دار المنظومة
DAR ALMANDUMAH
الرواد في قواعد المعلومات العربية

العنوان:	تكنولوجيا النانو في المباني نحو عمارة مستدامة
المصدر:	مجلة سوهاج لشباب الباحثين
الناشر:	جامعة سوهاج - كلية التربية
المؤلف الرئيسي:	قاسم، فؤاد عبدالموجود عبدالحليم
مؤلفين آخرين:	حسن، عباس محمود، بغدادي، مصطفى عدلي(م. مشارك)
المجلد/العدد:	ع1
محكمة:	نعم
التاريخ الميلادي:	2021
الشهر:	مارس
الصفحات:	2 - 20
رقم MD:	1123874
نوع المحتوى:	بحوث ومقالات
اللغة:	Arabic
قواعد المعلومات:	EduSearch
مواضيع:	التقنيات الحديثة، تكنولوجيا النانو، التنمية المستدامة، التخطيط العمراني
رابط:	http://search.mandumah.com/Record/1123874

© 2021 دار المنظومة. جميع الحقوق محفوظة.
هذه المادة متاحة بناء على الإتفاق الموقع مع أصحاب حقوق النشر، علما أن جميع حقوق النشر محفوظة. يمكنك تحميل أو طباعة هذه المادة للاستخدام الشخصي فقط، ويمنع النسخ أو التحويل أو النشر عبر أي وسيلة (مثل مواقع الانترنت أو البريد الالكتروني) دون تصريح خطي من أصحاب حقوق النشر أو دار المنظومة.

مجلة سوهاج لشباب الباحثين العدد الاول مارس ٢٠٢١
http: sjyr.sohag-univ.edu.eg

تكنولوجيا النانو في المباني: نحو عمارة مستدامة

Nanotechnology in Buildings
"Towards A sustainable Architecture"

فؤاد عبد الموجود عبد الحليم قاسم, عباس محمود حسن، مصطفى عدلي بغدادي[١]

[١]مدرس مساعد ـ قسم العمارة، كلية الهندسة ، مدرس ـ قسم العمارة، كلية الهندسة،
استاذ ورئيس قسم العمارة الاسبق ـ قسم العمارة، كلية الهندسة، جامعة الازهر ، القاهرة ، مصر
qasim1@gmail.com

الملخص:

اهتمت الدراسة البحثية بإلقاء الضوء على أهمية دمج التقنيات والمواد النانوية المستخدمة في المباني مع مبادئ العمارة المستدامة في ظل الاعتبارات والمحددات البيئية للوصول إلى مبنى نانوي مستدام. وتتلخص فكرتها في مدى توافق المبنى النانوي بيئياً من خلال الدمج والتكامل بين تقنيات النانو والمعايير البيئية التي توافق الاستدامة مما ينتج عنه تحقيق كفاءة البيئة الداخلية للمبنى من خلال ترشيد استهلاك الطاقة واستغلال مصادر الطاقة المتجددة وإمكانية جمع البيانات البيئية، وتحقيق الراحة الحرارية، مما دعى العديد من دول العالم إلى التطبيق الصحيح للمباني النانوية المتوافقة مع الاستدامة. وتأتي أهمية الدراسة التي تهدف إلى تسليط الضوء على دور تكنولوجيا النانو في المباني في تحقيق مبادئ العمارة المستدامة وذلك من خلال توضيح مفاهيم وخصائص تكنولوجيا النانو في المباني بالإضافة إلى استعراض مفاهيم ومبادئ العمارة المستدامة وتوضيح عناصر ومحددات تحقيقها.

وقد خلصت الدراسة إلى إعداد قائمة بالمعايير والمحددات التكنولوجية والبيئية (مقترح بحثي) الواجب اتباعها عند تصميم المباني النانوية المستدامة المتوافقة مع البيئة والاستدامة من خلال جدول تحليل وعرض أهم التقنيات والمواد النانوية في المباني ومدى توافقها مع البيئة والاستدامة والمستخدمة عالمياً، مما يؤدي إلى زيادة الوعي عند المصمم المعماري المصري بأهمية الدمج والتكامل بين تكنولوجيا النانو والبيئة للوصول إلى التوازن بينهما.

الكلمات المفتاحية: تكنولوجيا النانو ، مواد النانو ، تجهيزات النانو ، العمارة المستدامة.

ABSTRACT:

The research study focused on the importance of integrating Nano technologies used in buildings with the principles of sustainable architecture under environmental considerations to reach a sustainable Nano building. Its idea is summarized in the extent to which the Nano building is environmentally compatible through the merging and integration between Nano technologies and environmental standards that are compatible with sustainability, which achieve the efficiency of the internal environment of the building through rationalization of energy consumption, the exploitation of renewable energy sources and the possibility of collecting environmental data, which called many countries of the world to apply The right thing for Nano buildings compatible with sustainability. The importance of the study, which aims to shed light on the role of technologies and Nano systems in buildings, in achieving the principles of sustainable architecture, by clarifying the concepts, characteristics and systems of Nano buildings, in addition to reviewing the concepts and principles of sustainable architecture and clarifying the elements and determinants of their achievement.

مقدمة:

يهتم المصمم المعماري بخصائص ومحددات تكنولوجيا ومواد النانو لتحقيق المتطلبات التصميمية حيث أنها من أكثر العناصر التي تؤثر على كفاءة المبنى، ومن أحدث العلوم التي أحدثت طفرة في هذا المجال هي تكنولوجيا النانو والتي عن طريقها يمكن تطوير خصائص المعدات والتجهيزات أو إضافة خصائص جديدة أو إنتاج أنظمة جديدة، وانطلاقاً مما سبق كان التفكير في اتجاه معماري جديد قادر على استيعاب أحدث ما توصل اليه العلم في مجال التكنولوجيا ويؤدي في ذات الوقت إلى الحفاظ على البيئة وترشيد استهلاك الطاقة في المباني. فكان ذلك ايذاناً بميلاد العمارة النانوية المستدامة كنموذج عملي على امكانية حدوث توافق بين التكنولوجيا والبيئة.

الاشكالية البحثية:

تكمن المشكلة البحثية في عدم وجود ثقافة تطبيق مفاهيم تكنولوجيا ومواد النانو في المباني المتوافقة مع البيئة والاستدامة ـ بصورتها المتكاملة المستخدمة عالمياً ـ في مصر، واعتبار أن هذه التكنولوجيا في مصر نوعاً من الرفاهية أو ما يقع خارج نطاق الواقع الملموس، مع أن فكرة تكنولوجيا النانو آخذه في الانتشار عالمياً مع ما حققته من فوائد كبيرة في تيسير أمور الحياة والقدرة على التوفير في تكلفة التشغيل والصيانة واستهلاك الطاقة واستخدام الطاقة المتجددة على المدى الطويل، فضلاً عن عدم توافر تكنولوجيا النانو محلياً بجانب ما ينتظره من تطورات مستقبلية، لذلك كان من الضروري توجيه المعماري المصري نحو استخدام تكنولوجيا ومواد النانو الحديثة في المباني والتي بدورها تقوم بتحقيق التوافق مع البيئة والاستدامة.

أهداف البحث:

يهدف البحث إلى دراسة امكانية استخدام تكنولوجيا النانو في المباني لتحقيق مبادئ العمارة المستدامة وذلك من خلال:

- **توثيق ورصد دور تكنولوجيا النانو في تحقيق مبادئ العمارة المستدامة في البناء.**
- **دراسة امكانية تطبيق تكنولوجيا النانو في مجال العمارة وأثناء دورة حياة المبنى.**
- **توضيح أساليب توظيف وتطبيق تكنولوجيا النانو في تحقيق البيئة الملائمة للمبنى.**

أهمية البحث:

تكمن أهمية البحث في تسليط الضوء على دور تكنولوجيا النانو في المباني في تحقيق مبادئ العمارة المستدامة وإظهار مدى تأثير هذه التقنية في رفع كفاءة المباني وتحسين جودة البيئة الداخلية، خاصة كفاءة الطاقة والمواد والموارد وتنقية المياه، وذلك من خلال توضيح مفاهيم وخصائص تكنولوجيا النانو في المباني بالإضافة إلى استعراض مفاهيم ومبادئ العمارة المستدامة وتوضيح عناصر ومحددات تحقيقها.

فرضية البحث:

يفترض البحث أن التطور في علوم تكنولوجيا المواد النانوية في المباني في مجال إنتاج مواد وتجهيزات جديدة يساهم في تحسين أداء المباني في مجال تحقيق مبادئ العمارة المستدامة، وللوصول لتحقيق هذه الفرضية ينقسم البحث إلى جزأين رئيسيين:

<u>أولاً: الدراسة النظرية</u>: المنهج الاستقرائي كأساس وذلك لبلورة المفهوم خلال التعرف على تكنولوجيا النانو وتطبيقاتها في المباني وانعكاس ذلك على العمارة من حيث التجهيزات والمعدات المستخدمة، ثم دراسة منظومة العمارة المستدامة وأنظمة تقييمها، وكيفية الاستفادة من تجهيزات ومعدات تكنولوجيا النانو في تحقيقها.

<u>ثانياً: الدراسة التطبيقية</u>: يعتمد الجزء التطبيقي على المنهج الوصفي واستخدام التحليل والاستنباط والتطبيقات المقترحة من خلال تحليل لبعض المشروعات العالمية ذات التوجه المستدام واستخدامها للتطبيقات النانوية بغرض دعم الاستفادة من مفاهيم تكنولوجيا مواد النانو لتأصيل العمارة المستدامة وما هي نسبة النجاح المتوقعة عند تطبيقها على الواقع المحلي، وهذا للوصول إلى مجموعة من النتائج والتوصيات بشأن التوافق مع البيئة والاستدامة بالمباني النانوية.

الدراسة النظرية:

١/ تكنولوجيا النانو:

تكنولوجيا النانو هي أحد أهم ما أنتجته التكنولوجيا في القرن الحادي والعشرين، وتعطي فرصاً حقيقية لحلول مشاكل درجات الحرارة وإمكانيات متعددة للبيئة الداخلية للمباني؛ وبالتالي يمكن الاستفادة من نظم الإدارة لتذليل بعض العمليات بالمبنى لتتكامل مع كل من عمليات الإضاءة الطبيعية ودرجات الحرارة بداخل المبنى، والتفاعل مع عوامل البيئة الطبيعية باستخدام خامات بناء محسنة بتقنيات النانو مثل الزجاج والخرسانة والدهانات ومواد النانو العازلة، .....الخ.

٢/١/ مفهوم تكنولوجيا النانو:

علم النانو ذلك العلم الذي يعتني بدراسة وتوصيف مواد النانو وتعيين خواصها وخصالها الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية مع دراسة الظواهر المرتبطة الناشئة عن تصغير احجامها. [1]

وهي تقنية لها القدرة علي التحكم المباشر في المواد والأجهزة التي لها أبعاد وقياسات أقل من 100 نانوميتر. فكلمة نانو تكنولوجي هى مزيج من كلمتين هما كلمة نانو(NANO) والمقصود بها وحدة قياس النانومتر، وتكنولوجي (TECHNOLOGY) أو تقنية. وتستخدم عبارة تكنولوجيا النانو للتعبير عن التقنيات المصنوعة بمقياس النانومتر، أو عند التلاعب بذرات المادة الفردية لإنشاء آلات لا يتعدى حجمها مجموعة من الذرات، وباستخدام هذه التقنية يمكن إعادة بناء جزيئات المادة وتشكيلها حسب ما نريد. [2]

٢/ تكنولوجيا النانو في العمارة:

يعد مجال العمارة أحد أهم التطبيقات الحديثة المشرقة لهذه التكنولوجيا الواعدة، حيث تسهم هذه التكنولوجيا في إنتاج مواد بناء ذات ميزات وخصائص فريدة، فسوف تتمكن مباني النانو من مقاومة درجات الحرارة العالية، والإشعاعات الضارة، والحماية من الحرائق، والقدرة على التنظيف الذاتي، كما ستتمكن المباني من صيانة ومعالجة أي تشققات وتصدعات مبكرا، وإصلاحها بنفسها بصورة مباشرة وتلقائية، وسوف تدخل تكنولوجيا النانو في إنتاج مواد البناء لتحسين خصائصها ووظائفها، مثل المواد المستخدمة في الدهانات والمواد المضافة للخلطات الخرسانية، والمواد الإسمنتية، والسيراميك، وتحسين صناعة الزجاج وصناعة الأخشاب وصناعة الحديد الصلب، ورفع كفاءة الطاقة في المباني وغيرها.

٢/١/ أهداف عمارة تكنولوجيا النانو:

تهدف عمارة تكنولوجيا النانو الى: [1]

- تقليل متطلبات استهلاك الطاقة والحد من التقشف.
- زيادة الراحة لدي الإنسان داخل الحيزات الداخلية من خلال الوصول لدرجات حرارة أفضل.
- خفض قيمة ملكية المباني بتخفيض استهلاك الطاقة للمبني.
- الاتجاه الي اسكان قليل استهلاك الطاقة، والإتجاه نحو تفعيل "صفر الطاقة"
- المحافظة علي سلامة النظام البيئي من خلال التقليل من كمية انبعاثات غاز ثاني اكسيد الكربون.
- الحصول علي مبني يتحكم في درجات الحرارة والرطوبة حسب الظروف المناخية.
- الحصول علي مبني ينظف نفسه ذاتياً.
- تحسين الاداء البيئي والاقتصادي للأسمنت والخرسانة.

٢/٢/ مواد النانو الانشائية:

٢/٢/١/ الخرسانة:

تعتبر الخرسانة أكثر مواد البناء انتشاراً واستخداماً من بين مواد الانشاء حيث يستخدم الفرد الواحد تقريباً ما يعادل ١ طن سنويا، ومن أهم المشاكل المصاحبة لإنتاج الخرسانة هي انبعاث المواد الكربونية، ولكل طن من الخرسانة ينتج (١٠٣ طن) من ثاني أكسيد الكربون [3]، وقد قامت العديد من الدراسات لتطوير الخرسانة فمن هذه الدراسات إضافة أنواع من المواد النانوية اليها هما:

١- السيليكا النانوية : نتيجة اضافة نانو السيليكا (Nano silica NS) نجد انه يتحكم في تآكل (C-S-H)(كالسيوم – سليكات – هيدرات) الاساسية الناتج من تفاعل الخرسانة والذي يكون المسؤل عن الخواص الفيزيائية والميكانيكية للواصق الاسمنتية والذي يشمل معدل الانكماش والمسامية والمرونة والنفاذية والذي يمكن أن يعدلها للحصول على متانة أفضل وخصائص أفضل، ومادة السيليكا النانوية أيضا أثبتت انها 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، شكل (١). [3]

٢ - ثاني أكسيد التيتانيوم النانو: تحسن حبيبات ثاني أكسيد التيتانيوم النانوية (Nano Titanium Dioxide Tio) من الاداء البيئي للخرسانة والاسمنت، وأثبتت 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 روما عام ٢٠٠٣م للمعماري ريتشارد ماير، والكنيسة واقعة في منطقة عالية التلوث بعوادم السيارات ودخان المصانع وقد تم إضافة ثاني أكسيد التيتانيوم النانوي إلى الخليط الخرساني الذي حافظ على نظافة السطوح البيضاء، كما خفف من التلوث البيئي المحيط بالمبنى [4] ، شكل (٢)

شكل (١) يوضح مبنى برج خليفة / دبي

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

٣ ـ الخرسانة المسلحة ذات الألياف الكربونية Carbon Fiber R.C.: يتم إضافة ألياف قصيرة من الكربون إلى الخلطة الخرسانية، وتؤدي هذه الإضافة إلى تمكين الخرسانة من اكتشاف الإجهاد والتشوهات الموجودة داخل الخرسانة، ويمكن رصد العيوب داخل الخرسانة بواسطة مجسات كهربائية، وأيضا استخدام مقياس لمراقبة الإجهاد والتشوه في الخرسانة الذكيَّة، ويمكن استخدام خصائصها الكهربائية للتعرف على الإجهادات. [5]

٢/٢/٢/ 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 أو المغنيسيوم 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 ٢٠٠٩م مما أعطى شكلا ديناميكياً للملعب مع فراغ داخلي خال من العناصر الإنشائية بالإضافة لتفاعله مع البيئة عن طريق السقف الفولاذي القابل للطي [9] [4] ، شكل (٣)

شكل (٣) يوضح استاد استانا/كازاخستان

٣/٢/٢/ الخشب:

تم استخدام النانو تكنولوجي في مادة الخشب، حيث تم تجميع جزيئات الخشب وإعادة ترتيبه مما يجعله أكثر ترابطًا وقوة عن مادة الطبيعة، كما تم اختراع حساسات نانوية لتحديد أماكن الفطريات ونقاط التأكل لكي يتم معالجتها، وتعتبر مظلة متروبول الشمسية الملونة في اشبيلية أكبر هيكل خشبي في العالم حيث يصل ارتفاعها الى ٢٨متر 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 [4] ، شكل (٤).

شكل (٤) يوضح مظلة متروبول اشبيلية/ اسبانيا

٣/٢/ مواد النانو المكملة:

١/٣/٢ الدهانات (Coatings)

تعتبر الحاجة الأكثر الحاحاً لاستخدام دهانات النانو في العمارة هي المحافظة على البيئة وزيادة كفاءة الطاقة حيث توفر دهانات النانو وسائل تقنية جديدة ذات فائدة كبيرة في التصدي لمشاكل تغيير المناخ، والمساهمة في تقليص انبعاث الغازات في المستقبل، ويرتبط استخدام دهانات النانو في قطاع البناء بتحقيق الاستدامة، وتحسين كفاءة الطاقة، والحد من انبعاث الغازات المسببة للاحتباس الحراري[2]، كما يمكن استخدام الدهانات المحسنة بتقنيات النانو على جميع أنواع الزجاج في مختلف المباني. ففي البيئة الحارة يمكن استخدام الزجاج الملون أو طلاء معدني رقيق يستخدم ليعكس حرارة الشمس ويمنعها من دخول المبنى مما يقلل من الحاجة إلى التبريد الصناعي . وفي حالة أن تكون البيئة باردة، فتستخدم دهانات انتقائية للطول الموجي مثل أكاسيد القصدير، حيث تكون شفافة لكنها تعكس الأشعة تحت الحمراء، مما يسمح بدخول ضوء الشمس ويمنع خروج الحرارة الداخلية إلى الخارج، مما يقلل من متطلبات التدفئة. [5] [22]

٢/٣/٢/ خصائص دهانات النانو

١ ـ التنظيف الذاتي

هناك العديد من تطبيقات تكنولوجيا النانو التي تمتاز بالتنظيف الذاتي (Self-Cleaning) والتي استخدمت للمحافظة على الاسطح من التأكل والاتربة والعوامل الجوية، 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 وانيقًا طوال الوقت ومقاوما للعوامل الجوية المختلفة، فتمت معالجته بدهانات تكنولوجيا النانو للتنظيف الذاتي كي يبقى متألقا على الدوام ولا يحتاج الى التنظيف المستمر [13] ، شكل (٥).

٢ـ المواد المضادة للميكروبات والبكتيريا:

وقد تم استخدام مواد النانو المضادة للميكروبات والبكتيريا (Antimicrobial/Antibacterial Materials) بجميع ارضيات وحوائط غرف العمليات 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 بتجربة حيث قامت بطلاء العربات الداخلية بطلاء مضاد للميكروبات، وأشارت النتائج ان الميكروبات والبكتيريا انخفضت بنسبة ٦٠% ، وانه يقتل الجراثيم في الهواء اذا لمست السطح المطلي وهذا يساعد في الحد من انتشار الامراض المعدية. [4]

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

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

٣ـ تنقية الهواء:

اذا لم تكن تكنولوجيا النانو لديها القدرة على تنقية الهواء (Air Purifying) تماماً 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 واستنصال الروائح الكريهة والملوثات فتقوم بتحليلها كيميائيا وتكسيرها إلى مواد ابسط غير ضارة، وهنا يتم تصدع جزيئتها

وإعطاء ناتج من البخار، والجدير بالذكر في هذا الصدد هو أن مشروع "Picada" البحثي لتقييم تطبيقات المواد النانوية لإزالة التلوث بتمويل من الاتحاد الاوروبي من ١٩٩٦ م. الى ٢٠٠٣ م. كجزء من اختبار المنشآت، وقد اطلق مشاريع رائدة لتوضيح كفاءة الأسطح النانوية المزودة بخواص التحفيز الضوئي وتنقية الهواء، والذي توصل إلى نتيجة أنه يمكن لتلك الأسطح القضاء على مابين ٢٠% الى ٨٠% من الملوثات الجوية وفقاً لظروف كل منها، كما وصلت كفاءة الازالة لمعدلات عالية حتى ٨٦% في بعض الاختبارات القياسية التي تم اجراؤها بتأثير ثاني اكسيد التيتانيوم TiO على الفراغات المغلقة، وقد تم استخدام هذه التقنية في معرض شركة هيونداي للسيارات بالمانيا حيث تم استخدام الالواح الجبس المعالجة بخاصية التنظيف الذاتي وخاصية تنقية الهواء [4] ، شكل (٧).

٤- سهولة التنظيف:

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 Easy-To-Clean ETC) 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 [14]، شكل (٨)

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

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

٣/٣/٢/ 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:

١- 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، كما تم استخدام الزجاج المزدوج داخل جميع الفراغات الداخلية بما في ذلك عناصر الاتصال الرأسي من سلالم وغيرها من الفواصل بين الفراغات مما ادى إلى انسجام تام بين جميع عناصر المشروع [9] [14] ، شكل (٩).

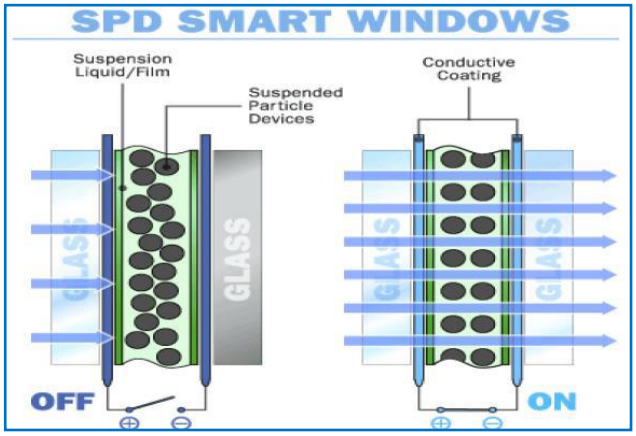
شكل (9) استخدام خاصية الحماية من الحريق في مبنى البريد/مدينة بون/المانيا

٢- تكنولوجيا البلورات السائلة: بعض أنواع الزجاج يستخدم تطبيقات الـ "Liquid Crystal Technology". وهي سوائل منظمة باتجاهات حساسة للمجال الكهربائي، ويتكون الزجاج بهذه التكنولوجيا من طبقتين من مواد مستقطبة يوضع بينهما بلورات سائلة، وعند مرور التيار الكهربائي فإنه يقوم بترتيب هذه البلورات بطريقة تمنع مرور الضوء، فاعمل كل بلورة عمل الباب إما أن تسمح للضوء بالمرور أو لا تسمح. [5] [16]

٣- 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 سويسرًا عام ٢٠٠٤م، حيث استخدم زجاج الكريستال الذي يتمتع بتقنية الحماية من الأشعة فوق البنفسجية، ويؤثر الزجاج على شكل المبنى فيعطي شكلا أكثر ديناميكية واندماجًا مع الطبيعة حيث يتغير لونه وفق أشعة الشمس فيعطي لونا أبيض في الشتاء وشفافية مختلفة في الصيف. [9] ، شكل (١٠)

شكل (١٠) يوضح دار المسنين في سويسرا

٤- تكنولوجيا المجسمات العالقة: ومنها الزجاج الذي يستخدم تطبيقات الـ "Suspended Particle Display" وتعرف بتكنولوجيا "الجزيئات المعلقة". ويتكون الزجاج المستخدم لهذه التكنولوجيا من عدة طبقات مواد مختلفة. [5] [17] تحتوي الطبقة الفعالة على جزيئات عالقة في سائل بشكل عشوائي تمتص الضوء الساقط عليها، وهذه الطبقة تقع بين طبقتين من الموصلات. وعند مرور التيار الكهربائي تنتظم الجزيئات وتسمح للضوء بالمرور. [5] شكل (١١)



شكل (١١) انتظام الجزيئات العالقة عند مرور التيار الكهربائي والسماح للضوء بالمرور [5]

٤/٣/٢ 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. [16] ، شكل(١٢)

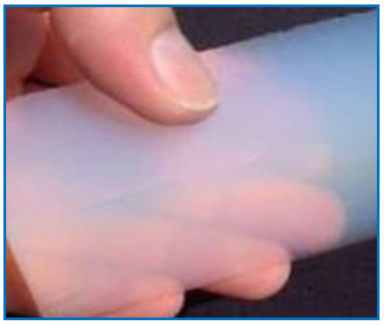
شكل (١٢) مركزمحمد علي كلاي/ بولاية كنتاكي/امريكا

٤/٢/ مواد النانو العازلة:

١/٤/٢/ مادة الايروجيل (Aerogel)

الأيروجيل Aerogel مادة هلامية شفافة تشبه الزجاج، ويمثل الهواء ٩٩.٨ % من حجمها الكلي، وبكثافة تقدر بـ ٣ مجم/سم، لذلك فهي أثقل من الهواء بمقدار ثلاث مرات، كما تعتبر عازل جيد للحرارة، فضلا عن أنها خفيفة الوزن. [5] [16] شكل (١٣)

وقد تم استخدام مادة (Lumira ايروجيل) في مبنى جامعة ومعرض يل للنحت (Yale Sculpture Building and Gallery) ، ونظراً للظروف 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 الشمسي 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، وتساعد الالواح المليئة بمادة الهلام الهوائي علي زيادة نفاذ الضوء المرئي بنسبة ٢٠% ، مما يساعد علي الاستفادة من الضوء الطبيعي و الحد من انتقال الحرارة ، وتقليل استهلاك الطاقة سواء للتبريد أو للاضاءة. [9] شكل (١٤)

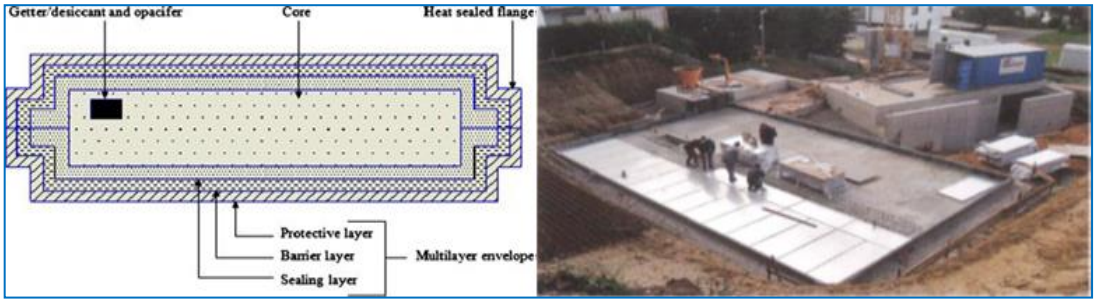


شكل (١٣) مادة الايروجيل

شكل (١٤) مبنى جامعة ومعرض يل ،كما يتضح من الشكل الاضاءة الطبيعية بالمبنى

٢/٤/٢/ ألواح العزل المفرغة:

يتراوح سمك هذه الالواح العازلة المفرغة (Vacuum Insulation Panels VIPs) من ٢ ملم الى ٤٠ ملم ،ويمكن استخدام الواح العزل الحراري المفرغة سواء في تشييد المباني الجديدة، اوفي اعمال الترميم والتجديد ،ويمكن تطبيقها على الجدران والأرضيات [10] ، شكل (١٥)



شكل (١٥) 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) بمركز سفينة الشمس وسط مدينة فرايبورغ / بالمانيا (Sonnenschiff village)، حيث جاء تصميم المبنى ليجمع بين الاستخدام الاقتصادي وكفاءة الطاقة باستخدام مصادر الطاقة المتجددة، ومن الجدير بالذكر أن المبنى ينتج طاقة أكثر 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 فالاستفادة من أشعة الشمس لتحقيق الاستخدام الاقتصادي والكفء للطاقة من خلال استخدام مصادر الطاقة المتجددة، نتيجة استخدام الزجاج المحول للطاقة الشمسية والعزل الحراري وتوليد الطاقة بالمباني، ولا تحتاج المباني لاستخدام وحدات تكييف الهواء في المبنى ويرجع ذلك إلى استخدام مواد البناء المبتكرة، مثل المواد متغيرة الطور Phase Change (Materials PCM) **لتخزين الحرارة الكامنة لتنظيم درجات الحرارة في الأماكن المغلقة باستخدام كبسولات البارافين، وكذلك استخدمت الألواح المفرغة العازلة (VIPs) لعزل الجدران الخارجية والزجاج [9] [10] ، شكل (١٦).**

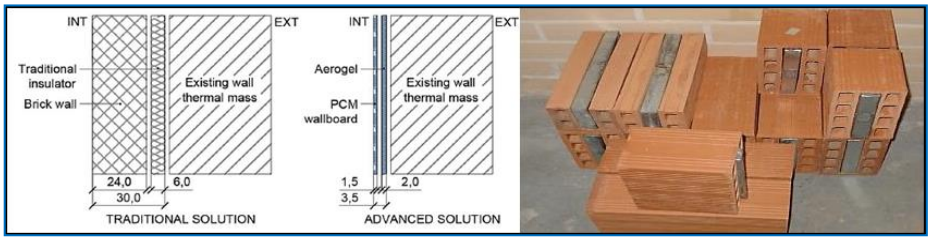
شكل (١٦) يوضح استخدام العزل باستخدام الواح العزل المفرغة (VIPs) بمركزسوننشيف/ مدينة فرايبورغ/ألمانيا

٣/٤/٢/ 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 الطاقة بشكل ملحوظ، ويمكن استخدامها في الحوائط والأسقف والأرضيات.

أ- استخدام المواد متغيرة الطور في الحوائط

يمكن استخدام الكبسولات الميكروية في الطوب الطفلي المفرغ، حيث اثبتت الأبحاث ان ادخال لوح من الكبسولات الميكروية متغيرة الطور بمحور الطوب الطفلي المفرغ بسمك ٣ سم كما بالشكل (١٧) 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. [9] [11]



شكل (١٧) 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 إلى (PCM) ، وكانت الاستفادة 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 الطور (Phase change materials PCMs) 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 تساعد 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 [12].

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.

٣/ منظومة العمارة المستدامة:

تتمثل الأهداف الرئيسية للتصميم المستدام في الحد من استنفاد الموارد الحيوية أو تجنبها تمامًا مثل الطاقة والمياه والأرض والمواد الخام ومنع التدهور البيئي الناجم عن المرافق والبنية التحتية طوال دورة حياتها وخلق بيئات مبنية تكون قابلة للعيش ومريحة وآمنة ومنتجة. بالإضافة إلى تضمين مفاهيم التصميم المستدام في المباني الجديدة ، يشجع دعاة التصميم المستدام بشكل عام على تعديل المباني القائمة بدلاً من البناء من جديد، حيث غالبًا ما تكون عملية تعديل المبنى الحالي أكثر فعالية من حيث التكلفة مقارنة ببناء مرفق جديد، يؤدي تصميم عمليات التجديد والتحديث الرئيسية للمباني القائمة إلى تضمين سمات التصميم المستدام إلى تقليل تكاليف التشغيل والتأثيرات البيئية، كما يمكن أن يزيد من مرونة المبنى. [23]

تقنية النانو الخضراء Green Nanotechnology: تشير إلى استخدام تقنية النانو لتعزيز الاستدامة البيئية لعمليات تنتج حاليًا عوامل سلبية على البيئة، ولكنه يشير أيضًا إلى استخدام منتجات تكنولوجيا النانو لتعزيز الاستدامة، وتعد تقنية النانو الخضراء هي تطوير للتقنيات النظيفة للحد من المنتجات البيئية والمخاطر على صحة الإنسان المرتبطة بتصنيع واستخدام منتجات تقنيات النانو، والتشجيع على الاستعاضة عن المنتجات القائمة بمنتجات نانوية جديدة محتملة أكثر ملائمة للبيئة. [7] [16]

١/٣/ معايير ومبادئ العمارة المستدامة:

تهدف معايير العمارة المستدامة إلى: [1]

- **الحفاظ على الطاقة.**
- **التقليل من استخدام الموارد الجديدة.**
- **احترام الموقع والبيئة المحيطة.**
- **الاهتمام بالمتعاملين والمستعملين.**
- **التصميم الشامل.**

٢/٣/ أنظمة تقييم المباني المستدامة:

يوجد العديد من أنظمة تقييم المباني المستدامة سواء على المستوى العالمي أو الاقليمي أو المحلي والتي تضع الاشتراطات والمعايير الواجب توافرها في المباني للحصول على الاعتماد من أهمها: [8]

- **نظام تقييم المباني المستدامة - المملكة البريطانية (BREEAM).**
- **نظام تقييم المباني المستدامة - الولايات المتحدة الامريكية (LEEDTM).**
- **نظام تقييم المباني الخضراء الدولية - الولايات المتحدة (Green Globes).**
- **نظام تقييم المباني المستدامة - اليابان (CASBEE).**
- **نظام التقييم بدرجات اللؤلؤة "استدامة" - الامارات العربية المتحدة (ESTIDAMA).**
- **نظام الهرم الاخضر للتقييم البيئي - جمهورية مصر العربية (GPRS).**

ومن خلال دراسة بعض أنظمة التقييم نجد أنها تتفق في مجموعة من المعايير الاساسية الواجب توافرها في المباني التي تتصف بالاستدامة وتجعلها شرط للاعتماد لدى أنظمتها. وقد حددت هذه المعايير في (استدامة الموقع ـ كفاءة الطاقة ـ كفاءة المياه ـ المواد والموارد ـ جودة البيئة الداخلية) ، بينما تتباين في توزيع النقاط المكتسبة تبعاً لأهمية كل معيار وباختلاف النظام المستخدم كما هو موضح في جدول (١) الذي يوضح فيه الأوزان النسبية لمعايير تقييم الأداء البيئي في الأنظمة المختلفة، مع العلم توجد بعض المعايير الفرعية المختلف عليها.

جدول (١) متوسط الأوزان النسبية لأنظمة تقييم الاداء البيئي [6]

أنظمة تقييم الاداء البيئي	استدامة الموقع	كفاءة الطاقة	كفاءة المياه	المواد والموارد	جودة البيئة الداخلية
BREEM	% 10	% 19	% 6	% 12.5	% 15
LEED	% 20	% 25	% 7	% 19	% 22
Green Globe	% 11.5	% 38	% 8.5	% 10	% 20
CASBEE	% 15	% 20	% 2	% 15	% 20
ESTIDAMA	% 6.7	% 24.8	% 24.2	% 16	% 21
GPRS	% 5	% 25	% 35	% 10	% 10
متوسط الأنظمة	**% 11.5**	**% 25**	**% 14**	**% 14**	**% 18**

الدراسة التحليلية:

٤/ منهجية تحقيق معايير العمارة المستدامة من خلال تطبيقات النانو:

يتجه البحث نحو دراسة تأثير استخدام تطبيقات تكنولوجيا ومواد النانو في المباني ودورها في تحقيق محددات ومتطلبات منظومة العمارة المستدامة، وذلك من خلال دراسة تحليلية لأمثلة مختارة من مشروعات عالمية تم تنفيذها أو جاري تنفيذها وروعي في تصميمها تحقيق معايير العمارة المستدامة باستخدام التقنيات والتجهيزات النانوية.

عينات الدراسة:

تم اختيار عدد من المشروعات المستقبلية العالمية وهي كما يلي:

- **مشروع برج أوف ذا جريد** Off the grid-Sustainable Habitat **ـ الصين**
- **مشروع برج غلاف النانو** ـ الجدار الاخضر Nano Vent-Skin NVS ـ **المكسيك**
- **مشروع برج مضاد الضباب** Anti-Smog Tower ـ **فرنسا**

خصائص عينات الدراسة:

تم تحديد مواصفات عينات الدراسة اعتماداً على الأسس التالية:

- **يشترط أن يكون المبنى معاصر للفترة الزمنية التي نشأت وتطورت فيها التقنيات النانوية بالمباني، للحصول على منهجية واقعية.**
- **أن تكون المشروعات عالمية، حتى تتمتع الدراسة بتغطية أكبر قدر ممكن لمختلف التقنيات النانوية التي ترفع من أداء متطلبات العمارة المستدامة، والحصول على أكبر قدر من التقنيات والأنظِمَة التي يمكن الاستفادة منها في المشاريع المحلية.**

١/٤/ مشروع برج أوف ذا جريد Off the grid-Sustainable Habitat

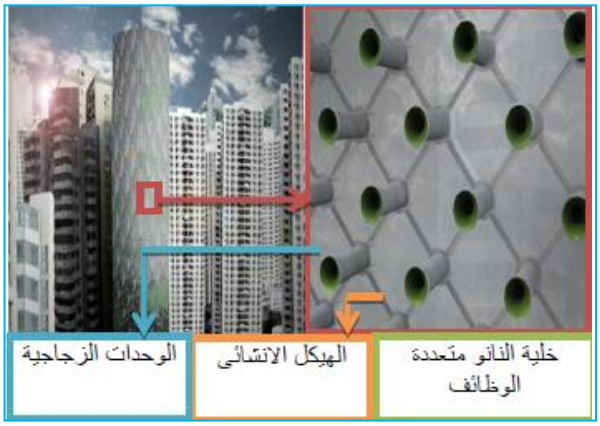
يعتبر هذا المشروع جزء من تطوير المساكن المستدامة في المناطق الحضرية في الصين لعام 2020 م. فقد تم اقتراح هذا المشروع لتوظيف الطاقات للحفاظ على الموارد المتجددة، وذلك باستخدام الأغشية والحساسات النانوية حيث تتفاعل مع البيئة المحيطة، شكل (١٩) ، فالمبنى لن يحتاج أن يكون متصلًا بأنظمة الطاقة وأنظمة إمدادات المياه التقليدية، فقد ساعدت أجهزة الاستشعار النانوية بالمبني على توفير المياه بتحقيق الاكتفاء الذاتي من المياه من خلال: [19] [20] [24]

- **تجميع مياه الامطار وتخزينها في خزانات عن طريق خلايا النانو.**
- **اصطياد الرطوبة من الجو في فترات الجفاف وتجميعها عن طريق الخلايا النانوية.**
- **تنقية وترشيح مياه الأمطار وتخزينها داخل الحوائط الداخلية.**
- **تنقية وترشيح مياه الصرف الرمادية.**
- **استخدام حلقات مغلقة لدورة المياه لاستغلال المياه العذبة.**

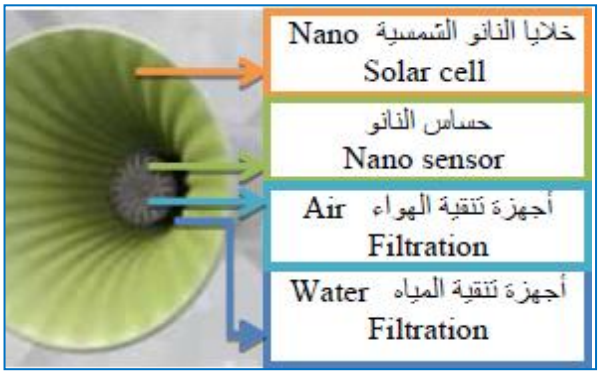
خلايا نانوية متعددة الوظائف: تتكون خلية النانو متعددة الوظائف من شكل اسطواني يتحول لشكل مخروطي كشكل الزهرة أثناء عملية الخلية وتتكون من جسم داخلي من الخلايا الشمسية ومركزها عبارة عن أجهزة النانو لتنقية الهواء، وحولها فتحات موصلة بمسارات المياه والتي تفتح أثناء وجود المطر، ويتحكم بكل الأجهزة مجموعة من خلايا استشعار النانو (Nano Sensor) [18] شكل (٢٠).

الهيكل الإنشائي: وهو عبارة عن شبكة من الأنابيب المتداخلة على زاوية ٤٥ مفرغة من الداخل يمر بداخلها: [6]

- **اسلاك النانو التي تنقل الكهرباء المولدة من الخلايا الشمسية.**
- **انابيب نقل الهواء بعد عملية تنقيته الى الفراغات الداخلية.**
- **أنابيب نقل مياه الأمطار الى خزانات المياه.**



شكل (١٩) مكونات غلاف المبنى



شكل (٢٠) مكونات خلية النانو متعددة الوظائف

الوحدات الزجاجية: عبارة عن وحدات من الزجاج أو البلاستيك حسب رغبة مستخدم الفراغ الداخلي.

ويعمل غلاف المبنى كناقل حيوي بين البيئة الداخلية والخارجية يقوم بتغذية الفراغات الداخلية.

- **الإضاءة الطبيعية طوال فترات اليوم وتوليد الكهرباء اللازمة للإضاءة الليلية عن طريق الخلايا الشمسية.**
- **الهواء النقي عن طريق تفعيل غلاف المبنى كجهاز تبريد طبيعي للبيئة الداخلية.**
- **المياه النقية عن طريق مياه الامطار أو سحب رطوبة الهواء وتكثيفها.**
- **الكهرباء اللازمة لكافة التجهيزات داخل المبنى. [19]**

وتتلخص نتائج تطبيق تكنولوجية النانو في المشروع كما بالجدول التالي: (جدول ٢)

تأثير تطبيقات تكنولوجيا النانو في مشروع برج أوف ذا جريد Off the Grid

تطبيقات تكنولوجيا النانو	مواد النانو Nano Material						أجهزة النانو Nano Device				
	مواد الانشاء			المواد المكملة							
	خرسانة	حديد	أنابيب نانو كربونية	الخشب	الزجاج	الحوائط الجافة	مواد العزل	الطلاءات	الإضاءة	تنقية الهواء	تنقية المياه	الطاقة الشمسية	تخزين الطاقة
	-	-	-	-	√	-	-	√	√	√	√	√	√

معايير الاستدامة	استدامة الموقع	المواد والموارد	كفاءة البيئة الداخلية	كفاءة المياه	كفاءة الطاقة
	ـ الحد من اصدار الكربون. ـ مكافحة تلوث الهواء. ـ التفاعل مع البيئة المحيطة. ـ اكتفاء ذاتي من الطاقة.	ـ استخدام مواد ذكية. ـ الاستغلال الامثل لكافة المواد. ـ مواد متعددة	ـ المياه النقية. ـ الهواء المرشح. ـ الاضاءة الطبيعية. ـ فراغات ذكية. ـ التهوية الطبيعية. ـ اطلالة بانورامية. ـ التبريد الطبيعي.	ـ تنقية وترشيح مياه الامطار. ـ تنقية مياه الصرف. ـ اجتذاب الرطوبة من الهواء.	ـ توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية. ـ تنقية الهواء عن طريق خلايا النانو. ـ تدوير المخلفات لتوليد الطاقة. ـ تدوير المياه الرمادية.

	ـــ اكتفاء ذاتي من شبكات المياه والصرف. ـ متنفس للمدن الكبرى. ـــ تنقية الهواء للبيئة الخارجية. ـــ عدم التأثير السلبي على الموقع.	الاستخدام. ـ مواد غير ملوثة للبيئة. ـــ اعادة تدوير مخلفات المبنى الصلبة والعضوية.	ـ التدفئة الصحية.	ـــ استخدام المياه في حلقة مغلقة لإعادة استخدامها. ـــ تجميع مياه الامطار وتخزينها في قنوات.	ـ التدفئة من تدوير المخلفات. ـــ تبريد الهواء بدون اجهزة تبريد. ـــ الاكتفاء الذاتي من الطاقة الطبيعية.
توظيف تطبيقات النانو لتحقيق معايير الاستدامة	الهيكل الانشائي	غلاف المبنى			البيئة الداخلية
	ـ لم يذكر اعتماد المبنى على مواد النانو في الهيكل الخرساني، ولكن استفاد منه في عمل مسارات للاسلاك والانابيب.	ـــ غلاف المبنى ناقل حيوي للطاقة عن طريق اجهزة الاستشعار وخزانات الطاقة في استجابة لما تتطلبه الفراغات الداخلية. ـ غلاف المبنى عبارة عن مجموعة من اجهزة النانو (خلايا النانو متعددة الوظائف) ـ تندمج اجهزة (تنقية المياه ـ تنقية الهواء ـ خزانات الطاقة ـ الخلايا الكهروضوئية) داخل خلايا النانو. [6]			البيئة الداخلية ذكية لا تفعل النشاطات من الاضاءة او المياه الا عند استشعار حاجة المستخدم وتحديد نوعية النشاط الذي يقوم به، فلا تهدر تلك الفراغات اي طاقة غير مستخدمة. ـــ حوائط الفراغات الداخلية عبارة عن اجهزة استشعار موصلة بخزانات الطاقة
النتائج	ـ المبنى هو اندماج (تكنولوجيا النانو + العمارة الذكية) عمارة نانوذكية Smart Nano Architecture. ـ مفهوم جديد للاسكان المستدام التي تؤدي الى استدامة المدن. ـ اعتمد المبنى على اجهزة النانو ليحقق استدامة المبنى من حيث الاعتماد على البيئة الخارجية والطاقات الطبيعية المتجددة للاكتفاء الذاتي من (الكهرباء ـ الهواء ـ المياه ـ طاقة البيوجاز). ـ تدعيم الفكر المعماري، حيث تعتبر السطوح الخارجية للمبنى فقط كفاصل بين البيئة الداخلية والخارجية ليكون غلاف المبنى عنصر حي يعمل على تغذيته بالاضاءة والمياه والهواء النقي. ـ الاستغناء التام عن الشبكات الدولية (الطاقة ـ المياه ـ الصرف الخارجية)				

٢/٤/ مشروع برج غلاف النانو ـ الجدار الاخضر Nano Vent-Skin NVS

استخدم المعماري Agustin Otegu نهج جديد في تصميم هذا المبني من خلال تصميم هياكل أكثر استدامة وأكثر كفاءة في استخدام الطاقة، تم ادماج وسائل مختلفة في امتصاص الطاقة، ولتحويلها فالغلاف الخارجي للمبني يتكون من توربينات الرياح الصغيرة (NVS) ، التي تولد الطاقة من الرياح والغلاف الخارجي يمتص أشعة الشمس بالإضافة لاستخدام خلايا النانو لتخزين هذه الطاقة لتغذية المبني كليا بكافة احتياجاته من الطاقة [15] ، شكل (٢١)

شكل (٢١) يوضح الواجهة الخارجية لمبنى Nano Vent-Skin

مكونات وحدات توليد الطاقة (NVS) بالمبني

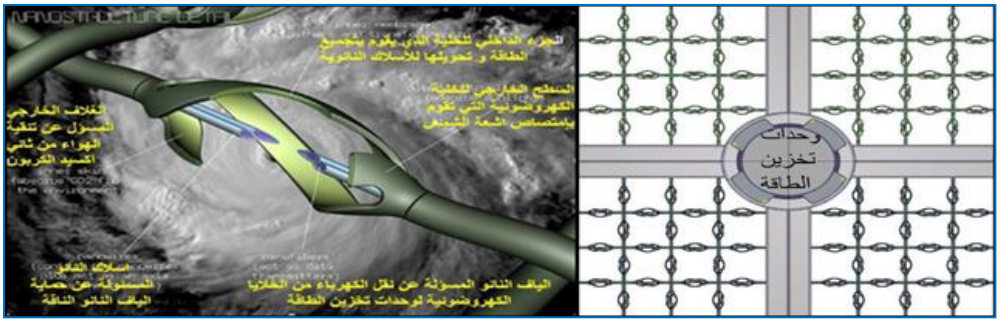
تتكون وحدات (NVS) من مجموعة من الاجزاء.

ـ الغلاف الخارجي للوحدات عبارة عن خلايا كهروضوئية التي تقوم بامتصاص اشعة الشمس.

- **الياف النانو**
- **اسلاك النانو وهي الوحدات المسئولة عن تخزين الطاقة.**

طريقة عمل وحدات توليد الطاقة(NVS) بالمبني

الغلاف الخارجي للهيكل يمتص أشعة الشمس من خلال الخلايا الضوئية العضوية ويتم تحويلها إلى الألياف النانوية داخل أسلاك النانو التي يتم بعد ذلك إرسالها إلى وحدة تخزين في نهاية كل لوحة، وجميع التوربينات على اللوحة تولد الطاقة من خلال التفاعلات الكيميائية في كل نهاية ، وهي عبارة عن مجموعة من التور بينات الصغيرة (25*10.8) وتعمل هذه التور بينات عند مرور الرياح، فتقوم بالدوران حول محورها كلا على حده، لتعمل كمنظومة متكاملة لتوليد الطاقة الكهربية من الطاقة الحركية ولتحقيق أفضل النتائج من الطاقة ، فقد تم تصميم ريش التوربينات تستطيع أن تغير اتجاهها مع أو عكس عقارب الساعة حسب اتجاه الرياح حول المبني، شكل (٢٢). [2]



شكل (٢٢) مكونات خلايا غلاف النانو (NVS) بالمبني، ووحدات تخزين الطاقة في نهاية الالواح

يعمل الغلاف الخارجي مثل جلد الإنسان، عندما نعاني من الانقطاع يرسل الدماغ الاشارات والموارد اللازمة لهذه المنطقة المحددة ويقوم باستعادتها في أسرع وقت ممكن، يعمل NVS بنفس الفكرة فكل لوحة لديها جهاز استشعار في كل ركن مع خزان المواد عندما يكون أحد التوربينات فشل وتعطل، يتم إرسال إشارة من خلال أسلاك النانو، ويتم إرسالها من خلال أنبوب مركزي من أجل تجديد هذا المجال مع عملية التجميع الذاتي. فكل لوحة تتكون من: [15]

- **راصد لمراقبة عمل جميع التوربينات.**
- **مخزن مواد لتجديد واصلاح اي كسر أو خلل قد يحدث للتور بينات.**
- **استقبال وتخزين الطاقة التي تنتجها التوربينات.**

وتتلخص نتائج تطبيق تكنولوجية النانو في المشروع كما بالجدول التالي، جدول(٣):

تأثير تطبيقات تكنولوجيا النانو في مشروع برج غلاف النانو ـ الجدار الاخضر Nano Vent-Skin NVS

تطبيقات تكنولوجيا النانو	مواد النانو Nano Material							أجهزة النانو Nano Device				
	مواد الانشاء			المواد المكملة								
	خرسانة	حديد	انابيب نانو كربونية	الخشب	الزجاج	الحوائط الجافة	مواد العزل	الطلاءات	الإضاءة	تنقية الهواء	تنقية المياه	الطاقة الشمسية	تخزين الطاقة
	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	√	√

معايير الاستدامة	استدامة الموقع	المواد والموارد	كفاءة البيئة الداخلية	كفاءة المياه	كفاءة الطاقة
	ـ عدم التأثير السلبي على الموقع. ـ الحد من انبعاثات الكربون. ـ الاكتفاء الذاتي من الطاقة.	ـ استخدام مواد يمكن تدويرها. ـ مواد غير ملوثة. ـ مواد متعددة الاستخدام.	ـ تنقية الهواء. ـ اضاءة طبيعية. ـ اطلالة بانورامية. ـ التهوية الطبيعية.	ـ لم يستخدم المبنى اي من استراتيجيات كفاءة المياه.	ـ توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية وتوربينات الرياح. ـ الاضاءة الطبيعية لكامل المبنى.

توظيف تطبيقات النانو لتحقيق معايير الاستدامة	الهيكل الانشائي	غلاف المبنى	البيئة الداخلية	
	ـ ـ لم يذكر اعتماد المبنى على مواد النانو في الهيكل الخرساني	ـ هو عبارة عن عدد لا نهائي من وحدات (NVS) ويقوم غلاف المبنى بكافة استراتيجيات الاستدامة بالمبنى ـ يتكون غلاف المبنى من تقنيات اجهزة النانو المباشرة.	ـ لم يذكر اعتماد المبنى على مواد النانو في الفراغات الداخلية.	
النتائج	ـ المبنى هو اندماج (تكنولوجيا النانو + العمارة الخضراء) عمارة نانو الخضراء Green Nano Architecture. ـ المبنى يقوم بالاعتماد على الطبيعة في توفير الطاقات اللازمة لاحتياجاته. ـ لان المبنى قائم على الوحدة فيمكن توظيفه في كل انواع المباني وكل اشكالها ووظائفها. ـ وحدة (NVS) تطبيق مباشر لتطبيقات تكنولوجيا النانو بالعمارة. ـ يقدم المبنى مفهوم جديد لعمارة الوحدة (تصميم لا يعتمد على المبنى ولكن يعتمد على وحدة المبنى). ـ المشروع يقوم على تأهيل المباني القائمة لتكون مستدامة ـ والمشاريع المستقبلية.			

٣/٤/ مشروع برج مضاد الضباب Anti-Smog Tower

مقترح لمشروع مستقبلي يقع على القناة المائية دولوكيت في باريس ـ فرنسا والمعروفة بالضباب الشديد وارتفاع مستوى الملوثات، وقام بتصميمة المعماري Vincent Callebaut ، عام ٢٠٠٧م. حيث استخدم تكنولوجيا النانو لصناعة نموذج مبنى مستدام، يعتمد على الطاقات المتجددة مع أقل أثر بيئي، ولتنقية الهواء من الملوثات، ويتكون المشروع من جزئين: شكل(٢٤) [8] [21]

القطرة الشمسية Solar Drop: تحتوي على مناطق ترفيهية كالحدائق وحمامات السباحة وصالات الالعاب والمحلات التجارية، وهي عبارة عن شكل بيضاوي مبني أعلى جسر وقد تم تحقيق الاستدامة من خلال تطبيقات النانو في العناصر التالية: [6]

ـ السطح الأزرق: ٢٥٠ م٢ من الخلايا الكهروضوئية تغطي سطح المبنى.

ـ السطح الشفاف: لتغذية المبنى بالاضاءة الطبيعية.

ـ الاقواس الخضراء لتجميع وتخزين مياه الامطار وتخفيف الاحمال الحرارية.

ـ طلاء النانو الابيض: ذو خاصية التنظيف الذاتي ومكافحة تلوث الهواء بتحليلها إلى مركبات غير ضارة.

برج الرياح Wind Tower: ويحتوي على متحف ومعرض ومركز لعلوم الطاقات المتجددة، وتم استخدام نفس التطبيقات التي في القطرة الشمسية مع استخدام توربينات الرياح المثبتة على الهيكل الانشائي لغلاف المبنى المكون من ألياف البوستر وذلك لانتاج الكهرباء.

شكل (٢٤) مشروع برج الضباب ـ اعتماد المبنى على توربينات الرياح والخلايا الكهروضوئية وطلاءات التحفيز الضوئي

وتتلخص نتائج تطبيق تكنولوجية النانو في المشروع كما بالجدول التالي، جدول(٤):

تأثير تطبيقات تكنولوجيا النانو في مشروع برج مضاد الضباب Anti-Smog Tower											
تطبيقات تكنولوجيا النانو	مواد النانو Nano Material						أجهزة النانو Nano Device				
	مواد الانشاء			المواد المكملة							
	خرسانة	حديد	أنابيب نانو كربونية	الخشب	الزجاج	الحوائط الجافة	مواد العزل	الطلاءات	الاضاءة	تنقية الهواء	تنقية المياه	الطاقة الشمسية	تخزين الطاقة
	√	√	–	–	√	–	–	√	–	√	–	√	√
معايير الاستدامة	استدامة الموقع		المواد والموارد		كفاءة البيئة الداخلية		كفاءة المياه		كفاءة الطاقة				
	ـــ مكافحة تلوث الهواء. ـ الحد من اصدار الكربون. ـ الاكتفاء الذاتي من الطاقة. ـــ متنفس للمدن الكبرى. ـ تنقية الهواء للبيئة الخارجية. ـــ التأثير الايجابي على الموقع.		ـــ مواد متعددة الاستخدام. ـــ مواد غير ملوثة. ـــ الاستغلال الامثل. ـــ مواد ذاتية التنظيف. ـ صيانة اقل. ـ مواد يمكن اعادة تدويرها. ـ العمر الاطول للمواد.		ـ التهوية الطبيعية. ـــ حوائط ذاتية التنظيف. ـ اضاءة طبيعية. ـــ اطلاله بانورامية. ـ تنقية الهواء. ـ حدائق سطحية.		ـــ تخزين مياه الامطار. ـ الحدائق السطحية لاستقبال المياه الناتجة من عملية التحفيز الضوئي بغلاف المبنى. ـ تنقية مياه الامطار عن طريق الاقواس الخضراء		ـــ توليد الكهرباء (توربينات الرياح ، خلايا كهروضوئية) ـ توفير طاقات الصيانة والتنظيف. ـــ الاضاءة الطبيعية لكامل فراغات المبنى. ـــ تنقية الهواء من غلاف المبنى. ـــ التبريد الطبيعي للهواء. ـ طاقة اقل للمصاعد.		
توظيف تطبيقات النانو لتحقيق معايير الاستدامة	الهيكل الانشائي			غلاف المبنى			البيئة الداخلية						
	ـــ يستخدم المبنى الياف البوليستر المقوى بالصلب في القطرة الشمسية. ـــ يستخدم الكور الخرساني الياف البوليستر المقوى بالصلب ببرج الرياح.			غلاف المبنى بالكامل عبارة عن مواد النانو وأجهزة النانو (خلايا كهروضوئية ـ توربينات رياح ـ حوائط زجاجية) معلقة على الياف البوليستر المقوى بالصلب وجميعها مغطاة بطلاء ثاني اكسيد التيتانيوم. [6]			الفراغات الداخلية جميعها انعكاس لغلاف المبنى الداخلي المكون من مواد النانو المغطاة جميعها بطلاء ثاني اكسيد التيتانيوم.					
النتائج	ـ المبنى هو اندماج (تكنولوجيا النانو + العمارة المستدامة) ـ يقدم المبنى مفهوم جديد للعمارة ودورها في تحسين وازالة التلوث البيئي والمساعدة على تحسين البيئة الداخلية والخارجية في مجال الطاقة ـ تنقية الهواء. ـ المبنى يعتمد على كافة عناصره (هيكل انشائي ـ غلاف مبنى ـ الفراغات الداخلية) لتحقيق استراتيجيات الاستدامة. ـ اعتمد المبنى على تكنولوجيا النانو (مواد النانو + اجهزة النانو) ليحقق استدامة المبنى من مجموعة استراتيجيات لاستغلال المواد وقدرتها على التشكيل وتعدد وظائفها الحيوية. ـ استراتيجيات المبنى تعمل على تقليل الكربون بالمنطقة الصناعية بباريس.											

(Online) (ISSN 2735-5543) print: (ISSN: 2735-5535)

/٤/ نتائج الدراسة التحليلة:

تتميز المباني محل الدراسة بتنوع استخدام تطبيقات النانو لتحقيق الاستدامة وتوظيف عدد كبير منها على عدة مستويات تختلف باختلاف نوع المبنى ووظيفته والظروف البيئية المحيطة به، ويوضح الجدول(٥) مقارنه بين استخدام المباني محل الدراسة لتكنولوجيا تطبيقات النانو.

جدول (٥) مقارنة بين استخدام المباني محل الدراسة لتطبيقات النانو

استخدام تطبيقات النانو بالامثلة				
تطبيقات تكنولوجيا النانو			برج أوف ذا جريد	برج غلاف النانو - الجدار الأخضر	برج مضاد الضباب
مواد النانو	مواد الانشاء	خرسانة	x	x	√
		حديد	x	x	√
		انابيب النانو الكربونية	x	x	x
	مواد مكملة	خشب	√	x	x
		زجاج	x	x	√
		حوائط جافة	x	x	x
	مواد عزل		x	x	x
	طلاءات		√	x	√
اجهزة النانو	اضاءة		√	x	x
	تنقية هواء		√	x	√
	تنقية مياه		√	x	x
	طاقة شمسية		√	√	√
	تخزين طاقة		√	√	√
معايير الاستدامة	استدامة الموقع		√	√	√
	المواد والموارد		√	√	√
	كفاءة البيئة الداخلية		√	√	√
	كفاءة المياه		√	√	√
	كفاءة الطاقة		√	√	√
اجزاء المبنى	الهيكل الانشائي		x	x	√
	غلاف المبنى		√	√	√
	بيئة داخلية		√	x	√

<u>ويتضح لنا من خلال الدراسة ما يلي:</u>

- معدل استخدام مواد النانو بالأمثله محل الدراسة أن طلاءات النانو المختلفة تأتي بالمرتبة الاولي من حيث الاستخدام وذلك للقيمة المضافة للأسطح بفضل تلك الطلاءات. يأتي من بعدها الزجاج والخشب وكذلك استخدام المواد الانشائية (الخرسانة - الحديد) بينما هناك عدة مواد لم يتم الاستعانة بها في الامثلة الموضحه مثل الحوائط الجافة وأنابيب النانو الكربونية ومواد العزل.

- معدل استخدام أجهزة النانو بالامثلة محل لدراسة: معظم اجهزة النانو تم استخدامها وتأتي بالمرحلة الاولى تجهيزات تخزين الطاقة وكذلك تجهيزات الطاقة الشمسية حيث تم استخدامها بشكل واسع النطاق بالأمثلة الموضحة، فتسعى كل المباني للاعتماد على الطاقة المتجددة، يأتي بعدها تجهيزات تنقية الهواء في المرحلة الثانية، ثم تأتي تجهيزات الإضاءة وتنقية المياه.

- الاعتماد على اجهزة النانو يمثل الهيكل الرئيسي لتحقيق الاستدامة بالأمثلة محل الدراسة، وأن المباني اعتمدت بشكل رئيسي على أجهزة النانو (الطاقة الشمسية - تخزين الطاقة - تنقية الهواء)

ـ برج أوف ذا جريد وكذلك برج مضاد الضباب أكثر الامثلة استخداما لتطبيقات النانو بحيث استخدام ٧ تطبيقات من أصل ١٣، ثم برج غلاف النانو حيث استخدم تطبيقين فقط.
ـ جميع تطبيقات النانو المستخدمة بالأمثلة محل الدراسة تحقق (استدامة الموقع ـ كفاءة البيئة الداخلية ـ كفاءة المياه ـ كفاءة الطاقة ـ المواد والموارد) ولكن بنسب متفاوته.
ـ جميع تطبيقات النانو المستخدمة تم توظيفها (غلاف المبنى ـ البيئة الداخلية ـ الهيكل الانشائي) ولكن بنسب متفاوتة.

٥/ النتائج والتوصيات

٥/١/ النتائج:

من خلال ما سبق تم التوصل إلى النتائج التالية:

- **تعتبر تكنولوجيا النانو تطبيقًا متطورًا لتطبيقات الاستدامة والعمارة الخضراء، حيث أن منتجات وتطبيقات تكنولوجيا النانو في المباني تقدم حلولًا معمارية لجميع المشاكل البيئية الناتجة عن المباني و تعمل علي رفع كفاءة المباني في جميع مراحل دورة حياة المبني.**
- **أدى اندماج تكنولوجيا النانو والعمارة إلى تغير في الفكر المعماري وظهور انماط جديدة من المباني.**
- **استخدام المواد المعالجة بتقنية النانو يطيل من العمر الافتراضي للمبنى عن استخدام المواد التقليدية.**
- **تدخلت تكنولوجيا النانو في تحسين مواد البناء وأساليب التنفيذ مما ساعد في تطوير خصائصها ووظائفها مثل المواد المضافة للخلطات الخرسانية والاخشاب والحديد.**
- **تساهم تكنولوجيا النانو في مجال تنقية المياه بشكل فعال.**
- **ساعدت تكنولوجيا النانو على تنقية الهواء والقضاء على نسبة كبيرة من ملوثات الهواء، كما ساهمت في مجال الطاقة بشكل كبير من خلال خلال تطوير آداء الخلايا ومضاعفة انتاجها وتقليل التكلفة.**
- **ظهور انماط جديدة من المشاريع التي تعتمد على انتاج الطاقة.**
- **مواد البناء المعالجة بتقنية النانو هي مواد صديقة للبيئة.**

٥/٢/ التوصيات:

ومن أهم التوصيات التي من شأنها الارتقاء بتكنولوجيا النانو وتحقيق التوازن بين البيئة والتكنولوجيا، وخلق مباني مستدامة، ما يلي:

- **حث المعماريين خاصة في مصر على استخدام المواد النانوية وذلك لمدي كفاءتها، من خلال نشر الوعي بين الأوساط المعمارية بأهمية تكنولوجيا النانو لتحسين أداء المباني وتحقيق الإدارة الفعالة للطاقة.**
- **الاستفادة من تطبيقات تكنولوجيا النانو فى المبانى لتوفير الطاقة وتوفير تكاليف التشغيل والصيانة.**
- **تدريب العاملين والفنيين في مجال البناء على تركيب وصيانة تطبيقات النانو.**
- **تبني الدولة تنفيذ مشروعات في المباني العامة والتعليمية لنشر التوعية والتطبيق العملي لتكنولوجيا النانو.**
- **طرح مناهج دراسية لتكنولوجيا النانو وتطبيقاتها في مجال العمارة وتنظيم ورش عمل دورية في الجامعات والمعاهد المصرية لدور تطبيقات النانو.**

٦/ الخاتمة:

أثرت تكنولوجيا النانو على العمارة من خلال تقنيات مواد البناء ومع الاندماج الكامل بالممارسات المستدامة للمباني، ظهرت عمارة النانو المستدامة، والتي تعتمد على مواد نانوية ذات استدامة بكل مرحلة من مراحل دورة حياتها، حتى تكون تطبيقًا عمليًا لاندماج وتكامل تكنولوجيا النانو ومبادئ العمارة المستدامة.

٥/ المراجع:

- المنشاوي، أحمد نبية (٢٠١٧)، **"تقنية النانو كمدخل للعمارة الخضراء"**، معهد الدراسات والبحوث البيئية، جامعة عين شمس، مجلد ٣٧، الجزء الثاني، القاهرة ، مصر.
- بسيوني، محمد احمد علي (٢٠١٩)، **"تأثير تكنولوجيا النانو على ملامح العمارة المعاصرة"**، رسالة ماجستير، قسم العمارة، كلية الهندسة، جامعة الازهر، مصر.
- ـ صلاح الدين، ياسر محمد (٢٠١٣) ، **"تكنولوجيا النانو وتأثيرها على العمارة من حيث اساليب البناء ومواد التشطيب"**، رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة القاهرة.
- حربة ، علا ، (٢٠١٧) ،**"العمارة فى ظل تقنية النانو"**، مجلة جامعة البعث، المجلد ٣٩، العدد ١٨.

- ـ فريد، علاء الدين السيد ـ أبو غزالة ، اسعد ـ الشامي ، عادل عبد الحميد (٢٠١٥)، **" مواد البناء الذكية والنانوية، مدخل لزيادة كفاءة وتكامل المباني الذكية"**، مجلة جامعة جازان، مجلد ٤، العدد٢، المملكة العربية السعودية.
- وائل، محمد ذكي عبد السلام، (٢٠١٥)، **"دور تطبيقات النانو تكنولوجي في العمارة لتحقيق مفاهيم الاستدامة"**، رسالة ماجستير، قسم العمارة، كلية الهندسة بالمطرية، جامعة حلوان، مصر.
- ـ محمد، مرفت رشاد، علي، ايمن جابر حسونة، (٢٠١٧) ، **"التطبيقات البيئية الخضراء لتكنولوجيا النانو في المستقبل"** ، المؤتمر الدولي السابع للاتحاد العربي للتنمية المستدامة والبيئة (سبل تعزيز التكنولوجيا النظيفة والتقنيات الصديقة للبيئة بالمنطقة العربية) في بدار ضيافة جامعة عين شمس.
- احمد، محمد سيف النصر (٢٠١٧)، **" دور تطبيقات تقنية النانو في تحقيق العمارة المستدامة"**، مجلة القطاع الهندسي، كلية الهندسة ، جامعة الأزهر، مجلد ١٢، العدد٤٢، القاهرة ، مصر.
- بسيوني، محمد احمد علي (٢٠١٩)، **"تطبيقات النانو في العمارة"**، مجلة القطاع الهندسي ، كلية الهندسة ، جامعة الأزهر، مجلد ١٤، العدد ٥٣، القاهرة ، مصر.
- الدريهم ، أسامة بن جاسم بن عثمان (٢٠٠٧)،**"تطبيقات تقنية النانو في العزل الحراري"**، مجلة العلوم والتقنية، العدد٨٤.
- جورج ، رامي، واخرون،(٢٠١١) ،**"تأثيراستخدام المواد متغيرة الطور PCM في الجدران والسقف في الاحمال الحرارية ودرجة الحرارة الداخلية في الابنية"**، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية،المجلد ٣٣،العدد ٣.
- احمد، مها ،(٢٠١٦)، **"اختيار المواد متغيّرة الطور (PCM) من أجل تكييف هواء المنازل في فصل الصيف"**،مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية،المجلد ٣٨، العدد٤.
- ـ عبد الهادى، دينا، (٢٠١٣)،**"اثر تطبيقات تكنولوجيا النانو على حيزات العمارة الداخلية السكنية"**، رسالة ماجستير، كلية الفنون الجميلة، جامعة حلوان، مصر.

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

15 - Sequeira, S,. (2015), "Applications of Nanotechnology in Renewable Energy Sources Exploitation", Manipal Technologies Limited.

16 - Elvin ,George ,(2009), "Nanotechnology for Green Building", London, ELSEVIER.

17 - Wang, Shengwei. (2010) , " Intelligent Buildings and Building Automation", Spon Press – an Imprint of Taylor & Francis Group, Oxon , USA .

18 - M Abdelall Ibrahim,dina Nassar,Zayed Tarek Elsayed, (2009) Course Instructor "The Future Of Architecture Vision Of The Nanocity",University of Alexandria,Fuculty Of Engineerring,Department Of Architecture,2009.

19 - http://www.yatzer.com/1095_off_the_gridsustainable_habitat_2020

20 - Off the Grid: Sustainable Habitat2020 ,video https://www.youtube.com/watch?v=-wmiNhkptQw

21 - http://inhabitat.com/anti-smog-architecture-a-catalyst-for-cleaner-air-in-paris.

22 - Fahd Abd Elaziz Ahmed Omar Hemeida, (2010), "GREEN NANO ARCHITECTURE", University of Alexandria Faculty of Engineering, Department of Architecture.

23-National Institute of Building Sciences, Whole Building Design guide, http://www.wbdg.org/design/sustainable.php

24 - Problem: Pollution / Solution: Sustainable habit at 2020, http://www.popsci.com/environment/article/2010-09/life-edge?page=2%2C3