المجلــة الأردنيــة للفنــون، مجلد 16، عدد4. 2023. 469 – 485

تحسين جودة وكفاءة الفراغات المعمارية الداخلية للمباني السكنية باستخدام تقنية النانو تكنولوجي

رلى تيسير خريس، عمارة داخلية وتصميم
المؤلف المسؤول: رلى خريس (rola_khreis@hotmail.com)

Received date: 21/12/2022 | **Acceptance date: 19/03/2023**

Improving the Quality and Efficiency of Interior Architectural Spaces in Residential Buildings Using Nanotechnology

Rola Taiseer Khreis, Interior Architect and Design.
Corresponding Author: Rola Khreis (rola_khreis@hotmail.com)

الملخص

يهدف البحث الحالي إلى تحسين جودة وكفاءة الفراغات الداخلية باستخدام تكنولوجيا النانو عن طريق محاكاة الفراغات لمعرفة مدى ملاءمة الفراغ لوظيفته، كما يهدف إلى توفير بيئة داخلية صحية سليمة خالية من الملوثات والميكروبات الناقلة للأمراض من خلال استخدام "تكنولوجيا النانو المضادة للميكروب" عن طريق إيجاد رؤية جديده لتصميم البيئة الداخلية بتكلفة قليلة وفاعلية طويلة مع المحافظة على الجانب الوظيفي والجمالي والصحي لهذه التصاميم. استخدم في هذا البحث المنهج الاستقرائي القائم على استطلاع أهم نتائج الأبحاث العلمية في موضوع البحث للتوصل إلى حل مشكلة البحث. توصل البحث إلى العديد من النتائج أهمها أن تقنية النانو تضيف تغييرات في خصائص مواد البناء التي يمكن أن تحسن مواصفاتها لتكون أخف وزنا، ومركبات هيكلية أقوى، وطلاءات صيانة منخفضة، ومواد تدعيم أفضل، وعزل حراري، مما يزيد من عمر المباني ويجعل المبنى أكثر استدامة وصديقة للبيئة ومحمية من التلف لفترات طويلة، كما أنها تساعد في عملية إحياء وترقية للمبنى لحمايته من عوامل التلف والتمزق والبكتيريا والأضرار المختلفة التي تؤثر على أداء المبنى سواء في الداخل أو الخارج ويتم تقليل تكلفة الصيانة بسبب خصائص هذه المواد، كما أنها تفيد العديد من القطاعات وخاصة الهندسة المعمارية والتصميم، لإضفاء المزيد من الوظائف على المباني الحديثة على خلاف ما هو متعارف عليه عن تلك الموجودة في العقود السابقة.

الكلمات المفتاحية: المواد الذكية، المباني الذكية، النانو تكنولوجي، التعقيم الذاتي، البيئة الداخلية، مضادة الميكروب

Abstract

The current research aims to improve the quality and efficiency of internal space using nanotechnology by simulating the space to determine the suitability of the vacuum for its function. It also aims to provide a healthy indoor environment free of pollutants and disease-carrying microbes through “antimicrobial nanotechnology” by creating a new vision for designing the indoor environment at a low cost and long-lasting effectiveness while preserving the functional, aesthetic, and health aspects of these designs. In this research, the inductive method is used to survey the most important scientific research results on the research topic to address the research problem. The study concluded that nanotechnology adds changes to the properties of building materials, improving their specifications to be lighter, structurally stronger, with low-maintenance coatings, better reinforcing materials, and thermal insulation. This increases the lifespan of buildings, making them more sustainable and environmentally friendly. It also helps in the process of reviving and upgrading the building to protect it from factors such as damage, tearing, bacteria, and various harms that affect the building's performance, whether inside or outside. The cost of maintenance is reduced due to the properties of these materials. It also benefits various sectors, especially architecture and design, by adding more functions to modern buildings, contrary to what was known about those in previous decades.

Keywords: Smart materials, Smart buildings, Nanotechnology, Self-sterilization, Indoor environment, Antimicrobial.

مشكلة البحث، (Problem Research):

تواجه البيئة الداخلية للمباني السكنية في وقتنا الحالي من مشاكل عدة مثل انتشار الأمراض وتهديد الصحة العامة للإنسان نتيجة نمو وتكاثر الفيروسات والبكتيريا في هذه البيئات الداخلية ومحتوياتها حيث تعاني الفراغات الداخلية من ملوثات كثيرة تؤثر على الصحة العامة مثل الاختلاط واستخدام مواد ضارة

© 2023- جميع الحقوق محفوظة للمجلة الأردنية للفنون

بالصحة واستخدام المنظفات للتعقيم والتي تساعد على المرض مما يؤدي إلى تهديد بالغ للصحة العامة، وإلى انخفاض في الإنتاج، وكما يؤدي إلى زيادة في استهلاك الطاقة، وأيضا يؤدي إلى التقليل من مدة صلاحية الأسطح الداخلية في أدائها لوظائفها والتغير في شكلها الجمالي مما يستلزم استبدالها أي زيادة في التكاليف، وإلى عدم جودة الهواء الداخلي (Indoor Air Quality IAQ).

فروض البحث:

يفترض البحث أن تكنولوجيا النانو من خلال معالجة المادة على المقياس الذري والجزيئي بإنتاج مادة جديدة أو تحسين خواصها أو إضافة خاصية جديدة لها، سيساهم في تحقيق كفاءة وتحسين العمارة الداخلية للمباني السكنية بشكل أكثر كفاءة من الأساليب التقليدية المطبقة حاليا.

هدف البحث، (Objective Research):

يهدف البحث إلى تحسين جودة وكفاءة الفراغات الداخلية باستخدام تكنولوجيا النانو عن طريق محاكاة الفراغات لمعرفة مدى ملاءمة الفراغ لوظيفته، حيث يتيح التقدم في تكنولوجيا النانو تغيير طريقة التصميم والبناء ويمكن تحقيق هذا التغيير بالتصميم عندما يعتمد المعماري على محاكاة الطبيعة، وتنفيذ ذلك عن طريق مواد النانو التي تم تقليدها وإنتاجها بعد فهم وظائف الأشياء والعمليات الموجودة بالطبيعة.

كما يهدف البحث على توفير بيئة داخلية صحية سليمة خالية من الملوثات والميكروبات الناقلة للأمراض من خلال استخدام (تكنولوجيا النانو المضادة للميكروب) عن طريق إيجاد رؤية جديدة لتصميم البيئة الداخلية بتكلفة قليلة وفاعلية طويلة مع المحافظة على الجانب الوظيفي والجمالي والصحي لهذه التصاميم.

أهمية البحث، (Research Importance):

تكمن أهمية البحث في أنه يسعى إلى توضيح مدى أهمية تكنولوجيا النانو باعتبارها من أبرز التكنولوجيات الحديثة في الوقت الحالي، فهي مجال نشط جدا، وتعطي الكثير، وتقدم طرقا مختلفة لابتكارات بسيطة، رخيصة، خفيفة وسريعة وتقوم بعمل أشياء أكثر ذكاءا باستخدام مواد خام وطاقة قليلة، مما يولد رؤية جديده لتصميم الأشياء والغرض من استخدامها. كما أنها لا تؤثر فقط على التصميم والأداء الوظيفي، ولكن أيضًا توثر بشكل هائل على البيئة وعلى صحة الإنسان. ولذلك لا بد من دراسة هذه التكنولوجيا للحصول على تصاميم ذات كفاءة عالية بيئيًا ووظيفيًا وجماليا.

منهج البحث، (Methodology):

يتبع البحث المنهج الاستقرائي القائم على استطلاع أهم نتائج الأبحاث العلمية في موضوع البحث للتوصل إلى حل مشكلة البحث.

المقدمة

تعد تقنية النانو واحدة من أكثر مجالات البحث نشاطًا والتي تشمل العديد من التخصصات، كما أنها تساعد في تحسين عدد واسع من قطاعات التكنولوجيا والصناعة إلى حد كبير، بل وإحداث ثورة فيها مثل تكنولوجيا المعلومات، الطاقة، الطب، النقل، البناء، سلامة الغذاء وعلوم البيئة. تقنية النانو هي التحكم وإعادة هيكلة المادة بترتيب نانومتر (أي أقل من 100 نانومتر) لإنشاء مواد ذات خصائص ووظائف جديدة. أصبحت المواد مجتمعة مع تقنية النانو أصغر وأخف وزنا وتعمل بشكل أفضل مما هو ممكن مع المواد التقليدية.

تعتبر البيئة الداخلية مشكلة معقدة في المباني الداخلية نظراً لوجود العديد من الموضوعات التي يجب مراعاتها. إن المواد التقليدية المستخدمة في البناء فيها مشاكل مختلفة كالمواد التي لا يمكن تنظيفها بسهولة وتبعث الكثير من الغازات الضارة بالصحة، كما يمكن أن تؤدي إلى انتشار العدوى في الحيزات الداخلية. وأيضا مواد العزل الحراري والصوتي التي لا تتطابق مع كفاءة الجودة في الأماكن المغلقة لأنها تنبعث منها مواد سامة مختلفة. ومن ناحية أخرى الزجاج المستخدم في النوافذ الذي له مشاكل عدة، مثل:

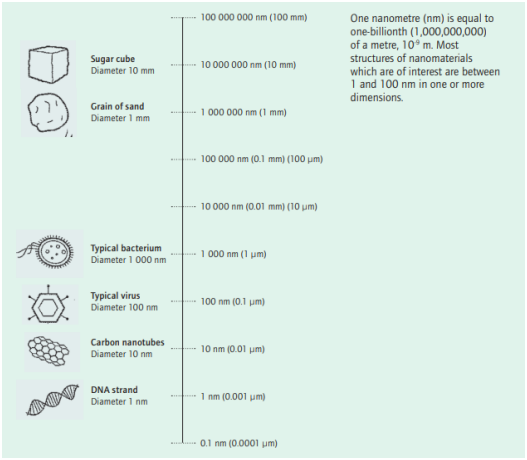
الرؤية الواضحة، وتقليل انتقال الحرارة وأشعة الشمس الضارة، والتوهج، وخصوصية المستخدم وغيرها من المشاكل.

لعبت المواد النانوية وتقنيات النانو مؤخراً دوراً رَئِيسِيًّا في العمارة والتصميم الداخلي بتحسين أداء مواد البناء التقليدية سواء المواد الإنشائية مثل (الخرسانة والفولاذ والخشب) والمواد غير الإنشائية مثل (الزجاج والطلاء وتنقية الهواء). إن المواد النانوية بدت فعالة من الناحيتين البيئية والاقتصادية، إلا أنه لا تستخدم هذه المواد في المباني حتى الآن بمفهوم واسع. كما أن استغلال تقنية النانو في العمارة والتصميم الداخلي على نطاق تجاري لا تزال محدودة مع نتائج قليلة بنجاح تحويلها إلى منتجات قابلة للتسويق. تبحث الورقة في كفاءة استخدام المواد النانو نية للمباني السكنية، حيث إن لها دورا في كفاءة البيئة الداخلية ومكافحة العدوى وجوانب مختلفة. الغرض من الورقة هو التركيز على هذه المواد الجديدة لاستخدامها كمواد مستدامة في البناء.

النانو تكنولوجي

تعددت التعريفات المتنوعة لمصطلح تقنية النانو التي يعرضها الباحثون والخبراء ومعظم هذه التعريفات قريبة ومتشابهة من حيث المحتوى والمفهوم بحيث يمكن تلخيصه في المفهوم التالي: علم النانو هو نوع من العلوم والتكنولوجيا التي تتحرى وتتحكم في هيكل وسلوك المادة من أجل فهم واستغلال خصائصها.

يمكننا أن نتخيل أن مقياس النانومتر يبلغ حوالي 80.000 ضعف قطر الشعرة وأن حجم النانو الواحد يبلغ حوالي 5 إلى 10 ذرات معًا، لذلك فنحن نتعامل مع جسيمات صغيرة يقل حجمها عن 100 نانومتر. ومن ناحية أخرى هو التحكم بذرات المادة على المستوى الذري أو الجزيئي عن طريق إعادة الهيكلة وترتيب الذرات (الجسيمات) المكونة للمادة، والتعامل مع جزيئات أحجامها بين 1 و100 نانومتر (مقياس النانو) في التصميم، مما أدى إلى السيطرة على خصائص المواد (الشكل 1).



الشكل (1): المصدر: مواد جديدة في البيئة: حالة تقنية النانو، الهيئة الملكية للتلوث البيئي، نوفمبر 2008

المواد الذكية

ظهرت المواد الذكية في نهاية القرن العشرين، ووصلت إلى الصناعات المعمارية وإدارة المباني للسيطرة على معظم أنظمتها . هذه المواد لها مرحلتان:

المرحلة الأولى: ممثلة بالقدرة على أداء وظائف الاستشعار والتحفيز، مثل تلك الموجودة في النظم الحية، ومكوناتها الأساسية كأجهزة الاستشعار والتحكم والمشغلات .

المرحلة الثانية: تُعرف بالتطور الهائل الذي غزا المجالات الكيميائية والصناعية من خلال ظهور تقنية النانو. أنتجت تقنية النانو مواد نانونية عززت من كفاءة المواد وحل العديد من المشاكل في قضايا الرقابة البيئية.

ولديها أربعة أنواع: جسيمات النانو، والأسلاك النانوية والأنابيب النانوية، والأفلام النانوية، والمواد النانوية السائبة.

يمكن لهذه المواد، التي تم تقليص ذراتها إلى مقياس النانو، إظهار خصائص مختلفة جدا مقارنة بما تعرضه على نطاق واسع؛ وتتميز في تطبيقات فريدة.

على سبيل المثال، يمكن أن تضيف تقنية النانو تأثيرا دائما وتوفر أنسجة عالية المتانة بسبب نسبة مساحة السطح الكبيرة إلى الحجم والطاقة السطحية العالية للجسيمات النانوية . كما تظهر الأبحاث السابقة أن الطلاء بجزيئات النانو يمكن أن يعزز المنسوجات بخصائص مثل مقاومة البكتيريا وطارد للماء والحماية من الأشعة فوق البنفسجية والتنظيف الذاتي، مع الحفاظ على القدرة على التنفس وخصائص اللمس للمنسوجات.

دور المواد الذكية:

تلعب تقنية النانو دوراً حيويا ورئيسيا في العديد من الفروع والمجالات كالطب، مستحضرات التجميل، النقل، المواد الغذائية، المنسوجات، الهندسة المعمارية، البناء، الطاقة والبيئة. تقدم تقنية النانو أداة تكنولوجية جديدة في مجال البناء ويرتبط استخدامها بالاستدامة وكفاءة الطاقة وتقليل غازات الاحتباس الحراري. كما أن المواد الذكية شاركت في نطاق واسع في مكافحة العدوى، ولعبت دوراً في تعزيز عملية التنظيف، وشاركت في تنقية الهواء وهاجمت البكتيريا والعوامل المنتجة لها. تعتبر صناعة البناء من الأسباب الرئيسية أو الجذرية لإنتاج انبعاثات ثاني أكسيد الكربون فيجب خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في جميع أنحاء العالم إلى النصف بحلول الأعوام القادمة .إن استخدام المواد التي أصبحت ممكنة الآن من خلال تطبيق تقنية النانو تقدم لهندسة العمارة ولهندسة العمارة الداخلية وغيرها من المجالات وسيلة لتحقيق قدر أكبر من البناء المستدام وكفاءة البيئة الداخلية من خلال الابتكار والإبداع.

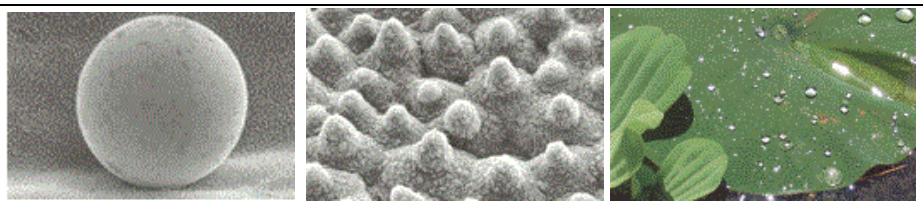
تطبيقات النانو في العمارة الداخلية

تحتوي تقنية النانو على مجموعة متنوعة من التطبيقات التي توضح خصائص المواد النانوية وتطبيقاتها على الأسطح، مثل التنظيف الذاتي وتنقية الهواء وما إلى ذلك بدلاً من المواد الكيميائية. تُظهر هذه التطبيقات، مثل التحفيز الضوئي، مجموعة متنوعة من الطرق الإبداعية والمبتكرة المختلفة للتطبيق في التصميم مع أمثلة واقعية تقدم دليلاً على أنه من خلال تقنية النانو، يمكن تحقيق كفاءة أكبر في استخدام الطاقة الآن.

1. مواد تعزز عملية التنظيف

أ. التنظيف الذاتي: تأثير اللوتس (Lotus Effect)

يُطلق على تأثير اللوتس للتنظيف الذاتي كارها للماء (Hydrophobic-water trickles)، فهي سطح خشن مجهري وليس ناعما طارداً للماء (كارهًا للماء)، مغطى بمقابض أو مسامير صغيرة بحيث يكون هناك القليل من سطح التلامس الذي يستقر عليه الماء. بسبب هذه البنية المجهرية، فإن الأسطح التي هي بالفعل كارهة للماء تكون أقل قابلية للبلل (الشكل 2). يتم تعزيز تأثير السطح الخشن بشكل أكبر من خلال مزيج من الشمع (وهو أيضًا كاره للماء) على أطراف العقد الموجودة على أوراق اللوتس وآليات الشفاء الذاتي، مما ينتج عنه سطح مثالي ومقاوم للماء وذاتي التنظيف. ومناسبة تماماً للأسطح المعرضة لكميات كافية من الماء كما أنه يحتاج إلى صيانة منخفضة (الشكل 3).



الشكل 2: منظر مجهري لقطرة ماء تستريح على نبتة اللوتس ذات التنظيف الذاتي، السطح مغطى بمقابض بارتفاع 5-10 ميكروميتر، مكبرة، والتي يتم تغطيتها ببنية نانوية وسطح شمعي

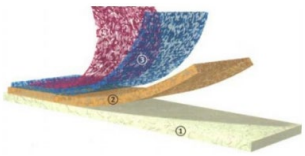
الشكل 3: أسطح مقاومة للماء وذاتية التنظيف تستريح عليها قطرات ماء.
Waterproof (ultrahydrophobiccoating.com)

ب. التنظيف الذاتي: التحليل الضوئي (Self-Cleaning: Photo catalysis)

إن التنظيف الذاتي التحفيزي للأسطح المحبة للماء هو على الأرجح الوظيفة النانوية الأكثر استخداماً في تشييد المباني، وتنشط هذه التقنية بشكل أساسي عن طريق الأشعة فوق البنفسجية وكمية قليلة من الماء التي تبدأ تفاعلات محددة تجعل الأوساخ تنفصل وتتكسر على السطح، كما أنه يقلل من الصيانة المطلوبة. هناك العديد من المباني حول العالم التي تستفيد من هذه الوظيفة. تأثيره الأساسي هو أنه يقلل بشكل كبير من مدى التصاق الأوساخ على الأسطح.

ت. سهل التنظيف ((Easy To Clean (ETC)

الأسطح سهلة التنظيف عبارة عن أسطح ملساء ذات جاذبية سطحية منخفضة بسبب انخفاض في طاقتها السطحية مما يجعل الالتصاق بالسطح صعباً للغاية، أن الأسطح سهلة التنظيف تكون كارهة للماء، وغالباً ما تكون أيضاً كارهة للزيوت دون تأثير اللوتس وغالباً ما يتم الخلط بينها وبين وظائف التنظيف الذاتي الأخرى مثل (Lotus-Effect) حيث يكون السطح في هذه الحالة أملس وليس خشناً. يمكن تطبيق هذا النوع من التكنولوجيا على الأسطح الملساء مثل حوض السباحة وطلاء التركيبات الصحية الخزفية وزجاج مقصورة الدش كما أن الخشب والمعدن والبناء والخرسانة والجلود وكذلك المنسوجات هي أيضاً مرشحة للطلاء المقاوم للماء (الشكل 5). تشمل مزايا الأسطح سهلة التنظيف: قابلية أقل لتراكم الأوساخ (طارد الأوساخ)، وخالية من الإجهاد، وتوفر الوقت وتكاليف التنظيف.



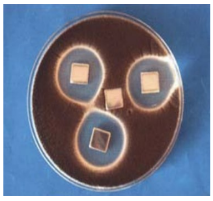
الشكل 4: رخام قابل للطي (Roll-out marble) مقاوم للتأثيرات، ومقاوم للحريق، ونفاذ للبخار ومع ذلك فهو طارد للماء وسهل التنظيف

يتكون المنتج رخام قابل للطي (Roll-out marble) من أربع طبقات (الشكل 4): حصيرة بوليمر مرنة كدعم، ويتم استخدام مادة السيراميك الملونة، وطباعة اختيارية، و غطاء خارجي كريمي.

الشكل 5: خاصية تأثير مقاومة الماء على أغطية الجدران المرنة المكونة من ركائز بوليمر وطلاء خزفي من الخارج

2. مواد مضادة للجراثيم -Antibacterial materials

تحمل العديد من الأسطح التي يلمسها الناس في الأماكن العامة والخاصة كل يوم آلاف البكتيريا والجراثيم. تم في تقنية المواد المضادة للجراثيم استهداف البكتيريا وتدميرها، كما مكنه من تقليل استخدام المطهرات ودعم طرق النظافة في البيئة الداخلية. ويستخدم الطلاء المضاد للبكتيريا والمضاد للميكروبات بنطاق واسع في الأماكن الداخلية والأماكن العامة حيث تتوفر العديد من منتجاته وتتنوع في الأرضيات والجدران والأثاث والدهانات والمنسوجات المبتكرة التي تجعلها خالية من الجراثيم (الشكل 7،9).

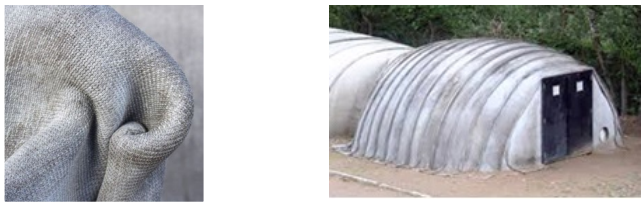


الشكل 6: طلاءات المبيدات الفطرية على ألواح الفولاذ المقاوم للصدأ تقلل من تكوين العفن

إن المواد النانوية المضادة للميكروبات تقدم فوائد دون أي مخاوف بيئية أو صحية لأنها ليست تقنية ضارة. تحتوي الطلاءات على مساحة سطح عالية جدا إلى نسبة حجم الجسيمات النانوية، مما يعني أن الأيونات يمكن أن تنبعث بسهولة أكبر وبالتالي تقتل البكتيريا بشكل أكثر فعالية (الشكل 6). إن الأسطح التحفيزية الضوئية لها تأثير جانبي مضاد للبكتيريا نظراً لقدرتها على تكسير المواد العضوية في الأوساخ، وبمساعدة جسيمات نانو الفضة لخصائصها المضادة للميكروبات فمن الممكن تصنيع الأسطح المصممة خصيصاً لتكون مضادة للبكتيريا أو مبيدة للجراثيم .

الشكل 7: طلاء الأثاث بمادة نانو الفضة المضاد للبكتيريا

ينتج التأثير المضاد للبكتيريا عن الانتشار البطيء المستمر لأيونات الفضة. يمكن استخدام جزيئات الفضة النانوية في طلاء المنسوجات حيث تمنع أيونات الفضة الخلايا من امتصاص البكتيريا وتقلل من تأثير البقع على المنتجات المختلفة (الشكل 8). أيضاً يتم استخدام ثاني أكسيد التيتانيوم ((Nano Tio2-(Ti02 كطلاء مضاد للبكتيريا لمنتجات معدنية مختلفة.



الشكل 8: صناعة الخيام الإسمنتية المضادة للبكتيريا

الشكل 9: يستخدم عدة طبقات من الورنيش في التشطيب النهائي لمنتجات الخشب الذي يتكون من جزيئات نانو مضادة للبكتيريا لإغلاق مسام الأسطح الخشبية.

تعد هونغ كونغ من أوائل المدن التي طبقت طلاء نانو ثاني أكسيد الفضة والتيتانيوم (Nano Tio2) على الأجزاء الداخلية لسيارة المترو. أظهرت الاختبارات أن استخدام مطهر النانو هذا قلل من وجود البكتيريا بنسبة 60٪ .علاوة على ما ذكر، هناك مواد نانونيه غير عضوية تستخدم كطلاء لامتصاص الأشعة فوق البنفسجية، وبالتالي فهي تقلل من التأثير الضار لهذه الأشعة على المنتجات العضوية. المواد النانوية المستخدمة هي؛ ثاني أكسيد التيتانيوم (Ti02) وأكسيد الزنك (ZnO)، أكسيد السيريوم (CeO)

3. تنقية الهواء، (Air purifying materials)

الهواء الصحي هو مورد أساسي وأكثر أهمية وقيمة من أي وقت مضى. يتم تقسيم الملوثات والروائح من خلال بعض التفاعلات بسبب بنية المادة النانوية المطبقة على السطح.

أ. الملوثات: إضافة نانو سيليكا للخرسانة ينقي الهواء أثناء تعرضه لأشعة الشمس، حيث يقضي على الروائح السيئة وفضلات المخلفات في الفراغ، ولكن دون تجاهل التهوية الطبيعية للسماح للهواء الذي يساعد في تقليل الرطوبة.

ب. كبسولات العطور: هذه الكبسولات النانوية صغيرة بحجم بضعة ميكروميتر فقط تحيط بالعطر بغشاء رقيق للغاية وغير منفذ إلى حد ما. يتم بدء وظيفة العطر وفقًا لمبدأ "الإطلاق عند الطلب"، أي تنفجر الكبسولات عند الاتصال الميكانيكي، على سبيل المثال عند الضغط أو عند الفرك، مما يؤدي إلى إطلاق العطر الموجود بداخلها. يمكن أن يحدث هذا، على سبيل المثال، عن طريق الجلوس على مقعد مبطن أو عن طريق المشي على سجادة. توجد الكبسولات الدقيقة بأشكال مختلفة فيما يتعلق بحشواتها، والتي يمكن أن تكون غازية أو صلبة أو سائلة.

وعلى الرغم من عدم القدرة على تنقية الهواء تماما، فإن استخدام المواد النانوية يجعل من الممكن تحسين جودة الهواء، يمكن القضاء على الروائح الكريهة والملوثات. كما يمكن استخدامه في الداخل: مثل الستائر واللوحات الجدارية (الشكل 10). وفي الخارج في الهواء الطلق، مثل بلاط الأرصفة المختلفة ومواقف السيارات.

الشكل 10: ستائر تنقية الهواء بخصائص مضادة للجراثيم في نفس الوقت.

4. تعزيز العزل الحراري / الصوتي، (Enhancing the thermal/ sound insulation)

العزل (مواد توفير الطاقة) تُستخدم المواد العازلة للحفاظ على ثبات درجة الحرارة في مكان مغلق لحماية البيئة من خلال تقليل ثاني أكسيد الكربون وثاني أكسيد النيتروجين وغازات الاحتباس الحراري. تُهدر كميات كبيرة من الطاقة يوميا في كل من المنازل والصناعة بسبب ضعف العزل. سيساعد التطور في العزل على تقليل الطلب على الطاقة والتكلفة . تشمل المواد المستخدمة حاليا للعزل الألياف الزجاجية والصوف

الصخري والصوف الخبء، في حين أن تكنولوجيا النانو يمكن أن تقدم بدائل أفضل .

أ. عزل الفراغ الحراري ((Vacuum insulation panels- (VIPs)

نجح استخدام رغوة النانو أو المسحوق أو الألياف الزجاجية كمواد تعبئة في ألواح العزل الفراغي. (VIPs) تعتبر الألواح العازلة الفراغية (VIPs) مناسبة بشكل مثالي لتوفير عزل حراري جيد جدا بسماكة عزل أقل بكثير من المعتاد (الشكل 11). بالمقارنة مع مواد العزل التقليدية مثل البولسترين، فإن الموصلية الحرارية أقل بعشر مرات كما يمكن تحقيق أقصى مقاومة حرارية بأقل سماكة للعزل. في جميع الحالات، يوفر نظام الألواح العازلة الفراغية إمكانات كبيرة في السياق المعماري لتحسين كفاءة الطاقة وتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

الشكل 11: لوح عازل (VIPs) توضح سمكها الصغير

يتم تصنيع الألواح على النحو التالي: الغلاف مصنوع من رقائق بلاستيكية وغالبًا مغطى بالألمنيوم أو من الفولاذ المقاوم للصدأ يحيط بمواد التعبئة في الفراغ . تأخذ مادة الحشو شكل رغوة أو مسحوق أو ألياف زجاجية ودائمًا ما تكون مسامية وتقاوم الضغط ويمكن تفريغها. يمكن استخدام الألواح العازلة الفراغية في إنشاءات المباني الجديدة وكذلك في أعمال التحويل والتجديد ويمكن تطبيقها على الجدران والأرض.

ب. عزل الإريجل، (Aerogel Insulation):

عبارة عن مادة صلبة منخفضة الكثافة للغاية، وهي مادة هلامية يتم فيها استبدال المكون السائل بالغاز، تتميز بشفافية تصل إلى 75 في المائة، بسبب محتواها العالي من الهواء ويمكن أن يطلق عليه (الدخان المتجمد) (الشكل 12). تتكون من 95 في المائة من الهواء و5 في المائة فقط من المواد الرغوية الصلبة. والمادة الرغوية المتبقية عبارة عن مادة تشبه الزجاج والسيليكا. البعد النانوي ذو أهمية حيوية لشقوق المسام للرغوة: جزيئات الهواء المحصورة داخل النانو الدقيقة، كل منها بحجم متوسط يبلغ 20 نانومترا فقط، غير قادرة على الحركة، مما يضفي على الهلام الهوائي خصائص العزل الحراري الممتازة.

عزل حراري عالي الأداء ورغوة نانو خفيفة وجيدة التهوية تحمل هذه المادة الرقم القياسي كأخف مادة صلبة في العالم وقد تم تطويرها في عام 1931. يحتوي (Aerogel) على الكثير من الخصائص الجيدة مما يجعله مادة جيدة للاستخدامات الداخلية والخارجية وبجانب خصائصه الحرارية فهي أيضًا عازلة للصوت. تتوفر ألواح Aerogel بسماكة 9 سم (3.5 بوصة) يمكن أن تقدم قيمة (R) لـ(R-28)، وهي قيمة لم يسمع بها من قبل في لوحة نصف شفافة. تشمل التطبيقات المعمارية للهواء الهوائي النوافذ، والمناور، والجدار الشفاف الألواح. على الرغم من خفته، يمكن أن يدعم الهلام الهوائي أكثر من 2000 ضعف وزنه. الأيروجيل النانوية المسامية حساسة للرطوبة، لذلك غالبا ما يتم تصميمها لتكون محصورة بين ألواح الجدران التي تمنع الرطوبة. كما يتم استخدامه كمادة تعبئة عازلة في أنواع مختلفة من التجاويف -بين الألواح الزجاجية أو الزجاج على شكل حرف (U) أو الألواح الزجاجية متعددة الجدران المصنوعة من الأكريليك -وبالتالي فهو مناسب تماماً للاستخدام في المغلفات الخارجية للمباني.

الشكل 12: زهرة على قطعة من (Aerogel) معلقة فوق موقد بنسن- المصدر: Wikimedia Commons

تساعد (Aerogels) في تقليل تكاليف التدفئة والتبريد بشكل كبير. نظراً لأنه شفاف، فإن الهلام الهوائي يعتبر ناقلا جيدا للضوء، وينشر الضوء بشكل متساوٍ وممتع. بالإضافة إلى خصائص العزل الحراري، يعمل الهلام الهوائي أيضًا كعازل للصوت وفقًا لنفس المبدأ الأساسي. بفضل خصائص العزل الحراري والصوتي فوق المتوسط ، يساهم الهلام الهوائي في كفاءة الطاقة، وهي الخاصية الوظيفية الأساسية. إنه عازل غير عادي عالي الأداء ومنتج جديد نسبيا في السوق. ميزة أخرى هي نقل الضوء الجيد ونفاذية ضوء النهار. إن وزنه الخفيف يجعل من الممكن إنشاء واجهات متجانسة ونحيلة -كل ذلك في قائمة كاملة من المزايا ذات الإمكانات الكبيرة (الشكل 13).

الشكل 13: تطبيق (Aerogel) في (أ) الجدار، (ب) المنزل، و (ج) السقف

ت. مواد تغيير المرحلة، (Phase change material, (PCMs))

تعد مواد تغيير الطور (PCMs) منتجات مثالية لحلول التنظيم الحراري. (PCMs) مصنوعة من البارافين وهيدرات الملح. يمكن وضعها داخل الألواح المستخدمة في الغلاف الخارجي للمبنى وعلى الجدران الداخلية لتوفير العزل الحراري . إنها تنظم متطلبات التدفئة والتبريد، حيث لديها القدرة على تخزين وإطلاق الطاقة الحرارية من خلال الألواح بتغيير الحالة الفيزيائية للبارافين أثناء عملية الذوبان والتجمد وتقليل الطلب على التدفئة والتبريد. يمكن استخدام التدفئة أو التبريد الكامن، التي تؤدي بشكل فعال وظيفة العزل، لتنظيم درجة الحرارة . تُعرف درجة حرارة التبديل المحددة مسبقًا، والتي تتغير فيها المرحلة من حالة فيزيائية إلى أخرى في مواد تخزين الحرارة الكامنة المصممة للبناء، على أنها 25 درجة مئوية، حيث تعتبر درجة حرارة الهواء الداخلي أعلى من درجة الحرارة هذه على أنها دافئة بشكل غير مستحب. إنها فعالة اقتصاديا حيث يمكن استخدام سمك 1 مم من البارافين لتقليل درجة الحرارة بمقدار 5 درجات.

أصبحت (PCMs) متوفرة في شكل إضافات يمكن دمجها في مواد البناء التقليدية مثل الجبس أو الألواح الجصية أو كتل الخرسانة الخلوية ذات خصائص الاحتفاظ المحدد بالإضافة إلى الحفاظ على الطاقة عن طريق تقليل الطلب على الطاقة للتدفئة والتبريد، فإن أجهزة PCM قابلة لإعادة التدوير وقابلة للتحلل بيولوجيا.

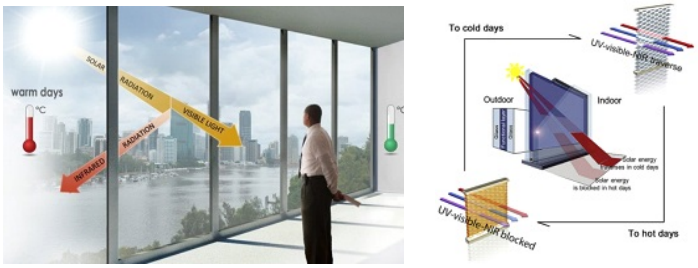
5. الإضاءة الطبيعية / العزل الحراري، (Natural Lighting/ Thermal Insulation)

أ. الكروم الحراري/الكرومي الضوئي/ الكروم الكيميائي

(Thermo-chromic /photo chromic/ chemo chromic):

مواد ذكية تغير لونها بتلقي الحرارة الزائدة أو الأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة تحت الحمراء أو عن طريق المحفزات الكيميائية. يمكن إدارة هذه الكروم للوصول إلى الراحة الحرارية والضوء، حيث يمكنها

التحكم في الضوء والحرارة من خلال غلاف المبنى (الشكل 14). يتم تسميتها وفقًا لنوع المشغلات التي يتعرضون لها، حيث يطلقون عليها اسمًا حراريا كروميا إذا كان المحرك حراريا، لونًا ضوئيا إذا كان المشغل خفيفًا، كيميائيا كروميا إذا كان المشغل محفزًا كيميائيا.

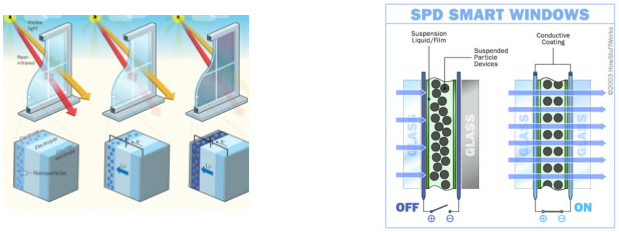


الشكل 14-توضيح لعمل الزجاج الكرومي (https://www.uniteglass.com)

ب. المواد الكهرو كرومية وتطبيقات الجسيمات المعلقة

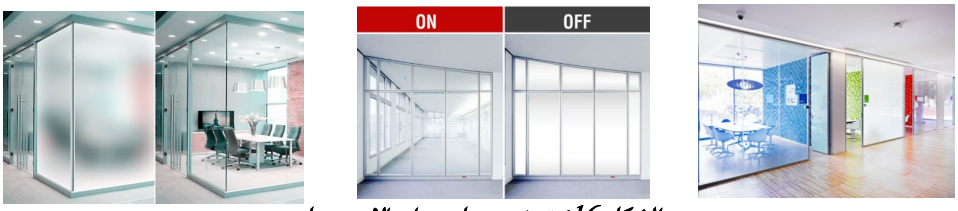
:(Electro chromic materials and Suspended particles applications)

ظهور تقنية النانو قدم وسيلة جديدة لدمج الزجاج الكهربائي في المباني. إن التيار الكهربائي المستمر لم يعد ضروريا . مفتاح واحد هو كل ما هو مطلوب لتغيير درجة انتقال الضوء من حالة إلى أخرى، أي على المفتاح للتغيير من شفاف إلى غامق أو من غامق لشفاف. تغمق النوافذ الكهرو كرومية عند تطبيق الجهد وتصبح شفافة عند إزالة الجهد حيث تقوم الكهرباء بإعادة ترتيب الجزيئات المعلقة للسماح بالضوء المطلوب، كما يبدأ نطاق انبعاث الضوء من 1٪ إلى 57٪ (الشكل 15).



الشكل 15: نظام الجسيمات المعلقة المطبق في النوافذ الذكية .

(https://sustainingourworld.com) , (https://www.electronicproducts.com)



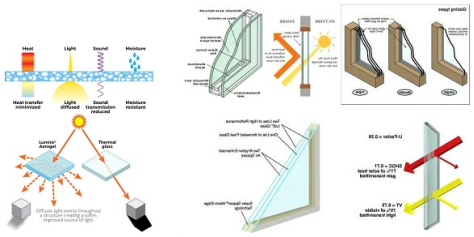
الشكل 16: توضح عمل زجاج الإيروجيل

(https://Smart glass in modern construction), (https://techinstro.com)

يتحول الزجاج الذكي من شفاف إلى معتم في أقل من 0.1 ثانية وهو مثالي لكثير من الفراغ الداخلي مثل؛ غرف الاجتماعات والحمامات والنوافذ والأبواب والجدران الزجاجية الفاصلة والمنشآت الفنية، والاحتمالات لا حصر لها (الشكل 16). يوفر زجاج التعتيم الذكي أكثر من 99.4٪ من كتلة الضوء المرئي و100٪ حماية من الأشعة فوق البنفسجية ويمكن التحكم فيه باستخدام مجموعة من مفاتيح الحائط أو أجهزة التحكم عن بعد أو مستشعرات الحركة أو مستشعرات الضوء أو المؤقتات حسب المتطلبات. أن الطاقة الكهربائية المطلوبة لتلوين الطلاء النانوي الرقيق ضئيلة جدا. جعلت تقنية النانو من الممكن توفير وسيلة موفرة للطاقة للحماية من الشمس كما يمكن أيضًا دمجها مع وظائف الزجاج الأخرى.

ت. إيروجيل (Aerogel)

مادة شفافة محصورة داخل نوافذ زجاجية متعددة الطبقات، يشكل الزجاج بسمك 10-20 سم كعزل حراري). يتكون 99.8٪ من حجمها هواء، بكثافة 3 مجم / سم، لذلك فهي أكثف ثلاث مرات من الهواء. وكما ذكر سابقا عن المادة، تعتبر عازلا جيداً للحرارة والصوت وينثر شعاع الضوء لعلاج الوهج، وعند تعرضه لأشعة الشمس المباشرة فإنه يتصلب ليصبح شبه شفاف، وتعتمد شفافيته على شدة الضوء وزوايا أشعة الشمس. تعمل سيليكا الجل المستخدمة في النوافذ الزجاجية المزدوجة على تقليل عامل انبعاث الحرارة للزجاج وتحسين عامل نفاذية الضوء. (الشكل 17).



الشكل 17-يوضح تقنية زجاج الإريجول-Aerogel

الشكل 18: (SUNY Stony Brook Nobel Halls Stony Brook)، تم تصميم الزجاج من الإيروجيل بمبنى سكني للطلاب في سياتل الأمريكية (https://architizer.com)

ث. طلاء النانو كأفلام نانو سيراميك، (Nano coatings)

تقوم بتحويل لون الزجاج إلى أن يكون أغمق أثناء تعرضه لمزيد من الطاقة الحرارية. تقلل هذه الطلاءات الطاقة الكهربائية المستخدمة. يمكن أن تقلل 57 واطا. علاوة على ذلك، تمنح أفلام النانو قوة للزجاج، وتمتص الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية وتقلل 3-3 من الحرارة الكامنة (الشكل 19).

الشكل 19: طلاء الزجاج بالنانو-(https://multimedia.3m.com).

المضاد للضباب (Anti-Fogging)

تسمح تقنية النانو بإنشاء بخاخات مضادة للضباب لأسطح مختلفة مثل الزجاج والمرايا في الحمام. تجمع هذه المنتجات بين التأثير الأنظف والمضاد للضباب والتأثير المضاد للكهرباء الساكنة. تكون على شكل طبقة مقاومة الضباب غير مرئية ولا تغير المظهر بأي شكل من الأشكال.

6. مكافحة الجرافيتي، (Anti-Graffiti)

إن الطلاءات المضادة للكتابة على الجدران والتي لها مقاومة عالية للماء والأوساخ يتم تطبيقها على

الأسطح لتقليل التصاق الكتابة على الجدران كما أنها موجودة في السوق منذ فترة ولكن لها عيبان رئيسيان: لا يمكن إزالة الطلاء الواقي والمواد التي يتم وضعها عليها محكم الإغلاق وبالتالي تفقدها النفاذية، ولكن لها العديد من المزايا لتطبيقها على الأسطح. يتم تطبيق هذا النوع من الطلاء على العديد من المعالم والمباني التاريخية مثل بوابة براندنبورغ في ألمانيا، من أجل حماية البوابة من أي ضرر خارجي (الشكل 20). الطلاء المضاد للكتابة على الجدران شفاف وببنيته النانوية يمكنه الحفاظ على السطح آمنًا لسنوات.

الشكل 20: بوابة براندنبورغ في ألمانيا المطلي بمادة مضادة للجرافيتي

7. تأثير إثبات المياه، (Water proving effect)

يستخدم أكسيد الزنك النانوي في صناعة المنسوجات ويعطي المنتج خاصية إضافية وهي إثبات الماء، ونتيجة لذلك يمنع التصاق البكتيريا بهذه المنسوجات.

8. كاشف العدوى، (The infection detector)

هناك مواد ذكية لخاصية تغيير الطور، تُستخدم كطبقة تشطيب للأثاث تُظهر مطبوعات حرارية كرومية كدليل على استقبال أجسام ذات درجة حرارة عالية، ونتيجة لذلك فهي تشير إلى وجود العدوى في الفضاء.

9. المضاد للهب، (Fire-Proof)

باستخدام مادة بسمك 3 مم خفيفة وشفافة بين الألواح الزجاجية توفر حماية عالية من الحرائق بأكثر من 120 دقيقة من مقاومة الحريق. يسمى بزجاج الأمان من الحريق.

الشكل 21: زجاج من شركة السويسرية إنتيرفر (Interver Special Glass Ltd)

في مجال العمارة وهندسة العمارة الداخلية، تعتبر الحماية من الحرائق مصدر قلق رئيسي. شركة من سويسرا تسمى (Interver Special Glass Ltd.) أعلنوا عن المنتج أنهم صمموا زجاج أمان من الحرائق بسمك 3 مم فقط من مادة التعبئة الوظيفية بين الألواح الزجاجية لتوفير وقت أكثر من 120 دقيقة مقاومة للحريق ضد التعرض المستمر للهيب بدرجة حرارة تزيد عن 1000 درجة مئوية (الشكل 21).

يتم وضع مادة التعبئة بين الألواح الزجاجية، ويمكن تعديل حجم جزيئات التعبئة وفقًا للحاجة إلى زيادة وقت الحماية والمقاومة، كما أنها تختلف وفقًا لمساحة السطح بالمتر المربع لكل جرام. تتراوح المنتجات القياسية بشكل عام بين 90 و380 م 2 للجرام. المزايا الرئيسية للزجاج هي الوزن الخفيف نسبيا، والشكل النحيف والمظهر البصري المصاحب بالإضافة إلى طول فترة مقاومة الحريق. لا تظهر الطبقة الإضافية أي غشاوة أو خطوط أو كسور وهي غير مرئية عمليا. ولها تأثير جانبي إضافي هو تحسين عزل الضوضاء. يفي المنتج الطموح بمعايير وقواعد ولوائح الاختبار الدولية وهو معتمد للاستخدام في جميع أنحاء العالم.

تطبيقات تكنولوجيا النانو في المباني

Socar Tower	
الوظيفة: مبني إداري	الموقع: باكو أذربيجان
المعماري: Heerim Architects and Planners Co. Ltd	المالك: سوكار
التقنية: تقنية الزجاج النانو	التسليم: 2016

تم استخدام طلاء الزجاج النانوي لأعلى مبنى في القوقاز من شركة (Nanovations Pty Ltd)، لحماية سطح الزجاج من أي عوالق أو ملوثات، ولتوفير سطح سهل التنظيف، تقرر طلاء زجاج ألواح الحائط الساتر بطلاء (Nanovations NG) -1314. ارتفاع المبنى 196م -40 طابقا

إسكان Strucksbarg ، هامبورغ، ألمانيا	
الوظيفة: مبنى سكني	الموقع: هامبورغ، ألمانيا
المعماري: راينر هاينك ويرثArchitekten	المالك: Schumann Immobilien KG ،Martens
التقنية: دهان التنظيف الذاتي (لوتس إفكت)، لوتسان	التسليم: 2007
المساحة: الواجهة 3،685 مترا مربعا	الصانع: Sto

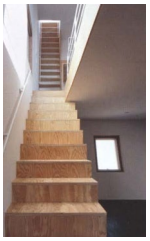
اختار المهندسون المعماريون استخدام طلاء الواجهات ذاتية التنظيف من شركة تصنيع Sto لتجديد عقار سكني في السبعينيات. تم التأكيد على وظيفة التنظيف الذاتي لأن هناك الكثير من الأمطار في هامبورغ . المبنى الذي تم تجديده مغطى بنظام عزل حراري مركب مع طلاء مصبوغ باللون البيج الفاتح والأحمر. تم إعطاء-تجاويف النوافذ ألوانًا بارزة، وأصبحت مداخل المنزل أكثر بروزًا . تضفي الألوان الدافئة في لوحة بين الأصفر والأحمر مظهرًا لطيفًا.

مودرن كلاسيك	
الوظيفة: مكتب صيني	الموقع: شنغهاي، الصين
المعماري: MoHen Design International	المالك: موهين ديزاين إنترناشيونال
التقنية 1: دهان موفر للطاقةSp-II	الصانع: Shanghai Pujin Macromolecule Material Science and Technology Development Ltd. Co. ،Apex Group
التقنية 2: ألواح من الحجر النانوي مع معالجة كارهة للماء	الصانع: شركة Sunny Win Light Ray Nano Technology Co. Ltd.بالتعاون مع معهد بحوث التكنولوجيا الصناعية(ITRI)
منطقة 498: مترا مربعا	التسليم: 2006

يجمع التصميم الداخلي للمكتب الصيني بين عناصر التصميم الكلاسيكية والمعاصرة مثل الثريات المصممة خصيصًا للمكان والمصنوعة من الزجاج الأكريليكي، كما أن ألواح الجدران مصنوعة من مادة

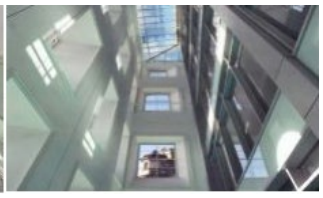
الأكريليك . تخفي الأبواب المنزلقة المصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ معدات العمل اليومية كما تشكل الجدار الخلفي لمساحة المكتب . نظام الألوان هو مزيج من الأسود والأبيض والفولاذ بشكل أساسي مع الخطوط السائدة التي تحكم التصميم بشكل مرح . تتميز معظم العناصر بطابع زخرفي، ويتم تحسينها في وظيفتها بمساعدة تقنية النانو: اختارت (MoHen) طلاء جدران خاص لخصائصها المضادة للبكتيريا وسهلة التنظيف. كما تم تزويد السلالم بطبقة مقاومة للماء ذات تنظيف ذاتي لتحسين جمالها ومتانتها.

Kochi Architect's Studio	
الوظيفة: سكني	الموقع: طوكيو، اليابان
المعماري:Kochi Architect's Studio ، Kazuyasu Kochi	المالك:X
التقنية: لوحة بناء لتنقية الهواء Moiss, air-purifying building board	الصانع: ميتسوبيشي
المساحة: 62 م 2	التسليم: 2004



يحتوي منزل عطلة نهاية الأسبوع على طابقين وشرفة على السطح. على الرغم من وجوده في الريف بالهواء النقي في كل مكان، إلا أن الجو الداخلي أكثر من مثالي نظراً لاستخدامه ألواح البناء التي تنقي الهواء والتي تزيل الملوثات المحمولة جواً. ألواح البناء قابلة للاختراق بالبخار، تمتص الرطوبة وتطلقها للهواء متزامنة مع عملية تنظيف للملوثات والروائح الموجودة بالهواء عن طريق تفتيتها إلى الأجزاء. بالإضافة إلى ذلك، يمكن التخلص من ألواح البناء بأمان بعد انتهاء عمرها الافتراضي.

Waverley Gate - بوابة ويفرلي ، إدنبرة ، إسكتلندا	
الوظيفة: تجاري	الموقع: إدنبرة، إسكتلندا
المعماري: SMC Hugh Martin Architects	المالك:Castlemore ، شركة تطوير
التقنية: SGG Contraflamزجاج السلامة من الحرائق	مصنع: فيتروتك سانت جوبان
المساحة 20،000 متر مربع	التسليم: 2005



(Waverley Gate) عبارة عن مجمع يقع في المنطقة التجارية والتجارية المركزية في إدنبرة ، ويوفر مساحة مكتبية متميزة على أحدث طراز مع جميع المرافق اللازمة .فهي لا توفر فقط أكبر مساحة مكتبية متجاورة في المدينة، ولكنها أيضًا تتميز بتكاليف تشغيل منخفضة بفضل التخطيط الموفر للطاقة . يحتوي سطح المبني على حديقة على السطح، ويوفر الردهة إضاءة نهارية إضافية للديكورات الداخلية، مما يضفي عليها جوا واسعًا ومتجدد الهواء. يتم استخدام زجاج أمان عالي الأداء، معززٍ بتقنية النانو، حول محيط المساحات المكتبية لضمان سلامة العاملين بالداخل.

إسكان "سور فالفينج" لكبار السن، دومات / إمس، سويسرا	
الوظيفة: سكن لكبار السن	الموقع: زيورخ، سويسرا
المعماري: ديتريش شوارتز، Glass XAG	العميل: جث شوارتز
التقنية: زجاج تخزين الحرارة الكامنة، مادة تغيير الطور	مصنع: إكس كريستال -GlassX
مساحة 148 م^2	التسليم:

قام مهندس معماري ذو خبرة، وهو أيضاً عالم، بتطوير زجاج تخزين حراري كامن، والذي تبعه بعد فترة وجيزة بتأسيس شركة ناشئة تحت اسم (Glass XAG) من بين المشاريع التي تم تحقيقها باستخدام هذا الزجاج، مبنى به 20 شقة محمية لذوي الاحتياجات الخاصة في جبال الألب السويسرية. تحتوي جميع الشقق على مساحات كبيرة من الزجاج المواجه للجنوب، واعتماداً على الموسم، يتم تسخين الشقق بشكل نشط أو من اكتساب الطاقة الشمسية السلبية. يحتوي الجزء المركزي من ثلاثة تجاويف لعنصر زجاجي مركب بسمك 8 سم على مادة تعبئة هيدرات الملح التي تعمل كمخزن حراري كامن للحرارة الشمسية وتحمي الغرف من ارتفاع درجة الحرارة. يحتوي مخزن الحرارة الكامنة على قدرة امتصاص حرارية تعادل جداراً خرسانيا بسمك 15 سم. يكون اللوح الزجاجي شفافاً عندما تذوب مادة الملء ويصبح لونها أبيض كالحليب عند التجميد. لذلك ينعكس تغيير حالة المادة على الفور في مظهر المبنى - فالوظيفة والجمال مرتبطان بشكل لا ينفصل. تتيح وظيفة المخزن المؤقت لمخزن الحرارة الكامن تنظيم درجة الحرارة الداخلية، مما يؤدي إلى توفير كبير في الطاقة للتدفئة والتبريد.

الاستنتاجات والتوصيات

1. تعد تقنية النانو واحدة من أكثر مجالات البحث نشاطًا والتي حققت نجاحًا كبيرًا وبشكل تدريجي في العقدين الماضيين، فهي تعتبر الحل الأمثل للمشاكل البيئية، خاصة تلك المتعلقة بمشاكل البناء وجودة وكفاءة الفراغ الداخلي.
2. يتمثل الهدف الرئيسي لتقنية النانو في استخدام الحد الأدنى من المواد الخام والطاقة وبتكلفة منخفضة والحصول على مزيد من الوظائف والكفاءة في مساحة أقل: ومن وجهة نظر بيئية، يعتبر النانو عاملاً رابحًا.
3. تضيف تقنية النانو تغييرات في خصائص مواد البناء التي يمكن أن تحسن مواصفاتها لتكون أخف وزنا، ومركبات هيكلية أقوى، وطلاءات صيانة منخفضة، ومواد تدعيم أفضل، وعزل حراري، مما يزيد من عمر المباني ويجعل المبنى أكثر استدامة وصديقة للبيئة ومحمية من التلف لفترات طويلة.
4. تعتبر تطبيقات تقنية النانو عملية إحياء وترقية للمبنى لحمايته من عوامل التلف والتمزق والبكتيريا والأضرار المختلفة التي تؤثر على أداء المبنى سواء في الداخل أو الخارج ويتم تقليل تكلفة الصيانة بسبب خصائص هذه المواد
5. يظهر دور تكنولوجيا النانو والمواد النانوية بشكل كبير في جميع القطاعات وخاصة في تخصص الهندسة المعمارية والتصميم، فمن خلال تطوير المواد المبتكرة وإضفاء المزيد من الوظائف على المباني، أصبح من الممكن الآن تصميم المباني التي تختلف بوضوح عن تلك الموجودة في العقود السابقة.
6. ستتمكن قريبًا مستشعرات النانو الصغيرة المدمجة في مواد البناء من تتبع الحركة واكتشاف التغيرات في درجات الحرارة والرطوبة والسموم وغيرها.
7. يجب على جميع المهندسين المعماريين والمصممين والمخترعين في مجال البناء والعمارة أن يجدوا ويستكشفوا المزيد من الأفكار الجديدة وتطبيقات مواد النانو الجديدة من أجل رفع وتحسين كفاءة المباني الداخلية، كما من المستحسن للمهندسين المعماريين ومصممي العمارة الداخلية أن يكونوا على دراية بفوائد استخدام هذه المواد وتأثيرها على صحة الإنسان والبيئة المحيطة لتطبيقها.

Sources & References قائمة المصادر والمراجع:

1. Ajit, Behera, (2022): *Advanced Materials*, An Introduction to Modern Materials Science. ISBN 978-3-030-80358-2 ISBN 978-3-030-80359-9 (Ebook) , Behera2022_Book_Advancedmaterials.Pdf.
2. J, Aravind Kumar, et al., *Carbon Nanotubes: Synthesis, Properties, and Application*. February 27th, 2020 Reviewed: May 24th, 2020 Published: July 31st, 2020 DOI: 10.5772/Intechopen.92995
3. Atwa, M., Al-Kattan, A., & Elwan, A. (2015). *Towards Nano Architecture: Nanomaterial in Architecture - A Review of Functions and Applications*. International Journal of Recent Scientific Research6 (4), 3551-3564. Retrieved From Https://Www.Recentscientific.Com/Sites/Default/Files/22740.Pdf
4. Axel. Birkhäuser (2007), *Smart Materials in Architecture, Interior Architecture, and Design*. Ritter, Berlin, ISBN.13.978.3.7643.7327.6
5. Bankinter (2006) *Nanotechnology the Industrial Revolution of the 21st Century*. In Future Trends Forum Public: Foundation of Innovation Bankinter's (Fundación De La Innovación Bankinter), Madrid, Spain. Later Published In 05 Nanotechnology the Industrial Revolution of the 21st Century, Date Retrieved 01.05.2015, Address: Http://Www.Abc.Net.Au/Tv/Newinventors/Txt/S1343223.Htm.
6. Birkhäuser. (2008). Self-cleaning: Lotus-Effect. From the book Nano Materials. https://doi.org/10.1515/9783764383213.58
7. Clare Ulrich (2006) . *Nano-Textiles Are Engineering a Safer World*, Human Ecology. Vol. 34, No. 2, Cornell University, November.
8. Concrete Cloth: Unique, Unexpected, And Fascinating Applications (Inventorspot.Com)
9. D. Michelle Addington, Daniel L. Schodek, First Published (2005). *Smart Materials and New Technologies for the Architecture and Design Professions*, Harvard University. ISBN 0 7506 62255
10. Elvin G (2006) *NanoBioBuilding: nanotechnology*, biotechnology, and the future of the building. In Proceedings of 2nd International Conference on Nanotechnology in Construction, Bilbao, Spain.
11. F, Fouad. (2012). "*Nanoarchitecture & Sustainability*", Master of Science, Faculty of Engineering, University of Alexandria, Egypt
12. Fokaides, P., Kylili, A., & Kalogirou, S. (2015). *Phase Change Materials (Pcms) Integrated into Transparent Building Elements*: A Review. Materials for Renewable and Sustainable Energy. 4(2). DOI: 10.1007/S40243- 015-0047-8.
13. Hanafi, A. (2012, March). *Nanotechnology and Sustainable Building Design and Construction: With Focus on Passive Building Systems*. Paper Presented at Fourth International Conference On-Nano-Technology in Construction: Nanotechnology For Green And Sustainable Construction, Cairo, Egypt.
14. Kancane, L., Vanaga, R., & Blumberga, A. (2016). *Modeling of Building Envelope's Thermal Properties by Applying Phase Change Materials*. Energy Procedia. 95, 175-180. DOI: 10.1016/J.Egypro.2016.09.041
15. Konarzewska, B (2017). *Smart Materials in Architecture: Useful Tools with Practical Applications or Fascinating Inventions for Experimental Design*? {IOP} Conference Series: Materials Science and Engineering, 245, 52098. Https://Doi.Org/10.1088/1757-899x/245/5/052098.
16. Leydecker, Sylvia. (2008). *Nano Materials: In Architecture, Interior Architecture, and Design*. Berlin, Germany: Springer Science & Business Media.
17. Luis Lascurain.December 13, 2018.Aerogel. *Submitted as coursework for PH240*, Stanford University, Fall 2018 Aerogel. (Stanford.Edu). http://large.stanford.edu/courses/2018/ph240/lascurain2
18. Michael F. Ashby, Paulo J. Ferreira, Daniel L. Schodek. (2009) *Nanomaterials, Nanotechnologies, and Design: An Introduction for Engineers and Architects*. Elsevier Ltd.
19. Nano vations Wins Nanotechnology Supply Contract for Tallest Building in Baku (prweb.com)

20. Nanotechnology and New Materials for Architecture. Http://Sensingarchitecture.Com/523/Nanotechnology-And- New-Materials-For-Architecture/.
21. POLFLAM Fire-Resistant Glass – Expanding Their Product Size Offerings | Glassonweb.Com
22. Retrieved 25 July 2019. Applications of Carbon Nanotubes. From Https://Www.Mknano.Com/Carbon-Nanotubes.
23. Shiha, E. (2014). *Methodology Of Utilizing Buildings Roofs To Achieve Urban Sustainability In Crowded Neighborhoods- Feasibility Of Using Nanotechnology As An Advanced Approach For Treatment* (Compiled And Presented Ph.D. Thesis). El Mataria Faculty of Engineering, Helwan University, Cairo, Egypt.
24. Sun B. (2015, September 14) *Smart Materials and Structures:* Lecture at Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETH), Zurich. -Published By Cape Peninsula University Of Technology, Cape Town, And South Africa.
25. Suspended Particle Devices - How Smart Windows Work. (2019). Retrieved 25 July 2019, From Https://Hom E. Howstuffworks.Com/Home-Improvement/Construction/Green/Smart-Window2.Htm
26. Vacuum Insulation Panel (VIP) Market.(2022) By Manufacturers, Regions, Type, And Application, Forecast To 2028 – Designer Women
27. Vigneshkumar, C. (2014). *Study on Nanomaterials and Application of Nanotechnology and Its Impacts in Construction*. Discovery, 23, 8-12.
28. Yujie Keyin Yin Qiuting Zhang Qihua Xiong Dongyuan Zhaoyi Long: March 20, 2019, Adaptive Thermo Chromic Windows from Active Plasmonic Elastomers, Article. [a] Elsevier Inc. Https://Doi.Org/10.1016/J.Joule.2018.12.024
29. 13th International Conference on Civil and Architecture Engineering (ICCAE-13): Paths Towards Energy Efficient Buildings Using Nano Architecture: Nanomaterialhttp://Www.Gitam.Edu/Eresource/Nano/Nanotechnology/Nano_Materials.Htm
30. NanoRevolution.http://www.architectmagazine.com/cur tain-walls/the-nano-revolution.aspx.