

تأثير استخدام تقنية النانو على المباني المعاصرة

د. رولا نتيفة*

د. أريانه زوزانه أحمد**

ريماز السويحة***

تاريخ الإيداع 2020/ 6/16. قُبِلَ للنشر في 2020/10/ 15

□ ملخّص □

توجّه الاهتمام العالمي مؤخراً إلى العديد من التقنيات الحديثة المبتكرة، وتأتي في طليعتها تقنية النانو المتطورة في مختلف مجالات العلوم، وقد حظيت باهتمام المعماريين في العصر الحالي نظراً لما تقدمه من تطبيقات علمية واعدة في المستقبل قد تغير وجه الهندسة المعمارية.

تُناقش هذه الدراسة البحثية مدى أهمية استخدام المواد النانوية في المباني المعمارية المعاصرة من خلال التعريف بمفهوم تقنية النانو باعتبارها من أهم التقنيات الحديثة الهادفة لرفع كفاءة البيئة المعمارية المشيدة، وتهدف إلى التركيز على ما تقدّمه هذه التقنية من خلال إمكانيات موادها.

تتضمن هذه الدراسة تعريف تقنية النانو وتحليل أمثلة عالمية مستخدمة لتقنية النانو من خلال دراسة استخدام المواد النانوية والأجهزة النانوية فيها وأهمية استخدام هذه المواد في المباني المعاصرة، ومن النتائج البحثية تم التوصل إلى أنّ استخدام المواد النانوية كتقنية جديدة في مجال البناء والتشييد يُسهم في تصميم المباني المعاصرة كمباني ذات خصائص جديدة من خلال خواص المواد النانوية المتعددة، وإنّ أكثر المواد النانوية استخداماً في المباني العامة المعاصرة هي الطلاءات النانوية والزجاج، وأكثر الأجهزة النانوية استخداماً في المباني العامة المعاصرة كانت لتتنقية الهواء وتخزين الطاقة واستخدام الطاقة الشمسية.

الكلمات المفتاحية: المواد النانوية - المباني المعمارية المعاصرة - تقنية النانو.

* مدرس ، قسم التصميم المعماري، كلية الهندسة المعمارية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

** مدرس ، قسم نظريات وتاريخ العمارة، كلية الهندسة المعمارية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

*** طالبة ماجستير، قسم التصميم المعماري، كلية الهندسة المعمارية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

The Impact of Using Nanotechnology on Contemporary Buildings

Dr. Roula Ntefeh*
Dr. Ariane Susanne Ahmad**
Remaz Alsweha***

(Received 16/6/2020. Accepted 15/ 10/2020)

□ ABSTRACT □

International attention has recently drawn attention to many innovative modern technologies, with advanced nanotechnology at the forefront in various fields of science, and has received the attention of architects in the present era due to its promising scientific applications in the future that may change the face of architecture.

The research study discusses the importance of using nanomaterials in contemporary architectural buildings by introducing the concept of nanotechnology as one of the most important modern technologies that aims to raise the efficiency of the built architectural environment, and aims to focus on what this technology offers through capabilities. Of his materials.

The study includes the definition of nanotechnology and analysis of global examples used for nanotechnology by studying the use of nanomaterials and nanotechnology devices in them and the importance of using these materials in contemporary buildings, and from the research results it was concluded that the use of nanomaterials as a new technology in the field of building and construction contributes to the design of contemporary buildings As buildings with new characteristics through the properties of multiple nanomaterials, and the most used nanomaterials in contemporary public buildings are nano particales and glass, and the most commonly used nanotechnology devices in contemporary public buildings for air purification, energy storage and the use of solar energy.

Keywords: Nanomaterials - Contemporary architectural buildings -Nanotechnology.

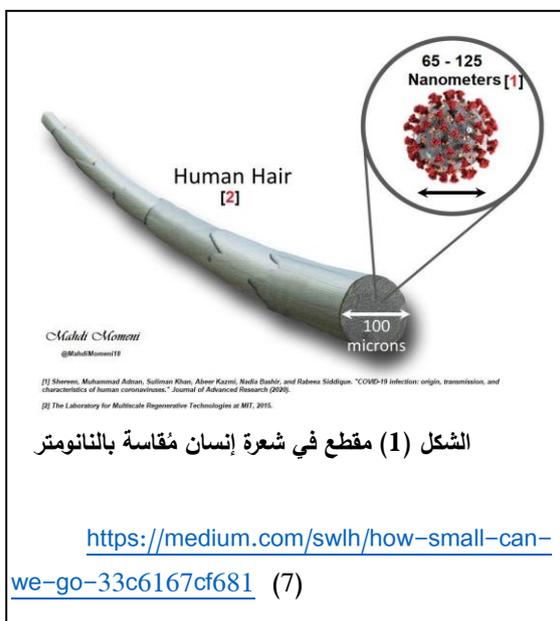
* Teacher, Department of Architectural Design, Faculty of Architecture, Tishreen University, Syria.

** Teacher, Department of History and Theories of Architecture, Faculty of Architecture, Tishreen University, Syria.

*** Postgraduate Student, Department of Architectural Design, Faculty of Architecture, Tishreen University, Syria.

مقدمة :

إنّ العصر الذي نعيشه هو عصر التقدم العلمي والتكنولوجي، من خلال ظهور تقنيات أكثر تطوراً خلال وقت زمني قصير، وهذه التتابعات الحديثة في سلسلة التطور التقني هي من أبرز سمات هذا القرن ونهايات القرن الماضي و كثيراً ما نسمع عن تكنولوجيا المايكرو والنانو، وكلّ هذه التعابير يراد بها الدقة المتناهية الصغر التي وصلت لها التكنولوجيا في مختلف المجالات حيث أصبحت تكنولوجيا النانو في طليعة المجالات الأكثر أهمية في الفيزياء والكيمياء والأحياء والهندسة ومجالات متنوعة أخرى، وأعطت أملاً كبيراً لثورات علمية في المستقبل القريب لتغيير وجه العالم نحو مستقبل أفضل ومستدام من خلال تطبيقات علمية متعددة (1).



يمكن تعريف النانو (Nano) لغةً حسب الموسوعة الحرة: هو عبارة عن بادئة (جزء نبدأ به الكلمة) مشتقة من الكلمة الإغريقية "nanos" والتي تعني قزم، ويستخدم النانو للتعبير عن جزء من مليار من الشيء؛ فمثلاً نقول نانومتر، أو نانو ثانية، وهذا يدل على جزء من مليار جزء من المتر، وجزء من مليار جزء من الثانية، كما هو موضح بالشكل (1).

فالنانو هو أدق وحدة قياس مترية معروفة حتى الآن، ويبلغ طوله واحد من بليون من المتر أي ما يعادل عشرة أضعاف وحدة القياس الذري المعروفة بالأنغستروم، ويعتبر عالم النانو الحد الفاصل بين عالم الذرات والجزيئات وبين عالم الماكرو.

تكنولوجيا النانو (Nanotechnology):

هي العلم الذي يدرس تطبيقات الأشياء الصغيرة جداً، والتي تكون أبعادها تتراوح بين 1 إلى 100 نانومتر والتي يُمكن أن تُستخدم في مجالات مختلفة و واسعة من العلوم والهندسة. تتعامل تقنية النانو مع قياسات بين 1 إلى 100 نانومتر أي تتعامل مع تجمعات ذرية تتراوح بين خمس ذرات إلى ألف ذرة. وهي أبعاد أقل كثيراً من أبعاد البكتيريا والخلية الحية. حتى الآن لا تختص هذه التقنية بعلم الأحياء بل تهتم بخواص المواد، وتتنوع مجالاتها بشكل واسع من أشباه الموصلات إلى طرق حديثة تماماً معتمدة على التجميع الذاتي الجزيئي، هذا التحديد بالقياس يقابله اتساع في طبيعة المواد المستخدمة (1).

¹ أصل كلمة تقنية النانو مُشتق من الكلمة الإغريقية "نانوس"، تعني هنا تقنية المواد المتناهية في الصغر أو التكنولوجيا المجهرية الدقيقة أو تكنولوجيا المنمنمات والعلوم النانوية والتقنية النانوية.

إشكالية البحث:

تكمن الإشكالية في الإشارة إلى أن استخدام المواد التقليدية لا يشكل إضافة جديدة وتحسين في المباني المعمارية المعاصرة في حين أن استخدام التقنيات الحديثة وموادها من شأنها أن تحسن أداء المباني المعاصرة من خلال استخدام خواص موادها الجديدة، وبالتالي نحدد الإشكالية في السؤال البحثي التالي :

ما مدى تأثير استخدام التقنيات الحديثة كتقنية النانو في المباني المعمارية المعاصرة ؟

هدف البحث:

يهدف البحث إلى التركيز على ما يمكن أن تقدمه تكنولوجيا النانو من إمكانيات جديدة من خلال موادها الإنشائية وغير الإنشائية والمكملة وأجهزتها، وتأثيرها على تصميم المباني المعاصرة.

أهمية البحث:

يعد البحث محاولة لإظهار تميز التشكيلات المعمارية المعاصرة وفق المبادئ الأساسية لها وإمكانية تأثير تكنولوجيا النانو على تصميم المباني المعاصرة.

منهجية البحث:

تمثلت منهجية البحث في بناء إطار نظري لمفاهيم تقنية النانو والمواد النانوية وأشكالها بالإضافة لأجهزة النانو، وإطار تحليلي لاستخدام المواد النانوية في المباني المعمارية المعاصرة وتطبيقاتها في العمارة بهدف استخلاص أكثر المواد النانوية استخداماً في المباني المعاصرة، وتم تطبيق المناهج العلمية التالية:

أولاً: المنهج الوصفي: تم من خلاله دراسة وشرح تقنية النانو والمواد النانوية وأشكالها المختلفة.

ثانياً: المنهج التحليلي: تم استخدام هذا المنهج في تحليل الأمثلة المستخدمة لتقنية النانو وتحليل أكثرها استخداماً وتأثيراً في المباني المعاصرة.

فرضية البحث:

إن استخدام المواد النانوية في تصميم المباني المعمارية المعاصرة يؤدي إلى تحقيق مباني حديثة ومتميزة بأغلفتها الخارجية من خلال تأثير هذه المواد على تشكيل غلاف للمبنى.

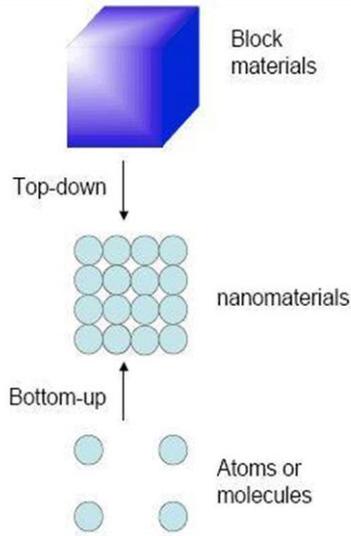
1-1-1 عمارة النانو: المواد النانوية : مواد النانو:**1-1-1 المواد النانوية (Nanomaterials):**

علم المواد النانوية بالإنجليزية هو حقل مهم من حقول تكنولوجيا النانو القائم على مدخل علم المواد المتعلقة بالتقانة النانوية حيث يهتم هذا الحقل بدراسة المواد والسمات الشكلية على مستوى نانومتري المورفولوجيا²، وخصوصاً تلك التي لها سمات خاصة نابعة من أبعادها النانو مترية الحجم (2)، ويعرف عادة "تطاق النانو" بأنه أصغر من (واحد من عشرة) من الميكرومتر في بعد واحد على الأقل.

² تتكون كلمة المورفولوجيا من كلمة (Morphe) التي تدل على البنية أو الشكل أو الصيغة أو الصورة أو الهيئة أو الحالة؛

من خصائص التقانة النانوية ارتفاع نسبة مساحة السطح إلى الكمية ضمن خواص من المواد النانوية والتي بدورها تؤدي لحدوث تأثيرات كمومية ميكانيكية محتملة جديدة، ومنها على سبيل المثال تأثير الحجم الكمومي³ حيث تتغير الخصائص الإلكترونية للمواد الصلبة ذات التناقص الهائل في حجم الجسيمات(3).

1-1-2- التعريف بمواد النانو :



شكل (2) طرق تصنيع المواد النانوية

يوجد هناك طريقتين لإنتاج المواد النانوية الأولى تبدأ من Block (وهي المواد في حالتها الطبيعية عندما تكون صلبة) بعد ذلك يتم تكسيها أو تصغيرها حتى تصل إلى قطع صغيرة جداً لدرجة النانو باستخدام الطرق الميكانيكية أو الكيميائية ، وهذه الطريقة تسمى (Top-up) من الأعلى للأسفل، أما الطريقة الثانية لإنتاج المواد النانوية فتبدأ من الذرات أو الجزيئات ليتم فصلها عن بعض ثم تجميعها باستخدام التفاعلات الكيميائية أو باستخدام طريقة تبادل المواد وهذه الطريقة تسمى (Bottom-up) من الأسفل إلى الأعلى والشكل (2) يوضح آلية طريقتي التصنيع، والشكل (3) يحوي نقاط إنتاج المواد النانوية كما يلي (4):

<https://www.facebook.com/321058704706785/p/osts/583743498438303/>



شكل (3)

يعتمد التعامل مع الأسطح والمواد في التصميم على نوعين من المواد:

1- المواد الصريحة: تعني أن ما تراه هو ما تحصل عليه، وهذا الاتجاه محبب في التعامل مع المواد عالية الجودة كالأحجار والأخشاب الصلبة .

وكلمة (Logie/ Logos) التي تعني علم أو دراسة أو لغة .

³ (تأثير الحجم الكمي - تقييد الكم) بالإنجليزية (Quantum confinement): يعني بصورة مبسطة حسب الإلكترون داخل صندوق أي إبقاءه ضمن حجم محدود وحصره بداخله.

2- المواد الصناعية: هي المواد التي تشبه بشكلها الخارجي فقط مواد طبيعية، وتستهلك بكثرة بسبب قلة تكلفتها، حيث تتغير فيها خواص ذرات المواد مشكلة أسطح نافذة أو معتمة أو شفافة كل حسب وظيفته والحاجة إليه، كما ويمكن للمواد والأسطح أن تتغير لتؤدي وظيفة أخرى غير المعتادة (2)، بظهور تقنية النانو أصبحت هناك إمكانيات جديدة للمواد من شأنها أن تحسن عملية التصميم للمباني المعاصرة الشكل رقم (4).

1-1-3- المواد النانوية المستخدمة في تصميم المباني:

إن لتقنية النانو هدفين: الهدف الأول إنتاج مواد نانوية ومنتجات دونما الإضرار بالبيئة أو صحة الإنسان، أما الثاني فهو إنتاج منتجات نانوية التي من شأنها تقديم حلول للمشاكل البيئية. ذلك باستخدام المبادئ القائمة للكيمياء الخضراء والهندسة الخضراء لعمل المواد النانوية والمنتجات النانوية بدون مكونات سامة تحت درجات حرارة منخفضة وباستخدام طاقة أقل ومدخلات متجددة قدر باعتبار دورة الحياة في جميع التصاميم والمراحل الهندسية.

- مواد العزل (Insulation)
- التغطيات (Coatings)
- المواد اللاصقة (Adhesive)، الشكل رقم (5) يوضح أنواع المواد النانوية.

أ. المواد العازلة (Insulation):

المواد النانوية العازلة (Nanomaterials-insulation):

تتطور صناعة وإنتاج المواد العازلة المعالجة بتكنولوجيا النانو حيث إن استعمالها يشكل عاملاً أساسياً في توفير الطاقة وتخفيف تأثيرات ثاني أكسيد الكربون (3)، حيث يمكن استعمال دهانات النانو على الأسطح القائمة بالفعل لزيادة فاعليتها في العزل حيث يتم إضافة مادة عازلة نانوية مضادة للماء كما في الشكل رقم (6)، دهانات النانو أيضا يمكن استعمالها بسهولة على جدران المباني الصلبه بسهولة مقارنة بمواد أخرى (5)، كألياف السليلوز Cellulose Fiber أو الألياف الزجاجية fiber Glass bats حيث تعتبر مكلفة وصعبة التركيب، في الشكل رقم (7) توضيح لطلاءات النانو في الفراغات الداخلية.

ب. التغطيات بالطلاء (Coating) :

يمكن استعمال تطبيقات تقنيات النانو باستخدام إحدى الوسائل التالية: ترسيب الأبخرة الكيميائية والرذاذ وطلاء البلازما وذلك لتوفير طبقة على أسطح المادة الأساسية، كما أن هناك تطبيقات المختلفة في كيفية استعمال تقنيات النانو لتغطية الأسطح وهي: التنظيف الذاتي - مقاومة الخدش - مضاد للجليد والضباب - مقاومة التآكل - عازل للمياه (6).

ج. أسطح التنظيف الذاتي (Self Cleaning):

تأثير نبات اللوتس: إن استخدام تقنية تأثير نبات اللوتس تؤدي إلى تفتت الأتربة وتحملها بعيداً عن الأسطح حيث تعمل بوجود المياه وتقلل من تكلفة الصيانة، هذه المادة واحدة من أفضل ما يمكن معرفته عن تصميم الأسطح بتقنية مواد النانو، كما هو موضح بالشكل (8).

تقنية التحفيز الضوئي (Photocatalysis):

تقنية التحفيز الضوئي عبارة عن تفاعل يستعمل فيه الضوء لتنشيط مادة تعمل على إنتاج مؤكسدات قوية، حيث تنتقل الجزيئات من الحالة الأساسية إلى الحالة المثارة عند امتصاص الفوتونات الضوئية (7)، وتسمى هذه المادة بالمحفز الضوئي (Photocatalyseur) حيث يستمر في الأكسدة ويعمل على كسر الروابط في المواد العضوية السامة ويحولها إلى مواد بسيطة وهي ثاني أكسيد الكربون والماء وتسمى هذه العملية بالمعدنة (Méniralisation)، كما هو موضح بالشكل (9)، ويمكن تلخيص عملية التحفيز الضوئي فيما يلي:

1. إثارة المحفز.
2. نقل جزيئات الملوث إلى سطح الحفاز الضوئي.
3. تفاعلات التحمل الضوئي ويوجد نوعين من التحفيز الضوئي: تحفيز ضوئي متجانس يعمل من خلال أشعة الشمس مباشرة وتحفيز ضوئي غير متجانس يعمل عن طريق إثارة الضوء الصناعي، والشكل (9) يوضح عملية التحفيز الضوئي (8).

Types of nanomaterials

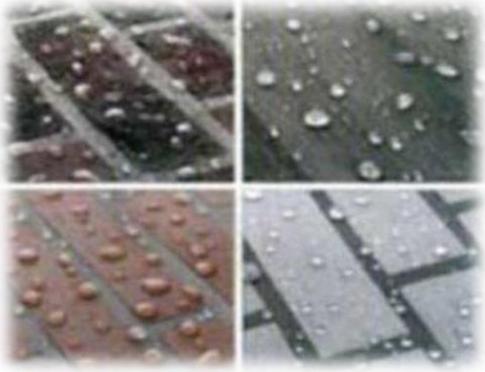
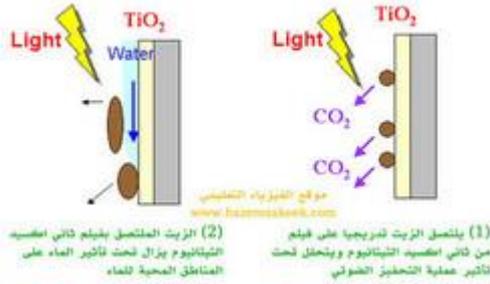
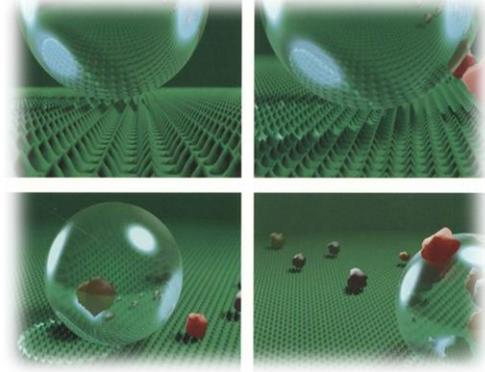
- Carbon based
 - Fullerene
 - Carbon nanotubes (CNTs)
 - Graphene
 - Carbon dots (CDots)
 - Nano-diamond (NDs)
- Metal based
 - Gold
 - Copper
 - Fluorinated
 - Platinum
- Dendrimers
 - Carbon
 - Clay
 - Fluorinated
 - Platinum
- Composites
 - Carbon
 - Clay
 - Fluorinated
 - Platinum

الشكل رقم (4) المواد الإنشائية المكونة من تقنية النانو

<https://particleandfibretoxicology.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12989-019-0299-z>

الشكل رقم (5) أنواع المواد واستخدامها في التصميم

<https://pt.slideshare.net/ankitajagtap37/applications-of-nanomaterials-in-food-and-cosmetic-45506842/8?smtNoRedir=1>

 <p>شكل (7) طلاء الفراغات الداخلية باستخدام تكنولوجيا النانو</p> <p>https://docplayer.net/2984129-Www-mastteam-it-enrico-ercolani-department-of-industrial-engineering-via-del-politecnico-1-00133-rome-italy-enrico-ercolani-uniroma2.html</p>	 <p>شكل (6) المواد النانوية العازلة</p> <p>http://saboksazetaha.com/tag/%D9%BE%D9%88%D8%B4%D8%B4-%D8%B9%D8%A7%DB%8C%D9%82/</p>
 <p>شكل (9) انتقال أشعة الشمس وتحويلها بتقنية التحفيز الضوئي</p> <p>https://medium.com/taksabadsavadkoo/nano-6-264a8aa4f29</p>	 <p>شكل (8) خاصية اللوتس للتنظيف الذاتي</p> <p>https://docplayer.net/2984129-Www-mastteam-it-enrico-ercolani-department-of-industrial-engineering-via-del-politecnico-1-00133-rome-italy-enrico-ercolani-uniroma2.html</p>

1-1-4- أشكال المواد النانوية :

عند تصنيع المواد بحجم النانو فإن التركيب الفيزيائي والتركيب الكيميائي للمواد الخام المستخدمة في التصنيع تلعب دوراً مهماً في خصائص المادة النانوية الناتجة، وهذا خلافاً لما يحدث عند تصنيع المواد العادية، وتتربك المواد عادة من مجموعة من الحبيبات والتي تحتوي على عدد من الذرات وقد تكون هذه الحبيبات مرئية أو غير مرئية للعين المجردة بناءً على حجمها، ويمكن ملاحظتها بواسطة الميكروسكوب⁴، ففي هذه المواد يتفاوت حجم الحبيبات من مئات الميكرومترات إلى سنتيمترات، أما في المواد النانوية فإن حجم الحبيبات يكون في حدود 1-100 نانومتر شكل (10).

تصنيف المواد النانوية من ناحية الشكل والأبعاد:

- مواد صفرية الأبعاد (D0) Zero Dimensional
- مواد أحادية الأبعاد (D1) One Dimensional
- مواد ثنائية الأبعاد (D2) Two Dimensional

• مواد ثلاثية الأبعاد (D3) Three Dimensional وملخص هذا التصنيف أن هناك ثلاثة

أبعاد في الفراغ x,y,z (3) يُحسب عدد الأبعاد التي تقاس بالنانو للحصول على التصنيف من خلال كل مجال لكل نوع من تصنيفات المواد النانوية (5)، شكل (11).

إن المواد النانوية لها عدة أشكال وذلك بناءً على الاستخدام المختلف لكل من هذه المواد واستخدامها حسب أشكالها في الأمثلة المحللة لاحقاً، ومن أهم الأشكال النانوية ما يلي:

1- النقاط الكمية Quantum dots

هي عبارة عن تركيب نانوي شبه موصل ثلاثي الأبعاد يتراوح أبعاده بين 2 إلى 10 نانومتر، حيث يتم تجميعها والعمل على خصائصها لاستخدامها في مواد البناء الداخلة في تشكيل المباني المعمارية (6)، شكل (12).

2- الفولورين Fullerene :

هو عبارة عن جزيء مكون من 60 ذرة من ذرات الكربون ويرمز له بالرمز C₆₀، وقد اكتشف عام 1985م. إن جزيء الفولورين كروي المظهر ويشبه تماماً كرة القدم التي تحتوي على 12 شكلاً خماسياً و20 شكلاً سداسياً، شكل (13) يوضح جزيء الفولورين.

⁴ Laminated glass provides a strong filter against unwanted solar radiation. UV rays can fade the paint on your walls and the fabric of your furnishings. Fab Glass and Mirror offers laminated glass resists more than 99% of UV ray
https://www.cpni.gov.uk/system/files/documents/c3/4b/Intro_Glass_Interlayers_060619.pdf

3- الجسيمات النانوية Nanoparticles:

يمكن تعريف الجسيمات النانوية على أنها عبارة عن تجمع ذري أو جزيئي ميكروسكوبي يتراوح عددها من بضعة ذرات (جزيء) إلى مليون ذرة، مرتبطة ببعضها بشكل كروي تقريباً بنصف قطر أقل من 100 نانومتر، فجسيم نصف قطره نانومتر واحد سوف يحتوي على 25 ذرة أغلبها على سطح الجسيم شكل (14)، وهذا يختلف عن الجزيء الذي قد يتضمن عدداً من الذرات.

5 - الأنابيب النانوية Nanotubes:

تصنع الأنابيب النانوية أحياناً من مواد غير عضوية مثل أكاسيد الفلزات (أكسيد الفاناديوم وأكسيد المنجنيز)، نيتريد البورون والموليبدينوم، وهي شبيهة من ناحية تركيبها بأنابيب الكربون النانوية، في هذه الحالة بالأنابيب النانوية وحيدة الجدار (single wall nanotube) SWNT ، أو ثنائي أو أكثر وتسمى الأنابيب متعددة الجدار (multi wall nanotube) MWNT ، ويتراوح قطر الأنابيب بين أقل من نانومتر واحد إلى 100 نانومتر (7)، شكل (15).

6- الألياف النانوية Nanofibres:

لاقت الألياف النانوية اهتماماً كبيراً مؤخراً لتطبيقاتها الصناعية، وقد أكتشف العديد من أشكالها كالألياف السداسية والحلزونية والألياف الشبيهة بحبة القمح (corn-shaped)، إن الجزء الجانبي للليف النانوي اللويحي أو الأنبوبي له شكل سداسي، مثلاً، وليس أسطوانياً، من أشهر الألياف النانوية تلك المصنوعة من ذرات البوليمرات (8) كما في الشكل (16).

7- الأسلاك النانوية Nanowires:

الأسلاك النانوية هي أسلاك بقطر قد يقل عن نانومتر واحد وبأطوال مختلفة، أي بنسبة طول إلى عرض تزيد عن 1000 مرة، لذا فهي تُلحق بالمواد ذات البعد الواحد، وكما هو متوقع، فهي تتفوق على الأسلاك التقليدية (ثلاثية الأبعاد) كما موضح بالشكل (17)، وذلك بسبب أن الإلكترونات تكون محصورة كميّاً باتجاه جانبي واحد مما يجعلها تحتل مستويات طاقة محددة تختلف عن تلك المستويات العريضة الموجودة في المادة الحجمية، وهنا تتضح أهمية الذرات السطحية مقارنة بالداخلية لظهور ما يُعرف بالتأثير الحافي (9).

8 - المركبات النانوية Nanocomposites:

المركبات النانوية هي عبارة عن مواد يضاف إليها جسيمات نانوية خلال تصنيع تلك المواد، ونتيجة لذلك فإن المادة النانوية الناتجة عن التركيب تُبدي تحسناً كبيراً في خصائصها، فعلى سبيل المثال، يؤدي إضافة أنابيب الكربون النانوية إلى تغيير خصائص النقل الحراري للمادة (10).

1-1-5- خواص المواد النانوية: إن خواص المواد تتغير بشكل ملحوظ جداً حسب مكوناتها

النانوية فالمركبات المكونة من حبيبات في حجم النانو سواء كانت سراميكيات أو معادن تكون أقوى كثيراً من مثيلاتها في الحجم الأكبر، فعلى سبيل حوالى (10 ن م) أكثر صلابة ب 7 مرات من المعدن (grain size)

المثال المعدن بحجم حبيبات العادي بحجم حبيبات يقاس بمئات من النانو متر، وهذا التغيير الكبير بخواص المواد في الحيز النانوي سببه الآتي:

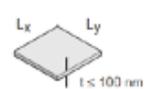
- 1- الزيادة النسبية في المساحة: المواد النانوية لها مساحة سطح أكبر عندما تقارن بنفس الكتلة من المادة المنتجة في الحيز الأكبر، وهذا يجعل المواد أكثر نشاطاً كيميائياً ويؤثر في قوتها أو خواصها الكهربائية، وفي بعض الأحيان المواد الخاملة في الحيز الكبير قد تكون نشطة عندما تنتج في الحيز النانوي.
- 2- التأثير الكمي: التأثيرات الكمية تبدأ في التحكم في تصرفات المادة في حيز النانو وخاصة في النهاية الصغرى Lower end فتؤثر في خواص المواد الكهربائية والمغناطيسية والبصرية.

جميع الأبعاد تقع في نطاق النانو



الجزئيات النانوية

بعدين (Lx, Ly) أكبر من 100 نانومتر



الطبقات النانوية

بعد واحد فقط (L) أكبر من 100 نانومتر

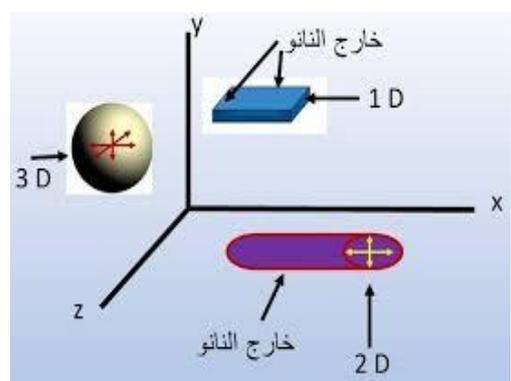


الأنابيب والخيوط النانوية

شكل (11) تصنيف المواد النانوية من حيث الأبعاد المترية

<https://www.arsco.org/article-detail-146-5-0>

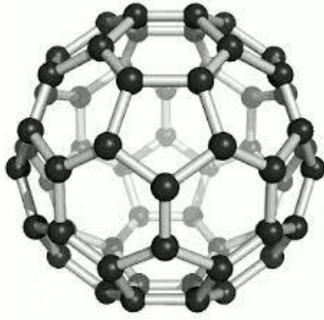
(16)



شكل (10) تصنيف المواد النانوية من حيث الشكل والأبعاد

<https://ara.kyhistotechs.com/using-nanoscale-mesoscale-anisotropy-engineer-optical-response-three-dimensional-plasmonic-metamaterials-37299216>

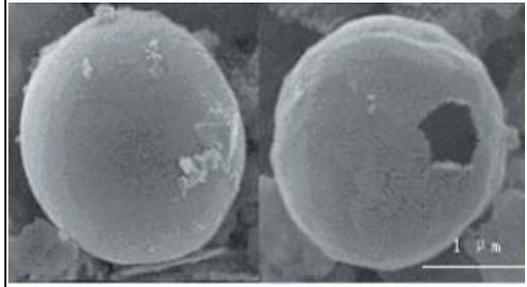
(15)



الفولورين

شكل (13) جزيء

<https://mechanosite.wordpress.com/2016/01/28/element-carbon/>
(18)



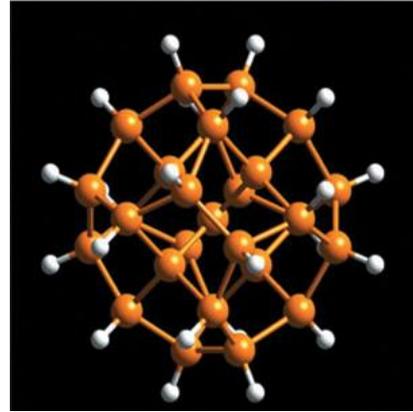
شكل (12) الكرات النانوية

<https://nano.ksu.edu.sa/ar/nanotech-shapes>
(17)



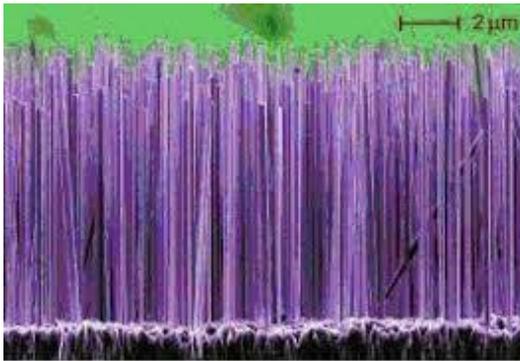
شكل (15) الأنابيب النانوية

<https://nano.ksu.edu.sa/ar/nanotech-shapes>
(20)



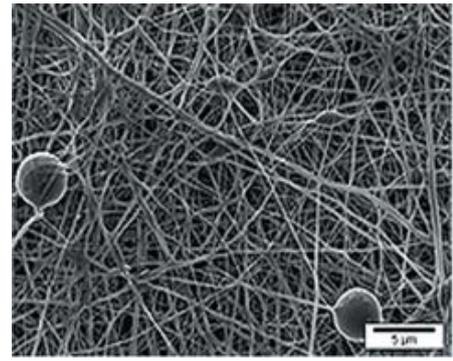
شكل (14) جسيم نانوي

<https://staffsites.sohag-univ.edu.eg/stuff/advs/show/5256?p=advs>
(19)



شكل (17) أسلاك نانوية بالمجهر الكهروضوئي

<https://nasainarabic.net/main/articles/view/tiny-wires-big-energy-boost>
(22)



شكل (16) الألياف النانوية

<https://staffsites.sohag-univ.edu.eg/stuff/advs/show/5256?p=advs>
(21)

1-1-5- الأجهزة النانوية: الأجهزة النانوية المستخدمة في مجال البناء:

1- الإضاءة :

تستهلك الإضاءة والأجهزة ما يقرب من ثلثي الطاقة المستخدمة في المباني، ليس فقط من خلال متطلبات تركيبات الإضاءة وإنما حاجة المباني لتكاليف تبريد وهو ما تسببت به تركيبات الإضاءة من كميات حرارة داخل المبنى (11).

أجهزة الإضاءة النانوية:

- جهاز الثنائيات الباعثة للضوء LEDs (Light – emitting diodes).
- جهاز الثنائيات الباعثة للضوء العضوي OLEDs (Organic Light emitting diodes).
- جهاز كشف النقاط الكمومية LEDs (Quantum dot).

2- الطاقة الشمسية:

يتم استخدام تكنولوجيا النانو للتحسين من وسائل الاستفادة من الطاقة الشمسية بالاعتماد على نوعين من الأغشية النانوية:

• الأغشية النانوية الشمسية الرقيقة :

هي أغشية من السيلكون القائم على الخلايا الكهروضوئية وبلورات نانوية جديدة ومواد الأغشية الرقيقة والأفلام البوليمرية وتشير الإحصائيات إلى أن منتج خلايا الأغشية الرقيقة الشمسية النانوية تصل كفاءته إلى 6.7 % ثم تزداد عند نفس هذا المستوى بمعدل 3.3% لتصل كفاءة الأغشية لنحو 10% كل منها يسمح للخلايا باستمداد أكثر من 50% من الطاقة وتقل التكلفة لكل واد بمعدل 33%.

• الأغشية النانوية الشمسية العضوية أو البلاستيكية:

تعتمد على استخدام مواد منخفضة التكلفة كالجسيمات النانوية والبوليميرات وتتميز هذا التقنية بالمرونة مما يمكن دمجها واستخدامها في تطبيقات أكثر كما أن هذا يجعل استخدامها أفضل بكثير من استخدام ألواح المسطحات الزجاجية التقليدية، لأن مرونتها تفتح احتمالات جديدة أمام المعماريين في التغلب على مخاوف الحفاظ على جمالية المنتج المعماري الذي كان من الصعب تحقيقه باستخدام المسطحات الجامدة (غير المرنة في التشكيل).

تشير الدراسات أن كفاءة هذه الأغشية أعلى 10% من كفاءة المواد العادية، وذات مرونة أعلى من المواد العادية (11)، شكل رقم (17).

3- تنقية الهواء:

يقصد بها استخدام تكنولوجيا النانو في تنقية الهواء للقضاء على الروائح الكريهة والملوثات، ويتم ذلك من خلال استخدام المواد النانوية حيث تقوم المواد بتحليل الملوثات كيميائياً إلى جزيئات

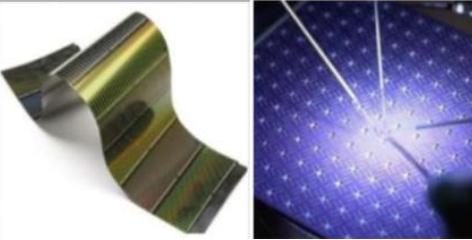
غير ضارة عن طريق عمليات التحفيز الضوئي والأكسدة، ومن الأمثلة لمواد تنقية الهواء (Photo Catalytic) من أكثر المواد استخداماً في هذا المجال (11) كما يوضح الشكل (18).

4- تنقية المياه :

يعد استخدام تكنولوجيا النانو في تنقية المياه وسيلة فعالة وذات كفاءة عالية وتحتاج لطاقة مركزة لتنتشر على نطاق واسع ، وقد توصل العلماء مؤخراً لتطوير تنقية المياه من خلال التوصل لصنع منتج جديد صديق للبيئة يعمل هذا المنتج على تنقية المياه وذو كفاءة أعلى بنسبة الضعف من المواد المستخدمة حالياً في التنقية وذلك باستخدام مادة التيتانيوم النانوي (Titanium Nanoparticales)(5).

5- تخزين الطاقة :

إن التحسين من تخزين الطاقة يمكنه أن يقلل من انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون من خلال استخدام تكنولوجيا النانو لإنتاج الطاقة والتوفير في استخدامها، وذلك من خلال البطاريات القابلة لإعادة الشحن، والمكثفات فائقة الكفاءة ومن الوسائل الأخرى المستخدمة لتكنولوجيا النانو والتي تسهم في تخزين الطاقة : تقنية دمج الخلايا النانوية بصورة خلايا قشرة على السطح الخارجي للمبنى (الواجهات) لتحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية لتشغيل المصاعد وغيرها ، وذلك باستخدام المواد النانوية نعتمد على خاصية (Thermo photovoltaic)⁵ وهي القدرة على تحويل الطاقة الحرارية لطاقة كهربائية لتخزينها واستخدامها فيما بعد.

	
<p>شكل (19) استخدام مواد نانوية من خلال تنقية الهواء في الفراغ الداخلي أو استخدامها في الطلاء</p> <p>https://archpaper.com/transparency-by-design-weissmanfredis-nanotechnology-center/ (24)</p>	<p>شكل (18) الأغشية النانوية الرقيقة والعضوية ذات خاصية المرونة</p> <p>https://www.greenoptimistic.com/cigs-manufacturing-technology-20100719 (23)</p>

⁵ تحويل الطاقة الحرارية هي عملية تحويل مباشر من الحرارة إلى الكهرباء عبر الفوتونات.

2-1- دراسة تأثير استخدام المواد النانوية على بعض المباني المعاصرة :

إن المنهجية التحليلية لدراسة الأمثلة التالية قائمة على خطوتين رئيسيتين: الأولى هي وصف كل مثال والثانية تشمل إدراج جدول تقاطع نقاط تأثير المواد النانوية على كل مثال ومدى استخدامها في كل مبنى للوصول لنتائج خاصة بأهمية استخدام تكنولوجيا النانو من خلال موادها في المباني المعاصرة، وفيما يلي أمثلة لمشاريع منفذة و قيد التنفيذ ومقترح مستقبلي قريب باستخدام تكنولوجيا النانو.

2-1-1- مشروع برج أوف ذا جريد Off the grid :

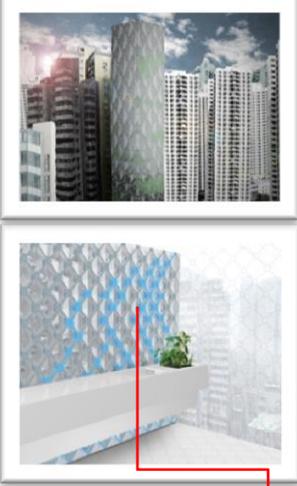
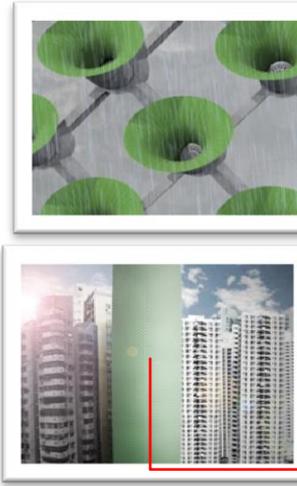
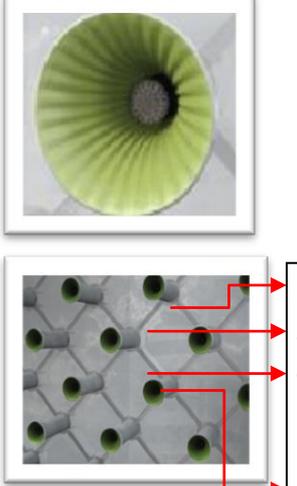
لمحة عن المشروع:

Philips Design's	المصمم المعماري
سكني	النوع
الصين - العاصمة بكين	المكان
2020	الزمان
تعتمد على تطوير الإسكان المستدام من خلال تطبيقات تكنولوجيا النانو عدم وجود مخلفات الاكتفاء الذاتي للماء والطاقة من خلال غلاف المبنى الحيوي Nano Vent Skin	فكرة المشروع
معتدل	المناخ
https://www.youtube.com/watch?v=gTyL5IEiTu4	YouTube (لمحة عن المشروع)

• بدأ هذا المشروع برؤية معاصرة لتطوير المساكن المستدامة في المدن الكبرى في الصين في عام 2020 كالعاصمة بكين، ليستكشف دمج الإلكترونيات والوظائف البيوكيميائية في المواد الخاملة للبيئة المبنية وتطويرها من خلال استخدام مواد نانوية حديثة، حيث تستكشف Off the Grid مشروعاً يدمج الإلكترونيات والكيمياء الحيوية، حيث يعتمد النهج الحالي للبناء على شبكات إمدادات الطاقة والمياه بحيث يمكن استخدام مواد البناء الحديثة لأغراض الحماية باستخدام أسطح مائلة مستقبلية، هذه الأسطح المستقبلية في الصين ستتحول إلى أغشية مستدامة لتسخير الطاقة، بحيث تخلق رابطاً قوياً بين الأوساط الخارجية والداخلية للأسطح أثناء استخدامها كناقل، يجمع ويوجه عناصر الهواء والماء والضوء من الخارج للداخل.

يهدف المشروع إلى تطوير الإسكان المستدام من خلال تطبيقات تكنولوجيا النانو بحيث يعمل بمبدأ عدم وجود مخلفات (No waste)، يعمل المشروع على الاكتفاء الذاتي من المياه والطاقة من خلال غلاف المبنى الحيوي (Nano vent Skin) (12)، ويتكون غلاف المبنى من خلايا نانو متعددة الوظائف كما هو موضح بالجدول (1) والذي يتكون من تفصيل مكونات المبنى:

جدول (1) إعداد الباحثة

الوحدات الزجاجية	الهيكل الإنشائي	خلايا النانو متعددة الوظائف
 <p>شكل (27)</p> <p>https://inhabitat.com/habitat-2020-off-the-grid-future-abode/attachment/12387</p> <p>الوحدات الزجاجية عبارة عن وحدات الزجاج أو البلاستيك والتي تعتمد على الأنظمة الذكية وتتغير حسب رغبة مستخدم الفراغ الداخلي. ويعمل غلاف المبنى كقناة حيوي بين البيئة الداخلية والخارجية حيث يقوم بتغذية الفراغات الداخلية .</p> <p>أ. إضاءة الطبيعية وتوليد الكهرباء اللازمة للإضاءة الليلية عن طريق الخلايا الشمسية.</p> <p>ب. الهواء النقي عن طريق تفعيل غلاف المبنى كجهاز تبريد طبيعي للبيئة الداخلية.</p> <p>ج. المياه النقية عن طريق مياه الأمطار أو سحب رطوبة الهواء وتكثيفها.</p>	 <p>شكل (26)</p> <p>https://inhabitat.com/habitat-2020-off-the-grid-future-abode/attachment/12387</p> <p>الهيكل الإنشائي للغلاف الخارجي للمبنى وهو عبارة عن شبكة من الأنابيب المتداخلة على زاوية 45 مفرغة من الداخل يمر بداخلها :</p> <p>أ. أسلاك النانو التي تنقل الكهرباء المولدة من الخلايا الشمسية.</p> <p>ب. أنابيب نقل مياه الأمطار إلى خزانات المياه.</p> <p>ج. أنابيب نقل الهواء بعد عملية تنقيته إلى الفراغات الداخلية.</p>	 <p>شكل (25)</p> <p>https://inhabitat.com/habitat-2020-off-the-grid-future-abode/attachment/12387</p> <p>تتكون خلية النانو متعددة الوظائف من شكل إسطواني يتحول شكل مخروطي كشكل الزهرة أثناء عمل الخلية وتتكون من جسم داخلي من الخلايا الشمسية ومركزها عبارة عن أجهزة النانو لتنقية الهواء وحولها فتحات موصلة بمسارات المياه والتي تفتح أثناء وجود المطر ويتحكم بكل الأجهزة مجموعة من حساسات النانو.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. خلايا النانو الشمسية Nano Solar Cell 2. حساس النانو Nano Sensor 3. أجهزة تنقية الهواء Air Filtration 4. أجهزة تنقية المياه Water Filtration

نستخلص من الجدول أن المبنى هو اندماج تكنولوجيا النانو والعمارة الذكية، بحيث اعتمد المبنى على أجهزة النانو من خلال الاعتماد على البيئة الخارجية والطاقات الطبيعية المتجددة، يدعم الفكر المعماري من خلال اعتبار غلاف المبنى هو الغشاء الفاصل بين البيئة الداخلية والخارجية للمبنى.

2-1-2- مشروع البرج المضاد للضباب Anti-Smog:

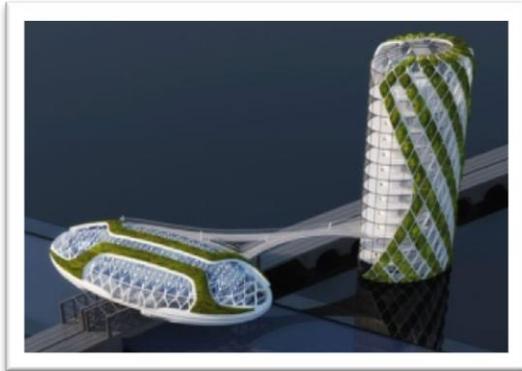
لمحة عن المشروع:

Vincent Callebaut	المصمم المعماري
عام	النوع
فرنسا - Paris	المكان
2007	الزمان
مقترح مستقبلي يقع على القناة المائية المعروفة بالضباب الشديد وارتفاع مستوى التلوث، تم استخدام تكنولوجيا النانو لصناعة نموذج مبنى مستدام يعتمد على الطاقة المتجددة مع أثر بيئي مستدام ولتنقية الهواء من الملوثات ويتكون من جزئين : قطرة شمسية، برج الرياح	فكرة المشروع
معتدل ورطب نسبياً	المناخ البيئي

• صمم المهندس المعماري Vincent Callebaut⁶ برجاً مستداماً في باريس لفلتر جزيئات الهواء وحصاد الرياح والطاقة الشمسية.

• مشروع برج Anti-Smog مستدام تم إنشاؤه على الهيكل الحضري ما بعد الصناعي في (Petite Ceinture)⁷*

وقناة (de l'Orcq)⁸ في الحي الباريسي التاسع عشر، دورها الرئيسي هو تجميع الطاقات المتجددة لمحاربة الضباب الدخاني الباريسي حيث يتكون الضباب الدخاني من دخان وضباب مزرق، نتيجة تكثف الماء على الغبار المعلق ووجود الأوزون في طبقة المنكور الدوار (التروبوسفير)،



تقوم كل من القطرة الشمسية وبرج الرياح (Solar Drop و Winds Tower)⁹ بتطبيق أحدث التقنيات في الإنشاءات، حيث يهدف المشروع إلى الحد من تلوث الغلاف الجوي للمنطقة وتحسين جودة الهواء.

شكل (28) كتلتى القطرة الشمسية وبرج الرياح

<https://www.igreenSpot.com/off-the-grid-sustainable-habitat-2020>

⁶ Vincent Callebaut مهندس بيئي بلجيكي. إنه يصمم مشاريع مقيدة للبيئة تشبه المستقبل والتي تأخذ في الاعتبار جوانب عديدة من الاستدامة.

⁷ La Petite Ceinture، عبارة عن سكة حديد دائرية تم بناؤها كوسيلة لتزويد جدران التحصين بالمدينة.

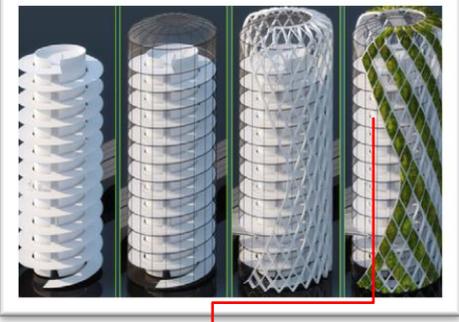
⁸ قناة de l'Orcq هي قناة بطول 108.1 كيلومتر في منطقة إيل دو فرانس.

⁹ The Solar Wind Energy Tower (SWET) This tower of power could generate clean electricity in desert-type environments its creators says <https://landartgenerator.org/blagi/archives/75119>

المشروع يعتمد على الطاقات المتجددة مع أقل أثر بيئي، وتنقية الهواء من الملوثات ويتكون من جزئين

أساسين:

جدول (2) إعداد الباحثة

Wind Tower برج الرياح	Solar Drop القطرة الشمسية
	
<p>شكل (30) برج الرياح</p> <p>https://solarimpulse.com/efficient-solutions/antismog</p> <p>يحتوي على متحف ومعرض ومركز لعلوم الطاقات المتجددة والمستخدم لتكنولوجيا النان، وتم استخدام نفس التطبيقات لتكنولوجيا النانو التي في القطرة الشمسية مع استخدام توربينات الرياح المثبتة على الهيكل الإنشائي لغلغ المبنى المكون من ألياف البوليمستر النانوية وذلك لإنتاج الكهرباء.</p>	<p>شكل (29) القطرة الشمسية</p> <p>https://archello.com/project/anti-smog-a-catalyst-for-cleaner-air</p> <p>القطرة الشمسية: هي عبارة عن شكل بيضاوي مبني أعلى جسر ومطبقة فيها تطبيقات النانو في العناصر التالية: السطح الأزرق و 250 م من الخلايا الكهروضوئية تغطي سطح المبنى تحتوي على مناطق ترفيهية كالحدائق وحمامات السباحة وصلالات الألعاب والمحلات التجارية.</p> <p>السطح الشفاف: لتغذية المبنى بالإضاءة الطبيعية</p> <p>الأقواس الخضراء: لتجميع وتخزين مياه الأمطار وتخفيف الأحمال الحرارية.</p> <p>طلاء النانو الأبيض: ذو خاصية التنظيف الذاتي ومكافحة تلوث الهواء بتحليلها إلى مركبات غير ضارة.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. الأقواس الخضراء. 2. الجسر الواصل بين القطرة الشمسية و برج الرياح. 3. السطح الأزرق. 4. الجسر المعدني القديم لمحطة القطار. 5. الطلاء الأبيض. 6. السطح الشفاف.

نستخلص من الجدول أن المبنى هو اندماج تكنولوجيا النانو والعمارة الخضراء، عمارة النانو الخضراء حيث المبنى يعتمد على كافة عناصره (هكيل إنشائي للغلغ، غلاف المبنى الرئيسي، الفراغات الداخلية) ودور المواد

النانوية المكونة له على تحسين وإزالة التلوث البيئي والمساعدة على تحسين البيئة الداخلية والخارجية في مجال الطاقة وتنقية الهواء.

2-1-3 - مستشفى د. مانويل جونزالز Hospital General Dr. Manuel Gea González :

لمحة عن المشروع: المشروع عبارة عن مشفى عام مستدام يتكون من وحدة زخرفية معمارية ثلاثية الأبعاد قابلة للتجميع تعمل على إزالة ملوثات الهواء عن طريق تطبيقات تكنولوجيا (التحفيز الضوئي عن طريق ثاني أكسيد التيتانيوم TIO₂).

المصمم المعماري	Philips Design's ¹⁰
النوع	خدمي - مشفى عام
المكان	المكسيك - العاصمة مكسيكو
الزمان	2013
فكرة المشروع	تعتمد فكرة المشروع على اعتماد واجهة المبنى الأساسية للمشروع تدعى واجهة التطهير من التلوث وهي واجهة مستدامة مكونة غلاف مطلي بثاني أكسيد التيتانيوم للقيام بعملية التحفيز الضوئي ومضاد للتلوث البيئي
نمط البيئة	المناخ معتدل
YouTube	https://www.youtube.com/watch?v=gTyLSIEITU4

مبنى مستشفى

Hospital General Dr. Manuel Gea Gonzale



شكل (31) الواجهة الرئيسية باستخدام تقنية النانو <http://www.prosolve370e.com/home>

تمت الاستعانة بوحدة Prosolvepro370e في تغطية الواجهة بكاملها وهي عبارة عن وحدة معمارية زخرفية ثلاثية الأبعاد قابلة للتجميع، تعمل على إزالة ملوثات الهواء عن طريق تطبيقات تكنولوجيا النانو في طلاء التنظيف الذاتي (التحفيز الضوئي من خلال Tio₂)، وتتميز بسهولة التركيب والتجميع وليونة التشكيل (13) وتستخدم في:

- مكافحة ملوثات الهواء
- تقليل سرعة الرياح لمعالجة أكبر قدر من الملوثات بالهواء
- تقليل الأحمال الحرارية للمبنى
- تظليل المبنى لاحتفاظ المبنى بدرجات حرارة منخفضة

نستخلص من الجدول أن المبنى هو اندماج تكنولوجيا النانو والعمارة الخضراء، بحيث اعتمد المبنى على تطبيقات تكنولوجيا النانو التي تشمل المواد النانوية وأجهزة النانو ليحقق استدامة المبنى من مجموعة استراتيجيات لاستغلال المواد وقدرتها على التشكيل وتعدد وظائفها الحيوية.

3-1- دراسة تحليلية للأمثلة السابقة ومدى استخدام المواد النانوية فيها :

إن الدراسة التحليلية قائمة على نتائج تحليل كل مثال ومدى استخدام المواد النانوية وخصائصها في كل مشروع، ولمعرفة المشاريع الأكثر استخداماً لتكنولوجيا النانو وتطبيقاتها و كيفية تأثير استخدام هذه المواد والأجهزة النانوية لتحسين عملية التصميم الخارجي والداخلي للمشاريع سواء المنفذة أو قيد التنفيذ أو التي تقوم على رؤية مستقبلية.

الجدول (3) إعداد الباحثة

المصدر : الباحثة		تأثير تطبيقات تكنولوجيا النانو على الأمثلة السابقة في البحث				
أشكال المواد النانوية	المثال الثالث مبنى مستشفى مانويل جونزلز Hospital General Dr. Manuel Gea Gonzále	المثال الثاني مشروع برج مضاد الضباب Anti Smog	المثال الأول مشروع برج أوف ذا جريد Off the Grid	تكنولوجيا النانو		
السيليكا النانوية الأنابيب النانوية	-	•	-	البيتون (خرسانة)	المواد الإنشائية	مواد النانو Nano Materials
جسيم نانوي	-	•	-	الحديد		
الأنابيب النانوية	-	-	-	أنابيب النانو الكربونية		
ألياف نانوية	•	•	•	مواد ذاتية التنظيف	المواد غير الإنشائية	
ألياف نانوية	•	•	•	مواد سهلة التنظيف		
جسيمات النانوية	-	-	•	مواد العزل		
الأنابيب النانوية	•	•	•	مضادة للضباب		
جسيمات نانوية	•	•	•	الدهانات	المواد المكملة	
جسيمات نانوية	•	-	-	الخشب		
ألياف نانوية	•	•	•	الزجاج		
جسيمات نانوية	-	-	-	الجران الجافة		
-	-	-	•	الإضاءة		

-	-	•	•	تنقية الهواء	الأداء البيئي
-	-	-	•	تنقية المياه	
-	-	•	•	الطاقة الشمسية	
-	-	•	•	تخزين الطاقة	
رموز الجدول : نعم ● ، لا : -					

النتائج والتوصيات :

النتائج :

إنّ الدراسة التحليلية للأمثلة السابقة والتي تبين تأثير استخدام تطبيقات تكنولوجيا النانو (مواد النانو وأجهزة النانو) على مبانٍ معمارية معاصرة نستخلص ما يلي:

1. إن أكثر المواد النانوية استخداماً في الأمثلة المدروسة كانت في الطلاءات والزجاج.
 2. إن أكثر الأجهزة النانوية استخداماً في الأمثلة المدروسة كانت لتنقية الهواء وتخزين الطاقة واستخدام الطاقة الشمسية.
 3. إن أكثر أشكال المواد النانوية استخداماً في الأمثلة المدروسة هي الأنابيب والألياف النانوية بالإضافة للجسيمات النانوية.
 4. إن أكثر المواد النانوية تأثيراً على المباني المعاصرة هي المواد غير الإنشائية كخاصية التنظيف الذاتي والمواد المضادة للضباب وسهولة التنظيف ومواد العزل وذات الأداء البيئي المتقدم.
 5. يعد برج أوف ذا جريد Off the grid من أكثر الأمثلة المدروسة استخداماً لتطبيقات تكنولوجيا النانو يليه برج Anti Smog المضاد للضباب والذي يستخدم المواد النانوية، في حين مثال مستشفى الدكتور مانويل جونزلز العام "Dr. Manuel Gea Gonzalez" كان أقل استخداماً وهو مشروع قائم بالفعل.
 6. تساهم تقنية النانو في تحسين أداء العديد من مواد البناء ومنها البيتون (الخرسانة) حيث تتم إضافة سيلكا لزيادة مقاومة ومتانة البيتون.
 7. إن استخدام المواد النانوية كتقنية جديدة في مجال البناء والتشييد يسهم في تصميم المباني المعاصرة
- كمبانٍ ذات خصائص جديدة من خلال خواص المواد النانوية المتعددة لما لها من قدرة كبيرة على تغيير الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمادة.

8. عملت المواد النانوية المضافة إلى الزجاج على تغيير خصائصه من خلال جعله مضاداً لانعكاس الأشعة الشمسية وإضافة خاصية التنظيف الذاتي (زجاج معالج ضد التصاق الأوساخ بتطبيق عملية التحفيز الضوئي و الحماية من الأشعة الشمسية).
9. يمكن أن تساهم تكنولوجيا النانو بظهور أنماط جديدة من المباني تتميز بأنها مرشدة للطاقة ومنتجة ومخزنة لها بالإضافة لاحتوائها على دهانات ذات خواص تنظيف ذاتي ومنقية للهواء الخارجي باستخدام الأجهزة النانوية وحاجبة للأشعة الضارة وعازلة للحرارة.

التوصيات :

1. أهمية نشر والتعرف على تقنية النانو ودعم الأبحاث العلمية والعملية المتخصصة فيها، لما لها من مستقبل واعد في تحقيق التقدم الاقتصادي والأكاديمي للدول.
2. ضرورة الاهتمام وتطبيق مفاهيم التصميم المعاصر لإنتاج تشكيلات معمارية مميزة تتصف بالتميز والإبداع ووضع مفهوم التقنية النانوية ضمن المراحل الدراسية في الجامعات ذات الاختصاصات المتوافقة معها، والدعم الحكومي لكافة الأبحاث المتخصصة في هذه التقنية لكونها تحقق تقدماً علمياً في المستقبل القريب في عملية التصميم المعماري.
3. يُقترح تشكيل ورشات عمل فعلية وميدانية من شأنها المساهمة في تحسين تصميم المباني المعمارية.

المراجع :

المراجع العربية :

1. جمعه، حسين، "النانو تكنولوجيا في قطاع التشييد والبناء" ، الناشر مكتب الدراسات في الهند، 2009م.
2. عبد الحميد، أحمد، "تكنولوجيا النانو ودورها في تحقيق الاستدامة من خلال تطوير مواد وأساليب الإنشاء" بحث منشور ، كلية الهندسة، جامعة المنيا، 2014 م.
3. محمد، عبدالله، "المواد النانوية في الهندسة المعمارية تطبيقاتها وخصائصها في المباني"، جامعة القاهرة، ماجستير، 2013م.
4. سعد، عبدالله، "تطبيق تكنولوجيا النانو على الغلاف الخارجي للمباني لتقليل الطاقة المستهلكة"، جامعة لقاهرة، ماجستير، 2011م.
5. سلامة، صفاء، "النانو تكنولوجيا عالم صغير ومستقبل كبير (مقدمة في فهم علم النانو تكنولوجيا)"، بيروت ، الدار العربية للعلوم، 2009م.

المراجع الأجنبية :

- 6 . Surinder, Ann, "Nanotechnology and Construction", Institute of Nanotechnology (2006).

المواقع الإلكترونية :

قائمة المراجع الالكترونية للأشكال (الصور):

7. <https://medium.com/swlh/how-small-can-we-go-33c6167cf681>
accessed, 10.5.2018
8. <http://fatenamer.blogspot.com/2011/> accessed, 24.9.2019
9. <https://particleandfibretoxicology.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12989-019-0299-z> accessed, 5.11.2019
10. <https://pt.slideshare.net/ankitajagtap37/applications-of-nanomaterials-in-food-and-cosmetic-45506842/8?smtNoRedir=1>
accessed, 19.12.2019
11. <http://saboksazetaha.com/tag/%D9%BE%D9%88%D8%B4%D8%B4-%D8%B9%D8%A7%DB%8C%D9%82/> accessed, 11.12.2019
12. <https://docplayer.net/2984129-www-mastteam-it-enrico-ercolani-department-of-industrial-engineering-via-del-politecnico-1-00133-rome-italy-enrico-ercolani-uniroma2.html> accessed, 16.2.2020
13. <https://docplayer.net/2984129-Www-mastteam-it-enrico-ercolani-department-of-industrial-engineering-via-del-politecnico-1-00133-rome-italy-enrico-ercolani-uniroma2.html> accessed, 16.2.2020
14. <https://medium.com/taksabadsavadkooh/nano-6-264a8aa4f29>
accessed, 2.4.2020
15. <https://ara.kyhistotechs.com/using-nanoscale-mesoscale-anisotropy-engineer-optical-response-three-dimensional-plasmonic-metamaterials-37299216> accessed, 2.4.2020
16. <https://www.arsco.org/article-detail-146-5-0> accessed, 4.4.2020
17. <https://nano.ksu.edu.sa/ar/nanotech-shapes> accessed, 4.4.2020
18. <https://mechanosite.wordpress.com/2016/01/28/element-carbon/>
accessed, 5.4.2020
19. <https://staffsites.sohag-univ.edu.eg/stuff/advs/show/5256?p=advs>
accessed, 5.4.2020
20. <https://nano.ksu.edu.sa/ar/nanotech-shapes> accessed, 5.4.2020
21. <https://staffsites.sohag-univ.edu.eg/stuff/advs/show/5256?p=advs>
accessed, 7.4.2020
22. <https://nasainarabic.net/main/articles/view/tiny-wires-big-energy-boost> accessed, 7.4.2020
23. <https://www.greenoptimistic.com/cigs-manufacturing-technology-20100719> (23) accessed, 7.4.2020
24. <https://nano.ksu.edu.sa/ar/nanotech-shapes> accessed, 7.4.2020
25. <https://inhabitat.com/habitat-2020-off-the-grid-future-abode/attachment/12387> accessed, 10.4.2020
26. <https://inhabitat.com/habitat-2020-off-the-grid-future-abode/attachment/12387> accessed, 10.4.2020
27. <https://inhabitat.com/habitat-2020-off-the-grid-future-abode/attachment/12387> accessed, 10.4.2020

28. <https://www.igreenspot.com/off-the-grid-sustainable-habitat-2020>
accessed, 10.4.2020
29. <https://archello.com/project/anti-smog-a-catalyst-for-cleaner-air>
accessed, 10.4.2020
30. <https://solarimpulse.com/efficient-solutions/antismog> accessed, 10.4.2020
31. <http://www.prosolve370e.com/home> accessed, 14.4.2020

قائمة المراجع الالكترونية المضافة للمراجع العربية:

1. <http://limuj.limu.edu.ly/index.php/LIJCR/article/view/40/html>
2. https://www.cpni.gov.uk/system/files/documents/c3/4b/Intro_Glass_Interlayers_060619.pdf
3. <https://www.youtube.com/watch?v=gTyL51EiTU4>
4. <https://www.philips.com/a-w/about/philips-design.html>