A resource-based study that contributes to the use of smart materials to achieve sustainability within the context of contemporary architecture.

Wafaa Saleh Ahmed[1] and Khaled Salim Fagal[2]

[1]Architect Engineer, Wafaasaleh740@gmail.com
[2] Architect Professor of Architecture and Environmental Design, Dean of Giza Higher Institute of Engineering and Technology, khaled_faggal@hotmail.com

Abstract - Due to the lack of knowledge and experiences in the criteria for the re-thinking of Smart Materials within the architecture professional practice in Egypt and down to the environmental problems in the contemporary architecture, especially in the housing projects that can't fulfill the requirements of the user and the needs of the new life (comfort, economic housing, eco-housing .etc.), and due to the climate change (the increase of temperature for many causes in Egypt), all these prompt the important calls to focus on the design solutions and experiences aiming and responding to the natural climate control, and passive measures in architectural design derived from the Compatible Technology For Smart Materials and the characteristics of new methods in which is presenting on one hand, 3 different types of materials : 1 – Property Changing Materials, Which Change The Properties Of Mechanical And Electrical Properties As A Reaction Of Change In External Factors 2 – Energy Exchanging Materials (Reversible), Which Changes The Form Under The Influence Of Electric Fields Or Magnetism 3 – Energy Exchanging Materials , Which Transforms Energy From Form To Energy Produced In Another Form, In Addition To The Presentation Of Some Applications Of Smart Materials In Various Parts Of The Modern Intelligent Building, and on the other hand, dealing With Buildings In The Areas Of Hot Climate (Desert) By Mentioning The Characteristics Of Hot Climate And The Problems Of Buildings In The Hot And Dry Areas And The Needs Of Building Systems In These Areas And The Presentation Of The Applications Of Smart Materials That Can Meet These Needs, While The Third Part Is To Present And Analysis Global Examples, Regional And Local Use Of Compatible Smart Materials Technology In Their Buildings To Adapt To The External Environment In Addition To Reducing The Energy Consumed In The Building. So the study tackles the possibility to create a practical understanding and resource-based knowledge on developing sustainable built environment.

Keywords: Smart Materials; Sustainability; Contemporary Architecture

دراسة لقائمة الموارد التي تسهم في استخدام المواد الذكية, لتحقيق الأستدامة في العمارة

المعاصرة م. وفاء صالح أحمد

مهندس معماري

Wafaasaleh740@gmail.com

أ.د. خالد سليم فجال

أستاذ العمارة والتصميم البيئي

عميد معهدالجيزة العالي للهندسة والتكنولوجيا

khaled_faggal@hotmail.com

ملخص البحث:-

تحتاج عملية استخدام التكنولوجيا المتوافقة للمواد الذكية إلي الإلمام الكامل بالمواد الذكية وقد تحقق ذلك في البحث من خلال اد عاكسة للطاقة وهي مواد يتغير شكلها تحت تأثير الحقول الكهربائية أو المغناطيسية 3- المواد المولدة للطاقة وهي المواتقسيمة الى ثلاثة أقسام **الأول: عرض تطور العمارة من خلال تطور مواد البناء المتوافقة مع البيئة والمرشدة للطاقة** وذلك عن طريق ذكر تعريف وخصائص المواد الذكية وأنواعهاوالتي تشتمل على 3 انواع وهي 1- المواد متغيرة الخواص وهي المواد التي تقوم بتغير خصائصها الميكانيكية والكهربائية كرد فعل للتغير في العوامل الخارجية 2- المود التي تحول الطاقة من شكل الى طاقة ناتجة في شكل آخر, بالإضافة الى عرض لبعض تطبيقات المواد الذكية في الأجزاء المختلفة من المبنى الذكي المعاصر, **والثاني: التعامل مع المباني في مناطق المناخ الحارالجاف (الصحراوي)** وذلك عن طريق ذكر خصائص المناخ الحار الجاف ومشكلات المباني الموجودة في المناطق الحارة الجافة واحتياجات أنظمة المبانى في المناطق الجافة وعرض لتطبيقات المواد الذكية التي يمكنها سد هذه الإحتياجات ,**أما الثالث فنتطرق فيه الى عرض وتحليل لأمثلة عالمية وإقليمية ومحلية** استخدمت التكنولوجيا المتوافقة للمواد الذكية في مبانيها للتكيف مع البيئة الخارجية بالإضافة الى الحد من الطاقة المستهلكة في المبنى.

الكلمات الدلالية: *التكنولوجيا المتوافقة بيئيا – المواد الذكية – المناخ الحار الجاف – تطبيقات المواد الذكية – الإستدامة – الطاقة*

المقدمة:-

لقد تغيرت المباني والحياة في المباني على مدار 25 عامًا السابقة. فهي ليست مجرد مباني مدهشة ولكنها تخطت كل التغييرات في تكنولوجيا البناء الآلية من خلال تطوير المواد والمنتجات والإنشاءات المبتكرة والانتقال إلى تزويد المباني بمزيد من الوظائف بالاضافة الى الرغبة في إيجاد وسائل جديدة للتعبير، وتخطي القيود البيئية والاقتصادية ، فأصبح من الممكن الآن تصميم مبانٍ تختلف اختلافاً واضحًا عن مباني العقود السابقة من حيث الشكل ومواد التشطيب والتعامل مع البيئة المحيطة, تعتبر المواد الذكية مصطلحًا جديدًا نسبيًا للمواد والمنتجات التي تتمتع بخصائص متغيرة وقادرة على تغيير شكلها أو لونها استجابة للتأثيرات الفيزيائية / أو الكيميائية ، على سبيل المثال ، الضوء أو درجة الحرارة أو تطبيق مجال كهربائي. قد يترافق تغيير في خاصية واحدة من المواد الذكية في كثير من الأحيان مع تغيير في خصائص أخرى. تغير مركبات فوتوكرومية معينة photochromic (PC) لونها بطريقة عكسية استجابة للضوء او تغيرات درجة الحرارة. وقد يحدث أن تتغير العديد من الخصائص في وقت واحد بتأثير واحد. على سبيل المثال، تغير السوائل المغناطيسية (MGF) عند تعرضها للمجال المغناطيسي خصائص التدفق، وتغير أيضًا الخصائص الكهربائية والحرارية والصوتية والبصرية في نفس الوقت. تظهر بعض المواد الذكية أيضا بطريقة السلوك العكسي عن طريق إجراء تغييرات في كلا الإتجاهين. المواد الذكية الكهروضغطية Piezoelectric قادرة على توليد شحنة كهربائية عند

تعرضهاللضغط أو الجهد والعكس. من الممكن في بعض الأحيان الجمع بين العديد من المواد أو المنتجات ذات الخصائص الذكية معًا لإنشاء تغيرات متعددة في المادة[1].

الهدف من البحث:-

تبحث هذه الدراسة وتهدف إلى إلقاء الضوء على تطبيقات تكنولوجيا المواد الذكية في المباني المعاصرة وذلك من خلال الأهداف الثانوية الآتية:

- إدراك أهمية إستخدام المواد الذكية على النطاق المحلي ودورها في تحقيق الراحة الحرارية والتكيف مع المناخ المحيط مما يعمل على الحد من استهلاك الطاقة المستخدمة.

- إلقاء الضوء على المواد الذكية المتوافقة بيئيا مع كل من التشكيل الحديث للواجهات من إزدياد إستخدام مسطحات الزجاج و مع المناخ الحار الجاف الغالب في مصربغية تحقيق أعلى درجات التوافق البيئي والإستدامة البيئية للحد من إستهلاك الطاقة.

- أساليب الحد من إستهلاك الطاقة الغير متجددة من خلال التكنولوجيا المتوافقة للمواد الذكية.

المنهجية :- إتبع البحث المناهج البحثية التالية :-

1- المنهج الإستقرائي : من خلال دراسة المفاهيم المتعلقة بالمواد الذكية وأنواعها وخصائصها, بالإضافة الى التعرف على تطبيقات المواد الذكية بصفة عامة وبالنسبة للمناخ الحار الجاف بصفة خاصة وكيفية التغلب على مشاكله بإستخدام تلك التطبيقات.

2- المنهج التحليلي: وذلك من خلال عرض وتحليل لبعض التجارب (العالمية, الإقليمية, المصرية) في إستخدام تطبيقات المواد الذكية.

1- تطور العمارة من خلال تطور مواد التشطيب

" مادة البناء من العوامل التي تشترك فى عناصر العمارة البيئية على تأكيد قدرة الأبنية في الاحتفاظ بالحرارة أو منع اكتسابها من البيئة المحيطة، فمواد البناء لديها من الخواص الحرارية التي تعوق أو تؤخر وصول الحرارة من الخارج إلى الداخل ومنها الخواص الحرارية والسمك والملمس واللون. يظل الإنسان دائما يسعى إلى إستغلال موارد بيئته بطريقة أو بأخرى لإشباع حاجاته عن طريق الوسائل التكنولوجية, ومن أهم العناصر التي تبرز هوية المعمار فى العالم هى مادة التشطيب المستخدمة في واجهات المبانى على إختلاف أنواعها، وهي ظهرت منذ القدم وتظهر مواد بمرور الزمن لتصبح تراكمية وهى على الترتيب { الطين، الحجر، الحديد, الخرسانة، الزجاج، الألمنيوم، الصاج, التيتانيوم } "[2].

بدءا من أوائل القرن العشرين بدأالمعماريون في تقييم المباني بمواد مستحدثة وبشكل معاصر في الدول المتقدمة وتلتها الدول النامية بعيدا عن خصائص البيئة لتصبح كتلة إبتكارية, حتى ظهرت قضايا التكلفة والإستدامة والإحتباس الحراري فبدأ التفكير في مشاكل العمارة وتقسيمها ومنها مواد التشطيب والتي هي في الأصل مسؤلية المعماري عند تصميم المبنى.

" كان على المرء أن يقبل ويتعامل مع مواصفات المواد القياسية مثل الخشب أو الحجر، والتصميم لإستيعاب حدود المادة، بينما خلال القرن العشرين يمكن للمرء أن يبدأ في اختيار أو هندسة خصائص مادة عالية الأداء لتلبية حاجة محددة بشكل محدد, ولكن مكن تصنيع الزجاج المصحوب بالتطورات في أنظمة تحكم النموذج العالمي من خلق عمارة شفافة في أي مناخ وأي سياق. سمح الإنتشار الواسع لأنظمة الجدران الستائرية بإنفصال مادة الواجهة عن الوظائف النفعية بحيث أصبحت الواجهة عناصر فنية بحتة, ونتيجة لذلك أصبح فكر المعماريون اليوم في المواد كجزء من لوحة التصميم التي يتم من خلالها إختيار المواد وتطبيقها كأسطح تركيبية وبصرية. ولكن بعد ظهور المشاكل البيئية المشار إليها بدأ المعماري في إختيار مواد تشطيب لها خصائص عالية الأداء لتلبية إحتياجات المستخدم مثل المواد الذكيةنظرا لأن خصائصها قابلة للتغيير وبالتالي تستجيب للإحتياجات العابرة.

[1]"smart materials in architecture, interior architecture and design", birkhauser-publisshers for architecture, Basel, Berlin, Boston

[2]نعمه حسن السيدعمر (2013)," رصد وتسجيل لتطبيق تقنيات الحاسب الآلى ودورها فى تطويرعمارة المستقبل (دراسة حاله على مبانى العمارة الذكية)", بحث غير منشور للحصول على درجة الماجيستير, قسم الهندسة المعمارية, كلية الهندسة, جامعة القاهرة, صـ : 75.

على سبيل المثال، تغير مواد فوتوكروميك لونها (خاصية الانتقال الطيفي) كلما زاد الضوء الساقط عليها، كلما كان السطح أكثر قتامة. هذه القدرة على الإستجابة لحالات متعددة بدلاً من أن تكون مثلى بالنسبة لحالة واحدة قد جعلت المواد الذكية إضافة فعالة في لوحة التصميم لأن المباني دائمًا ما تتعايش مع الظروف المتغيرة. ونتيجة لذلك، فإن العديد من المقترحات تتضارب في مدى إمكانية بدء المواد الذكية في إستبدال المزيد من مواد البناء التقليدية "[1].

1- 1 تعريف المواد الذكية:

هي المواد القادرة على الإحساس والتجاوب مع البيئة المحيطة، بالطريقة المطلوبة والمحددة من قبل ، بحيث تستطيع تغيير خصائصها الفيزيائية لحظيا (كالشكل واللون ودرجة اللزوجة) استجابة لمحفزات طبيعية أو مصطنعة وتقوم في بعض الحالاتبعمل تصحيحي، وتحقق هذا الهدف من والمعالجات من خلال التكامل بين عناصر مختلفة مدمجة بهذه الموادمثل:الحساسات Sensors والمعالجات Processors والكمبيوترات الدقيقة[2].

تعريف وكالة ناسا NASA للمواد الذكية: هي مواد عضوية أو عضوية معدنية معقدة التركيب تظهر على أشكال مختلفة من البوليمرات (اللدائن) حيث يتم تصنيعها على هيئات مختلفة لتستخدم كمجسمات خاصة لبعض الأجهزة الحساسة[3].

1- 2 خصائص المواد الذكية:

يمكن تلخيص لبعض خصائص المواد الذكية المعمارية والتي يمكن الإستفادة منها على النحو التالي:

خصائص المواد الذكية
القدرة على التغير والتحول بما يلائم الظروف المحيطة
الإستجابة اللحظية للمحفزات الخارجية
الحساسية والقابلية للتطور والتكيف بحيث تغير من خصائصها الفيزيائية مستجيبة للمحفزات من الداخل والخارج
القدرة على العمل خلال منظمات الكترونية
إمكانية التحكم فيها عن بعد
سهولة الاحتمال والتبديل وخفة الوزن
القدرة على إعادة الإصلاح الذاتي وترميم أجزائها التالفة التي سببتها الظروف البيئية
القدرة على التشخيص الذاتي لمناطق الخلل الموجودة بها عن طريق المقارنة بين الاداء الحالي والسابق
القدرة على الإحساس بالطاقة كتخزينها في أوقات إرتفاع درجات الحرارة واطلاقها عند انخفاض درجات الحرارة

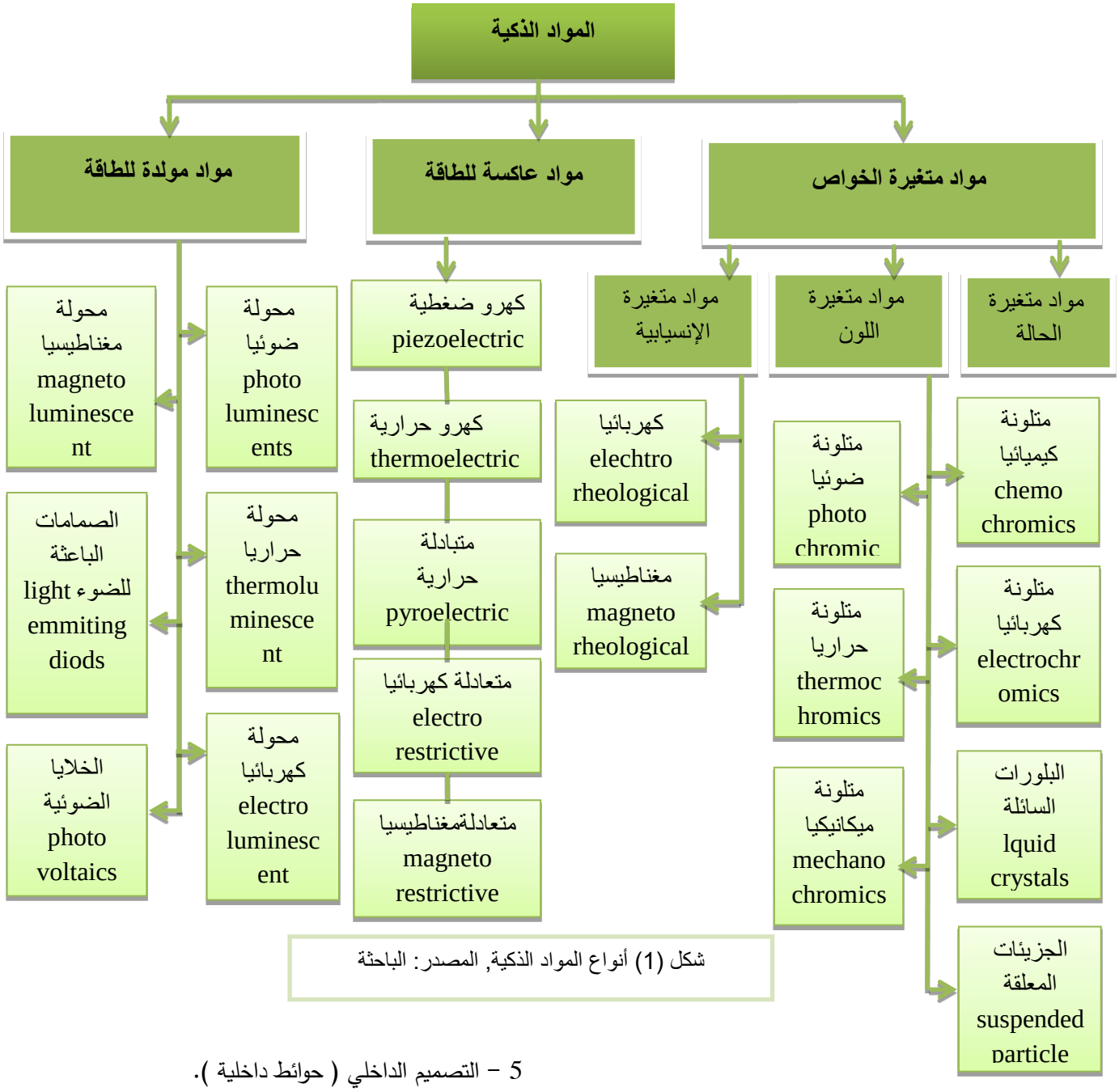
جدول (1) يوضح بعض خصائص المواد الذكية المستخدمة في تشطيب الواجهات,
المصدر: أسماء مجدي فاضل (2011).

[1]نهى حسين حفناوي (2013), "تأثير إستخدام المواد الذكية على الأداء البيئي للمباني في المناطق الجافة", بحث غير منشور للحصول على درجة الماجيستير, قسم الهندسة العمارية, كلية هندسة, جامعة القاهرة, صـ : 108.

[2]Addington, M & Schodeck, D. (2004), " Smart Materials and Technologies for the architecture and design professions ", Architecture Press, an imprint of Elsevier , Linacre House, Jordan Hill, Oxford, UK.

[3]ديفت عبد المسيح غبريال (2016), "دراسة تحليلية للضوابط التصميمية البيئية في العمارة الذكية", بحث غير منشور للحصول على رجة الماجيستير, قسم الهندسة المعمارية, كلية الهندسة, جامعة القاهرة, صـ: 108.

1- 3أنواع المواد الذكية



شكل (1) أنواع المواد الذكية, المصدر: الباحثة

1- 4 بعض تطبيقات المواد الذكية في المبنى الذكي:

تظهر المواد الذكية في المبنى في عدة عناصر في المبنى:

١- الهيكل الإنشائي (بلاطات – كمرات – أعمدة).

٢- الغلاف الخارجي (حوائط خارجية – كسوات خارجية).

٣ – المعالجات (درجة حرارة – إضاءة – تهوية).

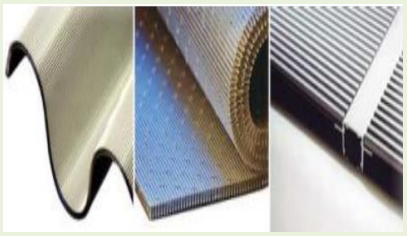
٤ – التشطيبات (أسقف – أرضيات – كسوات داخلية).

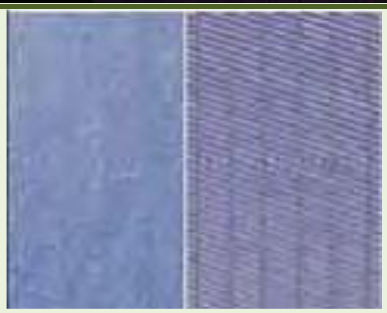
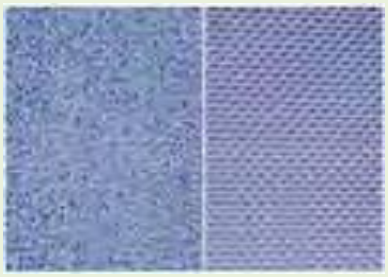
5 – التصميم الداخلي (حوائط داخلية).

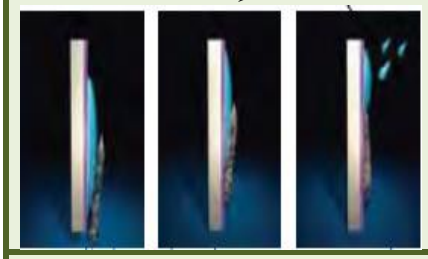
ونظرا لصعوبة عمل دراسة بحثية في المواد الذكية لكافة عناصر المبنى ونظرا لإختصاص البحث في الحد من إستهلاك الطاقة المستخدمة الغير متجددة لإحتياجها الى موسوعة, لذا سيتم الإكتفاء بالمواد الذكية لعنصر تشطيبات الغلاف الخارجي.

وفيما يلي جدول (2) يضم بعض تطبيقات المواد الذكية في تشطيبات واجهات المبانى والتي يمكن الإستفادة منها محليا في المناخ الحار الجاف, المصدر: الباحثة

المادة	أماكن إستخدامها في المبنى	مميزاتها	أمثلة لإستخدامها
<u>نوع من أنواع تطبيقات الخرسانة الذكية:</u> **الخرسانة المسلحة ذات ألياف الكربون** **Carbon fiber reinforced concrete**	الأعمدة الخارجية للمبنى	إضافة ألياف قصيرة من الكربون الى خلطة الخرسانة التقليدية تؤدى هذه الإضافة إلى تمكين الخرسانة من اكتشاف الإجهادات والتشوهات الموجودة في الخرسانة. هذا التغير يتم رصده بواسطة مجسات كهربائية خارج هذه المنشآت.	تطبيق الخرسانة ذات الألياف الكربونية في المبنى
<u>نوع من أنواع الألومنيوم الذكي:</u> **ألواح الألومنيوم المغلفة** **Aluminum Coated Sheets**	تركب هذه الألواح داخل الحوائط أو فوق الواح الأسقف	تقوم هذه الألواح بإمتصاص الحرارة الزائدة في الفراغ الداخلي للمبنى وتخزينها حتى تنخفض رجة الحرارة مرة أخرى ومن ثم إطلاق الحرارة للفراغ الداخلي (الاشعاع), إستخدام هذه الألواح بجانب تكييف الهواء يمكن أن يخفض من فواتير التدفئة في الشتاء بنسبة 15%.	لقطة خارجية لمبنى crossway في بريطانيا
الطوب الذكي **Smart Brick**	الهيكل الأنشائى للمبنى– القواطيع الداخلية	مراقبة الحالة الانشائية للمبنى وحماية الافراد داخل المبنى بحيث يمكن للثرميستور بداخله إرسال بيانات خاصة بدرجة الحرارة, الإهتزازات الأرضية الناتجة عن الزلازل, او إندلاع حريق في المبنى.	شكل الطوب الذكي المستخدم في المباني

نوع من أنواع الألومنيوم الذكي: **الألومونيوم القابل للتشكيل** **Aerofoamed Aluminum**	الحوائط والأسقف	صفائح من الألومنيوم تتسم بالمرونة والتنوع في السماكة والتصميمات, كما أنها مزودة بطبقة تقوم بحماية السطح من الأشعة فوق البنفسجية, وهي تعتبر من المواد الخفيفة التي يسهل إستخدامها.	 شكل الألومنيوم القابل للتشكيل
الخرسانة الناقلة للضوء **Light Transparent Concrete**	الحوائط	مزيج من الخرسانة مع مصفوفة من الألياف البصرية وتعطي نفاذية على العالم الخارجي المحيط بالفراغ كما تسمح بمرور الضوء من خلالها مع وجود تباين بين الأجزاء حسب سمك الجدار	تطبيق الخرسانة الناقلة للضوء على حائط
تكنولوجيا البللورات السائلة **Liquid Crystals**	الفتحات الخارجية – قواطيع الفراغات الداخلية فى المبنى	تعمل البللورات السائلة الموجودة بين طبقتى الزجاج على التحكم في كمية الضوء النافذ منها بحيث تكون النافذة شبه شفافة وعند تشغيل التيار الكهربي فإن جزيئات البللورات السائلة تصطف مع المجال الكهربي ويصبح الزجاج شفافا ليسمح للضوء بالمرور والرؤيا في الإتجاهين تستعمل في الفراغات الداخلية لتوفير الخصوصية, وكذلك في الإستعمالات الخارجية إذا كان المناخ مشمس.	حائط فاصل من الزجاج من البللورات السائلة و كيفية تغيرها من الإعتام إلى الشفافية والعكس عند مرور التيار الكهربى

مادة الأيروجيل **Aerogrl**	مادة تشبه الزجاج وتستخدم في النوافذ و يمكن إستخدامها في الجدران الشفافة أوالمناور.	عازل جيد للحرارة ولا تحترق وتقلل من درجة الحرارة بما يعادل سمك 10 – 20 سم نافذة زجاجية مما يساعد على تقليل الاحساس بارتفاع درجة الحرارة داخل الفراغ المعماري، هذا بالإضافة إلى خفة وزن هذه المادة.	شكل مادة الإيروجيل والتي ينتج منها تطبيقات أخرى مثل: الزجاج المتجلط, الزجاج الهلامي, الزجاج الرغوي.
<u>نوع من أنواع الزجاج الذكي:</u> الزجاج العازل **Insulated Glass**	النوافذ الخارجية للمبنى	يعمل هذا الزجاج على توزيع الإنارة بصورة متساوية في الفراغ دون تكوين ظلال.بالإضافة إلى خاصية العزل التي توفرها من خلال الإنعكاسية العالية لجدران الخلايا التي تتضمنها. وبذلك فإن هذا الزجاج يوفر التحكم الشمسي حسب الوقت من السنة والنهار.	 أشكال مختلفة للزجاج العازل 
إطارات النانو جيل نصف شفافة **Nano Half Transparent Frames**	النوافذ الخارجية للمبنى	مادة مشتتة للضوء ولها قابلية للطي والاحتواء والتشكيل بأي شكل وتعمل على زيادة العزل الحراري والصوتي بالإضافة الى ملامتها للعمل في البيئات الحارة لما تمتاز به من عوامل (U–Value) منخفضة وعوامل عزل عالية.	إستخدام إطارات النانو جيل في الواجهات الخارجية للمباني

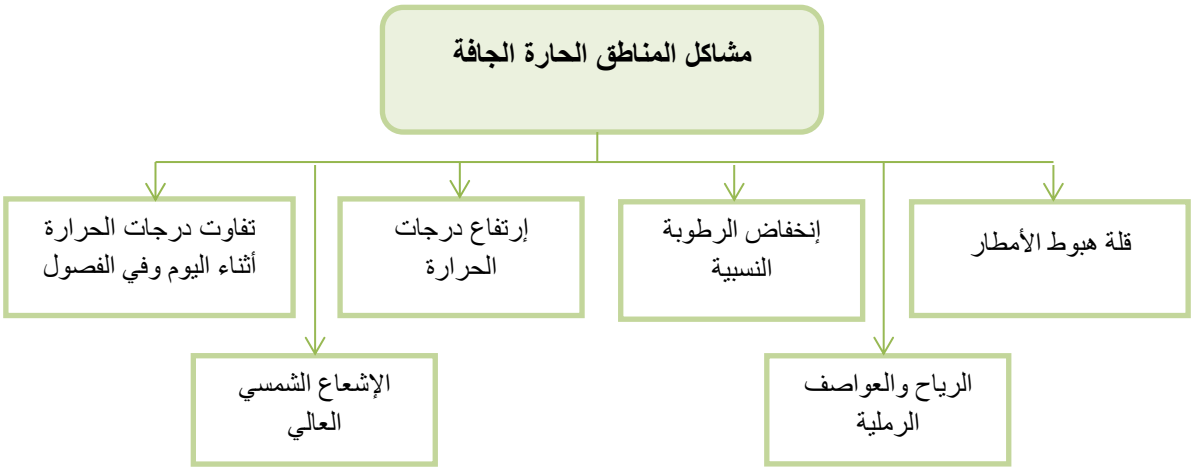
الزجاج ذاتي التنظيف Self Clening Glass	النوافذ الخارجية للمبنى	نوع من أنواع الزجاج المتقدم ت طلاؤه بمادة اكسيد التيتانيوم TIO2 بحيث تقوم بالتنظيف الذاتي والتخلص من المواد الملوثة العالقة على ألواح الزجاج	ألواح الزجاج المطلية بمادة أكسيد التيتانيوم وإزالتها للملوثات 

جدول (2) يوضح المواد الذكية وتطبيقاتها على واجهات المباني, المصدر: الباحثة

2- المناخ الحار الجاف

يتصف مناخ المناطق الحارة الجافة بوجه عام بإرتفاع درجات الحرارة، مع وجود إختلافات حادة في درجة الحرارة اليومية (النهار / الليل) ودرجة الحرارة الموسمية (الصيفية / الشتوية) وقليل ما يحدث هطول أمطار، ولكن مع ذلك قد تسبب فيضانات شديدة والرياح الباردة تسود في فصل الشتاء. كثافة الإشعاع الشمسي عالية ويزداد بواسطة الأشعة المنعكسة من الأرض[1].

2- 1 مشاكل المناطق الحارة الجافة في مصر

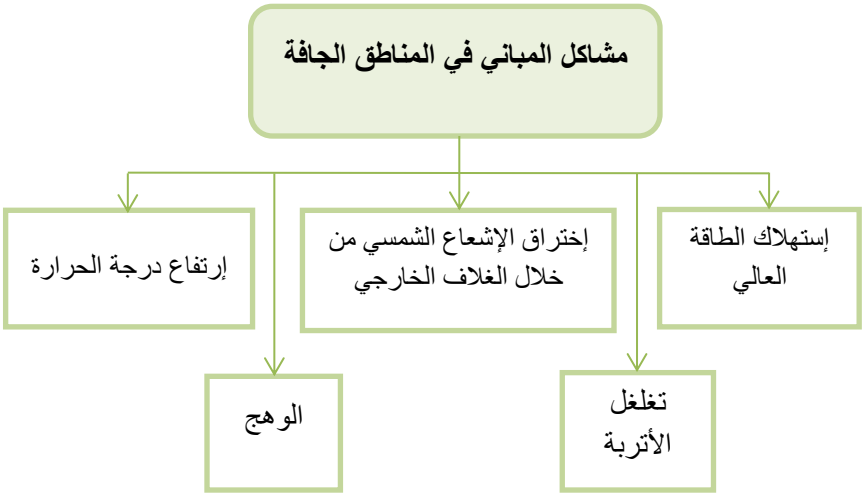


شكل (2) المشاكل الأساسية للمناطق الحارة الجافة, المصدر: الباحثة

[1] مرجع سابق, نهحسينحفناوي (2013), "تأثيراستخدام المواد الذكيةعلى الأداء البيئي للمباني في المناطق الجافة",صـ: 66.

2-2 مشاكل المباني في المناطق الحارة الجافة:

تعمل خصائص المناطق الحارة الجافة والتي ذكرناها سابقا على التسبب في مشاكل للمباني في المناطق الحارة الجافة مثل: إرتفاع درجة الحرارة وإستهلاك الطاقة العالي في أنظمة التكييف الداخلية، والإشعاع الشمسي الذي يواجه غلاف المبنى وينتقل الى الداخل على صورة طاقة حرارية تتسبب في بيئة حرارية داخلية غير مريحة، ومشاكل الإضاءة (مثل الوهج) نظرا لزيادة معدل الإشعاع الشمسي الساقط على الواجهة الخارجية للمبنى بالإضافة الى تغلغل الأتربة التي تسببها الرياح والعواصف الرملية.

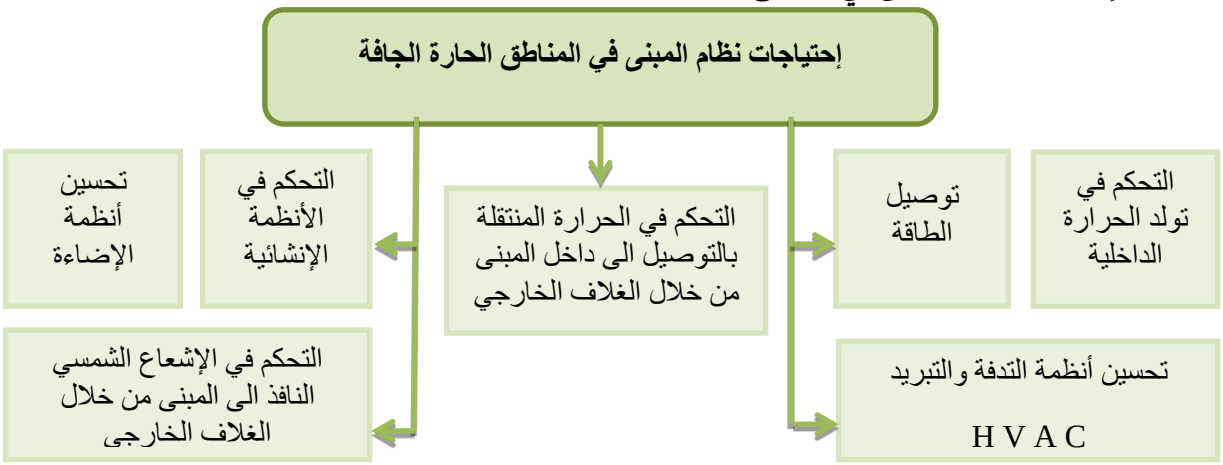


شكل (3) المشاكل الأساسية للمباني الموجودة في المناطق الجافة, المصدر: الباحثة

2- 2 إستخدام تطبيقت المواد الذكية لحل مشكلات المباني في المناطق الجافة

نظرا لخصائص المناخ الحار الجاف والمشاكل التي يسببها للمباني الموجودة به ظهرت العديد من الإحتياجات اللازمة لتكون البيئة الداخلية للمباني ملائمة حراريا وصحيا ومن هذه الإحتياجات التحكم في الإشعاع الشمسي المنتقل للداخل, التحكم في إنتقال الحرارة, التحكم في الحرارة المتولدة بالداخل, كيفية توصيل الطاقة الكهربائية المتولدة, تحسين أنظمة الإضاءة, تحسين أنظمة H V A C, التحكم في النظم الإنشائية الخاصة بالمبنى.

2- 3 إحتياجات أنظمة المبنى في المناطق الجافة



شكل (3) متطلبات المبنى فى المناطق الحارة الجافة, المصدر: الباحثة

2- 4 تطبيقات المواد الذكية التي يمكنها سد إحتياجات أنظمة المباني في المناطق الحارة الجاف

مشاكل المبنى	إحتياجات أنظمة المبنى	الخصائص المطلوبة	المواد الذكية التي يمكن تطبيقها	الوصف
إختراق الإشعاع الشمسي من خلال غلاف المبنى	**التحكم في الإشعاع المنتقل من خلال غلاف المبنى**	مواد الإنتقال الطيفي	- تكنولوجيا الحبيبات المعلقة. - تكنولوجيا البللورات السائلة. - المواد المتغيرة لونيا بواسطة الضوء. - المواد المتغيرة لونيا بالكهرباء	مواد تتغير من الحالة الشفافة الى النصف شفافة أو المعتمة في حالى تعرضها للضوء أو الكهرباء
		الحالة النسبية لمواد الغلاف الخارجي	- أنظمة الألواح (خارجية وداخلية) - أجهزة إستشعار بالإشعاع. (الضوء) من خلايا كهروضوئية - المحركات (سبائك ذاكرة الشكل ، والمواد المتعادلة كهربيا ومغناطيسيا).	مواد عند تعرضها للضوء تنتج طاقة كهربائية
إرتفاع درجات الحرارة	**التحكم في انتقال الحرارة بالتوصيل من خلال غلاف المبنى**	التوصيل الحراري للمواد	المواد متغيرة الحالة (الحرارية)	مواد تغير من حالتها في حالة تعرضها لتغير في درجة الحرارة في صورة تخزين أو إمتصاص أو إنبعاث للطاقة
إرتفاع درجات الحرارة الداخلية	**التحكم في توليد الحرارة الداخلية**	السعة الحرارية للمواد الداخلية	المواد متغيرة الحالة	هي مواد تقوم بإمتصاص أو تخزين أو إنبعاث للطاقة
		الحالة النسبية لمصدر الحرارة	المواد مولدة الطاقة – المتبادلة – (الكهرو حرارية)	مواد تنقل الحرارة من الأعلى حرارة الى الأقل حرارة عند تعرضها للكهرباء
		تحويل الطاقة لومن / واط	المواد مولدة الطاقة (ضوئيا) – (كهربائيا) الصمامات الباعثة للضوء	مواد تضئ في حالة مرور التيار الكهربي بها أو تعرضها للإشعاع
الإستهلاك العالي للطاقة	**توصيل الطاقة**	تحويل الطاقة المحيطة الى طاقة كهربائية	- الخلايا (المتغيرة لونيا) الكهروضوئية - أنظمة الطاقة الصغيرة والمتناهية الصغر (خلايا المواد المولدة للطاقة – التبادلية– الحرارية ، والأحفورية).	مواد تحول الطاقة من شكل الى شكل آخر

الوهج	**تحسين أنظمة الإضاءة**	– إستشعار ضوء النهار – أجهزة قياس الإضاءة – استشعار الإشغال	– المواد المتغيرة الخصائص –لونيا– الخلايا الكهروضوئية – المواد مولدة الطاقة –تبادلية– الكهروضوئية – المواد المولدة للطاقة– تبادلية– الكهروحرارية	مواد تغير لونها في حالة التعرض للضوء– مواد تنتج تيار كهربي عند تعرضها للضوء– المواد التي تحول الطاقة الحرارية الى كهربية والعكس
		الحجم النسبي وموقع ولون المصدر	– الصمامات الباعثة للضوء. – المواد محولة الطاقة (الكهربية)	مواد تحول الطاقة الحرارية أو الكهربية الى ضوئية
إرتفاع درجات الحرارة الداخلية	**تحسين أنظمة HVAC**	إستشعار درجة الحرارة الرطوبة – الإشغال الكشف عن المواد الكيميائية وعن غاز ثاني أكسيد الكربون	– المواد محولة الطاقة –التبادلية– الحرارية – أجهزة الإستشعار البيولوجية – أجهزة الإستشعار الكيميائية – المعدات البصرية الدقيقة Optical MEMS	مواد تضئ في حالة تعرضها للحرارة أو التأثير الكيميائي أو البيولوجي
		الموقع النسبي للمصدر أو التسريب	– المواد محولة الطاقة –التبادلية– الكهروحرارية، والمواد – المتغيرة الحالة – الأنابيب الحرارية	مواد تنشئ إختلاف في الجهد الكهربي نتيجة تعرضها لإختلاف في درجة الحرارة
الرياح وتغلغل الأتربة وإرتفاع درجات الحرارة	**السيطرة على النظم الإنشائية**	– الكشف عن الإجهاد – الكشف عن الشقوق – المراقبة والتحكم في الاهتزاز – التحكم في التواء أويلر Euler buckling	– الألياف البصرية – المواد محولة الطاقة –التبادلية– الكهروضغطية. – المواد متغيرة الخصائص– متغيرة اللزوجة (كهربائيا ومغناطيسيا). – سبائك ذاكرة الشكل	نتيجة للتعرض للتشوية أو الضغط تنتج إختلاف جهد كهربي أو يتغير لونها أو تتغير حالتها من اللزوجة الى الصلابة والعكس

جدول (2) تطبيقات الموادالذكية التي يمكنهاسدإحتياجات أنظمة المباني في المناطق الحارة الجافة

3- أمثلة على مباني عالمية ومحلية استخدمت المواد الذكية في مبانيها

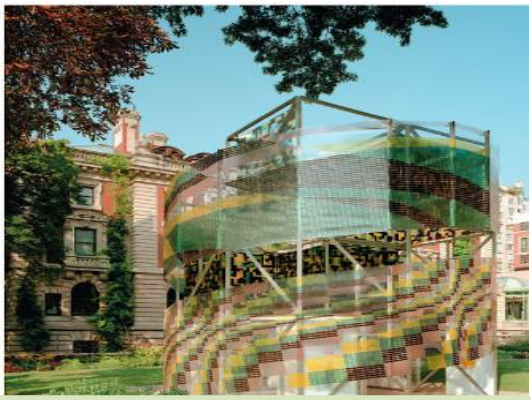
3- 1 المثال العالمي

اسم المبنى: pavilion for the Cooper-Hewitt National Design Museum	سنة الانشاء: 2003
المعماري: Kieran Timberlake Associates	الموقع: New York, USA

المواد الذكية المستخدمة:

- مواد ذكية مخزنة للحرارة وباعثة للضوءLight Emitting and Heat Storing Smart Materials
- طبقة من صمامات عضوية باعثة للضوء Film With Organic Light Emitting Diods (OLED)
- خلاياضوئيةعضوية Organic Photovoltaic Cells (OPV)
- طبقة منموادمتغيرةالحالة Film With Phace Change Materials (PCM)
- طبقة من بولي إيثيلينتيريفثاليت(PET)Polyethylene Terephthalate

- **وصف المشروع:**



صورة (4)منظور عام للمبنى في النهار

المصدر"smart materials in architecture

تم إستخدام غلاف للمبنى منSmart Wrap والذي يتميز بالتحكم في المناخ والإضاءة وعرض المعلومات والطاقة مع مركب بوليمر مطبوع ومتعدد الطبقات. الجناح ذو

الهيكل الألمنيومي المغطى بغلاف مطبوع معتمد على اتحاد البوليستر ومشتقاته من البولي إيثيلين تيريفثاليت (PET) وهي مادة شبيهة بالبلاستيك أو القماش ولكنها أكثر مرونة وتتميز بمقاومتها للتآكل، ونظرا لأنها شفافة فيمكن تطبيق مواد ذكية إلكترونية مختلفة عليها مثل الخلايا الضوئية والصمامات الباعثة للضوء. وهي مادة تتميز بالعزل الحراري ومواد تخزين الحرارة.

- **المواد الذكية المستخدمة في المبنى[1]**

- يتبع المبنى نظام الغلاف المزدوج, في حين أن الطبقة الخارجية المكونة لغلاف الواجهة الخارجية تتكون من مادة بولي إيثيلين تيريفثاليت (PET) الشفافة والمرنة.
- تم تزويد الغلاف الخارجي بالخلايا الضوئية العضوية (OPV) لجمع وتحويل أشعة الشمس مع طبقة رقيقة من البطاريات لتخزين الطاقة الكهربائية مع الدوائر الموصلة والمطبوعة طبقة رقيقة من الترانزستورات العضوية Organic Thin Film Transistors (OTFT) لتوزيع الكهرباء والتحكم في الوظائف، مع البوليمر القائم على الصمامات العضوية الباعثة للضوء Organic Light Emitting Diodes (OLEDs) للإضاءة والعرض الإلكتروني والتي تكون رقيقة ومرنة وذاتية الإنبعاث، مع الحماية اللونية (الصبغية) من الطاقة الشمسية للتحكم في إنتقال الضوء والحرارة.
- تجاور الغلاف الخارجي طبقة دائمة معزولة حراريا من الهواء، والتي تكونت بمساعدة من الغلاف الداخلي الموازي، والتي يتم دمجها بواسطة مادة الأيروجيل المعزولة حراريا, توفر مادة الايروجيل مقاومة حرارية بحيث يحقق التجميع الطبقي المقاومة

[1]Ritter, A. (2007). Smart materials in architecture, interior architecture and design. Walter de Gruyter.

الحرارية لجدار خرساني معزول بسمك 400 مم عند حوالي 100/1 من الوزن. ويحتوي Smart Wrap أيضاً على خلايا ضوئية عضوية لتوليد الكهرباء Photovoltaics Cells.

- يضم Smart wrap أيضا المواد المتغيرة الحالة Phase Change Materials (PCM) لانتاج الكتلة الحرارية والعمل كمنظم حراري. ويمكن أن تخزن ما بين خمسة إلى 14 مرة من الحرارة لكل مقدار مقارنة بالمخازن الطبيعية للحرارة الكامنة مثل الماء أو الأحجار أو الصخور.
- من خلال عرض لإستخدام تطبيقات المواد الذكية في مبنى Smart wrap ظهر تحقق الاغراض المطلوبة وهي التحكم في المناخ والإضاءة وعرض المعلومات والطاقة عن طريق الغلاف المزوج والطبقة الخارجية والتي تتكون من مادة بولي إيثيلين تيريفثاليت (PET) الشفافة والمرنة والعازلة، والتي يمكن تطبيق مواد ذكية إلكترونية مختلفة عليها مثل الخلايا الضوئية العضوية (OPV) لجمع وتحويل أشعة الشمس, والصمامات العضوية الباعثة للضوء (OLEDs) للإ ضاءة والعرض الإلكتروني, تجاور الغلاف الخارجي طبقة دائمة معزولة حراريا من مادة الأيروجيل, بالإضافة الى المواد المتغيرة الحالة (PCM) لإنتاج الكتلة الحرارة لتصل لفكرة الكمال الوظيفي والجمالي في المبنى.

3- 2 المثال الإقليمي

اسم المبنى: (QNCC)Qatar National Convention Center	**سنة الانشاء: 2011**
المعماري: Arata Isozaki	**الموقع: Doha, Qatar**

المواد الذكية المستخدمة:

- الألومنيوم القابل للتشكيل Aerofoamed Aluminum
- صمامات باعثة للضوء Light Emitting Diods(LED)
- لوحات من الخلايا الشمسية كهروضوئية المتكاملة Photovoltaic Solar Panels(PV)
- مواد محولة للطاقة Energy ExChange Materials
- زجاج عازل عالي الاداء High Perfomanace Insulating Glass
- أجهزة مراقبة ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide Monitors

- **وصف المشروع:**

مركز للمؤتمرات والمعارض في قلب المدينة التعليمية،الميزة الأكثر شهرة في المبنى هي التمثال الفولاذي الهائل لشجرة السدرة التي تدعم المظلة الخارجية للمبنى وتعمل كمدخل رئيسي لها. المبنى الرئيسي مكون من 4 طوابق على مساحة 177.000م2, يحتوي موقف السيارات على أكثر من ثلاثة آلاف سيارة وأربعين حافلة. وعلى الجانب الاخر قاعة عرض متعددة الأغراض2300 مقعد فخم. هناك أيضا ثلاث قاعات محاضرات و 52 غرفة اجتماعات

شكل (8) المدخل الرئيسي لمركز المؤتمرات الدولي القطري QNCC, المصدر: https://populous.com/project/qatar-national-

متعددة الأحجام ما بين صغيرة وكبيرة وغرفة لإقامة المناسبات الإحتفالية وغيرها من الأنشطة، و6 صالات لكبار الشخصيات، و7 أجنحة ضيافة.

هذه الخدمات تجعل من QNCC أحد أكثر مراكز المؤتمرات تطوراً، وأكثرها مرونة، وأكبرها في الشرق الأوسط. وفي عام 2012، تم منح المشروع شهادة المصممين المبتكر في الاستدامة[1].

- **المواد الذكية المستخدمة في المبنى[2]:**

- يضم المبنى 3700 متر مربع من الألواح الشمسيةSolar Photovoltaic Panels (PV)، والتي توفر حوالي 12,5٪ من الطاقة الإجمالية للمبنى.
- تم تزويد المركز أيضًا بأجهزة إستشعار للإشعال Occupancy Sensors وتركيبات موفرة للمياه Water–Efficient Fixtures.
- تركيبات الإضاءة من نوع الصمامات الباعثة للضوءLight Emitting Diodes (LED) لتوفير التنوع في مستويات الإضاءة اللازمة للمؤتمرات والمعارض مع الحفاظ على الحد من الطاقة المستهلكة.
- أجهزة رصدلغاز ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide Monitors من نوع المواد الذكية المولدة للطاقة والتي تنتج ضوء في حالة تعرضها لتركيز كيميائي من نوع CO2.
- أنظمة كمية الهواء المتغيرة Variable Air– Volume Systems التي تقلل من إستخدام الموارد وتحسن جودة الهواء الداخلي من خلال التنوع في تدفق الهواء في درجة حرارة ثابتة وتقلل من إستهلاك الطاقة من خلال أنظمة المراوح وإزالة الرطوبة الإضافية.
- تستخدم الأنظمة السابقة المواد من النوع المولدة للطاقة Energy ExChange Materials.
- إستخدام الزجاج العازل عالي الأداء في واجهات المبنى High Perfomanace Insulating Glass وهو نوع من أنواع الزجاج الذكي على توزيع الإنارة بصورة متساوية في الفراغ دون تكوين ظلال.
- تم دمج عناصر عالية الأداء في جميع الأنحاء من خلال إستخدام الجدران الطولية الرأسية المنحنية والتي تتميز بإنخفاض نسبة الإنبعاث الحراري مما يعمل على الحد من إنتقال الحرارة من الخارج الى الداخل والتي يتم التحكم فيها إلكترونيًا، مما يوفر مجموعة هائلة من التظليل بالإضافة الى ألواح الطاقة الشمسية على سطح المبنى.
- توفر التقنية الحديثة التي تعمل باللمس في جميع مساحات الاجتماعات والمعارض.

[1]https://www.reynaers.com/en/consumers/get-inspired/qatar-national-convention-centre
[2]Smart Materials – Toward A New Architecture, Publicated Paper, Department of Architecture, Faculty of Engineering, Mataria, Helwan University, p: 8.

صورة (9) التمثال الفولاذي الهائل لشجرة السدرة التي تدعم المظلة الخارجية للمبنى وتعمل كمدخل رئيسى لها

صورة (10) الزجاج عالي الأداء والعازل وتخلل الاضاءة الطبيعة داخل الفراغ

- من خلال عرض المبنى نجد أنه تحقق جزء من عوامل الاستدامة في المبنى عن طريق استخدام 3700 متر2 من الألواح الشمسية (PV) والتي توفر حوالي 12,5٪, وأجهزة استشعار الإشعال وتركيبات موفرة للمياه, أجهزة رصد لغاز ثاني أكسيد الكربون, بالإضافة الى استخدام الزجاج العازل عالي الاداء, كل هذه التطبيقات أدت الى التكيف مع المناخ الخارج بالاضافة الى الحد من استهلاك الطاقة بل وانتاج الطاقة أيضا, ولذلك تم منح المشروع شهادة LEED الذهبية.

3- 3المثال المحلي

اسم المبنى: New United National Bank Headquarters المعماري: **Architecture and Planning Group (APG)**	**سنة الانشاء: 2017** **الموقع:Cairo, Egypt**

المواد الذكية المستخدمة:

- الزجاج الكهروضوئي (PVG)Photovoltaic Glass
- صمامات باعثة للضوء Light Emitting Diods (LED)
- خلاياضوئيةمتكاملة(IPVs) Integrated Photovoltaics
- زجاج من السليكون الأزرق غير المنتظم Blue Amorphous Silicon Glass
- ألواح كهروضوئية مدمجة من السليكون أحادي البللورات Monocrystalline Silicon Integrated Photovoltaics

نتائج استخدام الخلايا الكهروضوئية في المشروع:المساحة الإجمالية - 439 م2- الكهرباء المولدة سنوياً - 61.000 كيلوواط في الساعة سنويا – إجمالي نقاط الإضاءة تعمل 4 ساعات في اليوم - 3.482 نقطة إضاءة – تجنب انبعاثات ثاني أكسيد الكربون 41.290 طن سنويا

- **وصف المشروع[1]:**

يقع بنك الاتحاد الوطني على مساحة أرض 2000 متر بمباني تشغل 60% من مسطح الارض المبنى أي أن مساحة كل دور 1200 متر مكون من 16 طابقً,يوجد به 3 أدوار تستخدم كأماكن انتظار سيارات بنظام هيدروليكي يستوعب عدد كبير من السيارات. تم تسجيل المبني فى

شكل (11) الواجهة المكونة من الزجاج الكهروضوئي في مبنى بنك الاتحاد الوطني المصري,المصدر: https://www.onyxsolar.com

- **المواد الذكية المستخدمة في المبنى:**

- تتكون الواجهة من الزجاج الكهروضوئي.
- تغطي الخلايا الكهروضوئية سطح المبنى.
- يحتوي المبنى اجماليا على 439 متر مربع من الخلايا الكهروضوئية مقسمة على الواجهات والأسطح لتوفير 61الف كيلو واط في الساعة سنويا من الطاقة.
- تم إستخدام زجاج السيليكون الأزرق غير المتبلور من حجمين مختلفين للواجهات الرئيسية والجانبية، حيث يتميز بدرجة شبه شفافة (M Vision) 10%.
- تم استخدام نظام الواجهة المزدوجة في كلا الواجهتين، حيث يتم تثبيت الزجاج على هيكل معدني.
- توفر الألواح المدمجة على سطح المبنى المصنوعة من السيليكون أحادي البلورات طاقة إنتاجية قصوى تبلغ 28.08 كيلوواط.
- تم توليد طاقة من الأشعة الشمسية ما يكفي لتشغيل 3482 مصباحًا ومنع إطلاق 41 طنًا من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي.
- محطة معالجة للمياه المستخدمة توفر 60 % من إستهلاك المياه.

- من خلال عرض تطبيقات المواد الذكية تم تحقيق اهداف الاستدامة والتكيف مع المناخ المحيط والحد من استهلاك الطاقة عن طريق استخدام نظام الواجهة المزدوجة, والزجاج الكهروضوئي في واجهات وسطح المبنى باجمالي 439 م2 لانتاج 61000 كيلو واط/ساعة سنويا, استخدام زجاج السيليكون الأزرق لاستغلال ضوء النهار الطبيعي لإنارة الفراغات الداخلية والتحكم في شدة الضوء, بالاضافة الى وجود محطة معالجة للمياه المستخدمة توفر 60 % من استهلاك المياه كل هذه التطبيقات ادت الى ان يكون المبنى خامس المباني الصديقة للبيئة في مصر.

4- النتائج :-

- المواد المتقدمة تؤثر بشكل غير مباشر من حيث تقليل الأعباء على المبنى الذكي، وذلك من خلال إستخدام مواد ذكية ذات رد فعل طبيعي مقاوم لدرجات الحرارة المرتفعة، وتقليل الوهج داخل الفراغ, فهذه المواد مفيدة في خلق بيئة مستدامة صديقة للبيئة وتؤدي إلى استهلاك أقل للطاقة وهي نعمة لمجتمعنا..
- تزداد القيمة المعمارية والهندسية للخامات الذكية والمواد النانوية حين تدمج مع نسيج المبنى بإعتبارها بديلا لخامات البناء التقليدية، وهذه الدرجة من التكامل أفضل من كونها تضاف بعد استخدام المواد التقليدية بهدف تحسينها، حيث تعتبر بذلك تكلفة إضافية زائدة.بالاضافة الى ان المواد الذكية تضيف قيمة جمالية للمبنى، وتضفي ملمسا متميزا للغلاف الخارجي، الأمر الذي يحقق تطلعات المعماري في مباني تتواءم مع الطبيعة، ونتج أجواء داخلية ذات ديناميكية فعالة.
- ساعد تطور المواد الذكية على تحقيق فكرة الواجهة المتكيفة القادرة على التغير استجابة لتغيير الظروف.
- أكثر المباني العامة القائمة في مصر لا تأخذ في الإعتبار جوانب الإستدامة وأساسيات الحفاظ على الطاقة من خلال المواد الذكية.
- إن المواد الذكية الأكثر شيوعا هي المواد ذات القدرة على تغيير الخصائص وبالأخص اللونية/ الكهربائية لاستخدامها لاغراض تظليل الزجاج للحماية من الأشعة الشمسية او توفير الخصوصية للفضاءات الداخلية والتي يمكن اسنخدامها محليا بسبب توفرها.
- تتطلب معظم تطبيقات المواد الذكية تمويلاً كبيرا ف بداية إنشاء المبنى، لأنها مكلفة للغاية من حيث التصنيع والتأسيس والتركيب ولكنها تكون أوفر على مدى العمر الإفتراضي للمبنى.

5- التوصيات :-

- يحتاج قطاع التشييد إلى أنشطة بحثية في هذا المجال للاستفادة من الإمكانات الكبيرة لتوفير الطاقة وتصاميم المباني المستدامة من أجل حل مشكلات الطاقة والمشاكل البيئية وقد توفر تكنولوجيا النانو حلولاً أكثر فعالية.
- تتطلب الحاجة إلى الحفاظ على موارد الطاقة والمواد العالمية إلى المزيد من المباني الموفرة للطاقة. وتعتبر أهمية تحسين سلامة المباني البيئية أمراً ملحاً واستخدام مصادر جديدة مع حلول تكنولوجية متقدمة.
- يجب أن تكون مباني القرن الواحد والعشرين مستجيبة للظروف البيئية لتبني التنمية المستدامة. التصميم الواعي للطاقة هو أحد مسؤوليات المعماريين الذين يحتاجون إلى فهم المواد والأجهزة الأساسية. تقنية النانو لديها القدرة على تقديم حلول فعالة للتصميم المستدام.
- ينبغي إعتبار المواد الذكية والطلاءات الواقية الفعالة المستخدمة كطلاء للحائط الخارجي للمباني بانه يعمل كغلاف خارجي للمباني إنها واحدة من المنهجيات الذكية للحفاظ على الطاقة. كثير من الناس لا يدركون جيدا مزاياها ومزاياها على المدى الطويل.
- ضرورة تشجيع عقد المؤتمرات والندوات والباحثين باعداد العديد من الدراسات والأبحاث التى تعنى بتطبيقات المواد الذكية النانو تكنولجي فى مجال العمارة.

تشجيع ودعم القطاع الخاص (مراكز الأبحاث) على تطوير مواد البناء النانونية بما يكفل رفع كفاءة المبانى وتحسين البيئة الداخلية.

- تشجيع قطاع الصناعات ليتم تصنيع هذه المواد محليا حتى تقل تكلفة المنتج وتنتشر على نطاق أوسع.
- تقييم المشروعات القائمة بالقاهرة وإجراء التعديلات اللازمة لتحقيق جوانب الاستدامة لهذه المباني.

First: Arabic References

[1] Asma, M. F."Smart Architecture and its Technological Impact on Design". Department of Architectural Engineering, Faculty of Hamsa, Cairo University. unpublished research for master's degree. (2011).

[2] Naama, H. A., Omar, Monitoring and recording of the application of computer technologies and their role in developing future architecture. a case study on smart architecture buildings. Department of Architecture, Faculty of Engineering, Cairo University. Unpublished research for obtaining a master's degree. (2013).

[3] Noha, H., Hafnawi, The effect of the use of smart materials on the environmental performance of buildings in dry areas. Department of Architectural Engineering, Faculty of Engineering, Cairo University. unpublished research for masters degree. (2013).

[4] Devat, A. Massih, "An Analytical Study of Environmental Design Controls in Smart Architecture", Department of Architecture, Faculty of Engineering, Cairo University, unpublished research for a master's degree. (2016).

[5] Alaa, R, S, Makki. Mechanisms of Applying Intelligent Architecture to Administrative Buildings, Unpublished research for master's degree. (2017).

[6] Ritter ,A. Smart Materials In Architecture, Interior Architecture And Design", Architectural Press , Berlin. (2007).

Second: English References

[7] Addington, M & Schodeck, D." Smart Materials and Technologies for the architecture and design professions ", Architecture Press, an imprint of Elsevier , Linacre House, Jordan Hill, Oxford, UK. (2004).

[8] Ritter, A. Smart materials in architecture, interior architecture and design. Walter de Gruyter. (2007).

[9] Smart Materials – Toward A New Architecture, Publicated Paper, Department of Architecture, Faculty of Engineering, Mataria, Helwan University.

[10] Dogne, N.& Choudhary, A. Smart construction materials and techniques. Alternative & innovation construction materials and techniques national conference, (2014).

Third: web References Second: English References

[11] Voth, T. Qatar National Convention Centre. Retrieved September 15, 2020, from https://populous.com/project/qatar-national-convention-centre (2011).

[12] Isozaki, M. (September 15). Qatar National Convention Centre, from https://www.reynaers.com/en/consumers/get-inspired/qatar-national-convention-centre , Retrieved (September 15, 2012)

[13] Onyx Solar - Photovoltaic Glass for Buildings. Retrieved September 15, from https://www.onyxsolar.com/ (2011).