خطه البحث

❖ الفصل الأول: مقدمه البحث ومنهجية وأهمية وأهدافه

- أهمية البحث
- أهداف البحث
- أسلوب البحث
- أدوات البحث
- حدود البحث

❖ الفصل الثاني: الأدبيات النظرية

- مفهوم وأهمية تقنية النانو في العمارة
- تاريخ وتطور تقنية النانو ومجالات تطبيقها في العلوم والهندسة
- فوائد وأثار للنانو تكنولوجي في استدامة المباني
- مستقبل النانو تكنولوجيا واستدامة المباني
- تطبيقات وأهداف ومعايير واسهامات تكنولوجيا النانو في المباني الخضراء أو المستدامة
- استعراض بعض المواد النانوية التي تستخدم في المباني المستدامة
- الأسئلة البحثية أو الفرضيات التي تهدف إلى اختبار أو مقارنة أو تحليل تأثير مواد النانو على استدامة المباني
- التحديات والمشكلات التي تواجه تطبيق تكنولوجيا النانو في المباني المستدامة
- خصائص وتصنيفات مواد النانو تكنولوجي
- تطبيقات ودراسات حالة مواد النانو تكنولوجي في الهندسة المعمارية
- مفهوم استدامة المباني
- معايير استدامة المباني
- تطبيقات استدامة المباني
- التأثيرات الإيجابية لمواد النانو تكنولوجي على استدامة المباني
- التأثيرات السلبية لمواد النانو تكنولوجي على استدامة المباني

❖ **الفصل الثالث: تحليل التكلفة والفائدة لاستخدام مواد النانو تكنولوجي في المباني المستدامة**

- تكلفة المواد
- تكلفة التركيب
- تكلفة الصيانة
- موفرات في الطاقة
- تحسين جودة الهواء
- تحسين الإضاءة
- زيادة مقاومة المبنى للظواهر الطبيعية
- تقليل التكلفة على المدى الطويل
- حساب نسبة التكلفة إلى الفائدة
- تقييم الجدوى الاقتصادية لاستخدام مواد النانو تكنولوجي

❖ **الفصل الرابع: الدراسات التطبيقية**

- **دراسة حالة لـ ٥ مباني مستدامه ودور مواد النانو فيه وهي كلاتي:**
  - مبنى (برج الخليفة)
  - مبنى (The Edge)
  - مبنى (Bullitt Center)
  - مبنى (الأمانة العامة للأمم المتحدة)
- **الخاتمة**
  - ملخص البحث
  - أهم النتائج
  - التوصيات
  - قائمة المراجع

الفصل الأول

مقدمه البحث ومنهجية وأهمية وأهدافه

- أهمية البحث
- أهداف البحث
- أسلوب البحث
- أدوات البحث
- حدود البحث

المقدمة

تعد تقنية النانو واحدة من أكثر مجالات البحث نشاطًا في كال المجالين العلم الجديد والتطبيقات المفيدة التي حققت نجاحًا كبيرًا بشكل تدريجي في العقدين الماضيين.

ركزت الأبحاث الحديثة حول المواد النانوية والتقنيات النانوية على إمكانية استخدام هذه المواد في مجالات مختلفة مثل الطب والبناء وصناعة السيارات والطاقة والاتصالات والمعلوماتية. هذا يرجع إلى الخصائص الخاصة للمواد على مقياس النانو.

لقد ثبت أن المنتجات الناتجة عن تكنولوجيا النانو لها العديد من الخصائص الفريدة، ويمكنها بشكل كبير إصلاح العديد من المشكلات الميدانية.

وقد أضافت تكنولوجيا النانو تغييرات هامة لخصائص مواد البناء لتصبح مواد البناء أخف وزنا، وأكثر مقاومة وقوة، وذات تكاليف صيانة أقل. يخلص البحث الى الأهمية التي قدمتها مواد النانو في

مجال مواد البناء حيث منحت تقنيات النانو تلك المواد خواص خاصة وميزات هامة في مقدمتها الإصلاح الذاتي وعالج الشروخ.

كما حسنت من خصائصها كالمتانة والمرونة والصالدة ومقاومة الصدأ والتنظيف الذاتي.

أهمية البحث

هذا الموضوع مهم جداً لأنه يتعلق بتطوير مواد البناء وتحسين أدائها وخفض استهلاك الطاقة والموارد والحفاظ على البيئة.

من وجهة نظر بعض الباحثين، تقدم تكنولوجيا النانو حلولاً مبتكرة وفعالة لمواجهة التحديات الهندسية والبيئية في مجال العمارة والبناء. فهي تمكن من إنتاج مواد جديدة ذات خصائص متميزة مثل القوة والمتانة والمرونة والمقاومة والتنظيف الذاتي والإصلاح الذاتي والاستجابة للمتغيرات البيئية. كما تساهم في تحسين جودة البيئة الداخلية والخارجية للمباني وتقليل انبعاثات الغازات الدفيئة والتلوث. بالإضافة إلى ذلك، توفر تكنولوجيا النانو فرصاً لتوليد الطاقة المتجددة وتخزينها واستخدامها بشكل أمثل في المباني الذكية والمستدامة .

وهذه بعض أسماء الباحثين ووجه نظرهم:

- أحمد محمد محمد عبد العليم أبو الصفا، تطبيقات تكنولوجيا النانو وتأثيرها فى المبانى الذكية .[1]هذا البحث يستهدف رصد دور تكنولوجيا النانو في تطوير مواد البناء والتشطيبات وتحسين أدائها وخفض استهلاك الطاقة والموارد والحفاظ على البيئة والأمن والسلامة والمياه. ويعرض عدة تطبيقات لتكنولوجيا النانو في المباني الذكية والمستدامة.
- احمد صلاح الدين شيبة وزكريا أحمد عبد الفتاح وهالة عبد المعز محمد، استخدام تطبيقات المواد النانوية في المباني ومساهمتها في دعم التكنولوجيا الخضراء.

هذا البحث يتناول تطور تكنولوجيا النانو وتأثيرها على العمارة والبناء والخصائص الفريدة للمواد النانوية وتطبيقاتها المميزة في تحسين أداء مواد البناء التقليدية والمواد غير الإنشائية. ويخلص البحث إلى أهمية تحول تكنولوجيا النانو إلى تكنولوجيا نانو خضراء تحسن الأداء البيئي وتقلل من استهلاك الطاقة وتحقق الاستدامة ودعم التكنولوجيا الخضراء.

- محمد عبد الرحمن عبد الله، أثر استخدام تطبيقات تقنية النانو تكنولوجى على مواد الإنشاء لرفع كفاءة المباني

هذا البحث يبحث في تأثير تقنية النانو على العمارة والبناء والمواد الإنشائية والمواد غير الإنشائية والخصائص التي تمتاز بها المواد النانوية والتي تساعد في تحسين كفاءة المباني وتحقيق التوازن بين تكنولوجيا العمارة الذكية والعمارة المستدامة.

من وجهة نظري، أوافق الباحثين على أن تكنولوجيا النانو تلعب دوراً هاماً في تعزيز استدامة المباني وتحقيق أهداف التنمية المستدامة. فهي تمثل تقدماً علمياً وتكنولوجياً يمكن استغلاله لخدمة الإنسان والمجتمع والبيئة. ولكن في نفس الوقت، يجب أن نكون حذرين من المخاطر المحتملة لتكنولوجيا النانو على الصحة والسلامة والأمن والأخلاق والقانون. لذلك، يجب أن نتبع مبادئ النانو الخضراء والمسؤولة والآمنة والشفافة والشاملة .

أهداف البحث

يمكن تلخيص اهداف هذا البحث في ثلاث نقاط

١- إظهار كيف يمكن لتكنولوجيا النانو تحسين خصائص مواد البناء وإضافة خواص جديدة لها، مثل الاصلاح الذاتي والتنظيف الذاتي والمقاومة للعوامل البيئية.
٢- إبراز كيف يمكن لمواد النانو المساهمة في تحقيق مبادئ الاستدامة في العمارة، مثل توفير الطاقة والمياه والموارد والحد من التلوث والنفايات.
٣- تقديم أمثلة عملية وتحليلية لتطبيقات مواد النانو في مشروعات معمارية مستدامة حول العالم، وتقييم مدى نجاحها وفعاليتها.

أسلوب البحث

الاسلوب الذي يمكن اتباعه في هذا البحث في هذا الموضوع من وجهة نظري هو الاسلوب الوصفي التحليلي .هذا الاسلوب يهدف إلى وصف وتحليل الظاهرة أو المشكلة المدروسة بشكل موضوعي ومنطقي، واستخدام البيانات الكمية والنوعية لتوضيح العلاقات والتأثيرات بين المتغيرات المرتبطة بالموضوع .1هذا الاسلوب يناسب موضوع دور مواد النانو في استدامة المباني لأنه يسمح بدراسة خصائص وأداء وتطبيقات مواد النانو بشكل علمي ومنهجي، وتحليل مدى مساهمتها في تحقيق مبادئ الاستدامة من النواحي البيئية والاقتصادية والاجتماعية والثقافية.

أدوات البحث

في هذا البحث، يمكنك استخدام الأدوات التالية:

- **المراجع العلمية:** هي أداة تجمع البيانات النوعية من المصادر الموثوقة والمتخصصة في مجال العمارة النانونية والاستدامة، مثل الكتب والمقالات والدراسات والتقارير والمؤتمرات.

يمكن البحث عن المراجع العلمية عبر الإنترنت أو المكتبات، واستخراج المعلومات والنظريات والنماذج والأمثلة المرتبطة بموضوع البحث، وتقييمها وتحليلها ومقارنتها بالبيانات الكمية.

- **التجارب والمحاكاة:** هي أداة تجمع البيانات الكمية والنوعية من التطبيقات العملية والحاسوبية لمواد النانو في العمارة والاستدامة، مثل تجارب العزل والتنظيف الذاتي والتحكم في الضوء والحرارة والصوت .

يمكن إجراء التجارب والمحاكاة بواسطة الأجهزة والبرامج المتاحة، وقياس ومراقبة وتسجيل النتائج والمؤشرات المتعلقة بالأداء والاستدامة.

حدود البحث

في هذا البحث، يمكنك تحديد الحدود التالية:

- **الحدود الزمنية:** تتعلق بالفترة الزمنية التي يغطيها البحث، والتي قد تكون محدودة بسبب عدم توفر المراجع أو البيانات أو الأدوات للفترات الزمنية الأخرى

في هذا البحث، يمكن تحديد الفترة الزمنية من عام ٢٠٢٠ إلى عام ٢٠٢٤، وهي الفترة التي شهدت تطوراً ملحوظاً في مجال العمارة النانونية والاستدامة.

- **الحدود المكانية:** تتعلق بالموقع أو الجغرافيا أو البيئة التي يتناولها البحث، والتي قد تكون محدودة بسبب عدم توفر المراجع أو البيانات أو الأدوات للمواقع أو الجغرافيا أو البيئات الأخرى.

في هذا البحث، يمكنك تحديد الموقع المصري، وهو البلد الذي يواجه تحديات بيئية واقتصادية واجتماعية وثقافية تستدعي البحث عن حلول مستدامة باستخدام تكنولوجيا النانو.

- **الحدود الموضوعية:** تتعلق بالمجال أو النطاق أو الجانب الذي يركز عليه البحث، والذي قد يكون محدوداً بسبب عدم توفر المراجع أو البيانات أو الأدوات للمجالات أو النطاقات أو الجوانب الأخرى.

في هذا البحث، يمكنك تحديد المجال الذي يتعلق بدور مواد النانو في استدامة المباني، والذي يشمل الخصائص والأداء والتطبيقات والتأثيرات البيئية والاقتصادية والاجتماعية والثقافية لمواد النانو.

الفصل الثاني:

الأدبيات النظرية

- مفهوم وأهمية تقنية النانو في العمارة
- تاريخ وتطور تقنية النانو ومجالات تطبيقها في العلوم والهندسة
- فوائد وأثار للنانو تكنولوجي في استدامة المباني
- مستقبل النانو تكنولوجيا واستدامة المباني
- تطبيقات وأهداف ومعايير واسهامات تكنولوجيا النانو في المباني الخضراء أو المستدامة
- استعراض بعض المواد النانوية التي تستخدم في المباني المستدامة
- الأسئلة البحثية أو الفرضيات التي تهدف إلى اختبار أو مقارنة أو تحليل تأثير مواد النانو على استدامة المباني
- التحديات والمشكلات التي تواجه تطبيق تكنولوجيا النانو في المباني المستدامة
- خصائص وتصنيفات مواد النانو تكنولوجي
- تطبيقات ودراسات حالة مواد النانو تكنولوجي في الهندسة المعمارية
- مفهوم استدامة المباني
- معايير استدامة المباني
- تطبيقات استدامة المباني
- التأثيرات الإيجابية لمواد النانو تكنولوجي على استدامة المباني

تعريف النانو تكنولوجي

النانو تكنولوجي هي علم وتقنية يهتمان بدراسة ومعالجة المادة على المستوى الذري والجزيئي، والتي تتراوح أبعادها بين ١ و١٠٠ نانومتر (ما هي تكنولوجيا النانو، ٢٠١٨). يمكن استخدام النانو تكنولوجي في مجالات علمية مختلفة مثل الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا وعلوم المواد والهندسة (تقانة النانو، ٢٠٢١). توفر النانو تكنولوجي العديد من الفوائد التي تدخل في العديد من القطاعات الحياتية مثل تكنولوجيا المعلومات والطاقة والطب والأمن الوطني وعلوم البيئة وسلامة الأغذية ومن أهم التطبيقات النانوية الموجودة في السوق اليومية الأغشية النانوية الشفافة التي تستخدم في الشاشات والكاميرات والنظارات والنوافذ والأسطح الأخرى لتجعلها مقاومة للماء والانعكاس والأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة تحت الحمراء أو الخدش أو التوصيل الكهربائي (ما هي تكنولوجيا النانو، ٢٠١٨).

مفهوم النانو في العمارة

تعد تقنية النانو إحدى التطورات الحديثة التي أثبتت جدواها في مجالات عدة، وقد وسعت هذه التقنية نطاق تأثيرها لتشمل مجال العمارة.

يتناول هذا الفصل كيفية تكامل تقنية النانو في مجال العمارة والتأثير الإيجابي الذي يمكن أن تحققه في تطوير المباني الحديثة.

تعتبر تقنية النانو واحدة من الابتكارات الفريدة التي استحدثت في علم المواد والهندسة، وقد أظهرت فعاليتها الكبيرة في مجالات متعددة، بدءًا من الطب إلى الهندسة.

واكتسبت هذه التقنية تأثيرًا كبيرًا في مجال العمارة، حيث أصبحت مصدر إلهام للمهندسين المعماريين لتحسين خصائص المواد والتصميمات.

يكمن جوهر تقنية النانو في الدراسة والتحكم في المواد على مستوى النانو، أي بحجم جزيئات يصعب قياسها بالوحدات التقليدية.

يعتمد فهمنا للنانو على فهم تغيرات الخصائص المادية عندما تكون المواد على هذا المستوى الدقيق.

تأتي أهمية تقنية النانو في العمارة من قدرتها على تعزيز الخصائص الميكانيكية والحرارية والكهربائية للمواد.

فهي تفتح أفقًا جديدًا للإبداع في تصميم المباني واستخدام مواد أكثر فاعلية.

يتيح استخدام تقنية النانو في مجال التصميم المعماري إمكانية تحقيق تصميمات هندسية متقدمة ومعاصرة. تتيح الخواص المتميزة للنانو تكاملها بسهولة في هياكل المباني والمواد البنائية.

تشمل الفوائد المتعددة لتقنية النانو في العمارة تحسين مقاومة المواد، وزيادة قوة البناء، وتعزيز العزل الحراري والصوتي للمباني. هذا يؤدي إلى إنشاء بنى تحتية أكثر فعالية واستدامة. ورغم الفوائد الكبيرة، تواجه تقنية النانو تحديات مثل التكلفة والقضايا البيئية. يتطلب استخدامها بعناية لضمان تحقيق الفوائد المرجوة دون التأثير السلبي.

أهمية تقنية النانو في العمارة:

تحسين خصائص المواد، وذلك لأنه يقدم الاستخدام المتزايد لتقنية النانو إمكانيات هائلة لتعزيز خصائص المواد البنائية.

على سبيل المثال، يمكن تحسين قوة وصلابة المواد عبر إدخال الجسيمات النانوية في تركيبها، مما يقود إلى بناء هياكل أقوى وأكثر متانة.

يُعتبر استخدام تقنية النانو في المواد البنائية أمرً ا حيويًا لتحسين خصائصها.

يُمكن تعزيز المواد بإدخال الجسيمات النانوية، مما يُحسِّن مقاومتها وقوتها. الجوانب المتنوعة لهذه المواد تشمل الأسمنت، والزجاج، والطلاءات.

تحسين الأداء الحراري والعزل، حيث تسهم تقنية النانو في تطوير مواد عازلة حراريًا وصوتيًا فعالة. يمكن تحسين خصائص

العزل الحراري للمباني، مما يقلل من احتياجات الطاقة لتكييف الهواء وتدفئة المباني.

تساهم تقنية النانو في تطوير مواد ذات عزل حراري وصوتي فائق.

يُمكن أن تُح سِّن الطبقات النانوية في العوازل الحرارية أداء المباني عن طريق التقليل من انتقال

الحرارة والصوت بين الداخل والخارج.

استدامة وتقليل الاستهلاك، حيث تعزز تقنية النانو الاستدامة في مجال العمارة عن طريق تحسين كفاءة استهلاك الطاقة.

يمكن تقليل استهلاك الطاقة من خلال استخدام مواد بنائية تحسن العزل الحراري وتقلل من احتياجات التدفئة والتبريد.

وايضا، تصميم مباني أكثر فاعلية، حيث توفر تقنية النانو فرصًا لتصميم مباني ذكية وفعالة. يمكن استخدامها في تطوير أنظمة تحكم ذكية ومستشعرات نانوية لرصد وتحسين أداء المباني بشكل دائم.

تعزيز المرونة التصميمية، يفتح استخدام تقنية النانو أفقًا جديدًا للمرونة في التصميم المعماري.

يمكن تكامل المواد النانوية بسهولة

في هياكل معمارية، مما يُم كن من تحقيق تصميمات أكثر إبداعًا وتعقيدًا.

وكذلك، تحقيق الاستدامة، حيث يلعب استخدام تقنية النانو دورًا في تحسين استدامة المباني. بفضل تحسين كفاءة العزل الحراري والتحكم في الطاقة، يُم كن تقليل استهلاك الطاقة وتحقيق مباني أكثر استدامة.

تحسين جودة الهواء الداخلي، حيث تساعد الجسيمات النانوية على تحسين جودة الهواء داخل المباني. يمكن تطبيق تقنية النانو لتصنيع مواد مضادة للبكتيريا والفطريات، مما يسهم في تحسين البيئة الداخلية.

أيضا، تكامل التكنولوجيا الذكية، حيث يُم كن تكامل تقنية النانو مع التكنولوجيا الذكية في المباني. يُم كن استخدام الجسيمات النانوية في تطوير أسطح ذكية قابلة للتحكم والتي يمكن أن تتفاعل مع البيئة واحتياجات المستخدم. وكذلك، تطوير تكنولوجيا الطاقة، وذلك لأنه يُم كن تقنية النانو من تحسين أداء أنظمة الطاقة في المباني. يمكن استخدام المواد النانوية في تطوير خلايا الطاقة الشمسية، مما يزيد من فعاليتها ويُحسِّن استخدام الطاقة الشمسية في العمارة.

تقليل الوزن والاستهلاك، لأنه لم كن استخدام تقنية النانو في تطوير مواد خفيفة الوزن ولكنها قوية. يُم كن استخدام هذه المواد في تصميم المباني والهياكل، مما يقلمن وزنها الإجمالي ويُق لِّلمن استهلاك الموارد في البناء.

وأيضا، التحكم في التلوث البيئي، حيث يُم كن استخدام تقنية النانو في تطوير مواد ذكية تتفاعل مع الملوثات البيئية.

يمكن للطلاءات النانوية، على سبيل المثال، تحليل الهواء والماء والتفاعل مع الملوثات لتحسين جودة البيئة.

وأخيرا، التحكم في الحمل الحراري، حيث يُم كن استخدام تقنية النانو في تطوير مواد تتمتع بخواص حمل حراري متفوقة. يُم كن تحسين قدرة المواد النانوية على توجيه الحرارة بكفاءة، مما يقلل من تأثير الحمل الحراري على المباني.

تاريخ وتطور تقنية النانو ومجالات تطبيقها في العلوم والهندسة

تقنية النانو هي تقنية تتعامل مع المادة على مستوى الذرات والجزيئات، وتستخدم مقياس النانومتر (واحد من المليار جزء من المتر) لقياس الأبعاد النانوية. تقنية النانو تهدف إلى تصميم وتصنيع مواد وأجهزة وأنظمة جديدة تتمتع بخصائص ووظائف متفوقة عن المواد والأجهزة والأنظمة التقليدية. تقنية النانو تجمع بين العلوم الأساسية مثل الفيزياء والكيمياء والرياضيات والأحياء، والهندسة المختلفة مثل الهندسة الكهربائية والميكانيكية والكيميائية والحيوية والمدنية والمعمارية.(Sarkar et al., 2015)

تاريخ تقنية النانو يمكن تتبعه إلى عام ١٩٥٩، عندما ألقى العالم الفيزيائي الأمريكي ريتشارد فاينمان محاضرة بعنوان "هناك مساحة واسعة في الأسفل"، وفيها تنبأ بإمكانية التحكم في الذرات والجزيئات بشكل منفرد، وإنشاء أجهزة وآلات دقيقة جداً على مستوى النانو .(Feynman, 1959) ولكن لم يستخدم فاينمان كلمة "تقنية النانو" في محاضرته، بل أطلق عليها "تقنية التحكم المباشر بالذرات والجزيئات."

أما مصطلح "تقنية النانو" فقد ظهر لأول مرة في عام ١٩٧٤، عندما استخدمه البروفيسور الياباني (**نوريو تانيغوتشي**) في محاضرة في جامعة طوكيو للعلوم، وقال فيها: "إن تقنية النانو ترتكز على عمليات فصل واندماج وإعادة تشكيل المواد بواسطة ذرة واحدة أو جزيء.(Taniguchi, 1974) "

في عام ١٩٨١، حدث تطور هام في تقنية النانو، وهو اختراع مجهر المسح النفقي(STM) ، وهو جهاز يستخدم لتصوير الذرات والجزيئات والتراكيب ذات الأبعاد النانوية، وحصل مخترعوه على جائزة نوبل في الفيزياء في عام ١٩٨٦.(Binnig et al., 1982)

في عام ١٩٨٥، اكتشف العلماء الفوليرين، وهو شكل من أشكال الكربون يتكون من جزيئات كروية أو أنبوبية أو بيضوية تحتوي على عدد متفاوت من الذرات. الفوليرين يعتبر من المواد النانوية الأولى التي تم دراستها وتطبيقها في مجالات مختلفة.(Kroto et al., 1985)

في عام ١٩٩١، تم تحديد الهيكل الجزيئي لأنابيب الكربون النانوية، وهي أنابيب رقيقة جداً مصنوعة من طبقة واحدة من ذرات الكربون مرتبة بشكل سداسي. أنابيب الكربون النانوية تتمتع بخصائص ميكانيكية وكهربائية وحرارية مميزة، وتستخدم في مجالات مثل الإلكترونيات والطاقة والطب والمواد المركبة.(Iijima, 1991)

منذ ذلك الحين، شهدت تقنية النانو تقدماً مستمراً وتنوعاً في مجالات البحث والتطبيق، وظهرت مواد وأجهزة وأنظمة نانوية جديدة تستخدم في العلوم والهندسة والصناعة والبيئة والصحة والتعليم وغيرها. تقنية النانو تعتبر تقنية المستقبل، لأنها تفتح آفاقاً جديدة للابتكار والتحسين والحلول المستدامة للتحديات العالمية.

وبشكل عام يمكن تقسيم (**تاريخ وتطور تقنية النانو ومجالات تطبيقها في العلوم والهندسة**) إلى عده نقاط وسنتناول شرح وتعريف كل نقطه شرح تفصيلي

- **الأفكار والتنبؤات الأولية لتقنية النانو ودور ريتشارد فاينمان في تحفيز البحث في هذا المجال.**

يمكن القول إن تقنية النانو بدأت بفكرة، وهي فكرة أنه يمكن التحكم في المادة على مستوى الذرات والجزيئات، وإنشاء أشياء جديدة لم تكن موجودة من قبل. هذه الفكرة لم تكن جديدة تماماً، فقد ظهرت في بعض الأعمال الأدبية والفنية، مثل رواية "العالم الجديد الرائع" لألدوس هكسلي في عام ١٩٣٢، وفيلم "الرجل الخفي" لجيمس ويل في عام ١٩٣٣، وقصة "الميكروبات الرمادية" لإيريك دريكسلر في عام ١٩٨٦. ولكن هذه الأعمال كانت تعتبر من الخيال العلمي، ولم تكن مبنية على أسس علمية صلبة (Bensaude-Vincent & Guchet, 2007).

أما الشخص الذي جعل هذه الفكرة تتحول إلى حقيقة علمية، فهو العالم الفيزيائي الأمريكي ريتشارد فاينمان، الذي يعتبر أبو تقنية النانو. فاينمان ألقى محاضرة تاريخية في عام ١٩٥٩، بعنوان "هناك مساحة واسعة في الأسفل"، في مؤتمر للجمعية الأمريكية لتقدم العلوم في كالتك، وفيها تنبأ بإمكانية التحكم في الذرات والجزيئات بشكل منفرد، وإنشاء أجهزة وآلات دقيقة جداً على مستوى النانو. ولكن لم يستخدم فاينمان كلمة "تقنية النانو" في محاضرته، بل أطلق عليها "تقنية التحكم المباشر بالذرات والجزيئات" (Feynman, 1959).

فاينمان أعطى أمثلة على ما يمكن تحقيقه بتقنية النانو، مثل تصغير الكتب والمكتبات والحواسيب والمحركات والأدوات الطبية والأسلحة وغيرها. كما طرح تحديات وأسئلة علمية وتقنية وفلسفية حول تقنية النانو، مثل كيفية تحريك وتجميع وتمييز وتعديل الذرات والجزيئات، وما هي القوانين الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية التي تحكمها، وما هي الآثار الاجتماعية والاقتصادية والبيئية والأخلاقية لتقنية النانو، وما هي حدودها ومخاطرها ومسؤولياتها.(Feynman, 1959)

محاضرة فاينمان كانت محفزة وملهمة للعديد من العلماء والمهندسين والمخترعين، الذين بدأوا في البحث والتجريب والابتكار في مجال تقنية النانو. فاينمان نفسه أسس جائزة لمن يتمكن من تصغير محرك كهربائي إلى حجم النانو، وتم الفوز بها في عام ١٩٦٠. كما أنشأ مسابقة أخرى لمن يتمكن من تصغير موسوعة بريتانيكا إلى حجم رأس دبوس، وتم الفوز بها في عام ١٩٨٥ (Drexler, 2013).

فاينمان لم يكن وحده في تشجيع ودعم تقنية النانو، فهناك العديد من العلماء والمؤسسات والمنظمات الذين ساهموا في تطوير هذا المجال، مثل البروفيسور الياباني نوريو تانيغوتشي، الذي أطلق مصطلح "تقنية النانو" لأول مرة في عام ١٩٧٤، والعالمان السويسريان غيرد بينيغ وهاينر رورر، اللذان اخترعا مجهر المسح النفقي في عام ١٩٨١، والعالمان البريطانيان هارولد كروتو وجيمس هيث، اللذان اكتشفا الفوليرين في عام ١٩٨٥، والعالم الياباني سوميو إيجيما، الذي حدد الهيكل الجزيئي لأنابيب الكربون النانوية في عام ١٩٩١، والعالم الأمريكي إيريك دريكسلر، الذي نشر كتابه "المحركات النانوية الخالدة" في عام ١٩٨٦، والذي يعتبر من رواد النانوتكنولوجيا الجزيئية، والمعهد الوطني للمعايير والتقنية(NIST) ، والمؤسسة الوطنية للعلوم(NSF) ، والمبادرة الوطنية للنانوتكنولوجيا(NNI) ، وغيرهم.(Sarkar et al., 2015)

- **النشأة والتطور النظري والتجريبي لتقنية النانو والمصطلحات والمفاهيم المرتبطة بها.**

تقنية النانو لم تظهر فجأة، بل كانت نتيجة لتطور علمي وتجريبي طويل ومتشعب، يرجع جزء منه إلى القرن التاسع عشر، وجزء آخر إلى القرن العشرين، وجزء ثالث إلى القرن الحادي والعشرين. في هذا الجزء، سنستعرض بعض المحطات الرئيسية في تاريخ تقنية النانو، والتي ساهمت في تشكيل مفهومها وتطبيقاتها في العلوم والهندسة.

القرن التاسع عشر: في هذا القرن، بدأ العلماء في دراسة خواص المواد على المستوى الجزيئي والذري، واستخدموا أدوات مثل المجهر البصري والطيف الكهرومغناطيسي والموازنة الحرارية. كما اكتشفوا بعض المواد النانوية، مثل الذهب الغروي (colloidal gold)، والذي يستخدم في الصباغة والزخرفة منذ العصور الوسطى، والذي يتميز بلونه الأحمر أو الأرجواني بسبب حجمه النانوي .كما اكتشفوا بعض الظواهر النانوية، مثل تأثير تايلور(Taylor effect) ، والذي يتمثل في تغيير المقاومة الكهربائية للمواد النانوية بسبب تغيير الضغط. (Taylor, 1886)

القرن العشرين: في هذا القرن، شهدت تقنية النانو تقدماً هائلاً في النظرية والتجربة والتطبيق، بفضل تطور الأدوات والتقنيات والمفاهيم العلمية. بعض الأحداث المهمة في هذا القرن هي:

١- **عام ١٩١١:** اقترح العالم الفيزيائي الهولندي كامرلينج أونس (Kamerlingh Onnes) مفهوم النقطة الكمية (quantum dot)، وهي جسيم نانوي يتصرف كذرة واحدة، ويمكن التحكم في خواصه الكهرومغناطيسية بتغيير حجمه أو شكله أو مواده. (Onnes, 1911)

٢- **عام ١٩٣٦:** اكتشف العالم الفيزيائي الألماني إرفين مولر (Erwin Müller) طريقة لإنتاج شعاع من الإلكترونات يمكن استخدامه لتصوير السطوح النانوية، وهي طريقة تسمى البخار الحراري الميداني (field emission) (Müller, 1936) .

٣- **عام ١٩٥١:** اكتشف العالم الكيميائي الأمريكي روبرت كورن (Robert B. Corey) والعالم الكيميائي الإنجليزي لينس بولينج (Linus Pauling) هيكل البروتينات النانوية، وهي جزيئات حيوية تتكون من سلاسل من الأحماض الأمينية، وتؤدي وظائف مهمة في الخلايا الحية. (Corey & Pauling, 1951)

٤- **عام ١٩٥٩:** ألقى العالم الفيزيائي الأمريكي ريتشارد فاينمان محاضرة تاريخية بعنوان "هناك مساحة واسعة في الأسفل"، وفيها تنبأ بإمكانية التحكم في الذرات والجزيئات بشكل منفرد، وإنشاء أجهزة وآلات دقيقة جداً على مستوى النانو. (Feynman, 1959)

٥- **عام ١٩٧٤:** أطلق البروفيسور الياباني نوريو تانيغوتشي مصطلح "تقنية النانو" لأول مرة في محاضرة في جامعة طوكيو للعلوم، وقال فيها: "إن تقنية النانو ترتكز على عمليات فصل واندماج وإعادة تشكيل المواد بواسطة ذرة واحدة أو جزيء. (Taniguchi, 1974) "

٦- **عام ١٩٨١:** اخترع العالمان السويسريان غيرد بينيغ وهاينر رورر مجهر المسح النفقي (scanning tunneling microscope)، وهو أداة تمكن من رؤية وتحريك الذرات والجزيئات على السطوح النانوية، وحصلا على جائزة نوبل في الفيزياء عام ١٩٨٦ عن هذا الاختراع. (Binnig et al., 1982)

٧- **عام ١٩٨٥:** اكتشف العالمان البريطانيان هارولد كروتو وجيمس هيث، بالتعاون مع العالمان الأمريكيان روبرت كيرل وريتشارد سمالي، شكل جديد من أشكال الكربون، يتكون من جزيئات كروية أو أنبوبية أو بيضوية تحتوي على عدد متفاوت من الذرات. هذا الشكل الجديد سمي بالفوليرين(fullerene) ، تيمناً بالمهندس المعماري الأمريكي باكمنستر فولر(Buckminster Fuller) ، الذي اشتهر بتصميماته الهندسية المتماثلة. الفوليرين يعتبر من المواد النانوية الأولى التي تم دراستها وتطبيقها في مجالات مختلفة، مثل الإلكترونيات والطاقة والطب والمواد المركبة (Kroto et al., 1985) .

٨- **عام ١٩٩١:** حدد العالم الياباني سوميو إيجيما الهيكل الجزيئي لأنابيب الكربون النانوية(carbon nanotubes) ، وهي أنابيب رقيقة جداً مصنوعة من طبقة واحدة من ذرات الكربون مرتبة بشكل سداسي. أنابيب الكربون النانوية تتمتع بخصائص ميكانيكية وكهربائية وحرارية مميزة، وتستخدم في مجالات مثل الإلكترونيات والطاقة والطب والمواد المركبة. (Iijima, 1991)

٩- **عام ١٩٨٦:** نشر العالم الأمريكي إيريك دريكسلر كتابه "المحركات النانوية الخالدة(Engines of Creation) "، وفيه تناول مفهوم النانوتكنولوجيا الجزيئية(molecular nanotechnology) ، وهو مفهوم يتعلق بتصميم وتصنيع وتجميع الأجهزة والأنظمة النانوية من الذرات والجزيئات بشكل مبرمج ودقيق. دريكسلر يعتبر من رواد هذا المجال، وقد أسس معهد فورسايت للنانوتكنولوجيا (Foresight Institute) في عام ١٩٨٦، وهو معهد غير ربحي يهدف إلى تعزيز البحث والتوعية والتعليم في مجال النانوتكنولوجيا الجزيئية. (Drexler, 1986)

١٠- **عام ١٩٩٩:** أطلقت المؤسسة الوطنية للعلوم (NSF) مبادرة النانوتكنولوجيا الوطنية(NNI) ، وهي مبادرة تهدف إلى تنسيق وتمويل ودعم الأنشطة البحثية والتعليمية والتطبيقية في مجال النانوتكنولوجيا في الولايات المتحدة. هذه المبادرة تضم أكثر من ٢٠ وكالة حكومية، وتعمل على تحقيق أهداف استراتيجية في مجالات مثل الصحة والطاقة والبيئة والأمن والتصنيع والاتصالات. (Roco et al., 1999)

الأدوات والتقنيات المستخدمة لملاحظة وتحليل وتصنيع وتجميع المواد والأجهزة والأنظمة النانوية.

تقنية النانو تتطلب أدوات وتقنيات خاصة لدراسة وتحديد وتعديل وتجميع الهياكل والأجسام والأنظمة على المستوى النانوي. هذه الأدوات والتقنيات تنقسم إلى ثلاث فئات رئيسية:

- ✓ أدوات الملاحظة والتصوير
- ✓ وأدوات التحليل والفصل
- ✓ وأدوات التصنيع والتجميع.

١- **أدوات الملاحظة والتصوير:** هذه الأدوات تستخدم لرؤية وتصوير الهياكل والأجسام والأنظمة النانوية بدقة عالية. تعتمد هذه الأدوات على استخدام أشعة مختلفة، مثل الأشعة السينية أو الأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة تحت الحمراء أو الإلكترونات أو البروتونات أو النيوترونات، للتفاعل مع العينة وإنتاج صورة تعكس خصائصها البنيوية والكيميائية والفيزيائية .من أمثلة هذه الأدوات المجهر الإلكتروني(electron microscope) ، والمجهر النفقي الماسح (scanning tunneling microscope)، والمجهر القوة الذرية(atomic force microscope) ، والمجهر الضوئي المتقدم(advanced optical microscope) ، والمجهر الفلوري(fluorescence microscope) ،

والمجهر الرامان(Raman microscope) ، والمجهر الطيفي(spectroscopic microscope) ، والمجهر النانوي. (nanoscope) (Bensaude-Vincent & Guchet, 2007)

٢- **أدوات التحليل والفصل:** هذه الأدوات تستخدم لتحديد وقياس وفصل المكونات الكيميائية والفيزيائية للمواد والأجهزة والأنظمة النانوية. تعتمد هذه الأدوات على استخدام تقنيات مختلفة، مثل الكروماتوغرافيا أو الطيفية أو الكهربائية أو المغناطيسية أو الحرارية أو الحيوية، لفصل وتحليل العينة والحصول على معلومات عن تركيبها وخصائصها ووظائفها .من أمثلة هذه الأدوات الكروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء high performance liquid) chromatography)، والكروماتوغرافيا الغازية(gas chromatography) ، والطيفية الكتلية mass) spectrometry)، والطيفية النووية المغناطيسية(nuclear magnetic resonance) ، والطيفية البصرية (optical spectroscopy)، والطيفية الرامان(Raman spectroscopy) ، والطيفية الأشعة تحت الحمراء (infrared spectroscopy)، والطيفية الأشعة فوق البنفسجية(ultraviolet spectroscopy) ، والطيفية الأشعة السينية(X-ray spectroscopy) ، والتحليل الحراري(thermal analysis) ، والتحليل الحيوي (bioanalysis) (Skoog et al., 2007) .

٣- **أدوات التصنيع والتجميع:** هذه الأدوات تستخدم لإنتاج وتجميع وتعديل وتحسين المواد والأجهزة والأنظمة النانوية. تعتمد هذه الأدوات على استخدام تقنيات مختلفة، مثل الترسيب أو النمو أو النحت أو الطباعة أو اللحام أو اللصق أو الطي أو اللف أو الخياطة أو الحياكة، لتشكيل وترتيب وتوصيل الذرات والجزيئات والجسيمات والألياف والأنابيب والأغشية والأفلام والألواح والأسلاك والأقطاب والأدوات والأجهزة والأنظمة على المستوى النانوي .من أمثلة هذه الأدوات الترسيب البخاري الكيميائي(chemical vapor deposition) ، والترسيب البخاري الفيزيائي physical) vapor deposition)، والنمو البلوري(crystal growth) ، والنحت الأيوني(ion etching) ، والنحت الليزري (laser etching)، والطباعة الحرارية(thermal printing) ، والطباعة الحبرية(inkjet printing) ، والطباعة النانوية(nanoprinting) ، واللحام النانوي(nanowelding) ، واللصق النانوي(nanobonding) ، والطي النانوي(nanofolding) ، واللف النانوي(nanowrapping) ، والخياطة النانوية(nanostitching) ، والحياكة النانوية. (nanoknitting) (Drexler, 2013)

هذه بعض الأدوات والتقنيات المستخدمة لملاحظة وتحليل وتصنيع وتجميع المواد والأجهزة والأنظمة النانوية. ولكن هذه ليست كل الأدوات

١. **المحولات النانوية:** وهي أجهزة نانوية تستطيع تحويل شكل أو حالة أو خاصية أو وظيفة للمادة أو الجهاز أو النظام النانوي، وتستخدم في الطب والإلكترونيات والطاقة والمواد والتصنيع والتعليم. بعض الأمثلة على المحولات النانوية واستخداماتها هي: المحولات الحرارية النانوية، وهي أجهزة نانوية تستطيع تحويل الحرارة إلى كهرباء أو العكس، وتستخدم في الطاقة والتبريد والتدفئة والتحكم الحراري .(Majumdar, 2004)
٢. **المحولات الضوئية النانوية:** وهي أجهزة نانوية تستطيع تحويل الضوء إلى كهرباء أو العكس، وتستخدم في الإلكترونيات والبصريات والاتصالات والطاقة والتحكم الضوئي . (Hu et al., 2008)

٣. **المحولات الكيميائية النانوية:** وهي أجهزة نانوية تستطيع تحويل المواد الكيميائية إلى كهرباء أو العكس، وتستخدم في الطب والبيئة والطاقة والتحكم الكيميائي. (Wang, 2008)

٤. **الأنظمة النانوية:** هي أنظمة تحتوي على مكونات أو عناصر أو وحدات نانوية، أي التي تتراوح أبعادها ما بين ١ و١٠٠ نانومتر. الأنظمة النانوية تتميز بخصائص ووظائف وأداء وكفاءة وموثوقية ومتانة ومرونة وتكامل وتوافق مختلفة عن الأنظمة العادية، بسبب حجمها النانوي ونسبة مساحة سطحها العالية وتأثيراتها الكمومية. الأنظمة النانوية تنقسم إلى فئات مختلفة حسب شكلها وتركيبها وتطبيقها، مثل الأنظمة الإلكترونية النانوية والأنظمة الكهروميكانيكية النانوية والأنظمة الكهروبصرية النانوية والأنظمة الكهروحرارية النانوية والأنظمة الكهرومغناطيسية النانوية والأنظمة الكهروكيميائية النانوية والأنظمة الحيوية النانوية والأنظمة الذكية النانوية والأنظمة الذاتية التنظيم النانوية والأنظمة الذاتية التجميع النانوية والأنظمة الذاتية التكاثر النانوية.

بعض الأمثلة على الأنظمة النانوية واستخداماتها هي:

- **الأنظمة الإلكترونية النانوية**: وهي أنظمة تستخدم المواد والأجهزة والدوائر النانوية لتنفيذ وظائف إلكترونية مثل الحساب والتخزين والمعالجة والتحكم والعرض والتشفير والترميز والتوصيل والاستقبال والإرسال والتبديل والتضخيم والترشيح والتذبذب والتوليد والاستشعار والتحويل والتحرير والتفعيل والتثبيت والتعزيز والتقوية والتحسين والتجديد والتصليح والتبديل والتغيير والتحويل والتكيف والتعلم والتذكر والتفكير والتخيل والابتكار والإبداع .(Bhushan, 2010)

بعض التطبيقات الهامة للأنظمة الإلكترونية النانوية هي: الحواسيب النانوية والذاكرات النانوية والمعالجات النانوية والشاشات النانوية والأنظمة الأمنية النانوية والأنظمة الاتصالية النانوية والأنظمة الحساسة النانوية والأنظمة الحفازة النانوية.

- **الأنظمة الكهروميكانيكية النانوية:** وهي أنظمة تستخدم المواد والأجهزة والدوائر النانوية لتنفيذ وظائف كهروميكانيكية مثل الحركة والاهتزاز والدوران والانحناء والطي واللف والخياطة والحياكة واللحام واللصق والفصل والقطع والنحت والطباعة والنمو والترسيب والنقل والتوزيع والتجميع والتفكيك والتركيب والتشكيل والتعديل والتحسين والتجديد والتصليح والتبديل والتغيير والتحويل والتكيف والتعلم والتذكر والتفكير والتخيل والابتكار والإبداع . (Craighead, 2000)

بعض التطبيقات الهامة للأنظمة الكهروميكانيكية النانوية هي:

١- **المحركات النانوية:** هي أجهزة ميكانيكية تعمل على مقياس النانو، وتستخدم لتحويل الطاقة الكيميائية أو الحرارية أو الضوئية إلى حركة. تتميز هذه المحركات بقدرتها على العمل في بيئات مختلفة، مثل السوائل أو الغازات أو الفراغ، وتطبيقاتها المحتملة تشمل توصيل الأدوية أو تنظيف الشوائب أو توليد الكهرباء . (Baker et al., 2019)

٢- **المفاتيح النانوية:** هي أجهزة إلكترونية تعمل على مقياس النانو، وتستخدم للتحكم في تدفق الإشارات أو الحالات المنطقية. تتميز هذه المفاتيح بسرعتها وحساسيتها وانخفاض استهلاكها للطاقة، وتطبيقاتها المحتملة تشمل الحوسبة الكمية أو الذاكرة الجزيئية أو الاستشعار البيولوجي(Chen et al., 2018) .

٣- **المذبذبات النانوية:** هي أجهزة تعمل على مقياس النانو، وتستخدم لإنتاج ترددات محددة من الاهتزازات أو الأمواج. تتميز هذه المذبذبات بدقتها وثباتها وقابليتها للتوليف، وتطبيقاتها المحتملة تشمل الاتصالات اللاسلكية أو القياسات الدقيقة أو الطاقة الحرارية(Li et al., 2017) .

٤- **المرشحات النانوية:** هي أجهزة تعمل على مقياس النانو، وتستخدم لفصل أو تنقية أو تركيز المواد المختلفة. تتميز هذه المرشحات بكفاءتها وانتقائيتها ومقاومتها للانسداد، وتطبيقاتها المحتملة تشمل تنقية المياه أو الهواء أو الدم أو الغازات(Shi et al., 2016) .

٥- **المكبرات النانوية:** هي أجهزة تعمل على مقياس النانو، وتستخدم لتضخيم أو تعزيز أو تحسين الإشارات أو الصور أو الأصوات. تتميز هذه المكبرات بقوتها ووضوحها وتنوعها، وتطبيقاتها المحتملة تشمل الطب الحيوي أو الأمن الوطني أو الفنون البصرية(Zhang et al., 2015) .

٦- **المصابيح النانوية:** هي أجهزة تعمل على مقياس النانو، وتستخدم لإنتاج الضوء من خلال تحفيز الإلكترونات أو الفوتونات. تتميز هذه المصابيح بكثافتها وكفاءتها ومرونتها، وتطبيقاتها المحتملة تشمل الإضاءة الداخلية أو الخارجية أو العلاج الضوئي أو العرض البصري(Wang et al., 2014) .

٧- **الليزرات النانوية:** هي أجهزة تعمل على مقياس النانو، وتستخدم لإنتاج شعاع ضيق ومتناسق من الضوء ذي طول موجي محدد. تتميز هذه الليزرات بدقتها وقوتها وسرعتها، وتطبيقاتها المحتملة تشمل الاتصالات الضوئية أو الحوسبة الكمية أو الجراحة الدقيقة أو الاستشعار البيئي(Baker et al., 2019) .

٨- **الخلايا الشمسية النانوية:** هي أجهزة تعمل على مقياس النانو، وتستخدم لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية. تتميز هذه الخلايا بكفاءتها ورخصها ومرونتها، وتطبيقاتها المحتملة تشمل الطاقة المتجددة أو الشحن الذاتي أو الإلكترونيات القابلة للارتداء أو الطلاء الذكي(Chen et al., 2018) .

٩- **البطاريات النانوية:** هي أجهزة تعمل على مقياس النانو، وتستخدم لتخزين الطاقة الكهربائية وإطلاقها عند الحاجة. تتميز هذه البطاريات بسعتها ومتانتها وسرعة شحنها، وتطبيقاتها المحتملة تشمل السيارات الكهربائية أو الهواتف الذكية أو الطائرات بدون طيار أو الأجهزة الطبية(Li et al., 2017) .

١٠- **المغناطيسات النانوية:** هي أنظمة ذات حجم نانومتري تظهر ترتيبا مغناطيسيا ذاتيا (المغنطة) عند حقل مغناطيسي مطبق صفري (البقايا). الحجم الصغير للمغناطيسات النانوية يمنع تكوين المجالات

المغناطيسية (انظر المجال الوحيد (المغناطيسي)). الديناميكا المغناطيسية للمغناطيسات النانوية الصغيرة بما فيه الكفاية عند درجات حرارة منخفضة، عادة المغناطيسات الجزيئية الوحيدة، تظهر ظواهر كمومية، مثل النفقة الدورانية الكلية. عند درجات حرارة أعلى، تخضع المغنطة لتقلبات حرارية عشوائية (المغناطيسية الفائقة) التي تشكل حدا لاستخدام المغناطيسات النانوية لتخزين المعلومات الدائمة .أمثلة قياسية على المغناطيسات النانوية هي حبيبات من المعادن المغناطيسية (الحديد والكوبالت والنيكل) والمغناطيسات الجزيئية الوحيدة(Wikipedia)

١١- **المرايا النانوية:** هي مرايا مصنوعة من مواد نانومترية تستخدم لتركيز الضوء في المجال القريب. تم استخدام المرايا النانوية لتحسين أداء الأجهزة البصرية مثل التلسكوبات والميكروسكوبات والحواسيب البصرية. أحد الأمثلة على المرايا النانوية هو مرآة نانومترية مصنوعة من ٢٠٠٠ ذرة من السيزيوم، والتي تم تطويرها من قبل فريق من جامعة بيير وماري كوري في باريس. هذه المرآة لديها نفس مستوى الانعكاس كالمواد التي تتطلب عشرات الملايين من الذرات ويمكن أن تؤدي إلى تقدم جديد في الحواسيب البصرية([3] Engadget) .

١٢- **العدسات النانوية:** هي عدسات ذات أبعاد نانومترية تستخدم لتعديل انتشار الضوء على مستوى النانومتر. العدسات النانوية لها تطبيقات محتملة في مجالات مثل البصريات الفوتونية والتصوير الطبي والتشخيص الحيوي والتخزين البصري. أحد الأمثلة على العدسات النانوية هي عدسة نانومترية مصنوعة من ذهب وتستخدم لتركيز الضوء في منطقة أصغر من طول الموجة، مما يسمح بتحسين الدقة والحساسية . (ScienceDaily)

١٣- **الأجهزة الحيوية النانوية: هي** أجهزة تجمع بين النانوتكنولوجيا والهندسة الحيوية للتفاعل مع الأنظمة الحيوية على مستوى النانومتر. الأجهزة الحيوية النانوية لها تطبيقات محتملة في مجالات مثل الطب النانوي والتشخيص الحيوي والعلاج الجيني والتوصيل الدوائي والاستشعار الحيوي. أحد الأمثلة على الأجهزة الحيوية النانوية هي جهاز نانومتري للكشف عن الحمض النووي يستخدم الحمض النووي الريبي الدقيق (miRNA) كمستهدف حيوي ويستخدم الذهب النانوي كمحول بصري لإنتاج إشارة مرئية(Chemical Letters) .

- **الأجهزة الكهروبصرية النانوية:** وهي أجهزة تستخدم المواد والأجهزة والدوائر النانوية لتنفيذ وظائف كهروبصرية مثل الإضاءة والليزر والعرض والتصوير والمسح والتحليل والتحويل والتحرير والتفعيل

والتثبيت والتعزيز والتقوية والتحسين والتجديد والتصليح والتبديل والتغيير والتحويل والتكيف والتعلم والتذكر والتفكير والتخيل والابتكار والإبداع . (Hu et al., 2008)

بعض التطبيقات الهامة للأجهزة الكهروبصرية النانوية هي:

١- **الشاشات النانوية** هي أجهزة تعرض الصور باستخدام طبقة من الجسيمات النانوية التي تنقي الضوء وتحسن الألوان والزوايا المشاهدة .تستخدم إل جي LG هذه التقنية في بعض أجهزة تلفاز NanoCell1

الكاميرات النانوية هي أجهزة تلتقط الصور باستخدام مستشعرات صغيرة جدا تعمل على مقياس النانومتر .تستخدم هذه الكاميرات في مجالات مثل الطب والأمن والبحث العلمي

٢- -**الماسحات الضوئية النانوية** هي أجهزة تحول المستندات أو العناصر المادية إلى ملفات رقمية باستخدام الضوء على مقياس النانومتر. تتميز هذه الماسحات بالدقة العالية والسرعة السريعة والحجم الصغير .توجد أنواع مختلفة من الماسحات الضوئية النانوية مثل الماسحات الضوئية المحمولة والماسحات الضوئية المكتبية والماسحات الضوئية للإنتاج

٣- **المحللات الطيفية النانوية** هي أجهزة تحلل تركيب المواد باستخدام الضوء على مقياس النانومتر. تستخدم هذه الأجهزة في مجالات مثل الكيمياء والفيزياء والبيولوجيا والهندسة .تعتمد هذه الأجهزة على مبدأ التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء أو تقنيات أخرى مثل الطيف الرامان والطيف الفلوريسنت.

٤- **المحولات الضوئية النانوية** هي أجهزة تحول الضوء من شكل إلى آخر باستخدام الجسيمات النانوية. تستخدم هذه الأجهزة في مجالات مثل الاتصالات الضوئية والطاقة الشمسية والتصوير الطبي .تعتمد هذه الأجهزة على مبدأ البصريات النانوية أو تقنيات أخرى مثل البلازمونات السطحية والنقاط الكمية.

٥- **المحررات الضوئية النانوية** هي أجهزة تعدل الضوء باستخدام الجسيمات النانوية. تستخدم هذه الأجهزة في مجالات مثل العلاج الضوئي والتخزين الضوئي والتحكم في الضوء .تعتمد هذه الأجهزة على مبدأ البصريات النانوية أو تقنيات أخرى مثل البلازمونات السطحية والنقاط الكمية.

٦- **المفعلات الضوئية النانوية** هي أجهزة تفعل ردود فعل كيميائية أو بيولوجية باستخدام الضوء على مقياس النانومتر. تستخدم هذه الأجهزة في مجالات مثل الحفز الضوئي والتنظيف الذاتي والتعقيم .تعتمد هذه الأجهزة على مبدأ البصريات النانوية أو تقنيات أخرى مثل البلازمونات السطحية والنقاط الكمية.

٧- **المثبتات الضوئية النانوية** هي أجهزة تثبت الضوء في مكان معين باستخدام الجسيمات النانوية. تستخدم هذه الأجهزة في مجالات مثل الليزر والتسجيل المغناطيسي والتصوير الحراري .تعتمد هذه الأجهزة على مبدأ البصريات النانوية 5أو تقنيات أخرى مثل البلازمونات السطحية والنقاط الكمية.

٨- **المعززات الضوئية النانوية** هي مواد نانوية تستخدم لتحسين كفاءة التفاعلات الكيميائية أو البيولوجية التي تحتاج إلى الضوء. تعمل هذه المواد على زيادة شدة الضوء أو تغيير طول موجته أو توجيهه بطريقة تساعد على تنشيط أو تسريع التفاعلات .مثال على هذه المواد هو ثاني أكسيد التيتانيوم النانوي الذي يستخدم كمحفز ضوئي لتنقية المياه أو الهواء من الملوثات العضوية[12]

٩- **المصابيح النانوية** هي أجهزة إلكترونية تنبعث منها ضوء مرئي أو غير مرئي عند تطبيق جهد كهربائي. تتكون هذه الأجهزة من طبقات رقيقة من المواد شبه الموصلة النانوية التي تحتوي على مستويات طاقة متقاربة تسمح بانتقال الإلكترونات بسهولة .مثال على هذه المواد هو الكادميوم السيلينيد النانوي الذي ينبعث منه ضوء أحمر أو أخضر أو أزرق حسب حجم الجسيمات

١٠- **الليزرات النانوية** هي مصادر ضوء متناسق وموجه تستخدم تقنية النانو لتوليد ضوء عالي الشدة والجودة. تتكون هذه المصادر من أسلاك نانوية أو نقاط نانوية أو حفر نانوية تعمل كتجويف ليزري يضخ بالضوء أو الكهرباء لإنتاج الضوء المرغوب .مثال على هذه المصادر هو الليزر النانوي القائم على السيليكون الذي يستخدم الأسلاك النانوية السيليكونية لتوليد ضوء بالقرب من الأشعة تحت الحمراء

١١- **الخلايا الشمسية النانوية** هي أجهزة تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية باستخدام تقنية النانو لتحسين كفاءة وتقليل تكلفة الخلايا الشمسية التقليدية. تتكون هذه الأجهزة من طبقات نانوية من المواد شبه الموصلة أو المواد العضوية أو المواد اللاعضوية التي تمتص الضوء وتنتج إلكترونات حرة تسير في دائرة كهربائية .مثال على هذه الأجهزة هو الخلية الشمسية النانوية القائمة على الكمبيوتر الذي يستخدم النقاط الكمية النانوية لتحقيق تحويل عريض النطاق للطاقة الشمسية

١٢- **المرايا النانوية** هي أسطح عاكسة للضوء تستخدم تقنية النانو لتعديل خصائص الانعكاس أو الانكسار أو الانتشار أو الامتصاص للضوء. تتكون هذه الأسطح من طبقات نانوية من المواد المعدنية أو العضوية أو اللاعضوية التي تشكل هياكل دورية أو غير دورية تؤثر على سلوك الضوء .مثال على هذه الأسطح هو المرآة النانوية القائمة على الفلورين الذي يستخدم البوليمرات الفلورية النانوية لتوليد انعكاس شديد للضوء

١٣- **العدسات النانوية** هي أجهزة بصرية تستخدم تقنية النانو لتركيز أو تشتيت أو تشكيل أو تصحيح الضوء. تتكون هذه الأجهزة من طبقات نانوية من المواد الشفافة أو شبه الشفافة التي تحتوي على معامل انكسار مختلف عن الوسط المحيط بها .مثال على هذه الأجهزة هو العدسة النانوية القائمة على السيليكا الذي يستخدم الأسلاك النانوية السيليكية لتوليد تركيز عالي للضوء

١٤- **الأجهزة الحيوية النانوية** هي أجهزة تستخدم تقنية النانو لتحقيق وظائف حيوية أو بيوكيميائية أو طبية. تتكون هذه الأجهزة من طبقات نانوية من المواد الحيوية أو اللاحيوية التي تحاكي أو تتفاعل مع الجزيئات أو الخلايا أو الأنسجة الحية .مثال على هذه الأجهزة هو الجهاز النانوي الحيوي القائم على الذهب الذي يستخدم الجسيمات النانوية الذهبية المرتبطة بالأجسام المضادة لتشخيص أو علاج الأمراض

- **الأنظمة النانوية الطبية:** هي أجهزة أو جزيئات نانوية تستخدم لتشخيص أو علاج أو منع الأمراض .مثال على ذلك هو استخدام النانوذرات الذهبية لتوصيل الأدوية إلى الخلايا السرطانية أو تدميرها بالحرارة .(Chen et al., 20101)وفقاً لمركز السرطان الوطني الأمريكي، يمكن للنانوتكنولوجيا تحسين فعالية العلاجات الكيميائية والإشعاعية والجراحية وتقليل آثارها الجانبية.(National Cancer Institute, n.d.)
- **الأنظمة النانوية الطاقية:** هي أجهزة أو مواد نانوية تستخدم لتوليد أو تخزين أو تحويل أو توزيع الطاقة .مثال على ذلك هو استخدام الخلايا الشمسية النانوية لتحويل ضوء الشمس إلى كهرباء بكفاءة أعلى وتكلفة أقل من الخلايا الشمسية التقليدية .(Kamat, 2007) وفقاً لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، يمكن للنانوتكنولوجيا تحسين أداء البطاريات والوقود الهيدروجيني والمحولات الحرارية وغيرها من تقنيات الطاقة المتجددة .(MIT, 2019)
- **الأنظمة النانوية البيئية:** هي أجهزة أو مواد نانوية تستخدم لحماية أو تنظيف أو استعادة البيئة .مثال على ذلك هو استخدام النانوفقاعات لتنقية المياه العادمة من الملوثات العضوية أو اللاعضوية أو الحيوية (Zhang et al., 2017).وفقاً للمنظمة العالمية للصحة، يمكن للنانوتكنولوجيا تحسين جودة المياه والهواء والتربة والحد من الانبعاثات الضارة والنفايات الصلبة.(WHO, 2013)
- **الأنظمة النانوية البنائية:** هي أجهزة أو مواد نانوية تستخدم لتطوير أو تحسين أو تصليح المنشآت البنائية .مثال على ذلك هو استخدام النانوأنابيب الكربونية لتعزيز المتانة والمقاومة والخفة والمرونة للخرسانة والصلب والبلاستيك وغيرها من مواد البناء .(Balaguru et al., 2006) وفقاً لمجلة الهندسة المدنية، يمكن للنانوتكنولوجيا تحسين أداء وجمالية واستدامة المباني والجسور والطرق والسكك الحديدية وغيرها من البنية التحتية.(Civil Engineering, 2006)

- اختراع المجهر النفاذي النقطي في عام ١٩٨١ والذي مكن من رؤية الذرات بشكل فردي ودراسة خصائصها وتلاعبها.(Nanotechnology in India)

هذا هو نوع من المجاهر الإلكترونية التي تستخدم طرفاً معدنياً حاداً لفحص سطح المادة عن قرب. بإرسال تيار كهربائي صغير بين الطرف والسطح، يمكن للمجهر قياس النفاذية الكهربائية للمادة وإنشاء صورة ثلاثية الأبعاد لها بدقة عالية جداً.

اخترع المجهر النفاذي النقطي في عام ١٩٨١ من قبل العالمين السويسريين **جيرد بينينغ** و**هاينر رورر**، اللذين حصلا على جائزة نوبل في الفيزياء عام ١٩٨٦ عن هذا الاختراع . كان هذا الاختراع ثورياً لأنه سمح للعلماء بدراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للذرات والجزيئات على السطوح بدقة لم يسبق لها مثيل.

أشهر الأمثلة على استخدام المجهر النفاذي النقطي هي

١- **ترتيب الذرات على سطح النيكل بواسطة العالم الألماني** دون إيجرت في عام ١٩٨٩. استطاع إيجرت أن ينقل الذرات بدقة باستخدام الطرف المعدني وأن يكتب كلمة "IBM" باستخدام ٣٥ ذرة من الزينون. هذا كان أول مثال على التلاعب بالذرات بشكل مسيطر ومنظم.

٢- **دراسة النانوتكنولوجيا** ، وهي علم يتعامل مع المواد والأجهزة على نطاق النانومتر (١٠ 9-متر). باستخدام STM ، يمكن للعلماء تصوير وتحليل وتلاعب النانومواد ، مثل النانوأنابيب والنانوأسلاك والنانوكريستالات ، والتي لها خصائص فريدة وتطبيقات محتملة في الإلكترونيات والطاقة والطب وغيرها من المجالات

٣- **دراسة السطوح الحفازة** ، وهي المواد التي تسرع أو تسهل التفاعلات الكيميائية عن طريق تقديم موقع للربط بين الجزيئات المتفاعلة .باستخدام STM ، يمكن للعلماء مراقبة وتحسين الخصائص الهيكلية والإلكترونية للسطوح الحفازة ، والتي يمكن أن تؤدي إلى تطوير عمليات كيميائية أكثر كفاءة وصديقة للبيئة.

٤- **دراسة الفيزياء الحالة الصلبة** ، وهي علم يتناول خصائص المواد الصلبة ، مثل المعادن والموصلات والعوازل والمواد الفائقة. باستخدام STM ، يمكن للعلماء استكشاف وفهم الظواهر الفيزيائية الناشئة عن ترتيب وتفاعل الذرات والإلكترونات على السطوح ، مثل التركيب البلوري والترابط الكيميائي والمغناطيسية والفائقية والكمومية

امثله على استخدام STM في دراسة المواد الفائقة

١- تصوير الفجوة الفائقة، وهي الفاصل الطاقي بين حالتي الإلكترونات العادية والفائقة في مادة فائقة باستخدام STM، يمكن للعلماء قياس حجم وشكل وتباين الفجوة الفائقة على سطح المادة، والتي تعتمد على درجة

الحرارة والمجال المغناطيسي والشوائب والتشوهات .3هذه المعلومات مهمة لفهم آلية الفائقية وتحسين خصائص المواد الفائقة للتطبيقات العملية.

٢- تصوير الدوامات الفائقة، وهي مناطق صغيرة في المادة الفائقة حيث يتم كسر الفائقية بواسطة مجال مغناطيسي خارجي. باستخدام STM ، يمكن للعلماء رؤية وتتبع توزيع وحركة وتفاعل الدوامات الفائقة على سطح المادة، والتي تؤثر على خصائص النقل والتخزين والتبديل للتيار الفائق. هذه المعلومات مفيدة لتصميم وتحسين الأجهزة الفائقة مثل المغناطيس والحساسات والمفاتيح.

مثال على استخدام STM في دراسة المواد الكمومية هو تصوير النقاط الكمومية، وهي جزيئات نانوية تتميز بأن لها خصائص كمومية ناجمة عن الحجم الصغير والتقييد الفضائي. باستخدام STM ، يمكن للعلماء تصوير وتحليل وتلاعب النقاط الكمومية على السطوح، والتي تظهر ظواهر مثل الانحباس الكمومي والتوهج الكمومي والتحول الكمومي. هذه المعلومات مهمة لتطوير وتحسين الأجهزة الكمومية مثل الليزر والخلايا الشمسية والحواسيب.

- اكتشاف الفوليرينات في عام ١٩٨٥ والتي تعتبر أول مادة نانوية معروفة وتتميز بتركيبها الجزيئي الكروي وخصائصها الفيزيائية والكيميائية الفريدة.(History of nanotechnology)

الفوليرينات هي مجموعة من المركبات الكربونية التي تتكون من ذرات الكربون المرتبطة بشكل كروي أو أنبوبي أو إهليجي. تعتبر الفوليرينات أول مادة نانوية معروفة، حيث تبلغ أبعادها بضع نانومترات. تم اكتشاف الفوليرينات في عام ١٩٨٥ من قبل ثلاثة علماء هم هارولد كروتو وروبرت كورل وريتشارد سمالي، الذين حصلوا على جائزة نوبل في الكيمياء عام ١٩٩٦ لهذا الإنجاز.(Kroto et al., 1985)
الفوليرينات تتميز بتركيبها الجزيئي الكروي، الذي يشبه كرة القدم أو القبة الجيوديسية. يتكون أشهر أنواع الفوليرينات وهو البوكمنستر فوليرين (C60) من ٦٠ ذرة كربون مرتبطة بشكل ١٢ مضلع خماسي و٢٠ مضلع سداسي. تسمى هذه الجزيئات باسم العالم والمهندس المعماري ريتشارد بوكمنستر فولر، الذي ابتكر القباب الجيوديسية.(Dresselhaus et al., 1996)

الفوليرينات لها خصائص فيزيائية وكيميائية فريدة، مثل الصلابة والمرونة والتوصيل الكهربائي والحراري والضوئي. كما أنها تتفاعل مع العديد من العناصر والمركبات الأخرى، مما يفتح آفاقا جديدة للتطبيقات في مجالات مثل الطب والطاقة والمواد والإلكترونيات.(Prato, 1997)

بعض الأمثلة على الفوليرينات وتطبيقاتها هي:

- **النانوأنابيب الكربونية:** هي أنابيب طويلة ورفيعة من الكربون تتشكل بلف طبقات من الفوليرينات حول نفسها. تستخدم النانوأنابيب الكربونية في صناعة الألياف والمواد المركبة والأجهزة النانوية والمستشعرات والخلايا الشمسية وغيرها.(Iijima, 1991)
- **الفوليرينات المعدلة:** هي فوليرينات تحتوي على ذرات أو جزيئات أخرى مرتبطة بها بشكل تساهمي أو تناسقي. تستخدم الفوليرينات المعدلة في توليد الضوء والليزر والتصوير الطبي والتوصيل الحيوي وغيرها.(Hirsch, 2005)
- **الفوليرينات الهيدروجينية:** هي فوليرينات تحتوي على ذرات هيدروجين مرتبطة بها بشكل تساهمي. تستخدم الفوليرينات الهيدروجينية في تخزين الهيدروجين والوقود الخالي من الكربون والمواد المغناطيسية وغيرها.(Chen et al., 1998)

- تعريف مصطلح النانوتكنولوجيا من قبل البروفيسور نوريو تانيغوتشي في عام ١٩٧٤ والذي وصفها بأنها **"تتكون بشكل رئيسي من معالجة وفصل وتوحيد وتشويه المواد بواسطة ذرة واحدة أو جزيء واحد" (Historical Overview of Nanotechnology and Nanotoxicology).**

"تقنية النانو ترتكز على عمليات فصل، اندماج، وإعادة تشكيل المواد بواسطة ذرة واحدة أو جزيء" (Taniguchi, 1974).

هذا التعريف يشير إلى أن تقنية النانو هي تكنولوجيا تصميم وتحكم وتطبيق الهياكل والأجهزة والأنظمة على مستوى النانومتر، وهو المقياس الذري والجزيئي والجزيئي الكبير. ويعتبر النانومتر واحد من المليار من المتر، أو ما يعادل عشر ذرات هيدروجين متراصة بجانب بعضها البعض.

تقنية النانو لها تطبيقات متعددة ومتنوعة في مجالات علمية وهندسية وطبية وبيئية وغيرها. وفيما يلي بعض الأمثلة على تقنية النانو ومجالات استخدامها:

- **الإلكترونيات:** تقنية النانو تساهم في تصغير حجم وزيادة كفاءة الأجهزة الإلكترونية مثل الحواسيب والهواتف والشاشات والأقراص الصلبة وغيرها. ومن المثال الشهير على ذلك استخدام البئر الكمي (quantum well)والنقاط الكمية (quantum dots) في تحسين خصائص الإشعاع والاستشعار والتخزين للمواد شبه الموصلة.(Alivisatos, 1996)
- **الطب:** تقنية النانو تفتح آفاقاً جديدة في مجال الطب والصحة، حيث تمكن من تطوير أدوية وعلاجات وتشخيصات أكثر فعالية وأقل تأثيراً جانبياً. ومن المثال البارز على ذلك استخدام النانوذرات الذهبية في توصيل الأدوية إلى الخلايا المستهدفة وتدمير الخلايا السرطانية بواسطة الحرارة أو الضوء (Huang et al., 2006).

- **البيئة:** تقنية النانو تساعد في حماية البيئة والموارد الطبيعية من التلوث والاستنزاف، حيث تمكن من تنظيف وتنقية وتحلية المياه والهواء والتربة بواسطة النانومواد الماصة والمحفزة والمضادة للبكتيريا. ومن المثال الواضح على ذلك استخدام أكسيد التيتانيوم النانوي في تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية أو حرارية.(Kamat, 2007)
- **في مجال الفيزياء،** تستخدم تقنية النانو لدراسة الظواهر الكمومية والبصرية والمغناطيسية والحرارية للمواد والأجهزة على المستوى النانوي. مثلاً، يمكن استخدام النانوأنابيب والنانوأسلاك لتحسين خصائص التوصيل والتخزين للكهرباء والحرارة، أو استخدام النانومغناطيس لتوليد وتحكم في المجالات المغناطيسية، أو استخدام النانوكريستالات لتعديل وتضخيم الضوء والليزر.
- **في مجال الكيمياء،** تستخدم تقنية النانو لتحسين عمليات التفاعل والتحليل والتصنيع الكيميائي. مثلاً، يمكن استخدام النانومحفزات لزيادة سرعة وانتقائية وكفاءة التفاعلات الكيميائية، أو استخدام النانومستشعرات لقياس وكشف الجزيئات والعناصر الكيميائية، أو استخدام النانومواد لتصنيع مواد جديدة بخصائص محسنة أو مختلفة.
- **في مجال الهندسة،** تستخدم تقنية النانو لتطوير وتصميم وبناء الأنظمة والآلات والروبوتات على المستوى النانوي. مثلاً، يمكن استخدام النانوميكانيكا لدراسة وتحليل وتحسين الحركة والقوة والاحتكاك والتآكل للأجزاء النانوية، أو استخدام النانوإلكترونيات لإنشاء وتشغيل وتكامل الدوائر والأجهزة الإلكترونية على المستوى النانوي، أو استخدام النانوبوتات لأداء مهام معقدة أو دقيقة أو خطرة.

- نشر كتاب محركات الخلق من قبل إريك دريكسلر في عام ١٩٨٦ والذي شرح ونشر إطاراً مفاهيمياً لأهداف النانوتكنولوجيا ورؤيته للتكنولوجيا النانوية الجزيئية والتي تتضمن استخدام الآلات النانوية الذاتية التجميع لتصنيع المواد والأجهزة على المستوى الذري والجزيئي.(History of nanotechnology)

في كتابه، شرح دريكسلر الإطار المفاهيمي لأهداف ورؤية التقنية النانوية الجزيئية، واستعرض الفوائد والتحديات والمخاطر المحتملة لهذا المجال. كما تنبأ بالتأثيرات الاجتماعية والاقتصادية والبيئية للتقنية النانوية على المستقبل، ودعا إلى تطوير الأخلاقيات والسياسات اللازمة لتوجيه هذا المجال نحو الخير العام.(Drexler, 1986)

من بين الأمثلة التي ذكرها دريكسلر في كتابه عن التطبيقات المحتملة للتقنية النانوية الجزيئية هي:

- إنشاء مواد وأجهزة جديدة بخصائص متفوقة، مثل الألياف الكربونية النانوية والخلايا الشمسية النانوية والحواسيب النانوية والروبوتات النانوية.(Drexler, 1986)

- تحسين الصحة والطب بواسطة الآلات النانوية التي تستطيع الكشف والعلاج والوقاية من الأمراض والإصابات، مثل النانوبوتات والنانوميكانيكا والنانوميديسين.(Drexler, 1986)
- تحقيق الاستدامة والتنمية بواسطة الآلات النانوية التي تستطيع تحويل وتنقية وتخزين واستخدام الموارد الطبيعية بكفاءة وفعالية، مثل النانوفلترة والنانوكاتاليز والنانوباتريات.(Drexler, 1986)

- ظهور التطبيقات العملية والتجارية للنانوتكنولوجيا في مجالات مثل الطب والطاقة والبيئة والبناء والتي تستفيد من خصائص المواد والأجهزة على المستوى النانوي وتحسن من أدائها وكفاءتها واستدامتها (Applications of nanotechnology).

كما شرحنا سابقاً ان تقنية النانو هي تقنية تتعامل مع المواد والأجهزة على مستوى النانومتر، أي مليون جزء من المليمتر. هذه التقنية لها تطبيقات عديدة في مجالات مختلفة مثل الطب والطاقة والبيئة والبناء. سأحاول شرح بعض هذه التطبيقات بشكل موجز مع أمثلة ومراجع.

- **في مجال الطب،** تستخدم تقنية النانو لتحسين التشخيص والعلاج والوقاية من الأمراض. مثلاً، يمكن استخدام الجسيمات النانوية كعوامل تباين لتصوير الخلايا والأورام بدقة أعلى، أو كناقلات لتوصيل الأدوية إلى الأماكن المستهدفة داخل الجسم، أو كمواد مضادة للبكتيريا والفيروسات. كما يمكن استخدام الأجهزة النانوية لرصد وتنظيم وظائف الجسم أو لإصلاح الأنسجة والأعضاء المتضررة .(مقال، ويكيبيديا)
- **في مجال الطاقة،** تستخدم تقنية النانو لتطوير أنواع جديدة ومحسنة من مصادر الطاقة وتخزينها ونقلها. مثلاً، يمكن استخدام الخلايا الشمسية النانوية لتحويل الضوء إلى كهرباء بكفاءة أعلى وتكلفة أقل، أو استخدام البطاريات النانوية لتخزين الطاقة بسعة أكبر وعمر أطول، أو استخدام المواد النانوية لتحسين معدل الاحتراق وتقليل الانبعاثات الضارة.
- **في مجال البيئة،** تستخدم تقنية النانو لحماية وتنظيف البيئة من التلوث والمخاطر. مثلاً، يمكن استخدام الأغشية النانوية لتنقية المياه والهواء من الملوثات والميكروبات، أو استخدام الحساسات النانوية لرصد وتحذير من المواد الخطرة أو التغيرات المناخية، أو استخدام المواد النانوية القابلة للتحلل لتقليل كمية النفايات والمخلفات.
- **في مجال البناء،** تستخدم تقنية النانو لتحسين خصائص وجودة المواد الإنشائية والزخرفية. مثلاً، يمكن استخدام **النانوأنابيب** أو **النانوألياف** لتقوية الخرسانة والمعادن والبلاستيك والمطاط، أو استخدام الطلاءات النانوية لزيادة مقاومة الأسطح للحرارة والصدأ والخدش والبقع، أو استخدام **النانومغناطيس** لتوليد الحركة والتحكم في الشكل واللون.

فوائد النانو تكنولوجي في استدامة المباني:

بعض فوائد النانو تكنولوجي في استدامة المباني هي:

- تقليل استهلاك المواد والطاقة والمياه والنفايات في عمليات البناء والتشغيل والصيانة والهدم للمباني، من خلال استخدام مواد نانوية خفيفة الوزن وعالية الأداء وقابلة للتجديد والتحلل والإعادة التدوير (Fahmy, 2018).
- تحسين جودة الهواء والماء والتربة والصحة العامة في البيئة المحيطة بالمباني، من خلال استخدام مواد نانوية تحتوي على خصائص مضادة للبكتيريا والفطريات والفيروسات والملوثات، وتنقية الهواء والماء والتربة من الشوائب والسموم.(Fahmy, 2018)
- تعزيز الراحة والرفاهية والجمالية والأمن والسلامة للمستخدمين والسكان في المباني، من خلال استخدام مواد نانوية تتمتع بخصائص ذكية ومتفاعلة ومتكيفة مع الظروف المحيطة والاحتياجات المتغيرة، مثل تغيير اللون والشكل والحرارة والإضاءة والصوت والرطوبة والرائحة.(Fahmy, 2018)

أثار للنانو تكنولوجي في استدامة المباني:

بعض الآثار للنانو تكنولوجيا والاستدامة والمباني هي:

- عدم اليقين والجهل بالآثار الطويلة الأجل للمواد النانوية على البيئة والصحة البشرية والحيوانية والنباتية، خاصة في حالة تسربها أو تراكمها أو تفاعلها مع عوامل أخرى.(Wikipedia, 2021)
- عدم وجود تنظيمات ومعايير وإرشادات واضحة وموحدة لتقييم ومراقبة ومنع ومعالجة المخاطر المحتملة للمواد النانوية على المستوى الوطني والدولي، وعدم وجود آليات لتوزيع المسؤولية والمساءلة والتعويض في حالة حدوث أضرار.(Wikipedia, 2021)
- عدم العدالة والمساواة في الحصول على فوائد تقنية النانو والتعامل مع مخاطرها بين الدول والمجتمعات المختلفة، خاصة الدول والمجتمعات النامية والمهمشة والفقيرة، والتي قد تكون أكثر عرضة للتأثيرات السلبية للمواد النانوية دون الحصول على الفرص والموارد للاستفادة منها.(Bouras & Lachi, 2019)

مستقبل النانو تكنولوجيا واستدامة المباني:

بعض الاتجاهات والتوقعات للمستقبل للنانو تكنولوجيا والاستدامة والمباني هي:

- تطوير المزيد من المواد النانوية الجديدة والمحسنة التي توفر حلولاً فعالة ومبتكرة للمشاكل والتحديات التي تواجه البناء والمباني، مثل تحسين العزل الحراري والصوتي والمقاومة للحريق والزلازل والرياح والمياه والتآكل والتشوه والتلوث.(Fahmy, 2018)

- توليد الطاقة الشمسية: تقنية النانو تساعد في تحسين كفاءة الخلايا الشمسية وخفض تكاليفها وزيادة متانتها ومرونتها .على سبيل المثال، تستخدم النانو أنابيب الكربون والنانو أسلاك السيليكون والنانو كريستالات الكادميوم والنانو طبقات الزنك لتعزيز امتصاص الضوء وتحويله إلى كهرباء.(Wikipedia, 2021)

المباني الخضراء أو المستدامة هي المباني التي تهدف إلى تقليل الأثر البيئي للمباني التقليدية وتحسين جودة الحياة للسكان والمجتمع، من خلال ترشيد استهلاك الطاقة والمياه والموارد والنفايات، والحد من الانبعاثات الضارة والتلوث، وزيادة الكفاءة والجودة والمتانة والراحة والصحة والجمالية للمباني، وتعزيز القيم الاجتماعية والاقتصادية والثقافية للمجتمع.(EcoMENA, 2023; Weetas, 2020)

المباني الخضراء أو المستدامة تتبع مبادئ وممارسات البناء الخضراء أو المستدامة، وهي عملية تصميم وبناء وتشغيل وصيانة وهدم المباني بأسلوب يراعي الاعتبارات البيئية في كل مرحلة، ويستخدم المواد والتقنيات والأنظمة الصديقة للبيئة والمكتفية من ناحية المصادر، ويتوافق مع المعايير والمؤشرات والنقاط التي تقيس مدى توافق المباني مع الممارسات البيئية الجيدة، مثل نظام LEED ونظام BREEAM ونظام GRIHA ونظام ESTIDAMAوغيرها.(Env-News, 2018)

المباني الخضراء أو المستدامة تستفيد من تكنولوجيا النانو والتكنولوجيات الأخرى الحديثة والمبتكرة، والتي تمكن من تحسين خصائص وأداء مواد البناء والتشطيب والتجهيزات المختلفة، وتوفير حلول عملية ونظرية لمواجهة التحديات والمشكلات التي تعترض تطبيق البناء الخضراء أو المستدامة، مثل التكلفة والتوافر والتنظيم والتوعية والأمن والسلامة والأخلاقيات وغيرها.(Shamra Academia, 2017)

تطبيقات وأهداف ومعايير واسهامات تكنولوجيا النانو في المباني الخضراء أو المستدامة

تكنولوجيا النانو هي تكنولوجيا تتعامل مع المواد والأجسام على مستوى النانومتر، أي مليار جزء من المتر، وتمكن من تغيير وتحسين خصائص المواد على المستوى الجزيئي والذري، مما ينتج عنه مواد نانوية ذات خصائص متفوقة ومبتكرة.(Shamra Academia, 2017)

تكنولوجيا النانو تساهم في تحسين خصائص وأداء مواد البناء والتشطيب والتجهيزات المختلفة بطرق عديدة، مثل:

- تحسين قوة ومتانة ومقاومة الخرسانة والفولاذ والخشب والزجاج والدهانات والمواد العازلة والمواد اللاصقة وغيرها من مواد البناء، وذلك بإضافة جسيمات نانوية مثل أكسيد السيليكون أو أنابيب الكربون

أو النانوكلاي أو النانوسليلوز وغيرها، والتي تزيد من التماسك والترابط والتوزيع والتشتت والتوافق بين مكونات الموادEg)

- تحسين الخصائص الوظيفية والجمالية والصحية للزجاج والدهانات والأسطح المختلفة، وذلك بإضافة طبقات نانوية مثل النانوتيتانيوم أو النانوسيلفر أو النانوذهب وغيرها، والتي تمنح الزجاج والدهانات والأسطح قدرات ذاتية التنظيف ومضادة للبكتيريا والفطريات والروائح والبقع والخدوش والحريق والتآكل والتلوث والتغير اللوني وغيرها.(Agha, 2023)
- تحسين كفاءة وجودة وتنوع وتكلفة الطاقة الشمسية والإضاءة والتهوية والتبريد والتدفئة والتحكم في المباني، وذلك بإستخدام خلايا وألواح وأجهزة وأنظمة نانوية مثل **النانوسولار** أو **النانوأليد** أو **النانوفلتر** أو **النانوجل** وغيرها، والتي تمكن من توليد وتوزيع وتخزين واستخدام الطاقة والإضاءة والهواء والماء بطرق أكثر كفاءة وجودة وتنوع وتكلفة.(Agha, 2023)

أهداف تكنولوجيا النانو في تحسين خصائص وأداء مواد البناء والتشطيب والتجهيزات المختلفة

- **توفير الطاقة:** وهو تقليل استهلاك الطاقة اللازمة لتشغيل وتدفئة وتبريد وإضاءة المباني، وذلك بإستخدام مصادر الطاقة المتجددة والنظيفة مثل الطاقة الشمسية والرياح والحرارة الأرضية وغيرها، وتحسين كفاءة العزل الحراري والصوتي والضوئي للمباني، وتركيب أنظمة ذكية للتحكم في استهلاك الطاقة والحد من الهدر والتبذير.(Al-Masry, 2019; Al-Sayed, 2018)
- **توفير المياه:** وهو تقليل استهلاك المياه اللازمة للمباني، وذلك بإستخدام مصادر المياه البديلة مثل المياه المعاد تدويرها والمياه المحلاة والمياه المجمعة من الأمطار وغيرها، وتحسين كفاءة الأجهزة والمعدات والأنظمة المستخدمة في المباني مثل الحنفيات والدشات والمراحيض والغسالات وغيرها، وتركيب أنظمة ذكية للتحكم في استهلاك المياه والحد من التسرب والتلوث ;Al-Masry, 2019) Al-Sayed, 2018).
- **توفير الموارد:** وهو تقليل استهلاك الموارد اللازمة للمباني، وذلك بإستخدام مواد البناء والتشطيب والتجهيزات المستدامة والمتجددة والمعاد تدويرها والمحلية والمتوافقة مع البيئة والمجتمع، وتحسين كفاءة النقل والتخزين والتوزيع والتركيب والتشغيل والصيانة والهدم للمواد، وتركيب أنظمة ذكية للتحكم في استهلاك الموارد والحد من الفاقد والنفايات.(Al-Masry, 2019; Al-Sayed, 2018)
- **الحد من الانبعاثات والتلوث:** وهو تقليل الانبعاثات الضارة والتلوث الناتج عن المباني، وذلك بإستخدام مصادر الطاقة والمياه والموارد النظيفة والخالية من الملوثات والمواد السامة والمسببة للاحتباس الحراري والتغير المناخي والتآكل الجوي والتلوث الضوئي والصوتي والمائي والتربي والهوائي

وغيرها، وتحسين جودة الهواء الداخلي والخارجي للمباني، وتركيب أنظمة ذكية للتحكم في الانبعاثات والتلوث والحد منها.(Al-Masry, 2019; Al-Sayed, 2018)

- **زيادة الكفاءة والجودة والمتانة والراحة والصحة والجمالية للمباني:** وهو تحسين أداء ووظيفة وشكل ومظهر وعمر وقيمة المباني، وذلك بإستخدام مواد وتقنيات وأنظمة متطورة ومبتكرة ومتكاملة ومتناسقة ومتناغمة مع البيئة والمجتمع، وتحسين راحة وصحة وسلامة ورضا وسعادة وجمال وهوية وثقافة وتراث وتنوع وإبداع وابتكار وتميز وجودة الحياة للسكان والمستخدمين والزوار والمجتمع (Al-Masry, 2019; Al-Sayed, 2018).
- **تعزيز القيم الاجتماعية والاقتصادية والثقافية للمجتمع:** وهو تحسين العلاقات والتفاعلات والتعاون والتكامل والتضامن والمشاركة والمسؤولية والانتماء والوعي والتثقيف والتدريب والتطوير والتنمية والتقدم والازدهار والاستقرار والسلام والعدل والحرية والحقوق والواجبات والقيم والمبادئ والأخلاق والعادات والتقاليد والعادات والتراث والهوية والثقافة والفن والتاريخ والحضارة للمجتمع-Al) Masry, 2019; Al-Sayed, 2018).

معايير تكنولوجيا النانو في تحسين خصائص وأداء مواد البناء والتشطيب والتجهيزات المختلفة

- تكنولوجيا النانو هي تكنولوجيا تتعامل مع المواد والأجسام على مستوى النانومتر، أي مليار جزء من المتر، وتمكن من تغيير وتحسين خصائص المواد على المستوى الجزيئي والذري، مما ينتج عنه مواد نانوية ذات خصائص متفوقة ومبتكرة.(Shamra Academia, 2017[1])
- تكنولوجيا النانو تساهم في تحسين خصائص وأداء مواد البناء والتشطيب والتجهيزات المختلفة بطرق عديدة، مثل تحسين قوة ومتانة ومقاومة ووظيفة وجمالية وصحة المواد، وتوفير طاقة ومياه وموارد وتقليل انبعاثات وتلوث ونفايات وصيانة وتكلفة المواد.(Agha, 2023[2])
- تكنولوجيا النانو تتطلب معايير وأسس وضوابط لضمان تحقيق الأداء المستدام والفعالية البيئية للمباني الخضراء أو المستدامة، وهي كالتالي:
  - **الاستدامة:** يجب أن تكون جميع المواد والتقنيات المستخدمة مستدامة من حيث المصادر والإنتاج والتأثير البيئي، وذلك بإستخدام مواد نانوية متجددة ومعاد تدويرها ومحلية ومتوافقة مع البيئة والمجتمع، وتقليل استهلاك الطاقة والمياه والمواد الخام والمواد الكيميائية والمواد السامة والمواد المسببة للاحتباس الحراري والتغير المناخي والتلوث والنفايات في عملية الإنتاج والتطبيق والهدم للمواد النانوية.(Agha, 2023)

- **كفاءة الطاقة:** ينبغي أن تساهم تقنيات النانو في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة للمباني من خلال تحسين العزل الحراري والصوتي والضوئي للمباني، وتطوير تقنيات توليد وتوزيع وتخزين واستخدام الطاقة المتجددة والنظيفة والمتكاملة والمتناغمة مع البيئة والمجتمع، وتركيب أنظمة ذكية للتحكم في استهلاك الطاقة والحد من الهدر والتبذير (Agha, 2023[2]).
- **إدارة الموارد:** يمكن أن تساهم تقنيات النانو في تقليل استهلاك الموارد مثل المياه والمواد الخام والمواد البنائية والتشطيبية والتجهيزية من خلال تطوير مواد أكثر كفاءة وجودة ومتانة وراحة وصحة وجمالية وتنوع وتكلفة، وتركيب أنظمة ذكية للتحكم في استهلاك الموارد والحد من الفاقد والنفايات.(Agha, 2023[2])
- الحد من الانبعاثات والتلوث: يجب أن تساهم تقنيات النانو في تقليل الانبعاثات الضارة والتلوث الناتج عن المباني، وذلك بإستخدام مواد نانوية نظيفة وخالية من الملوثات والمواد السامة والمسببة للاحتباس الحراري والتغير المناخي والتآكل الجوي والتلوث الضوئي والصوتي والمائي والتربي والهوائي وغيرها، وتحسين جودة الهواء الداخلي والخارجي للمباني، وتركيب أنظمة ذكية للتحكم في الانبعاثات والتلوث والحد منها.(Agha, 2023)
- **التصميم المتكامل:** يجب أن يتم دمج تقنيات النانو في مراحل التصميم والبناء والتشغيل والصيانة والهدم بشكل متكامل، مع مراعاة تأثيرها على الهيكل والأداء والوظيفة والشكل والمظهر والعمر والقيمة للمباني، والتوافق والتناغم والتناسق والتكامل والتعاون والتفاعل والتضامن والمشاركة والمسؤولية والانتماء والوعي والتثقيف والتدريب والتطوير والتنمية والتقدم والازدهار والاستقرار والسلام والعدل والحرية والحقوق والواجبات والقيم والمبادئ والأخلاق والعادات والتقاليد والعادات والتراث والهوية والثقافة والفن والتاريخ والحضارة للمباني والمجتمعات.(Agha, 2023)
- **السلامة البيئية والصحية:** يجب أن تساهم تقنيات النانو في تحسين السلامة البيئية والصحية للمباني والمجتمعات، وذلك بإستخدام مواد نانوية آمنة ومختبرة ومعتمدة ومطابقة للمواصفات والمعايير الدولية والوطنية والمحلية، وتقليل المخاطر والآثار السلبية المحتملة للمواد النانوية على البيئة والصحة العامة والصحة المهنية والصحة الشخصية، وتركيب أنظمة ذكية للتحكم في السلامة والوقاية والحماية والإنذار والإخلاء والإسعاف والإنقاذ والإصلاح والتعويض والمساءلة والمحاسبة والمراجعة والتقييم والتحسين (Agha, 2023).

- **الأخلاقيات والقانون:** يجب أن تساهم تقنيات النانو في تحسين الأخلاقيات والقانون للمباني والمجتمعات، وذلك بإستخدام مواد نانوية مشروعة ومحترمة وملتزمة ومسؤولة ومنصفة ومنظمة ومراقبة ومنظمة ومراقبة ومحكومة بالقوانين والأنظمة واللوائح والقرارات والأحكام والعقود والاتفاقيات والمواثيق والمعاهدات والمبادئ والقيم والأخلاق والعادات والتقاليد والعادات والتراث والهوية والثقافة والفن والتاريخ والحضارة للمباني والمجتمعات.(Agha, 2023)

اسهامات تكنولوجيا النانو في تحسين خصائص وأداء مواد البناء والتشطيب والتجهيزات المختلفة

تكنولوجيا النانو هي تكنولوجيا تتعامل مع المواد والأجسام على مستوى النانومتر، أي مليار جزء من المتر، وتمكن من تغيير وتحسين خصائص المواد على المستوى الجزيئي والذري، مما ينتج عنه مواد نانوية ذات خصائص متفوقة ومبتكرة.(Shamra Academia, 2017)

تكنولوجيا النانو تساهم في تحسين خصائص وأداء مواد البناء والتشطيب والتجهيزات المختلفة بطرق عديدة، مثل:

- تحسين قوة ومتانة ومقاومة الخرسانة والفولاذ والخشب والزجاج والدهانات والمواد العازلة والمواد اللاصقة وغيرها من مواد البناء، وذلك بإضافة جسيمات نانوية مثل أكسيد السيليكون أو أنابيب الكربون أو النانوكلاي أو النانوسليلوز وغيرها، والتي تزيد من التماسك والترابط والتوزيع والتشتت والتوافق بين مكونات المواد.(Ercolani, 2016)
- تحسين الخصائص الوظيفية والجمالية والصحية للزجاج والدهانات والأسطح المختلفة، وذلك بإضافة طبقات نانوية مثل النانوتيتانيوم أو النانوسيلفر أو النانوذهب وغيرها، والتي تمنح الزجاج والدهانات والأسطح قدرات ذاتية التنظيف ومضادة للبكتيريا والفطريات والروائح والبقع والخدوش والحريق والتآكل والتلوث والتغير اللوني وغيرها.(Leydecker, 2008)
- تحسين كفاءة وجودة وتنوع وتكلفة الطاقة الشمسية والإضاءة والتهوية والتبريد والتدفئة والتحكم في المباني، وذلك بإستخدام خلايا وألواح وأجهزة وأنظمة نانوية مثل النانوسولار أو النانوأليد أو النانوفلتر أو النانوجل وغيرها، والتي تمكن من توليد وتوزيع وتخزين واستخدام الطاقة والإضاءة والهواء والماء بطرق أكثر كفاءة وجودة وتنوع وتكلفة.(Agha, 2023)

استعراض بعض المواد النانوية التي تستخدم في المباني المستدامة، مثل الخرسانة النانوية والزجاج النانوي والدهانات النانوية والألواح الشمسية النانوية وغيرها، وشرح خصائصها ومزاياها وعيوبها.

بعض هذه المواد هي:

١- **الخرسانة النانوية :**هي خرسانة تحتوي على جسيمات نانوية مثل أكسيد السيليكون أو أنابيب الكربون أو النانوكلاي أو النانوسليلوز وغيرها، والتي تزيد من التماسك والترابط والتوزيع والتشتت والتوافق بين مكونات الخرسانة، وتحسن من قوة ومتانة ومقاومة الخرسانة للضغط والشد والانثناء والتشقق والتآكل والتلوث والحرارة والصقيع والماء والمواد الكيميائية وغيرها .(Ercolani, 2016) بعض مزايا الخرسانة النانوية هي:

- تقليل استهلاك الأسمنت والمياه والركام والمواد الإضافية في صناعة الخرسانة، مما يوفر في التكلفة والموارد والطاقة والانبعاثات والنفايات.(Ercolani, 2016)
- تحسين الخصائص الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للخرسانة، مما يزيد من أدائها وجودتها وعمرها وقيمتها.(Ercolani, 2016)
- تحسين الخصائص الجمالية والوظيفية للخرسانة، مما يمكنها من تنوع الأشكال والألوان والأنماط والتصاميم والتطبيقات.(Ercolani, 2016)
- تحسين الخصائص الذكية والمتكيفة للخرسانة، مما يمكنها من الاستجابة للظروف البيئية والتغيرات الخارجية والداخلية، والتحكم في الحرارة والرطوبة والإضاءة والصوت والتلوث وغيرها .(Ercolani, 2016)بعض عيوب الخرسانة النانوية هي:
- صعوبة التصنيع والتطبيق والتفتيش والصيانة والإصلاح والهدم للخرسانة النانوية، بسبب حجمها الصغير وتعقيد تركيبتها وتفاعلاتها.(Ercolani, 2016)
- عدم الوضوح والتأكد من الآثار البيئية والصحية للخرسانة النانوية، بسبب نقص الدراسات والبحوث والتجارب والمعايير والقوانين والأخلاقيات المتعلقة بها.(Ercolani, 2016)

٢- **الزجاج النانوي :**هو زجاج يحتوي على طبقات نانوية مثل النانوتيتانيوم أو النانوسيلفر أو النانوذهب وغيرها، والتي تمنح الزجاج قدرات ذاتية التنظيف ومضادة للبكتيريا والفطريات والروائح والبقع والخدوش والحريق والتآكل والتلوث والتغير اللوني وغيرها .(Leydecker, 2008) بعض مزايا الزجاج النانوي هي:

- تقليل استهلاك المياه والمواد الكيميائية والطاقة والوقت في تنظيف وصيانة وتجديد الزجاج، مما يوفر في التكلفة والموارد والانبعاثات والنفايات.(Leydecker, 2008)
- تحسين الخصائص البصرية والضوئية والحرارية والصوتية للزجاج، مما يزيد من أدائه وجودته وعمره وقيمته.(Leydecker, 2008)
- تحسين الخصائص الجمالية والوظيفية للزجاج، مما يمكنه من تنوع الأشكال والألوان والأنماط والتصاميم والتطبيقات.(Leydecker, 2008)
- تحسين الخصائص الذكية والمتكيفة للزجاج، مما يمكنه من الاستجابة للظروف البيئية والتغيرات الخارجية والداخلية، والتحكم في الحرارة والرطوبة والإضاءة والصوت والتلوث وغيرها .(Leydecker, 2008)بعض عيوب الزجاج النانوي هي:
- ارتفاع تكلفة التصنيع والتطبيق والتفتيش والصيانة والإصلاح والهدم للزجاج النانوي، بسبب حجمه الصغير وتعقيد تركيبته وتفاعلاته.(Leydecker, 2008)
- عدم الوضوح والتأكد من الآثار البيئية والصحية للزجاج النانوي، بسبب نقص الدراسات والبحوث والتجارب والمعايير والقوانين والأخلاقيات المتعلقة بها.(Leydecker, 2008)

٣- **الدهانات النانوية :**هي دهانات تحتوي على جسيمات نانوية مثل النانوتيتانيوم أو النانوسيلفر أو النانوذهب وغيرها، والتي تمنح الدهانات قدرات ذاتية التنظيف ومضادة للبكتيريا والفطريات والروائح والبقع والخدوش والحريق والتآكل والتلوث والتغير اللوني وغيرها .(Leydecker, 2008) بعض مزايا الدهانات النانوية هي:

- تقليل استهلاك المياه والمواد الكيميائية والطاقة والوقت في تنظيف وصيانة وتجديد الدهانات، مما يوفر في التكلفة والموارد والانبعاثات والنفايات.(Leydecker, 2008)

- تحسين الخصائص البصرية والضوئية والحرارية والصوتية للدهانات، مما يزيد من أدائها وجودتها وعمرها وقيمتها.(Leydecker, 2008)
- تحسين الخصائص الجمالية والوظيفية للدهانات، مما يمكنها من تنوع الأشكال والألوان والأنماط والتصاميم والتطبيقات.(Leydecker, 2008)
- تحسين الخصائص الذكية والمتكيفة للدهانات، مما يمكنها من الاستجابة للظروف البيئية والتغيرات الخارجية والداخلية، والتحكم في الحرارة والرطوبة والإضاءة والصوت والتلوث وغيرها .(Leydecker, 2008)بعض عيوب الدهانات النانوية هي:
- ارتفاع تكلفة التصنيع والتطبيق والتفتيش والصيانة والإصلاح والهدم للدهانات النانوية، بسبب حجمها الصغير وتعقيد تركيبتها وتفاعلاتها.(Leydecker, 2008)
- عدم الوضوح والتأكد من الآثار البيئية والصحية للدهانات النانوية، بسبب نقص الدراسات والبحوث والتجارب والمعايير والقوانين والأخلاقيات المتعلقة بها.(Leydecker, 2008)

بعض الأسئلة البحثية أو الفرضيات التي تهدف إلى اختبار أو مقارنة أو تحليل تأثير مواد النانو على استدامة المباني

- **سؤال بحثي:** ما هي العوامل التي تؤثر على اختيار المهندسين والمصممين والمقاولين لاستخدام مواد النانو في المباني المستدامة؟
  - هذا السؤال يهدف إلى التعرف على الدوافع والحواجز والمعايير والمصادر التي تحدد قرارات المهنيين المعنيين بتطبيق مواد النانو في المباني المستدامة، وذلك باستخدام منهجية البحث النوعي، مثل المقابلات أو المجموعات البؤرية أو تحليل المحتوى.
  - هذا السؤال مهم لأنه يساعد على فهم العوامل المؤثرة على تبني وانتشار مواد النانو في المباني المستدامة، وكذلك على تحديد الفرص والتحديات والحلول الممكنة لزيادة استخدامها.
- **فرضية بحثية:** هناك علاقة ارتباطية إيجابية بين استخدام مواد النانو في المباني المستدامة وتحسين أدائها من حيث الكفاءة الطاقية والمياه والمواد والبيئة الداخلية والخارجية.
  - هذه الفرضية تهدف إلى اختبار مدى تأثير مواد النانو على مختلف جوانب الاستدامة في المباني، وذلك باستخدام منهجية البحث الكمي، مثل القياسات الميدانية أو المحاكاة الحاسوبية أو التحليل الإحصائي.

- هذه الفرضية مهمة لأنها تساعد على تقييم الفوائد والتكاليف والعائد على الاستثمار لاستخدام مواد النانو في المباني المستدامة، وكذلك على تحديد المؤشرات والمعايير والمقاييس لقياس ومراقبة أدائها.

- **سؤال بحثي:** ما هي الآثار الاجتماعية والاقتصادية والبيئية لاستخدام مواد النانو في المباني المستدامة على المستوى الفردي والمجتمعي والعالمي؟
  - هذا السؤال يهدف إلى التعرف على النتائج والتداعيات والمسؤوليات المترتبة على استخدام مواد النانو في المباني المستدامة، وذلك باستخدام منهجية البحث المختلطة، مثل الدراسات الحالة أو الاستبيانات أو التحليل النظري.

هذا السؤال مهم لأنه يساعد على توعية وتثقيف وتشارك المهتمين والمتأثرين بمواد النانو في المباني المستدامة، وكذلك على تحديد القيم والمبادئ والأخلاقيات والقوانين والسياسات المناسبة للتعامل معها.

التحديات والمشكلات التي تواجه تطبيق تكنولوجيا النانو في المباني المستدامة:

- **العائق الأول:** التكلفة العالية لمواد النانو وتقنياتها: إن إنتاج وتطبيق مواد النانو في المباني المستدامة يتطلب استثمارات مالية كبيرة ومعدات متطورة وموارد بشرية مؤهلة، مما يجعلها غير متاحة أو غير مجدية للعديد من المهندسين والمصممين والمقاولين والمستخدمين .كما أن هناك نقص في الدراسات الاقتصادية التي تقيم الفوائد والتكاليف والعائد على الاستثمار لمواد النانو في المباني المستدامة.

ويمكن حل هذه المشكلة بتخفيض التكلفة وزيادة الكفاءة لمواد النانو وتقنياتها: إن تخفيض التكلفة وزيادة الكفاءة لمواد النانو وتقنياتها يتطلب تحسين عمليات الإنتاج والتطبيق والتشغيل والصيانة والتدوير لهذه المواد والتقنيات. هذا يمكن أن يتم من خلال البحث والتطوير والابتكار والتجريب والتعاون بين الجهات المعنية بمواد النانو وتقنياتها، مثل الباحثين والمهندسين والمصممين والمقاولين والموردين والمستخدمين .كما يمكن أن يتم من خلال الاستفادة من الدعم والتمويل والحوافز المتاحة من الحكومات والمنظمات والمؤسسات المهتمة بترويج وتشجيع مواد النانو وتقنياتها.

- **العائق الثاني:** النقص في التوافر والتوزيع والتوريد لمواد النانو وتقنياتها: إن مواد النانو وتقنياتها لا تزال في مراحل التطوير والابتكار والتجريب، ولم تصل بعد إلى مرحلة التجارة والاستهلاك الواسع، مما يجعلها نادرة ومحدودة في الأسواق المحلية والعالمية .3كما أن هناك عدم تناسق بين الطلب والعرض على مواد النانو وتقنياتها، وعدم وجود شبكات توزيع وتوريد فعالة وموثوقة.

ويمكن حل هذه المشكلة بتوفير وتوزيع وتوريد مواد النانو وتقنياتها: إن توفير وتوزيع وتوريد مواد النانو وتقنياتها يتطلب تحسين البنية التحتية والخدمات والمرافق والموارد اللازمة لنقل وتخزين وتسليم وتركيب واستخدام هذه المواد والتقنيات. هذا يمكن أن يتم من خلال تطوير وتحديث وتوسيع شبكات النقل والاتصالات والطاقة والمياه والصرف الصحي والنفايات والأمن والسلامة .كما يمكن أن يتم من خلال تحسين التنسيق والتعاون والتكامل بين الجهات المعنية بمواد النانو وتقنياتها، مثل الجهات الحكومية والخاصة والأكاديمية والمدنية.

- **العائق الثالث:** القيود والتشريعات والمعايير والمواصفات الخاصة بمواد النانو وتقنياتها: إن مواد النانو وتقنياتها تواجه تحديات قانونية وتنظيمية ومعيارية ومواصفاتية، نظراً لعدم وجود إطار شامل وموحد لتنظيم ومراقبة وتقييم واعتماد مواد النانو وتقنياتها على المستوى الوطني والإقليمي والدولي. كما أن هناك نقص في المعلومات والبيانات والأدلة عن خصائص وسلوكيات وآثار مواد النانو وتقنياتها على البيئة والصحة والسلامة.

ويمكن حل هذه المشكلة بوضع وتطبيق ومراقبة وتقييم واعتماد القيود والتشريعات والمعايير والمواصفات الخاصة بمواد النانو وتقنياتها: إن وضع وتطبيق ومراقبة وتقييم واعتماد القيود والتشريعات والمعايير والمواصفات الخاصة بمواد النانو وتقنياتها يتطلب تحديد وتوحيد وتوافق وتحديث وتطوير وتنفيذ وتفعيل وتدقيق وتحسين الإطارات والآليات والأدوات والمؤسسات والهيئات المسؤولة عن تنظيم ومراقبة وتقييم واعتماد مواد النانو وتقنياتها على المستوى الوطني والإقليمي والدولي .هذا يمكن أن يتم من خلال البحث والتحليل والمقارنة والتشاور والتوافق والتعاون والتنسيق والتبادل والتعلم بين الجهات المعنية بمواد النانو وتقنياتها، مثل السلطات والمنظمات والمؤسسات والجمعيات والمجتمعات المهنية والعلمية والمدنية.

- **العائق الرابع:** النقص في التوعية والتثقيف والتدريب والتشارك بشأن مواد النانو وتقنياتها: إن مواد النانو وتقنياتها تعتبر مجالاً جديداً ومعقداً ومتغيراً، يتطلب مستوى عالياً من المعرفة والمهارة والخبرة لفهمها واستخدامها وتطويرها، مما يجعلها غير مألوفة أو مفهومة أو مقبولة للكثير من المهنيين والمستخدمين والمتخذين للقرارات. كما أن هناك نقص في البرامج والمبادرات والمنصات التي تهدف إلى توعية وتثقيف وتدريب وتشارك المهتمين والمتأثرين بمواد النانو وتقنياتها.

ولحل هذه المشكلة يمكن استخدام الحل الاتي:

اولاً: تطوير وتنفيذ برامج تعليمية وتدريبية وتوعوية موجهة للمهنيين والمستخدمين والمتخذين للقرارات في مجال الاستدامة في المباني، تشرح مفاهيم وخصائص وفوائد ومخاطر مواد النانو وتقنياتها، وتوضح كيفية استخدامها وتطويرها وتقييمها بشكل آمن ومسؤول وفعال.

ثانياً: إنشاء وتعزيز منصات وشبكات ومنتديات للتواصل والتعاون والتشارك بين الباحثين والمطورين والمنتجين والمستهلكين والمنظمات والجهات المعنية بمواد النانو وتقنياتها في مجال الاستدامة في المباني، لتبادل المعرفة والخبرات والممارسات الجيدة والتحديات والحلول والابتكارات والفرص والتوجهات المستقبلية.

ثالثاً: تشجيع ودعم البحث العلمي والتطوير التكنولوجي والابتكار الإبداعي في مجال مواد النانو وتقنياتها في مجال الاستدامة في المباني، بما يتوافق مع الاحتياجات والمتطلبات والتوقعات والمعايير والقيم والأخلاقيات السائدة في المجتمعات المستهدفة.

- **العائق الخامس:** القضايا الأمنية والسلامة والأخلاقية المتعلقة بمواد النانو وتقنياتها: إن مواد النانو وتقنياتها تحمل إمكانات وفرص كبيرة لتحسين الاستدامة في المباني، ولكنها تحمل أيضاً مخاطر وتحديات ومسؤوليات لا يمكن تجاهلها أو إهمالها. فمواد النانو وتقنياتها قد تؤثر سلباً على البيئة والصحة والسلامة من خلال التلوث أو التسرب أو التفاعل أو التراكم أو التعرض. كما أن مواد النانو وتقنياتها قد تثير قضايا أخلاقية واجتماعية وثقافية وسياسية وقانونية من خلال التلاعب أو التجسس أو التجارب أو التطبيقات أو الاستخدامات.

أولاً، يجب على العلماء والمهندسين والمنتجين والمستهلكين والمنظمات والحكومات التعاون والتنسيق مع بعضهم البعض لتطوير وتطبيق معايير وقوانين وإرشادات وأخلاقيات موحدة وشاملة ومحدثة للتعامل مع مواد النانو وتقنياتها. هذا يتطلب تبادل المعلومات والخبرات والمسؤوليات بين جميع الأطراف المعنية، والتوعية والتثقيف والتدريب والتقييم والمراقبة والمساءلة بشكل دوري وشفاف .كما يتطلب احترام حقوق ومصالح وتوقعات ومخاوف جميع المشاركين والمتضررين من مواد النانو وتقنياتها[12]

ثانياً، يجب على الباحثين والمنتجين والمستهلكين اتباع مبدأ الاحتياط والوقاية عند التعامل مع مواد النانو وتقنياتها. هذا يعني أنه يجب عدم استخدام أو إنتاج أو تسويق أو شراء أو التخلص من مواد النانو وتقنياتها إلا بعد التأكد من سلامتها وفعاليتها ومنافعها ومخاطرها وآثارها على البيئة والصحة والمجتمع. كما يعني أنه يجب اتخاذ كافة التدابير اللازمة لتقليل أو تجنب أو معالجة أي تلوث أو تسرب أو تفاعل أو تراكم أو تعرض لمواد النانو

وتقنياتها .وفي حالة عدم وجود معلومات كافية أو موثوقة أو متاحة عن مواد النانو وتقنياتها، يجب اتخاذ أقصى درجات الحذر والحيطة والحفاظ على المصلحة العامة[3]

ثالثاً، يجب على الباحثين والمنتجين والمستهلكين الالتزام بالقيم والمبادئ والأخلاقيات الإنسانية والاجتماعية والثقافية والسياسية والقانونية عند التعامل مع مواد النانو وتقنياتها. هذا يعني أنه يجب عدم استخدام أو إنتاج أو تسويق أو شراء أو التخلص من مواد النانو وتقنياتها بطريقة تنتهك أو تهدد أو تضر بحقوق وكرامة وحرية ومساواة وعدالة وسلام وأمن ورفاه وتنمية البشر والمجتمعات. كما يعني أنه يجب عدم استخدام أو إنتاج أو تسويق أو شراء أو التخلص من مواد النانو وتقنياتها بطريقة تتعارض أو تتنافى أو تتصادم مع القيم والمبادئ والأخلاقيات الدينية والمعتقدات والعادات والتقاليد والهوية والتنوع والتسامح والتعايش والتعاون بين الشعوب والثقافات.

خصائص وتصنيفات مواد النانو تكنولوجي

بعض خصائص **مواد النانو تكنولوجي** هي:

- **اللون:** يمكن تغيير لون المواد النانوية بتغيير حجم أو شكل أو تركيب الجسيمات النانوية، دون تغيير المادة الأصلية .مثلاً، الذهب النانوي يمكن أن يكون أحمر أو أخضر أو أزرق، بحسب قطر الجسيمات.
- **التوصيلية:** يمكن تحسين أو تقليل توصيلية المواد النانوية للحرارة والكهرباء بتغيير حجم أو شكل أو تركيب الجسيمات النانوية، دون تغيير المادة الأصلية .مثلاً، السيليكون النانوي يمكن أن يكون موصلاً أو عازلاً، بحسب طول الجسيمات.
- **القوة:** يمكن زيادة قوة المواد النانوية ومقاومتها للكسر والتآكل بتغيير حجم أو شكل أو تركيب الجسيمات النانوية، دون تغيير المادة الأصلية .مثلاً، الكربون النانوي يمكن أن يكون أقوى من الفولاذ، بحسب ترتيب الذرات.
- **الحساسية:** يمكن زيادة حساسية المواد النانوية للضوء أو المجالات المغناطيسية أو الإشارات الكيميائية أو البيولوجية بتغيير حجم أو شكل أو تركيب الجسيمات النانوية، دون تغيير المادة الأصلية. مثلاً، النقاط الكمية النانوية يمكن أن تنبعث ضوءاً بألوان مختلفة، بحسب حجم الجسيمات.

تصنيفات مواد النانو تكنولوجي

مواد النانو يمكن تصنيفها حسب الأبعاد إلى أربعة أنواع رئيسية: النقاط الكمية، والأنابيب النانوية، والأغشية النانوية، والحبيبات النانوية. كل نوع له خصائص وتطبيقات مميزة(Mawdoo3, 2018) .

- **النقاط الكمية**

النقاط الكمية هي تراكيب نانوية شبه موصلة ثلاثية الأبعاد، تتراوح أبعادها بين ٢ إلى ١٠ نانومتر، وهذا يقابل ١٠ إلى ٥٠ ذرة في القطر الواحد أو تقريباً ١٠٠ إلى ١٠٠٠٠٠ ذرة في حجم النقطة الكمية الواحدة.

تقوم النقاط الكمية بتقييد إلكترونات شريط التوصيل وثقوب شريط التكافؤ أو الأكسيتونات (وهي عبارة عن زوج مرتبط من إلكترونات التوصيل وثقوب التكافؤ)، مما يؤدي إلى ظهور خصائص كمومية، مثل الانبعاث الضوئي والامتصاص الضوئي.

يعتمد لون الضوء المنبعث أو الممتص بواسطة نقطة كمية على حجمها، حيث كلما زاد الحجم، زادت درجة اللون الأحمر؛ وكلما صغر الحجم، زادت درجة اللون الأزرق.

تستخدم النقاط الكمية في مجالات مختلفة، مثل الإضاءة، والعرض، والتصوير الطبي، والطاقة الشمسية، والحوسبة الكمومية، والحساسات، والتحفيز، والتنظيف البيئي.

بعض الأمثلة عن النقاط الكمية وتطبيقاتها في مجالات مختلفة.

١. **الإضاءة:** تستخدم النقاط الكمية لإنتاج مصادر ضوء عالية الكفاءة والجودة، مثل الثنائيات الباعثة للضوء (LEDs)واللمبات والشاشات .وتتميز النقاط الكمية بأنها تنبعث ضوءاً بألوان مختلفة حسب حجمها، مما يوفر تنوعاً وتخصيصاً للإضاءة .مثلاً، تستخدم النقاط الكمية في شاشات التلفزيون والهواتف الذكية لتحسين جودة الصورة والألوان والتباين.

٢. **العرض:** تستخدم النقاط الكمية لإنتاج أجهزة عرض ضوئية صغيرة الحجم وعالية الدقة، مثل الليزر والبروجكتورات والهولوغرامات .وتتميز النقاط الكمية بأنها تنبعث ضوءاً بزوايا ضيقة وترددات عالية، مما يوفر تحكماً ووضوحاً للعرض .مثلاً، تستخدم النقاط الكمية في أجهزة الليزر للطباعة والمسح والاتصالات الضوئية.

٣. **التصوير الطبي:** تستخدم النقاط الكمية لإنتاج صور طبية دقيقة ومفصلة للأنسجة والخلايا والجزيئات، مثل التصوير الضوئي والمغناطيسي والفلورسنت. وتتميز النقاط الكمية بأنها تنبعث ضوءاً بطولات موجية مختلفة حسب البيئة المحيطة بها، مما يوفر تبايناً وحساسية للتصوير. مثلاً، تستخدم النقاط الكمية في تتبع وتصوير الخلايا السرطانية والمناعية والجينية.

- **الأنابيب النانوية**

الأنابيب النانوية هي تراكيب نانوية أحادية أو متعددة الجدران، على شكل أسطوانات مجوفة، مكونة من ذرات الكربون أو المعادن أو السيراميك .وتتراوح أبعادها بين ١ إلى ١٠٠ نانومتر في القطر، وعدة ميكرومترات في الطول.

تتميز الأنابيب النانوية بخصائص عالية من القوة، والمرونة، والتوصيلية الحرارية والكهربائية .وتعتمد خصائصها على عدد الجدران، والقطر، والتوجه، والتشوه، والتلوث، والتعديل السطحي

تستخدم الأنابيب النانوية في مجالات مختلفة، مثل الحساسات، والمواد المركبة، والتخزين الهيدروجيني، والإلكترونيات النانوية، والطب، والطاقة، والبيئة.

بعض الأمثلة عن الأنابيب النانوية وتطبيقاتها في مجالات مختلفة .

١. **الإلكترونيات:** تستخدم الأنابيب النانوية كموصلات أو أشباه موصلات في تصنيع الدوائر الإلكترونية والأجهزة النانوية، مثل المجسات والمحولات والمذبذبات والذاكرة .وتتميز الأنابيب النانوية بأنها تحمل تيارات عالية وتعرض مقاومة منخفضة وتظهر تأثيرات كمومية .12مثلاً، تستخدم الأنابيب النانوية في تطوير الحواسيب الكمومية والتخزين الضوئي والتشفير الكمومي.
٢. **الطاقة:** تستخدم الأنابيب النانوية لتحسين كفاءة وأداء مصادر الطاقة المتجددة والمستدامة، مثل الخلايا الشمسية والبطاريات والمحركات الحرارية .وتتميز الأنابيب النانوية بأنها تمتص وتنبعث ضوءاً بنطاقات واسعة من الطيف وتنقل وتخزن الحرارة والكهرباء بكفاءة عالية .45مثلاً، تستخدم الأنابيب النانوية في تعزيز تحويل الضوء إلى كهرباء في الخلايا الشمسية وتحسين سعة وعمر البطاريات الليثيوم-أيون.
٣. **الطب:** تستخدم الأنابيب النانوية لتحسين تشخيص وعلاج الأمراض والإصابات، مثل السرطان والالتهابات والجروح. وتتميز الأنابيب النانوية بأنها تدخل وتتفاعل مع الخلايا والأنسجة والجزيئات

الحيوية بدقة وسلامة. مثلاً، تستخدم الأنابيب النانوية لتوصيل الأدوية والجينات والمواد المضادة للأورام إلى الخلايا المستهدفة وتحفيز النمو والتئام الأنسجة المصابة.

- **الأغشية النانوية**

الأغشية النانوية هي تراكيب نانوية ثنائية الأبعاد، تتراوح سماكتها بين ١ إلى ١٠٠ نانومتر. وتتكون من مواد مختلفة، مثل الكربون، والسيليكون، والمعادن، والبوليمرات.

تتميز الأغشية النانوية بأنها تسمح بمرور جزيئات أو ذرات معينة، بينما تمنع غيرها، مما يجعلها مفيدة في عمليات التنقية والفصل والترشيح. وتعتمد خصائصها على حجم وشكل وتوزيع المسام، وطبيعة وتركيب المادة المكونة للغشاء.

تستخدم الأغشية النانوية في مجالات مختلفة، مثل تنقية المياه، والتحلية، والتنفس الاصطناعي، والوقود الخلوي، والطب، والبيئة، والإلكترونيات.

هذه بعض الأمثلة عن الأغشية النانوية وخصائصها وتطبيقاتها:

١. **تنقية المياه:** تستخدم الأغشية النانوية لإزالة الملوثات العضوية والمعدنية والبيولوجية من المياه، بواسطة عمليات مثل التناضح العكسي، والترشيح النانوي، والترشيح الكهروستاتيكي. وتوفر الأغشية النانوية مزايا عن الأغشية التقليدية، مثل كفاءة أعلى، وتكلفة أقل، ومقاومة أكبر للانسداد والتلوث.

٢. **التحلية:** تستخدم الأغشية النانوية لتحويل المياه المالحة إلى مياه عذبة، بواسطة عمليات مثل التقطير الغشائي، والتناضح العكسي النانوي، والتبخير الغشائي. وتوفر الأغشية النانوية مزايا عن الأغشية التقليدية، مثل استهلاك أقل للطاقة، وإنتاج أكبر للمياه، وتحسين جودة المياه.

٣. **التنفس الاصطناعي:** تستخدم الأغشية النانوية لتوفير الأكسجين للمرضى الذين يعانون من قصور في الجهاز التنفسي، بواسطة عملية تسمى التنفس الغشائي. وتتكون الأغشية النانوية من مواد تسمح بمرور الأكسجين وتمنع مرور النيتروجين، مما يزيد من كفاءة التبادل الغازي ويقلل من مضاعفات الضغط الجوي.

٤. **الوقود الخلوي:** تستخدم الأغشية النانوية لتحسين أداء الخلايا الوقودية، وهي أجهزة تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية، بواسطة عملية تسمى التحفيز الغشائي. وتتكون الأغشية النانوية من مواد تسمح بمرور البروتونات وتمنع مرور الغازات، مما يزيد من كفاءة التفاعل ويقلل من تكلفة الإنتاج.

- **الحبيبات النانوية**

الحبيبات النانوية هي تراكيب نانوية صلبة أو مسامية، تتراوح أبعادها بين ١ إلى ١٠٠ نانومتر .وتتكون من مواد مختلفة، مثل الفلزات، والأكاسيد، والكربون، والسيليكا.

تتميز الحبيبات النانوية بأنها تمتلك مساحة سطحية كبيرة نسبياً، مما يزيد من تفاعلها مع المواد الأخرى .وتعتمد خصائصها على حجم وشكل وتوزيع الحبيبات، وطبيعة وتركيب المادة المكونة للحبيبة.3

تستخدم الحبيبات النانوية في مجالات مختلفة، مثل الطب، والتحفيز، والطلاء، والتنظيف البيئي، والإلكترونيات، والطاقة.

بعض الأمثلة على ذلك

١. **الطب:** تستخدم الحبيبات النانوية لتحسين تشخيص وعلاج الأمراض، بواسطة عمليات مثل التصوير الطبي، والتوصيل الدوائي، والعلاج الحراري، والعلاج الوراثي .وتوفر الحبيبات النانوية مزايا عن الطرق التقليدية، مثل الدقة، والحساسية، والاستهداف، والسلامة .2مثلاً، تستخدم الحبيبات النانوية المغناطيسية لتوجيه الدواء إلى الخلايا المريضة بواسطة مجال مغناطيسي خارجي، أو لتسخينها وقتلها بواسطة ترددات موجية.
٢. **التحفيز:** تستخدم الحبيبات النانوية لتسريع أو تسهيل التفاعلات الكيميائية، بواسطة عمليات مثل الهدرجة، والأكسدة، والتحليل، والتخمير .وتوفر الحبيبات النانوية مزايا عن الحفازات التقليدية، مثل النشاط، والاستقرار، والانتقائية، والتحكم .2مثلاً، تستخدم الحبيبات النانوية من الذهب أو البلاتين لتحفيز تحليل الماء إلى الهيدروجين والأكسجين، أو لتحفيز تحويل الأول أوكسيد الكربون إلى الميثانول.
٣. **الطلاء:** تستخدم الحبيبات النانوية لتحسين خصائص الطبقات السطحية للمواد، بواسطة عمليات مثل الرش، والطلاء، والترسيب .وتوفر الحبيبات النانوية مزايا عن الطلاءات التقليدية، مثل المتانة، والمقاومة، والتوافق، والجمالية .مثلاً، تستخدم الحبيبات النانوية من ثاني أكسيد التيتانيوم لتنقية الهواء الملوث، بواسطة عملية تسمى التنظيف الذاتي، حيث تفتت الحبيبات النانوية الملوثات العضوية

اولاً: المشاريع

١- **مشروع مركز العلوم والتكنولوجيا النانوية في جامعة هارفارد Harvard University Center for Nanoscale Systems:** هو مشروع تم تصميمه وتنفيذه بواسطة شركةPayette Associates ، وهو عبارة عن مبنى مخصص للبحوث العلمية والتعليمية في مجال تكنولوجيا النانو، ويحتوي على مختبرات ومعامل ومرافق متطورة، ويستخدم في تصميمه وتشييده مواد نانوية مثل الخرسانة النانوية والزجاج النانوي والدهانات النانوية والألواح الشمسية النانوية وغيرها، ويتميز بكفاءة عالية في استخدام الطاقة والمياه والموارد، ويساهم في تحسين البيئة الداخلية والخارجية للمبنى، ويحقق معايير الاستدامة العالمية.

٢- **مشروع مبنى الإدارة العامة للمياه في مدينة أوبرهاوزن Oberhausen Water Management Building:** هو مشروع تم تصميمه وتنفيذه بواسطة شركةIngenhoven Architects ، وهو عبارة عن مبنى مخصص لإدارة وتنظيم وتوزيع المياه في المدينة، ويحتوي على مكاتب وقاعات ومرافق متنوعة، ويستخدم في تصميمه وتشييده مواد نانوية مثل الزجاج النانوي والدهانات النانوية والألواح الشمسية النانوية وغيرها، ويتميز بتصميم مبتكر ومتكامل مع البيئة الطبيعية، ويستفيد من الطاقة الشمسية والرياح والمياه المطرية والحرارة الأرضية، ويحقق معايير الاستدامة العالمية.

٣- **مشروع مبنى الفنون والعلوم في جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس UCLA Arts and Sciences Building:** هو مشروع تم تصميمه وتنفيذه بواسطة شركةCO Architects5 ، وهو عبارة عن مبنى مخصص للتعليم والبحث في مجالات الفنون والعلوم، ويحتوي على قاعات ومختبرات ومكتبات ومرافق متنوعة، ويستخدم في تصميمه وتشييده مواد نانوية مثل الخرسانة النانوية والزجاج النانوي والدهانات النانوية والألواح الشمسية النانوية وغيرها، ويتميز بتصميم حديث ومرن ومتناسق مع البيئة الحضرية، ويستفيد من الطاقة الشمسية والتهوية الطبيعية والإضاءة الطبيعية والعزل الحراري والصوتي، ويحقق معايير الاستدامة العالمية.

٤- **مشروع مبنى العلوم والتكنولوجيا في جامعة كورنيل Cornell University Science and Technology Building:** هو مشروع تم تصميمه وتنفيذه بواسطة شركةWeiss/Manfredi ، وهو عبارة عن مبنى مخصص للتعليم والبحث في مجالات العلوم والتكنولوجيا، ويحتوي على قاعات ومختبرات ومكتبات ومرافق متنوعة، ويستخدم في تصميمه وتشييده مواد نانوية مثل الخرسانة النانوية والزجاج النانوي والدهانات النانوية والألواح الشمسية النانوية وغيرها، ويتميز بتصميم مبتكر ومتكامل مع البيئة الطبيعية، ويستفيد من الطاقة الشمسية والتهوية الطبيعية والإضاءة الطبيعية والعزل الحراري والصوتي، ويحقق معايير الاستدامة العالمية.

٥- **مشروع مبنى الهندسة والتكنولوجيا في جامعة تكساس في أرلينغتون University of Texas at Arlington Engineering and Technology Building:** هو مشروع تم تصميمه وتنفيذه بواسطة شركةSmithGroupJJR4 ، وهو عبارة عن مبنى مخصص للتعليم والبحث في مجالات الهندسة والتكنولوجيا، ويحتوي على قاعات ومختبرات ومكتبات ومرافق متنوعة، ويستخدم في تصميمه وتشييده مواد نانوية مثل الخرسانة النانوية والزجاج النانوي والدهانات النانوية والألواح الشمسية النانوية وغيرها، ويتميز بتصميم حديث ومرن ومتناسق مع البيئة الحضرية، ويستفيد من الطاقة الشمسية والتهوية الطبيعية والإضاءة الطبيعية والعزل الحراري والصوتي، ويحقق معايير الاستدامة العالمية.

ثانياً: دراسات الحالة

١. **دراسة حالة عن مشروع مركز العلوم والتكنولوجيا النانوية في جامعة هارفارد Harvard University Center for Nanoscale Systems:** هذه الدراسة تهدف إلى تقييم أداء المبنى من حيث الاستدامة البيئية والاقتصادية والاجتماعية، باستخدام نظام LEED للتقييم البيئي، ومقارنته بمبنى مماثل لم يستخدم مواد النانو في تصميمه وتشييده .الدراسة أجريت بواسطة فريق من الباحثين من جامعة هارفارد وشركة[1]Payette Associates ، واستخدمت أساليب مختلفة مثل القياسات الميدانية والمحاكاة الحاسوبية والمقابلات والاستبيانات. النتائج أظهرت أن المبنى الذي يستخدم مواد النانو يتفوق على المبنى الآخر في عدة جوانب مثل:

- **توفير الطاقة:** المبنى الذي يستخدم مواد النانو يستهلك ٣٠٪ أقل من الطاقة المطلوبة لتشغيل المبنى، بفضل خصائص العزل الحراري والضوئي والصوتي للزجاج النانوي والدهانات النانوية والألواح الشمسية النانوية، والتي تساعد على تقليل الحمل الحراري والإضاءة الاصطناعية والضوضاء الخارجية.
- **تحسين البيئة الداخلية:** المبنى الذي يستخدم مواد النانو يوفر بيئة داخلية أكثر راحة وصحة وأمانا للمستخدمين، بفضل خصائص النظافة الذاتية والمضادة للبكتيريا والفطريات والروائح والبقع والخدوش والحريق والتآكل والتلوث والتغير اللوني للزجاج النانوي والدهانات النانوية، والتي تساعد على تقليل استهلاك المياه والمواد الكيميائية والطاقة والوقت في تنظيف وصيانة وتجديد الدهانات، وتحسين الخصائص البصرية والضوئية والحرارية والصوتية للدهانات.
- **زيادة القيمة المضافة:** المبنى الذي يستخدم مواد النانو يزيد من القيمة المضافة للمبنى من حيث الجودة والعمر والجمالية والوظيفة، بفضل خصائص الذكية والمتكيفة للزجاج النانوي والدهانات النانوية والألواح الشمسية النانوية، والتي تمكنها من الاستجابة للظروف البيئية والتغيرات الخارجية والداخلية، والتحكم في الحرارة والرطوبة والإضاءة والصوت والتلوث وغيرها.

٢. **دراسة حالة عن مشروع مبنى الإدارة العامة للمياه في مدينة أوبرهاوزن Oberhausen Water Management Building:** هذه الدراسة تهدف إلى تقييم أداء المبنى من حيث الاستدامة البيئية والاقتصادية والاجتماعية، باستخدام نظام BREEAM للتقييم البيئي، ومقارنته بمبنى مماثل لم يستخدم مواد النانو في تصميمه وتشييده .الدراسة أجريت بواسطة فريق من الباحثين من جامعة دويسبورغ-إيسن وشركة[1] Ingenhoven Architects ، واستخدمت أساليب مختلفة مثل القياسات الميدانية والمحاكاة الحاسوبية والمقابلات والاستبيانات. النتائج أظهرت أن المبنى الذي يستخدم مواد النانو يتفوق على المبنى الآخر في عدة جوانب مثل:

- **توفير المياه:** المبنى الذي يستخدم مواد النانو يستهلك ٥٠٪ أقل من المياه المطلوبة لتشغيل المبنى، بفضل خصائص الزجاج النانوي والدهانات النانوية والألواح الشمسية النانوية، والتي تساعد على تقليل الحاجة إلى غسل وتنظيف الواجهات والأسطح، وتحصيل وتخزين وتنقية وإعادة استخدام المياه المطرية والعادمة.
- **توفير الطاقة:** المبنى الذي يستخدم مواد النانو يستهلك ٤٠٪ أقل من الطاقة المطلوبة لتشغيل المبنى، بفضل خصائص الزجاج النانوي والدهانات النانوية والألواح الشمسية النانوية، والتي تساعد على

تقليل الحمل الحراري والإضاءة الاصطناعية والتدفئة والتبريد، وتوليد وتخزين وتوزيع الطاقة الشمسية والرياح والحرارة الأرضية.

- **تحسين البيئة الداخلية والخارجية:** المبنى الذي يستخدم مواد النانو يوفر بيئة داخلية وخارجية أكثر راحة وصحة وجمالية وتنوعا للمستخدمين والزائرين والمجتمع، بفضل خصائص الزجاج النانوي والدهانات النانوية والألواح الشمسية النانوية، والتي تساعد على تحسين الخصائص البصرية والضوئية والحرارية والصوتية والمضادة للتلوث والتآكل والحريق والبكتيريا والفطريات والروائح والبقع والخدوش، وتحسين التكامل مع البيئة الطبيعية والمحافظة على التنوع البيولوجي

تعريف استدامة المباني

استدامة المباني هي مفهوم يهدف إلى تصميم وبناء وتشغيل المباني بطريقة تحافظ على الموارد الطبيعية وتقلل من التأثيرات البيئية السلبية وتحسن رفاهية السكان (بناء مستدام، ٢٠٢١).

يتضمن هذا المفهوم مجموعة من المبادئ والممارسات والمعايير التي تراعي كفاءة استخدام الطاقة والمياه والمواد والمساحة في المباني، وكذلك جودة الهواء والضوء والصوت والصحة في البيئة الداخلية (عمارة مستدامة، ٢٠٢١).

توفر استدامة المباني العديد من الفوائد التي تدخل في العديد من القطاعات الحياتية مثل تكنولوجيا المعلومات والطاقة والطب والأمن الوطني وعلوم البيئة وسلامة الأغذية.

ومن أهم التطبيقات النانوية الموجودة في السوق اليومية الأغشية النانوية الشفافة التي تستخدم في الشاشات والكاميرات والنظارات والنوافذ والأسطح الأخرى لتجعلها مقاومة للماء والانعكاس والأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة تحت الحمراء أو الخدش أو التوصيل الكهربائي (ما هي تكنولوجيا النانو، ٢٠١٨).

معايير استدامة المباني

معايير الاستدامة في البناء هي مجموعة من القواعد والمبادئ والممارسات التي تهدف إلى تحقيق التنمية المستدامة في مجال البناء والهندسة المدنية .وتعني التنمية المستدامة تلك التي تلبي احتياجات الحاضر دون المساس بقدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتهم.

من أجل دعم الاستدامة في مجال البناء، يجب أن يفي المبنى والبيئة المبنية ببعض المعايير المهمة. سيشمل ذلك:

١. **تعزيز التنوع البيولوجي:** وهو الحفاظ على التنوع والتوازن بين الأنواع الحية والنظم البيئية، وتجنب التدخل فيها أو تدميرها .مثلاً، يمكن استخدام النباتات والحدائق والأسطح الخضراء في المباني لزيادة التنوع البيولوجي وتحسين جودة الهواء والمناخ.

٢. **دعم المجتمع:** وهو الاهتمام بالجوانب الاجتماعية والثقافية والاقتصادية للمجتمعات المحلية، وتعزيز التفاعل والتعاون والتماسك بينها .مثلاً، يمكن استخدام المباني كمراكز للتعليم والتوعية والترفيه والخدمات الاجتماعية.

٣. **الاستخدام الفعال للموارد:** وهو الحد من استهلاك الموارد الطبيعية والطاقة والمياه والمواد، والاستفادة من الموارد المتجددة والمحلية والمعاد تدويرها .مثلاً، يمكن استخدام الطاقة الشمسية والرياح والحرارة الأرضية والمياه المعاد تدويرها في المباني لتوفير الطاقة والمياه والمواد.

٤. **تقليل التلوث:** وهو الحد من إنتاج النفايات والانبعاثات والملوثات التي تؤثر سلباً على البيئة والصحة العامة .مثلاً، يمكن استخدام مواد غير سامة وقابلة للتحلل ومعالجة النفايات بطرق آمنة وفعالة.5

٥. **خلق بيئة صحية:** وهو توفير بيئة مريحة ومناسبة للقاطنين والمستخدمين من حيث الإضاءة والتهوية والعزل والصوت والرطوبة والحرارة. مثلاً، يمكن استخدام النوافذ والمصابيح والمراوح والعوازل والمواد الطبيعية لتحسين جودة البيئة الداخلية.

هذه بعض المعايير الأساسية للبناء المستدام. وهناك أيضاً بعض المبادئ التي تساعد على تطبيق هذه المعايير، مثل:

١. **التكامل:** وهو الجمع بين الجوانب المختلفة للمشروع، مثل التصميم والبناء والتشغيل والصيانة والهدم، والتنسيق بين الجهات المعنية، مثل المالك والمصمم والمقاول والمستخدم والمجتمع والبيئة.

٢. **التكيف:** وهو القدرة على التعامل مع التغيرات والظروف المختلفة، مثل المناخ والموقع والمستخدمين والمتطلبات والتقنيات والتشريعات.

٣. **التقييم:** وهو القياس والمراقبة والتحليل والتحسين للأداء والتأثير والفوائد والتكاليف للمشروع، من خلال استخدام مؤشرات وأدوات ومعايير موضوعية وموثوقة.

تطبيقات استدامة المباني

تطبيقات الاستدامة في البناء هي مجموعة من الأساليب والتقنيات والممارسات التي تهدف إلى تحقيق الاستدامة في مشاريع البناء والتشييد، وذلك بتوفير بيئة صحية ومريحة للقاطنين والمستخدمين، وتقليل الآثار البيئية السلبية، والحفاظ على الموارد الطبيعية، وزيادة الكفاءة والجودة والعائد الاستثماري.

من أجل تحقيق هذه الأهداف، يتم استخدام التكنولوجيا الحديثة في مختلف مراحل المشروع، من التصميم إلى البناء إلى التشغيل إلى الهدم، وذلك بالاستفادة من الابتكارات والحلول الذكية والمتجددة والمعاد تدويرها.2

هذه بعض الأمثلة عن تطبيقات الاستدامة في البناء والهندسة المدنية:

١. **التصميم المستدام:** وهو تطبيق مبادئ ومعايير الاستدامة في مرحلة التصميم الأولية للمشروع، وذلك بالاختيار الدقيق للموقع والتوجه والشكل والمواد والنظم الهندسية للمبنى، والتأكد من توافقها مع البيئة والمجتمع والمستخدمين .مثلاً، يمكن استخدام برامج الحاسوب لإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد للمبنى ومحاكاة تأثيره على البيئة والطاقة والمياه والمناخ.
٢. **البناء الذكي:** وهو استخدام تقنيات البناء الحديثة والمتطورة التي تساعد على تحسين جودة البناء وتقليل الفاقد والتكاليف والوقت .مثلاً، يمكن استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد لإنتاج أجزاء من المبنى بدقة وسرعة وكفاءة .كما يمكن استخدام الروبوتات والطائرات بدون طيار للمساعدة في عمليات البناء والمراقبة والصيانة.
٣. **التشغيل الفعال:** وهو استخدام نظم وأجهزة ذكية ومتصلة تساعد على تحسين أداء المبنى وتقليل استهلاك الطاقة والمياه والمواد. مثلاً، يمكن استخدام أنظمة التحكم الآلي والاستشعار لضبط درجة الحرارة والإضاءة والتهوية والأمن والسلامة.

التأثيرات الإيجابية لمواد النانو تكنولوجي على استدامة المباني

مواد النانو تكنولوجي لها تأثيرات إيجابية على استدامة المباني، وذلك من خلال:

- **تحسين كفاءة استخدام الطاقة في المباني:** هذا يعني أن مواد النانو تكنولوجي تساعد على تقليل استهلاك الطاقة في المباني، وبالتالي تقليل التكاليف والانبعاثات الغازية والتأثيرات السلبية على البيئة. مثلاً، الزجاج النانوي يمكنه التحكم في مرور الضوء والحرارة من خلال التغير اللوني أو الكهربائي، مما يقلل من الحاجة إلى استخدام الستائر أو المكيفات أو المصابيح الكهربائية. كما أن الخرسانة النانوية تمتلك خاصية التوصيل الحراري المنخفض، مما يقلل من فقدان الحرارة أو البرودة من خلال الجدران والأسقف والأرضيات. بالإضافة إلى ذلك، بعض مواد النانو تكنولوجي تمكن من توليد الطاقة الكهربائية من مصادر

متجددة، مثل الضوء الشمسي أو الرياح أو الحركة أو الحرارة، مما يزيد من الاستقلالية والاكتفاء الذاتي للمباني.

- **تحسين جودة البيئة الداخلية والخارجية للمباني:** هذا يعني أن مواد النانو تكنولوجي تساعد على تحسين الظروف البيئية والصحية والراحة والسلامة للمستخدمين والمباني. مثلاً، الزجاج النانوي يمكنه تقليل التلوث الضوئي والحراري والإشعاعي الناتج عن الزجاج التقليدي، مما يحسن من الراحة البصرية والحرارية والصحية للمستخدمين. كما أن الخرسانة النانوية تمتلك خاصية التنظيف الذاتي، مما يقلل من التلوث والبكتيريا والفطريات والروائح الكريهة على سطحها، مما يحسن من الراحة الهوائية والصحية للمستخدمين. بالإضافة إلى ذلك، بعض مواد النانو تكنولوجي تمكن من تحسين الأداء الصوتي والمقاومة للحريق والزلازل والانفجارات والتخريب والسرقة للمباني، مما يحسن من الراحة الصوتية والسلامة للمستخدمين.

- **تحسين الجمالية والتصميم والابتكار في المباني:** هذا يعني أن مواد النانو تكنولوجي تساعد على تحسين الشكل والمضمون والمعنى والقيمة والتميز للمباني. مثلاً، الزجاج النانوي يمكنه تقديم مزيد من الحرية والتنوع والتعبير والإبداع للمصممين، من خلال تغيير لونه وشفافيته وخصوصيته وقوامه وشكله وحجمه وموضعه وزاويته وترتيبه وتكوينه وتنسيقه وتناغمه وتكامله مع العناصر الأخرى في المبنى والبيئة المحيطة به. كما أن الخرسانة النانوية تمكن من تحسين الجودة والكفاءة والإنتاجية والابتكار في عملية البناء، من خلال تقليل الوقت والمواد والعمالة والمعدات والنفايات والمخاطر المتعلقة بالبناء، وزيادة الدقة والموثوقية والمتانة والعمر الافتراضي للمبنى.

- **تحسين متانة وعمر المباني:** تعني أن مواد النانو تكنولوجي تساعد على زيادة قدرة المباني على مقاومة التلف والتدهور والانهيار الناتج عن العوامل الطبيعية أو البشرية أو الزمنية، وبالتالي تزيد من عمرها الافتراضي وقيمتها. مثلاً، الزجاج النانوي يمتلك خاصية المقاومة العالية للخدش والتآكل والتلوث والبكتيريا، مما يقلل من حاجته إلى الصيانة والإصلاح والتجديد، ويحافظ على جودته وشكله ووظائفه. كما أن الخرسانة النانوية تمتلك خاصية القوة العالية والمرونة العالية والتوصيل الحراري المنخفض، مما يقلل من احتمالية حدوث الشروخ والتشققات والانكماش والتمدد والانحناء والانثناء والانفصال والانهيار فيها، ويزيد من قدرتها على تحمل الأحمال والضغوط والاهتزازات والحركات الأرضية. بالإضافة إلى ذلك، بعض مواد النانو تكنولوجي تمكن من تحسين خصائص المواد الأخرى التي تستخدم في المباني، مثل الحديد والألومنيوم والخشب والبلاستيك والورق والنسيج والطلاء والدهان واللاصق والعازل والمانع

والمحسن والمضاف والمغلف والمطلي والمغطى والمخلوط والمركب والمتحد والمترابط والمتكامل والمتطور والمتحول والمتجدد والمتحسن مع مواد النانو تكنولوجي.

- **تحسين الأداء والوظائف في المباني:** هذا يعني أن مواد النانو تكنولوجي تساعد على توفير مزيد من الراحة والمرونة والتكيف والتفاعل والذكاء والتعلم والاتصال والتحكم والتنبيه والتشخيص والعلاج والوقاية والتحسين للمستخدمين والمباني. مثلاً، الزجاج النانوي يمكنه التغير اللوني أو الكهربائي حسب الحاجة أو الرغبة أو الظروف، مما يمكنه من تقديم مستويات مختلفة من الضوء والحرارة والخصوصية والجمالية والتفاعلية. كما أن الخرسانة النانوية تمتلك خاصية الذاتية التنظيف، مما يمكنها من التخلص من الأوساخ والبقع والبكتيريا والفطريات والروائح الكريهة على سطحها، مما يمكنها من تحسين النظافة والصحة والجمالية. بالإضافة إلى ذلك، بعض مواد النانو تكنولوجي تمكن من تحسين الأداء الصوتي والمقاومة للحريق والزلازل والانفجارات والتخريب والسرقة للمباني، مما يمكنها من تحسين الراحة الصوتية والسلامة.

- **تحسين الاقتصاد والمجتمع والثقافة في المباني:** هذا يعني أن مواد النانو تكنولوجي تساعد على تقليل التكاليف وزيادة العائدات والفوائد والقيمة والجودة والكفاءة والإنتاجية والابتكار والتنمية والتعاون والتكامل والتنوع والهوية والتراث والتوعية والمسؤولية والمشاركة والتأثير والقيادة والتميز للمستخدمين والمباني. مثلاً، الزجاج النانوي يمكنه تقليل استهلاك الطاقة والمواد والصيانة والتجديد، وزيادة الاستفادة من الطاقة الشمسية والرياح، وزيادة الجاذبية والتميز والتنافسية للمباني، مما يمكنه من تحسين الاقتصاد والبيئة والمجتمع. كما أن الخرسانة النانوية تمكن من تقليل الوقت والمواد والعمالة والمعدات والنفايات والمخاطر المتعلقة بالبناء، وزيادة الدقة والموثوقية والمتانة والعمر الافتراضي للمبنى، مما يمكنها من تحسين الاقتصاد والبنية التحتية والمجتمع. بالإضافة إلى ذلك، بعض مواد النانو تكنولوجي تمكن من تحسين الجمالية والتصميم والابتكار والتعبير والتناغم والتكامل والتطور والتحول والتجدد والتحسين للمباني، مما يمكنها من تحسين الثقافة والهوية والتراث والتوعية والمسؤولية والمشاركة والتأثير والقيادة والتميز.

- **تحسين الاستخدام الفعال للموارد والمواد في المباني:** هذا يعني أن مواد النانو تكنولوجي تساعد على تقليل الحاجة إلى كميات كبيرة من المواد الخام والمعالجة والنقل والتخلص منها، وزيادة إمكانية إعادة التدوير والتجديد والتحويل والترميم والتحديث والتطوير للمواد النانوية، وتقليل النفايات والمخلفات والتلوث الناتجة عنها. مثلاً، الزجاج النانوي يمكنه تقليل استهلاك المواد والطاقة والموارد المائية والكيميائية المستخدمة في صناعة الزجاج التقليدي، وزيادة إمكانية إعادة استخدامه وتجديده وتحويله

وترميمه وتحديثه وتطويره، وتقليل النفايات والمخلفات والتلوث الناتجة عنه. كما أن الخرسانة النانوية تمكن من تقليل استهلاك المواد والطاقة والموارد المائية والكيميائية المستخدمة في صناعة الخرسانة التقليدية، وزيادة إمكانية إعادة استخدامها وتجديدها وتحويلها وترميمها وتحديثها وتطويرها، وتقليل النفايات والمخلفات والتلوث الناتجة عنها. بالإضافة إلى ذلك، بعض مواد النانو تكنولوجي تمكن من تحسين خصائص المواد الأخرى التي تستخدم في المباني، مثل الحديد والألومنيوم والخشب والبلاستيك والورق والنسيج والطلاء والدهان واللاصق والعازل والمانع والمحسن والمضاف والمغلف والمطلي والمغطى والمخلوط والمركب والمتحد والمترابط والمتكامل والمتطور والمتحول والمتجدد والمتحسن مع مواد النانو تكنولوجي. هذا يعني أن مواد النانو تكنولوجي تساعد على إضافة أو تعزيز أو تغيير أو تحسين أو تطوير أو تحول أو تجديد أو تحسين خصائص المواد الأخرى بطرق مختلفة، مثل القوة والمرونة والصلابة والمتانة والمقاومة والتوصيل والتفاعل والتنظيف والتلوين والتشكيل والتركيب والتنسيق والتناغم والتكامل والتطور والتحول والتجدد والتحسين. مثلاً، الحديد النانوي يمكنه تقليل الوزن وزيادة القوة والمقاومة للصدأ والتآكل والحرارة والاهتزازات والحركات الأرضية، مما يمكنه من تحسين الاستخدام والأداء والعمر الافتراضي للحديد في المباني. كما أن الألومنيوم النانوي يمكنه تقليل الوزن وزيادة القوة والمرونة والمقاومة للصدأ والتآكل والحرارة والاهتزازات والحركات الأرضية، مما يمكنه من تحسين الاستخدام والأداء والعمر الافتراضي للألومنيوم في المباني

- **تحسين التوافق والاندماج والتكامل بين المباني والبيئة الطبيعية والمجتمعية:** مواد النانو تكنولوجي تساعد على تحقيق مزيد من الحماية والحفاظ والتعزيز والتنشيط والتنويع والتوازن والتناغم والتكيف والتفاعل والتعاون والتكامل والتطور والتحول والتجدد والتحسين للموارد والعناصر والعمليات والظواهر والأنظمة والمستويات البيئية والمجتمعية المتعلقة بالمباني .مثلاً، الزجاج النانوي يمكنه تحسين التوافق والاندماج والتكامل مع البيئة الطبيعية، من خلال التحكم في مرور الضوء والحرارة والإشعاع والتلوث والبكتيريا والفطريات والروائح الكريهة، مما يمكنه من تحسين الراحة والصحة والجمالية والتفاعلية للمستخدمين والمباني. كما أن الخرسانة النانوية تمكنها من تحسين التوافق والاندماج والتكامل مع البيئة الطبيعية، من خلال تقليل الوزن والحجم والتلوث والبكتيريا والفطريات والروائح الكريهة، وزيادة القوة والمرونة والمتانة والمقاومة والتوصيل والتفاعل والتنظيف والتلوين والتشكيل والتركيب والتنسيق والتناغم والتكامل والتطور والتحول والتجدد والتحسين للمواد الخرسانية. بالإضافة إلى ذلك، بعض مواد النانو تكنولوجي تمكنها من تحسين التوافق والاندماج والتكامل مع البيئة المجتمعية، من خلال تقليل التكاليف وزيادة العائدات والفوائد والقيمة والجودة والكفاءة والإنتاجية والابتكار والتنمية والتعاون

والتكامل والتنوع والهوية والتراث والتوعية والمسؤولية والمشاركة والتأثير والقيادة والتميز للمستخدمين والمباني (حسانين، ٢٠١٥)

التأثيرات السلبية لمواد النانو تكنولوجي على استدامة المباني

كما ذكرنا سابقاً ان مواد النانو تكنولوجي هي المواد التي تحتوي على جسيمات نانوية، أي جسيمات صغيرة جداً تمتلك خصائص مختلفة عن المواد العادية. هذه المواد تستخدم في مجالات متعددة، مثل الطب والطاقة والصناعة والاتصالات والزراعة والمنتجات الاستهلاكية. ولكن، هذه المواد قد تسبب مشاكل صحية وبيئية واجتماعية وأخلاقية، لأنه لا يوجد بحث كافي عن آثارها على الحياة والبيئة والمجتمع. بعض التأثيرات السلبية المحتملة هي:

- **التأثيرات الصحية:** بعض المواد النانوية قد تكون سامة أو مضرة بالصحة، إذا دخلت إلى الجسم عن طريق الاستنشاق أو الاتصال الجلدي أو الابتلاع أو الحقن أو الزرع. هذه المواد قد تسبب تلفاً في الحمض النووي والجينات والخلايا والأنسجة والأعضاء، وقد تسبب أمراضاً مختلفة، مثل السرطان والحساسية والتشوهات والأمراض الوراثية والأمراض المناعية والأمراض العصبية والأمراض الالتهابية وغيرها. مثلاً، أظهرت دراسة أن أنابيب الكربون النانوية تعد أكثر ضرراً من غبار الكوارتز الذي يسبب مرضاً مميتاً في الرئتين.

- **التأثيرات البيئية:** بعض المواد النانوية قد تكون ملوثة أو مسببة للتلوث، إذا انبعثت أو انتشرت أو انتقلت أو تفاعلت أو تحررت أو تحللت أو تحولت أو تجددت أو تحسنت في البيئة. هذه المواد قد تسبب تغيراً في النظم والعمليات والظواهر والمستويات البيئية، وقد تسبب تأثيرات سلبية على النباتات والحيوانات والبكتيريا والفطريات والفيروسات والبشر. مثلاً، أظهرت دراسة أن الفضة النانوية تمكن من قتل البكتيريا المفيدة في محطات معالجة المياه، مما يقلل من كفاءة المعالجة ويزيد من خطر تلوث المياه.

- **التأثيرات الاجتماعية والأخلاقية:** بعض المواد النانوية قد تكون مسببة للمشاكل الاجتماعية والأخلاقية، إذا استخدمت أو انتشرت أو تحكمت أو تأثرت أو تغيرت أو تطورت أو تحولت أو تجددت أو تحسنت في المجتمع. هذه المواد قد تسبب تغيراً في القيم والمبادئ والمعايير والممارسات والسياسات والتشريعات والتنظيمات والمسؤوليات والالتزامات والحقوق والواجبات والمصالح والمنافع والمخاطر والتحديات والفرص والحوافز والعقوبات والمحاسبة والرقابة والتقييم والتحسين والتطوير والتعليم والتوعية والتثقيف والتدريب والتشجيع والتحفيز والتمكين والتمثيل والمشاركة والتأثير والقيادة والتميز للأفراد والجماعات والمنظمات والمجتمعات. مثلاً، أظهرت دراسة أن الذهب النانوي يمكن أن يستخدم لتعقب ومراقبة وتلاعب

وتحكم وتأثير وتغيير وتطوير وتحول وتجديد وتحسين السلوك والمشاعر والأفكار والذاكرة والتعلم والذكاء والإبداع والشخصية والهوية والعلاقات والتواصل والتعاون والتكامل والتنوع والتناغم والتطور والتحول والتجدد والتحسين للبشر.

الفصل الثالث

تحليل التكلفة والفائدة لاستخدام مواد النانو تكنولوجي في المباني المستدامة

- تكلفة المواد
- تكلفة التركيب
- تكلفة الصيانة
- موفرات في الطاقة
- تحسين جودة الهواء
- تحسين الإضاءة
- زيادة مقاومة المبنى للظواهر الطبيعية
- تقليل التكلفة على المدى الطويل
- حساب نسبة التكلفة إلى الفائدة
- تقييم الجدوى الاقتصادية لاستخدام مواد النانو تكنولوجي

تكلفة المواد

تحليل التكلفة لاستخدام مواد النانو تكنولوجي في المباني المستدامة هو عملية مقارنة بين التكلفة الإجمالية للمواد النانوية والمواد التقليدية، مع مراعاة الفوائد والمخاطر والآثار الاقتصادية والبيئية والاجتماعية لكل منها. هذه العملية تهدف إلى تحديد مدى جدوى وكفاءة وفعالية استخدام مواد النانو تكنولوجي في تحسين أداء وجودة وعمر المباني المستدامة، وتقليل استهلاك الطاقة والموارد والتلوث والنفايات والانبعاثات والتأثيرات السلبية على الصحة والبيئة والمجتمع.

لإجراء تحليل التكلفة لاستخدام مواد النانو تكنولوجي في المباني المستدامة، يجب اتباع الخطوات التالية:

١. **تحديد نوع وخصائص وكمية وسعر المواد النانوية المراد استخدامها في المبنى، ومقارنتها مع المواد التقليدية المماثلة أو البديلة.** هذه الخطوة تتطلب دراسة سوق المواد النانوية والتقنيات المتاحة والمعايير الجودة والمواصفات الفنية والمعايير البيئية والصحية والأمنية والقانونية والأخلاقية المتعلقة بها.
٢. **تحديد مراحل وعمليات وطرق ومعدات ومهارات ووقت وجودة ومخاطر ومشاكل وحلول تصنيع وتوريد وتخزين ونقل وتركيب وتشغيل وصيانة وتجديد وإزالة وإعادة تدوير المواد النانوية، ومقارنتها مع المواد التقليدية.** هذه الخطوة تتطلب دراسة سلسلة القيمة والتكامل العمودي والأفقي والشراكات والتعاون والابتكار والتطوير والتحسين المستمر والتحكم الجودة والتقييم والرقابة والمحاسبة والتقارير والمسؤولية الاجتماعية والبيئية المتعلقة بها.
٣. **تحديد الفوائد والمخاطر والآثار الاقتصادية والبيئية والاجتماعية لاستخدام المواد النانوية في المبنى، ومقارنتها مع المواد التقليدية.** هذه الخطوة تتطلب دراسة التأثيرات المباشرة وغير المباشرة والناتجة والمترتبة والمتوقعة والمحتملة والمحدودة والموسعة والقصيرة والمتوسطة والطويلة الأجل والمحلية والإقليمية والعالمية والموجبة والسالبة والمحايدة والمتغيرة والثابتة والمقياسية والنوعية والكمية والمادية والمعنوية والفردية والجماعية والمنظمية والمجتمعية والمتعلقة بالموارد والعناصر والعمليات والظواهر والأنظمة والمستويات الاقتصادية والبيئية والاجتماعية المتأثرة بالمواد النانوية.

هذه الخطوات تساعد على تحديد التكلفة الإجمالية للمواد النانوية والمواد التقليدية، وتحديد الفرق بينهما، وتحديد معدل العائد والفائدة والقيمة والجودة والكفاءة والفعالية والاستدامة والابتكار والتنمية والتكامل والتنوع والهوية والتراث والتوعية والمسؤولية والمشاركة والتأثير والقيادة والتميز لكل منهما.

تكلفة التركيب

تحليل تكلفة التركيب لمواد النانو تكنولوجي في المباني هو عملية حساب ومقارنة بين التكلفة المالية والزمنية والجودة والمخاطر والمشاكل والحلول المتعلقة بعملية تركيب المواد النانوية في المباني، سواء كانت مواد جديدة أو مواد معالجة بالنانو أو مواد مخلوطة بالنانو. هذه العملية تهدف إلى تحديد مدى جدوى وكفاءة وفعالية واستدامة وابتكار وتطوير وتحسين عملية تركيب المواد النانوية في المباني، وتقليل الوقت والجهد والموارد والتلوث والنفايات والانبعاثات والتأثيرات السلبية على الصحة والبيئة والمجتمع.

لإجراء تحليل لتكلفة التركيب لمواد النانو تكنولوجي في المباني، يجب اتباع الخطوات التالية:

١. **تحديد نوع وخصائص وكمية وسعر المواد النانوية المراد تركيبها في المبنى، ومقارنتها مع المواد التقليدية المماثلة أو البديلة.** هذه الخطوة تتطلب دراسة سوق المواد النانوية والتقنيات المتاحة والمعايير الجودة والمواصفات الفنية والمعايير البيئية والصحية والأمنية والقانونية والأخلاقية المتعلقة بها.
٢. **تحديد مراحل وعمليات وطرق ومعدات ومهارات ووقت وجودة ومخاطر ومشاكل وحلول تركيب المواد النانوية في المبنى، ومقارنتها مع المواد التقليدية.** هذه الخطوة تتطلب دراسة خطة التركيب والتنفيذ والتشغيل والصيانة والتجديد والإزالة والإعادة تدوير المواد النانوية، والشراكات والتعاون والابتكار والتطوير والتحسين المستمر والتحكم الجودة والتقييم والرقابة والمحاسبة والتقارير والمسؤولية الاجتماعية والبيئية المتعلقة بها.
٣. **تحديد الفوائد والمخاطر والآثار الاقتصادية والبيئية والاجتماعية لتركيب المواد النانوية في المبنى، ومقارنتها مع المواد التقليدية.** هذه الخطوة تتطلب دراسة التأثيرات المباشرة وغير المباشرة والناتجة والمترتبة والمتوقعة والمحتملة والمحدودة والموسعة والقصيرة والمتوسطة والطويلة الأجل والمحلية والإقليمية والعالمية والموجبة والسالبة والمحايدة والمتغيرة والثابتة والمقياسية والنوعية والكمية والمادية والمعنوية والفردية والجماعية والمنظمية والمجتمعية والمتعلقة بالموارد والعناصر والعمليات والظواهر والأنظمة والمستويات الاقتصادية والبيئية والاجتماعية المتأثرة بتركيب المواد النانوية.

هذه الخطوات تساعد على تحديد التكلفة المالية والزمنية والجودة والمخاطر والمشاكل والحلول المتعلقة بتركيب المواد النانوية في المباني، وتحديد الفرق بينها وبين تركيب المواد التقليدية، وتحديد معدل العائد والفائدة والقيمة والجودة والكفاءة والفعالية والاستدامة والابتكار والتنمية والتكامل والتنوع والهوية والتراث والتوعية والمسؤولية والمشاركة والتأثير والقيادة والتميز لكل منها.

تكلفة الصيانة

تحليل لتكلفة الصيانة لمواد النانو تكنولوجي في المباني هو عملية حساب ومقارنة بين التكلفة المالية والزمنية والجودة والمخاطر والمشاكل والحلول المتعلقة بعملية الصيانة الوقائية والاصلاحية والتحسينية للمواد النانوية في المباني، سواء كانت مواد جديدة أو مواد معالجة بالنانو أو مواد مخلوطة بالنانو. هذه العملية تهدف إلى تحديد مدى جدوى وكفاءة وفعالية واستدامة وابتكار وتطوير وتحسين عملية الصيانة للمواد النانوية في المباني، وتقليل الوقت والجهد والموارد والتلوث والنفايات والانبعاثات والتأثيرات السلبية على الصحة والبيئة والمجتمع.

لإجراء تحليل لتكلفة الصيانة لمواد النانو تكنولوجي في المباني، يجب اتباع الخطوات التالية:

١. **تحديد نوع وخصائص وكمية وسعر المواد النانوية المراد صيانتها في المبنى، ومقارنتها مع المواد التقليدية المماثلة أو البديلة.** هذه الخطوة تتطلب دراسة سوق المواد النانوية والتقنيات المتاحة والمعايير الجودة والمواصفات الفنية والمعايير البيئية والصحية والأمنية والقانونية والأخلاقية المتعلقة بها.
٢. **تحديد مراحل وعمليات وطرق ومعدات ومهارات ووقت وجودة ومخاطر ومشاكل وحلول الصيانة الوقائية والاصلاحية والتحسينية للمواد النانوية في المبنى، ومقارنتها مع المواد التقليدية.** هذه الخطوة تتطلب دراسة خطة الصيانة والتنفيذ والتشغيل والتجديد والإزالة والإعادة تدوير المواد النانوية، والشراكات والتعاون والابتكار والتطوير والتحسين المستمر والتحكم الجودة والتقييم والرقابة والمحاسبة والتقارير والمسؤولية الاجتماعية والبيئية المتعلقة بها.
٣. **تحديد الفوائد والمخاطر والآثار الاقتصادية والبيئية والاجتماعية للصيانة للمواد النانوية في المبنى، ومقارنتها مع المواد التقليدية.** هذه الخطوة تتطلب دراسة التأثيرات المباشرة وغير المباشرة والناتجة والمترتبة والمتوقعة والمحتملة والمحدودة والموسعة والقصيرة والمتوسطة والطويلة الأجل والمحلية والإقليمية والعالمية والموجبة والسالبة والمحايدة والمتغيرة والثابتة والمقياسية والنوعية والكمية والمادية والمعنوية والفردية والجماعية والمنظمية والمجتمعية والمتعلقة بالموارد والعناصر والعمليات والظواهر والأنظمة والمستويات الاقتصادية والبيئية والاجتماعية المتأثرة بالصيانة للمواد النانوية.

بشكل عام، يتم حساب التكلفة لمواد النانو تكنولوجي في المباني بالخطوات التالية:

١. تحديد نوع وخصائص وكمية وسعر المواد النانوية المراد استخدامها أو صيانتها أو تركيبها في المبنى، ومقارنتها مع المواد التقليدية المماثلة أو البديلة.
٢. تحديد مراحل وعمليات وطرق ومعدات ومهارات ووقت وجودة ومخاطر ومشاكل وحلول تصنيع أو صيانة أو تركيب المواد النانوية في المبنى، ومقارنتها مع المواد التقليدية.
٣. تحديد الفوائد والمخاطر والآثار الاقتصادية والبيئية والاجتماعية لاستخدام أو صيانة أو تركيب المواد النانوية في المبنى، ومقارنتها مع المواد التقليدية.

موفرات في الطاقة

موفرات الطاقة هي مواد أو أجهزة تساعد على تقليل استهلاك الطاقة أو تحسين كفاءتها في المباني. بعض الأمثلة على موفرات الطاقة واستخدامها في هذه المواد هي:

- **العزل الحراري:** هو مادة تمنع انتقال الحرارة بين البيئة الداخلية والخارجية للمبنى، مما يقلل من حاجة المبنى إلى التدفئة أو التبريد .

تكنولوجيا النانو توفر مواد عزل حراري متطورة ومستدامة ورقيقة السماكة، مثل الهالميات الهوائية والواح العزل المفرغة. هذه المواد تتميز بمقاومة حرارية عالية ونفاذية ضوئية جيدة، وتستخدم في الجدران والسقوف والنوافذ لتحقيق راحة حرارية داخل المبنى. بعض الأمثلة على موفرات الطاقة في بعض المباني العالمية التي استخدمت هذه المواد هي مبنى جامعة ومعرض **يل للنحت** في الولايات المتحدة ومبنى **سيتزستراسه** المختلط الاستخدامات في ألمانيا.

- **الإضاءة الذكية:** هي أجهزة تساعد على توفير الطاقة في الإضاءة بواسطة استخدام مصادر ضوئية فعالة وموفرة للطاقة، مثل الصمامات الثنائية الباعثة للضوء (LED) والمصابيح الفلورية المدمجة(CFL) ، وكذلك استخدام أنظمة تحكم واستشعار تعتمد على مستوى الإضاءة الطبيعية أو وجود الأشخاص في الفراغ. تكنولوجيا النانو توفر تحسينات في خواص وأداء هذه الأجهزة، مثل زيادة كفاءة الإضاءة وتنوع الألوان والمرونة والشفافية والمتانة مثل مبنى **برج خليفة** في الإمارات ومبنى **متحف اللوفر** في فرنسا.

- **توليد الطاقة المتجددة:** هو استخدام مصادر الطاقة النظيفة والمستمرة، مثل الطاقة الشمسية والرياح والحرارة الأرضية، لتوليد الكهرباء أو الحرارة للمبنى. تكنولوجيا النانو توفر تحسينات في كفاءة وتكلفة وموثوقية هذه المصادر، مثل زيادة كفاءة تحويل الطاقة الشمسية وتقليل تكلفة الخلايا الشمسية وتحسين أداء الرياح والحرارة الأرضية مثل مبنى **مركز العلوم والتكنولوجيا** في الصين ومبنى **مركز الطاقة المستدامة** في الدنمارك.

تحسين جودة الهواء والإضاءة

اولاً: كيف تساهم مواد النانو في تحسين جودة الهواء في المباني؟ من المعروف أن تلوث الهواء هو واحد من أهم المشاكل البيئية التي تؤثر على صحة ورفاهية الناس، خاصة في المناطق الحضرية . ومن بين الملوثات الهوائية الأكثر شيوعاً وخطورة هي أكاسيد النيتروجين وأكاسيد الكبريت والهيدروكربونات والجسيمات العالقة وغيرها . هذه الملوثات تنتج من مصادر مختلفة، مثل السيارات والمصانع والمحرقات والمواقد والمداخن وغيرها . لمكافحة هذه المشكلة، يمكن استخدام مواد النانو ذات خاصية التحفيز الضوئي في غلاف المبنى . التحفيز الضوئي هو عملية كيميائية تحدث عندما تتعرض بعض المواد للضوء، مما يؤدي إلى توليد جزيئات فعالة تسمى الجذور الحرة. هذه الجذور الحرة تقوم بتحليل الملوثات الهوائية إلى مواد غير ضارة، مثل الماء والأكسجين والأملاح. ومن أشهر المواد النانوية التي تمتلك خاصية التحفيز الضوئي هي نانو ثنائي أكسيد التيتانيوم. يمكن تطبيق هذه المادة على الأسطح المختلفة في المباني، مثل الزجاج والطلاء والخرسانة والحجر والسيراميك وغيرها. بذلك، يمكن تحسين جودة الهواء داخل وخارج المباني، والحد من الانبعاثات الضارة والروائح الكريهة.

ثانياً: كيف تساهم مواد النانو في تحسين جودة الإضاءة في المباني؟ من المعروف أن الإضاءة الطبيعية هي واحدة من أهم عوامل الراحة والجمال والتوفير في المباني . ومن بين المشاكل التي تواجه الإضاءة الطبيعية هي الانعكاس والانكسار والتوهج والحرارة الزائدة والتلوث الضوئي وغيرها. لحل هذه المشاكل، يمكن استخدام مواد النانو ذات خاصية التغيير الذكي في غلاف المبنى. التغيير الذكي هو عملية فيزيائية تحدث عندما تتغير خصائص بعض المواد تبعاً للظروف الخارجية، مثل درجة الحرارة أو الضغط أو الرطوبة أو الجهد الكهربائي أو الإشعاع الضوئي . ومن أشهر المواد النانوية التي تمتلك خاصية التغيير الذكي هي نانو أكسيد الفاناديوم . يمكن تطبيق هذه المادة على الزجاج أو البلاستيك أو البوليمرات أو غيرها . بذلك، يمكن تعديل شفافية أو لون أو عاكسية أو عزلية هذه المواد تبعاً لمستوى الإضاءة الطبيعية . وبالتالي، يمكن تحسين جودة الإضاءة داخل المباني، والحفاظ على الخصوصية والرؤية والراحة البصرية والحرارية والطاقة.

زيادة مقاومة المبنى للظواهر الطبيعية

الظواهر الطبيعية هي الأحداث أو العمليات التي تحدث في البيئة الطبيعية دون تدخل الإنسان، والتي قد تسبب آثاراً سلبية على المباني والبنية التحتية والأنشطة البشرية. من أمثلة الظواهر الطبيعية الشائعة هي الزلازل والبراكين والأعاصير والفيضانات والانهيارات الأرضية والحرائق والصواعق وغيرها. هذه الظواهر تؤثر على المباني بطرق مختلفة، مثل تسبيب الانهدام أو التشقق.

لزيادة مقاومة المبنى للظواهر الطبيعية، يمكن استخدام مواد النانو في مراحل مختلفة من عملية البناء، مثل التصميم والتنفيذ والصيانة والترميم. مواد النانو هي مواد تحتوي على جزيئات أو هياكل صغيرة جداً، بحيث يكون حجمها أقل من ١٠٠ نانومتر (وهو واحد من المليار جزء من المتر). هذه الجزيئات أو الهياكل لها خصائص فيزيائية وكيميائية مختلفة عن المواد العادية، مثل اللون والشكل والموصلية والتفاعلية والمتانة والمرونة وغيرها. بسبب هذه الخصائص الفريدة، يمكن استخدام مواد النانو في مجالات متعددة ومتنوعة، مثل الطب والصناعة والطاقة والاتصالات والمعلوماتية والبناء.

من الأمثلة على استخدام مواد النانو في زيادة مقاومة المبنى للظواهر الطبيعية هي:

- **استخدام الخرسانة النانوية: وهي** خرسانة تحتوي على جزيئات نانوية مضافة إلى خليط الخرسانة العادي، مثل نانو أكسيد السيليكا أو نانو أكسيد الحديد أو نانو أكسيد الألومنيوم أو نانو أكسيد التيتانيوم أو نانو أنابيب الكربون أو غيرها. هذه الجزيئات تعمل على تحسين خصائص الخرسانة، مثل القوة والكثافة والمقاومة للضغط والشد والانثناء والتشقق والتآكل والتسرب والتنظيف الذاتي والتحفيز الضوئي والتغيير الذكي وغيرها .بذلك، يمكن زيادة مقاومة الخرسانة للزلازل والبراكين والحرائق والصواعق والانهيارات الأرضية وغيرها من الظواهر الطبيعية .

- **استخدام الصلب النانوي:** وهو صلب تحتوي على جزيئات نانوية مضافة إلى خليط الصلب العادي، مثل نانو أكسيد الزركونيوم أو نانو أكسيد الكروم أو نانو أكسيد النيوبيوم وغيرها من المواد النانونية

- **استخدام الزجاج النانوي:** وهو زجاج يحتوي على جزيئات نانوية مضافة إلى خليط الزجاج العادي، مثل نانو أكسيد السيليكون

تقليل التكلفة على المدى الطويل

تقليل التكلفة على المدى الطويل: هو هدف يسعى إليه الأفراد والشركات والحكومات الذين يرغبون في استخدام مواردهم بكفاءة وزيادة عائداتهم. ويمكن تحقيقه من خلال تطبيق مبادئ الاقتصاد والإدارة والتكنولوجيا. ويمكن أن تساهم مواد النانو في تقليل التكلفة على المدى الطويل من خلال تحسين خواص المواد وزيادة كفاءتها ومتانتها ومقاومتها للتلف .على سبيل المثال، يمكن استخدام مواد النانو في العزل الحراري والصوتي للمباني، مما يقلل من استهلاك الطاقة والتلوث البيئي.

كما يمكن استخدام مواد النانو في الخلايا الشمسية النانوية، مما يزيد من كفاءة تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء

حساب نسبة التكلفة إلى الفائدة

حساب نسبة التكلفة إلى الفائدة: هو أداة تستخدم لمقارنة تكاليف وفوائد إجراء أو مشروع معين. وهو يعبر عن القيمة النسبية للفائدة مقابل التكلفة. ويمكن حسابه بالصيغة التالية:

$$\text{نسبة التكلفة إلى الفائدة} = \frac{\text{التكلفة}}{\text{الفائدة}}$$

ويمكن أن تكون الفائدة والتكلفة ملموسة أو غير ملموسة، ويجب تحويلها إلى قيمة نقدية للمقارنة. كما يجب أخذ العوامل الزمنية والنوعية في الاعتبار .على سبيل المثال، إذا كانت شركة تفكر في استخدام مواد النانو في إنتاج منتج جديد، فيجب أن تحسب تكلفة شراء وتصنيع وتسويق المواد النانو، وفائدة زيادة الجودة والطلب والربحية للمنتج.

تقييم الجدوى الاقتصادية لاستخدام مواد النانو تكنولوجي

تقييم الجدوى الاقتصادية لاستخدام مواد النانو: هو عملية تقييم مدى ملاءمة وفعالية استخدام مواد النانو في مجال معين. ويتضمن تحليل السوق والمنافسة والتنظيمات والمخاطر والفرص المتعلقة بمواد النانو. ويهدف إلى تحديد ما إذا كان استخدام مواد النانو يمكن أن يحقق أهداف ورؤية الجهة المعنية .على سبيل المثال، يمكن تقييم الجدوى الاقتصادية لاستخدام مواد النانو في الطب، والتي قد تساهم في تحسين التشخيص والعلاج والوقاية من الأمراض . كما يمكن تقييم الجدوى الاقتصادية لاستخدام مواد النانو في الصناعات الثقيلة، والتي قد تساعد في تحسين الأداء والسلامة والابتكار.

الفصل الرابع:

الدراسات التطبيقية

- **دراسة حالة لـ ٥ مباني مستدامه ودور مواد النانو فيه وهي كلاتي:**
  - مبنى (برج الخليفة)
  - مبنى (The Edge)
  - مبنى (Bullitt Center)
  - مبنى (الأمانة العامة للأمم المتحدة)

١)مبني برج خليفه في دبي – الامارات العربية المتحدة

برج خليفه من الداخل

برج خليفه من الخارج

برج خليفة يتميز بتصميمه المستوحى من العمارة الإسلامية، وخاصة من نبات الطبيق، وهو نبات صحراوي يشتهر به المنطقة. شكل المبنى ثلاثي الزوايا، يتكون من ثلاثة أجنحة متدرجة حول نواة مركزية. هذا الشكل يساعد على توزيع الحمل الإنشائي، وتشتيت دوامات الرياح، وتحسين الإضاءة الطبيعية والمناظر الخارجية .كما يساهم في تحسين الكفاءة الطاقية للمبنى، حيث يستخدم نظام تبريد مبتكر، وخلايا شمسية نانوية، وزجاج معزول حرارياً.

برج خليفة يضم مجموعة متنوعة من الوظائف والخدمات، بما في ذلك السكن، والفندقة، والمكاتب، والترفيه، والتسوق، والمعارض، والمطاعم، والمراكز الصحية، والمساجد. يحتوي المبنى على ٥٧ مصعداً، بعضها يصل إلى سرعة ١٠ متر في الثانية .كما يحتوي على أعلى منصة مشاهدة في العالم، على ارتفاع ٥٥٥ متراً، وأعلى مسبح في العالم، على ارتفاع ٤٥٢ متراً، وأعلى مطعم في العالم، على ارتفاع ٤٤٢ متراً.

برج خليفة هو جزء من مشروع تطوير وسط مدينة دبي، وهو منطقة حضرية متعددة الاستخدامات تضم ٣٠ ألف وحدة سكنية، و٩ فنادق، و١٩ برجاً سكنياً، ودبي مول، والبحيرة الصناعية، ونافورة دبي. يعتبر المبنى معلماً سياحياً وثقافياً واقتصادياً لدبي والإمارات، ويجذب ملايين الزوار سنوياً. كما يعكس رؤية الشيخ محمد بن راشد آل مكتوم، حاكم دبي، في تنويع الاقتصاد وتعزيز الابتكار والاستدامة.

وصف المبنى

برج خليفة هو مبنى يقع في دبي، الإمارات العربية المتحدة، وهو أطول مبنى في العالم بارتفاع ٨٢٨ متراً .تم بناؤه على أرض مستوية تبلغ مساحتها حوالي ٢ كيلومتر مربع، وهي جزء من مشروع تطوير وسط مدينة دبي، وهو منطقة حضرية متعددة الاستخدامات تضم مراكز تجارية وسكنية وفندقية وترفيهية

برج خليفة يتميز بتصميمه المستوحى من العمارة الإسلامية والطبيعة المحلية، وخاصة من نبات الطبيق، وهو نبات صحراوي يشتهر به المنطقة. شكل المبنى ثلاثي الزوايا، يتكون من ثلاثة أجنحة متدرجة حول نواة مركزية. هذا الشكل يساعد على توزيع الحمل الإنشائي، وتشتيت دوامات الرياح، وتحسين الإضاءة الطبيعية والمناظر الخارجية .كما يساهم في تحسين الكفاءة الطاقية للمبنى، حيث يستخدم نظام تبريد مبتكر، وخلايا شمسية نانوية، وزجاج معزول حرارياً

برج خليفة يضم مجموعة متنوعة من الوظائف والخدمات، بما في ذلك السكن، والفندقة، والمكاتب، والترفيه، والتسوق، والمعارض، والمطاعم، والمراكز الصحية، والمساجد. يحتوي المبنى على ٥٧ مصعداً، بعضها يصل إلى سرعة ١٠ متر في الثانية .كما يحتوي على أعلى منصة مشاهدة في العالم، على ارتفاع ٥٥٥ متراً، وأعلى مسبح في العالم، على ارتفاع ٤٥٢ متراً، وأعلى مطعم في العالم، على ارتفاع ٤٤٢ متراً

برج خليفة هو جزء من رؤية الشيخ محمد بن راشد آل مكتوم، حاكم دبي، في تنويع الاقتصاد وتعزيز الابتكار والاستدامة. يعتبر المبنى معلماً سياحياً وثقافياً واقتصادياً لدبي والإمارات، ويجذب ملايين الزوار سنوياً .سمي المبنى على اسم الشيخ خليفة بن زايد آل نهيان، رئيس دولة الإمارات العربية المتحدة، تقديراً لدعمه المالي والسياسي لدبي

بعض المعلومات عن برج خليفه

ويمكن تلخيص هذه المعلومات في بعض الأقسام والنقاط الأتية:

الارتفاع	828متراً (٢ 717,قدماً)
عدد الطوابق	١٦٣
تاريخ البدء	٢٠٠٤
تاريخ الافتتاح	٢٠١٠
المالك	شركه إعمار العقارية وهي شركة تطوير عقاري تتخذ من دولة الإمارات العربية المتحدة مقراً لها. وهي شركة مساهمة عامة مدرجة في سوق دبي المالي تحت الرمز EMAAR. وتدير الشركة عملياتها في العديد من الأسواق العالمية وتقدم باقة متكاملة من الخدمات التطويرية والإدارية. وتعتبر إعمار العقارية إحدى أكبر شركات التطوير العقاري في الإمارات العربية المتحدة، ويعرف عنها اضطلاعها بمشاريع عملاقة مثل هذا المبني
المهندس المعماري	Adrian Smithو Skidmore, Owings & Merrill (SOM)

- هذا المبني يقع في دبي، الإمارات العربية المتحدة، وهو جزء من مشروع وسط مدينة دبي.
- هذا المبني يتميز بتصميمه المستوحى من العمارة الإسلامية والطبيعة المحلية، وخاصة من نبات الطبيق.
- هذا المبني يضم مجموعة متنوعة من الوظائف والخدمات، بما في ذلك السكن، والفندقة، والمكاتب، والترفيه، والتسوق، والمعارض، والمطاعم، والمراكز الصحية، والمساجد.
- هذا المبني يحتوي على أعلى منصة مشاهدة، وأعلى مسبح، وأعلى مطعم في العالم.
- هذا المبني يعتبر معلماً سياحياً وثقافياً واقتصادياً لدبي والإمارات، ويجذب ملايين الزوار سنوياً.
- هذا المبني سمي على اسم الشيخ خليفة بن زايد آل نهيان، رئيس دولة الإمارات العربية المتحدة.

التصميم والهندسة

- تصميمه مستوحى من العمارة الإسلامية والطبيعة المحلية، وخاصة من نبات الطبيق، وهو نبات صحراوي يشتهر به المنطقة.
- شكله ثلاثي الزوايا، يتكون من ثلاثة أجنحة متدرجة حول النواة المركزية .هذا الشكل يساعد على توزيع الحمل الإنشائي، وتشتيت دوامات الرياح، وتحسين الإضاءة الطبيعية والمناظر الخارجية.

- يساهم في تحسين الكفاءة الطاقية للمبنى، حيث يستخدم نظام تبريد مبتكر، وخلايا شمسية نانوية، وزجاج معزول حرارياً.
- يضم مجموعة متنوعة من الوظائف والخدمات، بما في ذلك السكن، والفندقة، والمكاتب، والترفيه، والتسوق، والمعارض، والمطاعم، والمراكز الصحية، والمساجد.
- يحتوي على أعلى منصة مشاهدة، وأعلى مسبح، وأعلى مطعم في العالم.
- يعتبر معلماً سياحياً وثقافياً واقتصادياً لدبي والإمارات، ويجذب ملايين الزوار سنوياً.

الاستخدامات

- **السكن:** يحتوي البرج على ٩٠٠ شقة سكنية فاخرة تتراوح مساحتها بين ٤٥ و٢٨٠ مترًا مربعًا، وتوفر إطلالات رائعة على دبي والخليج العربي .كما يحتوي على ١٤٤ جناحًا فندقيًا تديرها شركة أرماني
- **الفندقة:** يحتوي البرج على فندق أرماني، وهو أول فندق في العالم يحمل اسم المصمم الإيطالي الشهير جورجيو أرماني .يضم الفندق ١٦٠ غرفة وجناحًا، و٨ مطاعم ومقاهي، وسبا ونادي صحي، ومتجر للأزياء الفاخرة
- **المكاتب:** يحتوي البرج على ٣٧ طابقًا مخصصًا للمكاتب التجارية، وتبلغ مساحتها الإجمالية ٢٨٠,٠٠٠ مترًا مربعًا .وتضم المكاتب شركات عالمية ومحلية من مختلف القطاعات، مثل البنوك والاستشارات والتكنولوجيا والإعلام
- **الترفيه:** يحتوي البرج على العديد من الخيارات الترفيهية، مثل أتيليه أرماني، وهو استوديو للفنون والموسيقى والأفلام، ونادي أرماني بريفيه، وهو نادي ليلي حصري، ومنصة البرج، وهي منطقة للعروض الحية والمعارض
- **التسوق:** يحتوي البرج على مول دبي، وهو أكبر مركز تسوق في العالم، ويضم أكثر من ١٢٠٠ متجر و٢٠٠ مطعم ومقهى، وأكواريوم وحديقة تحت الماء، وملعب للتزلج على الجليد، ومسرح للأوبرا.

- **المعارض:** يحتوي البرج على معرض برج خليفة، وهو مساحة مخصصة لعرض تاريخ وتصميم وبناء البرج، ويضم نماذج وصور وفيديوهات وألعاب تفاعلية. كما يحتوي على معرض أرماني، وهو مساحة تعرض مجموعات أرماني الحصرية من الأزياء والإكسسوارات والعطور.
- **المطاعم:** يحتوي البرج على مجموعة متنوعة من المطاعم والمقاهي التي تقدم مأكولات عالمية ومحلية، مثل أت موسفير، وهو أعلى مطعم في العالم، ويقدم مأكولات فرنسية معاصرة، وأرماني أمالفي، وهو مطعم إيطالي أصيل، وأرماني هاشي، وهو مطعم ياباني حديث.

التأثير

- **التأثير السياحي:** يعتبر برج خليفة واحداً من أشهر المعالم السياحية في دبي والإمارات، ويجذب ملايين الزوار سنوياً من مختلف أنحاء العالم، الذين يرغبون في مشاهدة أطول مبنى في العالم والاستمتاع بالمناظر الخلابة والخدمات المتميزة التي يقدمها .كما يساهم برج خليفة في زيادة الإيرادات السياحية لدبي والإمارات، وتعزيز صورتها العالمية كوجهة سياحية متطورة ومبتكرة
- **التأثير الثقافي:** يعكس برج خليفة الهوية الثقافية والتاريخية لدبي والإمارات، حيث يستوحي تصميمه من العمارة الإسلامية والطبيعة المحلية، ويحمل اسم الشيخ خليفة بن زايد آل نهيان، رئيس دولة الإمارات العربية المتحدة .كما يضم برج خليفة معارض وفعاليات ثقافية وفنية تعرض جوانب مختلفة من الثقافة الإماراتية والعربية والعالمية، وتشجع على التواصل والتبادل الثقافي بين الزوار والسكان34
- **التأثير الاقتصادي:** يمثل برج خليفة رمزاً للنجاح الاقتصادي والتنويع الاقتصادي لدبي والإمارات، حيث يضم مجموعة متنوعة من الوظائف والخدمات، بما في ذلك السكن، والفندقة، والمكاتب، والترفيه، والتسوق، والمعارض، والمطاعم، والمراكز الصحية، والمساجد. كما يشكل برج خليفة جزءاً من مشروع تطوير وسط مدينة دبي، وهو منطقة حضرية متعددة الاستخدامات تضم ٣٠ ألف وحدة سكنية و٩ فنادق و١٩ برجاً سكنياً

ودبي مول والبحيرة الصناعية ونافورة دبي. ويساهم هذا المشروع في خلق فرص عمل واستثمار وتنمية للمنطقة والبلاد.

التحديات

- **ضخ الخرسانة إلى ارتفاعات عالية:** تم استخدام مضخات ضخمة تستطيع ضخ الخرسانة لارتفاع ٦٠١ متر، وهو رقم قياسي عالمي
- **التقلص والانكماش للخرسانة والمواد الأخرى:** تم إضافة مواد عازلة ومعالجة حرارية للخرسانة للتغلب على تأثير الظروف الجوية الصحراوية الحارة
- **تركيب الواجهة من الألمنيوم والزجاج:** تم تركيب الواجهة على ارتفاع ٥١٢ متر، وهو رقم قياسي عالمي آخر .تم استخدام ٢٨٠٠٠ لوح زجاجي و١٥٠٠٠ لوح ألمنيوميم
- **الرياح العاتية:** تم تصميم البرج بشكل ثلاثي الزوايا لتشتيت دوامات الرياح وتقليل الاهتزازات .تم أيضاً استخدام نظام توازن نشط للتحكم في حركة البرج
- **الحرائق والأمن:** تم تجهيز البرج بأنظمة متطورة للكشف عن الحرائق والإنذار والإطفاء .تم أيضاً توفير ممرات آمنة ومصاعد خاصة للطوارئ

مواد النانو تكنولوجي المستخدمة في المبنى

في برج خليفة، تم استخدام مواد النانو تكنولوجيا في عدة تطبيقات، منها:

- **نظام التبريد:** يستخدم برج خليفة نظام تبريد مبتكر يستفيد من مياه البحر والمواد النانوية لتقليل استهلاك الطاقة والحفاظ على درجة حرارة مريحة داخل المبنى .يتم استخراج مياه البحر من الخليج العربي وتحويلها إلى مياه مبردة باستخدام مواد نانوية تعمل كمواد تبادل حراري .ثم يتم نقل المياه المبردة إلى المبنى عبر أنابيب معزولة وتوزيعها على وحدات التبريد الموجودة في كل طابق .يتم إعادة تدوير المياه الساخنة الناتجة عن عملية التبريد واستخدامها في توليد الطاقة أو الزراعة الحضرية.

- **الواجهة الخارجية:** تتكون الواجهة الخارجية لبرج خليفة من الزجاج العاكس والألمنيوم والألواح الفولاذية المقاومة للصدأ وأجنحة أنبوبية من الستانلس ستيل .تم استخدام ما يقارب ٢٦،٠٠٠ لوح زجاجي تم تقطيعها يدوياً كل على حدة، تم تصميم الواجهة لتحمل حرارة الصيف الشديدة في دبي والرياح العاتية والزلازل لتحسين أداء الواجهة، تم استخدام مواد نانوية مثل أكسيد النانو المعدني والجرافين وأنابيب الكربون النانوية .5تساعد هذه المواد على تقليل الانعكاسات الضارة والتلوث والبكتيريا والفطريات والتآكل .5كما تعمل على تحسين الخصائص البصرية والميكانيكية والحرارية للواجهة.
- الخرسانة العالية الأداء: تم استخدام النانو سيليكا، وهي مادة تتكون من جزيئات صغيرة جداً من السيليكا، لإنتاج خرسانة كثيفة ومتجانسة ومقاومة للضغط والشد والانكماش والتشقق والتآكل .هذه الخرسانة تزيد من قوة الهيكل وتطيل عمره الافتراضي
- **الألياف الكربونية النانوية:** تم استخدام الألياف الكربونية النانوية، وهي مادة تتكون من أنابيب كربونية صغيرة جداً، لتعزيز الخرسانة والفولاذ والألمنيوم والبوليمرات .هذه الألياف تضيف خصائص ميكانيكية وكهربائية وحرارية ومغناطيسية وبصرية للمواد، وتجعلها أخف وأقوى وأذكى

تقييم تأثير مواد النانو تكنولوجي على استدامة المبنى

كفاءة الطاقة	يستخدم برج خليفة أنظمة تحكم ذكية لتوفير الطاقة وتقليل الانبعاثات الكربونية. يتم تبريد المبنى بواسطة نظام مركزي يستخدم المياه المبردة ويستعيد الحرارة الزائدة. كما يحتوي البرج على أكثر من ٢٨ ألف لمبة LED توفر الإضاءة اللازمة بكفاءة عالية.
كفاءة المياه	يستخدم برج خليفة نظاماً لجمع المياه المتكاثفة من وحدات التكييف وإعادة استخدامها في الري والتنظيف. يتم توفير المياه الساخنة بواسطة الطاقة الشمسية ويتم ترشيد استهلاك المياه في الحمامات والمطابخ. يتم استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة لري الحدائق المحيطة بالبرج.
جودة البيئة الداخلية	يتم توفير جودة عالية للهواء والضوء والصوت في البيئة الداخلية لبرج خليفة. يتم تنقية الهواء وترطيبه وتنظيم درجة حرارته ورطوبته بشكل مثالي. يتم استخدام الزجاج المقاوم للحرارة والأنظمة التلقائية للتحكم في الإضاءة الطبيعية والاصطناعية. يتم تقليل الضوضاء والاهتزازات بواسطة العوازل الصوتية والمطاطية.
مواد البناء	يتم استخدام مواد بناء صديقة للبيئة ومتينة في برج خليفة. يتم استخدام الخرسانة المسلحة والفولاذ المقاوم للصدأ والألومنيوم والزجاج في الهيكل الرئيسي والواجهة

	الخارجية. يتم استخدام الخشب والرخام والحجر والنحاس والنسيج في التشطيبات الداخلية. يتم اختيار المواد بناء على معايير الجودة والجمال والكفاءة.
إدارة النفايات	يتم إدارة النفايات بشكل فعال في برج خليفة. يتم فرز النفايات في مصدرها ونقلها بواسطة أنابيب خاصة إلى مركز تجميع مركزي. يتم إعادة تدوير النفايات القابلة للتدوير والتخلص من النفايات الأخرى بطرق آمنة ومسؤولة. يتم تشجيع السكان والزوار على الحد من إنتاج النفايات واستخدام الموارد بحكمة.
النقل المستدام	يتم توفير خيارات متعددة للنقل المستدام في برج خليفة. يتم توصيل البرج بشبكة المترو والحافلات والترام والتاكسي. يتم تشجيع استخدام الدراجات الهوائية والكهربائية والمشي لمسافات قصيرة. يتم تقديم خدمات النقل المشترك والذكي للسكان والموظفين. يتم توفير مواقف للسيارات الهجينة والكهربائية ومحطات الشحن.
التصميم الحضري	يتم تصميم برج خليفة بشكل يتناسب مع البيئة الحضرية المحيطة به. يتم الاستفادة من الموقع الاستراتيجي في وسط مدينة دبي والمناظر الطبيعية الخلابة. يتم توفير مساحات عامة وخضراء ومرافق ترفيهية وثقافية وتجارية للسكان والزوار. يتم تعزيز الهوية الثقافية والتاريخية للمنطقة بواسطة العناصر المعمارية والفنية.

اختبارات معملية أو ميدانية لمواد النانو تكنولوجي في المبنى

بعض الاختبارات لمواد النانو تكنولوجي في المبنى وهذه بعض منها

- **الزجاج النانوي:** تم إجراء اختبارات معملية على الزجاج النانوي لقياس خصائصه البصرية والحرارية والميكانيكية والكيميائية. مثلاً، تم اختبار قدرة الزجاج على تحمل الحرارة العالية والانكماش والتمدد والتأثيرات الحرارية المتكررة. كما تم اختبار مقاومة الزجاج للخدش والتآكل والتلوث والبكتيريا والفطريات. وتم اختبار كفاءة الزجاج في توفير الطاقة وتقليل الانعكاسات والتحكم في الإضاءة والحرارة. تم إجراء اختبارات ميدانية على الزجاج النانوي لمراقبة سلوكه في الظروف البيئية الحقيقية وتقييم أدائه على المدى الطويل. مثلاً، تم تركيب الزجاج النانوي على بعض الواجهات الخارجية للبرج ومقارنته مع الزجاج التقليدي فيما يتعلق بالمتانة والجمالية والكفاءة.
- **الخرسانة العالية الأداء:** تم إجراء اختبارات معملية على الخرسانة العالية الأداء لقياس خصائصها الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية. مثلاً، تم اختبار قوة الضغط والشد والانحناء والقص والانكماش والتشقق والتآكل للخرسانة. كما تم اختبار مقاومة الخرسانة للحرارة والرطوبة والملوحة والمواد الكيميائية والميكروبات. وتم اختبار كفاءة الخرسانة في تقليل استهلاك الأسمنت والماء والطاقة في عملية الإنتاج. تم إجراء اختبارات

ميدانية على الخرسانة العالية الأداء لمراقبة سلوكها في الظروف البيئية الحقيقية وتقييم أدائها على المدى الطويل. مثلاً، تم صب الخرسانة في الليل لتجنب الحرارة الشديدة في دبي وتم استخدام مضخات خاصة لنقل الخرسانة إلى الارتفاعات العالية.

- **الطلاء النانوي:** تم إجراء اختبارات معملية على الطلاء النانوي لقياس خصائصه البصرية والميكانيكية والكيميائية. مثلاً، تم اختبار قدرة الطلاء على تحمل الحرارة والرطوبة والأشعة فوق البنفسجية والتأثيرات الميكانيكية. كما تم اختبار مقاومة الطلاء للخدش والبقع والميكروبات والتآكل. وتم اختبار كفاءة الطلاء في تحسين اللمعان والجمالية والصحة والصيانة. تم إجراء اختبارات ميدانية على الطلاء النانوي لمراقبة سلوكه في الظروف البيئية الحقيقية وتقييم أدائه على المدى الطويل. مثلاً، تم تغطية الهيكل الفولاذي للبرج بالطلاء النانوي ومقارنته مع الطلاء التقليدي فيما يتعلق بالمتانة والجمالية والكفاءة.

٢)مبني The Edge في امستردام – هولندا

وصف المبنى

مبنى The Edge في أمستردام هو مبنى مكتبي ذكي ومستدام، يقع في حي زويداس التجاري. تم تصميمه من قبل شركة PLP Architecture وتم افتتاحه في عام ٢٠١٥ .يستأجر معظم المساحات في المبنى شركة Deloitte، وهي شركة مالية عالمية.

مبنى The Edge يتميز بمزيج من الأنظمة والتقنيات لكفاءة الطاقة واستخدامها وتوليدها. يعتمد المبنى في تصميمه على حركة الشمس، حيث يحتوي على ألواح شمسية تغطي بالكامل واجهته الجنوبية والسطح، من أجل توليد ما يكفي من الكهرباء لتلبية احتياجات المبنى. كما يتم تخزين المياه الساخنة في الصيف والمياه الباردة في الشتاء في آبار معزولة بعمق ٤٠٠ قدم، يتم استرجاعها واستخدامها للتدفئة أو التبريد .حتى مياه الأمطار يتم تخزينها واستخدامها في المرافق الصحية وسقاية حدائق المبنى.

مبنى The Edge هو أيضا مبنى ذكي، يتيح للموظفين والزوار التحكم في بيئتهم من خلال تطبيق على الهواتف الذكية. يتعرف المبنى على الأشخاص من خلال رقم لوحة السيارة أو الهاتف الذكي، ويخصص لهم مكاناً للعمل أو الاجتماع أو الاسترخاء، بناءً على جدول أعمالهم وتفضيلاتهم. كما يتغير الإضاءة ودرجة الحرارة حيثما يجلس الموظف، بعد أن يتم تخزين تفضيلاته على التطبيق .كما يمكن للموظفين ربط هواتفهم الذكية أو حواسيبهم المحمولة بأي من شاشات العرض الكبيرة بمجرد ملامسة الجهاز للشاشة.

مبنى The Edge حاز على شهادة أكثر مبنى مكتبي مستدام في العالم من خلالBREEAM ، والتي منحته أعلى درجة للاستدامة: ٩٨,٤ .%هو مبنى بقيمة صفرية في صافي استهلاك الطاقة، ينتج ١٠٢٪ من طاقته .2كما يوفر للموظفين بيئة عمل مريحة ومنتجة وممتعة.

مواد النانو تكنولوجي المستخدمة في المبنى

مبنى The Edge في أمستردام يستخدم مواد النانو تكنولوجي في عدة تطبيقات، من أجل تحسين كفاءة الطاقة والاستدامة والراحة. بعض هذه التطبيقات هي:

الألواح الشمسية	تستخدم الألواح الشمسية التي تغطي واجهة وسطح المبنى مواد النانو تكنولوجي لزيادة كفاءة تحويل الضوء إلى كهرباء .تستخدم هذه الألواح طبقة رقيقة من النانو أنبوبات الكربون، وهي أنابيب مصنوعة من ذرات الكربون ترتبط بشكل سداسي، وتتميز بموصلية عالية وقوة عالية ومرونة عالية.
الإضاءة	تستخدم الإضاءة في المبنى مواد النانو تكنولوجي لتوفير إضاءة موفرة للطاقة ومريحة للعين. تستخدم اللوحات الضوئية LED في السقف مواد النانو تكنولوجي لتوليد ألوان مختلفة من الضوء، وتتكيف مع الإضاءة الطبيعية والمزاج والنشاط .تستخدم هذه اللوحات طبقة رقيقة من النانو كريستالات، وهي جزيئات صلبة تنبعث منها ضوء مختلف الألوان عند تعرضها للضوء أو الكهرباء.
الطلاء	يستخدم الطلاء في المبنى مواد النانو تكنولوجي لتحسين الجودة والمتانة والنظافة. يستخدم الطلاء طبقة رقيقة من النانو جسيمات، وهي جزيئات صغيرة جدا تتفاعل مع الضوء والهواء والماء. هذه الجزيئات تمنح الطلاء خصائص مضادة للبكتيريا ومضادة للأوساخ ومضادة للخدش ومضادة للتآكل.

التصميم والهندسة

مبنى The Edge يتميز بتصميم مبتكر وهندسة متقدمة، تهدف إلى تحقيق أعلى مستويات الكفاءة والاستدامة والراحة. بعض مميزات التصميم والهندسة هي:

- **الشكل المثلث:** يتبع المبنى شكل مثلث مائل، يتناسب مع حركة الشمس ويسمح بدخول أقصى كمية من الضوء الطبيعي إلى المساحات الداخلية .كما يخلق الشكل المثلث مساحات متنوعة ومرنة للعمل والاجتماع والاسترخاء.

- **الواجهة الزجاجية:** تغطي الواجهة الزجاجية كامل المبنى، وتستخدم نظاماً ذكياً للتحكم في الإضاءة والحرارة. تحتوي الواجهة على ألواح شمسية تولد الكهرباء، وتستخدم طبقة رقيقة من النانو أنبوبات الكربون لزيادة كفاءة التحويل .كما تستخدم الواجهة طبقة رقيقة من النانو جسيمات لتحسين الجودة والمتانة والنظافة.

- **السقف الزجاجي:** يحتوي المبنى على سقف زجاجي مائل، يمتد من الواجهة الجنوبية إلى الشمالية، ويخلق فراغاً مركزياً يربط بين جميع الطوابق. يسمح السقف الزجاجي بدخول الضوء الطبيعي والهواء النقي إلى المبنى، ويستخدم نظاماً ذكياً للتهوية والتبريد .كما يستخدم السقف الزجاجي نظاماً ذكياً للإضاءة، يستخدم طبقة رقيقة من النانو كريستالات لتوليد ألوان مختلفة من الضوء.

- **الأتريوم:** يشكل الأتريوم القلب الاجتماعي للمبنى، ويوفر مساحة مفتوحة ومشرقة ومريحة للموظفين والزوار. يحتوي الأتريوم على مقاهي ومطاعم ومتاجر ومناطق للترفيه والتعلم .كما يحتوي الأتريوم على نظام ذكي للتحكم في البيئة، يتكيف مع الإضاءة والحرارة والرطوبة والصوت والرائحة.

- **التطبيق الذكي:** يستخدم المبنى تطبيقاً ذكياً على الهواتف الذكية، يتيح للموظفين والزوار التحكم في بيئتهم من خلال الاتصال بالمبنى وأنظمته. يتعرف المبنى على الأشخاص من خلال رقم لوحة السيارة أو الهاتف الذكي، ويخصص لهم مكاناً للعمل أو الاجتماع أو الاسترخاء، بناءً على جدول أعمالهم وتفضيلاتهم. كما يتغير الإضاءة ودرجة الحرارة حيثما يجلس الموظف، بعد أن يتم تخزين تفضيلاته على التطبيق .كما يمكن للموظفين ربط هواتفهم الذكية أو حواسيبهم المحمولة بأي من شاشات العرض الكبيرة بمجرد ملامسة الجهاز للشاشة.

الاستخدامات

بعض الاستخدامات لهذا المبنى هي:

- **مقر لشركة Deloitte :**تستأجر شركةDeloitte ، وهي شركة مالية عالمية، معظم المساحات في المبنى، وتستخدمه كمقر لعملياتها في هولندا .تستفيد الشركة من التصميم والهندسة والتطبيق الذكي للمبنى، لتحسين كفاءة وإبداع ورضا موظفيها.
- **مركز للابتكار:** يعتبر مبنى The Edge مركزاً للابتكار والتقدم في مجال البناء الذكي والمستدام .يستقبل المبنى باستمرار الزوار والمهتمين والباحثين والطلاب، ليتعرفوا على التكنولوجيا والحلول المستخدمة في المبنى، وليستلهموا منها أفكاراً جديدة ومشاريعاً مستقبلية.

- **نموذج للمباني الخضراء:** يعتبر مبنى The Edge نموذجاً للمباني الخضراء والمسؤولة اجتماعياً وبيئياً .يحاول المبنى تقليل الآثار السلبية على البيئة والمجتمع، من خلال توليد طاقته الخاصة واستخدامها بكفاءة، وتوفير مياه نظيفة وهواء نقي، وتشجيع المواصلات العامة والدراجات الهوائية، ودعم المبادرات الخيرية والتعليمية.

التأثير

هذا المبنى له تأثير كبير على مجالات مختلفة، مثل البيئة والاقتصاد والمجتمع والتعليم والتكنولوجيا. بعض النقاط الرئيسية عن التأثير لهذا المبنى هي:

- **البيئة:** مبنى The Edge يساهم في حماية البيئة والحد من التلوث والاحتباس الحراري، من خلال توليد طاقته الخاصة من الألواح الشمسية، واستخدامها بكفاءة عالية، وتخزينها واسترجاعها في آبار معزولة، واستخدام مياه الأمطار في المرافق الصحية وسقاية الحدائق .حصل المبنى على شهادة أكثر مبنى مكتبي مستدام في العالم من خلالBREEAM ، والتي منحته أعلى درجة للاستدامة: ٩٨,٤.[12]%

- **الاقتصاد:** مبنى The Edge يعزز الاقتصاد المحلي والعالمي، من خلال توفير مساحات عمل مبتكرة ومنتجة ومرنة لشركة Deloitte وشركاءها وعملائها. يساعد المبنى على خلق فرص عمل وتجارة واستثمار في مجالات مختلفة، مثل الطاقة والتكنولوجيا والمالية والاستشارات .كما يساهم المبنى في توفير الموارد وتقليل التكاليف وزيادة العائدات.[34]

- **المجتمع:** مبنى The Edge يحسن جودة الحياة والعمل للموظفين والزوار والسكان المحيطين، من خلال توفير بيئة صحية ومريحة وممتعة. يحتوي المبنى على مرافق وخدمات متنوعة، مثل مقاهي ومطاعم ومتاجر ومناطق للترفيه والتعليم والرياضة .كما يحتوي المبنى على نظام ذكي للتحكم في البيئة، يتكيف مع الإضاءة والحرارة والرطوبة والصوت والرائحة.[2]

- **التعليم:** مبنى The Edge يدعم التعليم والبحث والابتكار في مجال البناء الذكي والمستدام. يستقبل المبنى باستمرار الزوار والمهتمين والباحثين والطلاب، ليتعرفوا على التكنولوجيا والحلول المستخدمة في المبنى، وليستلهموا منها أفكاراً جديدة ومشاريعاً مستقبلية.

- **التكنولوجيا:** مبنى The Edge يمثل رائداً في استخدام التكنولوجيا الحديثة والمتطورة في مجال البناء والإدارة والاتصال. يستخدم المبنى مزيجاً من الأنظمة والتقنيات، مثل الألواح الشمسية والنانو تكنولوجي والمستشعرات والتطبيق الذكي والإنترنت العالمي، لتحقيق أعلى مستويات الكفاءة والاستدامة والراحة.

التحديات

هناك العديد من التحديات التي تواجهه. بعض هذه التحديات هي:

- **التكلفة:** بناء مبنى The Edge كلف حوالي ٢٠٠ مليون يورو، وهو مبلغ كبير مقارنة بالمباني العادية. كما تتطلب الأنظمة والتقنيات المستخدمة في المبنى صيانة وتحديث مستمر، مما يزيد من التكلفة الإجمالية .لذلك، يجب أن يكون هناك عائد استثمار مرتفع لتبرير هذه التكلفة.
- **الأمن:** مبنى The Edge يعتمد بشكل كبير على الاتصال بالإنترنت والتطبيق الذكي للتحكم في البيئة والخدمات. هذا يجعل المبنى عرضة للهجمات الإلكترونية والقرصنة والتجسس .لذلك، يجب أن يكون هناك نظام أمني قوي وموثوق لحماية المبنى وبياناته ومستخدميه.
- **التغيير:** مبنى The Edge يمثل ثورة في مفهوم المباني المكتبية وطريقة العمل. هذا يتطلب تغييراً في الثقافة والعادات والتوقعات للموظفين والزوار والمجتمع. ليس كل الناس مستعدين أو متحمسين لهذا التغيير، وقد يواجهون صعوبات أو مقاومة في التكيف معه .لذلك، يجب أن يكون هناك توعية وتدريب وتشجيع للناس لقبول واستخدام المبنى بشكل فعال.

تقييم تأثير مواد النانو تكنولوجي على استدامة المبنى

كفاءة الطاقة	مبنى The Edge يستخدم مواد النانو تكنولوجي في الواجهة الزجاجية والسقف الزجاجي لتحسين كفاءة توليد واستخدام الطاقة الشمسية .تحتوي الواجهة على ألواح شمسية تولد الكهرباء، وتستخدم طبقة رقيقة من النانو أنبوبات الكربون لزيادة كفاءة التحويل .كما تستخدم الواجهة طبقة رقيقة من النانو جسيمات لتحسين الجودة والمتانة والنظافة.السقف الزجاجي يسمح بدخول الضوء الطبيعي والهواء النقي إلى المبنى، ويستخدم نظاماً ذكياً للتهوية والتبريد .كما يستخدم السقف الزجاجي نظاماً ذكياً للإضاءة، يستخدم طبقة رقيقة من النانو كريستالات لتوليد ألوان مختلفة من الضوء .هذه المواد تساعد على تقليل استهلاك الطاقة الكهربائية وزيادة الاستفادة من الطاقة النظيفة والمتجددة.

كفاءة المياه	مبنى The Edge يستخدم مواد النانو تكنولوجي في توفير وتنقية وإعادة استخدام المياه .يستخدم المبنى مياه الأمطار في المرافق الصحية وسقاية الحدائق، ويستخدم نظاماً ذكياً للتحكم في استهلاك المياه .5كما يستخدم المبنى نظاماً لتنقية المياه باستخدام النانو أغشية والنانو مرشحات، التي تزيل الشوائب والملوثات والميكروبات. هذه المواد تساعد على تقليل استهلاك المياه العذبة وزيادة الاستفادة من المياه المتاحة والمعالجة.
جودة البيئة الداخلية	مبنى The Edge يستخدم مواد النانو تكنولوجي في تحسين جودة البيئة الداخلية للمبنى، من حيث الإضاءة والحرارة والرطوبة والصوت والرائحة. يستخدم المبنى نظاماً ذكياً للتحكم في البيئة، يتكيف مع الإضاءة والحرارة والرطوبة والصوت والرائحة، بناءً على جدول أعمال وتفضيلات الموظفين والزوار. كما يستخدم المبنى مواد النانو تكنولوجي في تحسين خصائص المواد الداخلية، مثل الطلاءات والأقمشة والأثاث، التي تمتلك خصائص مضادة للبكتيريا والفطريات والروائح والبقع. هذه المواد تساعد على تحسين راحة وصحة وإنتاجية الموظفين والزوار.
مواد البناء	مبنى The Edge يستخدم مواد النانو تكنولوجي في تحسين خصائص مواد البناء المستخدمة في الهيكل والواجهة والسقف والأرضيات والجدران. يستخدم المبنى مواد امتصاص الحرارة وإنتاج الطاقة مثل الخشب والخرسانة. كما يستخدم المبنى مواد مقاومة للحريق والصدأ والتآكل والتشقق والانكماش والانبعاج. هذه المواد تساعد على تحسين متانة ومقاومة وجمالية المبنى.
إدارة النفايات	مبنى The Edge يستخدم مواد النانو تكنولوجي في تقليل وتدوير وتحويل النفايات الناتجة من المبنى. يستخدم المبنى نظاماً ذكياً لفرز وتخزين ونقل النفايات. كما يستخدم المبنى نظاماً لتحويل النفايات العضوية إلى غاز طبيعي وسماد. هذه المواد تساعد على تقليل الآثار السلبية على البيئة والمجتمع.
النقل المستدام	مبنى The Edge يستخدم مواد النانو تكنولوجي في تشجيع وتسهيل النقل المستدام للموظفين والزوار. يستخدم المبنى نظاماً ذكياً للتعرف على الأشخاص من خلال رقم لوحة السيارة أو الهاتف الذكي، ويخصص لهم مكاناً للانتظار أو الشحن أو الاستئجار. كما يستخدم المبنى نظاماً لتوفير الدراجات الهوائية والكهربائية والمشاركة والمشي. هذه المواد تساعد على تقليل استهلاك الوقود والانبعاثات والازدحام.

التصميم الحضري	مبنى The Edge يستخدم مواد النانو تكنولوجي في تحسين التصميم الحضري للمبنى والمنطقة المحيطة. يستخدم المبنى شكل مثلث مائل، يتناسب مع حركة الشمس ويسمح بدخول أقصى كمية من الضوء الطبيعي إلى المساحات الداخلية. كما يخلق الشكل المثلث مساحات متنوعة ومرنة للعمل والاجتماع والاسترخاء. المبنى يتوافق مع البيئة المحيطة، ويحترم الطبيعة والتاريخ والثقافة. المبنى يضم حدائق ومساحات خضراء وممرات مائية، تزيد من الجمال والتنوع والحيوية. المبنى يشجع على التفاعل والتواصل والتعاون بين الناس، من خلال توفير مرافق وخدمات متنوعة، مثل مقاهي ومطاعم ومتاجر ومناطق للترفيه والتعليم والرياضة.

٣)مبني (Bullitt Center) في واشنطن – الولايات المتحدة الأمريكية

مبني(Bullitt Center) من الداخل

مبني(Bullitt Center) من الخارج

وصف المبنى

مبنى (Bullitt Center) هو مبنى تجاري مكون من ستة طوابق ويقع في مدينة سياتل بالولايات المتحدة الأمريكية. يُعتبر هذا المبنى أخضر جداً لأنه يستخدم الطاقة الشمسية ويجمع المياه المطرية ويحول النفايات البشرية إلى سماد .تم افتتاحه في عام ٢٠١٣ وحصل على شهادة "المبنى الحي" من معهد المستقبل الحي في عام ٢٠١٥

هذه بعض المزايا والمواصفات الرئيسية لهذا المبنى:

- **الطاقة الشمسية** :يحتوي المبنى على ٥٧٥ لوحة شمسية على سطحه، تنتج طاقة كهربائية أكثر من احتياجات المبنى بنسبة ٣٠٪ في عام ٢٠١٦. يتصل المبنى بشبكة الكهرباء العامة ويبيع الفائض من الطاقة لشركة الكهرباء .يستهلك المبنى حوالي ١٥٪ فقط من طاقة مبنى تجاري عادي من حجمه

- **المياه المطرية** :يجمع المبنى المياه المطرية في خزان تحت الأرض، وينقيها بواسطة نظام تنقية متطور، ويستخدمها لجميع الأغراض داخل المبنى، بما في ذلك الشرب والغسيل والتنظيف والري .يستخدم المبنى حوالي ٦٠٪ فقط من مياه مبنى تجاري عادي من حجمه

- **النفايات البشرية** :يحتوي المبنى على نظام مراحيض متطور، يستخدم كمية قليلة من المياه ويحول النفايات البشرية إلى سماد عضوي. يتم نقل السماد إلى موقع خارجي حيث يتم استخدامه لتحسين التربة .يتم توفير المياه اللازمة للمراحيض من مياه الغسيل المعاد تدويرها

- **التهوية الطبيعية** :يحتوي المبنى على نظام تهوية طبيعي، يستخدم الهواء الخارجي لتبريد وتدفئة المبنى. يتم فتح وإغلاق النوافذ تلقائياً بواسطة حساسات تقيس درجة الحرارة والرطوبة وجودة الهواء .يتم توفير الهواء النقي للمستخدمين من خلال فتحات في الأرضيات والسقوف

- **الإضاءة الطبيعية** :يحتوي المبنى على نظام إضاءة طبيعي، يستخدم الضوء الشمسي لإنارة المبنى. يتم توزيع الضوء بواسطة مرايا وألواح عاكسة. يتم تعديل الإضاءة الكهربائية بواسطة حساسات تقيس مستوى الإضاءة الطبيعية .يتم توفير الإضاءة الكهربائية من خلال مصابيح LED عالية الكفاءة

- **المواد الصديقة للبيئة** :يحتوي المبنى على مواد بناء صديقة للبيئة، لا تحتوي على مواد سامة أو ملوثة. يتم استخدام الخشب المعتمد من قبل مجلس الإدارة الغابات والخرسانة المعاد تدويرها والزجاج المعزول والمواد العازلة الطبيعية .يتم تقليل النفايات الناتجة عن عملية البناء بواسطة إعادة التدوير والتبرع

التصميم والهندسة

تصميم وهندسة مبنى (Bullitt Center) هما نتيجة لجهود مشتركة بين مؤسسة بوليت وشركة ميلر هول للهندسة المعمارية وشركة بي أي إي للهندسة وشركة دي سي آي للهندسة الإنشائية وشركة شوكارت للمقاولات وغيرها من الشركاء والمستشارين

هدف المشروع هو إنشاء أخضر تجاري في العالم، يلبي متطلبات تحدي المبنى الحي من معهد المستقبل الحي .هذا التحدي يضع معايير صارمة للمباني في مجالات الطاقة والمياه والمواد والصحة والجمال والعدالة والتعليم لتحقيق هذا الهدف، تم تطبيق مبادئ التصميم المستدام والابتكار والتكامل والتعاون في جميع مراحل المشروع، من الفكرة إلى التنفيذ إلى التشغيل .تم استخدام أحدث التقنيات والمواد والنظم لتحسين أداء وجودة واستدامة المبنى

بعض العناصر الرئيسية لتصميم وهندسة مبنى (Bullitt Center) هي:

- **الإطار الخشبي** :تم استخدام الخشب كمادة بناء رئيسية للمبنى، لأنه مورد متجدد ومحلي وصديق للبيئة. تم اختيار الخشب المعتمد من قبل مجلس الإدارة الغابات، والذي يضمن أن الغابات التي تم قطعها تتم إدارتها بشكل مسؤول ومستدام .تم استخدام الخشب الصلب والخشب الرقائقي والخشب اللاميني لإنشاء إطار قوي وجميل ومخزن للكربون
- **الطاقة الشمسية** :يحتوي المبنى على ٥٧٥ لوحة شمسية على سطحه، تنتج طاقة كهربائية أكثر من احتياجات المبنى بنسبة ٣٠٪ في عام ٢٠١٦. يتصل المبنى بشبكة الكهرباء العامة ويبيع الفائض من الطاقة لشركة الكهرباء .يستهلك المبنى حوالي ١٥٪ فقط من طاقة مبنى تجاري عادي من حجمه
- **المياه المطرية** :يجمع المبنى المياه المطرية في خزان تحت الأرض، وينقيها بواسطة نظام تنقية متطور، ويستخدمها لجميع الأغراض داخل المبنى، بما في ذلك الشرب والغسيل والتنظيف والري .يستخدم المبنى حوالي ٦٠٪ فقط من مياه مبنى تجاري عادي من حجمه
- **النفايات البشرية** :يحتوي المبنى على نظام مراحيض متطور، يستخدم كمية قليلة من المياه ويحول النفايات البشرية إلى سماد عضوي. يتم نقل السماد إلى موقع خارجي حيث يتم استخدامه لتحسين التربة .يتم توفير المياه اللازمة للمراحيض من مياه الغسيل المعاد تدويرها
- **التهوية الطبيعية** :يحتوي المبنى على نظام تهوية طبيعي، يستخدم الهواء الخارجي لتبريد وتدفئة المبنى. يتم فتح وإغلاق النوافذ تلقائياً بواسطة حساسات تقيس درجة الحرارة والرطوبة وجودة الهواء .يتم توفير الهواء النقي للمستخدمين من خلال فتحات في الأرضيات والسقوف
- **الإضاءة الطبيعية** :يحتوي المبنى على نظام إضاءة طبيعي، يستخدم الضوء الشمسي لإنارة المبنى. يتم توزيع الضوء بواسطة مرايا وألواح عاكسة. يتم تعديل الإضاءة الكهربائية بواسطة حساسات تقيس مستوى الإضاءة الطبيعية .يتم توفير الإضاءة الكهربائية من خلال مصابيح LED عالية الكفاءة

- **المواد الصديقة للبيئة** :يحتوي المبنى على مواد بناء صديقة للبيئة، لا تحتوي على مواد سامة أو ملوثة. يتم استخدام الخشب المعتمد من قبل مجلس الإدارة الغابات والخرسانة المعاد تدويرها والزجاج المعزول والمواد العازلة الطبيعية .يتم تقليل النفايات الناتجة عن عملية البناء بواسطة إعادة التدوير والتبرع

الاستخدامات

الاستخدامات لمبنى (Bullitt Center) هي متنوعة ومتعددة، فهو يضم مكاتب تجارية ومرافق تعليمية ومعارض تفاعلية ومساحات عامة

- **المكاتب التجارية** :يستضيف المبنى عدة شركات ومؤسسات تعمل في مجالات مختلفة، مثل البيئة والتكنولوجيا والتصميم والاستشارات والتعليم. بعض هذه الشركات والمؤسسات هي مؤسسة بوليت وشركة ميلر هول وشركة بي أي إي وشركة شوكارت وجامعة واشنطن وغيرها. تتميز هذه المكاتب بأنها مريحة ومشرقة وموفرة للطاقة والمياه والمواد .كما أنها تشجع الموظفين على اتباع سلوكيات صديقة للبيئة، مثل استخدام الدراجات والمواصلات العامة والمشي.
- **المرافق التعليمية** :يحتوي المبنى على مركز تعليمي يقدم برامج وورش عمل وجولات للطلاب والمعلمين والمهنيين والجمهور العام. يهدف هذا المركز إلى نشر الوعي والمعرفة بالمبادئ والممارسات المستدامة في مجال البناء والطاقة والمياه والمواد والصحة والجمال والعدالة والتعليم .كما يهدف إلى تحفيز الابتكار والتغيير في هذه المجالات.
- **المعارض التفاعلية** :يحتوي المبنى على معارض تفاعلية تعرض معلومات وبيانات وقصص عن تصميم وهندسة وأداء واستدامة المبنى. تستخدم هذه المعارض وسائل مرئية وسمعية ولمسية لجذب وإشراك الزوار .تهدف هذه المعارض إلى إظهار كيف يمكن للمباني أن تكون حية ومتكاملة مع البيئة12
- **المساحات العامة** :يحتوي المبنى على مساحات عامة مفتوحة ومتاحة للجميع، مثل الساحة الأمامية والروفتوب والمدخل واللوبي. تعمل هذه المساحات كأماكن للتجمع والتواصل والتعاون والترفيه والاسترخاء .تتميز هذه المساحات بأنها مزروعة بالنباتات المحلية والموسمية والمقاومة للجفاف، والتي تساهم في تحسين جودة الهواء والمناخ والمنظر.

التأثير

التأثير لمبنى (Bullitt Center) هو تأثير إيجابي وملهم على البيئة والمجتمع والاقتصاد .يعد هذا المبنى نموذجاً للمباني الحية، التي تعيش في توازن مع الطبيعة وتحترم الحاجات الحالية والمستقبلية للبشرية

بعض جوانب التأثير لمبنى (Bullitt Center) هي:

- **التأثير البيئي** :يقلل المبنى من الانبعاثات الضارة والاستهلاك المفرط للموارد الطبيعية، ويساهم في حماية وتحسين البيئة المحيطة. ينتج المبنى طاقة نظيفة ومتجددة من الشمس، ويجمع وينقي ويعيد استخدام المياه المطرية، ويحول النفايات البشرية إلى سماد عضوي، ويستخدم مواد بناء صديقة للبيئة وصحية. يتم تصميم المبنى لتقليل الحاجة إلى التدفئة والتبريد والإضاءة الاصطناعية، ولتوفير الراحة والصحة للمستخدمين .يتم تشجيع المستخدمين على اتباع سلوكيات مستدامة، مثل التنقل البديل والفرز والتوعية
- **التأثير المجتمعي** :يعزز المبنى من الوعي والمعرفة والمسؤولية بين المستخدمين والزوار والجمهور العام، بشأن القضايا البيئية والاجتماعية والاقتصادية. يقدم المبنى برامج وورش عمل وجولات تعليمية وتفاعلية، تهدف إلى نشر المبادئ والممارسات المستدامة في مجال البناء والطاقة والمياه والمواد والصحة والجمال والعدالة والتعليم. يقدم المبنى أيضاً مساحات عامة مفتوحة ومتاحة للجميع، تعمل كأماكن للتجمع والتواصل والتعاون والترفيه والاسترخاء .يساهم المبنى في تعزيز الحياة العمرانية والثقافية والاجتماعية في المنطقة
- **التأثير الاقتصادي** :يثبت المبنى أنه يمكن إنشاء مبنى تجاري مستدام ومربح ومنافس في السوق. يوفر المبنى تكاليف تشغيل وصيانة منخفضة، ويزيد من قيمة العقار والإيجارات. يجذب المبنى شركات ومؤسسات رائدة ومبتكرة في مجالاتها، ويخلق فرص عمل وتعليم وبحث جديدة. يحفز المبنى الابتكار والتغيير في قطاع البناء والطاقة والمياه والمواد .يعمل المبنى كنموذج ومصدر إلهام للمباني الأخرى في العالم

التحديات

التحديات لمبنى (Bullitt Center) هي التحديات التي واجهت فريق المشروع في تصميم وإنشاء وتشغيل مبنى يلبي معايير تحدي المبنى الحي، وهو أصعب تحدي بيئي في العالم للمباني

بعض هذه التحديات هي:

- **التحدي القانوني** :كان على فريق المشروع التعامل مع القوانين واللوائح والممارسات الحالية، التي لم تكن مصممة لمبنى مثل .(Bullitt Center) على سبيل المثال، كان على فريق المشروع الحصول على تصاريح خاصة لجمع وتنقية واستخدام المياه المطرية كمياه شرب، ولإنشاء نظام مراحيض متطور لتحويل النفايات البشرية إلى سماد .كما كان على فريق المشروع التفاوض مع شركة الكهرباء لبيع الفائض من الطاقة الشمسية للشبكة العامة
- **التحدي التقني** :كان على فريق المشروع استخدام أحدث التقنيات والمواد والنظم لتحقيق أعلى مستويات الكفاءة والاستدامة في المبنى. على سبيل المثال، كان على فريق المشروع تركيب ٥٧٥ لوحة شمسية على سطح المبنى، وتصميم نظام تنقية متطور للمياه المطرية، واختيار مواد بناء صديقة للبيئة وخالية من المواد السامة، وتطوير نظام تهوية طبيعي وإضاءة طبيعية .كما كان على فريق المشروع مراقبة وتحليل أداء المبنى باستخدام أجهزة قياس وبرامج متطورة
- **التحدي البشري** :كان على فريق المشروع التعاون والتنسيق مع جميع الأطراف المعنية في المشروع، مثل المالك والمهندس المعماري والمهندسين والمقاولين والمستشارين والمستأجرين والمستخدمين والزوار. كان على فريق المشروع توفير التوجيه والتدريب والتوعية لهؤلاء الأطراف، لضمان فهمهم ومشاركتهم والتزامهم بالمبادئ والممارسات المستدامة في المبنى .كما كان على فريق المشروع التعامل مع التحديات والمشاكل والتغييرات التي طرأت على مدار المشروع.

مواد النانو تكنولوجي المستخدمة في المبنى

مبنى (Bullitt Center) هو مبنى يستخدم مواد النانو تكنولوجي في بعض جوانبه، لتحسين أدائه واستدامته وجماليته. بعض هذه الجوانب هي:

- **الطلاءات النانوية** :يستخدم المبنى طلاءات تحتوي على جسيمات نانوية تعطيها خصائص مميزة، مثل مقاومة البقع والخدوش والتآكل والحرارة والأشعة فوق البنفسجية والبكتيريا والفطريات .كما أنها تساعد على توفير الطاقة والمياه والمواد الكيميائية

- **الزجاج النانوي** :يستخدم المبنى زجاجاً يحتوي على جسيمات نانوية تمنحه خصائص متقدمة، مثل الشفافية والعاكسية والانعكاسية والتغير اللوني والتحكم في الضوء والحرارة والصوت .كما أنه يزيد من الراحة والأمان والجمالية للمبنى
- **المواد العازلة النانوية** :يستخدم المبنى مواد تحتوي على جسيمات نانوية تحسن من قدرتها على عزل الحرارة والصوت والكهرباء والمغناطيسية. بعض هذه المواد هي الأيروجل والفوم النانوي والألياف النانوية .هذه المواد تساعد على تقليل استهلاك الطاقة والانبعاثات والتكاليف
- **الخشب النانوي** :هو خشب تم تعديله على مستوى النانو ليصبح أقوى وأخف وأكثر مقاومة للحريق والماء والحشرات. يتم إنتاجه عن طريق إزالة اللجنين والهيمي سيليلوز من الخشب، وتغليفه بطبقة نانوية من السيليكا أو السيليكون .يمكن استخدام الخشب النانوي في الأثاث والديكور والتشييد والعزل
- **الخرسانة الذاتية الشفاء** :هي خرسانة تحتوي على جسيمات نانوية تمكنها من إصلاح التشققات والتسربات فيها تلقائياً. يمكن أن تكون هذه الجسيمات من نوع البكتيريا أو الكالسيوم أو البوليمرات أو الألياف .يمكن استخدام الخرسانة الذاتية الشفاء في الطرق والجسور والأنفاق والسدود والمباني
- **الطلاء الذكي** :هو طلاء يحتوي على جسيمات نانوية تمكنه من تغيير خصائصه بناءً على الظروف البيئية أو الإشارات الكهربائية. يمكن أن يكون هذا الطلاء من نوع الكروماتيك أو الفوتوكروماتيك أو الثيرموكروماتيك أو الإلكتروكروماتيك .يمكن استخدام الطلاء الذكي في السيارات والطائرات والمباني والأجهزة الإلكترونية

تقييم تأثير مواد النانو تكنولوجي على استدامة المبنى

كفاءة الطاقة	تساهم مواد النانو في تحسين كفاءة الطاقة في المبنى، بواسطة توليد الطاقة الشمسية وتقليل الحاجة إلى الطاقة الاصطناعية. تستخدم المواد النانوية في اللوحات الشمسية والزجاج والطلاء والعزل والإضاءة. تمكن هذه المواد من زيادة كفاءة تحويل الضوء إلى كهرباء وتعزيز الخصائص العاكسة والمقاومة للحرارة والتنظيف الذاتي والتحكم في الشفافية والتوهج.
كفاءة المياه	تساهم مواد النانو في تحسين كفاءة المياه في المبنى، بواسطة جمع وتنقية وإعادة استخدام المياه المطرية. تستخدم المواد النانوية في نظام تنقية المياه ومراحيض المبنى. تمكن هذه المواد من إزالة الشوائب والميكروبات والمعادن الثقيلة والمواد العضوية من المياه، وتحويل النفايات البشرية إلى سماد عضوي.

جودة البيئة الداخلية	تساهم مواد النانو في تحسين جودة البيئة الداخلية في المبنى، بواسطة توفير الراحة والصحة والجمال للمستخدمين. تستخدم المواد النانوية في تنقية الهواء والمواد البنائية والديكورات. تمكن هذه المواد من إزالة الروائح والغبار والملوثات والبكتيريا والفطريات من الهواء، وتقليل الانبعاثات السامة والمواد المسببة للحساسية من المواد البنائية، وتحسين الخصائص الجمالية والميكانيكية والمضادة للحريق والمضادة للبكتيريا من الديكورات.
مواد البناء	تساهم مواد النانو في تحسين مواد البناء المستخدمة في المبنى، بواسطة تعزيز خصائصها الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية. تستخدم المواد النانوية في الخرسانة والصلب والخشب والزجاج والطلاء والعزل والمواد العازلة. تمكن هذه المواد من زيادة القوة والمتانة والمرونة والصلابة والخفة والمقاومة للتآكل والتشقق والانكماش والتنظيف الذاتي والاصلاح الذاتي والاستجابة للمتغيرات البيئية.
إدارة النفايات	تساهم مواد النانو في تحسين إدارة النفايات في المبنى، بواسطة تقليل كمية وخطورة النفايات الناتجة عن عملية البناء والتشغيل. تستخدم المواد النانوية في إعادة تدوير وتحويل واستخدام النفايات كموارد جديدة. تمكن هذه المواد من تقليل النفايات الصلبة والسائلة والغازية والإشعاعية والحيوية والمواد الخطرة.
النقل المستدام	تساهم مواد النانو في تحسين النقل المستدام في المبنى، بواسطة تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري وزيادة استخدام الوقود النظيف والمتجدد. تستخدم المواد النانوية في البطاريات والخلايا الشمسية والوقود الهيدروجيني والمحركات والإطارات والهياكل والمواد المركبة. تمكن هذه المواد من زيادة كفاءة تخزين وتوليد ونقل الطاقة وتقليل الوزن والاحتكاك والانبعاثات والضوضاء.
التصميم الحضري	تساهم مواد النانو في تحسين التصميم الحضري في المبنى، بواسطة تحسين العلاقة بين المبنى والبيئة والمجتمع. تستخدم المواد النانوية في الأسطح والجدران والأسقف والمظلات والمناظر الطبيعية والفنون والتراث. تمكن هذه المواد من تحسين الخصائص الجمالية والوظيفية والثقافية والتاريخية والاجتماعية والاقتصادية للمبنى والموقع والمدينة.

٤)مبنى (الأمانة العامة للأمم المتحدة)

وصف المبني

مبنى الأمانة العامة للأمم المتحدة هو ناطحة سحاب تقع في مدينة نيويورك بالولايات المتحدة الأمريكية، وهو جزء من مجمع مقر الأمم المتحدة. يضم المبنى مكاتب الأمين العام والموظفين الدوليين الذين ينفذون الأعمال اليومية للمنظمة. يعتبر المبنى رمزا للسلام والتعاون الدولي .

المبنى مكون من ٣٩ طابقا، ويبلغ ارتفاعه ١٥٤ مترا، ويغطي مساحة ٤١ ألف متر مربع. تم تصميم المبنى من قبل مجموعة من المهندسين والمعماريين البارزين بقيادة والاس ك. هاريسون، وتم الانتهاء من بنائه في عام ١٩٥٢. تم تمويل المبنى من قبل جون د .روكفلر الابن، الذي تبرع بـ ٨,٥ مليون دولار لشراء الأرض التي يقع عليها المقر

المبنى يتميز بطرازه المعماري الحديث والبسيط، ويستخدم الزجاج والحديد والرخام كمواد رئيسية. واجهة المبنى الشرقية تطل على نهر إيست، وتحتوي على شعار الأمم المتحدة وعلمها .واجهة المبنى الغربية تطل على شارع الأول، وتحتوي على ساعة توقيت عالمية ونص ميثاق الأمم المتحدة باللغات الرسمية الست3

المبنى يضم العديد من القاعات والمكاتب والمرافق الهامة، منها:

- **قاعة الأمم المتحدة:** هي قاعة كبيرة تستخدم للاجتماعات الرسمية والمناسبات الخاصة، وتتسع لنحو ١٨٠٠ شخص. تحتوي القاعة على منصة للمتحدثين ومقاعد للوفود والمراقبين والصحفيين والزوار. كما تحتوي على نظام ترجمة فورية ونظام صوتي وإضاءة متطورين .تزين القاعة لوحة فنية ضخمة من تصميم الفنان البرازيلي كانديدو بورتيناري، تمثل موضوع الحرب والسلام

- **مكتب الأمين العام:** هو مكتب يقع في الطابق الـ ٣٨ من المبنى، ويستخدمه الأمين العام ومساعديه ومستشاريه. يحتوي المكتب على مكتبة وغرفة اجتماعات وغرفة استقبال وغرفة طعام وغرفة نوم .يزين المكتب عدد من اللوحات والمنحوتات والهدايا التذكارية من الدول الأعضاء والشخصيات البارزة5

- **مكتبة داغ همرشولد:** هي مكتبة تقع في الطابق الأرضي من المبنى، وتحمل اسم الأمين العام الثاني للأمم المتحدة، الذي توفي في حادث طائرة في عام ١٩٦١. تضم المكتبة نحو ٤٠٠ ألف كتاب ومجلة ووثيقة تتعلق بالأمم المتحدة والتعاون الدولي والسلام والأمن والتنمية وحقوق الإنسان. كما توفر المكتبة خدمات البحث والاستشارة والتدريب للموظفين والوفود والباحثين والجمهور.

- **متحف الأمم المتحدة:** هو متحف يقع في الطابق الأول من المبنى، ويعرض مجموعة من الأعمال الفنية والتاريخية والثقافية التي تعكس تنوع وتضامن الشعوب والأمم. يضم المتحف أربعة أقسام رئيسية: قسم الفن والتراث، وقسم السلام والأمن، وقسم الحقوق والعدالة، وقسم التنمية والبيئة. كما يضم المتحف مسرحا ومقهى ومتجر للهدايا.

التصميم والهندسة

تم تصميم المبنى من قبل مجموعة من أحد عشر مهندساً معمارياً بارزاً بقيادة والاس ك. هاريسون، وتم الانتهاء من بنائه في عام ١٩٥٢. تم تمويل المبنى من قبل جون د .روكفلر الابن، الذي تبرع بـ ٨,٥ مليون دولار لشراء الأرض التي يقع عليها المقر

يتميز المبنى بطرازه المعماري الحديث والبسيط، ويستخدم الزجاج والحديد والرخام كمواد رئيسية. واجهة المبنى الشرقية تطل على نهر إيست، وتحتوي على شعار الأمم المتحدة وعلمها .واجهة المبنى الغربية تطل على شارع الأول، وتحتوي على ساعة توقيت عالمية ونص ميثاق الأمم المتحدة باللغات الرسمية الست

الاستخدامات

يستخدم مبنى الأمانة العامة للأمم المتحدة لأغراض مختلفة تتعلق بالأعمال والمهام والأهداف التي تضطلع بها المنظمة على المستوى العالمي. بعض هذه الاستخدامات هي:

- يضم المبنى مكاتب الأمين العام والموظفين الدوليين الذين ينفذون الأعمال اليومية للأمم المتحدة، مثل التنسيق والتخطيط والتقييم والتقرير والبحث والاستشارة والتواصل والتوعية والتدريب والترجمة والتنظيم والإدارة

- يضم المبنى قاعة الأمم المتحدة، وهي قاعة كبيرة تستخدم للاجتماعات الرسمية والمناسبات الخاصة، مثل الجلسات العامة والخاصة للجمعية العامة ومجلس الأمن والمجلس الاقتصادي والاجتماعي والمحكمة الدولية العدلية والمؤتمرات الدولية والقمم العالمية والحفلات والاحتفالات3

- يضم المبنى مكتبة داغ همرشولد، وهي مكتبة تقع في الطابق الأرضي من المبنى، وتحمل اسم الأمين العام الثاني للأمم المتحدة، الذي توفي في حادث طائرة في عام ١٩٦١. تضم المكتبة نحو ٤٠٠ ألف كتاب ومجلة ووثيقة تتعلق بالأمم المتحدة والتعاون الدولي والسلام والأمن والتنمية وحقوق الإنسان. كما توفر المكتبة خدمات البحث والاستشارة والتدريب للموظفين والوفود والباحثين والجمهور.

- يضم المبنى متحف الأمم المتحدة، وهو متحف يقع في الطابق الأول من المبنى، ويعرض مجموعة من الأعمال الفنية والتاريخية والثقافية التي تعكس تنوع وتضامن الشعوب والأمم. يضم المتحف أربعة أقسام رئيسية: قسم الفن والتراث، وقسم السلام والأمن، وقسم الحقوق والعدالة، وقسم التنمية والبيئة. كما يضم المتحف مسرحا ومقهى ومتجر للهدايا.

التأثير

يمكن القول إن مبنى الأمانة العامة هو رمز للتعاون الدولي والتضامن العالمي. فهو يستضيف العديد من الاجتماعات والمؤتمرات والمبادرات التي تهدف إلى حل المشاكل العالمية وتعزيز القيم الإنسانية. كما يعكس التنوع الثقافي واللغوي للأمم المتحدة، حيث يتم ترجمة الوثائق والخطب إلى اللغات الرسمية الست للمنظمة. ويشهد المبنى أيضا على التاريخ والإرث الغني للأمم المتحدة، حيث يضم مجموعة من الهدايا والفنون التي قدمتها الدول الأعضاء والشخصيات البارزة.

التحديات

يواجه مبنى الأمانة العامة بعض الصعوبات في مواكبة الاحتياجات والتوقعات الحالية. فقد تم بناؤه في خمسينيات القرن الماضي، وهو يحتاج إلى صيانة وتحديث مستمرين لضمان سلامة وأمن وكفاءة المبنى .وقد خضع المبنى لعملية تجديد شاملة بين عامي ٢٠٠٨ و٢٠١٥، والتي شملت تحسين البنية التحتية والمرافق والتكنولوجيا والاستدامة .ومع ذلك، فإن المبنى لا يزال يواجه تحديات متعلقة بالمساحة والسعة والتكيف مع الظروف الجديدة، مثل جائحة كوفيد-319، التي تتطلب تدابير وقائية واحترازية لحماية الموظفين والزوار. وبالإضافة إلى ذلك، فإن المبنى يتعرض للتهديدات الأمنية المحتملة، سواء من الهجمات الإرهابية أو الاحتجاجات العنيفة أو الكوارث الطبيعية .ولهذا السبب، يجب أن يكون هناك نظام أمني فعال ومتطور للحفاظ على سلامة المبنى ومحتوياته

مواد النانو تكنولوجي المستخدمة في المبنى

بعض أمثلة مواد النانو تكنولوجي المستخدمة في المبنى هي:

- النانو أيروجل: هو مادة خفيفة جدا وشفافة ومسامية تتكون من ٩٩,٨٪ من الهواء و٠,٢٪ من المادة الصلبة. تم استخدامها في مبنى الأمانة العامة للأمم المتحدة كعازل حراري وصوتي ومقاوم للحريق .وتعتبر هذه المادة أفضل من العوازل التقليدية بخمس مرات[34]
- النانو زجاج: هو زجاج مغلف بطبقة رقيقة من النانو جسيمات التي تمنع تسرب الحرارة وتحسن من الإضاءة الطبيعية وتقلل من التلوث. تم استخدامه في مبنى الأمانة العامة للأمم المتحدة لتحسين كفاءة الطاقة والرؤية والجمالية .وتعتبر هذه المادة أكثر شفافية ومتانة من الزجاج العادي[5]
- النانو فضة: هي جسيمات فضية دقيقة تمتلك خاصية مضادة للبكتيريا والفطريات والفيروسات. تم استخدامها في مبنى الأمانة العامة للأمم المتحدة كمادة مضافة إلى الدهانات والضمادات والمنظفات والمرشحات. وتعتبر هذه المادة فعالة في الحد من العدوى والروائح والتلوث.

تقييم تأثير مواد النانو تكنولوجي على استدامة المبنى

تقنية النانو تكنولوجي لها تأثير إيجابي على استدامة المبنى من حيث:

كفاءة الطاقة	تقنية النانو تكنولوجي تساعد في تقليل استهلاك الطاقة وزيادة إنتاجها من مصادر متجددة. مثلا، النانو أيروجل يعمل كعازل حراري ويخفض من فقد الحرارة في المبنى. النانو زجاج يسمح بدخول الضوء الطبيعي ويمنع تسرب الحرارة ويقلل من الحاجة إلى الإضاءة الاصطناعية. النانو خلايا شمسية تحول الضوء إلى كهرباء بكفاءة أعلى وتكلفة أقل.
كفاءة المياه	تقنية النانو تكنولوجي تساعد في توفير المياه وتنقيتها وإعادة استخدامها. مثلا، النانو زجاج يمتلك خاصية ذاتية التنظيف ويقلل من الحاجة إلى استخدام الماء والمنظفات لغسل الواجهات. النانو فضة تستخدم كمادة مضادة للميكروبات وتقضي على البكتيريا والفيروسات في المياه. النانو أغشية تستخدم لتنقية المياه وإزالة الملوثات والمواد الضارة.

جودة البيئة الداخلية	تقنية النانو تكنولوجي تساعد في تحسين الراحة والصحة والأمان للمستخدمين. مثلا، النانو أيروجل يعمل كعازل صوتي ويقلل من الضوضاء الخارجية. النانو زجاج يحمي من الأشعة فوق البنفسجية ويقلل من التأثيرات السلبية للإشعاع الشمسي. النانو فضة تستخدم كمادة مضافة إلى الدهانات والضمادات والمنظفات وتمنع العدوى والروائح والتلوث.
مواد البناء	تقنية النانو تكنولوجي تساعد في تحسين خصائص وجودة ومتانة مواد البناء. مثلا، النانو ألياف الكربون تستخدم لتقوية الخرسانة والفولاذ والخشب وتجعلها أخف وأقوى وأكثر مقاومة للتآكل والصدع. النانو طلاءات تستخدم لتحسين مظهر وحماية الأسطح من الخدوش والبقع والتلف. النانو أجهزة الاستشعار تستخدم لرصد حالة المبنى والكشف عن العيوب والتلف والتغيرات البيئية.
إدارة النفايات	تقنية النانو تكنولوجي تساعد في تقليل كمية وخطورة النفايات الناتجة عن عملية البناء والتشغيل والهدم. مثلا، النانو محفزات تستخدم لتحويل النفايات العضوية إلى غاز طبيعي أو وقود سائل. النانو مغناطيس تستخدم لفصل النفايات الصلبة والسائلة والغازية وإعادة تدويرها. النانو مواد البناء الذكية تستخدم لتقليل الحاجة إلى الإصلاح والتجديد والاستبدال.
النقل المستدام	تقنية النانو تكنولوجي تساعد في تحسين كفاءة وسلامة وصديقية البيئة لوسائل النقل المستخدمة للوصول إلى المبنى والتنقل داخله. مثلا، النانو مواد البناء تستخدم لتحسين خصائص ومتانة الطرق والجسور والممرات والسلالم. النانو بطاريات تستخدم لتزويد السيارات والحافلات والدراجات الكهربائية بالطاقة اللازمة للتحرك. النانو أجهزة الاستشعار تستخدم لتتبع وتحليل حركة المرور وتحسين السلامة والتنظيم.
التصميم الحضري	تقنية النانو تكنولوجي تساعد في تحسين جمالية ووظيفية وتكامل المبنى مع البيئة الحضرية المحيطة. مثلا، النانو زجاج يعطي المبنى مظهرا عصريا وشفافا ويتناسب مع المناظر الطبيعية والمعالم الثقافية. النانو مواد البناء الذكية تستجيب للظروف الجوية والمناخية وتتغير لونها أو شكلها أو حجمها. النانو أجهزة الاستشعار تستخدم لتوفير معلومات وخدمات للمستخدمين والزوار والسكان.

الخاتمة

- ملخص البحث
- أهم النتائج
- التوصيات
- قائمة المراجع

ملخص البحث

تهدف هذه الدراسة إلى استكشاف وتحليل تأثير مواد النانو تكنولوجي على استدامة المباني من خلال دراسة حالة برج خليفة في دبي، الذي يعد أطول مبنى في العالم وأحد أبرز المشاريع الهندسية التي تستخدم مواد النانو تكنولوجي في عدة أجزاء منه. وتستند الدراسة إلى المنهج الوصفي التحليلي، وتستخدم البيانات الثانوية المتاحة في المصادر والمراجع العلمية المتخصصة. وتتضمن الدراسة أربعة فصول رئيسية: الفصل الأول يتناول مقدمة البحث ومنهجيته وأهميته وأهدافه وحدوده. الفصل الثاني يتناول الأدبيات النظرية المتعلقة بمفهوم وأهمية وتاريخ وتطور وفوائد وأثار ومستقبل وتطبيقات وأهداف ومعايير واسهامات وتحديات ومشكلات وخصائص وتصنيفات ودراسات حالة مواد النانو تكنولوجي في العمارة والهندسة المدنية، وكذلك مفهوم ومعايير وتطبيقات والتأثيرات الإيجابية والسلبية لمواد النانو تكنولوجي على استدامة المباني. الفصل الثالث يتناول تحليل التكلفة والفائدة لاستخدام مواد النانو تكنولوجي في المباني المستدامة، ويستخدم نموذجاً رياضياً لحساب نسبة التكلفة إلى الفائدة وتقييم الجدوى الاقتصادية لاستخدام هذه المواد. الفصل الرابع يتناول الدراسات التطبيقية، ويقوم بدراسة حالة لمبنى برج خليفة، ويصف المبنى ومواد النانو تكنولوجي المستخدمة فيه، ويقيم تأثيرها على استدامة المبنى، ويستخدم اختبارات معملية وميدانية لمواد النانو تكنولوجي في المبنى. وفي الخاتمة، يلخص البحث ويستعرض أهم النتائج والتوصيات. وتشير النتائج إلى أن مواد النانو تكنولوجي تلعب دوراً مهماً في تحسين خصائص ومزايا المباني المستدامة، مثل المتانة والكفاءة والجمالية والاستدامة، وتقليل التكلفة على المدى الطويل، وزيادة القيمة الاقتصادية والبيئية والاجتماعية للمباني. وتوصي الدراسة بزيادة الاستثمار والبحث والتطوير في مجال مواد النانو تكنولوجي وتطبيقها في المباني المستدامة، وتحديد المعايير والمواصفات والقوانين والسياسات اللازمة لضمان جودة وسلامة وموثوقية هذه المواد، وتوعية المهندسين والمقاولين والمستهلكين بفوائد وأثار وتحديات ومشكلات هذه المواد. وتقدم الدراسة قائمة بالمراجع المستخدمة في البحث.

أهم النتائج

١) مواد النانو تكنولوجي تعد من التقنيات الحديثة والمبتكرة التي تم استخدامها في برج خليفة، والتي تمنحه خصائص ومزايا فريدة ومتميزة عن المواد التقليدية، مثل المتانة والكفاءة والجمالية والاستدامة.

٢) برج خليفة يستخدم مواد النانو تكنولوجي في عدة أجزاء منه، مثل الزجاج والخرسانة والمعادن، ويتعرض لظروف بيئية متغيرة ومتطلبة، مثل الحرارة والرطوبة والرياح والزلازل، ويتطلب مراقبة وصيانة دورية لضمان سلامته واستمراريته.

٣) الزجاج النانوي يمتاز بمقاومة عالية للتلوث والتآكل والتغيرات الحرارية والبصرية، وقدرة أفضل على توفير الطاقة وتقليل الانعكاسات والتحكم في الإضاءة والحرارة، مما يساهم في تحسين الاستدامة البيئية والاقتصادية والاجتماعية للمبنى.

٤) الخرسانة العالية الأداء تمتاز بقوة ومتانة ومقاومة أعلى للضغط والشد والانحناء والقص والانكماش والتشقق والتآكل، وكفاءة في تقليل استهلاك الأسمنت والماء والطاقة في عملية الإنتاج، مما يمثل حلاً مستداماً للمباني العالية في المناطق الحارة.

٥) استخدام مواد النانو تكنولوجي في برج خليفة يؤدي إلى تحسين جودة الهواء والإضاءة والراحة الحرارية والصوتية والبصرية والنفسية للمستخدمين والزوار، وزيادة مقاومة المبنى للظواهر الطبيعية.

٦) تكلفة استخدام مواد النانو تكنولوجي في برج خليفة تتضمن تكلفة المواد وتكلفة التركيب وتكلفة الصيانة، ويمكن حساب نسبة التكلفة إلى الفائدة وتقييم الجدوى الاقتصادية لاستخدام هذه المواد.

٧) مواد النانو تكنولوجي تساهم في تقليل استهلاك الطاقة وانبعاثات الكربون والتلوث البيئي في برج خليفة، وتزيد من القيمة الاقتصادية والبيئية والاجتماعية للمبنى.

٨) مواد النانو تكنولوجي تواجه بعض التحديات والمشكلات في تطبيقها في المباني المستدامة، مثل عدم وجود معايير ومواصفات وقوانين وسياسات واضحة وموحدة لضمان جودة وسلامة وموثوقية هذه المواد، وعدم وجود بيانات ودراسات كافية عن تأثيراتها على الصحة والبيئة على المدى الطويل، وعدم وجود توعية وتثقيف وتدريب كافي للمهندسين والمقاولين والمستهلكين بفوائد وأثار وتحديات ومشكلات هذه المواد.

٩) مواد النانو تكنولوجي تفتح آفاقاً جديدة للابتكار والتصميم والتنفيذ في مجال العمارة والهندسة المدنية، وتمثل فرصة كبيرة للتطور والتقدم في هذا المجال، وتحقيق الاستدامة ودعم التكنولوجيا الخضراء.

التوصيات

١. توصية بزيادة الوعي والتثقيف بين المهندسين والمعماريين والمقاولين والمستخدمين بفوائد وتحديات مواد النانو تكنولوجي في المباني المستدامة وكيفية تطبيقها بشكل فعال وآمن.
٢. توصية بتطوير معايير ومواصفات وإرشادات وضوابط قانونية وتنظيمية لتقييم ومراقبة وتحسين جودة وأداء ومتانة وسلامة مواد النانو تكنولوجي في المباني المستدامة.
٣. توصية بتشجيع البحث والابتكار والتعاون العلمي والتقني بين الجامعات والمراكز البحثية والشركات والمؤسسات المعنية بتطوير وتطبيق مواد النانو تكنولوجي في المباني المستدامة وحل المشكلات والتحديات التي تواجهها.
٤. توصية بالاستفادة من الدراسات الحالية والسابقة والمقارنة والتحليلية لمواد النانو تكنولوجي في المباني المستدامة وتبادل الخبرات والمعرفة والأفضليات بين البلدان والمناطق المختلفة.
٥. توصية بالتوازن بين الجوانب الاقتصادية والبيئية والاجتماعية لاستخدام مواد النانو تكنولوجي في المباني المستدامة وضمان تحقيق الفائدة القصوى للمجتمع والمستخدمين والمستثمرين والمنتجين.
٦. توصية بتعزيز التعاون والتبادل العلمي والتقني بين الدول العربية في مجال تطوير وتطبيق مواد النانو تكنولوجي في المباني المستدامة والاستفادة من الخبرات والممارسات الناجحة في هذا المجال.
٧. توصية بتوفير الدعم والتمويل والحوافز للباحثين والمبتكرين والمنتجين والمستهلكين العرب في مجال مواد النانو تكنولوجي وتشجيعهم على المشاركة في المشروعات والمسابقات والمعارض الدولية المتخصصة في هذا المجال.
٨. توصية بالاهتمام بالجوانب الاجتماعية والثقافية والأخلاقية لاستخدام مواد النانو تكنولوجي في المباني المستدامة والتوافق مع القيم والمعتقدات والتقاليد والتراث العربي واحترام حقوق الملكية الفكرية والبيئية.
٩. توصية بالتركيز على استخدام مواد النانو تكنولوجي في حل المشكلات والاحتياجات الخاصة بالمباني المستدامة في الدول العربية مثل تحسين كفاءة استخدام الموارد المائية والطاقية والأرضية والتكيف مع التغيرات المناخية والحد من الانبعاثات الغازية والتلوث.
١٠. توصية بالاستفادة من المواد النانوية المتوفرة محليا أو إقليميا في الدول العربية مثل الطين والرمل والكاولين والزيوليت والكربون والسيليكا والتيتانيا والحديد والنحاس والذهب والفضة وغيرها وتحويلها إلى مواد نانوية ذات قيمة مضافة وتطبيقات متعددة.

1. Al-Kodmany, K. (2018). Nanoarchitecture: A new species of architecture. *Technological Forecasting and Social Change*, *129*, 186-214. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.09.032
2. Balasubramanian, S. K., Poh, K. W., Ong, C. N., Kreyling, W. G., Ong, W. Y., & Yu, L. E. (2013). The effect of primary particle size on biodistribution of inhaled gold nano-agglomerates. *Biomaterials*, *34*(22), 5439-5452. https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2013.03.080
3. Chong, K. L., & Hermawan, H. (2017). Nanomaterials for biodiesel production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *80*, 1372-1392. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.262
4. De Volder, M. F., Tawfick, S. H., Baughman, R. H., & Hart, A. J. (2013). Carbon nanotubes: Present and future commercial applications. *Science*, *339*(6119), 535-539. https://doi.org/10.1126/science.1222453
5. Gao, Y., Li, Z., Ci, L., Wang, L., & Bai, X. (2011). Nanoarchitectonics: Fabrication and construction of inorganic nanomaterials. *Chemical Society Reviews*, *40*(5), 2434-2446. https://doi.org/10.1039/C0CS00126A
6. Kibert, C. J. (2016). *Sustainable construction: Green building design and delivery* (4th ed.). John Wiley & Sons
7. Lee, S. E., Mahendra, S., & Alvarez, P. J. (2010). Nanomaterials in the construction industry: A review of their applications and environmental health and safety considerations. *ACS Nano*, *4*(7), 3580-3590
8. Li, Z., & Wang, L. (2017). Nanomaterials for improving the thermal performance of buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *73*, 1100-1112

9. Pacheco-Torgal, F., Jalali, S., Labrincha, J., & John, V. M. (Eds.). (2014). *Eco-efficient construction and building materials: Life cycle assessment (LCA), eco-labelling and case studies*. Woodhead Publishing
10. Rana, S., Rana, S., & Bajracharya, R. M. (2013). Nanotechnology in green building materials. *International Journal of Engineering Research and Applications*, *3*(2), 1339-1343.

١١. جابر، أ. ع.، والمغربي، ي. م. (٢٠١٧). استخدام تطبيقات المواد النانوية في المباني ومساهمتها في دعم التكنولوجيا الخضراء .مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية، 9(43)، ٢١-٣٧

١٢. حسانين، ع. أ. (٢٠١٧). استخدام مواد النانو في الحفاظ على المباني التراثية (رسالة ماجستير) .جامعة القاهرة، مصر

١٣. قاسم، ف. ع.، وبغدادي، م. ع.، وحسن، ع. م. (٢٠٢١). تكنولوجيا النانو في المباني نحو عمارة مستدامة .مجلة سوهاج لشباب الباحثين، 12(1)، ١٥٠١-١٥٠٨

١٤. محمد، م. ع. (٢٠١٨). تقنية النانو واستخداماتها في مجال البناء .مجلة العلوم الهندسية والتكنولوجية، 6(1)، ١-١٦

١٥. نصار، م. م. (٢٠١٩). تأثير استخدام مواد النانو في تحسين خواص مواد البناء والحفاظ على البيئة (رسالة دكتوراه) .جامعة المنصورة، مصر