Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. 7 – No.4, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

دراسة تحليلية لدور مواد النانو فى تحقيق الكفاءة الحرارية لأغلفة المبانى

An Analytical Of The Role Of Nanomaterials In Achieving The Thermal Efficiency Of Building Envelopes

م.م / منار حسين محمد [1] ، ا.م.د/ ايناس عبد الصبور [2] ، د / سيد مرعي منصور [3]
[1] مدرس مساعد بمعهد القاهرة العالى للهندسة وعلوم الحاسب والإدارة. engmanarhoussien@gmail.com
[2] أستاذ مساعد بقسم الهندسة المعمارية – كلية الهندسة بالمطرية – جامعة حلوان. Inas.abdelsabour@gmail.com
[3] مدرس بقسم الهندسة المعمارية – كلية الهندسة بالمطرية – جامعة حلوان. Sayed.mar3y@gmail.com

ملخص البحث ـ أحـدثت تقنيــة النانــو ثورة في مجال مواد التشطيب وتحقيق الكفاءة الحرارية للمبانى، لذا تناول البحث التعريف بتقنية النانو والكفاءة الحرارية وكيفية تحقيقها من خلال إستخدام مواد النانو فى الغلاف الخارجي للمبانى . كما رصد البحث الإستخدامات المختلفة لتقنيــة النانــو التى ساعدت في تطور العمارة من خلال تقديم حلول للعديد من العناصر غير الهيكلية، مثل مواد العزل والطلاء والزجاج وغيرها، ومن أجل تحقيــق نظام متكامل لبناء مستدام بالنانو و لتعزيز وإزالة الملوثات البيئية وكذلك تحقيق الكفاءة الحراريـــة من خلال توفير الراحة الحرارية للمبنى .

Abstract- Nano technology has revolutionized the field of finishing materials and achieving thermal efficiency of buildings, so the research dealt with defining nano technology and thermal efficiency and how to achieve them through the use of nano materials in the outer shell of buildings. The research also monitored the various uses of nanotechnology, which helped in the development of architecture by providing solutions for many non-structural elements, such as insulation materials, paint, glass, ..., and in order to achieve an integrated system for sustainable construction using nanotechnology and to enhance and remove environmental pollutants, as well as achieving thermal efficiency by providing comfort. Thermal of the building.

مصطلحات البحث ـ تقنية النانو، مواد النانو، غلاف المبنى، الكفاءة الحرارية، الراحة الحرارية .

1. مقدمة

أخذ مفهوم العمارة النانونية في الإنتشار بقطاعات البناء والتشيد في الدول المتقدمة، كإنعكاس مباشر للحركة التكنولوجية العالمية نحو مستقبل أفضل، وبحدوث ثورة النانو تكنولوجي والتغيير في ذرات المواد أصبحت مواد التشطيب ليست مجرد كسوه خارجية للمبنى، بل أصبحت أحد الأدوات لتطبيق الوظيفة والتكامل معها ولكن لم يتم إستغلال تلك الخواص بعد . تعتبر تكنولوجيا النانو [1] ثورة تكنولوجية جديدة للتحكم في المواد وخصائصها وتصميم مواد جديدة تختلف كلياً أو جزئياً عن المواد المتعارف عليها، كما تقوم بتوظيف خصائصها إلى الأهتمام بالبيئة المحيطة وخطة إستمراريتها وإستدامها على المدى الطويل وكلما ازداد فهمنا وإستيعابنا كمعماريين لضرورة الأهتمام بالبيئة المحيطة كلما زادت قيمة الحياة التي نحياها .

ا. أهمية البحث

الحاجة إلى ضـــــرورة التكيف مع متغيرات البيئة المحيطة من خلال تبني فكرة تطبيق تكنولوجيا النانو والمواد، وإستخدام مواد تكنولوجيا النانو على الواجهات والأسطح والتجديدات الخارجية مع أنظمة البناء المناسبة وبطريقة أسهل كجانب من جوانب تكنولوجيا النانو لتحقيق إستدامة جديدة تقود أهداف الإستدامة بدعم من التقنيات الجديدة في الإستخدامات المختلفة لتطوير المباني و التحول إلى مباني نانويه مستدامة بإستخدام مواد النانو الحديثة على نطاق واسع في تصميم وإختيار مواد التشطيب والكسوات الخارجية لغلاف المبنى .

ب. المشكلة البحثية

تكمن مشكلة البحث في عدم إستخدام مواد النانو في مصر بصوره واضحة حتى الآن بالرغم من تنامى الإنشاء لتنفيذ العاصمة الإدارية الجديدة وبما يشمل من مبانى وابراج إدارية مما أدي إلى القصور للإستغلال الكامل لخصائص مواد التشطيب محالياً بما لا يتناسب مع التطور السريع لتكنولوجيا النانو .

ج. هدف البحث

الحاجة إلى ضـــــرورة التكيف مع متغيرات البيئة المحيطة من خلال تبني فكرة تطبيق تكنولوجيا النانو والمواد، واستخدام مواد تكنولوجيا النانو على الواجهات والأسطح والتجديدات الخارجية مع أنظمة البناء المناسبة وبطريقة أسهل كجانب من جوانب تكنولوجيا النانو لتحقيق استدامة جديدة تقود أهداف الاستدامة بدعم من التقنيات الجديدة في الاستخدامات المختلفة لتطوير المباني و التحول إلى مباني نانو مستدامة بإستخدام مواد النانو الحديثة على نطاق واسع في تصميم وإختيار مواد التشطيب والكسوات الخارجية لغلاف المبنى .

2. النانــو تكنولوجـــي

ا. علــم النانــو

هو العلم الذى يعتنى بدراسة المواد النانومترية ويهتم بالتعامل مع المواد في مستواها الذري والجزيئي بمقياس لا يتعدى 100 نانومتر، ويهتم أيضا بإكتشاف ودراسة الخصائص المميزة لمواد النانو [2] .

ب. تقنيــة النانــو

تقنية النانو تشمل الأبحاث والتطورات التقنية على المستويات الذرية والجزيئية في مجال طولي حوالي 1-100 نانو متر، لتوفير فهم أساسي للظواهر والمواد على مقياس النانو وهي التي تصنع وتستخدم تركيبات لديها خصائص فريدة نظراً لصغر حجمه [3] . كما أن مصطلح " تقنية النانو" لا يطلق إلا على التقنية التى تتعامل مع الجسيمات التى تكون أبعادها ضمن مقياس النانو، لذلك تسمى هذه التقنية " التقنية متناهية الصغر،تقنية الصغائر، أوالتقنية المجهرية". [4]

doi: 10.21608/ERJENG.2023.325878

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. 7 – No. 4, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

ج. المـــواد النانـــويـــة

يتم تطوير علم تقنية النانو على ثلاثة مستويات مختلفة، وفي الوقت الحالي يعتبر مستوى المواد النانوية الأكثر تقدمًا في مجال الهندسة المعمارية، ولتقنية النانو تأثيرها على خواص المواد وأيضًا على الطاقة، مما أدى بدوره إلى إختلاف ملحوظ في طرق التفكير والتصميم المعماري. [5]

وبلغت نسبة التوفير في إستخدام هذه التقنية (25٪) بالإضافة إلى القدرة على التحمل و الخصائص المميزة لمواد البناء وقدرتها الفائقة على تحمل الأحوال الجوية غير العادية مما يساهم في إستقرار هذه المواد في الأماكن الصحراوية.

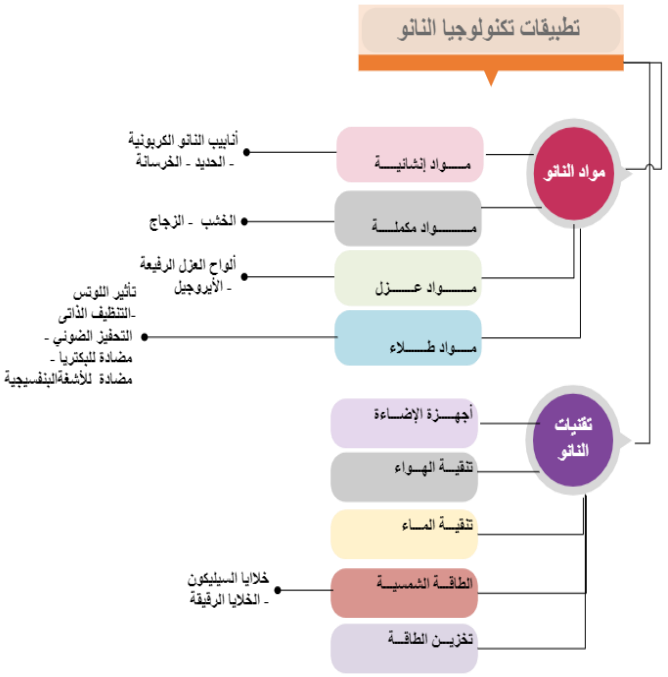
د. المواد النانوية لبناء مستدام

قامت تقنية النانو على المساعدة فى جميع المجالات منها الهندسة المعمارية لحل المشاكل القائمة فى مجال البناء و التشطيبات الخارجية للغلاف الخارجى، كما تلعب تقنيات النانو فى رفع كفاءة الغلاف الخارجى للمبانى والحد من صيانة المبنى ودمج عملية تصميم الأغلفة الخارجية مع تكنولوجيا النانو المتطورة . [6] [7]

هـ . أهميـــة مـــواد النانـــو

إن علم تكنولوجيا النانو يتم تطويره على ثلاثة مستويات مختلفة، وهى (المواد النانونة , والأجهزة النانوية , والأنظمة النانوية)، والوقت الحاضر يعتبر مستوى المواد النانوية هو الأكثر تقدماً فى مجال العماره، حُيث أثرت تقنية النانو على العمارة من حيث أساليب البناء و مواد التشطيب الخارجية وتم دمج تكنولوجيا النانو مع العمارة، فتكنولوجيا النانو لها أثرها علي خصائص المواد وأيضاً على الطاقة التى أدت بدورها إلى اختلاف ملحوظ في أساليب التفكير والتصميم المعماري، وإستُخدمت تقنية النانو في مجال التشييد والبناء بهدف خفض تكلفة الإنشاء والحفاظ علي موارد خامات مواد البناء وفتح مجالات حديثة لتوفير الطاقة والحفاظ على البيئة.[8]

تعود أهمية تطبيقات النانو في الغلاف حيث أنها أداة تحسين الخصائص العامة للمواد للتحكم في ذراتها، مما يمنحك مزايا أكثر للمواد مثل قوى التحمل عليها، وسهولة التركيب، وتوفير التكاليف، مقاومة التآكل وخفة الوزن. [7] [9]



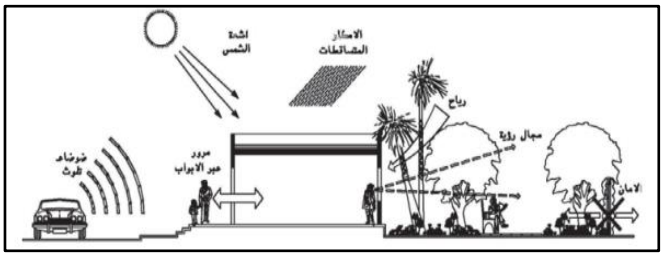
شكل 1. يوضح الشكل تطبيقات تكنولوجيا النانو من مواد وتقنيات يمكن تطبيقها على الغلاف .
المصدر : الباحث من خلال : وائل محمد ذكى، (2021)، " نحو منهجية الستخدام تكنولوجيا النانو في الغالف الخارجى لتحقيق جودة الحياة"، رسالة دكتوراة، جامعة حلوان، ص57.

3. الغلاف الخارجى للمبنى

ا. تعريف الغرف الخارجي للمبنى

يُعرف الغلاف الخارجى للمبنى بأنة الوسط الفاصل بين الفراغات المعمارية داخل المبنى عن المحيط الحيوي للمبنى أو البيئة الخارجية للمبنى، حيث يعمل هذا الفاصل كحلقة وصل بين الفراغات الداخلية لمبنى والبيئة الخارجية. [10]

كما يُعرف الغلاف الخارجى للمبنى بأنه التعبير المباشر عن العنصر الوظيفى خلف هذا الغلاف, وكذلك العنصر الإنشائى المستخدم فى المبنى, سواء كان من الخرسانة المسلحة أو الحديد والزجاج أو غير ذلك من مواد إنشائية مختلفة . [11]



صورة 1. يوضح الشكل صورة لأهم المؤثرات ما بين داخل وخارج المبنى خلال غلافة الخارجى.
المصدر :(Accessed 25/01/2023) /http:// www.awazeltech.com/arabic/index.htm

ب. عنـــاصر الغـــلاف الخـــارجـــى للمبنـــى

إن الغلاف الخارجى للمبنى هو المكون الحرج لأى مبنى حيث أنه يلعب دوراً رئيساً فى تنظيم البيئة الداخلية للمبنى بألإضافة إلى دوره الرئيسى فى تحديد القيمة الجمالية للمبنى بالإضافة إلى أنة المسؤل الأول عن تدفق الطاقة بين الداخل والخارج للمبنى, وقد قام الباحثين ببتحديد وتقسيم عناصر الغلاف الخارجى إلى أربعة عناصر رئيسية . [12]

ولذلك سوف نتناول فى هذا الفصل دراسة شامله لعناصر الغلاف الخارجى للمبنى و هى كلأتى :- [12]

1- الحوائط الخارجية للمبنى .
2- الفتحات .
3- الاسقف الخارجية للمبنى .
4- العناصر الإنشائية .

4. الكفـــاءة الحراريـــة

تُعد الكفاءة الحرارية للمبنى مقياسًا لكفاءة إستخدام الطاقة الحرارية في المبنى، وتشير إلى مدى قدرة المبنى على الحفاظ على درجة الحرارة المطلوبة وتوفير الراحة الحرارية للسكان بأقل استهلاك للطاقة.

يعتبر قطاع البناء مسؤول عن إستهلاك كمية كبيرة من الطاقة تقدر بنحو 40٪ حول العالم، منها 27٪ من إستهلاك الطاقة تساهم بها المباني السكنية وتساهم في 17٪ من إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون في البيئة [10]، هذا بسبب النمو السكاني السريع، وتغير مستويات معيشة الناس والحاجة المتزايدة للتدفئة وتكييف التبريد من أجل الراحة الحرارية وبالتالي يؤدي الإستهلاك الهائل للطاقة من خلال قطاع البناء إلى تلوث البيئة، وتقليل الموارد، وتدهور البيئة، لذلك من الضروري تقليل إستهلاك الطاقة مع تأثيرات بيئية أقل من خلال تنفيذ تقنيات مواد مستدامة جديدة في المباني بحيث يمكن الحفاظ على درجة الحرارة الداخلية عند مستوى الراحة الحرارية.[7]

ا. معاييـــر الكفـــاءة الحراريـــة للمبنـــى

- **العزل الحرارى للمبنى :-** يتطلب تحقيق الكفاءة الحرارية العالية استخدام مواد عازلة للحرارة عالية الجودة في الجدران والأسقف والأرضيات والنوافذ. يجب أن يتم تصميم وتنفيذ العزل الحراري بطريقة تقلل من تسرب الحرارة خارج المبنى وتقليل التغييرات الحرارية غير المرغوب فيها.
- **فاعلية نظام التدفئة والتبريد :-** يجب تصميم وتشغيل نظام التدفئة والتبريد في المبنى بطريقة تحقق أقصى كفاءة حرارية. يمكن تحقيق ذلك من خلال استخدام

doi: 10.21608/ERJENG.2023.325878

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. 7 – No. 4, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

أنظمة تدفئة وتبريد متقدمة وفاعلة من حيث استخدام الطاقة، مثل أنظمة الطاقة الشمسية ومضخات الحرارة.

- **التهوية الفعالة :-** يعد التهوية الجيدة أحد عوامل الكفاءة الحرارية المهمة في المباني. يجب تصميم نظام تهوية يوفر تدفق هواء منعش ونقي، مع الحفاظ على خسارة الحرارة الناجمة عن التهوية على أدنى مستوى ممكن.
- **إستخدام تقنيات الطاقة المتجددة:-** يمكن زيادة الكفاءة الحرارية للمبنى عن طريق استخدام تقنيات الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح واستخدام أنظمة توليد الطاقة المتجددة لتلبية جزء من احتياجات التدفئة والتبريد.
- **مراقبة وإدارة الاستهلاك للطاقة :-**يجب توفير نظام مراقبة وإدارة الاستهلاك في المبنى، يمكن من خلاله رصد وتحليل استهلاك الطاقة وتحديد المجالات التي يمكن تحسينها وتحقيق أقصى كفاءة حرارية.

وإستخدام هذه المعايير تمكن من تحقيق الكفاءة الحرارية العالية للمباني، مما يساهم في تقليل استهلاك الطاقة وانبعاثات الكربون وتحسين الراحة الحرارية للسكان. [13]

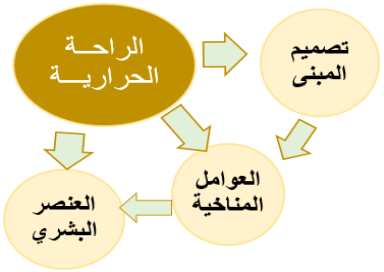
5. الراحـــة الحراريـــة

تشير الراحة الحرارية إلى مدى إرتياح الأشخاص من حيث درجة الحرارة والرطوبة والتهوية في البيئة المحيطة، حيث تتأثر الراحة الحرارية بعوامل مثل درجة الحرارة الجوية، سرعة الرياح، الرطوبة النسبية .

يهدف تحقيق الراحة الحرارية إلى إنشاء بيئة مناسبة حراريًا للأفراد دون الحاجة إلى تحمل حرارة زائدة أو برودة غير ملائمة.

ويمكن تعريف الراحة الحرارية بأكثر من تعريف فهي حالة الشعور بالرضا عن الظروف الحرارية داخل الفراغ ويفضل بعض الباحثين مثل " فيكتور أولجاي " تعريفها بطريقة عكسية وهو التعبير الأقرب للفهم حيث عرفها بأنها الحالة التي يشعر معها الإنسان بالحرارة او البرودة، فعندما ينتقل اهتمام الإنسان من عمله الي اهتمامه بتغيير الظروف الحرارية المحيطة به تبدأ حالة من الضيق تسمي عدم الإرتياح الحراري . [14]

تعتبر الراحة الحرارية من أهم العوامل الصحية "الفسيولوجية" الفعالة للراحة العامة للإنسان ويشعر بالراحة الحرارية عندما يحدث توازن بين المؤثرات المناخية المحيطة وجسم الإنسان فيمكن للوسط المحيط إزالة حرارة ورطوبة الجسم الزائدة بنفس معدل إنتاجها مع الحفاظ على ثبات درجة حرارة الجسم عند 35-37 م° ويُعرف "واطسون" الراحة الحرارية بأن "المناخ عامل يؤثر على قدرتنا العقلية والإنسانية كما يؤثر على قدرتنا على الإستمتاع والراحة الحرارية" ويفضل كثير من الباحثين مثل "أوليجاي" تعريفها بطريقة عكسية بمعنى "الراحة الحرارية أو التعادل الحراري هي حالة الذى يشعر معها الإنسان بالبرودة أو بالحرارة، أو يشعر بأي مضايقة نتيجة لخلل في البيئة الحرارية" . [15]



شكل 2. العوامل المؤثرة على الراحة الحرارية.

المصدر : غ. حلبوني، (2009)، " معايير الراحة الحرارية للأبنية السكنية في عدد من المدن اليمنية "، ورقة بحثية، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، المجلد الخامس والعشرون، العدد الثاني ص 401.

6. الدراسة التحليلية لتأثير إستخدام تكنولوجيا النانو على الغلاف الخارجي للمبانى

من خلال الدراسة النظرية التي تم فيها التعرف على مفهوم علم النانو وتقنيات ومواد النانو المستخدمة في أغلفة المباني لتحقيق الراحة الحرارية للمبنى وكيفية الأستفادة من مواد النانو بأعلى كفاءة، فقد تم إختيار أمثلة لمشاريع تبنت فكرة تطبيق علم النانو وتقنياتة الحديثة بنجاح لتحليلها ودراستها وإثبات هدف البحث وذلك من خلال الآتى :

- معلومات الموقع ودراسة الإمكانيات المتاحة .
- التحليل الحرارى لغلاف المبنى .
- مدي إمكانية تطبيق تقنيات تكنولوجيا النانو وأماكن توظيفها بالغلاف .

فيما يلى المشروعات العالمية الكبرى التى أمكن رصد تحقق تطبيق بعض مواد وتقنيات النانو على الغلاف الخارجى .

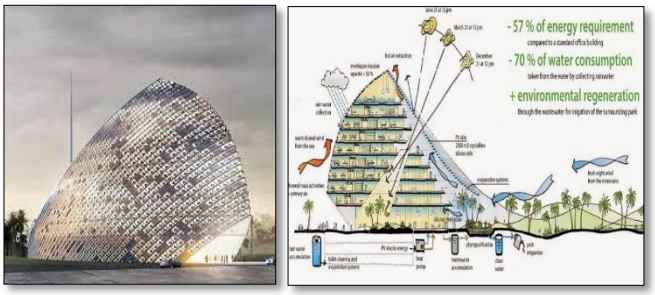
ا. المشروع الأول : مقر شركة الأتصالات اللاسلكية بالجزائر "صورة 2"

المشروع مستوحى من المناظر الطبيعية الصحراوية الجزائرية حيث تبدو الكثبان الرملية للمباني الطبيعية التي تصنعها الرياح والرمال، يوفر تحليل النسيج العمراني موقع القطعة على طول الطريق سريع ذو أهمية كبيرة وخاصة القرب من المنتزه الحضري الجديد.

يرسم مقترح المشروع مبنىً مبدعًا للغاية بعيدًا عن الجماليات السائدة في المنطقة ويستغل الاتصال المباشر بالمنتزه الجديد .

إن الرغبة في إنشاء مبنى يعمل وفقًا لمبادئ العمارة المناخية الحيوية وعلى وجه الخصوص من خلال تقنيات التبريد الطبيعية، اقترحت شكلاً ديناميكيًا هوائيًا محدبًا على الجانب الشمالي لتحويل الرياح الساخنة ، ومقعر على الجانب الجنوبي لالتقاط النسائم الباردة أثناء الليل ، وبالتالي لتعزيز التهوية الطبيعية للمبنى. [16]

مقر شركة الأتصالات اللاسلكية بالجزائر	
المعمارى	Mario Cucinella Architects
الموقع	الجزائر
الزمن	2014
نوع غلاف المبنى	غلاف مزدوج
مواد النانو المستخدمة في الغلاف	زجاج النانو المضاف إلية مادة ثانى أكسيد التيتانيوم



صورة 2. مقر ARPT بالجزائر

المصدر : http://ecoarchitectures.blogspot.com/2014/03/arpt-headquarters-in-algiers.html(Accessed 23/7/2023).

يتكون المبنى من غلاف مزدوج من غلاف من (prosolve370eskin) وهى عبارة عن كسوات يتم تثبيتها على الوجهات وتتميز بخاصية التحفيز الضوئي وذلك لتعزيز عملية تنقية الهواء الخارجي وعملية التنظيف الذاتي ، كما يتكون المبنى من الغلاف الداخلى من الزجاج المطلي بطلاء النانو لتوفير أكبر قدر من الأضاءة الطبيعية .

doi: 10.21608/ERJENG.2023.325878

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. 7 – No. 4, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

جدول (1) : مدى إمكانية تطبيق تقنيات تكنولوجيا النانو وأماكن توظيفها في الغلاف ونوع غلاف المبنى.
المصدر : بتصرف من الباحث

نـــوع الغـــلاف	غلاف ذكي	غلاف تقليدى	غلاف مزدوج	غلاف متحرك	تحليـــل المشـــروع

تطبيقـــات النـــانـــو			أماكـــن توظيـــف تطبيقـــات النانـــو بالمبنى (أماكن تطبيق التقنية)								
		تطبيقها	الواجهة الشمالية	الواجهة الشمالية الشرقية	الواجهة الشرقية	الواجهة الجنوبية الشرقية	الواجهة الجنوبية	الواجهة الجنوبية الغربية	الواجهة الغربية	الواجهة الشمالية الغربية	أسطح المبنى
مواد النانو	مواد إنشائية										
	المواد المكملة: الزجاج										
	المواد المكملة: الأخشاب										
	المواد المكملة: الحوائط										
	مواد عزل										
	طلاءات										
تقنيات النانو	الطاقة الشمسية										
	تخزين الطاقة										
	تنقية الهواء										
	الإضاءة										
تقيـــم المشـــروع	▪ توفير الإضاءة الطبيعية عن طريق إستخدام الزجاج في الواجهات. ▪ إستخدام الزجاج في الواجهات المضاف إلية مادة ثانى أكسيد التيتانيوم لتوقير الإضاءة الطبيعة والبعد عن الأشعة الضارة. ▪ تقليل الأحمال الحرارية للمبنى عن طريق إستخدام سيراميك النانو في الغلاف الخارجي المزدوج .										

▪ إستخدام الزجاج في الواجهات المضاف إلية مادة ثانى أكسيد التيتانيوم.
▪ إستخدام الغلاف المزدوج.

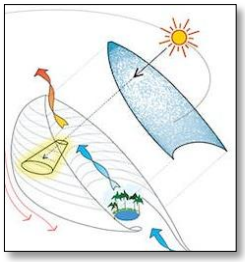
▪ إستخدام الزجاج في الواجهات المضاف إلية مادة ثانى أكسيد التيتانيوم لتوقير الإضاءة الطبيعة والبعد عن الأشعة الضارة.

doi: 10.21608/ERJENG.2023.325878

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. 7 – No. 4, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

جدول (2) : مدى تأثير تطبيقات تقنيات النانو على جودة الغلاف الجوي وإمكانية تحقيقها.

المصدر : بتصرف من الباحث

جودة الغلاف الخارجي / تقنيات مواد النانو		تحسين نوع الهواء			ترشيد إستهلاك الطاقة				تحسين كفاءة المواد							تحليل المشروع
		إزالة الأكاسيد الملوثة خارجيا	إزالة الملوثات الداخلية	تقليل انبعاثات الكربون	تحسين العزل	تحسين نظم	تقليل إستهلاك	تقليل الطاقة الازمة	تقليل إستهلاك الطاقة في التشغيل	قابلية التشكل	زيادة العمر	ذاتية التنظيف	تعدد الإستخدام	الصيانة	تقل التكلفة	
مواد العزل	ايروجيل															
	اللوائح العازلة الرفيعة															
	النوافذ الماصه للطاقة															
المواد المكملة	TIO2 (الزجاج)	■			■		■							■		
	الزجاج المضاد للحرائق															
	أخشاب النانو															
مواد الطلاء	التحفيز الضوئي	■										■		■	■	
	تأثير زهرة اللوتس															
	سهلة التنظيف															
	مضادة للكتابة على الحوائط															
	مضادة للبكتريا															
	مضادة للإنعكاس															
الطاقة الشمسيه	الخلايا الرقيقه															
	خلايا السليكون															

كفاءة الغلاف الخارجي										
جودة البيئة الداخلية	الراحة الصوتية	جودة الهواء الداخلى		الراحة الحرارية		الراحة الضوئية				
معايير قياس الكفاءة الحرارية	جيد ●	U-value	R-value	العزل	SHGC	تسرب الهواء	كفاءة النوافذ			
		●	◒	●	●	○	●			
	متوسط ◒	الإنعكاس الشمسي		نسبة الرطوبه		النفاذية البصرية				
	ضعيف ○	◒		◒		◒				

تقييم المشروع

- تم تحقيق كفاءه حرارية من خلال الغلاف المزدوج المعزول بمواد النانو .

doi: 10.21608/ERJENG.2023.325878

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. 7 – No. 4, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

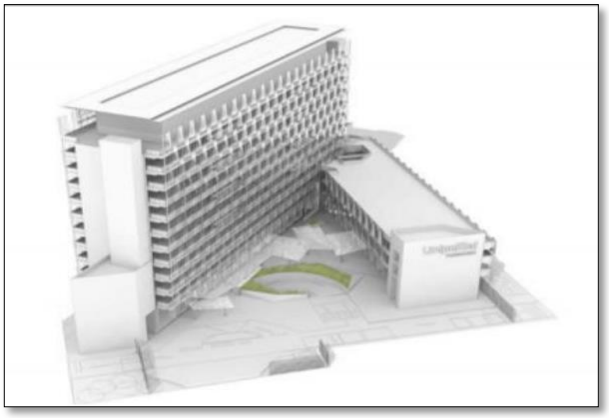
ب. المشروع الثانى : مبنى دي كاستيليا بميلانو بإطاليا"صورة 3"

تم إستخدام طريقة BIM، تم جمع جميع بيانات البناء ذات الصلة ودمجها وربطها رقميًا لإنتاج مشروع De Castillia 23، من خلال تحسين وظائف المبنى وأداء الطاقة والكفاءة العامة، تمكنت شركة التصميم المتكاملة في ميلانو من إعادة الهيكل الذي كان يتماشى مع البيئة المحيطة.

بداء المصممين في إعادة الحلول الداخلية مع إعادة تصميم الغلاف بمبداء مستدام فقد تم هدم الجراج الراسى ودمج مساحته إلى الساحات الخارجية للمبنى لخلق فراغ إجتماعى جديد لبيئة العمل .

يتكون المجمع من مبنيين بارتفاع 53 و 15 مترًا، تمت صيانة بعض العناصر الهيكلية، في حين تم تحويل الطابقين الأولين فوق مستوى الأرض اللذين كانا يقصدان في الأصل كمناطق وقوف السيارات، إلى مكاتب لزيادة مساحة العمل المتاحة، تم هدم منحدر الوصول الحالي لتحرير مساحة كبيرة من الطابق الأرضي مما يجعل الوصول إليه كاملاً من الخارج. [17]

مبنى دي كاستيليا 23	
المعمارى	Progetto CMR -Fiandre Architectura
الموقع	ميلانو، إيطالي
الزمن	2019
نوع غلاف المبنى	غلاف مزدوج
مواد النانو المستخدمة في الغلاف	طلاء النانو المضاف إلية مادة ثانى أكسيد التيتانيوم (Nano coating)



صورة 3. طريقة تصميم المبنى على 45 درجة.
المصدر : // https://www.active-surfaces.com/en/progetti/de-castillia-2
(Accessed 23/7/2023).

صورة 4. إعادة تهيئة المبنى بعد عمليات الهدم الخاصة بالجراج.
المصدر : // https://www.active-surfaces.com/en/progetti/de-castillia-2
(Accessed 23/7/2023).

يتكون المبنى من غلاف مزدوج من كسوات من سيراميك النانو ذو خاصية التحفيز الضوئي وذلك لتعزيز عملية تنقية الهواء الخارجي وعملية التنظيف الذاتي ، كما يتكون المبنى من الغلاف الخارجي من الزجاج ذو التشكيل الهررمى المنكسر والذي يعطى للغلاف الخارجي عدد لا نهائي من الصور البصرية .

صورة 5. طريقة تصميم الزجاج فى غلاف المبنى.
المصدر : https://www.active surfaces.com/en/progetti/de-castillia-2/
(Accessed 23/7/2023).

doi: 10.21608/ERJENG.2023.325878

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. 7 – No. 4, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

جدول (3) : مدى إمكانية تطبيق تقنيات تكنولوجيا النانو وأماكن توظيفها في الغلاف ونوع غلاف المبنى .
المصدر : بتصرف من الباحث

نـــوع الغـــلاف	غلاف ذكي	غلاف تقليدى	غلاف مزدوج	غلاف متحرك	تحليـــل المشـــروع

تطبيقات النـــانـــو			أماكـــن توظيـــف تطبيقـــات النانـــو (أماكن تطبيق التقنية بالمبنى)								
		تطبيقها	الواجهة الشمالية	الواجهة الشمالية الشرقية	الواجهة الشرقية	الواجهة الجنوبية الشرقية	الواجهة الجنوبية	الواجهة الجنوبية الغربية	الواجهة الشمالية الغربية	أسطح المبنى
مواد النانو	مواد إنشائية									
	مواد المكملة: الزجاج									
	مواد المكملة: الأخشاب									
	مواد المكملة: الحوائط									
	مواد عزل									
	طلاءات									
تقنيات النانو	الطاقة الشمسية									
	تخزين الطاقة									
	تنقية الهواء									
	الإضاءة									
تقيـــم المشـــروع			▪ إستخدام الزجاج في الواجهات المضاف إلية مادة ثانى أكسيد التيتانيوم لتوفير الإضاءة الطبيعة والبعد عن الأشعة الضارة. ▪ تقليل الأحمال الحرارية للمبنى عن طريق إستخدام سيراميك النانو في الغلاف الخارجي المزدوج . ▪ توفير الإضاءة الطبيعية عن طريق إستخدام الزجاج في الواجهات.								

▪ إستخدام الزجاج في الواجهات المضاف إلية مادة ثانى أكسيد التيتانيوم.

▪ إستخدام الغلاف المزدوج من سيراميك النانو والزجاج المعزول .

▪ إستخدام الزجاج في الواجهات المضاف إلية مادة ثانى أكسيد التيتانيوم لتوفير الإضاءة الطبيعة والبعد عن الأشعة الضارة.

doi: 10.21608/ERJENG.2023.325878

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. 7 – No. 4, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

جدول (4) : مدى تأثير تطبيقات تقنيات النانو على جودة الغلاف الجوي وإمكانية تحقيقها.

المصدر : بتصرف من الباحث

جودة الغلاف الخارجي / تقنيات مواد النانو		تحسين نوع الهواء			ترشيد إستهلاك الطاقة				تحسين كفاءة المواد							تحليل المشروع
		إزالة الأكاسيد الملوثة خارجيا	إزالة الملوثات الداخلية	تقليل انبعاثات الكربون	تحسين العزل الحرارى	تحسين نظم الإضاءة	تقليل إستهلاك الطاقة	تقليل الطاقة الازمة	تقليل إستهلاك الطاقة في التشغيل	قابلية التشكيل	زيادة العمر الإفتراضي	ذاتية التنظيف	تعدد الإستخدام	الصيانة	تقليل التكلفة	
مواد العزل	ايروجيل															
	اللوائح العازلة الرفيعة															
	النوافذ الماصه للطاقة															
المواد المكملة	TIO2 (الزجاج)	■			■		■									
	الزجاج المضاد للحرائق															
	أخشاب النانو				■										■	
مواد الطلاء	التحفيز الضوئي	■										■		■	■	
	تأثير زهرة اللوتس															
	سهلة التنظيف															
	مضادة للكتابة على الحوائط															
	مضادة للبكتريا															
	مضادة للإنعكاس															
الطاقة الشمسيه	الخلايا الرقيقه															
	خلايا السليكون															

كفاءة الغلاف الخارجى	جودة البيئة الداخلية	الراحة الصوتية	جودة الهواء الداخلى		الراحة الحرارية		الراحة الضوئية	
			U-value	R-value	العزل	SHGC	تسرب الهواء	كفاءة النوافذ
معايير قياس الكفاءة الحرارية	جيد	●	●	●	●	●	●	●
	متوسط	◒	الإنعكاس الشمسي		نسبة الرطوبه		النفاذية البصرية	
	ضعيف	○	●		◒		●	
تقييم المشروع	▪ تم تحقيق كفاءه حرارية من خلال الغلاف المزدوج المعزول بمواد النانو .							

doi: 10.21608/ERJENG.2023.325878

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. 7 – No. 4, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

ج. المشروع الثالث : صالة العرض المركزية للفنون Central Ring Art (Gallery) "صورة 6"

المرحلة الأولى من هذا المشروع الذي تم الانتهاء منه قبل 10 سنوات في عام 2009، مجموعة من المنحوتات البشرية على أساس عمال البناء الحقيقيين لهذا المشروع تقف على العشب المنحدر في الفناء الخلفي، مع واجهة المعرض الفني الجديد كخلفية، تخلد المنحوتات ذكرى العمال بلغة فنية خاصة.

وتأتى الفكرة الرئيسية للمشروع بأن يطفو مبنى المعرض فوق الأرض ويفسح المجال للمناظر الطبيعية التي تمر عبر الموقع ويصبح المبنى مشهدًا عائمًا، مع **غلاف مصمم خصيصًا مشتق من جزء من "الغابة" يشكل الهيكل العائم سلسلة من المساحات شبه الخارجية التي تستضيف أنشطة فنية مختلفة.**

يعمل غلاف المبنى على توفير الراحة الحرارية للمبنى من خلال إستخدام الغلاف المزدوج وهو عباره عن واجهة المبني الأساسية (حوائط ستائرية من الزجاج) وجزء منها من الخرسانة المضاف إليها خاصية التحفيز الضوئي لحجب الأشعة الفوق بنفسيجية .[18].

صالة العرض المركزية للفنون (Central Ring Art Gallery)	
المعمارى	Min Wang, Mei Ding, Hui Li, Wenwen Zhang
الموقع	مدينة Hefei ، الصين
الزمن	2019
نوع غلاف المبنى	غلاف مزدوج
مواد النانو المستخدمة في الغلاف	خرسانة ذات مواد التحفيز الضوئي (بإضافة مادة ثانى أكسيد التيتانيوم) – طلاء النانو (ثانى أكسيد التيتانيوم)

صورة 7. إستخدام طلاءات مضاف إليها مادة TIO2 لإمتصاص الأشعة الفوق بنفسيجية وبالتالي تقليل نفاذية الحرارة للمبنى .

المصدر : https://awards.design/SHA19/project.asp?ID=19039/ (Accessed 22/5/2023).

صورة 6. المعرض المركزي للفنون .

المصدر :-https://amazingarchitecture.com/gallery/the-central-ring-gallery-in-hefei-an-hui-province-china-designed-by-studio-a / (Accessed 20/5/2023).

doi: 10.21608/ERJENG.2023.325878

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. 7 – No. 4, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

جدول (5) : مدى إمكانية تطبيق تقنيات تكنولوجيا النانو وأماكن توظيفها في الغلاف ونوع غلاف المبنى .

المصدر : بتصرف من الباحث

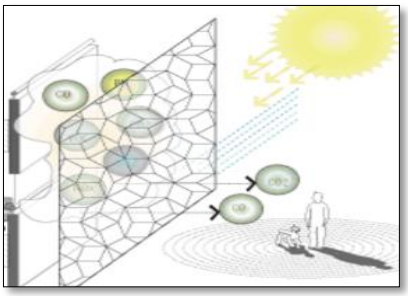
نـــوع الغـــلاف	غلاف ذكي	غلاف تقليدى	غلاف مزدوج	غلاف متحرك	تحليـــل المشـــروع

تطبيقـــات النـــانـــو		أماكـــن توظيـــف تطبيقـــات النانـــو (أماكن تطبيق التقنية بالمبنى)								
	تطبيقها	الواجهة الشرقية	الواجهة الشمالية	الواجهة الجنوبية	الواجهة الغربية	الواجهة الجنوبية	الواجهة الشمالية	الواجهة الغربية	أسطح المبنى
مواد النانو – مواد إنشائية									
مواد النانو – المواد المكملة – الزجاج									
مواد النانو – المواد المكملة – الأخشاب									
مواد النانو – المواد المكملة – الحوائط									
مواد النانو – مواد عزل									
مواد النانو – طلاءات									
تقنيات النانو – الطاقة الشمسية									
تقنيات النانو – تخزين الطاقة									
تقنيات النانو – تنقية الهواء									
تقنيات النانو – الإضاءة									

- إستخدام الخلايا الشمسية على الأسطح لتوفير الطاقة الكهربائية .
- إستخدام الأسطح الخضراء التي تعمل على تقليل درجة الحرارة النافذة للمبنى .
- إستخدام الغلاف المزدوج من الخرسانة

ذاتية التنظيف .

- إستخدام مادة ثانى أكسيد التيتانيوم على الغلاف المزدوج مما يقلل من تلوث الهواء النافذ للمبنى .



تقيـــــم المشـــــروع	
	توفير الإضاءة الطبيعية عن طريق إستخدام الإضاءة السماوية التي تغطى الفناء الداخلي .
	توفير الطاقات المستهلكة في أعمال الصيانة نتيجة إستخدام غلاف ذاتي التنظيف .
	إستخدام الأسطح الخضراء التي تعمل على تقليل درجة الحرارة النافذة للمبنى .
	تقليل الأحمال الحرارية للمبنى عن طريق التظليل وعمليات خلخلة الهواء بجانب إستخدام حدائق السطح لتحسين العزل الحراري في السقف .

doi: 10.21608/ERJENG.2023.325878

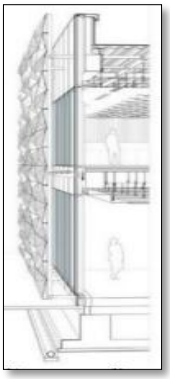
Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. 7 – No. 4, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

جدول (6) : مدى تأثير تطبيقات تقنيات النانو على جودة الغلاف الجوي وإمكانية تحقيقها.

المصدر : بتصرف من الباحث

جودة الغلاف الخارجي / تقنيات مواد النانو			تحسين نوع الهواء: إزالة الأكاسيد الملوثة خارجيا	تحسين نوع الهواء: إزالة الملوثات الداخلية	تحسين نوع الهواء: تقليل انبعاثات الكربون	ترشيد إستهلاك الطاقة: تحسين العزل الحراري	ترشيد إستهلاك الطاقة: تحسين نظم الإضاءة	ترشيد إستهلاك الطاقة: تقليل إستهلاك الطاقة	ترشيد إستهلاك الطاقة: تقليل الطاقة اللازمة لإنتاج المواد	تحسين كفاءة المواد: تقليل إستهلاك الطاقة في التشغيل	تحسين كفاءة المواد: قابلية التشكيل	تحسين كفاءة المواد: زيادة العمر الإفتراضي	تحسين كفاءة المواد: ذاتية التنظيف	تحسين كفاءة المواد: تعدد الإستخدام	تحسين كفاءة المواد: الصيانة	تحسين كفاءة المواد: تقليل التكلفة	تحليل المشروع
مواد العزل		ايروجيل															
		اللوائح العازلة الرفيعة															
		النوافذ الماصه للطاقة															
المواد المكملة	الزجاج	TIO2				■											
		الزجاج المضاد للحرائق															
		أخشاب النانو															
مواد الطلاء		التحفيز الضوئي	■											■	■		
		تأثير زهرة اللوتس															
		سهلة التنظيف															
		مضادة للكتابة على الحوائط										■					
		مضادة للبكتريا	■														
		مضادة للإنعكاس															
الطاقة الشمسيه		الخلايا الرقيقه				■		■			■						
		خلايا السليكون															

كفاءة الغلاف الخارجي										
جودة البيئة الداخلية	الراحة الصوتية		جودة الهواء الداخلى		الراحة الحرارية		الراحة الضوئية			
معايير قياس الكفاءة الحرارية	جيد	●	U-value	R-value	العزل	SHGC	تسرب الهواء	كفاءة النوافذ		
	متوسط	◒	الإنعكاس الشمسي		نسبة الرطوبه		النفاذية البصرية			
	ضعيف	○								
تقيم المشروع	▪ تم إستخدام الغلاف المزدوج من الخرسانة ذاتية التنظيف، كما تم إستخدام الخلايا الشمسية على الأسطح لتوفير الطاقة الكهربائية .									



Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. 7 – No. 4, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

7. نتائـــج الدراسة التحليلية

جدول (7) : مدى توافر تطبيقات تقنيات النانو في المبانى المختلفة .

المصدر : بتصرف من الباحث

المبنـــى			مقر شركة الأتصالات اللاسلكية بالجزائر	مبنى دي كاستيليا (De Castillia 23)	مشروع (2)	صالة العرض المركزية للفنون (Central Ring Art Gallery)	مشروع (3)
			مشروع (1)				
تاريخ الإنشاء			2014	2019		2019	
تطبيقات تكنولوجيا النانو	مواد النانو	مواد إنشائية	الخرسانة			●	
			الحديد	●			
			أنابيب النانو الكربونية				
		مواد مكملة	TIO2		◒		◒
			الزجاج المضاد للحرائق				
			أخشاب النانو		○		
		مواد عزل	ايروجيل				
			اللوائح العازلة الرفيعة				
			النوافذ الماصه للطاقة				
		مواد طلاء	التحفيز الضوئي		◒		◒
			تأثير زهرة اللوتس		◒		
			سهلة التنظيف				
			مضادة للكتابة على الحوائط				○
			مضادة للبكتريا				○
			مضادة للإنعكاس				
	تقنيات النانو	أجهزة الإضاءة		●			
		تنقية هواء			◒		
		تنقية ماء			○		
		أجهزة طاقة الشمسية					
		تخزين الطاقة	الخلايا الرقيقه			●	
أماكن توظيف تطبيقات النانو في الغلاف	الهيكل	خرسانة	خلايا السليكون				
		حديد					
	غلاف المبنى	غلاف ذكي					
		غلاف تقليدي					
		غلاف مزدوج					
		غلاف متدرك					

doi: 10.21608/ERJENG.2023.325878

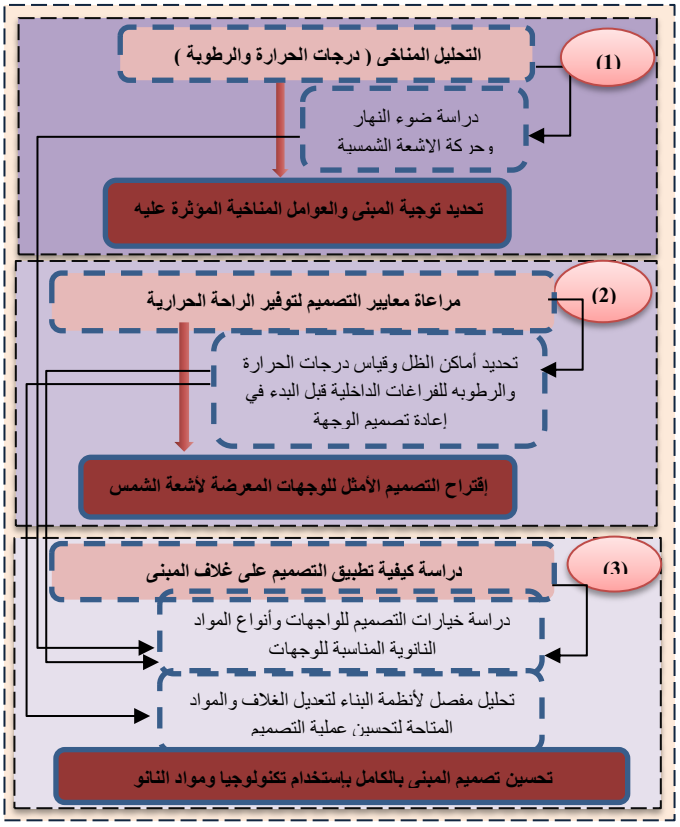
Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. 7 – No. 4, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

جدول (7) : مدى توافر تطبيقات تقنيات النانو في المبانى المختلفة .
المصدر : بتصرف من الباحث

المبنـــى	مقر شركة الأتصالات اللاسلكية بالجزائر	مبنى دي كاستيليا (De Castillia 23)	صالة العرض المركزية للفنون (Central Ring Art Gallery)
	مشروع (1)	مشروع (2)	مشروع (3)

كفـاءة الغـلاف الخارجي	جودة الهواء الداخلي	راحه صوتية	جودة الهواء الداخلي	راحة حرارية	راحة ضوئية	راحه صوتية	جودة الهواء الداخلي	راحة حرارية	راحة ضوئية	راحه صوتية	جودة الهواء الداخلي	راحة حرارية	راحة ضوئية
معايير قياس الكفاءة الحرارية													
		U-value			●	U-value			●	U-value			●
		R-value			●	R-value			●	R-value			●
		العزل			●	العزل			●	العزل			●
		SHGC			●	SHGC			●	SHGC			○
		تسرب الهواء			●	تسرب الهواء			○	تسرب الهواء			○
		كفاءة النوافذ			●	كفاءة النوافذ			●	كفاءة النوافذ			●
		الإنعكاس الشمسي			●	الإنعكاس الشمسي			●	الإنعكاس الشمسي			●
		نسبة الرطوبه			●	نسبة الرطوبه			●	نسبة الرطوبه			●
		النفاذية البصرية			●	النفاذية البصرية			●	النفاذية البصرية			●

8. المنهجيـة المقترحـة لإستخـدام تكنولوجيـا النانـو فى أغلفـة المبانـى من خـلال الدراسـة التحليليـة



شكل 3. يوضح الشكل المنهجية المقترحة لإستخدام تكنولوجيا النانو فى أغلف المبانى .
المصدر : بتصرف من اللباحث

9. النتـــائج

من خلال تحليل مجموعه من الامثلة العالمية وجد أن :-

- المواد المكملة مثل مادة ثانى أكسيد التيتانيوم ومواد الطلاء ذات تأثير التحفيز الضوئي ومن أهم تقنيات النانو مواد النانو المساعدة على تنقية الهواء .
- من خلال نتائج الجزء التحليلي تبين ان مبنى مقر شركة الأتصالات اللاسلكية بالجزائر حقق بنسبة 66% من معايير قياس الكفاءة الحرارية لغلاف المبنى .
- أما عن مبنى دى كاستيليا بإطاليا حقق بنسبة 55% من معايير قياس الكفاءة الحرارية لغلاف المبنى .
- أما عن مبنى صالة العرض المركزية للفنون بالصين فحققت حوالى 50% من قياس الكفاءة الحرارية لغلاف المبنى .

10. النتـــائج العامة

من خلال الإطار النظري والإطار التحليلى يُمكن إستخلاص النتائج والتوصيات لهذا البحث وإيجازها كما يلى :

١. النتائـــج :

- من خلال الجزء التحليلي وجد أن أكثر تطبيقات مواد النانو العازلة إستخداماً هي طلاءات ذاتية التنظيف ذات خاصية التحفيز الضوئي والأكثر إنتشاراً.
- أهمية مواد عزل النانو في ترشيد الطاقة بفضل تقليل الأحمال الحرارية داخل البناء .
- ظهور مجموعة من الطلات ذات الخواص الجديدة أهمها (ذاتية التنظيف- مواد مضادة لكتابة على الحوائط -التحفيز الضوئي) .
- يجب إستخدام منظومة مواد وأجهزة النانو في ترشيد استهلاك وإنتاج الطاقة مما يساهم بشكل فعال في تحسين الأوضاع الأقتصادية.

doi: 10.21608/ERJENG.2023.325878

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. 7 – No. 4, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

11. التوصيـــات

- يوصي البحث بالسعي لإدخال فكرة إستخدام المواد النانوية في تنفيذ بعض التقنيات الحديثة على وجهات المباني التي لم يتم استخدامها في مصر حتى الآن، وإجراء تجارب على بعض هذه المواد لتحديد أفضل طرق استخدامها. بأقل تكلفة والحصول على أكبر قدر من توفير الطاقة.
- ضرورة وأهمية استخدام منظومة غلاف المبني في تحسين والمساعدة على تحسين البيئة الخارجية والداخلية .
- دعم واهمية دراسة إضافة مواد النانو بكود البناء المصري .
- من الأهمية أن يكون المعماري المصري على دراية بالتكنولوجي الجديدة لأنها قد تكون معيار من معايير التصميم وأداه تساعده في حل المشاكل البيئية .

12.المراجع

[1]. حسين محمد جمعة، " النانو تكنولوجي في قطاع التشييد والبناء "، مكيب الدراسات والإستشارات الهندسية، القاهرة 2009، الترقيم الدولى x-7137-17-977 .

[2] http://biala.50webs.com/page_phis/ph_01.htm / (Accessed 5/08/2023).

[3] Sammar Zain El Abdin Moh, (2014), " Nano Science and nano technology in Architecture", International Journal of Scientific & Engineering Research, November Volume 5, Issue 9, p.2.

[4] د.فؤاد نمر الرفاعى، (2016)، " مفاهيم أساسيه فى تقنية النانو "، جامعة ذى قار، العراق، ص 10.

[5]NANOTECHNOLOGY,websitem,http://whatnanotechnology,blogspot,com .eg ,1november2015 archive,html.

[6] Tamer Hanafy Daoud, (2013), "Aspects of Benefiting from the Applications of Nanotechnology in the Field of Libraries and Information", Journal of the League of Arab States, No. (32), p. 6.

[7] Manar Hussain , Enas Abdel Sabour , Sayed Marei , (2022), "Nanomaterials in facades A Tool Towards Environmental Sustainability in Egypt ", IOP Publishing , p. 2,3 .

[8] محمود محمد سليم صالح, (2015م), " تقنية النانو وعصر علمى جديد ", كلية المجتمع بالأفلاج التابعة لجامعة الملك سعود, ص13.

[9] Faiza Nakib, technological adaptability, an approach towards a flexible and sustainable architecture, international conference on technology & sustainability in the built environment, Riyadh, Saudi Arabia, Volume: 3, January 2010.

[10] Harvard T.H. Chan School of Public Health. (2017) The 9 Foundations of HealthyBuilding,site:https://forhealth.org/9_Foundations_of_a_Healthy_Building.February_2017.pdf /(Accessed 25/1/2023).

[11] Li.Qinru, (2008) , "Dvelopment Of A Hygrothermal Simulation Tool For Building Envelope Study", Concordia University, p.10.

[12] محمد عبد الفتاح أحمد (2003)، "تأثير تصميم الغلاف الخارجى للمبنى على الإكتساب الحرارى والراحة للمستعملين"، رسالة درجة الماجستير، جامعة القاهرة، ص69.

[13] Manjusha Muraleedharan, Yashida Nadir, (2021), " Geopolymer mortar integrated with phase change materials for improvement of thermal efficiency in buildings: A review", the scientific committee of the International Conference on Materials, Processing & Characterization, Volume 44, Part 1, Pages 878-885.

[14] ASHRAE, (2010), " thermal environmental conditions for human occupancy ", School of American society of heating refrigerating and air conditioning engineers .

[15] غ. حلبوني، (2009)، " معايير الراحة الحرارية للأبنية السكنية فى عدد من المدن اليمنية "، ورقة بحثية، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، المجلد الخامس والعشرون – العدد الثاني ص 401.

[16] http://ecoarchitectures.blogspot.com/2014/03/arpt-headquarters-in algiers.html /(Accessed 23/7/2023).

[17] https://www.active-surfaces.com/en/progetti/de-castillia-2 / (Accessed 23/7/2023).

[18]https://www.worldbuildingsdirectory.com/entries/central-ring-art-galler/(Accessed 20/5/2023).