مادة ETFE كبديل مرن للمواد المعمارية التقليدية ونقطة تحول في تصميم العمارة الخضراء في مصر

ETFE Material as a flexible alternative for traditional architectural materials and a turning point in designing green architecture in Egypt

أ.م.د/ نرمين سعيد عباس أحمد

استاذ مساعد بقسم الزخرفة – كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان

Assist. Prof.Dr. Nermin Saeed Abbas

Faculty of Applied Arts – Decoration department – Helwan University

Nermin_saeed@a-arts.helwan.edu.eg

ملخص البحث

إن التوجه العام في العالم للحفاظ على الموارد وترشيد استهلاك الطاقة كان السبب الرئيسي لسعي المصمم الدائم لتحقيق استدامة في البناءات المعمارية. لذلك استعان المصمم بالمواد الخضراء التي تقدم بدائل كثير في تطوير العمارة والواجهات وترفع كفاءة المبنى. وفي فترة اربيعينيات القرن الماضي، بدأ استخدام مادة ETFE وهي بوليمر بلاستيكي يسمى (إثيلين تيترافلوروإيثيلين) يستخدم في التغطية بالرقائق المزودة بالهواء على شكل وسائد ملحومة مع بعضها البعض، قد تكون رقاقة واحدة ، اثنين، ثلاث رقائق أو أكثر. تطورت هذه الرقائق لتناسب استعمالها في العمارة الخضراء والاحتياجات المشابهة لاستدامة المواد. ويصل العمر الافتراضي لهذا الغشاء أو الرقائق إلى ٣٠ عاما ويمكن اعادة تدويرها بالكامل. توفر المادة جودة مطلوبة وجماليات شكلية مميزة جعلتها متاحة للاستخدام في مشاريع معمارية عديدة على مستوى العالم من المدارس، المكاتب، والمرافق الرياضية. وهناك العديد من السمات المميزة لمادة ETFE خاصة في الخطوات البدائية والتجهيزات الاولية للبناء؛ كتصميم هيكل البناء الخرساني أو المعدني الذي يتم كساؤه بالرقائق المنفوخة بالهواء، وأيضا تشكيل وتصميم الواجهة المتنوع ما بين مختلف المقاسات والأشكال للوسائد المصنوعة من الرقائق، كما أن الإضاءة تلعب دورا هاما في تصميم شكل مميز للواجهة ويحكم بها المصمم بواسطة الكمبيوتر. لذلك يقوم البحث بعرض تاريخ المادة بالإضافة إلى طريقة تصنيع الرقائق وتكوين الوسائد وتصميم أشكالها المختلفة، بالإضافة إلى توضيح أهم المميزات الخاصة بها بما أنها تعتبر منافسا هاما لمختلف مواد البناء الحديثة. ويذكر البحث أيضا بعض العيوب التي تشكل عائق قد لا يناسب بعض الوظائف المطلوبة من المادة. ويوضح البحث دور المادة أيضا في تحقيق احتياج معين كانشاء بناء خاص بفاعلية معينة أو حدث ما في وقت قياسي نسبة للبناءات التقليدية، ويمكن التحكم أيضا في شكل الرقائق والغشاء قبل التصنيع بعمل تصميمات متنوعة لتناسب الحدث نفسه.

الكلمات المفتاحية

الأبنية المنفوخة بالهواء ،رقائق ،وسائد ،الإضاءة في الواجهات

Abstract

The general trend in the world to conserve resources and reducing energy consumption was the main reason for the designer's constant pursuit of sustainability in architectural constructions. Therefore, the designer used green materials that offer many alternatives in the development of architecture and facades and raise the efficiency of the building. In the 1940s, ETFE, a plastic

polymer called (ethylene tetrafluoroethylene), was used in architecture on shape of air-inflated foils in the form of welded cushions, which could be one, two, three or more layers. These cushions have been developed to suit green architecture and similar material sustainability needs. The shelf life of this film or foil is up to 30 years and it is completely recyclable. The material provides the required quality and distinctive formal aesthetics that made it available for use in many architectural projects worldwide, including schools, offices, and sports facilities. There are many distinctive features of ETFE material, such as the formation and design of the facade that varies between different sizes and shapes of pillows and lighting plays an important role in designing a distinctive shape. Therefore, the research presents the history of the material, in addition to the method of manufacturing foils, forming pillows, and designing its various shapes, in addition to clarifying its most important advantages, since it is considered an important competitor to various modern building materials. The research also mentions some defects that constitute an obstacle that may not be suitable for some of the required functions of the material.

Keywords

Inflated structure , Architectural Materials , ETFE Foils , ETFE Cushions , LED in Facades

المقدمة

إن عمر مادة ETFE قد يصل إلى أربعين عاما كما ذكرت الأبحاث الميدانية والمختبرات العملية وذلك في الوصول إلى حلول مفيدة لتنفيذ عمارة الصديقة للبيئة. باعتبار أن ETFE لها قابلية عالية لإعادة التدوير بنسبة ١٠٠%، فهي بالتأكيد لها تقديمات واسهامات في استدامة العمارة الخضراء حيث أنها تتطلب أقل حد أدني للطاقة في التركيب والنقل. وبما أنها تعتمد بشكل كلي على توفير الطاقة فيمكن الاستعانة بها كبديل آخر لمادة الزجاج بسبب نفاذها لضوء النهار، سهولة التشكيل والنقل، خفيفة الوزن، ومقاومتها الفعالة للحريق. فهي مادة بديلة ذات بناء شفاف قوية ومتينة لا تتأثر بضوء الأشعة فوق البنفسجية ، أوالتلوث في الغلاف الجوي ، وغيرها من أشكال التجوية البيئية. وتم التوصل لشكل من أشكال التكنولوجيا الضوئية PV التي تدمج الخلايا الشمسية مباشرة مع مادة ETFE. وبما أن مادة ETFE مقاومة للتلوث ولا تتأثر بالأشعة فوق البنفسجية ومكتسبة لخاصية التنظيف الذاتي فذلك يجعلها اختار جيد في تكسية أغلفة العمارة الصديقة للبيئة.

مشكلة البحث

أولا: هناك قصور واضح في التوعية بدور مادة ETFE وعدم انتشارها كنوع من المباني المعمارية في مصر بالرغم من أنها من أهم المواد الرائدة المستخدمة في تكسية واجهات العمارة الخضراء في العالم.

ثانيا: تعتبر البناءات القائمة على الخامات التقليدية الحديثة مرتفة التكاليف نسبيا وتنفذ على مدى وقت طويل، خاصة اذا تطلب تنفيذ مساحات فراغية لحدث ما بوقت قصير مع الاحتفاظ بتوفير الطاقة للتشغيل والنقل وبالتالي تكون هناك صعوبة في توفير هذه المطلبات التي يمكن بسهولة لخامة مرنة كـ ETFE تحقيقها بتكاليف تشغيل أقل من الزجاج والخامات الآخرى.

أهمية البحث

تعتبر مادة ETFE طفرة في عالم البناء من خلال استخدام خامة مرنة تتيح الكثير من الامكانيات في تصميم الواجهات الخضراء التي تساعد على تحقيق الرؤى المبتكرة للواجهات بتكاليف أقل ووقت أسرع من خامات البناء الآخرى.

أهداف البحث

أولا: التوعية بمييزات وخواص مادة ETFE واختلافها الجذرى عن مواد التكسية الآخرى باعتبارها مادة هامة لكساء واجهات العمارة الخضراء في مصر.

ثانيا: امكانية تصميم وتنفيذ تكسية لفراغ معماري خاص بحدث ما في وقت قصير بأفل متطلبات من الطاقة والتشغيل يتميز بالمعاصرة والتجدد.

منهج البحث

يعتمد البحث على المنهج التحليلي الوصفي في عرض تاريخ وأهمية وخصائص واستخدامات مادة ETFE ودورها في البناء المعماري الأخضر مقارنة بمواد البناء الآخرى.

الإطار النظري للبحث:

1- تاريخ نظام ETFE

عرف نظام ETFE منذ أربعينيات القرن العشرين ، عندما مُنحت شركة DuPont لصناعة آلات الطيران براءة اختراع أمريكية لهذه المادة. تم تطوير رقائق ETFE في شركة هويست Hoechst ، والتي قدمتها إلى اختبار مقاومة الاحوال الجوية في كل من ألمانيا وأريزونا. وبعد سنوات من الاختبارات الميدانية على هذه المادة ، في عام ١٩٨٤ وجد أن خواصها الميكانيكية والبصرية لم تتغير ومن ثم تم استخدامها بكثرة في التطبيقات المعمارية.كان أحد التطبيقات الأولى التي تم استكشافها هو مادة العزل للأسلاك الكهربائية، والتي يجب أن تكون مقاومة للاحتكاك والتآكل ومقاومة للبيئات المعادية مثل التعرض للإشعاع ودرجات الحرارة القصوى. أثبتت الرقائق استقرارها وقوتها في مقاومة الأشعة فوق البنفسجية عند تزويد النبات بضوء النهار اللازم لعملية التمثيل الضوئي، ومقاومة الثقب والتمزق، وبالتالي اصبحت الرقائق بديلا جيدا للاختيار لتطبيقها في المبنى الأخضر. خاصة أن هذه الخواص المذكورة سابقا يمكنها تعويض ارتفاع التكاليف الاولية نسبيا.

أسس ستيفان لينرت (مهندس ميكانيكا) لاحقًا شركة Vector Foiltec وهي شركة تصميم وبناء لأنظمة ETFE في جميع أنحاء العالم. واستخدام ETFE في صناعة الأسقف للفراغات المفتوحة والتكسية المعمارية للمباني. في عام ١٩٨٢ كان المشروع الأول عبارة عن جناح في حديقة حيوانات Arnhem Burger التي تقع في أرينهيم ، هولندا. أسس أيضا والتر بيرد شركة Birdair بنيويورك في نهاية خمسينيات القرن الفائت. قام بتصميم وتنفيذ أجمل النماذج للعمارة المنفوخة بالهواء في العالم أيضا بناء هياكل النسيج المشدود المصنوعة من نفس الرقائق. نظرًا لأن ETFE أصبحت مادة معروفة ، فقد تم تكييفها بسرعة في غرفة قيادة Birdair ، واستمرت Birdair في النمو ، مع الشركات التابعة في جميع أنحاء العالم. اليوم تعتبر Vector Foiltec و Birdair من أكبر مقاولي رقائق ETFE المتخصصين في العالم.

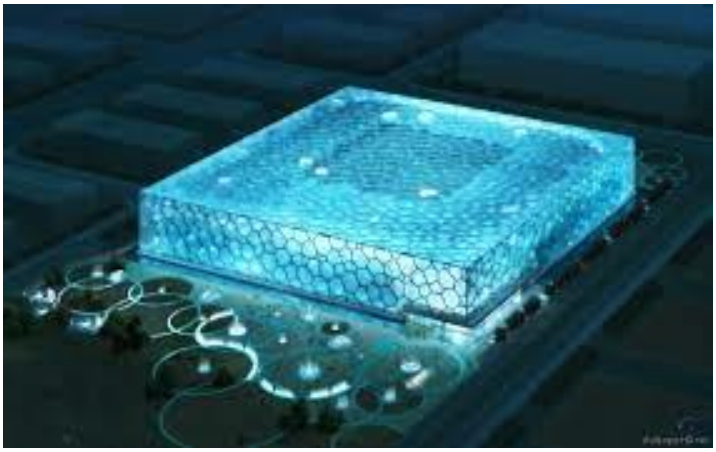
مع استخدام ETFE بشكل متزايد في مجموعة واسعة من المشاريع ، من المدارس والمكاتب ، إلى المباني الحكومية والمرافق الرياضية، يتزايد عدد المنافسين الآخرين بسرعة. أثرت هذه المنافسة المتزايدة على تصنيع المواد أيضًا، ولم تعد شركة

DuPont هي الشركة المصنعة الوحيدة لـ ETFE. تشمل الأسماء التجارية الأكثر شهرة ®Tefzelمن شركة DuPont و ®Fluon من شركة Asahi Glass و ®Neoflon من شركة Daikin.

على مدار الأعوام الماضية ، زاد الوعي بالمواد واستخداماتها ، ويزيد بسرعة في وعي المهندسين المعماريين والمصممين في جميع أنحاء العالم. تم استخدام هيكل الغشاء ETFE على نطاق واسع في أوروبا الغربية ، وخاصة في ألمانيا والمملكة المتحدة ، حيث المناخ معتدل إلى حد ما. وفي الوقت نفسه ، أصبحت حاويات الوسائد ETFE معروفة على نطاق واسع في المقام الأول من خلال القباب الثمانية لمشروع عدن "Eden" بالمملكة المتحدة في عام ٢٠٠٠ ، كما هو موضح في شكل (١)، وقبة الجزر الاستوائية في عام ٢٠٠٤ وسقف المظلة في ملعب أليانز أرينا Allianz Arena في عام ٢٠٠٥، كما هو موضح في شكل (٢). ثم تم استخدام هيكل الغشاء ETFE في الانتشار التدريجي في جميع أنحاء العالم. في أولمبياد بكين ٢٠٠٨ ، تم إدخاله على نطاق واسع في الصين ، والتي كانت تستخدم في الاستاد الوطني "Birds Nest" والمركز الوطني للألعاب المائية "Water Cube" ، كما هو موضح في شكل (٣)، وهو أكبر تكسية للبناء بهذه المادة في العالم حتى الآن. وظهرت بناءات ETFE في المعرض العالمي بشنغهاي عام ٢٠١٠ في كل من جناح اليابان وإيطاليا.

شكل (١) القباب الثمانية لمشروع ايدن "EDEN" بالمملكة المتحدة منفذة بنظام ETFE

شكل (٢) سقف المظلة لملعب أليانز أرينا بألمانيا



شكل (٣) المركز الوطني للألعاب المائية "Water Cube" بالصين

2- بوليمر ETFE

ETFE (إثيلين تيترافلوروإثيلين) Ethylene Tetrafluoroethylene Copolymer عبارة عن بوليمر لدن بالحرارة يتكون من البولي إيثيلين وبولي إيترافلوري إيثيلين، أى أنه مركب من رباعي فلوري الإثيلين TFE (٤ أجزاء) والإثيلين E (جزء واحد) بكثافة نهائية حوالي ١,٧٢ جم / سم ٣. فهو بوليمر صلب، شبه بلوري، شفاف وملدن بالحرارة. يمكن خلط هذه المواد في شكل الحبيبات مع أصباغ أو إضافة تعديلات ويمكن بثقها في رقائق معدنية. كما هو موضح في شكل (٤). وتتراوح درجة انصهاره باعتباره من اللدائن الحرارية عند درجة حرارة تزيد عن ٢٧٥ درجة مئوية. ويمكن معالجته بواسطة تكنولوجيا البثق باستخدام حبيبات ETFE مختلطة تمامًا كمادة خام.

يمكن بثقه في صفائح رقيقة كبيرة، يشار إليها بالرقائق أو الأفلام. يتم إنتاجها بسماكة تتراوح من ٠,٠٥ مم إلى ٠,٣ مم. ويتم إنتاج أفلام ETFE بشكل طبيعي ولكن يمكن تعديلها لتصبح غير شفافة. يظهر هيكل البوليمر شبه البلوري للرقائق التي يزيد سمكها عن ٥٠ ميكرون مظهرًا مزرقًا إلى حد ما. يوفر تركيبه الكيميائي مقاومة كيميائية ممتازة ضد معظم التأثيرات الفيزيائية والحرائق.

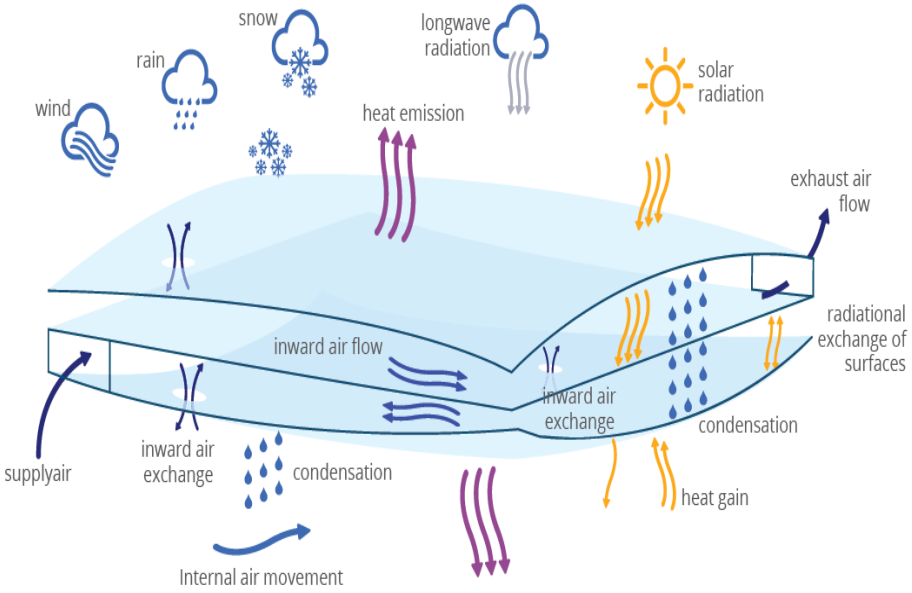
شكل (٤) حبيبات ETFE

3- رقائق ETFE

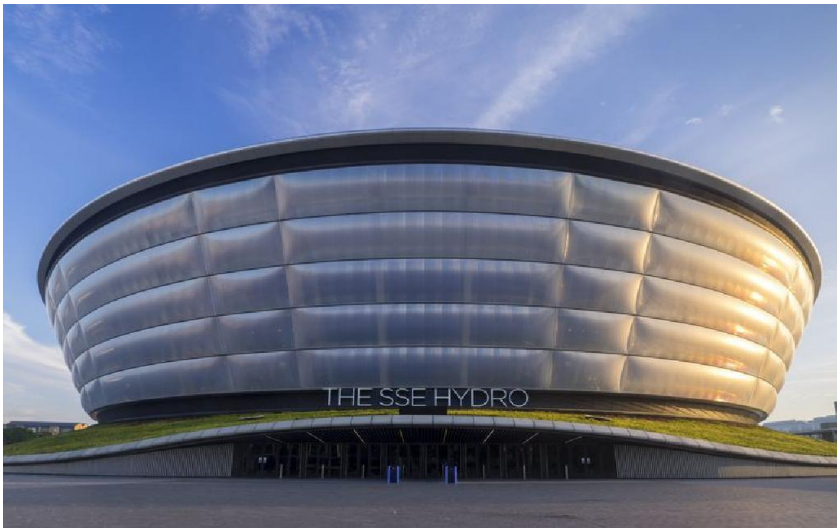
تُستخدم رقائق ETFE في صنع ألواح الوسائد الهوائية متعددة الطبقات في الهندسة المعمارية للتزجيج في أنظمة تسقيف شفافة وجدران ستائر للواجهات والمباني، وتستخدم كجزء من هندسة اليوم بسبب مساميتها الخفيفة ونعومتها. يتم توصيل المادة عادةً كطبقتين، ٣ طبقات ، كأكياس هوائية (وسائد) قابلة للنفخ، كما هو موضح في شكل (٥).

يمكن تصنيع جميع أنواع الوسائد والأشكال المخصصة بواسطة عملية تشكيل حراري لهذه الرقائق المفصلية الرقيقة نسبياً.فيمكن تصميم قطاعات، أسطح مختلفة الأحجام أو حتى واجهات كاملة من هذه الوسائد. وبناءا على ذلك تعتبر المتاحف، أسطح المعارض، المساحات الكبيرة لمواقف السيارات وممرات المشاة في المتنزهات والحدائق من أهم تطبيقات هذه المادة في الاستخدام في المجمل (شكل ٦). بالإضافة إلى ذلك ، تقنيات الإضاءة تسمح بتأثيرات بصرية خاصة في الهندسة المعمارية. كما هو موضح في شكل (٧). يقوم المصنعون حاليًا بتقدير عمر رقائق ETFE إلى ٥٠ عامًا أو أكثر.

تعتبر رقائق ETFE من عائلة أقمشة الشد المستخدمة في هياكل النسيج المشدودة. فهي ليست قماشًا مطليًا ولا قماشًا شبكيًا ، ولكنها تفسح المجال للعديد من اعتبارات التصميم نفسها. حيث تحتوي المادة على العديد من السمات الجذابة التي لا توفر جودة جمالية جديدة فحسب ، بل توفر أيضًا إمكانية توفير التكاليف. وهناك العديد من المجالات التي يتوقع أن يدخل ETFE في تصنيعها كالصناعات النووية، البترولية، الفضاء وصناعة السيارات. بالتأكيد يمكن استخدامه أيضا في صناعة المواد العازلة التي تقاوم الاحتكاك كالإشعاع وتحمل درجات الحرارة العالية لإنشاء الاسلاك الكهربائية العازلة.



شكل (٥) نظام ثلاثي الطبقات لرقائق ETFE



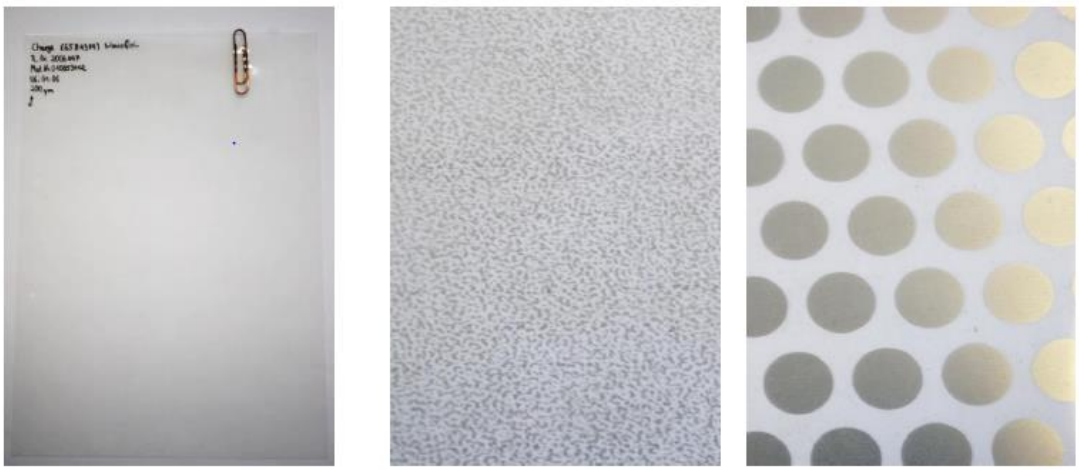
شكل (٦) مبنى The SSE HYDRO باسكتلندا للمعماري البريطاني نورمان فوستر، منفذ واجهته بالكامل بنظام بناء ETFE

شكل (٧) مبنى The SSE HYDRO باسكتلندا، ويوضح شكل اختلاف الإضاءة على الواجهة ليلا

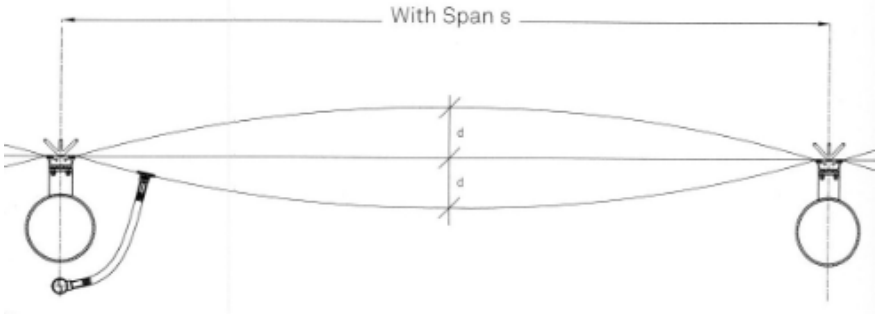
٣-١ انتاج رقائق ETFE foils

لإنتاج رقائق ETFE ، يتم تسخين حبيبات بوليمر ETFE إلى ٣٤٠ درجة مئوية تقريبًا ويتم دفعها عبر آلة تحت ضغط لتشكيل رقائق. يمكن أن تختلف سماكة الرقائق الفردية، ولكنها تتراوح عادةً بين ٢ و ١٢ مل ، اعتمادًا على متطلبات الأداء لظروف التحميل المحددة. عند انتاج الرقائق تستخدم طرق مختلفة وكل طريقة يمكن أن تعطي نتائج تختلف عن الطرق الأخرى. فيمكن الحصول على رقائق تمتاز بسمك صغير ومحدود يصل إلى (١٥٠) جم/سم٣ وذلك باستخدام طريقة بثق الغشاء ونفخه بعرض أكبر. ومع ذلك، قد لا تعطي هذه الرقائق بهذه المواصفات الخواص المطلوبة منها وبدلا من ذلك يتم استخدام طريقة انتاج أخرى. ومن الطرق الآخرى التي تتميز رقائقها بشفافية عالية وخلوها من العيوب هي طريقة انتاج الرقائق بسمك (٣٥٠) جم/سم٣ ، وتتميز أيضا بامكانية طباعتها بأى أشكال مصممة مسبقا إما مسطحة أو بارزة ثلاثية الأبعاد (شكل ٩،٨). هذه الطرق تشترك جميعا في انتاج رقائق فردية أو تجميعها في وسائد طبقتين أو أكثر تم تجميعها معها بالحرارة ثم نفخها بالهواء (شكل ١٠).

شكل (٨) رقائق مطبوعة بأنماط دائرية مختلفة الاحجام واستخدامها في التسقيف

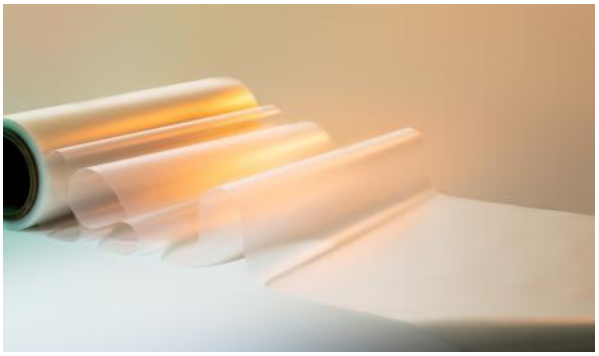


شكل (٩) رقائق على شكل دوائر ، ورقائق على شكل نقاط صغيرة و رقائق شفافة



شكل (١٠) وسادة ذات طبقتين

كما ذكرنا مسبقا كيفية تأثير تغير طريقة انتاج الرقائق في المنتج المبثوق. توجد بعض الطرق الأخرى ومنها الإنتاج عن طريق بثق ونفخ الرقائق Blown Film Extrusion ؛ وفيها تذاب الحبيبات وتخرج من جهاز البثق ويتم تشكيلها وتوسيعها من خلال حلقة توضع في أنبوب وتتم تلك العملية بواسطة نفخ الهواء. أما طريقة البثق المسطح Flat Extrusion (شكل ١١،١٢) هي طريقة تنتج فيها الرقائق بعد البثق بشكل مسطح وتمر بين بكرات وبعد ذلك يتم لفها ويتم تخزينها في أنابيب من الورق المقوى حيث يبلغ سمكها (٠،٠٥) - (٠،٣) مم ويبلغ عرضها (١٥٠) - (٢٢٠) سم . يتم تنفيذ التصفيح lamination ، عن طريق تقنيات لها عدة جوانب مشتركة مع التكنولوجيا المستخدمة أثناء إنتاج الخلايا الكهروضوئية العضوية OPV Organic photovoltaic cells. وتعريف مصطلح عملية البثق في الأساس هي عملية تشكيل للبلاستيك من خلال ضغط البلاستيك في جهاز البثق والذي به جزء مشابه للشكل المقطعي المطلوب تنفيذه. وفي العموم يمكن انتاج اشكال مقطعية مختلفة ومعقدة وذات جوده كبيرة من خلال عملية البثق.



شكل (١١) رقائق شفافة

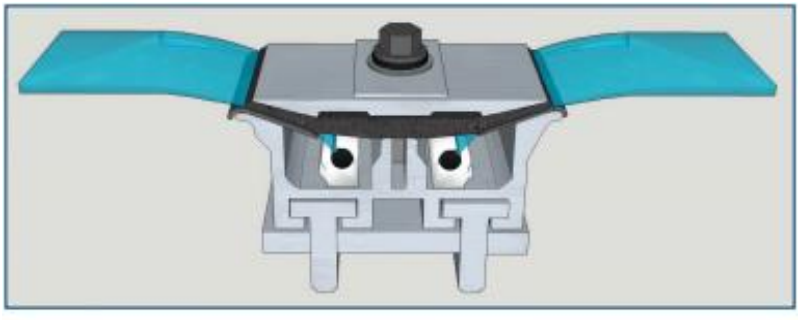
شكل (١٢) رقائق شفافة ملونة

٣-٢ تصميم وسائد ETFE

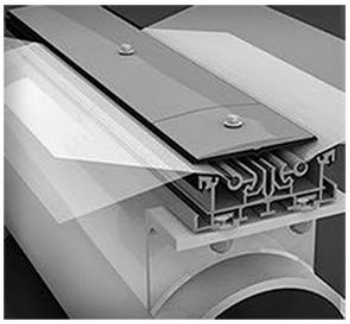
يتم ربط رقائق ETFE الفردية عن طريق اللحام بالتلامس. بعد ذلك ، يمكن استخدامها كرقاقة أحادية الطبقة تمتد بين الإطار أو الوسائد المضغوطة بالهواء المضغوط متعددة الطبقات. كما هو موضح في شكل (١٣) ، (١٤)، ويتراوح الضغط الداخلي عادة بين ٢٠٠ و ٥٠٠ باسكال ، ولكن يمكن اختياره أعلى حسب الظروف الخارجية مثل الرياح أو الثلج. يمكن أن نجد الوسائد الثنائية والثلاثية الرقائق وحتى التي تصل إلى خمس رقائق في المباني الشائعة في أمريكا الشمالية. (شكل ١٥ ، ١٦) يظهر نموذج صمم بواسطة البرامج ثلاثية الأبعاد على الحاسب الألى لتوضيح نظام ربط الرقائق مع الإطار المعدني أو الخرساني الذي تركب عليه الوسائد

شكل (١٣) رقاقة واحدة لنظام ETFE

شكل (١٤) وسادة مصنوعة من ثلاث رقائق تم ربطهم عن طريق اللحام بالحرارة



شكل (١٥) نموذج ثلاثي الأبعاد لنظام ربط وسائد ETFE



شكل (١٦) نموذج ثلاثي الأبعاد لنظام ربط وسائد ETFE

٣-٣ هيكل البناء بنظام ETFE

من أهم العوامل التي تضمن سلامة وحسن أداء نظام البناء ETFE وتأديته لدوره الفعال بأكمل وجه هو الاهتمام بالتنسيق ما بين التصميم وتنفيذ البناء. وذلك يشبه إلى حد كبير تصميم نظام الواجهات التي تحتوي على حوائط ستائرية مصنوعة من الزجاج. يجب على المصمم عند البدء في تصميم المبنى مراعاة العوامل الصوتية، البيئية والمناخية، ومن ناحية آخرى مراعاة العوامل الجمالية التي يمكن أن توفرها الخامة المرنة. أولا يقوم بتصميم هيكل هندسي قوي قد يتم صنعه من الحديد الصلب، الخشب، أو الخرسانة ، وذلك على حسب الغرض المطلوب من البناء. ثانيا يقوم المصمم باستخدام الوسائد المصنوعة من الرقائق في ملء الفراغات الموجودة بين الهيكل الهندسي وذلك بعد نفخها بالهواء المضغوط بضغط معين يصل إلى (٢٠٠ – ٤٠٠) باسكال بواسطة مضخة هواء (شكل ١٧-١٩). من أجل الحفاظ على شكل الوسادة وتكييفه مع قوى الرياح العالية، يربط نظام مجاري الهواء التفصيلية جميع الوسائد ويشغل وظيفة مضخة ضغط الهواء. في حالة تسرب الغشاء توفر مضخة الهواء المساعدة ضغط هواء كافٍ. وغرف الهواء توفر عزلًا حراريًا ممتازًا.

شكل (١٧) هيكل بناء معدني للوسائد

شكل (١٨) شكل الوسائد بعد التركيب وأثناء نفخها بالهواء

شكل (١٩) هيكل بناء معدني مصمم بطريقة مختلفة تناسب شكل تصميم الواجهة

يوضح (شكل٢٠ -٢١) أنبوب هواء بلاستيكي مربوط بالوسادة ونظام مضخة الهواء. وتقوم طريقة عملهم على ضبط ومراقبة الضغط الداخلي عندما يضخ نظام المضخة الهواء مستخدما الأنبوب المربوط بالوسادة (شكل ٢٢). وأيضا يراقب هذا النظام الحرارة ، الرطوبة والرياح وضغطها من خلال أجهزة استشعار. ولكي يضمن المصمم تحمل المبنى ومقاومته للعوامل الجوية كالرياح والتكيف معها، يقوم بضبط ضغط الوسائد من خلال نظام المضخة بمقياس (٢٠٠- ٦٠٠) باسكال.

شكل (٢٠) خرطوم هواء مربوط بوسادة

شكل (٢١) نظام مضخة الهواء

شكل (٢٢) نظام التحكم في ضغط الوسادة وهي تفصيلة بداخل نظام المضخة

يهدف نظام المضخة كما ذكرنا من قبل إلى الحفاظ على الضغط وعدم تدفق الهواء. وذلك يساعد في تغطية مساحة كبيرة من الكساء بالوسائد قد تصل المساحة التي يمكن لنظام المضخة تغطيتها إلى ١٠٠٠ م٢. لكي يتم تنفيذ هذه العملية ، يجب على المصمم استخدام مخرجين لتزويد الهواء بمحركات كهربائية، أحدهما بقدرة (٢٢٠) وات، والأخر (١٠٠) وات. يمكن للوسائد أن تحفظ الضغط بداخلها من ثلاث لست ساعات في حالة تعطل نظام المضخة والمحركات، وهذه من أهم مميزات الصمامات غير المرتجعة. ومن الأنظمة المعروفة " نظام IPS لنفخ وسادة ETFE " وهو نظام متعدد الطبقات يتكون من عدة طبقات من رقائق ETFE وهي محكمة الغلق ومثبتة في إطار من أجل إعادة تركيبها بمضخة صغيرة بشكل متقطع. يتطلب IPS معدات فرعية أخرى مثل مضخات التضخم وقنوات تزويد الهواء ذات الصمامات غير المرتجعة وأجهزة استشعار.

4- خواص مادة ETFE

إن رقائق ETFE أخف وأكثر شفافية من الزجاج في كل طول موجي من الضوء المرئي ، ولها مستوى أعلى بكثير من الشفافية في أطياف الضوء فوق البنفسجي. يناسب ذلك الصالات الكبيرة ذات السقف الشفاف (Atrium) . كما يمكن تقليل ضوء النهار من خلال طباعتها بأشكال وأنماط مختلفة تكرارية وفي نفس الوقت توفر الشفافية المطلوبة. بالنسبة للإضاءة ، يمكن تحقيق مختلف التصميمات المضيئة للواجهة لأن من السهل تركيب أضواء LED عن طريق دمجها في الرقائق بألوان مختلفة. ومن مميزاتها أيضا أنه لا يمكن تقريبًا التصاق الأوساخ أو المواد بها، فيبقى السطح نظيفاً. وغيرها من المميزات والخواص المتعلقة بالاحمال، الضغط والمرونة التي تم اختبارها لسنوات عديدة في البحوث والمعامل.

٤-١ دمج الضوء في وسادات ETFE

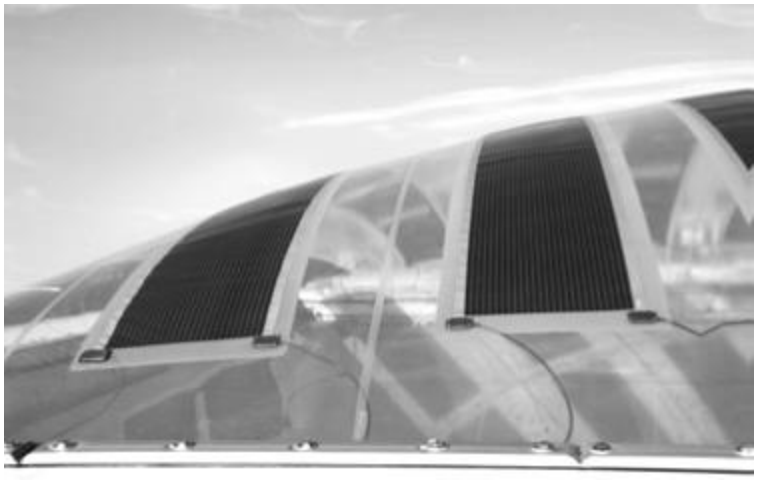
وجود ضوء LED في وسائد ETFE يمكنه تحسين مظهر المبنى، فتستخدم العديد من المباني هذه الأضواء لزيادة جاذبية المبنى. وذلك عن طريق قيام المصمم بتصميم وتطبيق مختلف السيناريوهات للإضاءة بألوان عديدة. وبذلك يمكن أن يحسن ويطور باستمرار في شكل المبنى وامتاع المشاهدين والسائرين ليلا. كما هو موضح في الاشكال من (٢٣) إلى (٢٦). بالطبع يمكن دمج الشرائط الكهروضوئية المرنة التي طورتها شركة SolarNext AG في أنواع الوسائد المختلفة على حسب الغرض المطلوب. وهي شكلاً من أشكال التكنولوجيا الضوئية التي تمكن من إضافة الخلايا الشمسية مباشرة إلى غشاء الوسادة ، وهو الشريط الكهروضوئي المرن (شكل ٢٧). تقوم فكرتها بالسماح للإضاءة بالمرور حتى في وجود هذه الخلايا الشمسية المصنوعة من السيليكون، وتستقر هذه الخلايا بين الرقاقتين المصنوع منهم الوسادة لتحميها من التجوية والرياح والأمطار. وتضمن عملية التصفيح هذه أيضا حماية الخلايا الكهروضوئية من الأحمال والضغوط، اعتمادًا على الجوانب البيئية . يمكن استخدامها في الأسطح أو الواجهات إما في شكل طبقة واحدة أو كجزء من وسادة غشاء متعدد الطبقات.

شكل (٢٣) مبنى مركز الألعاب المائية بالصين

شكل (٢٤) تفصيلة من مبنى مركب الالعاب المائية بالصين

شكل (٢٥) مبنى اليانز ارينا بألمانيا

شكل (٢٦) مبنى اليانز ارينا بألمانيا

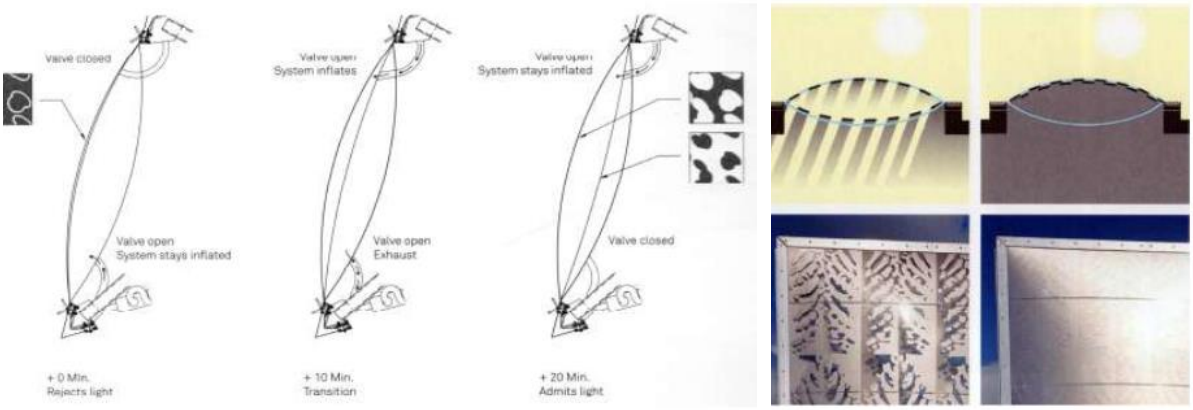


شكل (٢٧) خلايا كهروضوئية مدمجة مع الرقائق

٢-٤ التظليل والشفافية

من أهم الميزات تقليل تكاليف التشغيل والطاقة بسبب ما توفره ETFE من ضوء النهار الكافي ، لذلك لا يتم استخدام إضاءات إضافية نهارا. وتتضمن أنظمة رقائق ETFE عددًا من أنماط التزجيج على طبقة واحدة أو طبقات متعددة لتغيير أداء الطاقة الشمسية وتحسين أداء غلاف المبنى بزيادة عدد طبقات الوسادة والغرف الداخلية بينها والجمع بين خصائص الانعكاس لأنماط الأشكال المختلفة المطبوعة على الطبقات. يوفر ذلك مستويات متعددة في تزويد دخول إضاءة الشمس لتوفير الدفء في الشتاء أو اخفاضها لتلطيف الجو في الصيف. في الأنظمة الأكثر تقدمًا ، يمكن رفع ضغط الغرف وخفضه من أجل تحريك الرقائق الداخلية ، والتي تفتح أو تغلق أنماط التزجيج بشكل أساسي بناءً على الاحتياجات التشغيلية (شكل ٢٨، ٢٩). يمكن تحقيق ما سبق ذكره من خلال طباعة رسوم الجشطالت على الرقائق وتكوين وسادة ذات رقائق متعددة مطبوعة بهذه الرسوم. يتحكم ذلك في كمية الضوء الداخل للمبنى من خلال تغيير الضغط بين الرقائق، فتتحرك الرسوم وتتقابل فيما بينها مؤثرة على دخول الإضاءة.

بالنسبة لتطوير خصائص الشفافية والتظليل، اقترحت الأبحاث الحديثة في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا الجمع بين ثلاث تقنيات في تكنولوجيا واحدة لواجهة ذكية. توفر التقنيات الثلاث وسائد كهربائية تعمل باللمس، عند لمس الوسادة يمكن رؤية ألوان أو خواصها تتغير مثل النوافذ الذكية. يدخل في هذه التقنية بالتأكيد أجهزة استشعار ونوافذ كهروميكانيكية.



شكل (٢٨)، (٢٩) يؤثر اختلاف الضغط داخل الوسادة على تحريك الرقائق، وبالتالي تتحرك الرسوم المطبوعة عليها لتتحكم في الشفافية والتظليل.

٤-٣ الوزن

من المعروف أن خامة الزجاج من الخامات السائدة في تكسية الواجهات بنظام الحوائط الستائرية. بالرغم من ذلك لها سلبيات لا يمكن التغافل عنها وأهمها هو وزنها الثقيل. تتغلب على هذا العيب رقائق ETFE بوزنها الخفيف، وهي من أهم مميزاتها على الإطلاق التي تجعل المصممين يقومون باللجوء لها اقتصاديا أيضا. فتعتبر بديلا منافسا للزجاج بوزنها الذي يقدر بأقل من ١% من وزن الزجاج. يمكن حساب الوزن الكلي لعمليات التشغيل والتنفيذ بنظام ETFE بوجود أكبر عدد من الرقائق، الروابط المعدنية بين الوسائد ، أنابيب توصيل الهواء والحمل الكلي للهيكل الهندسي الذي يحمل الوسائد لن يتعدى الوزن الذي يحمله نظام التزجيج الزجاجي ويعتبر أخف وزنا منه بشكل كبير. كما أن ثقل إطار ETFE المكون من ٣ طبقات هو حوالي ٢-٣ كجم / م ٢ مع الألمنيوم الذي يربطه. هذا الاطار لديه ميزة عدم التباين مع الوسائد. ويسمح بتصميم الفتحات الواسعة بإطار نقل خفيف الوزن.

٤-٤ مقاومة الحريق

مثل العديد من مواد البناء الأخرى من النوع البلاستيكي، هناك دائمًا قلق بشأن كيفية تأدية المواد في حالة نشوب حريق. من المفيد في الموضوع هو احتواء ETFE على الفلور مما يجعلها ذاتيه الإطفاء. أثبت ما سبق المعايير الدولية المختلفة التي تتبعها الابحاث والاختبارات التي تمت على هذه المادة. عند التعرض لحريق يصل درجة حرارته إلى أعلى من ٢٥٠ درجة مئوية، تفتح الوسائد وتخرج الغازات والأدخنة. ويضمن ذلك سلامة وأمان المبنى بسبب ارتفاع درجة ذوبان وانصهار الرقائق، فلا يكون هناك مخاطر من تساقط حطام الحريق. كل ما يتم حدوثه هو ذوبان وانكماش الوسائد التي يلمسها الحريق ويتوقف عن العبور للوسائد المجاورة. في حالة حدوث حريق في المساحات الكبيرة ذات الاسقف العادية، يكون من الصعب التخلص من الحريق إلا بنظم الإطفاء المصممة لتلافي انتشار الحريق بسبب تغذية النار واحتوائها من قبل المبنى. أما في حالة استخدام الرقائق في الاسقف المكشوفة للقاعات الضخمة يتم على الفور تنفيس الحريق وخروجه للهواء الطلق بسبب تقلص الوسائد وانصهارها. وبذلك تمنع ميزات ETFE ذاتية الاختراع والإطفاء الذاتي تراكم درجات حرارة عالية تحت السقف ويمكن أن تمنع الانهيار الهيكلي الكارثي للهيكل الأساسي.

٤-٥ المرونة والتحمل

إن معظم مواد البناء مصممة لتلبية متطلبات القوة والصلابة، فإن من اهم قدرات ETFE الهيكلية هي الليونة والمرونة وذلك من خلال القدرة على الاستطالة بين ٢٥٠-٦٥٠٪ ، فذلك يسمح للمادة بالحفاظ على شدتها وثباتها على الرغم من الانحرافات الكبيرة التي يمكن أن تحدث. على سبيل المثال يمكن للظواهر الطبيعية كالزلازل والرياح العاتية أن تزيد من شدة الأحمال بطريقة فجائية، فبسبب المرونة والاستطالة يمكنها تحمل هذه الاحمال الشديدة. ويجعل ذلك الضغط أخف على الهيكل الهندسي الذي يحملها.

٤-٦ التنظيف الذاتي

يعتبر استخدام ماء المطر في تنظيف أسطح الرقائق من أهم المميزات التي توفر من التكاليف المتعلقة بالصيانة الدورية، وهي من النقاط الهامة التي يجب التركيز عليها خاصة عند مقارنتها بطرق التنظيف التقليدية للأنظمة الزجاجية على السقالات صعودا وهبوطا على المبنى. يتم ذلك بسبب توافر خاصية التنظيف الذاتي ، عدم التصاق الاتربة بالرقائق ومقاومتها للماء أيضا، حتى في حالة عند سقوط الأمطار، يبقى السطح نظيفا. أما الوسائد الداخلية يتم تنظيفها على فترات متباعدة بشكل نادر أيضا. يتسبب التنظيف الذاتي في جعل الأتربة والغبار غير ملتصقة بالسطح، فبالتالي لا تحتاج إلى صيانة دورية وتنظيف كالواجهات والأسقف الزجاجية.

٤-٧ العزل الحراري

من أهم السمات التي يجب توافرها في المباني الخضراء هي عزل الحرارة عن الوصول لداخل المبنى. يتوفر العزل الحراري في مباني ETFE من خلال اختلاف الضغط الذي يتم داخل الوسائد، والذي يقوم به نظام مضخة الهواء وجهاز التحكم في الضغط كما سبق ذكره. ومن المعروف أن مواد البناء الأخرى كالزجاج وغيرها، تتسبب في ارتفاع درجة الحرارة داخل المبنى خاصا في أيام الحرارة المرتفعة ، مما يتطلب استهلاك الطاقة لتوفير درجات حرارة مناسبة في الداخل. يوضح (جدول ١) مقارنة بين قيم عزل رقائق ETFE والزجاج. لذلك تم تطوير خواص عزل الرقائق الحرارية لتتكيف مع مختلف البيئات الخارجية.

جدول (١) مقارنة بين خصائص العزل لرقائق ETFE والزجاج

ETFE Cushion U Value		Glass U Value	
# of Foils	$W^{m-2}K$	$W^{m-2}K$	# of Panes
2	2.94	6.3	Single
3	1.96	3.2	Double
4	1.47	1.9	Triple
5	1.18		

5- عيوب مادة ETFE

هناك بعض العيوب المطروحة لمادة ETFE والتي يمكن التكيف معها أحيانا، حيث تكون مناسبة لبعض الأحداث والأنشطة الحياتية والاجتماعية التي تتم بداخل المبنى أو خارجه على حسب الوظيفة والاستخدام، وبالتالي يمكن لمميزات هذه المادة أن تعوض هذه العيوب. ومن وجهة نظر آخرى، أن بعض الأنشطة قد لا تتناسب مطلقا مع هذه العيوب، فيلجأ المصمم للحلول التقليدية في هذه الحالة. ومن هذه العيوب:

٥-١ العزل الصوتي

إن أفلام ETFE لها نفاذية صوتية بنسبة ٧٠ % ، مما يجعلها مثالية للمشاريع التي يتوقع فيها صدور ضوضاء عالية. ولكن من المعروف أن نفاذية الصوت بهذه النسبة يمكن أن تتسبب في تشويش على أى تفاعلات أو أحداث تتم بداخل المبنى. إذا أخذنا على سبيل المثال تساقط الأمطار يمكن أن يتسبب في تشويش داخلي كبير ويمكنه أن يجعل سقف المبنى يبدو كأنه سقف معدني وليس سقف مصنع من البلاستيك. وبالتباعية يمكن لأى ضوضاء أو أصوات أن تنتقل من داخل المبنى للخارج والعكس صحيح. لذلك يكون بناء ETFE مناسب في الحالات التي لا تتطلب عزل صوتي كبير سواء داخليا أو خارجيا بسبب عزله الصوتي المنخفض مقارنة ببافي المواد الآخرى.

٥-٢ المتانة

إن أسوأ ضرر محتمل يمكن أن يحدث لرقائق ETFE في حالة حمل الصدمات سيكون تمزق أو ثقب. سوف ينحرف غشاء ETFE تحت الحمل أو حتى - في حالة التمزق - من غير المحتمل أن يتسبب في أي ضرر كبير لمكونات المبنى الأخرى أو الممتلكات أو الأشخاص. ففي الاختبارات المعملية ، أثبت غشاء فيلم ETFE أنه مقاوم للثقب بشكل كبير. أظهر اختبار الثقب لوسادة ثلاثية الرقائق أن ٢ × ٤ بوصات. نادرًا ما يخترق مسمار بسرعة ٦٠ ميلًا في الساعة الغشاء تمامًا بعد إطلاقه على الوسادة بواسطة مدفع cannon. بالتأكيد سوف تحتاج أسقف ETFE لصيانة بصفة دورية للتحقق من عدم التمزق أو التفتل لأنه في كثير من الأحوال لا يقاوم القطع بدرجة نهائية لأن في النهاية أى هناك احتمالية لحدوث تلافيات وأضرار بشكل عام.

6- ملائمة مادة ETFE للاستخدام في مصر

إن العوامل البيئية الخاصة بكل بلد هي المؤثر الأكبر في استدامة المواد المعمارية، وقابلية استخدامها وملائمتها للتنفيذ من عدمه. فإن دراسة الخامة وخواصها في ملائمة بيئة التنفيذ شرط أساسي على المصمم تطبيقه ووضعه في الاعتبار منذ بداية التصميم، لإن المعرفة المسبقة للمؤثرات المناخية قد تغيير القرار التصميمي في اختيار مادة البناء، أو انها قد تسبب عمل تعديلات على خصائص المادة المختارة لتتلائم مع ظروف الموقع، وبصورة عامة فإن المؤثرات البيئية تتمثل في درجة الحرارة ، الاشعاع الشمسي ، الرطوبة ، تساقط الامطار ، الرياح واتجاه التحرك الهوائي، البيئة الملحية، المخاطر البيولوجيا. كل ما سبق يمكنه أن يؤثر على استخدام المواد من عدمه أو صلاحية استخدامها في التكسية المعمارية. فتعتبر مادة ETFE من المواد المعمارية التي تناسب التغيرات المناخية المختلفة بسبب خواصها الفريدة المذكورة مسبقا وخاصة أنها من البلاستيك المعالج بتقنيات حديثة. وتشمل خواصها أيضا العزل الحراري ومقاومة الاشعاع الشمسي والمرونة للضغط المختلف وقوة التحمل. هذه المواصفات تكون هامة وشرط أساسي يجب توافره في المباني الخضراء بمصر.

النتائج

1- تعتبر مادة ETFE من أهم المواد الرائدة والسباقة في تنفيذ واجهات العمارة الخضراء الصديقة للبيئة في معظم البلاد الأجنبية لما لها من خواص فريدة تناسب التكيف مع مختلف البيئات من ضمنها مناخ مصر.

2- يوفر بناء ETFE المرونة الكبيرة في تصميم الواجهة واستخدام الإضاءة بتصميمات لا حصر لها تغير من شكل المبنى باستمرار بخلاف الواجهات المبنية من المواد التقليدية كالزجاج وغيرها من المواد المعمارية.

3- من ضمن تجاربها المميزة القدرة على الاستفادة من الامكانيات الضوئية التي تخلق طابع فريد لشكل المبنى ليلا ويمكن لهذه التجربة أن تجذب المتفرجين باستخدام العروض الضوئية على الواجهة في المهرجانات والاحداث الكبيرة.

4- قد يشكل غشاء ETFE ألواح كاملة للواجهات أو قطاعات جزئية للاسقف والفراغات المطلوب تغطيتها وهذا دليل على تلبية المادة لمعظم احتياجات المصمم المعمارية.

5- التحكم المسبق في لون الرقائق ودرجة شفافيتها ونقشتها المطلوبة من أهم المزايا التي توفرها مادة ETFE للمصمم.

التوصيات والمقترحات

ضرورة انتاج رقائق ETFE في مصر ليتم طباعتها والاستفادة من مرونة تصميم أشكالها بعقلية المصمم المصري، لتحقيق بصمة خاصة بالمصمم في استخدام الخامة تظهر عند اندماج التكنولوجيا المتمثلة في هذه الخامة مع معطياتنا المصرية بصورة حديثة وجديدة، مما يعتبر إضافة حقيقية في تصنيع هذه الخامة.

المراجع

1- Andrea G. Maininia, Tiziana Polia, Riccardo Paolinia, Michele Zinzib, Lorenzo Vercesia, Transparent multilayer ETFE panels for building envelope: thermal transmittance evaluation and assessment of optical and solar performance decay due to soiling., International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry, September 23-25, 2013, Freiburg, Germany.

2- Ar. Umesh R. Hirawe, To Find out the Feasibility of Ethylene-Tetra-Fluoro-Ethylene (ETFE) in Inflatable Pillow System (IPS) to be Used for Building Facades, International Journal on Emerging Technologies 8(1): 711-716(2017).

3- Alessandra Zanelli, Carol Monticelli, Paolo Beccarelli and Hend Mohamed Ibrahim, EXPERIMENTAL MANUFACTURE OF A PNEUMATIC CUSHION MADE OF ETFE FOILS AND OPV CELLS, International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures, STRUCTURAL MEMBRANES 2011.

4- Birdair, Tensile Architectural Structures, www.birdair.com

5- B. ZHAO, W. J. CHEN, J. H. HU, Z.Y. QIU and H. SONG, EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON FORMING DESIGN METHODS OF ETFE CUSHION, VII

International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures STRUCTURAL MEMBRANES, 2015.

6- Carol MONTICELLI, Andrea CAMPIOLIa, Alessandra ZANELLIa, Environmental load of ETFE cushions and future ways for their self-sufficient performances, International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2009, 28 September – 2 October 2009.

7- Etfe System, Tensaform, www.tensaform.com

8- Lee Durston, Shawn Robinson, A Case History Review of ETFE on Current Projects, Symposium on Building Envelope Technology, October 2016.

9- Natalie Stranghöner, Jörg Uhlemann ,Faruk Bilginoglu and others, Prospect for European Guidance for the Structural Design of Tensile Membrane Structures, European Commission, Joint Research Centre, Institute for the Protection and the Security of the Citizen, 2016.

10- Peter Flüeler , Doerte Aller, Long-Term Expectations and Experiences of ETFEMembrane Constructions, International Conference of Building Materials and Components, Portugal, April 12th -19th ,2011.

11- Ryan Paul Bessey, Structural Design of Flexible ETFE Atrium Enclosures Using a Cable-Spring Support System, A thesis submitted to the faculty of Brigham Young University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science, 2012.

12- and 2 Yanhui Zhu, Applied Research of ETFE Membrane Gas Pillow Structure Tao Yu- in Modern Stadiums, Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, April 15, 2013.

13- The Masterbuilder, An insight into ETFE – History, Application & Future, MB Bureau Report “Fabric Architecture”, August 2012, www.masterbuilder.co.in

14- Wolfgang Rudorf-Witrin, ETFE-foil, the "flexible glass”. An alternative to glass roofs!?, , International Conference On Adaptable Building Structures [The Netherlands] , 03-05 July 2006.