https://erjm.journals.ekb.eg
ISSN:
DOI: ---------

ERJ
Engineering Research Journal
Faculty of Engineering
Menoufia University

استراتيجية لتطبيق مواد البناء النانونية غير الإنشائية في المستشفيات المصرية بغرض تحقيق الاستدامة البيئية و الوظيفية

داليا عادل على خضراوي
قسم الهندسة المعمارية ، المعهد العالي للهندسة و التكنولوجيا بكينج مريوط ، بالأسكندرية
email: dr.dew777@yahoo.com

ملخص البحث :
تهدف الدراسة الى التوصل الى أهمية تطبيقات النانو في البناء و بالأخص المواد غير الإنشائية و ذلك بغرض أستنباط أستراتيجية لتطبيق تقنية النانو في مواد البناء غير الإنشائيةالخاصة بمبانى المستشفيات و ذلك بهدف النهوض بمعايير الجودة الوظيفية و البيئية للمستشفيات على النطاق المحلى ، فتقنية النانو من أهم التطبيقات الحديثة التى تؤثر بشكل مباشر و خاص في خواص و سلوك المواد الذكية المستخدمة في المبانى ، مما قد يكون له تأثير كبير في تطبيق و تقنين تلك المواد في البيئات الداخلية و الخارجية لتلك النوعية من المبانى و خاصة في الأماكن الحرجة التى يتم الأحتكاك فيها بالمرضي.

كلمات مفتاحية :
نانوتكنولوجي – مواد البناء النانونية – مبانى المستشفيات – الأستدامة البيئية – الأستدامة الوظيفية.

Abstract:
This research deals with the influence of nanotechnology applications in architecture in order to devise a methodology for applying nanotechnology in building and finishing materials for egyptation hospitals, as nanotechnology is one of the most important modern applications that directly affect the properties and behavior of materials used in that kind of buildings, such it has an impact on the use of materials in the internal and external environments of these types of buildings, Since it plays an important role especially in critical places which are in contact with patients, since it is application helps in achieving the required Comfort and the functional and environmental sustainability in these types of buildings.

مقدمة :
تعد تكنولوجيا النانو واحدة من أهم التطورات العلمية التي لها أثر كبير على العمارة و ذلك من خلال أستغلال أمكانياتها لأنتاج مواد جديدة ذات خواص محسنة ، مما أعطى الأمكانية للحصول على تصميمات ذات كفاءة عالية بيئياً ووظيفياً من خلال أستخدام خامات بناء محسنة بتقنيات النانو مثل الزجاج و الخرسانة و غير ذلك ، ومن خلال هذا المنطلق اتجه الفكر العالمي لتطبيق تلك المواد البنائية المحسنة و المستحدثة للتطبيق في مبانى معمارية تخضع لمعايير تصميمية و وظيفية محددة مثل مباتى المستشفيات ، و ذلك لما تتطلبه تلك المبانى من أشتراطات جودة تتطلب تطبيق مواد معمارية تعمل على تحقيق الراحة الحرارية و الوظيفية المطلوبة و بالأخص في عصر التغيرات المناخية الجذرية الطارئة التى نعيشها حالياً.

الهدف من البحث:
تكمن أهمية البحث في هدف رئيسي يتمثل في تأكيد أهمية تقنين تطبيق تقنية النانو في مبانى المستشفيات على المستوى المحلى ، و ذلك من خلال أستنباط منهجية محكومة بمجموعة من المعايير و المحددات لتطبيق مواد البناء النانونية غير الإنشائيةفي مبانى المستشفيات على النطاق المحلى و ذلك من أجل تحقيق الاستدامة البيئية و الوظيفية المطلوبة ، كما تندرج تحت الهدف الرئيسي مجموعة من الأهداف الثانوية تتمثل في الأتى :

- تحقيق الراحة الحرارية للمرضي داخل الفراغات الداخلية لمبانى المستشفيات من خلال الوصول لدرجات الحرارة المثلي من خلال تطبيق مواد البناء النانونية المستحدثة و المحسنة.
- التغلب على التغيرات المناخية الجذرية و التى تعد عامل يهدد الراحة الوظيفية و الحرارية لتلك النوع من المبانى.
- تحقيق متطلبات الأستدامة البيئية و الوظيفية من خلال تقليل متطلبات الطاقة و انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون.
- الأرتقاء و العمل على تحسين الأداء البيئي والأقتصادي لمبانى المستشفيات.
- الحصول على النظافة المطلوبة لمبانى المستشفيات و التى تعد من متطلبات الجودة العلاجية.

المشكلة البحثية:
تتمثل المشكلة البحثية في أن العديد من مبانى المستشفيات المحلية لا تخضع للمتطلبات التصميمية لتحقيق الراحة الوظيفية و الحرارية المطلوبة لتلك الفراغات، فالأغلبية العظمى من مواد البناء التشطيبية المطبقة في مبانى المستشفيات المصرية لا تحقق الأستدامة الوظيفية والبيئية المطلوبة و بالأخص مع التغيرات المناخية الجذرية الطارئة حالياً ، هذا بالأضافة الى عدم الأهتمام بتطبيق المواد المستحدثة وبالأخص المواد النانونية في مجال المبانى الصحية و المستشفيات المحلية بالرغم ما قد تحققه من جودة وظيفية و بيئية كمعايير قياسية تصميمية لمبانى المستشفيات ، حيث أن الجودة التصميمية والأستدامة البيئية و الوظيفية المطلوبة أصبحت أحدى بنود متطلبات الجودة للمبانى الصحية حالياً ، فمواد البناء النانونية تتميز بخواص و مواصفات محسنة تعمل عند تطبيقها في مبانى المستشفيات على رفع الأداء الوظيفي و البيئي للفراغات المعمارية الصحية ، و بالرغم من ذلك لا يوجد نظام أو أستراتيجية لحصر تلك المواد النانونية غير الإنشائية وتطبيقها في مبانى المستشفيات المحلية.

الفرضية البحثية:
و هي تتمثل في أمكانية أستنباط أستراتيجية لتطبيق مواد البناء النانونية غير الإنشائيةفي مبانى المستشفيات و ذلك من خلال أطار مجموعة من المعايير و المحددات التى تضمن نجاح تطبيق تلك الأستراتيجية على مستوى مبانى المستشفيات المحلية ، حيث أن تحقيق تلك المعايير و المحددات يضمن تحقيق الراحة الوظيفية والحرارية المطلوبة مع تخفيض التكلفة الأقتصادية على المدى الطويل ، حيث تمثلت تلك المحددات و المعايير في محددات وظيفية و بيئية و أقتصادية ، و بناءاً عليه تحقق الأستراتيجية المستنبطة الأستدامة البيئية و الجودة التصميمية المطلوبة للفراغات الصحية داخل مبانى المستشفيات المحلية.

المنهجية البحثية :
اعتمد البحث في الدراسة على ثلاث مناهج للحصول على المنهجية الخاصة بتطبيق مواد النانو تكنولوجي غير الإنشائيةفي التشطيبات الخاصة بالمستشفيات على المستوى المحلى.

أولاً: الدراسة النظرية: و هي توضح المفهوم العام لكيفية تطبيق مواد النانو تكنولوجي بشكلاً عام في العمارة ، و مدي تأثير تطبيق تلك المواد المحسنة بتقنية النانو على المبانى ، حيث تم تقسيم تلك المواد الى أنشائية و غير أنشائية ، ليتم التركيز بعد ذلك في المنهجية على المواد غير الإنشائية، بالأضافة الى تضمن البحث في الجزء النظرى الى تعريف مفهوم تقنية النانو في العمارة من وجهة النظر المعمارية و الأداء المعمارى لتلك المواد في البناء.

ثانياً: الدراسة التحليلية و التحليلية المقارنة : و هي تقوم بدراسة وتحليل تطبيق تكنولوجيا مواد النانو الأنشائية و الغير الأنشائية على المستوى العالمى في مجال المستشفيات و ذلك من خلال دراسة وتحليل حالات دراسية لبعض المستشفيات التى تم تطبيق تلك التقنية بها على المستوى العالمي ، و التى تم تقيمها على المستوى العالمي، حيث تم أختيار تلك الحالات الدراسية بناءاً على الأتى:

- تشابه طبيعة مبانى الحالات الدراسية و هي مستشفيات فقط.
- التركيز على دراسة و تحليل تطبيق مواد النانو تكنولوجي الغير أنشائية.

ومن خلال الدراسة التحليلية المقارنة يتم أستخلاص المعايير والمحددات التى يجب توافرها لتطبيق تكنولوجيا مواد النانو البنائية في المستشفيات.

ثالثاً : الدراسة التطبيقية: و فيها يتم دراسة ما مدي تطابق المعايير و المحددات المستنبطة من الدراسة التحليلية على بعض عينات الدراسة على المستوى المحلى المشابهة للطابع الوظيفي لعينات الدراسات التحليلية و هي مبانى المستشفيات و دراسة ما مدى توافر محددات و معايير تطبيق تكنولوجيا النانو في مواد البناء الخاص بالمستشفيات ، و الى اى مدى تم تطبيق تلك التقنيات و ما مدى نسب تطبيقها.

رابعاً : الدراسة الأستنتاجية (الأستنباطية): حيث يتم فيها أستنباط منهج مقترح يتم من خلاله تطبيق تكنولوجيا النانو في مواد البناء غير الإنشائيةالمطبقة في المستشفيات على المستوى المحلى.

1- مفاهيم تخص تقنية النانو :

1-1- علم النانو :
علم النانو هو العلم الذي يهتم بتصنيع المادة على مقياس النانو وهو عبارة عن وحدة قياس متناهية الصغر للغاية تساوي جزءاً من مليار جزء من المتر، أي عشرة أضعاف ذرة الهيدروجين وعند هذا المقياس تختلف الخواص الكيميائية والفيزيائية للمواد ، مثل اللون و الصلابة و الموصلية و التفاعلية اختلافاً كبيراً عن المقياس العادي.(6)

2-1- المواد النانونية :
هي الفئة المتميزة من المواد المتقدمة التي يمكن أنتاجها بحيث تتراوح مقاييس أبعادها أو ابعاد حبيباتها الداخلية ما بين 1-100 نانومتر ، وقد تكون مواداً عضوية أو غير عضوية (طبيعية او مصنّعة، تسلك تلك المواد سلوكاً مغايراً للمواد التقليدية).(6)

2- تطبيقات مواد البناء النانونية في العمارة :
تعمل تقنية النانو على تحسين الخواص المعمارية و الأنشائية لمواد البناء و أكسابها أمكانيات أكثر من مادة في نفس الوقت و من خلال هذا المنطلق يتم تقسيم مواد البناء المحسنة بتقنية النانو الى مواد أنشائية و غير أنشائية ، حيث يتم فيما يلى عرض تلك المواد و أهم الأضافات التى يتم أضافتها اليها و الفائدة من وراء تلك الأضافات وأمثلة تطبيقية على ذلك.

2-1- مواد البناء النانونية الأنشائية :

2-1-1- الخرسانة :
الخرسانة النانونية هي إضافة مادة نانوية إلى الخرسانة ، حيث تتميز الخرسانة النانونية بمواصفات وخصائص خاصة عند مقارنتها بخلطات الخرسانة العادية مثل إضافة النانو سيلكا "Nano SiO 2" و التيتانيوم النانوي "Nano TiO 2" و أنابيب الكربون النانونية "Carbon Nano" لتحسين الأداء والمقاومة الهيكلية و من أهم الأضافات التى يتم أضافتها للخرسانة الأتى : (1)

أ- النانو سيلكا "Sio2 " " Nano Silica " :
هي أحد منتجات المواد الخام من السليكون و هي تعمل على تحسين الخواص الميكانيكية للخرسانة ، مما يساعد على زيادة القوة و المتانة للخرسانة و يساعد على تغيير طريقة استخدام الخرسانة في النظم الإنشائية ، حيث يتم أستخدامها في المبانى شاهقة الارتفاع مثل برج خليفة بدبي. (1)

ب- ثاني أكسيد التيتانيوم النانوي "Tio2" "Titanium dioxide":
هو أكسيد يتكون من معدن التيتانيوم و هو عاكس جيد لأشعة الشمس و يساعد على عملية التحفيز الضوئي التى تجعل السطح الخارجى للخرسانة مضاد للتلوث و لذلك يتم أستخدام تلك النوع من الخرسانة في المناطق شديدة التلوث مثل كنيسة اليوبيل في إيطاليا للمعمارى "ريتشارد ماير".(1)

ج- أنابيب الكربون النانونية "Carbon Nano Tubes ":
و هى ألياف أنابيب الكربون الزجاجية القصيرة يتم أضافتها للخرسانة ، حيث تعمل على تحسين الخواص الميكانيكية للمادة مع زيادة قوة الشد و الضغط للخرسانة ، مما يساعد على سهولة تشكيل المبانى وأعطاء السطح الخارجى نوع من الأنسابيية مع القوة و المتانة المطلوبة مثل فندق مارينا بي ساندس "Marina Bay Sands" بسنغافورة. (1)

(1)

(2)

(1) شكل (1) الحصول على الأرتفاعات الشاهقة ببرج خليفة بدبي من خلال أضافة النانو سيلكا للخرسانة. (أ)

(2) شكل (2) الحصول على سطح خالى من التلوث بكنيسة جوبيل "Jubilee Church" بمدينة روما/ايطاليا عن طريق ثانى أكسيد التيتانيوم النانوي.(ب)

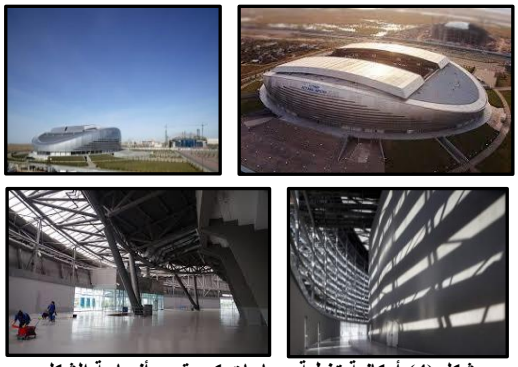
شكل (3) الحصول على الأنسابية و القوة و المتانة في مبنى " مارينا بي ساندس" بسنغافورةعن طريق تطبيق أنابيب الكربون النانونية.(ت)

2-1-2- الحديد:

الحديد النانوى يعتمد على أضافة مادة نانوية لتحسين أداء الحديد وبالأخص الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية ، و من أهم الأضافات التى يتم أضافتها للحديد المواد الأتية : (ث)

أ- جزيئات النحاس و المغنيسيوم والكالسيوم النانونية:

تعمل جزيئات تلك المعادن على تحسين ترابط جزيئات الحديد ورفع مقاومته للتأكل و الحرارة ، بالأضافة الى أنها تزيد من الخواص الفيزيائية و الميكانيكية للحديد وتزيد من قوة انحنائه وبالتالي تقلل كمية التسليح في الخرسانة ، كما أنها تقلل من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ، مما يساعد في أستخدامه في الأنشاءات ذات التصميمات التى تتميز بالفراغات الواسعة والمرونة مثل أستاد " أستانا" بكازاخستان. (ث)



شكل (4) أمكانية تغطية مساحات كبيرة مع أنسابية الشكل في مبنى أستانا بكازاخستان نتيجة لأستخدام الحديد النانوى.(ج)

3-1-2- الخشب:

يتكون الخشب من هيدرات الكربون و اللجنين و لذلك يتأثر الخشب بعوامل مختلفة أهمها الرطوبة و الفطريات و النمل، مما يقلل من متانة الخشب و يعمل على تأكله مع الزمن و عند أضافة مواد نانوية يتم تحسين أداء الخشب و التغلب على تلك العوامل التى تتلفه و من أهم المواد النانونية المضافة الى الخشب ، الأتى: (2)

أ- أكسيد الألومنيوم النانوي:

يزيد من متانة الخشب و صلابته و يزيد من مقاومته للتأكل.(2)

ب- أكسيد الحديد وثاني أكسيد التيتانيوم النانوى: (2)

يعمل على حماية الخشب من الأشعة فوق البنفسجية و الفطريات.

ج- نانو السليكا:

يعمل على منع تسرب الماء و يساعد على مقاومة الخشب للرطوبة ويزيد من صلابته.(2)

شكل (5) متانة النسيج الأنشائي لمظلة " متروبول باراسول" بأسبانيا نتيجة لأستخدام الخشب النانوى.(ح)

شكل (6) أستخدام الخشب النانوى المحسن للتغلب على التغيرات المناخية الأستوائية بمبنى القنصلية بميل بورن بأستراليا. (خ)

2-2- مواد البناء النانونية غيرالأنشائية:

2-2-1- الزجاج:

الزجاج النانوي هو زجاج مضاف اليه مواد نانوية تعمل على تغيير خصائصه ، مما أدي الى تنوع التطبيقات الخاصة للزجاج ، و ظهور أنواع متعددة منه ، أهمها يتمثل في الأتى:(3)

أ -الزجاج ذاتي التنظيف " Self-Cleaning Glass ":

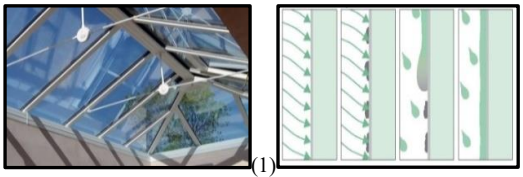
هو زجاج معالج ضد التصاق الأتربة و الأوساخ ، فهو يحتوي على طبقة رقيقة من ثاني أكسيد التيتانيوم النانوي الذي يعمل على أزالة الأوساخ عن طريق عملية التحفيز الضوئي فهو يقوم بامتصاص الأشعة الشمسية التى تتفاعل مع الأتربة و تقوم بتكسيرها ، هذا بالأضافة الى أن ثاني أكسيد التيتانيوم يجعل الزجاج كاره للماء ، مما يعمل على صعوبة التصاق مياه الأمطار و يساعد على توفير الجهد والمال في عملية التنظيف. (3)

ب- الزجاج المضاد للأنعكاس (زجاج الحماية من الشمس) (Solar Protection Glass) :

هو زجاج يعمل على أنعكاس الأشعة الشمسية.(3)

ت- زجاج الحماية من الأشاعة فوق البنفسجية (UV Protection Glass) :

هو زجاج شفاف لا يعيق الرؤية و يسمح بنفاذ أشعة الشمس المفيدة التى تسمح بالأضاءة الطبيعية مما يؤدي الى تقليل استهلاك الطاقة للإنارة و فى نفس الوقت يقلل من دخول الأشعة فوق البنفسجية (الأشعة غير المرئية) الضارة التي تمثل نسبة كبيرة من الإشعاع الشمسي، و ترفع من درجة حرارة الفراغ ، وقد تم استخدام هذا النوع من الزجاج في مبنى بيت المسنين في سويسرا عام ٢٠٠٤ م.(3)



(2) (1)

(1) شكل (7) الزجاج النانوي ذاتي التنظيف و ميكانيكية أزالته للأتربة والأوساخ عن طريق تفاعل أشعة الشمس معها. (د)

(2) شكل (8) أستخدام الزجاج ذاتي التنظيف في تغطيات المباني و المباني شاهقة الأرتفاع و التى يصعب تنظيفها. (ذ)

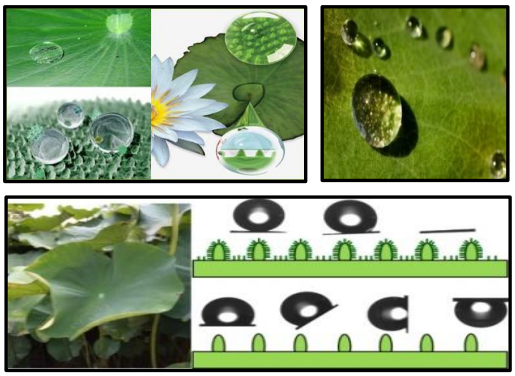
شكل (9) استخدام زجاج الحماية من الأشاعة فوق البنفسجية النانوي في مبنى رعاية المسنين بسويسرا. (ر)

2-2-2- الدهانات (Coatings) :

- خاصية نبات اللوتس:

أن هذه الخاصية تعود إلى اتصاف أوراق اللوتس بصفتين هما: الصفة الشمعية والنتوءات الميكروية التي تغطي كامل سطح الورقة فمن المعروف أن الصفة الشمعية وحدها قادرة على جعل الأوراق كارهة

للماء (hydrophobic) ، أي لا تحب الماء وتصده و تتموضع نقاط الماء على سطوح مثل هذه المواد مرتفعة ، بحيث تجعل منطقة تماسها مع المادة أصغر ما يمكن في حين ينتشر الماء على السطوح المحبة للماء جاعلا منطقة ألتماس أكبر ما يمكن و تكون زاوية ألتماس (عند تلاقي سطح النُقيطة) مع سطح المادة في السطوح المحبة للماء أقل من 30 درجة ، في حين يكون في السطح الكاره للماء زاوية تماس تزيد على 90 درجة وبالإضافة إلى ذلك أن العدد غير المحدود من النتوءات يجعل سطح اللوتس فائق الكره للماء ، فتزيد زاوية ألتماس على 150 درجة ، ويشكل الماء عليه نقيطات كروية الشكل تقريبا ذات سطح تماس صغير جدا ، أى أن قطرات ماء المطر تبلل الأوساخ بسهولة فتتدحرج معها بعيدا عن الورق.(ز)



شكل (10) السطح الخارجى لأوراق اللوتس المقاومة للماء و كيفية تعاملها مع ألتصاق الأوساخ. (س)

- تطبيقات و خصائص دهانات النانو :

أ- التنظيف الذاتي (تأثير اللوتس) (Self-Cleaning):

استخدمت تطبيقات تكنولوجيا النانو التي تمتاز بالتنظيف الذاتي للمحافظة على الأسطح من الأتربة والعوامل الجوية المختلفة. (4)

ب- التنظيف الذاتي الضوئي:

و فيه يتم استخدام الأسطح الطاردة للماء التى تعمل على تحلل الأتربة ، فتطفو على السطح و بالتالى تقوم الأسطح بطرد الأتربة وفى هذه الحالة لابد من استخدام الأشعة الفوق البنفسجية إلى جانب طبقة المياه.(4)

ج- مكافحة الضباب:

و فيه يتم طلاء السطح بطبقة رقيقة جدا من ثاني اوكسيد التيتانيوم الذي يعمل على تحويل قطرات المياه والضباب الى طبقة رقيقة غير مرئية ، و يتم استخدام هذا الطلاء عادة في مرايا الحمام وكذلك الواجهات الزجاجية لمنع تكثف البخار. (4)

د- المواد المضادة للميكروبات والبكتيريا:

Antimicrobial/Antibacterial Materials

هي مواد يتم طلائها على الأسطح لتدمير البكتريا ، مما يساعد في تخفيض استخدام المطهرات ولا سيما في بيئات الرعاية الصحية بأساليب تدعم النظافة وقد تم استخدام مواد النانو المضادة للميكروبات والبكتيريا بجميع أرضيات وحوائط غرف العمليات بأحدي مستشفيات مدينة جوسلار بألمانيا عام ٢٠٠٥ م. (4)

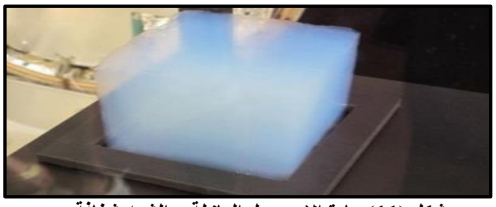
ه- مقاومة الكتابة على الجدران: (Anti-Graffiti)

وهو طلاء الأسطح لمكافحة الكتابة عليها ومقاومة الأوساخ ومن مساوئها لا يمكن ازالة الطلاء الواقي بسهولة و بالتالي يتم اهدار مـــــواد التشطيبات حيث يتم تقديم نسيج من الطلاءات المضادة التي تجعل من الكتابة على الجدران صعبة باستخدام تكنولوجيا النانو. (4)

2-2-3- مواد النانو العازلة :

أ - الايروجيل (Aerogel) :

هى مادة تنتمى للهلاميات الهوائية أو الرغوية النانونية (Nanofoams) وهي تمثل مواد صلبة عالية المسامية ذات كثافة منخفضة للغاية ولا تشبه الجل في خصائصها الفيزيائية و توصف بأنها مادة ذات مقاومة عالية للحرارة وتستخدم في وقاية المبانى من الحريق وهي ذات وزن خفيف جدا و مادة عازلة للحرارة ، فالسيليكا والهواء المكونة لها تشكل عازل جيد للحرارة و تزداد خاصية العزل هذه عند أضافة الكربون الذي يتميز بقدرته على امتصاص الأشعة تحت الحمراء ، و قد تم تطبيق تلك المادة في مبنى جامعة و معرض يل للنحت ، فنظراً للظروف المناخية للمكان قام المصمم بتصميم حائط ثلاثي يتكون من ألواح زجاجية منخفضة الأنبعاث (Low-E glass) في الخارج و تجويف مليئ بمادة الايروجيل العازلة بسمك 3 بوصة (Kalwall Panel) ، حيث يقوم التجويف علي الحد من الإشعاع الشمسي من خلال الأحتفاظ بالهواء الدافيء بواسطة الايروجيل فاما أن يستخدم داخليا في أشهر الشتاء أو ينعكس إلي الخارج خلال الأشهر الدافئة. (5)



شكل (11) مادة الايروجيل العازلة و الشبه شفافة و مدي خفة وزنها. (ش)

شكل (12) مبنى جامعة ومعرض يل للنحت حيث تم تطبيق ألواح زجاجية منخفضة الأنبعاث مع تجويف مليء بالايروجيل.(ص)

ب- ألواح العزل المفرغة

(Vacuum Insulation Panels VIPs) :

هي عبارة عن ألواح عازلة مفرغة يتراوح سمكها من ٢ مم الى ٤٠ مم و يمكن تطبيقها على الجدران و الأرضيات ، وقد تم استخدام العزل باستخدام ألواح العزل المفرغة بمركز سفينة الشمس وسط مدينة فرايبورغ بألمانيا عام ٢٠٠٦ م ، فالمشروع عبارة عن مجمع سكني تجاري اداري ، عمل فيه المصمم علي استخدام مصادر الطاقة المتجددة من خلال استخدام الزجاج المحول للطاقة الشمسية والعزل الحراري ، بالأضافة إلى استخدام الألواح المفرغة العازلة (VIPs) لعزل الجدران الخارجية و الزجاج. (5)

شكل (13) استخدام الألواح المفرغة بمركز سفينة الشمس وسط مدينة فرايبورغ بألمانيا. (ض)

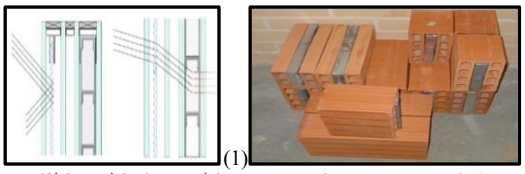
ج- المواد متغيرة الطور:

(Phase change materials) (PCMs):

هى مواد نانوية متغيرة الطور تستخدم لتقليل استهلاك الطاقة و ذلك عن طريق تغيير حالتها الفيزيائية من خلال اكتساب الحرارة ، حيث يمكن استخدامها و تطبيقها في الحوائط والأسقف والأرضيات ، فتلك المواد تصبح سائلة خلال النهار عندما يكون الجو دافئ و تتصلب في الليل عندما تقل درجة الحرارة ، و في ذلك الوقت تقوم بأطلاق الحرارة أو تخزينها.

و من ضمن تطبيقات المواد متغيرة الطور استخدامها في الحوائط ، و ذلك عن طريق استخدام مواد نانوية متغيرة الطور(الكبسولات الميكروية) في الطوب الطفلي المفرغ حيث ان إدخال لوح من

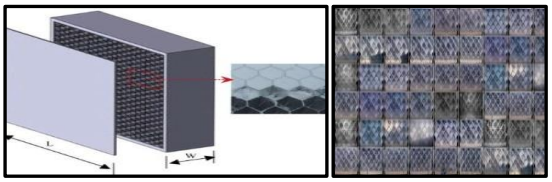
الكبسولات الميكروية متغيرة الطور بمحور الطوب الطفلي المفرغ بسمك ٣ سم يعمل على تخفيض تدفق الحرارة للفراغات الداخلية بنسبة ٥٥ % مقارنة بالألواح التقليدية و قد وجد الباحثون أن الطوب المدمج مع (PCM) له تأثير أفضل لعزل المبني خلال النهار عندما يتعرض لأشعة الشمس عن الطوب الغير معالج. (6)



(2) (1)

(1) شكل (14) استخدام المواد متغيرة الطور داخل الطوب الطفلي في الحوائط. (ط)

(2)شكل (15) استخدام المواد متغيرة الطور في الحوائط الستائرية. (ظ)



شكل (16) توضيح تفصيلى للمواد متغيرة الطور في الواجهات. (ع)

3- الدراسة التحليلية على مستوى النطاق العالمي:

فلكي يتم أستنباط أستراتيجية لتطبيق مواد البناء النانونية غير الإنشائيةعلى المستوى المحلى لمبانى المستشفيات ، فلابد من تثبيت مجموعة من المحددات و المعايير تضمن نجاح تلك الأستراتيجية ، حيث يتم نجاح تلك الأستراتيجية أو المنهجية من خلال أطار تطبيق تلك المعايير و المحددات ، حيث يتم أستنباط تلك الأستراتيجية المقترحة شاملة المحددات و المعايير من خلال دراسة تحليلية لمجموعة من الحالات الدراسية (مبانى مستشفيات على المستوى العالمي) تم تقنين و تطبيق مواد النانو غير الإنشائيةفيها من منطلق تحقيق الأستدامة البيئية و الوظيفية المطلوبة.

3-1- أسس أختيار الحالات الدراسية:

فلقد تم وضع مجموعة من الأسس التى على أساسها تم أختيار حالات الدراسة تمثلت في الأتى :

- تشابه الحالات الدراسية في كونها مبانى رعاية صحية ذات طابع واحد ، حيث تم تحديد نطاق الدراسة على مبانى المستشفيات فقط .
- تنوع الأماكن البيئية و المكانية لحالات الدراسة.
- مبانى ذات طبيعة تصميمية متميزة و مصنفة عالمياً على أنها مستدامة و محققة الراحة الحرارية و الوظيفية.
- جميع حالات الدراسة تم تطبيق تكنولوجيا تقنية النانو فيها من خلال مواد النانو الغير أنشائية.

3-1-2- مستشفي مانويل جيا جونزاليس بالمكسيك " Manuel Gea Gonzalez Hospital " :

المعمارى: أليسون درينج و دانييل سشواج "Allison Dring and Daniel Schwaag ".

الموقع: مدينة طلالبن "Tlalpan "، بجوار شرق المكسيك.

المواد النانونية المستخدمة: طلاء ثانى أكسيد التيتانيوم النانوى للوحدات الموديولية المغطاة للواجهة و الزجاج العاكس للحرارة.

تاريخ الأنشاء : 2013 م.

نشاط المبنى: مستشفي.(غ)

- التصميم المعمارى المعتمد على تقنيات النانو :

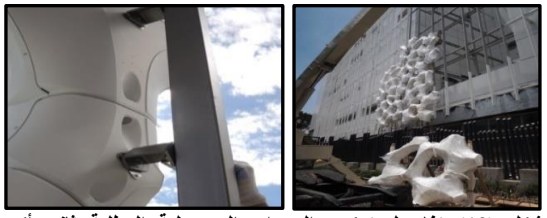
اعتمد تصميم المستشفي على غلاف واجهة مكون من طبقتين ، الطبقة الداخلية هي عبارة عن حائط من الزجاج الذكي يمثل الغلاف الداخلى للمبني ، ثم تأتى الطبقة الخارجية التى تغطي فقط الواجهة الجنوبية للمبنى و هي عبارة عن وحدات تظليل من Prosolve 37eskin " " ، و هي عبارة عن وحدات موديولية ثلاثية الأبعاد مصنوعة من بلاط السيراميك مع طلاء ثانى أكسيد التيتانيوم مثبتة على شبكة من الحديد المقاوم للصدأ.(غ)

- توفير الطاقة الحرارية و الضوئية : و ذلك عن طريق الغلاف الخارجي الذي يعمل كنظام ترشيح للضوء الطبيعى و الحصول على الطاقة الشمسية ، فالأنماط شبه البلورية التى تغطي الجزء الأمامي من المبنى تعمل على تظليل الجزء الأمامى ، مما يقلل من الأحمال الحرارية الناتجة عن الأشعاع الشمسي المباشر، كما أن استخدام زجاج التحكم الشمسي الذي يسمح بمرور الضوء المرئي الى المساحات الداخلية عمل على عكس جزء كبير من أشعة الشمس غير المرئية التى تسبب الحرارة ، مما ساهم أيضاً في تقليل من كمية التبريد اللازمة و توفير الطاقة الكهربائية.(غ)

- التقليل من التلوث و تحقيق التهوية الطبيعية: فالغلاف الخارجى للبلاطة المثقبة المطلية بثانى أكسيد التياتينوم عمل على تنقية الهواء عن طريق خاصية التحفيز الضوئي ، حيث تتفاعل الأشعة فوق البنفسجية مع طلاء النانو من ثانى أكسيد التياتنيوم ، فتعمل على تحليل ملوثات الهواء المحيط من الضباب الدخانى الى مواد كيميائية غير ضارة ، بالأضافة الى مقاومة البكتيريا و الفطريات و الأوساخ. (غ)

شكل (17) الواجهة الجنوبية لمستشفى مانويل جيا جونزاليس التى تغطيها الوحدات الموديولية من السيراميك المطلية ثانى أكسيد التيتانيوم (غ)

شكل(18) الواجهة التى استخدم فيها زجاج التحكم الشمسي(ف)



شكل (19) تفاصيل تركيب الوحدات الموديولية المطلية ثانى أكسيد التيتانيوم على شبكة من الحديد (غ)

3-2-2- مستشفي نيو بنديجو بولاية فيكتوريا بأستراليا " New Bendigo Hospital " :

المعمارى: باتس سمارت و سيلفر توماس هانلى Bates Smart "and Silver Thomas Hanley".

التقنية: زجاج الحماية من أشعة الشمس الضارة النانوي و العاكس للحرارة في الواجهات مع استخدام الدهانات النانونية .

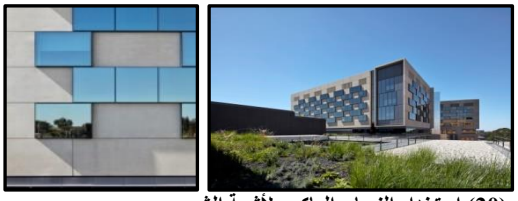
الموقع: ولاية فيكتوريا بأستراليا.

تاريخ الأنشاء : 2018 م.

نشاط المبنى: مستشفي.(ق) & (ك)

- التصميم المعمارى المعتمد على تقنيات النانو :
يعد المشروع من أكبر المستشفيات الأقليمية على مستوى ولاية فيكتوريا ، حيث تتميز واجهة المبنى بأنها تتكون من الألواح الزجاجية العاكسة لأشعة الشمس الضارة ، ذلك بالأضافة الى أن المبنى يعمل على تحقيق مبادئ الأستدامة من خلال الحديقة الموجودة على السطح ، والتي يمكن رؤيتها من داخل جناح الصحة العقلية ، كما تم تصميم سقف خشبي ممتد بين مدخلي المستشفى، حيث يعمل تأثير الضوء المتقطع المتغير على الأحساس بالأستمرارية كما يعطى استخدام الأخشاب إحساسًا بالدفء.

- توفير الطاقة الحرارية و الضوئية : حيث تقلل الأسطح الخضراء للمستشفى من تأثير الحرارة مع تحسين الأداء الصوتي و الحرارى هذا بالأضافة الى مجموعة واسعة من الألواح الشمسية الكهروضوئية بقدرة 200 كيلو وات تتكون من 770 لوحة ، تولد طاقة نظيفة وتقلل سنويًا من غازات الاحتباس الحراري بما يقرب من 300000 كجم من ثاني أكسيد الكربون على الأسطح ، كما يمكن لسقف المستشفى أيضاً من تخزين أكثر من 300 كيلو لتر من مياه الأمطار الصالحة للشرب ، بالأضافة الى أنظمة المياه المعاد تدويرها و التى تستخدم أيضًا كمصدر رئيسي للمياه لري المناظر الطبيعية وأنظمة رفض الحرارة. (ق) & (ك)



شكل (20) استخدام الزجاج العاكس لأشعة الشمس الضارة في واجهات مستشفي نيو بنديجو (ق)

شكل (21) زراعة سطح مستشفي بند يجو(ق)

شكل(22) السقف الخشبي يغطي المدخل(ق)

3-2-3- مستشفي هواشان بشنغهاي بالصين " Huashan Hospital":

المعمارى: جراشام سميس " Gresham Smith ".
التقنية: زجاج الحماية من أشعة الشمس الضارة النانوي و العاكس للحرارة في الواجهات ، تطبيق الدهانات النانونية مع نظم عزل الألواح المفرغة بالأسطح.
الموقع: شنغهاي بالصين.
تاريخ الأنشاء : 2015م.
نشاط المبنى: مستشفي.(ل) & (م)

- التصميم المعمارى المعتمد على تقنيات النانو :
مستشفى هواشان هي عبارة عن مستشفي بسعة 800 سرير تم تصميمها كجزء من مركز شنغهاي الطبي الدولي الذي تبلغ مساحته 77 فدانًا ، فكان الهدف الأساسي من التصميم هو خلق بيئة صديقة للبيئة المحيطة بالمستشفي ، و لذلك تم التأكيد على ممارسات البناء الخضراء و المستدامة من الناحية المعمارية ، حيث يتميز تصميم غرف المرضى باستخدام مواد ذات ألوان طبيعية ، بما في ذلك أرضيات الفينيل المشبعة بالخشب ، فلقد تم تصميم غرف المرضى النموذجية للاستفادة من الضوء الطبيعي. (ل) & (م)
فعناصر التصميم المستدام المحرك الرئيسي للمشروع ، حيث تم دمج غلاف المبنى المحسن والأنظمة الميكانيكية الفعالة في التصميم كما ساهم السقف الأخضر المزروع في كفاءة الطاقة ، والتحكم في جريان مياه الأمطار ، كما تحكم الزجاج النانوي عالي الكفاءة في الواجهة الزجاجية المواجهة للجزء الجنوبي في اكتساب الحرارة الشمسية ، ذلك بالأضافة الى أجهزة التظليل الشمسي التى عملت على توفير قيمة عزل أعلى للغلاف الخارجي ، كما تعمل المعدات الميكانيكية لإدارة مياه الأمطار و استرداد الحرارة على تقليل المتطلبات الميكانيكية ، بالأضافة الى نظم تجميع الطاقة الشمسية التى ساعدت على توفير الطاقة مع خلال إنتاج الطاقة عن طريق تحويل أنظمة النفايات. (ل) & (م)

شكل (23) استخدام الزجاج العاكس لأشعة الشمس الضارة في واجهات مستشفي هاشان (ل)

3-2-4- مستشفي سانتا في دي بوجواتا " Santa Fe de Bogota Hospital":

المعمارى: الكيبو دي مازينتو " El Equipo de Mazzanti ".
التقنية: الزجاج النانوي العاكس للحرارة في الواجهات مغطي بحائط من الطوب المغطى بجلد مانع للحرارة ، مع تطبيق العزل بين الحائط الزجاجي و حائط الطوب.
الموقع: كولومبيا بأمريكا الجنوبية.
تاريخ الأنشاء : 2016م.
نشاط المبنى: مستشفي. (ن) & (ه)

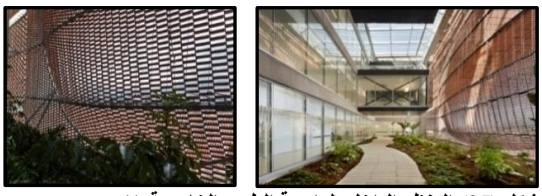
- التصميم المعمارى المعتمد على تقنيات النانو :
اعتمد المبنى في تصميم واجهته على الطوب ، حيث استخدمت الواجهة الطوب في التمديد وليس في الضغط حيث تم استخدام الأجزاء المعدنية والكابلات التي تدعم الطوب كقماش ، مما أتاح الحصول على أنماط مختلفة من استخدامات الإضاءة الطبيعية التي تساعد على تعافي المريض. (ن) & (ه)

يتكون المبنى من 12 طابق ، الطابق الأول متصل بردهة كبيرة تفتح على الشارع التاسع والمباني القائمة ، والثاني هو قاعدة البرج والساحة التي يدعم فيها مكعب المستوى العاشر ، حيث توجد وحدات العناية المركزة لحديثي الولادة والأطفال ، أما في الطابق التاسع توجد مقصورة التشمس الاصطناعي ، فمقصورة التشمس الاصطناعي هي مساحة تحاول استعادة مفهوم مستشفى الحديقة.

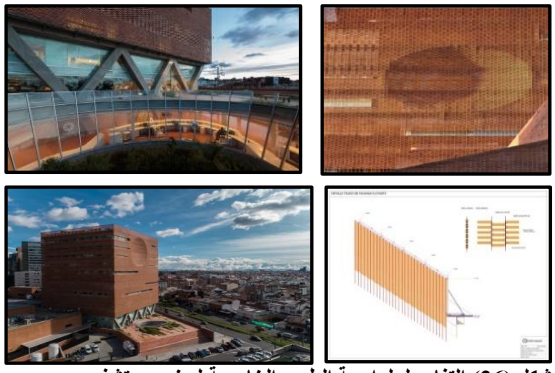
ففي هذا المبنى تترك الواجهة حالتها المتمثلة في العمل كبشرة فقط وتتحول إلى عنصر وظيفي ، حيث يسمح ترتيب الطوب للضوء الطبيعي أن يأتي بمستويات وشدة مختلفة ، كما تسمح هذه الواجهة باستخدام جدار القرميد كغشاء يساعد على تكوين علاقة شبه خاصة مع الخارج فعلى الجزء الخلفي من قشرة الطوب ، يوجد جلد مزجج

لمنع التلوث و الأتربة كما يعمل على العزل عن درجة الحرارة والتحكم في الصوت. (ن) & (ه)

شكل (24) استخدام الطوب كبشرة خارجية للواجهة مع تطبيق الزجاج النانوي العاكس لأشعة الشمس الضارة كواجهة خارجية في واجهة مستشفي سانتا دي بواجاتا (ه)



شكل (25) المنظر الداخلى لواجهة الطوب الخارجية (ه)



شكل (26) التفاصيل لواجهة الطوب الخارجية لمبنى مستشفي سانتا دي بواجاتا (ه)

3-2-5-مستشفي سان رافاييل بميلان بأيطاليا "San Raffaele Hospital":

المعمارى: ماريو كوتشينيلا "Mario Cucinella Architects".

التقنية: زجاج النانو العاكس للحرارة في الواجهات مغطي بحائط من السيراميك المطلي بطبقة من دهانات النانو المضادة للأتربة و التلوث مع تطبيق مواد نانوية عازلة بين الحائط الزجاجى و السيراميك .

الموقع: ميلان بأيطاليا.

تاريخ الأنشاء : 2021م .

نشاط المبنى: مستشفي. (ة) & (و)

- التصميم المعمارى المعتمد على تقنيات النانو :

مستشفى سان رافاييل تضم 284 سريرًا ، فلقد تم بناء قاعدة المستشفى ببلاط ترابي اللون لإنشاء منصة ترتكز عليها المستويات الشاهقة أعلاها ، تضم هذه القاعدة غرفة الطوارئ وهي الأكبر على مستوي أيطاليا ، بالإضافة إلى كتلة جراحية بها 20 غرفة عمليات تحت مستوى الأرض. (ة)

يتميز مركز الجراحة والطوارئ الجديد بغطاء المبنى بالكامل بالزجاج ، حيث يتميز بواجهة مكونة من فتحات رأسية شاهقة الارتفاع تؤدي وظيفة مناخية بيولوجية مزدوجة بفضل الظلال الملقاة على الزجاج ، تساعد هذه المظلات على تقليل الأحمال الحرارية الناتجة عن الإشعاع الشمسي ، وتقليل متطلبات الطاقة لتكييف الهواء في المساحات الداخلية ، وفي الوقت نفسه تعمل على زيادة كمية الضوء الطبيعي المنتشر في الغرف من خلال الانعكاس على أسطح السيراميك كطبقة تحفيزية خاصة من ثاني أكسيد التيتانيوم تجعل البلاط يحبس الجزيئات الملوثة في الغلاف الجوي ، والتي تخمدها أشعة الشمس ثم تنجرف بفعل هطول الأمطار في الغلاف الجوي. (ة) & (و)

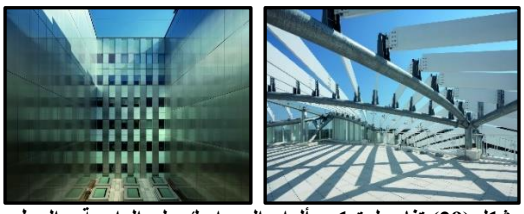
فبعد حظر المواد الاصطناعية المستخدمة على نطاق واسع في بناء المستشفيات ، مثل PVC ، يتم تغطية الأسطح الداخلية بألواح حجرية مضادة للبكتيريا ، وهو منتج يجمع بين القوة الميكانيكية العالية والمتانة مع منع انتشار الكائنات الحية الدقيقة الضارة بالصحة ، كما أنه تم أبلاء نفس الاهتمام للمفروشات والتجهيزات الصحية فالأولى مصنوعة من مواد صديقة للبيئة خالية من الفورماليديهايد ، بينما يتم التعامل مع الأخيرة بطبقة مضادة للبكتيريا على أحواض الحمامات وغرف المرضى والعيادات.(و) & (ؤ)

- تحقيق الأستدامة و الراحة الحرارية :

فإن كسوة قسم الجراحة والطوارئ الجديد في سان رافاييل المعروفة بأسم "الجبل الجليدي" هي نظام لأحدث الألواح الخزفية المضادة للضباب الدخاني ، حيث تستغل الفتحات البيضاء الخصائص التحفيزية لثاني أكسيد التيتانيوم الذي يحول الألواح الخزفية البسيطة إلى مواد نشطة بيئيًا تتميز بخصائص مضادة للبكتيريا والفيروسات والتلوث بالإضافة إلى خصائص التنظيف الذاتي ، كما تساعد الواجهات الخزفية ذات فتحات التهوية في مستشفى سان رافاييل أيضًا على تقليل اكتساب الحرارة من خلال نشر تأثير أشعة الشمس المباشرة ، حيث تم تصميم السيراميك خصيصًا لتفكيك جزيئات الضباب الدخاني والحفاظ على الحرارة ، مما يقلل من استهلاك الطاقة بنسبة 60 في المائة.(ة) & (و)

شكل (27) استخدام كسوة للواجهة من ألواح السيراميك المطلية ثانى أكسيد التيتانيوم الذي يتفاعل مع أشعة الشمس و يعمل على أزالة الأتربة و التلوث و تساقطها مع مياه الأمطار مع تطبيق الزجاج النانوي العاكس لأشعة الشمس الضارة و ذاتى التنظيف (ؤ)

شكل(28) طلاء غرفة الجراحة بدهانات نانوية مضادة للبكتيريا (ؤ)



شكل (29) تفاصيل تركيب ألواح السيراميك على الواجهة و السطح (ة)

3-2-6- مستشفي بريف لا جيلارد بفرنسا
" Brive La Gaillarde's Hospital":

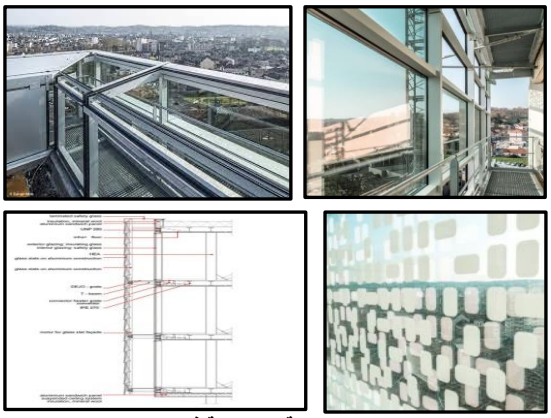
المعمارى: أيسبانجو ميلاني " Espango Milani ".
التقنية: زجاج النانو العاكس للحرارة في الواجهات مغطي بحائط ستائرى من الفولاذ و الزجاج العاكس ذاتى التنظيف مع تطبيق عزل بين الحائط الزجاجى و الواجهة ، مع تطبيق الدهانات النانونية المضادة للأتربة و التلوث داخل المستشفي.
الموقع: بريف لا جيلارد بفرنسا .
تاريخ الأنشاء : 2014م .
نشاط المبنى: مستشفي.(ي) & (ء)
- التصميم المعمارى المعتمد على تقنيات النانو :

يتميز المشروع بواجهة بنظام مزدوج الواجهة ، وإنشاء درع خارجي جيد التهوية لتحسين الحرارة والصوتيات ، حيث تقع الواجهة ذات الزجاج المزدوج على بعد متر واحد من المبنى، مما يعمل كدرع حراري للمبنى الرئيسي.(ي) & (ء)

فهيكل الواجهة مصنوع من مقاطع فولاذية ونظام ستارة للحوائط بزجاج مزدوج عالي الأداء ، فالهيكل الرئيسي الذي يحمل الواجهة مصنوع من أنابيب فولاذية مجلفنة ، و يتميز تصميم الواجهة بثلاثة أنواع من الزجاج المطبوع بالشاشة ، حيث تعمل الكثافات المختلفة للرسم على الزجاج على تنظيم تأثير الطاقة الشمسية وإنشاء واجهة متحركة للمبنى، فتتميز جميع أنواع الزجاج بخصائص أداء عالية لضمان العزل الحراري والراحة خلال فصل الشتاء ، كما أنها تتمتع بحماية شمسية كافية للحد من ارتفاع درجة الحرارة خلال فصل الصيف.(ي)

- تحقيق الأستدامة و الراحة الحرارية :
توفر الواجهة الزجاجية المزدوجة في مستشفى بريف لا جيلارد تحسينًا حراريًا وصحيًا للمباني الخارجية ، حيث يتكون تصميم الواجهة من جدران ستائرية من أنواع مختلفة من الزخارف الزجاجية التي توفر حماية أكثر أو أقل من أشعة الشمس اعتمادًا على موقع البلاط الزجاجي.(ي) & (ء)

شكل (30) واجهة مستشفي بريف لا جيلارد المزدوجة (ء)



شكل (31) تفاصيل تركيب الواجهة المزدوجة في مستشفي بريف لا جيلارد (ء)

جدول (1) مقارنة تحليلية بين حالات الدراسة لأستنباط معايير و محددات الأستراتيجية المقترحة

المشروع / نقاط التقييم	مستشفى مانويل كابرال خوزيه لايس	مستشفى نيو بلايموث فيتوريا	مستشفى هوراشان بشنغهاي	مستشفى ساناتا في بوجوتا	مستشفى سان رافاييل	مستشفى بريف كيلارد
تطبيق مواد انشائية نانوية	**لا**	**لا**	**لا**	**لا**	**لا**	**لا**
تطبيق مواد نانوية غير انشائية	**نعم**	**نعم**	**نعم**	**نعم**	**نعم**	**نعم**
الزجاج	√	√	√	√	√	√
زجاج ذاتى التنظيف	-	√	√	√	√	√
زجاج مضاد للانعكاس	-	√	√	√	√	√
زجاج الحماية من الأشعة فوق البنفسجية	√	√	√	√	√	√
الدهانات	√	√	-	√	√	√
دهانات ذاتية التنظيف (تأثير اللوتس)	-	-	-	-	-	-
دهانات ذاتية التنظيف الضوئي	√	-	-	√	√	-
دهانات مضادة للبكيريا	√	√	√	√	√	√
العزل	-	√	√	√	√	√
الأيروجيل	-	-	-	-	-	-
الألواح العازلة المفرغة	-	√	√	√	√	√
ألواح عازلة للأسطح	-	√	√	-	-	-
ألواح عازلة للجدران	-	-	-	√	√	√
المواد متغيرة الطور	-	-	-	-	-	-
تم أستنباط المعايير و المحددات الخاصة بالأستراتيجية من عناصر التقييم التالية و التى تبين انه لابد من توافر تحقيقها في المبنى لكي يتم نجاح المادة النانونية غير الإنشائيةالمطبقة.						
توفير في النواحى الأقتصادية (يتم من نقاط التقييم التالية أستنباط المحددات الأقتصادية لتطبيق مواد النانو الغير أنشائية)						
تقليل تكلفة النظافة	√	√	√	√	√	√
تقليل تكلفة تنظيف الواجهات	√	√	√	√	√	√
تقليل تكلفة تنظيف الأرضيات و الجدران	√	√	√	√	√	√
تحقيق المتطلبات الوظيفية (يتم من نقاط التقييم التالية أستنباط المحددات الوظيفية لتطبيق مواد النانو الغير أنشائية)						
الغرض الوظيفي من تطبيق المادة	√	√	√	√	√	√
تحقيق الراحة النفسية	√	√	√	√	√	√
تحقيق الراحة الفيزيائية	√	√	√	√	√	√
عدم التعارض مع المتطلبات الوظيفية الأخرى	√	√	√	√	√	√
تحقيق المتطلبات البيئية (يتم من نقاط التقييم التالية أستنباط المحددات البيئية لتطبيق مواد النانو الغير أنشائية)						
توفير الطاقة	√	√	√	√	√	√
تحقيق الراحة الحرارية	√	√	√	√	√	√
المواد المطبقة صديقة للبيئة	√	√	√	√	√	√

3-3- المعايير و المحددات المستنبطة من الدراسة التحليلية للأستراتيجية المقترحة لتطبيق مواد البناء النانونية غير الإنشائيةفي مبانى المستشفيات:

فمن خلال الدراسة التحليلية و الدراسة التحليلية المقارنة لمبانى حالات الدراسة ، حيث أن تلك مبانى المستشفيات مصنفة عالمياً على انها مبانى مستدامة ، تم أستنتاج أن جميع الحالات أشتركت في نجاحها في تحقيق المتطلبات الوظيفية و البيئية نتيجة لتطبيقها مواد نانوية غير أنشائية و بموجب ذلك تعتبر تلك المبانى حققت الأستدامة الوظيفية و البيئية المطلوبة و التى تمثلت عناصر كلاً منها في جدول رقم (2) ، كما حققت التوفير في النواحى الأقتصادية و ذلك من خلال الدراسات العالمية التى أجريت على تلك المبانى ، حيث أنها أعتمدت على التوفير في أعمال التنظيف الخارجية لواجهات المبانى نتيجة لأستخدام الزجاج النانوى بأنواعه أو التوفير في تكلفة النظافة الداخلية نتيجة لتطبيق الدهانات النانونية هذا بالأضافة الى التوفير في الطاقة نتيجة لتحقيق الراحة الحرارية المطلوبة ، ومن خلال هذا المنطلق تتمثل تلك المحددات في الأتى :

- **محددات أقتصادية:** (تقليل تكلفة التنظيف و الصيانة ، تقليل أستهلاك الطاقة عن طريق ترشيد الطاقة الميكانيكية المهدرة في تحقيق الراحة الحرارية).
- **محددات وظيفية :** (تحقيق الغرض الوظيفي مع تحقيق الراحة النفسية و الفيزيائية لكل فراغ من فراغات المستشفي).
- **محددات بيئية :** و هى الأهم من خلال تحقيق الأستدامة المطلوبة والمتمثلة في تحقيق الراحة الحرارية و التعامل مع البيئة المحيطة من خلال تطبيق مواد صديقة للبيئة.

4- الدراسة التطبيقية لحالات دراسية على المستوى المحلى (مصر) :

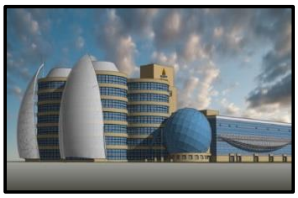
حيث يتم مطابقة الدراسة التحليلية (الحالات الدراسية على المستوى العالمي) مع الحالات الدراسية على النطاق المحلى لمعرفة ما مدى تطبيق المواد النانونية في مبانى المستشفيات المصرية ، و ذلك بعد التأكد من نجاح تطبيق تلك المواد على المستوى العالمي ، حيث يتم تقييم حالات منفذة بالفعل على أرض الواقع و ذلك من خلال ورق أستنبيان تم أدراجه على برنامج SPSS.

4-1- مستشفي سرطان الأطفال 57357
" Childern's Cancer Hospital 57357 ":

المصمم المعمارى: شركة جوناثان بيلى.
التقنية : الزجاج العاكس للحرارة و المانع لأشعة الشمس الضارة.
الموقع : حي السيدة زينب بالقاهرة ، بجوار سور مجرى العيون ، القاهرة ، مصر.
تاريخ الأنشاء : 2007 م.
نشاط المبنى : مستشفي لعلاج سرطان الأطفال.
- التصميم :
فلقد راعى التصميم و البناء أستخدام أساليب و مواد مبتكرة ، ساعدت على ترشيد أستهلاك الطاقة ، فلقد تم تصميم المستشفي بحيث يحقق التنمية المستدامة مع كيفية استهلاك الطاقة بالطريقة المثلى كما صمم نظام لتنقية الهواء و تأمين بيئة صحية داخلية. (ئ)
- التصميم الخارجى :
تم تصميم المستشفي على شكل سفينة الأمل ذات الشراع و الذي تعمل أيضاً حاجباً لأشعة الشمس الضارة و في نفس الوقت يقلل من كمية الحرارة الداخلة للمستشفي من جهة الشمال ، كما يتخلل الشكل الخارجى حجر أسوان الرملى المميز و المشكل يدوياً ، حيث تم أختيار واجهة المستشفي بكاملها من الزجاج لأربعة أسباب،هي:

- طبقة الزجاج المستخدمة تسمح بدخول الضوء البالغ الأهمية للحالة النفسية للمريض و لا تسمح بدخول الأشعة الضارة و ذلك نظراً لأن مناعة الأطفال تصل الى أدنى مستوياتها مع جلسات العلاج الكيماوى و الأشعاعى.
- التوفير في الطاقة من خلال توفير الأضاءة و توفير عمل التكييف المركزى بالمستشفي.

استخدمت أرضيات التيرازو و هي أرضيات الموزاييك الأيبوكسية و التى تتميز بعدم وجود فواصل بها لمنع تجمع الأتربة و الجراثيم و ذلك بالأضافة الى سهولة التنظيف. (ئ)



شكل (32) استخدام الزجاج العاكس للحرارة في واجهات مستشفي سرطان الأطفال 57357(ئ)

4-2- مستشفي أيترنا هيلث بالتجمع الخامس
Eterna Healthcare Hospital:

المصمم : شركة المهندسين العالميين "EHAF".
التقنية : استخدام زجاج الحماية من أشعة الشمس ، بالأضافة الى تطبيق مواد مانعة للبكتيريا في التشطيبات.
الموقع : قلب منطقة الأعمال بمشروع " ميفيدا " بالتجمع الخامس ، القاهرة ، مصر.
تاريخ الأنشاء : تحت الأنشاء و تاريخ التسليم 2025م.
نشاط المبنى : مجمع طبي.(لأ)
- التصميم :
يتضمن المخطط العام لمدينة أيترنا هيلث كير سيتى مستشفي و عيادات تخصصية و معامل طبية و مراكز أشعة و مراكز تخصصية و صيدليات و وحدات تجارية مرتبطة بالنشاط الطبي.
يحقق المشروع تصميم مرن و مستدام ، تم انشاء المشروع على مساحة 24ألف م2 ، و هو يعتبر مدينة طبية متكاملة ، تم تصميم المبانى على مساحة تقدر بحوالى 8 ألاف م2 أى ثلث مساحة المشروع و هى تشمل الأتي: (لأ)

- 5 مستشفيات تشطيب كامل.
- 490 عيادة مختلفة التصميمات و المساحات.
- 25 مركز طبي متكامل.

و يعتبر تصميم المشروع تصميم مستدام حيث يسمح التصميم بدخول أشعة الشمس الى جميع الوحدات ، كما تم تم استخدام مواد مضادة للبكتيريا في التشطيبات لمنع انتقال العدوي.

(لأ) المصدر: شركة المهندسين العالمين EHAF

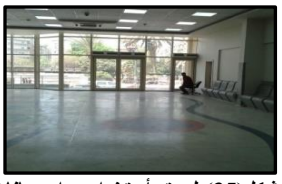
شكل (33) الزجاج النانوي في واجهات مستشفي ايترنا هيلث (لأ)
المصدر: شركة المهندسين العالمين EHAF

4-3- مستشفي المعهد القومى للأورام بالقاهرة " Cairo National Cancer Institute,":

أعمال التطوير : شركة المقاولون العرب.
التقنية : لم يتم أستخدام أى مواد نانوية .
الموقع : المنيل ، القاهرة ، مصر.
نشاط المبنى : مستشفي و معهد لعلاج الأورام. (لأ)
فمبنى المستشفي القديم تم تطويره بعد تعرضه لحادث ، حيث بلغت التكلفة الإجمالية للمشروع مائة مليون جنيه مصري ، و لقد تم التركيز في عملية التطوير على زيادة كفاءة المقر الذي يتكون من عدد من المباني: مبنى المرضى المكون من 7 طوابق ويشمل ما يلي: غرف العمليات ، والعناية المركزة ، وقسم الأطفال ، وغرف المرضى ، وسكن الأطباء ، وطاقم التمريض ، و المبنى الأدارى و مبانى قاعات المحاضرات ومبنى عيادات الأطفال والكشف المبكر وعلاج الآلام والصيدليات. (لأ)
و لقد انقسم مراحل تنفيذ المشروع إلى مرحلتين: المرحلة الأولى و هي متعلقة بإصلاح الأضرار والمرحلة الثانية و هي متمثلة في أعمال التطوير والتحديث ، ذلك إلى جانب أعمال تطوير المباني الإدارية وقاعة المحاضرات وتطوير الأعمال الكهروميكانيكية للمبنى الإداري ومواقف السيارات ومنطقة الكشف المبكر وعلاج الآلام. (لأ)
و لكن من الملاحظ بالرغم من أعمال التطوير التى طرأت على الواجهة نتيجة للأضرار التى لحقت بها، لم يتم الأهتمام بتطبيق مواد نانوية حديثة تعمل على الحفاظ على درجة الحرارة أو انعكس أشعة الشمس الضارة ، و ذلك بالرغم من عدم تحقيق الراحة الحرارية التى كان يعانى منها المبني ، حيث كان المفضل تطوير الأعمال الكهروميكانيكية فقط. (لأ)

(لأ) المصدر: شركة المهندسين العالمين EHAF

شكل (34) لم يتم أستخدام مواد بناء نانوية في الواجهات (لأ)



شكل(35) لم يتم أستخدام مواد دهانات نانوية مضادة للبكتيريا (لأ)
(لأ) المصدر: شركة المهندسين العالمين EHAF

جدول (2) تقييم تطبيق مواد النانو غير الإنشائيةفي مشاريع تطبيقية على مستوى الواقع المحلى

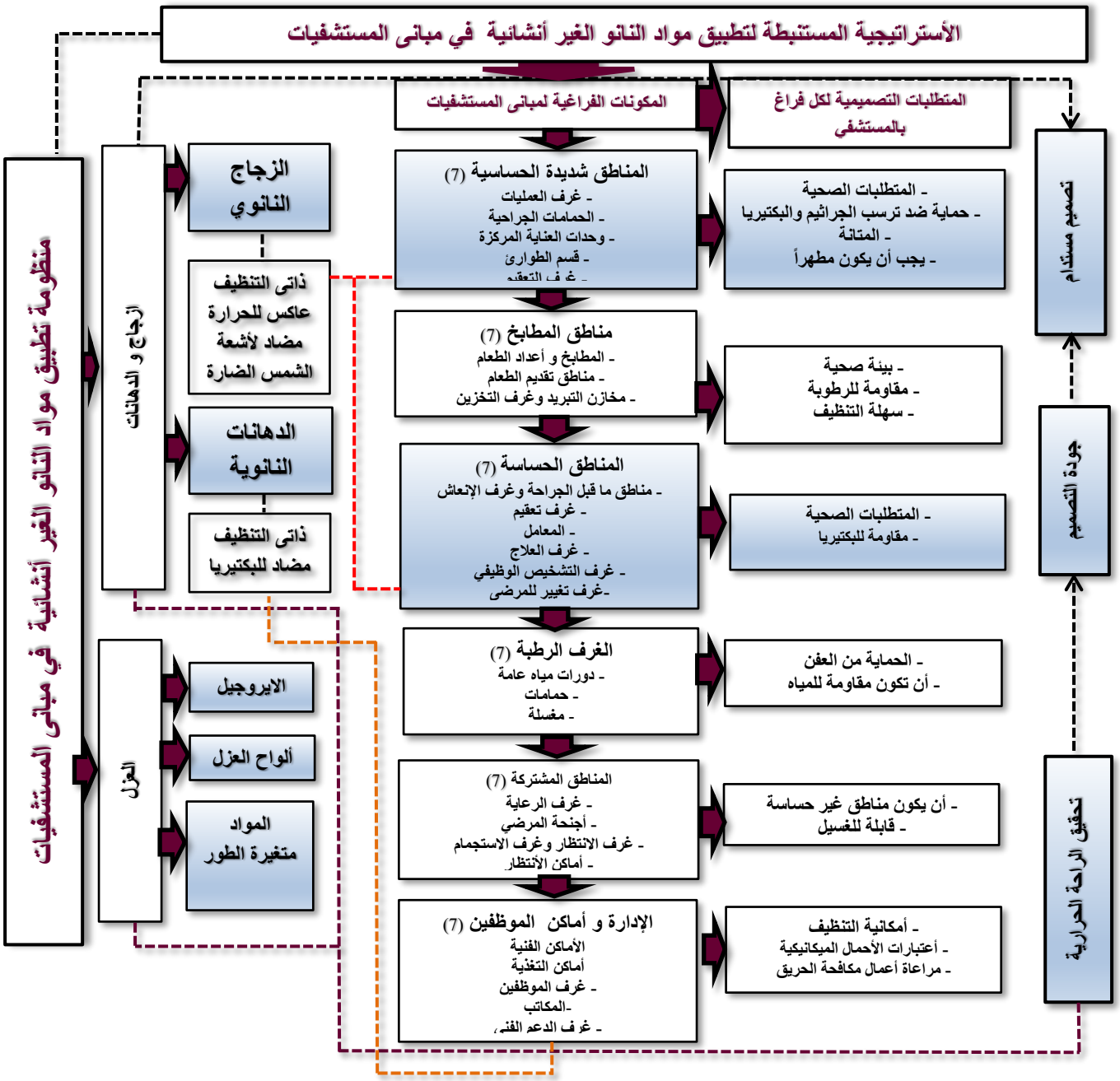
المشروع نقاط التقييم	مستشفي سرطان الأطفال 57357	مستشفي أيترنا هيلث بالتجمع الخامس	مستشفي المعهد القومى للأورام بالقاهرة
تطبيق مواد بناء نانوية	نعم	نعم	لا
تطبيق مواد نانوية غير انشائية	نعم	نعم	لا
الزجاج	√	√	-
زجاج ذاتى التنظيف	-	-	-
زجاج مضاد للانعكاس	√	-	-
زجاج الحماية من الأشعة فوق البنفسجية	√	√	-
الدهانات	-	√	-
دهانات ذاتية التنظيف (تأثير اللوتس)	-	-	-
دهانات ذاتية التنظيف الضوئي	-	-	-
دهانات مضادة للبكيريا	-	√	-
العزل	-	-	-
الأيروجيل	-	-	-
الألواح العازلة المفرغة	-	-	-
ألواح عازلة للأسطح	-	-	-
ألواح عازلة للجدران	-	-	-
المواد متغيرة الطور	-	-	-
معايير التقييم (تقييم بمعرفة الباحث من خلال ورق أستبيان تم أدخاله على برنامج SPSS)			
صفر= ضعيف جداً واحد = ضعيف 2= مقبول 3= جيد 4= جيد جداً 5= ممتاز			
مدي مراعاة الجوانب الأقتصادية	صفر	2	صفر
قيمة تقييم الجانب من متوسط مجموع عناصره			
تقليل تكلفة النظافة	1	3	صفر
تقليل تكلفة تنظيف الواجهات	صفر	صفر	صفر
تقليل تكلفة تنظيف الأرضيات و الجدران	صفر	4	صفر
هل تم تحقيق المحددات الأقتصادية	لا	لا	لا
مدي مراعاة الجوانب الوظيفية	4	4	2
قيمة تقييم الجانب من متوسط مجموع عناصره			
الغرض الوظيفي من تطبيق المادة	3	3	2
تحقيق الراحة النفسية	3	3	2
تحقيق الراحة الفيزيائية	4	4	3
عدم التعارض مع المتطلبات الوظيفية الأخرى	4	4	2
هل تم تحقيق المحددات الوظيفية	نعم	نعم	نعم
مدي مراعاة الجوانب البيئية	4	4	1
قيمة تقييم الجانب من متوسط مجموع عناصره			
توفير الطاقة	3	3	2
تحقيق الراحة الحرارية	3	3	3
المواد المطبقة صديقة للبيئة	4	4	1
هل تم تحقيق المحددات البيئية	نعم	نعم	لا

- أهم الأستنتاجات من خلال الدراسة التطبيقية على المستوى المحلى :

- لم يوجد أهتمام بالقدر الكافي بتطبيق مواد نانوية أو مواد مستدامة في التشطيبات الخاصة بالمستشفيات و بالأخص الواجهات و ذلك نتيجة لعدم الوعى بأهميتها و الخوف من تكاليفها و بالأخص في تشطيبات الواجهات و التى قد تعمل في بعض الأحيان على التكلفة العامة للمشروع.
- هناك بعض المشاريع التى لم يرد ذكرها في البحث نتيجة أنه لم يتم الأنتهاء منها أو لأنها لم يتم البدء في تنفيذها مثل : مبنى الأورام الجديد بمدينة الشيخ زايد ، مستشفي المدينة الطبية بمدينة بدر ، مستشفي مجدي يعقوب للقلب بمدينة 6 أكتوبر ، تم أدراج بعد المواد النانونية و المستدامة في تشطيباتها و ذلك من منطلق الحفاظ على الطاقة و الحصول على شهادات عالمية تفيد أستدامة تلك المباني و الذي يعد في الوقت الراهن من متطلبات شهادة جودة المستشفيات.
- معظم المستشفيات المصرية لا تهتم بمعايير تحقيق الأستدامة البيئية و الوظيفية من خلال تطبيق مواد مستحدثة نانوية ، حيث تعمل تلك المواد على التوفير في الطاقة و التى تعتبر متطلب من متطلبات جودة التصميم المعمارى للمستشفيات و الذي يعد شرط من شروط حصول المستشفي على شهادة الجودة.
- تعتبر مستشفي سرطان الأطفال 57357 أنجح كمعايير بيئية ووظيفية من مستشفي معهد الأورام و ذلك بموجب التقييم البحثي ، حيث أن مستشفيات الأورام بالأخص لابد أن تقوم بتطبيق الزجاج المانع لأشعة الشمس الضارة نتيجة لجلسات الكيماوى التى يحصل عليها المرضي ، بالأضافة الى أهمية تطبيق دهانات ذاتية التنظيف نتيجة لضعف مناعة المرضي.
- تفوق نموذج مستشفي أيترنا هيلث على مستشفي سرطان الأطفال 57357 و ذلك من خلال الجانب الأقتصادي ، حيث

أن عنصر التنظيف الذاتى يعمل على توفير تكلفة على المدي الطويل.

- عند مطابقة الدراسة التحليلية و التى تضمنت تطبيق و تقنين مواد النانو غير الإنشائيةفي مبانى المستشفيات و بالأخص الواجهة بالحالات التطبيقية على المستوى المحلى تبين عدم الأهتمام بأستدامة الجانب الوظيفي و البيئي للجانب الصحى بمصر، ومن خلال هذا المنطلق يقوم البحث بأستنباط أستراتيجية تعتمد على تطبيق مواد النانو غير الإنشائيةو المتمثلة في الثلاث عناصر الأتية : (الزجاج النانوي في الواجهات ، الدهانات النانونية ذاتية التنظيف والمضادة للبكتيريا ، و عزل الأسطح أو الأسقف من خلال مواد نانوية) في مبانى المستشفيات المحلية بغرض الحصول على الأستدامة البيئية والوظيفية.



شكل (36) الأستراتيجية المستنبطة لتطبيق مواد النانو غير الإنشائيةفي مبانى المستشفيات على المستوى المحلى
المصدر: مستنبط من قبل الباحث

- أهم الملاحظات الموضحة للأستراتيجية المستنبطة :

- الشكل يوضح كل عنصر من مواد التشطيبات غير الإنشائيةالتى ركز البحث عليها ، و الأماكن الفراغية التى يتم تطبيق كل عنصر بها كما تم ذكر مكونات الفراغات الوظيفية داخل المستشفي و متطلبات التصميم لكل فراغ و التى بناءاً عليها يتم تطبيق المادة النانونية.
- استخدام الزجاج النانوى المضاد لأشعة الشمس الضارة و الزجاج ذاتى التنظيف في المناطق ذات الحساسية العالية و شديدة الحساسية.
- استخدام الدهانات المضادة للبكتيريا و ذاتية التنظيف في جميع الفراغات الخاصة بالمستشفيات.
- استخدام العزل بهدف تحقيق الراحة الحرارية.
- استخدام دهانات عاكسة للحرارة بغرض تحقيق الراحة الحرارية.
- تحقيق الراحة الحرارية تؤدى الى جودة التصميم و منها الى التصميم المستدام.

- الأستنتاجات :

1- أهمية تطبيق الزجاج النانوي ، و بالأخص الزجاج العاكس لأشعة الشمس الضارة و الزجاج ذاتى التنظيف حيث أتضح ذلك من خلال حالات الدراسة التحليلية التى أجريت على عدة مبانى عالمية و ذلك لما له من أهمية تطبيق وظيفية و بالأخص في مستشفيات علاج مرضي السرطان ، و ذلك بغرض حجب أشعة الشمس الضارة أثناء جلسات الكيماوى مع تحقيق النظافة المطلوبة من خلال الزجاج نتيجة لضعف مناعة تلك النوعية من المرضي.

2- فمن خلال الدراسة التحليلية تبين أن من أهم مواد البناء النانونية غير الإنشائيةالمؤثرة على تحقيق المتطلبات الوظيفية و البيئية لمبانى المستشفيات الزجاج ، الدهانات ، العزل ، و يتم التركيز على الزجاج و الدهانات و ذلك نتيجة لثبات تطبيقهم في جميع حالات الدراسة التحليلية.

3- أهمية تطبيق الزجاج النانوى العاكس للحرارة و الألواح العازلة لترشيد استهلاك الطاقة في مبانى المستشفيات و ذلك كما أتضح من الدراسة التحليلية ، حيث أن تلك المبانى مصنفة على أنها مستدامة نتيجة لحفاظها على ترشيد الطاقة.

4- عدم الأهتمام بالبيئة الداخلية سواء من الناحية الوظيفية أو الحرارية في تصميم مبانى المستشفيات المصرية قبل عام 2015م ، حيث أتضح ذلك من خلال الدراسة التطبيقية لمبنى مستشفي معهد الأورام ، و ذلك لعدم وضع التصميم المعمارى المستدام من ضمن نقاط الحصول على الجودة العلاجية في الماضي و بالأخص في مستشفيات علاج الأورام.

5- عدم الأهتمام بتطبيق تقنية النانو في التصميم المعمارى لمبانى المستشفيات المصرية ، نتيجة لعدم الوعى بأهميتها الوظيفية و البيئية، بالأضافة الى التفكير الخاطئ بأنها ذات تكلفة مرتفعة ، و لكن من الممكن أن تكون تلك المواد مكلفة بالفعل عند التطبيق ، لكن مع المدى الطويل فهي تعمل على ترشيد الاستهلاك سواء في الطاقة أو مع تقليل تكلفة التنظيف و الصيانة ، كما أثبت من مبانى المستشفيات العالمية.

6- بدء الأهتمام بالجوانب البيئية و الوظيفية في التطبيقات المعمارية لمبانى المستشفيات الجديدة و التى مازالت تحت الأنشاء مثل مجمع مدينة بدر الطبي ، مركز القلب الجديد لمجدي يعقوب بمدينة 6 أكتوبر ، مستشفي معهد الأورام الجديدة بمدينة 6 أكتوبر ، و ذلك لأنه من المعايير الصحية الجديدة للحصول على شهادة الجودة الصحية أستدامة مبانى المستشفيات و جودة التصميم و تحقيق الراحة الحرارية و الوظيفية و ترشيد الطاقة.

٧- تم تطبيق الزجاج النانوى العاكس لأشعة الشمس الضارة والخافض للحرارة في مستشفي سرطان الاطفال ٥٧٣٥٧ و ذلك بغرض حجب تأثير أشعة الشمس الضارة و بالاخص أثناء مراحل جلسات العلاج بالكيماوى ، حيث راعى تصميم المستشفي المعايير الوظيفية لمستشفيات مرضي السرطان بالرغم من أن تاريخ بناء المستشفي يرجع لقبل عام ٢٠١٥م ، اى قبل مراعاة معايير الجودة الصحية.

٨- اهتمام مجمع ايترنا هيلث الطبي بتطبيق مواد النانو غير الإنشائيةو بالاخص الزجاج النانوى لما له من أهمية حيث أنه يحجب أشعة الشمس الضارة التى تسبب ارتفاع الحرارة ، فهو يسمح بالإضاءة الطبيعية مع حجب أشعة الشمس الضارة ، حيث صمم ذلك المجمع الطبي في التجمع الخامس طبقا لمواصفات الجودة الصحية العالمية و هى أهمها تحقيق الراحة الوظيفية و الحرارية لمبانى المستشفيات.

٩- أهمية دور المصمم المعمارى في تطبيق و تطبيع الزجاج النانوي العاكس لأشعة الشمس الضارة و الزجاج ذاتى التنظيف كأحدي المقومات التصميمية في مستشفيات علاج الأورام أو المستشفيات التى تقوم بعلاج أمراض ذات طبيعة خاصة.

١٠- أهمية رفع الوعى المعمارى بالمواد النانونية و بالاخص الزجاج النانوي و الدهانات المضادة للبكتيريا ، بالإضافة إلى أهمية الوعى والإلمام بالمواد النانونية المضادة للحرارة و ذلك بغرض تحقيق الاستدامة الوظيفية و البيئة و ترشيد الطاقة.

١١- ارشاد المستثمرين و الجهات المستثمرة في المستشفيات العلاجية و المراكز الطبية بأهمية تطبيق المواد النانونية ذات الطابع الخاص ، مثل الزجاج النانوي متنوع الخصائص و الدهانات النانونية.

- التوصيات :

1- تقنين تطبيق مواد البناء النانونية غير الإنشائيةفي مبانى المستشفيات المصرية بهدف تحقيق الراحة الوظيفية و الحرارية داخل الفراغات ، من خلال التركيز على ثلاث عناصر من مواد النانو المستحدثة و المتمثلة في الزجاج ، الدهانات ، العزل و ذلك كما يتضح من الأستراتيجية المستنبطة.

2- ضرورة تطبيق الزجاج النانوى العاكس لأشعة الشمس الضارة والزجاج ذاتى التنظيف في مستشفيات علاج مرضي السرطان على النطاق المحلى و ذلك لما ما يحققه من أهمية وظيفية متمثلة في حجب الأشعة الضارة أثناء جلسات العلاج بالأضافة الى أهمية الزجاج ذاتى التنظيف في الحفاظ على النظافة المطلوبة في تلك الأماكن.

3- تطبيق الزجاج العاكس للحرارة على مستشفيات النطاق المحلى بهدف المحافظة على متطلبات تحقيق الراحة الحرارية داخل الفراغات ، مما يقلل الأعباء على الأحمال الكهربائية و يعمل على ترشيد استهلاك الطاقة.

4- ضرورة تطبيق الدهانات المضادة للبكتيريا الضارة و التى تعمل على التنظيف الذاتى في مبانى المستشفيات المصرية و العلاجية وبالأخص في أماكن الفراغات شديدة الحساسية لأنتقال العدوى ، مثل غرف العمليات و المعامل و أماكن أنتظار المرضي و غرف العناية المركزة و الحمامات ، و ذلك بغرض الحد من أنتشار العدوى وترشيد تكلفة المنظفات.

5- الأهتمام بأستخدام الدهانات ذاتية التنظيف عن طريق التأثير الضوئي في واجهات مبانى المستشفيات المحلية الغير زجاجية ، وذلك من خلال طلاء ثانى أكسيد التيتانيوم TO2.

6- تطبيق ألواح العزل المفرغة بالأخص الألواح العزل المفرغة الخاصة بالجدران في واجهات المستشفيات المصرية المعرضة لدرجات حرارة مرتفعة و بالأخص في الواجهات المعرضة للحرارة أوقات طويلة من اليوم (الواجهات الجنوبية الغربية) في مناطق الصعيد الحارة مما يساعد على ترشيد الطاقة.

7- محاولة توفير وحدات تصنيع لمواد تشطيبات البناء النانونية لدى شركة المقاولات الخاصة ببناء المستشفيات و ذلك بهدف تقنين تطبيق تلك المواد و الحد من الأستيراد ، مما يساعد على تخفيض التكلفة.

- المراجع :

1. Nanotechnology in Repair and Protection of Structures state of the Art, Sherief Abulmagd, Depertment of Civil Engineering , Helwan University&zeinab A.Etman,Department of Civil Engineering, Menoufia Unversity ,Egypt, Journal of & Environmental Engineering, Feb 2018.
2. Energy Efficiency in Residential Buildings using Nano-Wood Composite Materials, Abdulsalam Shema ,Girne American University, Muhammad K.Balarabe, Kaduna State University& Mohammed Tauheed Alfa, Cyprus International University, International Journal of Civil Engineering and Technology ,April 2018.
3. Nanotechnology as a Generator of Creative Architectural Glass, Dr.Mona Mohammed Hasni Aggour, Department of Architecture Faculty of Engineering, Mataria , Helwan Unversity, Egypt & Dr.Ahmed Abd El.Moneam Hamed El-Kattan , Department of Architecture ,Faculty of Engineering ,Al-Azhar Unversity , Egypt ,2013.
4. Using Nano Materials and Building Sustainability, Sherif Kamal Desouky& Hussein Sabri Shanawani, Department of Architecture, Faculty of Engineering, Zagazig Unversity, International Journal of Engineering Research &Technology (IJERT), Vol.8, 2019.
5. Nano-Based Thermal Insulating Materials for Building Energy Efficiency, Fatma Ahmed & Sami Sedham , Department of Architecture , El-Gazeera High Institute for Engineering , International Design Journal , Volume 12 , Issue 2 , March 2022.
6. Phase Change Materials for Building Applications (A State of the Art Review and Future Research Opportunities), Simen Edsjo, Norwegian University of Science and Technology, Department of Civil and Transport Engineering ,No-7491,Trondheim Norway & Bjorn Petter Jelle , Sintef building and Infrastructure , Department of Materials and Structures , No-7465, Trondheim , Norway , Research Council of Norway , The Research Centre on Zero Emission Buildings(ZEB) , 2021.
7. Review Article Nanotechnology, Applications in Interior Design of Hospitals, Reem Ahmed El-Abbasy, Architecture Department, Ain Shams University Cairo, Egypt& Ahmed Atef Faggal, Architecture Department, Ain Shams University Cairo, Egypt& Yasser Mansour, Architecture Department, Ain Shams University Cairo, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 8 Issue 07, July-2019.

- المواقع الألكترونية :

أ- https://luxeadventuretraveler.com/fun-facts-about-the-burj-khalifa

ب- https://www.archdaily.com/20105/church-of-2000-richard-meier

ت- https://zh.wikipedia.org/wiki/File:Marina-Bay-Sands.jpg

ث- https://www.azom.com/materials-video-details.aspx?VidID=1328

ج- https://www.archdaily.com/50605/astana-arena-tabanlioglu

ح- https://en.wikipedia.org/wiki/Metropol_Parasol

خ- https://www.melbourne.vic.gov.au/building-and-development/sustainable-building/council-house-2/Pages/council-house-2.aspx

د- https://klaasmerk.ee/en/products-3/windows-doors/facade-glass/self-cleaning-glass/

ذ- https://www.thewindowpeople.co.uk/self-cleaning-glass-roof.html

ر- https://www.dezeen.com/2014/04/02/mayerhof-retirement-home-antwerp-areal-architecten/

ز- https://en.wikipedia.org/wiki/Lotus_effect#:~:text=The%20lotus%20effect%20refers%20to,droplet's%20adhesion%20to%20that%20surface

س- https://www.jeremyjordan.me/lotus-leaf-how-nature-makes-water-repellant-materials/

ش- https://www.m-habitat.fr/isolation/materiaux-isolants/isolation-avec-aerogel-1811_A

ص- https://kierantimberlake.com/page/sculpture-building-and-school-of-art-gallery

ض- https://www.alamy.com/stock-photo-germany-baden-wurttemberg-freiburg-im-breisgau-vauban-quarter-building-70418531.html

ط- https://www.intechopen.com/chapters/66514

ظ- https://iitbuildingscience.wordpress.com/2013/11/26/phase-change-materials-in-building-science/

ع- https://yuliyasinke.com/Phase-Change-Material-for-facades

غ- https://www.iaacblog.com/programs/computational-design-hospital-manuel-gea-gonzalez-facade/

ف- http://pubs.sciepub.com/ajcea/8/3/3/figure/14

ق- https://archello.com/project/bendigo-hospital

ك- https://www.vhba.vic.gov.au/news/new-bendigo-hospital-opens-leading-way-design-and-technology

ل- https://www.architectmagazine.com/project-gallery/huashan-hospital-1157

م- https://issuu.com/gresham-smith/docs/gs-p_huashan

ن- https://www.spanish-architects.com/en/pmmt-barcelona/project/santa-fe-de-bogota-hospital

ه- https://architizer.com/projects/expansion-of-santa-fe-de-bogota-foundation/

و- https://www.archdaily.com/981657/san-raffaele-hospital-mario-cucinella-architects

ي- https://aasarchitecture.com/2022/05/san-raffaele-hospital-by-mario-cucinella-architects/

أ- https://www.mcarchitects.it/en/projects/san-raffaele-hospital

ببب- https://archello.com/project/double-skin-facade-renovation-at-brive-la-gaillardes-hospital

تتت- https://www2.sapabuildingsystem.com/en/Worldwide/fr/professionnal/inspire/brive-hospital/

ثث- http://rscce.eng.cu.edu.eg/project.aspx?pid=1000127

جج- https://www.ehaf.com/project/national-cancer-institute,-egypt