، عمر افتراضي صغير، سريعه الاعداد والتشييد، سهلة الفك، غير مكلفة. ومن امثلتها (مظلات، أجنحه عرض، وحدات دعاية واعلان، وحدات ارشادية، وحدات اعاشه مؤقته)
٨. ان استشراف رؤي مستقبلية تدعم استدامة الانشاء الورقي كنظام بناء، يحتاج الى البحث والتطوير في: ثبات الخصائص الميكانيكية، الاستقرار البعدي، قياسية المكونات الورقية، وسائل التجميع، مقاومة التاثيرات الخارجية، التحكم الصوتي وفعالية الطاقة، الصلاحية وزيادة العمر الافتراضي، اقتصاديات البناء، المزايا التنافسية.

<u>وعن اهم توصيات البحث:</u>

١. وضع المخاطر البيئية المحيطه على جدول اعمال المؤتمرات العلمية والخطط البحثية، وتقديم دعم للحلول المبتكره التي تُطرح للتقريب بين الرغبة في النمو العمراني والمحافظة على البيئة الطبيعية.
٢. السعي الى تفعيل وتطوير بروتوكلات التعاون واتفاقات الشراكه والبحوث البينية بين البرامج الاكاديمية والجهات الصناعية والتنفيذية لتوفير الدعم وحل المشكلات العمرانية والبيئية ذات الصلة.
٣. من الضروري ان تستمر الابحاث التجريبية المتعلقة باستخدام الورق كمادة بناء، وان يتم التركيز على تطوير وتدقيق خصائصه الانشائية، ومعالجاته السطحية ووسائل تجميعه.
٤. توفير دراسات جدوي للعاملين بالحقل العمراني عن الامكانات البيئية والاقتصادية للمنشآت الورقية.

خامساً المراجع المستخدمه في البحث

١. زكريا طاحون (٢٠٠٧م) **إدارة البيئة .. نحو الانتاج النظيف**، مكتبة الاسرة، سلسلة العلوم والتكنولوجيا، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهره.
٢. شريف محمد صبري العطار(ابريل ٢٠٠٧) **صناعة مواد وخامات البناء بين توجهات الحاضر وآمال المستقبل**، بحث منشور، مؤتمر الازهر الهندسي الدولي التاسع، كلية الهندسه، جامعه الازهر، مجلد ٢، عدد ٨، القاهره.

٣. عبد الباقي إبراهيم (١٩٨٧) **بناء الفكر المعماري والعملية التصميمية**، مركز الدراسات التخطيطية والمعمارية، مطابع انترناشيونال، القاهرة.

٤. كريستيان رافلاوب (يوليو ٢٠٠٩م) **بيوتٌ من ورق** .. للفقراء والمشردين وللآخرين أيضاً، ترجمة/ كمال الضيف، مقال منشور، مجلة SWI swissinfo.ch، سويسرا.

٥. مجموعة زايد الدولية (ابريل ٢٠٠٩) **النفايات الانشائية.. التنمية المستدامة كاتجاه مستقبلي للتقليل من النفايات الانشائية**، تقييم للتجارب الدولية في معرض اكسبو 2000م بهانوفر -المانيا، مقال الكتروني منشور، مدونات عربية.

6. Behzad Sodagar (2004) **Innovative Materials**, conference paper, Regional Central and Eastern European Conference on Sustainable Building, house publishing, Rotterdam, Netherlands.
7. Branko Sekulić (September 2013) **Structural Cardboard** ..Feasibility Study Of Cardboard As A Long-Term Structural Material In Architecture, Màster Universitari En Tecnologia AL'arquitectura, UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA, Barcelona, Spain.
8. Celine Paoli (june 2007) **past and future of grid shell structures**, master of engineering in civel and environmental engineering, Massachuusetts institute of technology, USA.
9. Filiz Klassen, **Material Innovations**: Transparent, lightweight, malleable & responsive, Ryerson University, Toronto Ontario, Canada.
10. J. Schönwälder & J.G. Rots (June, 2007) **Cardboard: An innovative construction material**, international conference on sustainable construction materials and technologies, Taylor & Francis Group, Coventry, London, UK.
11. Jong-Jin Kim & Brenda Rigdon (December 1998) **Sustainable Architecture Module**: Introduction to Sustainable Design, Published by National Pollution Prevention Center for Higher Education, Minnesota, United States.
12. László Dunai (2007) **Innovative steel and composite structures**, Doctor of Hungarian Academy of Sciences Thesis, Budapest, Hungary.
13. Nicholas Gerbis (march 2014) 10 **Green Structural Engineering Marvels** – How Stuff Works, a division of InfoSpace LLC.
14. ÖZLEM AYAN (2009) **Cardboard in Architectural Technology and Structural Engineering**: A Conceptual Approach to Cardboard Buildings in Architecture, Doctor of Sciences, A dissertation submitted to ETH ZURICH.
15. Shigeru Ban (may 2009) **All the materials in the world**, excerpt from the review " crescendo
16. Steven Preston & Lawrence Bank (2012) **Portals to an Architecture**: Design of a temporary structure with paper tube arches, Construction and Building Materials journal, Vol. (30) Elsevier Ltd, United States.
17. Tim Love (april 2010) **Paper Architecture**, Emerging Urbanism … Realigning progressive practice with academic inquiry, Boston, Northeastern University.
18. Vance Freymann, John Tessicini, Martine Dion: **Planning for Construction Waste Reduction**, USGBC White Paper, Consigli Construction Co. Inc, Milfordm southwestern Connecticut.
19. Y.-M. Chun, P. Claisse, T.R. Naik & E. Ganjian (June, 2007) Sustainable Construction Materials and Technologies, international conference on sustainable construction materials and technologies, Taylor & Francis Group, Coventry, London, UK.
20. www.cv-arch.co.uk
21. www.world-architects.com/en/shigeruban/projects3/japan_pavilion_expo_2000.
22. https://ibragreat.wordpress.com/article (تكنولوجيا إعادة تدوير مخلفات الورق... ترشيد إستهلاك الورق ضرورة ملحّة اليوم قبل غدا، فبراير ٢٠١٢)

ABSTRACT

- There are rapid developments in the creating, processing and recycling of construction materials and techniques. And because they constitute the core of engineering applications, the awareness of the latest development of these materials and applications, constitute the indispensable need for metal buildings designer. For example: the use of a paper tubes structures in many experimental applications, that characterized by: economies of fabrication and construction, reduce assembly and operating Energy, use of environmentally friendly technologies, provide healthy environments both internally and externally, high degree of flexibility in the operations of construction, demolition and recycling.
- Therefore, the **problem of research** stems from the need to provide innovative and reliable material alternatives for lightweight building applications, in order to uphold the principles of environmental sustainability and economics of construction. That problem including the following questions: Is there a point in the use of paper tubes as structural components in temporary atchitectural application? What are the structural factors that affect the efficiency of those components? How to take advantage of thire constructive characteristics in achieving requirements of environmental sustainability? And, Will there be repercussions on the future of the lightweight buildings? Accordingly, the main **aim of the research** is based on: Study the possibility of Using Paper Tubes Structures in some Temporary Applications and a predictive reading about the Future of Lightweight Buildings. This aim wil be achieved according to Inference analytic methodology that contains **three topics**. 1st The use of paper tube structures in the construction, 2ed Analytical study on the structural properties and environmental impacts for the use of paper tubes and 3ed predictive reading about the future of use paper in lightweight structures.