Journal of Al-Azhar University Engineering Sector

Vol. 14, No. 53, October, 2019, 1729-1739

# APPLICATIONS OF NANOTECHNOLOGY IN ARCHITECTURE

***Mohammed A. A. Basauony[1], Ahmed A. EL Kattan[2] and Mohammed S. Atwa[2]**
[1]Faculty Of Engineering , AL-Azhar University, Qena, Egypt.
[2]Faculty Of Engineering , AL-Azhar University , Cairo, Egypt.
*Corresponding author E-mail: **Mohamed.basuoney@azhar.edu.eg**

**APSTRACT**
High technology, especially nanotechnology, has dominated various aspects of life in this age, especially architecture, by exploiting its potential to produce new materials or to improve the properties of certain materials, Which led to the emergence of nanotechnology architecture, the latest and most important produced by high-tech in the twenty-first century, where the architecture gave multiple possibilities to form an architectural product interacting with the natural environment through the use of building materials improved nanotechnologies such as glass and concrete The research deals with the development of nanotechnology and its impact on architecture, in addition to many concepts related to the field of nanotechnology; and the advanced characteristics of construction systems and various building materials, whether concrete, steel or wood and various covering materials that influenced the architectural shape of the building It also helped to increase the efficiency of the buildings, which added new dimensions to the architect who enabled him to fully reflect and express his ideas. This led to the arrival of finite architectural structures in the magnificence and complexity that were impossible to reach without nanotechnology,The location has reduced the economic cost.

**KEY WORDS: Nano Technology, Nano Architecture, Nanotechnology Applications, Coatings, Insulation Materials.**

## تطبيقات تكنولوجيا النانو في العمارة

**محمد احمد علي بسيوني[١] و احمد عبد المنعم القطان[٢] و محمد سعد عطوة[٢]**
[١]كلية الهندسة - جامعة الأزهر- قنا- جمهورية مصر العربية
[٢]كلية الهندسة جامعة الأزهر –القاهرة-- جمهورية مصر العربية

**ملخص البحث:**
لقد سيطرت التقنيات الفائقة وخاصة تقنية النانو على مختلف مجالات الحياة في هذا العصر وخصوصا العمارة من خلال استغلال إمكانياتها في إنتاج مواد جديدة أو تحسين خواص مواد معينة، مما أدى الى ظهور عمارة النانو وهي أحدث واهم ما أنتجته التقنيات الفائقة في القرن الحادي والعشرين حيث أعطت العمارة إمكانيات متعددة لتشكيل منتج معماري متفاعل مع البيئة الطبيعية من خلال استخدام خامات بناء محسنة بتقنيات النانو مثل الزجاج والخرسانة وغير ذلك، يتناول البحث تطور تقنية النانو وتأثيرها على العمارة، بالإضافة الى العديد من المفاهيم المتعلقة بمجال النانو؛ وما أتاحته من خصائص متقدمة لنظم الإنشاء وخامات البناء المتنوعة سواء كانت الخرسانة أو الفولاذ أو الخشب ومواد الإكساء المختلفة التي أثرت على الشكل المعماري للمبنى، كما ساعدت في زيادة كفاءة المباني، التي أضافت أبعاداً جديدة للمصمم المعماري مكنته من تجسيد أفكاره

والتعبير عنها بشكل كامل، مما أدى الى الوصول لتشكيلات معمارية متناهية في الروعة والتعقيد، كان من المستحيل الوصول إليها دون تقنية النانو فقد قدمت حلولاً بيئية جديدة ساعدت على استدامة المبنى والموقع وقللت من التكلفة الاقتصادية.

**الكلمات المفتاحية: تقنية النانو- عمارة النانو- تطبيقات النانو- الدهانات- المواد العازلة.**

**مقدمة:**

يعد التطور في مواد وأسلوب البناء والتشطيب من المؤشرات الرئيسية على الحالة الحضارية والتقدم للشعوب عبر التاريخ ،ولقد كان لاكتشاف كل مادة من مواد البناء والتشطيب تأثيرا كبيرا على تطور أساليب البناء والتشطيب وبالتالي على الحضارة الإنسانية بداية من استخدام الأحجار والجلود وأغصان الأشجار في عصر ما قبل التاريخ إلى مانسميه اليوم بعصر (تقنية النانو).

تبشر تقنية النانو بقفزة هائلة في جميع فروع العلوم والهندسة وخاصة في تكنولوجيا البناء،وبالطبع تزاحمت الدول بعلمائها وإمكانياتها في إنتاج تلك المواد والمنتجات التي لا يمكن حصرها جميعا بسبب انها تزداد وتتطور سريعا،وقد اثرت تقنية النانو على العمارة بشكل كبير ،حيث أدض تطبيق هذه التقنية إلى تطوير وتحسين أداء مواد التشطيب ،حيث أصبحت هذه المواد ذات ميزات وخصائص فريدة .

**أهمية البحث:**

تعد تكنولوجيا النانو واحدة من أهم التطورات العلمية والتي لها أثر كبير على العديد من المجالات بما فيها العمارة حيث أنها تقدم مواد وأنظمة جديدة من شأنها أن تؤثر على مواد البناء ومن ثم على الشكل المعماري، ولذلك لابد من د راسة حدود هذه العلاقة للحصول على تصاميم ذات كفاءة عالية بيئياً ووظيفياً وجماليا.

**المشكلة البحثية**

تواجه الهندسة المعمارية العديد من التحديات مثل التكنولوجيا، البيئة، الطاقة،الاستدامة، الاقتصاد ،ومن التحديات السابقة سوف تركز الدراسة على التكنولوجيا متمثلة في تقنية النانو وتأثيرها على العمارة من خلال المواد .

والسؤال المطروح :هل تستطيع تقنية النانو تحسين أداء عناصر العمارة؟

**هدف البحث:**

يهدف البحث إلى دراسة تأثير تقنية النانو على عناصر العمارة، للوصول الى نتائج تسعى الى تحسين أداء المباني بالاعتماد على تقنية النانو..

**١- بداية ظهور تكنولوجيا النانو:**

ذكر مفهوم تقنية النانو لأول مرة في عام ١٨٧٦ م ،عندما قام الفيزيائي جيمس ماكسويل بتجربة ذهنية باسم عفريت ماكسويل "Maxwell's Demon" ،ولدت فكرة التحكم في تحريك الذرات والجزئيات، ثم جاء بعد ذلك العالم ريتشارد فيمان في عام ١٩٥٩م ،حيث قال (أن الما دة عند مستويات النانو وبعدد قليل من الذرات تتصرف بشكل مختلف عن حالتها عندما تكون بالحجم المحسوس) ، وفي عام ١٩٧٤ م ظهر مسمى تقنية النانو(Nanotechnology) ،ثم بعد ذلك تتالت الاكتشافات وزاد الاهتمام بأبحاث تقنية النانو كما اكتشفت أجهزة جديدة ساعدت في تطور انتشار تقنية النانو ودخولها في كافة مجالات الحياة.

**٢- ماهية تكنولوجيا النانو**

كلمة نانو تكنولوجي هى مزيج من كلمتين هما كلمة نانو(NANO) والمقصود بها وحدة قياس النانومتر وتعادل واحدًا من ألف مليون من المتر، وهو مشتق من الكلمة الإغريقية نانوس Nanos وتعني القزم ،وتكنولوجي (TECHNOLOGY) أو تقنية [١].

**٣- طرق تحضير مواد النانو**

تنقسم طرق تحضير مواد النانو إلى قسمين

**الأولى** : طريقة البناء (الصعود)Bottom up: هي طريقة بناء المواد بوضع الذرة بجانب الذرة الأخرى حتى تتكون مركبات وهياكل عضوية وغير عضوية مكونة من عدة ذرات وجزيئات.

**الثانية :** طريقة التصغير (الهبوط) Top down: وفيها يتم استخدام طرق مختلفة مثل التكسير أو النحت أو الإذابة للمواد الكبيرة وذلك لتقليل حجمها والوصول إلى مواد ذات أحجام في مستوى أبعاد النانو[١].

**٤- تكنولوجيا النانو ومواد البناء**

**٤-١ :تكنولوجيا النانو والمواد الإنشائية**

**٤-١-١- الخرسانة**

تعتبر الخرسانة اكثر مواد البناء انتشار واستخداما من بين مواد الإنشاء حيث يستخدم الفرد الواحد تقريبا ما يعادل ١ طن سنويا، ومن اهم المشاكل المصاحبة لإنتاج الخرسانة هي انبعاث المواد الكربونية، ولكل طن من الخرسانة ينتج (١.٣م٣ ) من ثاني

اكسيد الكربون[٢]، وقد قامت العديد من الدراسات لتطوير الخرسانة فمن هذه الدراسات إضافة نوعين من المواد النانوية اليها هما:

**١- السيليكا النانوية** Nano silica (Silica Nanoparticles) (NS)

نتيجة إضافة نانو السيليكا نجد انه يتحكم في تآكل ل (C-S-H)(كالسيوم – سليكات – هيدرات) الاساسية الناتج من تفاعل الخرسانة والذي يكون المسؤل عن الخواص الفيزيائية والميكانيكية للواصق الإسمنتية والذي يشمل معدل الانكماش والمسامية والمرونة والنفاذية والذي يمكن أن يعدلها للحصول على متانة أفضل وخصائص أفضل ،ومادة السيليكا النانوية أيضا أثبتت أنها تستطيع الحد من ترشيح الكالسيوم في الماء وتمنع تغلغل المياه في مكونات الخرسانة، وقد تم استخدامها في مبنى برج خليفة حيث استخدمت في إنشائه خرسانة مع إضافات النانو سليكا مما أعطى قدرة على زيادة ارتفاع البرج بشكل كبير[٢] شكل (١).

**شكل (١) يوضح مبنى برج خليفة / دبي.**

**٢- ثاني أكسيد التيتانيوم النانو (**Nano Titanium Dioxide Tio٢**)**

تحسن حبيبات ثاني أكسيد التيتانيوم النانوية من الاداء البيئي للخرسانة والاسمنت،واثبتت الدراسات ان مادة ثاني اكسيد التيتانيوم تزيد من قوة تحمل الخرسانة المسلحة وكذلك تقلل من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التي تتعرض له الخرسانة،وقد تم استخدامها في كنيسة اليوبيل في إيطاليا بمدينة روماعام ٢٠٠٣ م للمعماري ريتشارد ماير، والكنيسة واقعة في منطقة عالية التلوث بعوادم السيارات ودخان المصانع وقد تم إضافة ثاني أكسيد التيتانيوم النانوي الى الخليط الخرساني الذي حافظ على نظافة السطوح البيضاء، كما خفف من التلوث البيئي المحيط بالمبنى[٣]،شكل (٢)

**شكل (٢) يوضح غلاف كنيسة جوبييل** Jubilee Church **بمدينة روما/ايطاليا والذي يمتلك خاصية تنقية الهواء**

**٤-١-٢- الفولاذ**

الفولاذ من المواد التي لها دور هام في مجال البناء ولكن في نفس الوقت يفتقر الفولاذ الى قابلية التشكيل ومقاومة التآكل في بعض الحالات، وقد تم إضافة مواد نانوية لتحسين أداء الفولاذ أهمها:

١- جسيمات النحاس اوالمغنيسيوم والكالسيوم النانوية التي تعمل على تحسين ترابط جزيئات الفولاذ، ورفع مقاومته للتآكل والحرارة.
٢- إضافة المواد المالئة النانوية (Nano-Fillers) التي تزيد من خواص الفولاذ وتزيد من قوة انحنائه.
ويساعد استخدام الفولاذ في انشاء تصاميم حرة ومرنة وفراغات واسعة دون وجود اعمدة وتقليل تكلفة الصيانة ،وقد تم الاعتماد على فولاذ النانو المرن القابل للتشكيل والمقاوم للتآكل في كامل هيكل مبنى استاد أستانا في كازاخستان عام ٢٠٠٩ م مما أعطى شكلا ديناميكيًا للملعب مع فراغ داخلي خا ل من العناصر الإنشائية بالإضافة لتفاعله مع البيئة عن طريق السقف الفولاذي القابل للطي[٣]،شكل (٣)

**شكل (٣) يوضح إستاد استانا/كازاخستان**

**٤-١-٣- الخشب**

تعتبر من الانظمة البسيطة لحد ما والغير مكلفة ومادة صديقة للبيئة حيث يمكن تدويره واعادة استخدامه، لذلك تم استخدام النانوتكنولوجي في مادة الخشب،حيث تم تجميع جزيئات الخشب واعادة ترتيبه مما يجعله اكثر ترابطا وقوة عن مادة الطبيعة ، كما تم اختراع حس اسات نانوية لتحديد اماكن الفطريات ونقاط التأكل لكي يتم معالجتها،وتعتبر مظلة متروبول الشمسية الملونة في اشبيلية أكبر هيكل خشبي في العالم حيث يصل ارتفاعها الى ٢٨ متر وتغطي مساحة أكثر من ١١٠٠٠ متر مربع، الخشب المستخدم في الهيكل مصنوع من تقشير جذوع شجرة التنوب بسماكة ٣ ملم ومعالجتها بالإضافات النانوية من البولي يوريثين مما جعلها مقاومة لأحوال الطقس من حرارة الشمس والرطوبة وطاردة للمياه والأوساخ ومانعة لتشكل العفن، وأيضاً إضافات نانوية أخرى لإنتاج بنية متجانسة قوية غير قابلة للانحناء ومقاومة للحرائق تتمتع بالمرونة ومقاومة عالية للشد والضغط مما يجعله أفضل من الخشب العادي لإنتاج المقاطع الضخمة المستخدمة في الهيكل[٣] شكل (٤).

**شكل (٤) يوضح مظلة متروبول اشبيلية/اسبانيا**

**٤-٢- تكنولوجيا النانو ومواد التشطيب**

**٤-٢-١- الدهانات** (Coatings)

توصلت الابحاث باستخدام تكنولوجيا الن انو الى مادة جديدة في علم الدهانات الحديثة تمتاز بخصائص فريدة ومميزة ، حيث تعمل الدهانات على تكوين طبقة ذات مواصفات مصممة ومطورة بتكنولوجيا النانو ،وتكمن اهمية ذلك في امرين هما
١-ترشيد استهلاك الطاقة ٢-المحافظة على البيئة

**خصائص دهانات النانو**

**١- التنظيف الذاتي Self-Cleaning**

هناك العديد من تطبيقات تكنولوجيا النانو التي تمتاز بالتنظيف الذاتي والتي استخدمت للمحافظة على الاسطح من التأكل والاتربة والعوامل الجوية المختلفة ،فقد استخدمت في تغطية مظلية الشكل في كنيسة صغيرة تقع في حديقة فندق حياة ريجنسي في اليابان لاقامة مراسم الزواج ، وكان من الضروري بقاء لونها الابيض نظيفا وانيقا طوال الوقت ومقاوما للعوامل الجوية المختلفة، فتمت معالجته بدهانات تكنولوجيا النانو للتنظيف الذاتي كي يبقى متألقا على الدوام ولا يحتاج الى التنظيف المستمر[٤]، شكل (٥).

**شكل (٥) استخدام التنظيف الذاتي فندق حياة ريجنسي /اليابان**

**٢- المواد المضادة للميكروبات والبكتيريا :**Antimicrobial/Antibacterial Materials

وقد تم استخدام مواد النانو المضادة للميكروبات والبكتيريا بجميع ارضيات وحوائط غرف العـ مليات باحدى مستشفيات مدينة جوسلار بالمانيا عام ٢٠٠٥ م كما هو موضح بشكل (٦)،كما تم استخدامها ايضا في اكثر من ٢٠ مشروعا مستشفى في اوروبا ومنطقة لعبة غولف،وقد قامت شركة (MTR) التي تدير السكك الحديدية في هونغ كونغ قامت بتجربة حيث قامت بطلاء العربات الداخلية بـ طلاء مضاد للميكروبات ،واشارت النتائج ان الميكروبات والبكتريا انخفضت بنسبة ٦٠ ،وانه يقتل الجراثيم في الهواء اذا لمست السطح المطلي وهذا يساعد في الحد من انتشار الامراض المعدية[٣].

**شكل (٦) استخدام الدهانات المضادة للبكتيريا في الحوائط والارضيات/مستشفى بمدينة جوسلار/المانيا**

**٣- تنقية الهواء** Air Purifying

اذا لم تكن تكنولوجيا النانو لديها القدرة على تنقية الهواء تماما فان بامكانها تحسين جودة الهواء ،وذلك وفق عمل هذه التكنولوجيا بمواد صديقة للبيئة،لذلك تعمل تكنولوجيا النانو على التخلص من المواد العضوية الضارة الموجودة بالهواء واستئصال الروائح الكريهة والملوثات فتقوم بتحليلها كيميائيا وتكسيرها الى مواد ابسط غير ضارة ،وهنا يتم تصدع جزيئتها واعطاء ناتج من البخار، والجدير بالذكر في هذا الصدد هو ان مشروع "Picada" البحثي لتقييم تطبيقات المواد النانوية لازالة التلوث بتمويل من الاتحاد الاوروبي من ١٩٩٦ الى ٢٠٠٣ م كجزء من اختبار المنشأت ،وقد اطلق مشاريع رائدة لتوضيح كفاءة الاسطح النانوية المزودة بخواص التحفيز الضوئي وتنقية الهواء ،والذي توصل الى نتيجة انه يمكن لتلك الاسطح القضاء على مابين ٢٠% و ٨٠% من الملوثات الجوية وفقا لظروف كل منها ،كما وصلت كفاءة الازالة لمعدلات عالية حتى ٨٦% في بعض

الاختبارات القياسية التي تم اجراؤها بتأثير ثاني اكسيد التيتانيوم $TiO_2$ على الفراغات المغلقة،وقد تم استخدام هذه التقنية في معرض شركة هيونداي للسيارات بالمانيا حيث تم استخدام الالواح الجبس الـ معالجة بخاصية التنظيف الذاتي وخاصية تنقية الهواء[٣] شكل (٧).

**شكل(٧) معرض شركة هيونداي مبطن بالواح من الجبس لتنقية الهواء/المانيا**

**٤- سهولة التنظيف** (Easy-To-Clean ETC)

استطاعت تكنولوجيا النانو ان تغير من خواص ثاني اكسيد التيتانيوم وتذيبه في الماء لنحصل على سائل عديم اللون والرائحة يستخدم للرش على الاسطح دون ان يغير من معالم وخصائص السطح المرشوش كما ان خاصية سهولة التنظيف لاتحتاج الى الاشعة فوق البنفسجية لكي يبدأ التفاعل وتعمل باي مصدر للضوء (حتى ضوء القمر ) ،لينتج الايونات الحرة التي تسبب في كسر المواد العضوية السامة ،وتزيل الروائح بالاضافة الى العديد من الوظائف، وتعمل خاصية سهولة التنظيف بكفاءة عالية في الاماكن المعرضة للمياه والرطوبة العالية[٩] شكل (٨) .

**شكل(٨) استخدام خاصية سهولة التنظيف في الاسطح الداخلية لليخت والكراسي.**

**٥- مقاومة الكتابة على الجدران**Anti-Graffiti

وتحتوي دهانات تكنولوجيا النانو المقاومة للكتابة على الجدران على جزيئات موزعة بالتساوي ،فالطبقة العليا تحقق وظيفة طاردة للماء،ومع التوتر السطحي الذي يعمل على انخفاض كبير وجذب الجزيئات ،فان الطبقة السفلى تضمن تماسك الدهانت بصورة كاملة ،وتعتبر المانيا من الدول القائمة بالفعل في استخدام نظام مكافحة الكتابة على الجدران[٩] شكل (٩)

**شكل (٩) استخدام دهانات مضادة للكتابة على الجدران/بمركزاولم /المانيا**

**٤-٢-٢- الزجاج** Glass

الزجاج من أهم مواد البناء الذي يعطي المباني شكلا أكثر شفافية من خلال مساحات الزجاج المستخدمة والتحكم بشفافيتها حيث تعمل المواد النانوية المضافة الى الزجاج على تغيير خصائصها وتطبيقاتها، وهي:

**أ- الحماية من الحريق**

من تطبيقات النانو الهامة الزجاج المقاوم للحريق بواسطة استخدام طبقة شفافة بين الواح الزجاج كطبقة داخلية من نانو جزيئات اكسيد السيليكا، وقد تم استخدام خاصية الحماية من الحريق في زجاج واجهات مبنى البريد بمدينة بون بالمانيا عام ٢٠٠٥ م من قبل المعماريين الامريكيين Murphy/Jahn حيث يبلغ ارتفاع الواجهة ١٦٠ متر والمبنى يتسع لاكثر من٢٠٠٠ موظف، كماتم استخدام الزجاج المزدوج داخل جميع الفراغات الداخلية بما في ذلك عناصر الاتصال الرأسي من سلالم وغيرها من الفواصل بين الفراغات مما ادى الى انسجام تام بين جميع عناصر المشروع[٩] شكل (١٠).

**شكل (١٠) استخدام خاصية الحماية من الحريق في مبنى البريد/مدينة بون/المانيا**

**ب- مضاد للانعكاس** Anti-Refleetive

هو زجاج شفاف لا يعيق الرؤية ولا نفاذ الإضاءة الطبيعية مما يؤدي الى تقليل استهلاك الطاقة للإنارة، وفى نفس الوقت يمنع الإبهار ويقلل من دخول الأشعة فوق البنفسجية ) الأشعة غير المرئية( التي تمثل نسبة كبيرة من الإشعاع الشمسي، وترفع من درجة حرارة الفراغ وتزيد أحمال التكييف دون فائدة ضوئية، وهذا يؤدي إلى تخفيض الكسب الحراري الشمسي إلى النصف تقريبا،وقد تم استخدام هذا النوع من الزجاج في مبنى بيت المسنين في سويسرا عام ٢٠٠٤ م،والمبنى يتكون من اربعة طوابق ويحتوي على ٢٠ شقة وقد تم استخدام استخدام الزجاج الذي يعتمد على الطريقة الفوتوكرومية مع الجدران الخرسانية والفولاذ المقاوم للصدأ، حيث استخدم زجاج الكريستال الذي يتمتع بتقنية الحماية من الأشعة فوق البنفسجية،ويؤثر الزجاج على شكل المبنى فيعطي شكلا أكثر ديناميكية واندماجا مع الطبيعة حيث يتغير لونه وفق أشعة الشمس فيعطي لونا أبيض في الشتاء وشفافية مختلفة في الصيف،ويحقق وظيفيا زيادة المساحة عن طريق التقليل من سماكة الجدران ، وعدم التقيد بالاتجاهات في عملية التصميمة[٣] شكل (١١).

**شكل (١١) يوضح دار المسنين في سويسرا**

**٤-٢-٣- بلاط السيراميك Ceramic Tiles**

استخدام تقنية النانو في معالجة السيراميك عن طريق الإضافات النانوية وطلاءات النانو الشفافة للحصول على سطح متعدد الوظائف لبلاط السيراميك ويتمتع بالخصائص متعددة كزيادة المتانة والقوة ومقاومة الخدش وقابلية التشكيل المرنة وسهولة التنظيف أو ذاتي التنظيف طارد للمياه والأوساخ ومضاد للبكتيريا.

وقد تم استخدم قطع سيراميكية بابعاد ٣٠*٦٠سم تتمتع بخاصية التحفيز الضوئي في واجهة مبنى للالعاب الرياضية "مركز الملاكم محمد علي كلاي" بولاية كنتاكي الامريكية من تصميم Beyer Belle عام ٢٠٠٥م[١٠] شكل(١٢)

**شكل (١٢)مركزمحمد علي كلاي/ بولاية كنتاكي/امريكا**

**٤-٣- تكنولوجيا النانو والمواد العازلة**

**٤-٣-١- الايروجيل** (Aerogel)

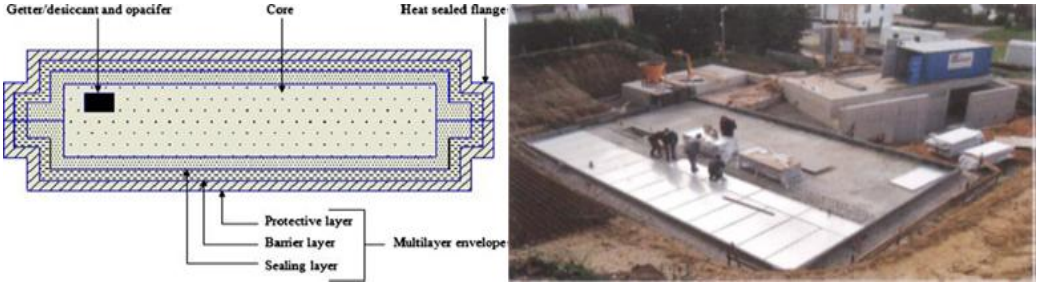
هي الهلاميات الهوائية او الرغويات النانوية (Nanofoams) ،وهي تمثل مواد صلبة عالية المسامية ذات كثافة منخفضة للغاية ولا تشبه الجل في خصائصها الفيزيائية،وتوصف بانها مادة ذات مقاومة عالية للحرارة وتستخدم في وقاية الـ منزل من الحريق وهي ذات وزن خفيف جدا،وهي مادة عازلة للحرارة ،فالسيليكا والهواء المكونة لها تشكل جدار عازل جيد للحرارة ،وتزداد خاصية العزل هذه عند اضافة الكربون الذي يتميز بقدرته على امتصاص الاشعة تحت الحمراء[١٢].

وقد تم استخدام مادة (Lumira) ايروجيل في مبنى جامعة ومعرض يل للنحت ( Yale Sculpture Building and Gallery) ،تبلغ مساحة المبنى ٤٧٣٨ م2 يحتوي المبني علي ثلاثة طوابق بها الأستديوهات التعليمية ويتكون كذلك من دور علوي تتم فيه مزاولة جميع الأنشطة الفنية،وبالبدروم الفصول الدراسية و الفراغات الإدارية،ونظرا لـ ظروف المناخية للمكان قام المصمم بتصميم حائط ثلاثي يتكون من الواح زجاجية منخفضة الانبعاث (Low-E glass) في الخارج و تجويف بسمك ٣ بوصة و الواح (Kalwall Panel) مليئة بمادة الهلام الهوائي النانوية العازلة بسمك ٢.٥ بوصة،حيث يقوم التجويف علي الحد من الإشعاع الشمسـ ي من خلال الاحتفاظ بالهواء الدافيء بواسطة العزل بمادة الهلام الهوائي الايروجيل فاما أن يستخدم داخليا في أشهر الشتاء أو ينعكس إلي الخارج خلال الأشهر الدافئة مما يخلق عازل حراري فعال، وكذلك استخدم كاسرات شمس بالواجهة الجنوبية و الجنوبية الغربية ، وهوما يساعد في التحكم في درجة الحرارة في الفراغات الداخلية. تساعد الالواح المليئة بمادة الهلام الهوائي علي زيادة نفاذ الضوء المرئي بنسبة ٢٠% ،مما يساعد علي الاستفادة من الضوء الطبيعي و الحد من انتقال الحرارة ، و تقليل استهلاك الطاقة سواء للتبريد أو للاضاءة[٥]،شكل (١٣).

**شكل (١٣) يوضح مبنى جامعة ومعرض يل ،كما يتضح من الشكل الاضاءة الطبيعية بالمبنى**

**٤-٣-٢- ألواح العزل المفرغة (Vacuum Insulation Panels VIPs):**

يتراوح سمك هذه الالواح العازلة المفرغة من ٢ ملم الى ٤٠ ملم ،ويمكن استخدام الواح العزل الحراري المفرغة (VIPs) سواء في تشييد المباني الجديدة،اوفي اعمال الترميم والتجديد ،ويمكن تطبيقها على الجدران والارضيات[٦] ،شكل (١٤)




**شكل (١٤)يوضح على اليمين تركيب الواح العزل المفرغة في الارضيات،وعلى اليسار مخطط توضيحي لمكونات مادة** VIPs

وقد تم استخدام العزل باستخدام الواح العزل المفرغة (VIPs) عام ٢٠٠٦ بمركز سفينة الشمس وسط مدينة فرايبورغ /بالمانيا(Sonnenschiff village) ،عام ٢٠٠٦ م ،القرية عبارة عن مجمع سكني تجاري اداري حيث تبلغ مجموع مساحة الطوابق السكنية والتجارية ٦٥٠٠ م2 ، حيث جاء تصميم المبنى ليجمع بين الاستخدام الاقتصادي وكفاءة الط اقة باستخدام مصادر الطاقة المتجددة ،ومن الجدير بالذكر ان المبنى ينتج طاقة اكثر مما يستهلك وذلك من خلال استخدام الطاقة المتجددة الناتجة من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح ، تتعرض المنطقة لأشعة الشمس بشكل كثيف، ولكن عمل المصمم علي تصميم المباني لتكون مباني بيئية مستدامة صديقة للبيئة حيث عمل علي الاستفادة من أشعة الشمس لتحقيق الاستخدام الاقتصادي والكفء للطاقة من خلال استخدام مصادر الطاقة المتجددة، نتيجة استخدام الزجاج المحول للطاقة الشمسية والعزل الحراري و كذلك الخلايا الشمسية لتوليد الطاقة بالمباني،ولا تحتاج المب اني لاستخدام وحدات تكييف الهواء في المبنى ويرجع ذلك إلى استخدام مواد البناء المبتكرة،مثل المواد متغيرة الطور (PCM Phase change materials) لتخزين الحرارة الكامنة لتنظيم درجات الحرارة في الأماكن المغلقة باستخدام كبسولات البارافين،وكذلك استخدمت الألواح المفرغة العازلة (VIPs) لعزل الجدران الخارجية والزجاج(٦)، شكل (١٥).

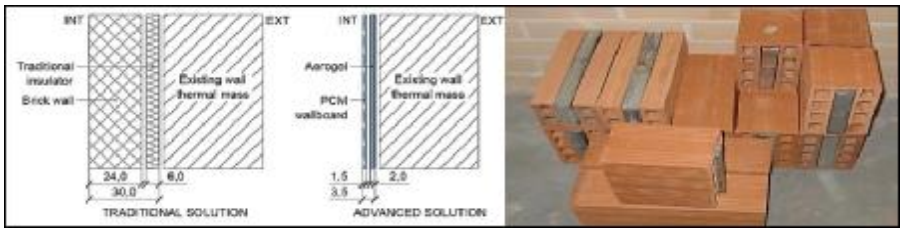
شكل (١٥)يوضح استخدام العزل باستخدام الواح العزل المفرغة (**VIPs**) بمركزسوننشيف/ مدينة فرايبورغ/ألمانيا.

### ٤-٣-٣- المواد متغيرة الطور: (Phase change materials (PCMs

كانت عملية المحافظة على تنظيم درجة الحرارة داخل المباني تستهلك كميات هائلة من الطاقة من اجل التدفئة والتبريد على حد سواء ،والتي تؤدي عادة الى انبعاثات غاز ثاني اكسيد الكربون ($CO_2$) ،وبمساعدة تكنولوجيا النانو تم تقليل استهلاك الطاق بشكل ملحوظ،ويمكن استخدامها في الحوائط والأسقف والأرضيات.

**أ- استخدام المواد متغيرة الطور في الحوائط**

يمكن استخدام الكبسولات الميكروية في الطوب الطفلي المفرغ، حيث أثبتت الأبحاث ان إدخال لوح من الكبسولات الميكروية متغيرة الطور بمحور الطوب الطفلي المفرغ بسمك ٣ سم كما بالشكل (١٦) تخفض تدفق الحرارة للفراغات الداخلية بنسبة ١٧,٥٥ مقارنة بالألواح التقليدية، وقد وجد الباحثون أن الطوب المدمج مع (PCM) له تأثير أفضل لعزل المبني خلال النهار عندما يتعرض لأشعة الشمس من الطوب الغير معالج(٧).




**شكل (١٦) استخدام المواد متغيرة الطور في الحوائط.**

**ب- استخدام المواد متغيرة الطور في الأسقف والأرضيات**

واحدة من أهم أنظمة تخزين الحرارة بالطاقة الشمسية السلبية هي دمج المواد متغيرة الطور (PCM) مع الأسقف والتي تم تطويرها عام ١٩٩١ بواسطة الباحثين Guther و Schiler حيث يتم استخدام عاكسات الشمس لتوجيه الطاقة الشمسية الدخول عبر النوافذ إلىPCM))،وكانت الا ستفادة من هذا النظام أنه يسمح مساحة واسعة لتكون مكرسة لتخزين الحرارة دون الحاجة لكميات كبيرة من وسائط التخزين، وقد تبين أن استخدام مثل هذا النظام لديه القدرة على استرداد ١٧-٣٦ ٪ من الحرارة المفقودة، وقد تم استخدام المواد النانوية متغيرة الطورPCMs) Phase change materials) في مبني هندسة الجزيئات وعلوم البناء بجامعة واشنطن Molecular Engineering and Sciences Buildingin the University of Washington،عام ٢٠١٢ ،تم اختيار موقع الكلية في منتصف الحرم الجامعي، حيث يحتل موقع واضح للغاية، وقد تم تصميم تشكيل المباني بحيث تـ ساعد على تحسين الهواء الطلق وتوسيع ممرات المشاة كما بالشكل (١٨ ( إلى قرب الكلية من المباني العلمية والهندسية الأخرى ليسمح بإنشاء فرص بحثية مشتركة بين الأقسام المختلفة(٨).

**شكل (١٨) واجهة مبني هندسة الجزيئات وعلوم البناء بجامعة واشنطن.**

ولقد تم تصميم المبني ليتلاءم مع مناخ شمال غرب المحيط الهادئ دون استخدام تكييف الهواء من خلال استخدام مواد متغيرة الطور (PCM) في السقف،حيث تصبح سائلة خلال النهار عندما يكون الجو دافئ، وتتصلب في الليل،وتم تغليف هذه المادة في الجدران وألواح السقف.

**النتائج والتوصيات**

**أولا:- النتائج**

١- ساهمت تطبيقات النانو بالتغلب على كثير من العقبات التصميمية للوصول إلى تشكيلات معمارية تعبيرية كانت مستحيلة التنفيذ.
٢- أتاحت الفرصة للمعماري في تجسيد أفكاره التصميمية بشكل كامل سواء كانت كتل مرنة منتظمة أو معقدة التشكيل.
٣- ساهمت تقنية النانو في تحسين أداء مواد البناء ورفعت من كفاءتها.
٤- ساعدت عمارة النانو على تحسين الأداء البيئي للمباني بخواصها الفائقة في التنظيف الذاتي ،وتنقية الهواء.
٥- تؤثر تطبيقات تقنية النانو على المواد بشكل كبير على المنتج المعماري بحيث أنها توفر تكاليف الصيانة وتعمل على زيادة دورة حياة المنتج المعماري .

**ثانيا:- التوصيات**

١- الاستفادة من تطبيقات تقنية النانو فى المبانى لكى تساعد على توفير الطاقة وتوفير تكاليف الصيانة.

٢- الزام المبانى المستهلكة للطاقة بإستخداج الزجاج المعالج بتقنية النانو ذا الطلاء المخفض للإنبعاث مع الطلا ء العاكس عن طريق الكود المصرى للطاقة.

٣- استخدام خامات النانو العازلة فى معالجة المبانى القائمة بالفعل لحمايتها و العمل على ترشيد استهلاك الطاقة بها .

**المراجع**

**اولا: المراجع العربية**

١- جمعة ، حسين محمد . (٢٠٠٩) . النانو تكنولوجى فى قطاع التشييد والبناء . القاهرة . جمهورية مصر العربية : دار الشروق للنشر والتوزيع.

٢- صلاح الدين , ياسر محمد .(٢٠١٣) . تكنولوجيا النانو وتأثيرها على العمارة من حيث اساليب البناء ومواد التشطيب. القاهرة ، جمهورية مصر العربية . رسالة ماجستير: كلية الهندسة . جامعة القاهرة . ص١٠١.

٣ - حربة ، علا . (٢٠١٧) , العمارة في ظل تقنية النانو , مجلة جامعة البعث , المجلد ٣٩,العدد ١٨ , ص٩٦.

٤- عبد الهادى , دينا . (٢٠١٣) . اثر تطبيقات تكنولوجيا النانو على حيزات العمارة الداخلية السكنية . القاهرة . جمهورية مصر العربية ماجستير : كلية الفنون الجميلة . جامعة حلوان . ص٨٦.

٥- عبد المعز ، هالة , وأخرون . (٢٠١٨) , تطبيقات تكنولوجيا النانو لتحقيق كفاءة ادارة الطاقة بالمباني , المؤتمر العلمي الدولي الثاني ,البناء والطاقة والعمران تحديات راهنة وحلول مستقبلية , القاهرة.

٦- الدريهم , أسامة بن جاسم بن عثمان . (٢٠٠٧) . تطبيقات تقنية النانو في العزل الحراري , مجلة العلوم والتقنية , العدد٨٤ , ص٢٧.

٧- جورج ، رامي ، واخرون . (٢٠١١) . تأثير استخدام المواد متغيرة الطور PCM في الجدران والسقف في الأحمال الحرارية ودرجة الحرارة الداخلية في الابنية , مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية , المجلد ٣٣ , العدد ٣ ,ص٤٥

٨ - احمد ، مها . (٢٠١٦) . اختيار المواد متغيّرة الطور (PCM)من أجل تكييف هواء المنازل في فصل الصيف ,مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية , المجلد ٣٨ , العدد ٤ , ص٣٨.

**ثانيا: المراجع الأجنبية**

9- Leydecker , Sylvia .( 2008), Nano Materials in Architecture. Interior Architecture and Design, Germany: Springer.

10- Elvin , George .( 2007) . Nanotechnology for Green Building. UK . London: ELSEVIER.

**ثالثا: المواقع الاليكترونية**

. Retrieved August 2009https://understandingnano.com/11- Nanotechnology Applications . ,

12- Aerogel materials for insulation in buildings .

. Retrieved Nov 2018.https://www.designingbuildings.co.uk/w/index.php