Menoufia University
Faculty of Engineering
First International Conference
(Ninth Conference of Sustainable Environmental Development)
24-28 March 2017

فعالية إستخدام المواد النانوية فى تحسين كفاءة غلاف المبنى

د.م. شكرى محمد حسنين البليهى
مدرس بقسم الهندسة المعمارية – كلية العلوم الهندسية – جامعة سيناء.
smhelbellahy@gmail.com

الملخص

يسعى العالم حالياً لإنتاج مبانى خضراء و مستدامة تتميز بجودة بيئتها الداخلية، وإنخفاض الطاقة المستهلكة فى مرحلة تشغيلها، و كذلك إنخفاض التأثيرات البيئية السلبية الناتجة الى أقل حد ممكن...، و قد أكدت دراسات سابقة عديدة على إرتفاع الطاقة المستهلكة فى مرحلة تشغيل المبنى (حوالى ٨٠% من إجمالى الطاقة الكامنة فى دورة حياة المبنى)، فضلاً عن إرتفاع التأثيرات البيئية السلبية. لذلك تهدف هذه الدراسة لمناقشة جدوى و فاعلية إستخدام المواد النانوية فى تشييد مكونات غلاف المبنى، كونة أهم أجزاء المبنى التى لها تأثير كبير على خفض تكاليف إستعمال المبنى، وكذلك إمكانية المفاضلة بينها و بين مواد البناء التقليدية لتحقيق أهداف تصميم غلاف المبنى. و قد خلصت هذه الدراسة الى أن إستخدام المواد النانوية فى تشييد مكونات غلاف المبنى يضيف الى مكونات غلاف المبنى خواص جديدة تمكنه من التكيف مع الظروف المناخية المتنوعة، بالإضافه الى حساسيتها الشديدة تجاه مدخلات البيئة الداخلية و الخارجية مما يعزز إمكانية التوافق بينها وبين نظم الإدارة الآلية للمبنى، وبالتالى تساهم فى تحقيق أهداف تصميم المبنى مثل جودة البيئة الداخلية، وأيضاً خفض تكاليف التشغيل والصيانة والطاقة المستهلكة خلال فترة إستعمال المبنى. كما خلصت الى أن المواد النانوية ستظل محدودة الإستعمال طالما إستمرت تشكل تكلفة إضافية تفوق قدرة تحمل ميزانيات معظم مشروعات تشييد المبانى، وأكدت على أن إتخاذ قرار حاسم ومحدد بشأن المفاضلة بين الزيادة فى التكلفة الاساسية لإنشاء المبنى نتيجة إستخدام المواد النانوية فى تشييد غلاف المبنى، و بين التوفير فى تكلفة إستعمال المبنى نتيجة إستخدام تلك المواد يتطلب بناء نماذج محاكاة فعلية، و الذى يتطلب أيضاً قاعدة بيانات دقيقة و مفصلة عن مواد البناء النانوية المستخدمة فى غلاف المبنى.

الكلمات الدالة: المواد النانوية، غلاف المبنى، المبنى المستدام، إدارة تشغيل المبنى، دورة حياة المبنى.

١ مقدمة

العمارة فى العصر الحديث ترتكز على ثلاثة دعائم هى مواد البناء الجديدة، نظريات الإنشاء الجديدة، الأشكال الجديدة للمبانى. و يعتبر التطور التكنولوجى فى مواد البناء عامل أساسى و رئيسى لتطور العمارة، وأدى هذا التطور الى تشابه نظم و مواد البناء و الحلول المعمارية داخل البيئة العمرانية فى معظم أنحاء العالم، والذى أدى بدوره الى الإعتماد على الوسائل الميكانيكية والإلكترونية للتغلب على المشاكل الناتجة بسبب إختلاف الخصائص الطبيعية والمناخية والإجتماعية من مكان الى أخر، والتطبيقات الحديثة لتقنيات النانوتكنولوجى تساهم فى إنتاج مواد بناء عديدة ذات ميزات وخصائص ميكانيكية، و كيميائية و فيزيائية...، تساعد فى إكساب المبنى عموماً و غلاف المبنى خصوصاً العديد من الخصائص أهمها مقاومة كلا من تسرب الحرارة و الإشعاعات الضارة، والحماية من الحرائق، وصولاً الى القدرة على التنظيف الذاتى، هذا بالإضافة الى التقليل من كمية انبعاثات الغازات الضارة الى البيئة، و بالتالى المحافظة على سلامة النظام البيئى. و تدخل المواد النانوية حالياً فى معظم عناصر و مكونات الغلاف الخارجى للمبنى، والذى يعتبر حلقة الوصل بين فراغات المبنى الداخلية و البيئة الخارجية، كما إنه يعتبر جزء المبنى المرئى من الخارج و النجاح فى تصميمه يعنى الى حد كبير نجاح تصميم المبنى فى تحقيق أهدافه المختلفة (راحة، جمال، متانة...)، وكذلك تحقيق هدف الحصول على مبانى مستدامة وصديقة للبيئة. و قد أكدت دراسات سابقة عديدة على إرتفاع الطاقة المستهلكة فى تشغيل المبنى، و التى قد تزيد عن ٨٠% من إجمالى الطاقة الكامنة فى دورة حياة المبنى، و كذلك التأثيرات البيئية السلبية المصاحبة، بالإضافة الى إفتقاد الفراغات الداخلية لكثير من المبانى التى لا تستخدم التجهيزات الميكانيكية و الإلكترونية القدرة على توفير الراحة لمستعملى تلك المبانى، خصوصاً فى ظل إعتماد كثير من المبانى حالياً على مواد البناء التقليدية فى تصميم وتشييد مكونات غلاف المبنى... لذلك تهدف هذه الورقة البحثية لمناقشة جدوى و فاعلية إستخدام المواد و التكنولوجيا النانوية فى تشييد مكونات غلاف المبنى كونة أهم أجزاء المبنى التى لها تأثير كبير على خفض تكاليف تشغيل المبنى، وكذلك إمكانية المفاضلة بينها و بين مواد البناء التقليدية فى تحقيق أهداف تصميم و تشييد غلاف المبنى خصوصاً و المبنى عموماً خلال عمر المبنى من ناحية، والحصول على مبنى مستدام من ناحية أخرى. وإعتمد البحث على المنهج الإستقرائى الذى يستقرئ الكتابات النظرية التى ترتبط بموضوع البحث...، و كذلك إعتمد البحث ايضاً على المنهج الوصفى التحليلى فى تحليل أهمية دمج مواد و تكنولوجيا النانو فى تصميم و تشييد مكونات غلاف المبنى الخارجى، وكذلك تم تحليل مرحلة إستعمال المبنى كأحد أهم مراحل دورة حياة المبنى والتى يمكن من خلالها إدراك جدوى إستخدام المواد النانوية فى خفض تكلفة تشغيل المبنى خلال تلك المرحلة، و أيضاً خفض التأثيرات البيئية السلبية المصاحبة. وفى هذا الإطار يتكون هذا البحث من الأجزاء التالية:

١- ١ المشكلة البحثية

تتركز المشكلة البحثية حول ما أكدته دراسات سابقة عديدة من إرتفاع الطاقة المستهلكة فى تشغيل المبنى، و التى قد تزيد عن ٨٠% من إجمالى الطاقة الكامنة فى دورة حياة المبنى[١]، و كذلك التأثيرات البيئية السلبية المصاحبة، بالإضافة الى إفتقاد الفراغات الداخلية لكثير من المبانى التى لا تستخدم التجهيزات الميكانيكية والإلكترونية القدرة على توفير الراحة بمفهومها الشامل لمستعملى تلك المبانى، خصوصاً فى ظل إعتماد كثير من المبانى حالياً على مواد البناء التقليدية فى تصميم وتشييد مكونات غلاف المبنى كونه الجزء الفاصل بين الفراغات الداخلية والبيئة الخارجية للمبنى....

١-٢ هدف البحث

تهدف هذه الورقة البحثية لمناقشة جدوى و فاعلية إستخدام المواد و التكنولوجيا النانوية فى تشييد مكونات غلاف المبنى كونة أهم أجزاء المبنى التى لها تأثير كبير على خفض الطاقة المستهلكة فى تشغيل المبنى، و من ثم خفض تكاليف التشغيل، و أيضاً خفض التأثيرات البيئية السلبية الناتجة، كما أنه يعتبر حلقة الوصل بين فراغات المبنى الداخلية والبيئة الخارجية، وأيضا يعتبر جزء المبنى المرئى من الخارج والنجاح فى تصميمه يعنى نجاح تصميم المبنى فى تحقيق أهدافة المختلفة (راحة حرارية، جمال الشكل، متانة...). و كذلك إمكانية المفاضلة بين المواد النانوية ومواد البناء التقليدية فى تحقيق أهداف تصميم و تشييد غلاف المبنى خصوصاً و المبنى عموماً خلال عمر المبنى من ناحية، والحصول على مبنى مستدام من ناحية أخرى.

١-٣ منهجية البحث

إعتمد البحث على المنهج الإستقرائى الذى يستقرئ الكتابات النظرية التى ترتبط بموضوع البحث حيث تم التعرف على بعض المفاهيم والمصطلحات المتعلقة بغلاف المبنى، و تكنولوجيا النانو، و أنواع وخصائص و تطبيقات مواد البناء النانوية...، وكذلك إعتمد البحث على المنهج الوصفى التحليلي فى تحليل أهمية دمج مواد و تكنولوجيا النانو فى تصميم و تشييد مكونات غلاف المبنى الخارجى حيث أن تطبيقات تكنولوجيا النانو الحالية تدخل فى تركيب معظم مكونات غلاف المبنى (عناصر انشائية، مواد عزل، مواد تشطيبات، و زجاج فتحات واجهات المبنى الخارجية)، وكذلك تم تحليل مرحلة إستعمال المبنى كأحد أهم مراحل دورة حياة المبنى والتى يمكن من خلالها إدراك جدوى إستخدام المواد النانوية فى خفض تكلفة تشغيل المبنى خلال تلك المرحلة، و أيضاً خفض التأثيرات البيئية السلبية المصاحبة، وقد تم مناقشة فعالية إستخدام المواد النانوية فى تشييد مكونات غلاف المبنى من خلال مقارنة بسيطة و فى حدود المعلومات المتاحة بين المواد التقليدية و المواد النانوية و ذلك للتعرف على مميزات وعيوب كل منهما، و بالتالى إختيار البديل الأفضل الذى يحقق إعتبارات الكفاءة المختلفة و بالتالى تحقيق أهداف تصميم المبنى عموماً و غلاف المبنى خصوصاً فى سبيل الوصول الى مبانى خضراء مستدامة.

٢ مفاهيم ومصطلحات

- **غلاف المبنى الخارجى:** هو مجموع الحوائط والأسقف النهائية والفتحات بأنواعها وأرضيات البروزات، كما يدخل فى مفهوم الغلاف الخارجى الأرضيات والحوائط الملاصقة للردم والحوائط و الأسقف و الأرضيات الملاصقة أو المشتركة مع المبانى والوحدات المحيطة بها. ويشكل الغلاف الخارجى أهمية خاصة فى تحقيق متطلبات المستعملين من الراحة الحرارية والضوئية والصوتية بأساليب طبيعية موفرة للطاقة. و يتكون غلاف المبنى من عناصر النظام الإنشائى (حوائط حاملة، نظام هيكلى خرسانى أو معدني)، و مواد عزل الحرارة، الصوت، الرطوبة، وكذلك مواد التشطيبات الداخلية و الخارجية، بالإضافة الى إطارات و زجاج فتحات الأبواب والشبابيك....

- **المواد الذكية**[٢]**:** هى المواد التى لها قدرة على إستشفاف المؤثرات الخارجية والإستجابة لها بشكل محدد سلفاً. وتعرف أيضاً بأنها المواد التى يمكنها التكيف أوتوماتيكياً (آلياً) مع الخواص أو بعض الصفات كالإنعكاس والتوصيل الحرارى والشكل الخارجى والتهوية كإستجابة لتغيرات البيئة. وقد تكون مكونة من خليط من المواد أو محسنة، و تتميز المواد الذكية عن المواد التقليدية بخصائص هى:
  - **الفورية**: حيث أنها تستجيب فى الوقت المحدد دون تباطؤ.
  - **سرعة المواءمة**: حيث أنها تستطيع أن تستجيب سريعاً لأكثر من حالة بيئية.
  - **القدرة على التنبؤ**: تعنى القدرة على الإستجابة الملائمة للظروف البيئية المتغيرة، بالإستفادة من البيانات والظروف المحددة سلفاً.

- **النانو:** هوأدق وحدة قياس مترية معروفة حتى الآن ، ويبلغ طوله واحد من بليون من المتر($١٠^{-٩}$م)، وجزء من الألف من الميكرومتر، أي ما يعادل عشرة أضعاف وحدة القياس الذري المعروفة بالإنغستروم، ويعتبر عالم النانو الحد الفاصل بين عالم الذرات والجزيئات وبين عالم الماكرو.

- **تقنية النانو**: تعني تقنية المواد المتناهية في الصغر أو التكنولوجيا المجهرية الدقيقة أو تكنولوجيا المنمنمات. وعلم النانو هو دراسة المبادئ الأساسية للجزيئات والمركبات التي لا يتجاوز قياسها الـ ١٠٠ نانو متر. وتهتم بدراسة القدرة على التحكم فى حالة المادة على مقياسها الذرى وتركيبها الجزيئى. وأما المواد النانوية فهى التى يمكن أن تنمو، ويتم تشغيلها على مستوى الذرات والجزيئات، حيث أنه يمكن عن

طريق إعادة ترتيب ذرات أي مادة الحصول على خواص متميزة ومختلفة تماما عن صفاتها وسماتها الأصلية.وتعتمد التكنولوجيا النانومترية على عمليات من (أسفل الى أعلى)، حيث يتم تجميع الشئ المطلوب ذرة بذرة أوجزيئاً بجزئ.

- **عمارة النانوتكنولوجي:** هى عبارة عن إندماج تكنولوجيا النانو مع العمارة وتأثيرها عليها من عدة أوجه (خصائص مواد البناء، الطاقة) وكذلك تأثيرها على الفكر و التصميم المعمارى.

- **عمارة النانو الخضراء**[٣]**:** إندماج تكنولوجيا النانو مع العمارة الخضراء مع ضمان الإستدامة فى المبانى، وتجنب أثارها الجانبية على الإنسان والبيئة، وتستهدف تكنولوجيا النانو الخضراء إنتاج مواد ومنتجات غير ضارة بالإنسان والبيئة، وتوفرحلول للمشاكل البيئية.

٢-١ تطبيقات تكنولوجيا النانو فى تشييد غلاف المبنى

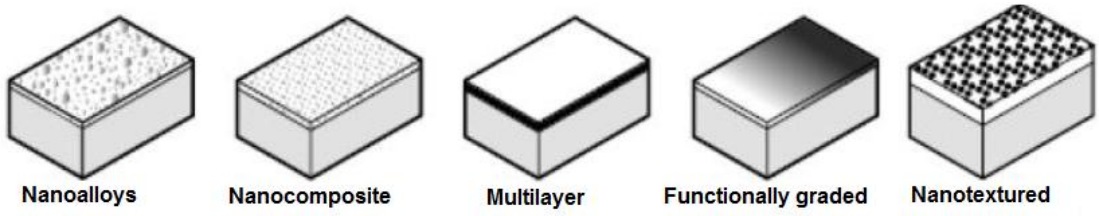
بمراجعة مواد البناء النانوية تبين أنها تدخل فى تركيب و تشييد كثير من عناصر غلاف المبنى، والتى يمكن تصنيفها الى:

أ- المواد النانوية التى تدخل فى تركيب العناصر الإنشائية بغلاف المبنى

- **الخرسانة المسلحة:** كنموذج لبعض تطبيقات المواد النانوية فى العمارة إنتاج الخرسانة المسلحة ذات الألياف الكربونية، حيث يتم إضافة ألياف قصيرة من الكربون الى الخلطة الخرسانية، و تؤدى هذه الإضافة الى تمكين الخرسانة من إكتشاف الإجهادات و التشوهات الموجودة داخل الخرسانة، كما ساهمت تكنولوجيا النانو فى تحسين خصائص المواد المضافة للخلطة الخرسانية، والمواد الأسمنتية ، وتطوير الحديد الصلب، و هذا التدخل ساعد فى جعل المبانى خفيفة الوزن و أكثر قوة و متانة و مقاومة للتصدعات والتشققات والتآكل. كما أن إضافة ثانى أكسيد التيتانيوم الى الخلطة الخرسانية يساهم فى إكسابها خاصية القدرة على إزالة التلوث و التنظيف الذاتى.

- **الأسمنت الفائق الأداء:** هو أسمنت مخلوط بمركبات نانوية من السليكا تعمل على زيادة متانته لتصبح أكبر بعشرة مرات لتصل لقوة الحديد الصلب فى مقاومته و قوة تحمله مما يجعل الأبنية و الجسور و الأنفاق أكثر قوة و تحمل للكوارث كالزلازل.

ب - مواد تشطيبات غلاف المبنى الخارجى: ساهمت تكنولوجيا النانو فى إنتاج دهانات بسمك نحيف تساعد مواد التشطيبات المختلفة على إكتساب خصائص جديدة[٤]، شكل ١، فمنها ما يساعد مواد التشطيبات على الإحتفاظ بنظافتها لفترات طويلة،



شكل ١ يوضح قدرة دهانات النانو على إكساب أسطح مواد التشطيبات خصائص و أشكال جديدة[٥].

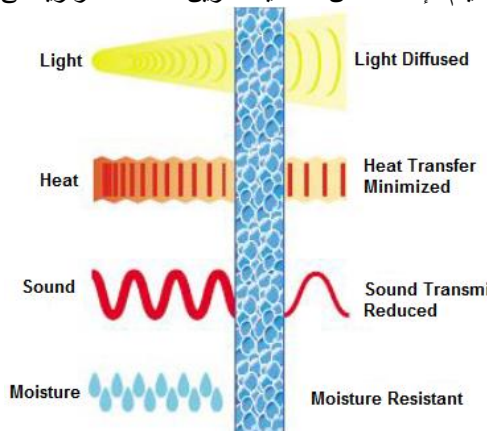
وأخرى لمنع تكون الضباب على سطح زجاج الواجهات والمرايا، و دهانات معالجة على الأسطح الخارجية للمبنى وعلى الأسقف لتعمل كمصدر تبريد بدلاً من أن تكون مصدر لإمتصاص الحرارة ولاتتأثر بالعوامل الجوية. وتستخدم فى طلاء الأجهزة الصحية، والخرسانة الظاهرة والزجاج. كما تلعب الدهانات المحسنة بتقنيات النانو دوراً كبيراً حيث يمكن إستخدامها على جميع أنواع الزجاج فى مختلف المبانى. ففى البيئة الحارة يمكن إستخدام الزجاج الملون أو طلاء معدنى رقيق يستخدم لعكس حرارة الشمس و يمنعها من دخول المبنى مما يقلل من الحاجة الى التبريد الصناعى. و فى حالة أن تكون البيئة باردة فتستخدم دهانات إنتقائية للطول الموجى مثل أكاسيد القصدير، حيث تكون شفافة لكنها تعكس الأشعة تحت الحمراء، مما يسمح بدخول ضوء الشمس ويمنع خروج الحرارة الداخلية الى الخارج، مما يقلل من متطلبات التدفئة. وكذلك تحسين خصائص البلاط والسيراميك، والمحافظة على ثبات درجات الألوان، ومقاومة الأشعة فوق البنفسجية، ومقاومة الرطوبة، وتحافظ على سلامة النظام البيئى. كما تعالج تكنولوجيا النانو الخواص الفيزيائية للأخشاب وتجعلها ذاتية التنظيف وطارداً فائقاً للماء...، وتستخدم أيضا المواد النانوية فى تنقية الهواء من الروائح الكريهة، والبكتيريا، والأوساخ. كما يوجد دهانات تستخدم لطلاء الأسطح القابلة للإشتعال و ذلك لتقليل قابلية الإشتعال وتأخيره وكذلك تحسن مقاومة المواد للحريق وتستخدم عادة فى طلاء الأخشاب و الهياكل المعدنية وفى داخل و خارج المنشأت. و يوجد دهانات أخرى لمقاومة الجراثيم تستخدم فى المنشأت الصحية و محطات الركاب...، و دهانات ضد الخدش و مقاومة التآكل و يمكن تطبيقها على مواد مختلفة كالمعادن و الخشب و السيراميك والأثاث والأبواب والشبابيك...

ت - الطلاء النانوى لحماية أسطح المبانى

يوفر الطلاء النانوى حماية دائمة من ظروف الطقس و التلوث، كما يمكن إستخدامه فى المبانى القائمة لإطالة عمر البناء من خلال حماية الخرسانة من التآكل و التصدع بسبب الظروف الجوية، و يعمل هذا الطلاء على تقليل التصاق الماء بجدران المنزل فلا تعلق قطرات المطر على الجدار ولا يبتل كما فى الأسطح العادية.

ث - مواد العزل الحرارى

ألواح العزل الفراغية بتقنية النانو تتميز بالحد الأقصى للعزل الحرارى[٦] والحد الأدنى لسمك العزل (٢مم الى ٤٠مم)، و بالتالى توفر فى المساحة التى تحتاجها مقارنة بمواد العزل التقليدية، كما أن التوصيل الحرارى لهذه المواد أقل عشر مرات من مواد العزل التقليدية، بالإضافة الى أن عمر الألواح الحديثة ما بين ٣٠ الى٥٠ عاماً، و تستخدم فى عزل الحوائط و الأرضيات. و من أهم مواد العزل الحرارى و الصوتى مادة الأيروجيل[٥]Aerogel مادة هلامية شفافة تشبه الزجاج، و يمثل الهواء ٩٩,٨% من حجمها الكلى، و بكثافة تقدر بـ ٣مجم/سم، لذلك فهى أثقل من الهواء بمقدار ثلاث مرات، كما تعتبر عازل جيد للحرارة، و الصوت، شكل ٢، حيث تقلل درجة الحرارة بما يعادل سمك ١٠ الى ٢٠ سم من زجاج النوافذ العادى، فضلاً عن أنها خفيفة الوزن، و يتم إستخدامها كمادة عازلة فى ملئ أنواع مختلفة من التجاويف بين الألواح الزجاجية لأنها شفافة. كما أن إستخدام المواد المتغيرة الطور(pcms) يحسن من السعة الحرارية للمواد التى تضاف اليها كالجبس و الأسمنت، و بالتالى ستعمل على تقليل التدفق الحرارى داخل الأبنية، كما يتم الإستفادة من خاصية تخزين الطاقة الحرارية فى المادة متغيرة الطور من أجل تخفيض التقلبات المستمرة فى درجة الحرارة الداخلية و تحسين الشعور بالراحة الحرارية للقاطنين فى المبانى، بالإضافة الى تقليل إستهلاك الطاقة فى التبريد.



شكل ٢ يوضح قدرة مادة الإيروجيل على تقليل انتقال الحرارة والصوت و منع الرطوبة بالإضافة الى شفافيتها مما يسمح بمرور الضوء[٧].

جـ - الزجاج

- **الزجاج المتجلط بإحتوائه على هلام الأيروجيل بين طبقاته:** عند سقوط الآشعة الشمسية يتجلط هلام الأيروجيل بداخل الزجاج ليتحول من الحالة الشفافة الى الحالة النصف شفافة، حيث ينخفض معامل نقل الضوء ذاتياً كلما إرتفعت درجة الإضاءة الساقطة. وليس له علاقة بدرجة الحرارة، لذلك فإن شفافيتها تعتمد على شدة وزاوية سقوط الضوء. كما أنه جيد لعزل الصوت، ويوفر الخصوصية.

- **الزجاج ذاتى التنظيف**: زجاج مطلى بمادة ثانى أكسيد التيتانيوم، والتى تساعد على التنظيف الذاتى والتخلص من الملوثات العالقة."الزجاج النشط"، حيث تتفاعل المادة المدهونة مع الأشعة الفوق بنفسجية فتهتز مما يزيل الرواسب والأوساخ والغبار الملتصق بالزجاج كما أن هذه الجسيمات تتميز بأنها تشكل سطحا قابلاً للماء مما يجعل تنظيفها أمراً سهلا. ويفضل إستخدام الزجاج المعالج بتقنية النانو لجميع المبانى الإدارية والفندقية و السكنية الشاهقة الإرتفاع و ذلك لخفض تكاليف الصيانة والنظافة، وكذلك يقلل من وجود مخاطر و خسائر بشرية أثناء صعود العمال لتنظيف الزجاج العادى على إرتفاعات كبيرة.

- **الزجاج المعالج بتقنية النانو:** ذا الطلاء المخفض للإنبعاث مع طلاء التحكم الشمسى فى المبانى مما يعمل على توفير إستخدام الطاقة فى المبنى،وبالتالى تقليل تكاليفها.

- **زجاج يستخدم تطبيقات الإلكتروكروميك تكنولوجى**[٨](electro chromic): زجاج قابل لتغيير لونه نتيجة إستخدام التيار الكهربائى. فالزجاج يتحول الى العتمة بسبب فولتية قليلة، ويعود الى حالته الشفافة عند عكس هذه الفولتية، ويعتبر أحد الحلول المبتكرة لتقنيات النانو للحماية من الشمس حيث أتاحت وسيلة جديدة لدمج وتكامل الزجاج مع المبنى بإستخدام زجاج الكتروكروميك، وهذه التقنية لا تحتاج الى التيار الكهربائى بشكل مستمر، ولكن يستخدم المفتاح اليدوى للوصول الى الدرجة المطلوبة من التعتيم أو درجات اللون الأزرق القاتمة ثم يطفىء المفتاح، ثم يستخدم مرة أخرى للوصول الى درجة تعتيم أخرى وهكذا، شكل ٣، وتعتبر الطاقة الكهربائية اللازمة لعملية التلوين (التعتيم) هى الحد الأدنى، نظراً لأن الكسوات رقيقة جداً، كما أن عملية التحول من لون الى أخر تستغرق بضع دقائق قليلة.

شكل ٣ يوضح تأثير توصيل وقطع التيار الكهربائى على درجة شفافية الزجاج الإلكتروكروميك[٨].

- **زجاج يستخدم تطبيقات الفوتوكروميك تكنولوجى** (photochromic) تمتص الإشعاع الساقط عليها، فيسبب تغيراً كيميائياً قابلا للإنعكاس. حيث تمتص هذه المواد الطاقة الكهرومغناطيسية الموجودة فى الأشعة فوق البنفسجية لتولد تغيراً جوهرياً فى خصائصها، وبناء على هذه الطاقة تتغير المادة فتكون عاكسة أو نفاذة (ممتصة)، فالجزيئات المستخدمة فى هذه المواد تظهر بلا لون (شفافة) عندما تكون غير فعالة، إلا أنه عند تعرضها لفوتونات بطول موجى معين (أشعة الشمس) فإن البنية الجزيئية الداخلية تتوهج فتبدأ بالإنعكاس عند الأطوال الموجية الأطول للطيف المرئى، فتظهر بلون الموجة التى تعكسها، شكل ٤، وتعتمد شدتها على مدى مباشرة أشعة الشمس وتستخدم لتقليل المكاسب الشمسية والوهج. كما أن هذه التقنية تفيد فى تعدد شكل الزجاج والتشكيل العام للواجهات. وفى حالة إستخدام تلك التقنيات فإن ضوء الشمس هو من يقوم بعملية التعتيم أوالشفافية تلقائياً. ومن الممكن أن يجمع هذا الزجاج بين صفات أخرى. وجدير بالذكر أن هذه التقنية تغنى الى حد كبير عن إستخدام الستائر الشمسية. كما تجدر الإشارة الى الفرق بين تقنية الإلكتروكروميك و الفوتوكروميك فالأولى تمكننا من الوصول والتحكم فى درجات متفاوتة من التعتيم والشفافية، كما أنه يمكن التنسيق بين عملية تشغيل وإيقاف التيار الكهربائى تبعاً لمعلومات سابقة يتم تثبيتها على وحدة الحاسب المسئولة عن حالة المبنى والفراغات، أما التقنية الثانية فهى ذاتية الإستجابة وتعمل هذه التقنية على تخفيض الطاقة المستخدمة من أجل تبريد المبانى.

شكل ٤ يوضح تأثير درجة الحرارة على لون وشفافية زجاج الواجهات الذى يستخدم تقنية الفوتوكروميك[٨].

٢-٢ مميزات المواد النانوية

- مواد البناء المعالجة بتقنية النانو تكون مواد مجددة للطاقة أو مولده لها، و يعد هذا أحد مبادئ مفهوم الإستدامة والعمارة الخضراء.
- إستخدام المواد المعالجة بتقنية النانو فى المبانى يطيل من فترة العمر الإفتراضى لها عن المواد التقليدية.
- تعتبر مواد البناء المعالجة بتقنية النانو مواد صديقة للبيئة حيث تقلل من إنبعاثات المواد الضارة بل يوجد بعض من موادها ما ينتج O_2 المفيد للإنسان والنبات وبعضها يتفاعل مع الأشعة فوق البنفسجية الضارة لينتج مواد معالجة نستفيد منها.
- إستخدام المواد النانوية كتقنية تكاملية فى مجال التشييد و البناء يعزز فرص إعتماد تصميم المبانى المدمجة بتلك التقنيات كمبانى مستدامة[٩].
- أضافت تكنولوجيا النانو لمواد البناء خاصية الإحساس المبكر بالأعطال و الأضرار والتصدعات والضغوط التى يمكن أن تحدث للمبنى.
- يتم الإستفادة من عملية تخزين الطاقة الحرارية فى المادة متغيرة الطور من أجل تخفيض التقلبات المستمرة فى درجة الحرارة الداخلية و تحسين الشعور بالراحة الحرارية للقاطنين فى المبانى، بالإضافة الى تخفيض حمل التبريد الذى يؤدى بدوره الى تقليل إستهلاك الطاقة التقليدية المستخدمة فى تغطية هذه الأحمال. ومن ثم خفض تكاليف تشغيل المبنى، و أيضاً خفض التأثيرات البيئية السلبية خلال فترة إستعمال المبنى.
- لتكنولوجيا النانو دور فى زيادة كفاءة الطاقة حيث تمثل الخلايا الشمسية العضوية ذات البنية النانومترية المصنوعة من البوليمرات مثل اللدائن قيمة إضافية لغلاف المبنى بالنسبة للواجهات، وكذلك خفض تكاليف التشغيل و توفير الراحة لمستخدمى المبنى.

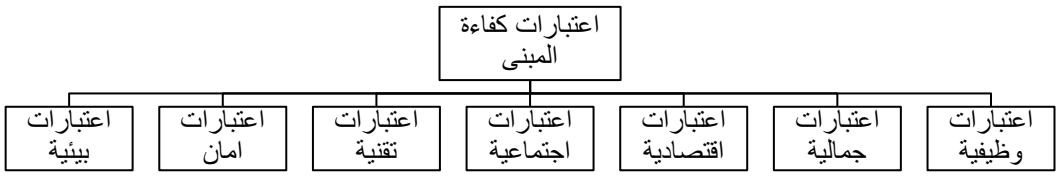
- تقنية النانو تعطى للمواد خواص جديدة تساعدها على الصمود أمام الظروف المناخية المختلفة و بالتالى تعمل على خفض تكاليف التشغيل والصيانة.

٢-٣ عيوب المواد النانوية

- التكلفة العالية لمواد و منتجات النانو بالنسبة لمواد البناء التقليدية.
- معظم الدهانات النانوية مدة صلاحيتها محدودة من ٢ الى ٣ سنة و تحتاج بعدها الأسطح المدهونة الى إعادة طلاء.
- رغم أن كثير من المواد النانوية يوفر فى الطاقة أثناء الإستخدام، إلا أن تصنيعها قد يستهلك طاقة كبيرة.
- الغموض الذى يحيط بالمخاطر المحتملة[١٠] لإستخدام مواد و تكنولوجيا النانو على الإنسان والبيئة.
- مخاطر التخلص من المواد النانوية بعد إنتهاء مدة صلاحيتها وهدم المبنى، لذا يجب تفحص مصير وإنتقالية الجزيئات النانوية التى تطلق فى البيئة بشكل كامل.

٣ إعتبارات كفاءة المبنى ومكوناتة

تصميم المبنى هو عملية صناعة قرار، و بحث و تحديد و إختيار بين بدائل، لمحاولة إيجاد أفضل الحلول لمشكلة محددة بداية من فكرة المشروع وحتى الإنتهاء من تنفيذه، بل أيضاً خلال المراحل الاخرى لدورة حياة المبنى، وتأخذ قرارات التصميم فى الإعتبار العديد من إعتبارات الكفاءة، والتى تشمل: إعتبارات وظيفية ، إعتبارات جمالية، إعتبارات إقتصادية، إعتبارات بيئية، إعتبارات إجتماعية، و إعتبارات آمان...، شكل ٥، والتى تهدف الى الحصول على مبنى عالى الجودة؛ يفى بإحتياجات الإنسان المادية و المعنوية، و صديق للبيئة، وتهتم



شكل ٥ يوضح إعتبارات كفاءة المبنى

مدرسة العمارة البيئية أو العمارة الخضراء بتطبيق التصميم البيئى كمُلهم رئيسى للتصميم المعمارى، كذلك يهتم إتجاة التنمية المستدامة بتطبيق التصميم البيئى فى مجال التخطيط العمرانى. و يهدف التصميم البيئى للمبنى الى أن يكون التأثير المتبادل بين المبنى و البيئة تأثيراً إيجابياً ليس فقط أثناء عُمر المبنى بل الى أبعد من ذلك؛ حيث يؤثر الانسان على البيئة داخل المبنى الذى يشغلة، مثلما يؤثر المبنى على البيئة العمرانية، و يؤثر التجمع العمرانى على المحيط الاوسع وصولاً الى التأثير على الارض بشكل عام؛ على الجانب الاخر تؤثر البيئة بمكوناتها المختلفة (الارض، المناخ، الكائنات الحية) ، على الانسان وعلى المبنى أيضاً.... و فى هذا الإطار وكجزء من الكل فإن تصميم غلاف المبنى الخارجى والذى يعد أحد أهم عناصر و مكونات المبنى والذى يضم الحوائط والأسقف النهائية والفتحات الخارجية بأنواعها و أرضيات البروزات، وأيضاً الأرضيات والحوائط الملاصقة للردم والحوائط والأسقف و الأرضيات الملاصقة أو المشتركة مع المبانى والوحدات المحيطة بها. ويشكل كذلك الغلاف الخارجى أهمية خاصة فى تحقيق متطلبات مستعملى المبنى من الإحساس بالراحة، و الأمان و السعادة... سواء من داخل أو خارج المبنى. و يدخل فى التركيب الإنشائى لغلاف المبنى الخارجى مواد بناء مصمته (طبيعية، مصنعة)، و مواد بناء شفافة كالزجاج بأنواعة المختلفة. والتى تتحدد وتتنوع حسب محددات التصميم المختلفة والتى تشمل محددات إقتصادية، فنية و تقنية، جمالية، مناخية،...إلخ. وكلما كان قرار المصمم بإختيار مادة البناء قائماً على دراسة علمية وتقييم شامل يأخذ فى إعتباره مراحل دورة حياة مكونات الغلاف الخارجى للمبنى كلما كانت القرارات ذات تأثير إيجابى بإتجاه تحقيق أهداف تصميم المبنى عموماً و أهداف مستعمليه خصوصا. وقد أكدت دراسات سابقة أن تحسين تصميم غلاف المبنى يؤدى الى خفض حمل الطاقة المستهلكة فى تشغيل المبنى، وبالتالى خفض التأثيرات البيئية السلبية.، وأشارت دراسة أخرى إلى التوافق بين إستخدام المواد النانوية و بين معايير وإستراتيجيات التقييم الخاصة بنظام الريادة في الطاقة و التصميم البيئي على مستوى المفاهيم الأساسية وفق ماتم التعرض اليه في الدراسة النظرية و التحليلية للخواص المميزة للمواد النانوية وبيان عدد النقاط التي يمكن أن تسهم بها المواد النانوية من ملائمة مع عدد النقاط الكلي لجميع محددات وإستراتيجيات الإستدامة في نظم تقييم إستدامة المباني العالمية. وقد أظهرت نتائج نفس الدراسة أن إستخدام المواد النانوية بالأغلفة الخارجية للمباني من شأنه تحسين الأداء الحراري للمبنى - خاصة فيما يتعلق بعمليات التبريد في شهور الصيف - والوصول الى قيم فائقة و منخفضة للغاية في قيم الإنتقالية الحرارية للغلاف الخارجي (الحوائط ، والأسقف، والنوافذ) مع تحقيق أداء فائق في معدلات التبادل الحراري للنموذج النانوي لتصل إلى (الحوائط : ٤٠% - الاسقف : ٤٤% - النوافذ : ٨١%- الكلي : ٧٢%) أقل من النموذج التقليدي.

٤ دورة حياة المبنى و مكوناته

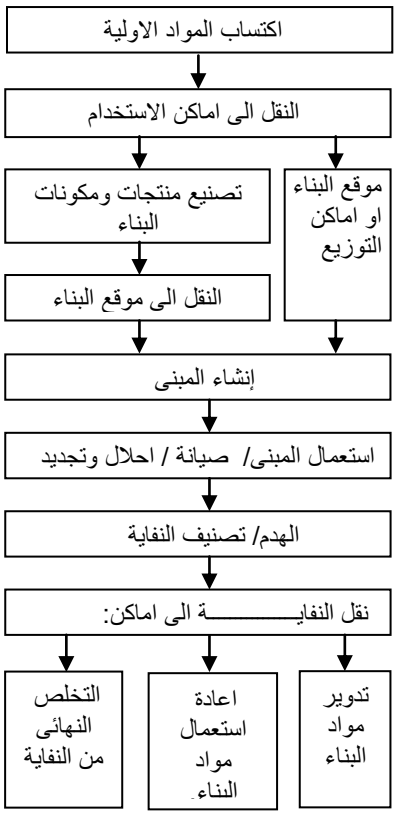
المبنى هو فكرة تتطور أثناء مراحل التصميم المختلفة لتصبح فى النهاية تصميم متكامل معمارى ، إنشائى، صحى، تبريد و تدفئة، و إضاءة...الخ.و يشير مصطلح دورة حياة المنتج/ المبنى الى الأنشطة الرئيسية خلال عمر المنتج/ المبنى من مكان و لحظة أخذ المادة الخام من الطبيعة الى نظام تقنى لإنتاج المنتج، الى مكان و لحظة عودة نفاية المواد والمنتجات المستعملة الى الطبيعة. وتشمل دورة حياة المبنى ومكوناته الخطوات الأساسية التالية:

أ) إكتساب المواد الأولية، ب) تصنيع مواد البناء،جـ) إنشاء المبنى،
د) إستعمال المبنى،هـ) هدم المبنى و تصنيف النفاية...، شكل ٦.

ووفقا للمقاييس الدولية (أيزو ١٤٠٤٠) فإن تقييم دورة حياة مادةالبناء / المبنى يمكن أن يساعد فى:

- تحديد الفرص لتحسين الأوجه البيئية لمنتجات البناء/ المبانى فى نقاط متعددة من دورة حياتها.
- تطوير تقييم موزون للإنبعاثات البيئية الناتجة مع منتج بناء مُعين ومقارنة منتجات البناء ببعضها البعض من حيث التأثير على صحة الانسان والبيئة.
- تقدير الإنبعاثات البيئية الى الهواء، الماء، الأرض التى لها علاقة بكل مرحلة من مراحل دورة حياة المنتج (غلاف المبنى).
- كما أن إضافة تقييم دورة الحياة لعملية صنع القرار فى مرحلة التصميم؛ يوفر فهم لأهمية قرار إختيار مادة البناء من نواحى عديدة منها الناحية الإقتصادية، وصحة الانسان والبيئة...الخ.

وينبغى أن ُتتضمن مع باقى معايير كفاءة منتج البناء/ المبنى الاخرى لعمل قرار متوازن.



شكل ٦ يوضح مراحل دورة حياة المبنى

٤-١ مرحلة استعمال وصيانة المبنى/غلاف المبنى

أولا: مرحلة الإستعمال

مرحلة استعمال المبنى تبدأ بإشغال الساكن / المستعمل ، وتنتهى بمغادرة المستعمل وتنكيث وهدم المبنى. وتستهلك مرحلة إستعمال المبنى حوالى ٨٠% من إجمالى الطاقة الكامنة فى دورة حياة المبنى، والتى يكون لتصميم مكونات غلاف المبنى الخارجى دور كبير فى زيادتها أو تقليلها، لذلك فإن عملية تحسين كفاءة مرحلة تشغيل المبنى يجب أن تظل محل تركيز من المصمم حتى يتم الوصول الى توزيع متزن لأحمال الطاقة الكامنة خلال دورة حياة المبنى ، يعنى ذلك خفض أحمال الطاقة اللازمة لتشغيل المبنى الى أقل درجة ممكنة، و يتطلب تشغيل المبنى أنظمة إضاءة ، تبريد وتدفئة ، تجهيزات الكترونية وكهربائية، كما يتطلب أيضاً نظام إمداد بمياه الشرب (بارد ، ساخن)، وتجهيزات الكتروميكانيكية على سبيل المثال (السلالم المتحركة، المصاعد...الخ)، و تتأثر كمية الطاقة المستهلكة فى تشغيل المبنى كما ذُكر سابقا بعناصر المناخ (الإشعاع الشمسى ، درجة الحرارة ، الرياح ، الأمطار ، الرطوبة) على مدار فصول السنة ، والتى يكون لخصائص مكونات غلاف المبنى دور كبير فى التكيف معها. و كذلك تتأثر باسلوب إستعمال و إدارة المبنى (على سبيل المثال: خطط التحكُم ، جداول تشغيل المبنى ، عدد و سلوك الشاغلين).

ثانياً: صيانة و نظافة المبنى

أثناء مرحلة إستعمال المبنى و وفقاً للنظم المختلفة المستخدمة فى تشغيله ، و أيضاً وفقاً لسلوك شاغلى المبنى فى التعامل مع مكونات المبنى، يحتاج المبنى الى صيانة دورية (تتطلب طاقة) تتوقف على عدة عوامل منها :

- **طرق النظافة و الصيانة**: هناك طرق عديدة من الصيانة تتوقف على نوع الجزء المراد صيانته فى المبنى (أرضية، حائط ، نظام تشغيل خدمة...الخ) وعلى الجهة التى تقوم بالصيانة (شركة متخصصة، صيانة فردية).
- **الجدول الزمنى لصيانة و نظافة المبنى**: فترات الصيانة و النظافة تعتمد على الجزء المراد نظافته أو صيانته فى المبنى و كذلك على سلوك الشاغلين، وكفاءة الجهة التى تقوم بالصيانة. ويمكن أن تقسم الى ثلاثة أنواع :

أ) نظافة وصيانة يومية (الأرضيات، الأثاث، الأجهزة...الخ)، **ب)** نظافة و صيانة دورية؛ مرة كل عدة شهور (الحوائط والواجهات الزجاجية...الخ)، **جـ)** صيانة أو إصلاح الأعطال و الإصابات المفاجئة.

- **المواد المستخدمة فى النظافة و الصيانة** (مياه ، مساحيق ، مواد كيميائية) والتى تتوقف على نوع المادة المراد نظافتها (خشب ، أنسجة ، سيراميك ، بلاط ، زجاج...الخ).
- **الأدوات و الماكينات المستخدمة فى الصيانة**: حيث يُمكن أن تتم عملية الصيانة و النظافة بإستخدام معدات بسيطة غير مُستهلكة للطاقة أو بإستخدام ماكينات و أدوات صيانة ، و نظافة مُستهلكة للطاقة.

ثالثا : الاحلال و التجديد :

قد يحتاج أحد النظم المستخدمة فى المبنى أو أحد عناصر المبنى (غلاف المبنى على سبيل المثال) الى عملية إحلال كلى أو جزئى لانتهاء مدة صلاحيتة التى تنقسم الى :

□ مدة صلاحية فنية. □ مدة صلاحية جمالية. □ مدة صلاحية بيئية.

وبعد إنتهاء مدة صلاحية منتج البناء المستعمل فى أحد مكونات غلاف المبنى (أرضية، شباك، تشطيبات نهائية ،...الخ) ، يتم ما يُعرف بعملية الإحلال و التجديد و تنقسم عملية الإحلال الى:

- **إحلال كلى**: على سبيل المثال تغيير مادة تشطيب واجهة، تغيير باب، شباك...الخ.
- **إحلال جزئى**: على سبيل المثال إستبدال لوح زجاج فى باب أو شباك...، وعدد مرات الإحلال يتم حسابها فى العادة ، بقسمة عمر المبنى على عمر المنتج،[عدد مرات إحلال منتج بناء = عُمر المبنى ÷ عُمر المنتج – ١][(١)]. و يمكن بإتباع هذه الطريقة تقييم كفاءة مواد بناء مكونات غلاف المبنى الخارجى من الناحية الإقتصادية، والبيئية من خلال كمية الطاقة والمواد الأخرى المستهلكة خلال مرحلة تشغيل المبنى وكمية الانبعاثات الضارة الصادرة الى الارض، المياة، الهواء...الخ.

ملحوظة: يفترض نموذج تقييم دورة الحياة "Life Cycle Assessment (LCA)" ثبات معايير ديناميكية عديدة خلال مدة صلاحية المبنى و مكوناته منها :

- عند تقييم عمليات الصيانة، والإحلال والتجديد المستقبلية ، يفترض نظام التقييم ثبات المواصفات الفنية و الجمالية لمادة البناء أو نظام التشغيل أو التجهيزات من ناحية، و كذلك ثبات كفاءة و فاعليّة التقنيات المستخدمة فى إنتاج و نقل مادة البناء ، أو نظام التشغيل، أو التجهيزات من ناحية أُخرى، و بالتالى ثبات الطاقة الكامنة والنـفايات الناتجة عن عمليات الانتاج والنقل والتركيب. يعنى ذلك أن تقييم مرحلة الاحلال و التجديد التى تحدُث فى المستقبل لمكون ما من المبنى بعد انتهاء مدة صلاحيته (على سبيل المثال ٣٠ سنة) تتم بإستخدام المعلومات المتاحة حالياً و ليست المعلومات المُفترض تغيُرها فى المستقبل عند إنتهاء مدة صلاحية المنتج الاصلى و إستبداله بمنتج أخر.
- ثبات سلوك شاغل أو مُستعمل المبنى.
- ثبات القوانين البيئية التى تحدد إستعمال أو عدم إستعمال مواد البناء، و نظم تشغيل المبنى، وكذلك التجهيزات المختلفة فى المبنى.
- إفتراض ثبات مصادر الطاقة، وكذلك ثبات كفاءة وفاعليّة تقنيات إنتاج الطاقة خلال عمر المبنى أو مدة إستعماله.

هذا يعنىأنه فى حالة تغير المعلومات و البيانات الخاصة بخصائص أى مادة بناء، أو نظام تشغيل، أو خدمة ربما يؤثر على نتائج عملية تقييم الكفاءة فى المستقبل.

و يمكن إذا تم عمل محاكاة فعلية لمرحلة إستعمال المبنى عند الإستعانة بالمواد و التكنولوجيا النانوية فى تشييد مكونات غلاف المبنى أن يظهر التأثير الفعلى لدمج المواد و التكنولوجيا النانوية فى خفض الطاقة المستهلكة والتأثيرات البيئية السلبية أثناء مرحلة إستعمال و تشغيل المبنى من ناحية، و مدى دقة و نجاح إختيارات المصمم لمواد البناء المكونة لعناصر المبنى المختلفة والتى من أهمها مواد بناء الغلاف الخارجى للمبنى، بالإضافة الى نظم تشغيل المبنى الميكانيكية، و الإلكترونية و مدى تأثيرها على إحساس المستعمل بنجاح التصميم فى تلبية رغباته و متطلباته المحددة مسبقاً من ناحية اخرى.

٤-٢ الإدارة الآلية لمرحلة إستعمال و تشغيل المبنى

تتأثر كمية الطاقة المستهلكة فى تشغيل المبنى كما ذكر بإسلوب إستعمال و إدارة المبنى (على سبيل المثال: خطط التحكُم، جداول تشغيل المبنى ، عدد و سلوك الشاغلين). وقد تم تطوير فكرة المبنى الذكى الذى يوفر فى تكلفة التشغيل بالإضافة الى كفاءة و فعالية البيئة الداخلية، والإستفادة المثلى من التركيب الإنشائى لمكوناته، ونظم الإدارة و تنسيق العلاقات المتبادلة بينهم. كما يتميز بخصائص التحكم الآلى، و تحقيق رد الفعل المناسب تجاه إحتياجات شاغلى المبنى و متطلبات الفراغ، و التكيف على أساس الأداء البيئى المتغير و إحتياجات شاغلى المبنى. و تعنى تقنية التشغيل الآلى للمبنى أن المبنى يتم التحكم فيما بداخلة من أنظمة التدفئة أو التبريد أو التهوية و الخزانات و المصاعد وجميع الأنظمة الميكانيكية والكهربائية، والسيطرة على كل ذلك من خلال أنظمة تحكم ذكية متصلة بشبكة التشغيل. و يوفر التشغيل الآلى للمبنى الإدارة المركزية و السيطرة على المناخ و الإضاءة و سبل الأمن و الأمان و تحسين كفاءة الطاقة، و توفير عوامل الراحة لمستخدمى المبنى و الحد من الإنبعاثات الضارة بالبيئة و تعزيز الإنتاجية. وأجهزة الإستشعار و مشغلات الحركة اللازمة للإستجابة هى جزء لا يتجزأ من منظومة المبنى الذكى، وضرورية لإتمام التشغيل الآلى لتحقيق الكفاءة المطلوبة.

٤-٣ حساسية المواد النانوية للنظم الآلية للتحكم بالمبانى

المواد النانوية بخواصها المحسنة تعتبر خطوة واسعة لدعم نظم الإدارة الآلية للمبانى، وذلك لحساسيتها الشديدة تجاه مدخلات البيئة الداخلية والخارجية وإمكانية التعاون بينها وبين نظم إدارة المبانى الذكية سواء فى نواحى توفير الطاقة أو رد الفعل التلقائى تجاه مدخلات البيئة من خلال ما توفره هذه التقنيات من إمكانيات متعددة، و يتضح ذلك فى:

- إستخدام المواد النانوية بإعتبارها مواد بناء تحل محل المواد التقليدية.
- القدرة على إستقبال المعلومات البيئية فتحل بذلك محل أجهزة الإستشعار.

- القدرة على السيطرة على درجات الحرارة ومستويات الإضاءة بالفراغات من خلال رد الفعل التلقائى أوما يمكن التحكم فيه من وحدة التحكم المركزى بالمبنى.

٥ مناقشة فعالية و جدوى إستخدام المواد النانوية فى تكوين مكونات غلاف المبنى الخارجى

- تصميم مكونات غلاف المبنى الخارجى بما يشمله من واجهات، و أرضيات و أسطح...، يبدأ عادةً بتعريف المشكلة، و وضع الاهداف، و ينتهى بعملية تقييم البدائل المختلفة و إختيار أفضل هذه البدائل للتنفيذ. و يوضح جدول ١ ، مقارنة بين المواد النانوية ومواد البناء التقليدية المناظرة، والتى تشمل بعض ما توفر من معلومات عن بعض خصائص المواد النانوية والتقليدية المناظرة...، ومن المعلوم أنه كلما توفر لمهندس التصميم معلومات دقيقة ومفصلة عن مواد البناء النانوية والتقليدية المناظرة، وكذلك نظم تشغيل المبنى المختلفة كلما كانت المقارنة أكثر مصداقية و شفافية ، و بالتالى تصبح الإختيارات دقيقة وناجحة ، وتساهم فى أن يحقق تصميم المبنى ومكوناته الأهداف المحددة مسبقاً فى إطار إعتبارات الكفاءة المختلفة.

- ولكى يتم تحقيق أهداف تصميم غلاف المبنى كأحد أهم مكونات منظومة المبانى الحديثة يجب الأخذ فى الإعتبار إعتبارات الكفاءة المختلفة (وظيفية، بيئية، اقتصادية...)، وعند المفاضلة بين أكثر من بديل يتم تفضيل و إختيار البديل الذى يحقق أهداف التصميم و إعتبارات الكفاءة بأعلى درجة ممكنة، على سبيل المثال:

- تم اختيار مواد البناء الطبيعية و/ أو التى تكون قيمة الطاقة الكامنة فيها أقل ما يمكن، و تملك أفضل الخواص الحرارية كالسعة الحرارية، الموصولية الحرارية، و زمن التأخير الحرارى...، وكذلك تكون التكلفة الإقتصادية لها أقل ما يمكن سواء التكلفة الأساسية (سعر التوريد و التركيب) أو تكلفة النظافة و الصيانة المصاحبة لمرحلة إستعمال و تشغيل المبنى، وكذلك تحقق المتطلبات الفنية والجمالية بأعلى درجة ممكنة...، فى حين نجدعلى سبيل المثال انه فى معظم مشروعات تشييد المبانى فى مصر يكون القرار فى صالح مواد البناء التقليدية، لأسباب إقتصادية تتعلق بميزانية المشروع فى معظم الأحوال،مع اهمال كثير من اعتبارات الكفاءة الأخرى....

وجه المقارنة	المواد النانوية	المواد التقليدية المناظرة
التكلفة الأساسية	عالية	اقل
تكلفة النظافة	اقل: تعتمد على التنظيف الذاتى	اعلى: تحتاج نظافة دورية
مدة الصلاحية	بعض المواد (٣٠ : ٥٠) سنة	متغيرة
	بعض أنواع الدهانات (٢ : ٣) سنة	
المتانة	أكثر	أقل
الخفة	أكثر	أقل
الخصائص الحرارية	أفضل بكثير	أقل بكثير
الطاقة المتضمنة	أكثر	أقل
الحساسية للحرارة و الإضاءة	رد فعل تلقائى يتغير بتغير الحرارة و الإضاءة.	رد فعل ثابت
المنشأ	مواد و تكنولوجيا غير محلية	مواد محلية
المساحة المطلوبة	اقل	اكبر
المواد الخام	اقل	اكثر

جدول ١ يوضح مقارنة بين بعض خصائص مواد النانو و المواد التقليدية المناظرة.

- الا ان التطور التكنولوجى فى كافة المجالات أدى الى تطور وتشابه نظم وطرز البناء والحلول المعمارية المستخدمة فى تشييد البيئة العمرانية فى معظم أنحاء الكرة الأرضية، والذى أدى بدوره الى الإعتماد المتزايد على الوسائل الميكانيكية للتغلب على المشاكل الناتجة بسبب إختلاف الخصائص الطبيعية و المناخية و الإجتماعية من مكان الى أخر على سطح الأرض، مما ساهم فى التزايد المطرد لتكلفة تشييد وتشغيل واستعمال المبنى. وهذا بدوره دفع الى البحث عن حلول تكنولوجية لخفض تكلفة تشغيل وإستعمال الوسائل الميكانيكية والتجهيزات الإلكترونية المستخدمة لكى تتحقق الراحة والرفاهية المستهدفة والمرغوبة لكثير من مستعملى المبانى بأقل تكلفة ممكنة.

- و إستخدام مواد و تكنولوجيا النانو فى تشييد مكونات غلاف المبنى الخارجى تُكسب غلاف المبنى خواص جديدة تساعده على التكيف مع الظروف المناخية المختلفة و بالتالى تعمل على خفض تكاليف التشغيل والصيانة والنظافة و أيضاً تكاليف الطاقة المستهلكة، و أوضحت على سبيل المثال إحدى الدراسات أن الزجاج المعالج بتقنية النانو يوفر أكثر فى الطاقة المستهلكة للتبريد بحوالى ٢%، للوصول الى الراحة الحرارية المطلوبة داخل الفراغ، وفى دراسة أخرى حققت النوافذ النانوية تخفيضاً هاماً فى محصلة عمليات التبادل الحرارى بلغت نسبتة ٥٥% مقارنة بالنوافذ ذات الزجاج المزدوج منخفض الإنبعاثية، يعنى ذلك أن الإستعانة بمواد وتكنولوجيا النانو فى تشييد مكونات الغلاف الخارجى على إختلافها يمكن أن يساهم فى خفض تكاليف تشغيل وإستعمال المبنى...، و قد أشارت دراسة أخرى الى أن الأداء الحرارى لغلاف المبنى يتحسن بدرجة كبيرة جداً عند إستعمال المواد النانوية بالمقارنة بالمواد التقليدية إلا أن نتائج الدراسة تعتمد على نماذج محاكاة بإستخدام الحاسب الألى، والتى تمدنا بأراء جزئية أثناء تقييم تصميم المبنى، بالإضافة الى إحتمال وجود أخطاء فى دقة

المعلومات الخاصة بمواد البناء أو فى طريقة إدخال بيانات نماذج محاكاة المبنى الى برامج المحاكاة ، و الذى قد يؤثر بدوره على دقة النتائج عند المقارنة بين نماذج محاكاة تصميم مبنى، ونماذج تم بناءها بالفعل لنفس التصميم.

- كما أن الإستعانة بالنظم الآلية لتشغيل تجهيزات المبنى الميكانيكية والإلكترونية سوف يترتب عليه أيضاً زيادة التوجه نحو إستخدام المواد النانوية بخواصها المحسنة، والتى تعتبر خطوة واسعة لدعم الإتجاه نحو نظم الإدارة الآلية للمبانى، وذلك لحساسيتها الشديدة لمدخلات البيئة الداخلية والخارجية وإمكان التعاون بينها وبين نظم الإدارة الآلية للمبانى و يتضح ذلك فى القدرة على إستقبال المعلومات البيئية فتحل بذلك محل أجهزة الإستشعار، وكذلك القدرة على السيطرة على درجات الحرارة ومستويات الإضاءة بالفراغات من خلال رد الفعل التلقائى أو ما يمكن التحكم فيه من وحدة التحكم المركزى بالمبنى، والذى يمكن أن يساهم أيضاً فى خفض تكاليف تشغيل وإستعمال المبنى.

- لذلك فإن إتخاذ قرار حاسم و محدد بشأن المفاضلة بين مواد وتكنولوجيا النانو والمواد التقليدية المناظرة، وكذلك فرضية أن الزيادة فى التكاليف الأساسية فى تشييد المبنى نتيجة الإستعانة بمواد وتكنولوجيا النانو العالية السعر مقارنة بالمواد التقليدية يمكن تعويضه من خلال ما يتم توفيره من تكاليف النظافة و الصيانة و الطاقة المستخدمة فى تشغيل المبنى يتطلب عمل تحليل دورة الحياة للمبنى و الذى يعد أيضاً واحداً من الأساليب الفعالة لتناول الكيفية التى يمكن من خلالها لمواد البناء النانوية أن تؤثر على البيئة خصوصاً خلال مرحلتى الإستعمال والتخلص النهائى المعنى بهما فى هذه الدراسة، كما يجب عمل دراسة مفصلة عن جدوى و فاعلية إستخدام أى من هذه المواد منفردة أومجتمعة وهذا يتطلب بناء نماذج محاكاة فعلية، ويتطلب كل ذلك بدورة قاعدة بيانات و معلومات دقيقة وكاملة ومفصلة عن مواد بناء الغلاف الخارجى للمبنى.

٦ التوصيات

- إستخدام المواد النانوية فى تشييد مكونات غلاف المبنى يضيف اليه خواص جديدة تمكنه من التكيف مع الظروف المناخية المتغيرة، بالإضافه الى أن الحساسية الشديدة للمواد النانوية تجاه مدخلات البيئة الداخلية والخارجية يعزز إمكانية التوافق بينها وبين نظم الإدارة الآلية للمبنى، وبالتالى تساهم فى تحقيق أهداف تصميم المبنى مثل جودة البيئة الداخلية، وأيضا خفض تكاليف التشغيل والصيانة و النظافة والطاقة المستهلكة خلال فترة إستعمال المبنى.

- المواد النانوية ستظل محدودة الإستعمال طالما إستمر الغموض الذى يحيط بالمخاطر المحتملة لإستخدام تلك المواد على الإنسان و البيئة، وأيضاً طالما إستمرت تشكل تكلفة إضافية تفوق قدرة تحمل ميزانيات معظم مشروعات تشييد المبانى.

- يجب بناء نماذج مبانى(محاكاة) فعلية للمساعدة فى إمكانية إتخاذ قرار حاسم ومحدد بشأن المفاضلة بين الزيادة فى التكلفة الاساسية لإنشاء المبنى نتيجة إستخدام المواد النانوية فى تشييد غلاف المبنى، وبين التوفير فى تكلفة إستعمال المبنى نتيجة إستخدام تلك المواد، و الذى يتطلب أيضاً وجود قاعدة بيانات دقيقة ومفصلة عن مواد البناء النانوية المستخدمة فى غلاف المبنى.

٧ المراجع

[١] Elbellahy Shukri, “An empirical study of effort and effectiveness in computational building design support”, Vienna Technical University, Faculty of Architecture and planning, department of building physics and building ecology, doctoral dissertation 2005 (Edited edition 2016).

[٢] احمد، محمد حسن خليل، "تأثير تكنولوجيا المعلومات على تطور الفكر المعمارى"، رسالة ماجستير،جامعة الأزهر،كلية الهندسة، قسم العمارة (٢٠١١).

[٣] صالح، منى محمد محمد، "عمارة النانو تكنولوجى الخضراء كلغة مستقبلية للعمارة"، رسالة ماجستير، جامعة القاهرة،كلية الهندسة، قسم العمارة (٢٠١٣).

[٤] Atwa Mohamed, Al-Kattan Ahmed, Elwan Ahmed, "Towards nano architecture: Nanomaterial in architecture – a review of functions and applications", International Journal of Recent Scientific Research, Vol.6, Issue 4, pp.3551-3564, April, 2015.

[٥] Fouad, Faten Fares, “Nano architecture and Sustainability”, Master thesis, Alexandria Faculty of Engineering, Department of Architecture, (2012).

[٦] Tao Gao, Linn Ingunn C, Sandberg, and Bjorn PetterJelle,"Nano Insulation Materials: Synthesis and Life Cycle Assessment", Science Direct, Procedia CIRP 15 (2014), 490 - 495.

[٧] Abeer SamyYousef Mohamed, "Nano Innovation in Construction, A New Era of Sustainability", International conference on environment and Civil engineering (ICEACE2015), Pattaya (Thailand).

[٨] فريد علاء الدين السيد، أبو غزالة أسعد على، الشامى عادل عبد الحميد،"مواد البناء الذكية و النانوية مدخل لزيادة كفاءة و تكامل المبانى الذكية"، مجلة جامعة جازان - فرع العلوم التطبيقية، المجلد ٤، العدد ٢، رمضان ١٤٣٦هـ (يوليو٢٠١٥م).

[٩] Ahmed Rash wan, Osama Farag, Wael Seddik Moustafa, "Energy performance analysis of integrating building envelopes with nanomaterials", International Journal of Sustainable Built Environment, 2, 209-223,(2013).

[١٠] Bakir, Ramy Abd Al Ltif, "Impact of Nanotechnology on Building Technology", Master thesis, Ain Shams University, Faculty of Engineering, Department of Architecture (2011).