

فاعلية استخدام تقنيات النانو في تحسين كفاءة الأعمال الإنشائية

أنور عبدالله الغانم

عضو هيئة تدريس - الهيئة العامة للتعليم التطبيقي والتدريب - معهد التدريب الإنشائي

ملخص الدراسة:

جاءت هذا الدراسة للكشف فاعلية استخدام تقنيات النانو في تحسين كفاءة الأعمال الإنشائية، من خلال بيان دورها في تحسين جودة المواد، تقليل التكاليف، وتعزيز الاستدامة في قطاع البناء. وقد انطلقت الدراسة من إشكالية الاعتماد المستمر على مواد وأساليب تقليدية لم تعد تواكب متطلبات التنمية المستدامة وللأطور التكنولوجي في مجال الإنشاء،

وسعت للإجابة عن مجموعة من الأسئلة البحثية المتعلقة بتطبيقات النانو وأثرها في قطاع الإنشاء. اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي لجمع وتحليل البيانات حول هذه الظواهر بالاستناد إلى الأدبيات والدراسات السابقة ذات الصلة. أظهرت النتائج أن لتقنيات النانو إمكانات كبيرة في رفع كفاءة المواد الإنشائية مثل الخرسانة وحديد التسليح والخشب، من خلال تحسين الخواص الفيزيائية والكيميائية، وزيادة العمر الافتراضي، والحد من استهلاك الموارد. توصي الدراسة بضرورة تبني هذه التقنيات وتكثيف الأبحاث المحلية في هذا المجال لدعم التحول نحو بيئة عمرانية أكثر استدامة وكفاءة.

الكلمات المفتاحية: تقنيات النانو، النانو في البناء، الكفاءة الإنشائية.



ISSN: 2617-958X

المجلة الإلكترونية الشاملة متعددة التخصصات
Electronic Interdisciplinary Miscellaneous Journal
العدد الرابع والثمانون شهر 6 (2025)
Issue 84, (6) 2025

Abstract:

This study aims to explore the effectiveness of using nanotechnology in enhancing the efficiency of construction activities, by highlighting its role in improving material quality, reducing costs, and promoting sustainability in the construction sector. The study originated from a problem centered on the continued reliance on traditional materials and methods that no longer meet the requirements of sustainable development and technological advancements in the construction field. It aimed to answer a set of research questions related to the applications of nanotechnology and its impact on the construction sector. The study adopted a descriptive methodology to collect and analyze data on these phenomena, drawing on relevant literature and previous studies. The findings revealed that nanotechnology holds significant potential in enhancing the performance of construction materials such as concrete, steel reinforcement, and wood, by improving their physical and chemical properties, extending their lifespan, and reducing resource consumption. The study recommends adopting these technologies and intensifying local research in this field to support the transition toward a more sustainable and efficient built environment.

Key words: Nanotechnology, (Nanotechnology in Construction, Construction Efficiency).

1. المقدمة:

شهدت العمارة على مر العصور تحولات متسارعة، رافقتها ابتكارات وتقنيات جديدة أثرت بشكل مباشر في طريقة التفكير المعماري، ودفعت به نحو مزيد من الانفتاح والعولمة. ومع تقدم الزمن، لم يعد التطور في البناء مقتصرًا على التصميم وحده، بل شمل أيضًا طرق التنفيذ ونوعية المواد المستخدمة، ما أسهم في نشوء نظم إنشائية أكثر تطورًا وتعقيدًا. وقد أصبح لزامًا على الممارسين والمهندسين أن يواكبوا هذا التقدم، من خلال توظيف أحدث ما توصلت إليه التكنولوجيا في المواد وطرق الإنشاء (عبدالله، 2007).

ونتيجة لهذا التحول، أصبحت نظم الإنشاء قادرة على تلبية متطلبات العمارة الحديثة، مدعومة بأساليب تنفيذ توفر الوقت والجهد، وتحقق أداءً أعلى. ومع التسارع العلمي، ظهرت تقنية النانو كأحد أبرز ملامح العمارة المعاصرة، لما تقدمه من حلول تعتمد على استخدام خامات ووسائل جديدة تدعم التصميم البيئي وتساعد على رفع كفاءة استهلاك الطاقة، وتقليل الاعتماد على الموارد غير المتجددة، مع تعزيز استخدام الطاقة النظيفة وتهيئة بيئة معيشية صحية (شيبه، محمد، وعبدالفتاح، 2024).

كما منحت تقنية النانو العمارة إمكانيات واسعة لإنتاج نماذج معمارية قادرة على التفاعل مع البيئة، بفضل مواد إنشائية مطورة مثل الزجاج والخرسانة المعززة بتقنيات النانو. وتأتي هذه التقنية لتكون الرابط بين العمارة الذكية والمستدامة، عبر استحداث مواد بناء ذكية وصديقة للبيئة يمكن توظيفها محليًا للوصول إلى مبانٍ عالية الكفاءة (حسن، محمد وسنونسي، 2025).

إن النانوتكنولوجي ليست مجرد مفهوم علمي، بل هي منظومة من التطبيقات الدقيقة التي تُنفذ على مستوى أجزاء صغيرة جدًا من المادة، قد لا تُرى إلا بالمجهر. ومن خلال هذه التقنية، أصبح بالإمكان الوصول إلى حلول مبتكرة في مجالات متعددة، من بينها قطاع الإنشاءات، الذي بدأ يستفيد من هذه الثورة التقنية لتطوير مواد أكثر كفاءة، وتحقيق مبانٍ أكثر استدامة وذكاءً (معلا، 2024).

ومن هذا المنطلق، جاءت هذه الدراسة لتسليط الضوء على فاعلية استخدام تقنيات النانو في تحسين كفاءة الأعمال الإنشائية، واستكشاف مدى قدرتها على رفع جودة الأداء وتقليل الهدر في الموارد والجهد.

1.1 مشكلة الدراسة:

في السنوات الأخيرة، أصبح التأثير البيئي الناتج عن قطاع البناء مصدر قلق متزايد للمعنيين بشؤون العمارة والاستدامة. فمع كل تقدم عمراني، تتفاقم التحديات المرتبطة بالاستهلاك العالي للموارد الطبيعية والطاقة، والانبعاثات الناتجة عن تصنيع واستخدام مواد البناء التقليدية، وهو ما يضع هذا القطاع في قلب النقاش حول أسباب تغيّر المناخ العالمي (شيببة، محمد، وعبدالفتاح، 2024).

تتمثل الإشكالية الجوهرية في اعتماد قطاع البناء، حتى اليوم، على أساليب ومواد لم تعد قادرة على مواكبة متطلبات الاستدامة أو التخفيف من الأثر البيئي السلبي. فمع محدودية الموارد وتزايد الحاجة إلى التوسع

العمراني، تبرز ضرورة البحث عن بدائل ذكية ومستدامة في ذات الوقت، تسهم في تطوير الأداء الإنشائي وتحافظ على البيئة في آنٍ واحد (العالم والعامري، 2022).

وفي هذا السياق، تظهر تقنيات النانو كأحد الاتجاهات الحديثة الواعدة، التي تحمل إمكانات كبيرة لإعادة تشكيل طريقة تعاملنا مع المواد والعمليات في البناء. لكن على الرغم من هذه الوعود، لا يزال هناك نقص في الفهم الكامل لمدى فاعلية هذه التقنيات في السياق العملي، خاصة في ما يتعلق بتحسين كفاءة الأعمال الإنشائية وتخفيض الأثر البيئي المصاحب لها.

وقد بات من الضروري اليوم أن تتجه الجهود نحو تبني تكنولوجيا بديلة تدمج مفاهيم الذكاء التكنولوجي بالاستدامة البيئية، وتلبي متطلبات النمو العمراني الحديث دون أن تكون عبئاً على البيئة أو مستقبل الأجيال القادمة (حبيب الله، 2019). من هنا تتبع أهمية هذه الدراسة، التي تسعى إلى الكشف عن مدى قدرة تقنيات النانو في تحسين كفاءة الأعمال الإنشائية.

1.2 أسئلة الدراسة:

في ضوء ما سبق، تسعى الدراسة للإجابة عن التساؤل الرئيسي التالي: ما فاعلية استخدام تقنيات النانو في تحسين كفاءة الأعمال الإنشائية؟ ، الذي ينبثق عنه الأسئلة التالية:

1. ما دور تقنيات النانو في تحسين الجودة وتقليل التكاليف في الأعمال الإنشائية؟

2. ما هي تطبيقات تقنية النانو في قطاع الأعمال الانشائية؟

3. ما أثر تطبيقات تقنية النانو في قطاع الأعمال الانشائية؟

1.3 أهداف الدراسة:

تسعى الدراسة إلى تحقيق الهدف الرئيسي التالي: التعرف على فاعلية استخدام تقنيات النانو في تحسين

كفاءة الأعمال الانشائية، الذي ينبثق عنه جملة من الأهداف التالية:

1. التعرف على دور تقنيات النانو في تحسين الجودة وتقليل التكاليف في الأعمال الانشائية

2. التعرف عن تطبيقات تقنية النانو في قطاع الأعمال الانشائية.

3. الكشف عن أثر تطبيقات تقنية النانو في قطاع الأعمال الانشائية.

1.4 أهمية الدراسة:

تتمثل أهمية هذه الدراسة فيما يلي:

- تسليط الضوء على تقنية النانو باعتبارها من أبرز التقنيات المعاصرة التي يمكن أن تُحدث فرقاً حقيقياً في كفاءة الأعمال الإنشائية وتسهم في رفع كفاءة المباني واستدامتها على المدى الطويل.
- إبراز دور تقنيات النانو في تقليل التكاليف وتحسين جودة المواد المستخدمة في البناء.
- قد تُسهم الدراسة في تشجيع البحث العلمي المحلي في مجال تقنيات النانو، والعمل على تضيق الفجوة المعرفية والتطبيقية مع الدول المتقدمة.

- إثراء المكتبة العربية بمحتوى علمي حديث يتناول تطبيقات تقنية النانو في قطاع البناء والتشييد.

1.5 مصطلحات الدراسة:

– مفهوم النانو:

كلمة "نانو" مأخوذة من أصل يوناني وتعني "الصغير جدًا" أو "القرم"، وهي تستخدم كوحدة قياس دقيقة للغاية في عالم العلوم. هذه الوحدة تساوي جزءًا من مليار من المتر، أي أنها صغيرة لدرجة لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة، بل تحتاج إلى مجهر إلكتروني خاص. وتُستخدم هذه الوحدة عادة عند الحديث عن أحجام الذرات، الجزيئات، وحتى الكائنات المجهرية مثل البكتيريا والفيروسات، وهي تمثل مستوى دقيق للغاية في قياس المواد (حسن، محمد وسنونسي، 2025).

– علم النانو:

علم النانو هو فرع علمي حديث يركّز على فهم ودراسة المواد عند مستويات متناهية الصغر، وتحديدًا في نطاق لا يتجاوز 100 نانومتر. في هذا المجال، يتم تحليل سلوك الذرات والجزيئات الدقيقة، واكتشاف كيف يمكن تغيير خواصها الفيزيائية والكيميائية وحتى الميكانيكية. هذا العلم لا يقتصر على الفهم فقط، بل يسعى أيضًا إلى تعديل وتحسين خصائص المواد عبر التحكم بحجمها على هذا المقياس الصغير، مما يكشف عن سلوكيات جديدة وفريدة لا تظهر في الأحجام الأكبر (حسنين، غالي، وأحمد، 2024).

– تقنيات النانو:

تشير إلى مجموعة من الأدوات والأساليب التي تتيح للعلماء والمهندسين تصميم وتصنيع هياكل ومواد على مستوى النانو. الفكرة تكمن في القدرة على التحكم في شكل وحجم المواد بدقة متناهية، مما ينتج عنه خصائص جديدة كلياً أو أداء محسّن لم يكن ممكناً من قبل (Parthenopoulou & Malindretos, 2016).

– الأعمال الإنشائية:

تعتبر العنصر الأساسي في أي مشروع بناء، إذ توفر الهيكلية اللازمة لضمان قوة واستدامة المنشأة. بدءاً من الأساسات وصولاً إلى الأسطح، تتطلب هذه العمليات دقة عالية ومعرفة متعمقة بأحدث التقنيات لضمان نجاح المشروع وضمان استمراريته (RenovatKSA, (n.d)).

1.6 منهج الدراسة:

تستند هذه الدراسة إلى الدراسات الوصفية، فالمنهج الوصفي يُعدّ من أهم المنهجيات البحثية المستخدمة في العديد من المجالات. إذ يتميز بقدرته على تقديم صورة دقيقة وشاملة عن الظواهر، من خلال جمع وتحليل البيانات بشكل يتيح فهم الخصائص والتوجهات العامة بالاعتماد على الدراسات السابقة والملاحظة المباشرة.

2. الإطار النظري والدراسات السابقة:

2.1 الدراسات السابقة:

في هذا الجزء، سنلقي نظرة موجزة على مجموعة من الدراسات السابقة ذات الصلة التي تمثل الإطار الفكري للبحث الحالي. حيث تم استعراض عدد من المصادر والمراجع العلمية التي تناولت المتغيرات ذات الصلة بالدراسة الحالية.

الدراسات العربية:

سعت دراسة معلا (2023) إلى تسليط الضوء على تقنية النانو، من حيث مفهومها وأساليب توظيفها، مع التركيز على تطبيقاتها المباشرة في مجال صناعة السيراميك، واستكشاف الإمكانيات التي توفرها هذه التقنية في تحسين الخصائص الفيزيائية والوظيفية للمنتجات السيراميكية. وقد اعتمدت الدراسة منهجًا مزدوجًا، نظريًا وتطبيقيًا، إذ استعرض الباحث في القسم النظري المفاهيم الأساسية المتعلقة بتقنية النانو وتطوراتها، بينما ركز في الجانب العملي على تحليل سير العمليات الإنتاجية داخل أحد معامل تصنيع السيراميك، موجّهًا اهتمامه نحو المواد النانوية المستخدمة ومراحل إدخالها ضمن خطوط الإنتاج. كما تضمّن البحث تنفيذ استبانة وُجّهت إلى عدد من الخبراء والمتخصصين في الصناعة، وقد كشفت نتائجها عن وجود قناعة واسعة بفاعلية تقنية النانو في إحداث تحوّل نوعي في خصائص السيراميك، من حيث الوزن، والصلابة، والنعومة، ومقاومة التآكل والبكتيريا، إضافة إلى تحمّل الحرارة والرطوبة. وأظهرت النتائج أن القيمة المضافة التي



توفرها هذه التقنية تتجاوز التكاليف المرتبطة بتطبيقها. وفي ضوء النتائج، أوصى الباحث بضرورة تعزيز الوعي المجتمعي والمعرفي بتقنية النانو وتوسيع قاعدة استخدامها في المجالات الصناعية، ولا سيما بما يتلاءم مع أولويات البيئة السورية. كما شدد على أهمية دمج مفاهيم النانو تكنولوجي في السياسات التعليمية، من خلال إدراجها ضمن مناهج الجامعات السورية، لا سيما في كليات الهندسة والعمارة، إلى جانب دعم الأبحاث العلمية والتطبيقية في هذا المجال عبر المؤتمرات والندوات العلمية المتخصصة.

تناولت دراسة شبيبة (2024) التحولات المعرفية والتطبيقية التي أفرزتها تقنية النانو في العقود الأخيرة، بوصفها إحدى أبرز التقنيات المعاصرة التي أثرت في قطاعات متعددة، من بينها العمارة ومواد البناء. وقد ركزت الدراسة على استكشاف الدور المتنامي للمواد النانوية في تطوير خصائص مواد البناء، خاصة في ظل ما تمنحه من إمكانيات جديدة تعزز الأداء الإنشائي والجمالي والبيئي للمنشآت المعمارية. وتبرز الدراسة كيف ساهمت هذه التقنية في إحداث نقلة نوعية في صناعة المواد، إذ أضفت عليها خصائص مثل الخفة والمرونة، والقدرة على التكيف مع الظروف البيئية، فضلاً عن مزايا كالإصلاح الذاتي، والمقاومة للصدأ، والتنظيف الذاتي. كما اشتملت الدراسة على تحليل تطبيقي لحالات مختارة توضح استخدامات المواد النانوية غير الإنشائية في العمارة، لا سيما في مجال التكسيات، وتطبيقات التأثيرات السطحية النشطة مثل التحفيز الضوئي، والأسطح ذاتية التنظيف، وتقنيات تنقية الهواء. وقد خلصت النتائج إلى أن إدماج تقنيات النانو في

العمارة لا يحقق فقط تحسينات وظيفية ومادية، بل يفتح المجال أيضًا لتطوير حلول بيئية فاعلة، تؤسس لما يُعرف بتقنية "النانو الخضراء"، بما يعزز من توجهات العمارة المستدامة ويقلل من الأثر البيئي للمنشآت. سعت دراسة **حسنين، غالي، ومجد (2024)** إلى استقصاء الإمكانيات التي تتيحها تكنولوجيا النانو في تطوير ممارسات العمارة الداخلية، لا سيما في سياق تعزيز الاستدامة ورفع كفاءة الأداء البيئي والوظيفي للمباني. انطلقت الدراسة من فرضية مفادها أن تقنية النانو، من خلال إعادة تنظيم البنية الذرية للمواد، قادرة على إحداث تحولات نوعية في خصائص المواد المستخدمة داخل الفراغات المعمارية، سواء كانت إنشائية أو مكملة، وهو ما يسهم في تحسين فعالية المباني القائمة أو المزمعة التنفيذ. ركزت الدراسة بشكل خاص على التطبيقات الخضراء لتكنولوجيا النانو، وعلى دورها في الارتقاء بجودة العمارة الداخلية لمراكز الرعاية الصحية، عبر تقنيات تتيح خفض استهلاك الطاقة، وتقليص التكاليف التشغيلية، وتقليل الاعتماد على الصيانة الدورية. كما تناولت الدراسة مفاهيم النانو والعمارة المستدامة كمنظومتين متكاملتين، وسعت إلى بيان أوجه التلاقي بينهما عبر ما يُعرف بـ "العمارة النانوية الخضراء"، باعتبارها نمطًا مستقبليًا قادرًا على الاستجابة للمتطلبات البيئية والمعمارية المعاصرة. وقد دعمت الدراسة أطروحتها بتحليل نماذج عالمية تم فيها تطبيق تقنيات النانو الخضراء ضمن تصميمات داخلية لمراكز صحية مستدامة، وذلك لاستنباط مجموعة من المبادئ الإرشادية التي يمكن مواءمتها مع البيئة المحلية، وتوظيفها في تحسين جودة العمارة الداخلية في المراكز الصحية بما يعزز من استجابتها لمتطلبات الاستدامة والتقنيات الذكية.

تناولت دراسة **حسن، محمد وسننوسي (2025)** تأثير التطورات التكنولوجية المتسارعة في مطلع القرن الحادي والعشرين، ولا سيما تقنية النانو، على مسارات التصميم الداخلي والعمارة الحديثة. وأبرزت الدراسة كيف بات لزامًا على المماريين مواكبة هذه التحولات، وفهم إمكانيات التقنيات الجديدة لتوظيفها في إنتاج تصميمات تتسم بالجودة والاستدامة والابتكار. وقد ركزت الدراسة بشكل خاص على الإمكانيات التي تتيحها تقنية النانو في تحسين أداء المواد الإنشائية وتطوير واجهات معمارية تفاعلية قادرة على التكيف مع البيئة المحيطة، بما يسهم في تحقيق التوازن بين التكنولوجيا الذكية ومبادئ العمارة المستدامة.

وفي ضوء تحليل معمق للمواد النانوية وتطبيقاتها، بيّنت النتائج أن إدماج هذه المواد في التصميم المعماري يعزز من كفاءة الطاقة، ويحسن من أداء الغلاف الخارجي للمبنى، مع إضفاء بعد جمالي ووظيفي جديد. كما أشارت الدراسة إلى أن التكاليف الأولية المرتفعة لتطبيق هذه التقنيات تقابلها وفورات طويلة الأمد على مستوى الأداء والصيانة. واختتمت الدراسة بتوصيات موجهة لكل من المماريين والمراكز البحثية، تدعو إلى ضرورة رفع الوعي بتقنية النانو، وتكثيف الأبحاث والمبادرات العلمية التي تستكشف سبل توطينها في بيئاتنا المحلية لدعم التحول نحو عمارة ذكية ومستدامة.

الدراسات الأجنبية:

تناولت دراسة **(ALBARSSI & ALHADI, 2020)** الإشكالات البيئية المتفاقمة التي تهدد كفاءة المباني وصلاحياتها للاستخدام البشري، في ظل التحديات المناخية المتصاعدة، وعلى رأسها ظاهرة الاحتباس الحراري. وانطلقت الدراسة من الإقرار بأن جزءًا كبيرًا من مخزون المباني الحالي والمستقبلي قد تم تشييده

بمعزل عن معايير الكفاءة الطاقية والاعتبارات البيئية، مما يستدعي إيجاد حلول فعّالة لتحسين أدائها دون الحاجة إلى إعادة بناء شاملة. وقد ركزت الدراسة على استكشاف الإمكانيات التي تتيحها تقنية النانو الخضراء بوصفها أداة واعدة لتعزيز استدامة المباني القائمة، عبر تحسين جودة البيئة الداخلية وتقليل استهلاك الطاقة والحد من الانبعاثات الكربونية. اعتمد الباحثان منهجية تحليلية قائمة على مراجعة الأدبيات المتخصصة لرصد التطبيقات العملية لتقنية النانو في مجال تحسين كفاءة الأبنية، مع التأكيد على أن فوائد هذه التقنية لا تنحصر في الأبنية الجديدة فحسب، بل تمتد بفاعلية أكبر إلى المباني القائمة من خلال معالجات غير تدخلية تضمن الحفاظ على الهيكل المعماري الأصلي. وقد خلصت الدراسة إلى أن تطبيقات النانو تمثل مسارًا استراتيجيًا لدعم التحول نحو بيئة عمرانية أكثر استدامة، من خلال استخدام مواد وتقنيات تقلل من الأثر البيئي وتحقق كفاءة طاقية محسّنة في الأطر العمرانية الراهنة.

سعت دراسة (Elbony & Sydhom, 2022) إلى معالجة إحدى القضايا المحورية في تحقيق الاستدامة البيئية في قطاع البناء، وهي تقليص الطاقة المتجسدة في المواد الإنشائية، لا سيما تلك المعتمدة على الأسمنت، الذي يُعد من أكثر المواد إسهامًا في استهلاك الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون خلال دورة حياة المبنى. وقد ركزت الدراسة على تحليل مساهمة تقنية النانو في تقليل هذه الطاقة، عبر محورين أساسيين: تحسين كفاءة الإنتاج من خلال خفض الطاقة الأولية اللازمة لتصنيع المواد، ورفع متانة الخرسانة، مما ينعكس على تقليل الحاجة للصيانة أو الإحلال، وبالتالي خفض الطاقة المتجسدة المتكررة. اعتمدت الدراسة منهج مراجعة الأدبيات العلمية ذات الصلة بمفاهيم كفاءة الطاقة في مواد البناء، مع تركيز خاص

على المقارنة بين المواد الأسمنتية التقليدية وتلك المحسّنة باستخدام الجسيمات النانوية. وقد بيّنت النتائج أن دمج مركبات نانوية، مثل أكسيد الزنك النانوي، في الخلطات الخرسانية يساهم في خفض استهلاك الطاقة وتقليل الانبعاثات الحرارية أثناء الإنتاج، كما يُطيل عمر المادة ويزيد من صلابتها ومقاومتها، وهو ما يدعم المفاهيم الأساسية للبناء المستدام.

تناولت دراسة **Haggag (2023)** العلاقة التكاملية بين تقنيتي النانو ونمذجة معلومات البناء (BIM) في إطار دورة حياة المشاريع المعمارية، وذلك في ظل التحولات الرقمية المتسارعة في قطاع التشييد. وقد انطلقت الدراسة من فرضية مركزية مفادها أن دمج النظم الذكية، لاسيما تقنيات الذكاء الاصطناعي والحوسبة السحابية، ضمن بيئة BIM، يوفر بنية تنظيمية قادرة على تحسين جودة مخرجات المشروع، وخفض التكاليف، وتعزيز التنسيق بين الأطراف المعنية. ركزت الدراسة على تحليل دور تقنية النانو بوصفها إحدى الابتكارات التقنية الحديثة في مجال تحسين خواص مواد البناء وأداء المباني، وذلك ضمن المراحل المختلفة لدورة حياة المشروع، كما حُدّدت هذه المراحل بناءً على التصنيف المعتمد من المعهد الملكي للمهندسين المعماريين البريطانيين (RIBA). اعتمد الباحث في منهجيته على استطلاع رأي شريحة من الخبراء العاملين في قطاع البناء، وذلك عبر أداة استبائية خضعت لتحليل دقيق باستخدام مؤشر الأهمية النسبية (RII)، بهدف قياس درجة تأثير تقنية النانو في كل مرحلة من مراحل المشروع.

وقد خلصت النتائج إلى أن الأثر الأكبر لتقنية النانو يتركز في المراحل المبكرة من دورة المشروع، لاسيما خلال مراحل التخطيط وتشكيل المفاهيم المستويات 0 إلى 4 في إطار (RIBA)، حيث تتضح أهمية توظيف

المعلومات الأولية وتحليلها بدقة لتوجيه القرارات التصميمية والتنفيذية اللاحقة. كما أبرز البحث القيمة المضافة التي يوفرها التكامل بين BIM وتكنولوجيا النانو في تحسين عملية اتخاذ القرار وتوجيه استراتيجيات التصميم والبناء على أسس معرفية دقيقة.

2.1.1 التعقيب على الدراسات السابقة:

عند الاطلاع على الدراسات السابقة، يمكن ملاحظة أنها تناولت تقنية النانو من زوايا مختلفة، وقدمت رؤى متنوعة حول إمكانياتها وتطبيقاتها. بعض هذه الدراسات ركّز على الجوانب العملية، خاصة في مجالات صناعية مثل صناعة السيراميك، في حين اتجهت دراسات أخرى إلى استكشاف العلاقة بين النانو والتصميم الداخلي أو العمارة المستدامة. كما ظهر اهتمام خاص في عدد من الدراسات بتأثير المواد النانوية على تحسين الأداء الوظيفي والجمالي للمواد، سواء في السياقات المعمارية أو في البيئات الداخلية للمباني.

كما يتضح أن هذه الدراسات اعتمدت مناهج بحثية متنوعة، جمعت بين التحليل النظري القائم على مراجعة الأدبيات، والدراسات التطبيقية التي استندت إلى تحليل نماذج واقعية أو أدوات ميدانية مثل الاستبيانات الموجهة للمختصين. وقد خلص معظمها إلى أن تقنية النانو تساهم بوضوح في تعزيز خصائص المواد، سواء من حيث المتانة أو خفة الوزن أو مقاومتها للعوامل البيئية، إلى جانب دورها الكبير في دعم مبادئ العمارة المستدامة وترشيد استهلاك الطاقة. ولم تغفل بعض الدراسات البعد التكنولوجي المتقدم، حيث أشارت

إلى تكامل تقنية النانو مع أدوات رقمية مثل نمذجة معلومات البناء (BIM) ، ما يعكس توجُّهًا نحو دمج أكثر فعالية بين التقنيات الحديثة في دورة حياة المشاريع المعمارية.

ورغم تنوع الموضوعات التي تناولتها تلك الدراسات، إلا أن هناك إجماعًا على أن تقنية النانو تمثل أداة قوية تفتح آفاقًا واسعة للتطوير في مجالات الهندسة والعمارة. ومن هنا، يأتي هذا البحث ليُكمل ما طُرِح، من خلال تسليط الضوء على فاعلية تقنية النانو في تحسين كفاءة الأعمال الإنشائية بشكل خاص.

2.2 الاطار النظري:

2.2.1 علم النانو:

يُعرف علم النانو بأنه المجال الذي يهتم بدراسة الظواهر والمواد في نطاق يتراوح بين 1 إلى 100 نانومتر، مع التركيز على كيفية التحكم بها والتعامل معها على هذا المستوى الدقيق. أما تقنية النانو، فهي تركز على توظيف هذا الفهم العلمي للمادة واستخدامه في تطبيقات عملية، من خلال التحكم في أبعاد المواد ضمن النطاق النانوي. ويمكن توضيح الفرق بين علم النانو وتقنيته بطريقة شبيهة بالتمييز بين العلم والتكنولوجيا بوجه عام؛ فالعلم يركّز على الفهم النظري بينما تهتم التكنولوجيا بالتطبيق العملي لهذا الفهم (الشمري، 2023). يركّز علم النانو على التفاعلات والسلوكيات التي تظهر عند مستويات متناهية الصغر، قابلة للمقارنة مع الحجم الذري أو الجزيئي، ويُعد هذا المجال أساسًا لفهم الخواص البنوية والفيزيائية والكيميائية

للمواد عند هذا المقياس. وبفضل هذا العلم، أصبح من الممكن تفسير سلوك المواد عندما تُختزل إلى وحدات صغيرة للغاية، مما أتاح تطوير تقنيات جديدة ذات كفاءة أعلى (Manojlović, 2018).

في السنوات الأخيرة، برز علم النانو كأحد التخصصات الحيوية، حيث يتعامل مع مواد وأجسام لا يتجاوز حجمها 100 نانومتر. يدرس هذا العلم ليس فقط الجسيمات النانوية، بل يشمل أيضًا التفاعلات التي تحدث على المستويات الذرية والجزيئية. ومن بين أبرز تطبيقاته، إنتاج أجهزة إلكترونية بحجم أقل من ميكرومتر واحد، والتي أحدثت نقلة نوعية في حياتنا اليومية.

ومن خلال تبني مفاهيم علم النانو، يمكن تحسين أداء العديد من التقنيات التقليدية وجعلها أكثر فاعلية. كما أن الكثير من الظواهر الطبيعية مرتبطة بهذا النطاق، إذ توجد الجسيمات النانوية في العديد من مكونات البيئة من حولنا. فعلى سبيل المثال، تُعد جزيئات الماء، بتكوينها الدقيق، جزءًا من هذا السياق الطبيعي المرتبط بعالم النانو (Nouailhat, 2010).

2.2.2 تقنيات النانو:

تُعد تقنية النانو من أبرز الاتجاهات البحثية الحديثة التي تركز على تصميم وتركيب وتحليل بنية الجسيمات الدقيقة التي تقع أبعادها ضمن النطاق النانوي. فالاهتمام العلمي والهندسي المتزايد بهذا النطاق يعود إلى الخصائص غير المألوفة التي قد تظهر عند التعامل مع المواد في هذا المستوى؛ إذ أن نفس المادة يمكن أن

تتصرف بشكل مختلف تمامًا عندما تُصغَّر إلى المقاييس النانوية، سواء من حيث الصلابة أو المرونة أو المقاومة أو التوصيل أو التفاعل الكيميائي. حتى الصفات البصرية كالألوان تتأثر بالحجم في هذا النطاق. ومع أن تقنية النانو ما زالت في طور البحث النشط في معظم فروع العلوم والهندسة والطب، إلا أن التطبيقات الفعلية باتت واسعة، مستفيدة من الخصائص الجديدة أو المحسنة التي تكتسبها المواد النانوية (Friedersdorf & Spadola, 2020). يُسجل استخدام المواد النانوية اليوم نموًا متسارعًا عبر قطاعات عديدة، بفضل تنوع خصائصها التي تختلف تبعًا للحجم والشكل والتوزيع. وقد انعكس ذلك في مجالات متعددة منها الصحة، الطب الحيوي، مستحضرات التجميل، التغذية، البيئية، الطاقة، الميكانيكا، البصريات، الإلكترونيات، الصناعات الكيميائية، الطيران، إلى جانب مجالات الحفز والإلكترونيات الضوئية والكهروكيميائية، وغيرها من التطبيقات المتقدمة. وقد أدى هذا التوسع الكبير إلى إرساء أسس علمية وتطبيقية جديدة، فتحت آفاقًا لم تكن ممكنة في السابق (Swami, et.al, 2016).

ومن حيث الأهمية، فإن تقنية النانو تُعد من أبرز مجالات البحث العلمي تطورًا خلال العقود الأخيرة، نظرًا لقدرتها على إحداث فرق نوعي في العديد من القطاعات، من البناء، إلى الاتصالات، إلى صناعة السيارات والطاقة. لقد أثبتت الأبحاث أن خصائص المواد على المستوى النانوي تمكّن من تحقيق أداء أعلى بكثير مقارنة بالمواد التقليدية، وهو ما انعكس في تطوير منتجات بخصائص غير مسبوقة (Khandve, 2014).

ففي مجال مواد البناء على سبيل المثال، ساهمت تقنيات النانو في إنتاج مواد أكثر خفة ومتانة ومقاومة، مع تقليل احتياجات الصيانة بشكل ملحوظ. وأبرز ما توصلت إليه الدراسات هو أن لتقنيات النانو القدرة على تمكين المواد من إصلاح ذاتها والتعامل مع الشروخ والتصدعات، إلى جانب تحسين الخواص مثل الصلابة والمرونة ومقاومة التآكل والتنظيف الذاتي (شيبية، 2024).

2.2.3 مزايا تقنية النانو في مجال الإنشاءات:

تُعد تقنية النانو من أبرز إنجازات العصر الحديث، إذ تمثل طفرة علمية متعددة الأوجه، تتجلى آثارها في مجالات متنوعة، ولا سيما في قطاع الإنشاءات. يمكن رصد مجموعة من الخصائص التي تمنحها مكانة متميزة في تطوير المواد والأنظمة المستخدمة في البناء كما يلي (حسنين، غالي، وأحمد، 2024):

- إمكانية التحكم الدقيق في ترتيب الذرات والجزيئات، وهو ما يُفضي إلى اكتشاف خصائص جديدة للمواد لم تكن معروفة من قبل، إضافة إلى تطوير مواد مبتكرة تتسم بمرونة عالية في الاستخدامات الهندسية والمعمارية. ويُعزز هذا التوجه قدرة المهندسين والمصممين على إنتاج مواد إنشائية وغير إنشائية تتلاءم مع متطلبات الأداء العالي والكفاءة المستدامة.
- الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمواد تتغير بصورة جذرية عند التعامل معها على المستوى النانوي، مقارنة بخصائصها على المستوى الميكروي أو الحجمي التقليدي. هذا التحول يُترجم إلى أداء محسّن

للمواد في الجوانب الحرارية والميكانيكية والكهربائية، مما ينعكس إيجاباً على جودة المنشآت وكفاءتها.

- تسهم تقنية النانو في رفع كفاءة استهلاك الطاقة، وتقليل الوزن، وزيادة قوة التحمل، وتخفيض التكاليف، إلى جانب تعزيز سرعة التنفيذ. ونتيجة لذلك، بات بالإمكان تصميم مواد بناء ذات خواص فائقة، تلبي احتياجات الحاضر وتواكب تطلعات المستقبل في مجال التشييد والتطوير الحضري

2.2.4 تطبيقات تقنية النانو على المواد الإنشائية:

دخلت مواد النانو في مجال علوم وتكنولوجيا البناء من عدة جوانب، حيث تُستخدم هذه التقنية على نطاق واسع لتحسين خصائص المواد الإنشائية. من أبرز التطبيقات التي تمت الاستفادة منها:

• الخرسانة وتقنية النانو:

يتم إضافة مواد نانوية إلى الخرسانة لتحقيق مجموعة من الأهداف التي لتحسين أدائها. تشمل هذه المواد إضافة مواد لتلوين الخرسانة أو تحسين قوتها. ومن أهم الفوائد التي توفرها الخرسانة المضاف إليها مواد النانو مقارنةً بالخرسانة التقليدية ما يلي (Srivastava & Singh, 2011 ؛ العالم والعامري، 2022):

1. تقليل التكاليف: تساهم الخرسانة المحسنة بتقنية النانو في تقليل استهلاك الأسمنت بنسبة تصل إلى 50%، مما يؤدي إلى تقليل التكاليف بشكل ملحوظ.

2. زيادة العمر الافتراضي للمباني: تعمل الخرسانة النانوية على تحسين القوة والخصائص الهيكلية، مما يساهم في إطالة عمر المباني.
3. تقليل السماكة: تقلل الخرسانة النانوية من سماكة الألواح الخرسانية وقطاعات الأعمدة سواء في الطول أو العرض، مما يساهم في توفير المساحة.
4. زيادة المساحات والارتفاعات: توفر الخرسانة المحسنة باستخدام النانو إمكانيات أكبر في زيادة المساحات الداخلية للمنشآت، وكذلك ارتفاعاتها.
5. مقاومة التآكل: تتمتع الخرسانة النانوية بمقاومة أكبر للتآكل مقارنة بالخرسانة التقليدية.
6. تحمل الأحمال الثقيلة: الخرسانة النانوية تتمتع بقدرة على تحمل عشرة أضعاف قوة الخرسانة التقليدية، مما يؤدي إلى تقليل الانبعاثات الناتجة عن تصنيع الأسمنت، وبالتالي الحد من ظاهرة الاحتباس الحراري.
7. مقاومة الخرسانة النانوية للمؤثرات البيئية: تساهم تكنولوجيا النانو في تعزيز قدرة الخرسانة على مقاومة التحديات البيئية مثل درجات الحرارة المرتفعة وأيونات الكلوريد، اللذان يعدان من العوامل الرئيسية المسببة لتدهور المنشآت الخرسانية. يتم معالجة هذه المشاكل باستخدام مواد نانوية تتداخل مع الهيكل الخرساني، مما يحسن مقاومته للتآكل والتشققات (Wahab, Kumar, Bhaskar & Swami, 2013)

• تطبيقات تكنولوجيا النانو في حديد التسليح :

يُعتبر الحديد من المكونات الأساسية في عمليات البناء والتشييد، وهو جزء لا يتجزأ من الخرسانة المسلحة. باستخدام تكنولوجيا النانو، تم تحسين خصائص حديد التسليح لزيادة متانته وكفاءته في تطبيقات البناء. من أبرز ميزات الحديد المحسن بتقنية النانو MMFX2 ((Hatem & Sami, 2007):

1. يتمتع حديد النانو بقدرة عالية على مقاومة التآكل والتصدع والصدأ دون الحاجة لاستخدام أي طلاء حماية.

2. يتمتع بقوة تحمل تفوق الحديد التقليدي بخمس مرات.

3. يتيح حديد النانو المزيد من المرونة أثناء عملية التشكيل، مما يسهل التعامل معه في مختلف أنواع الإنشاءات.

4. يمكن تقليص كمية حديد التسليح المستخدم في البناء بنسبة تصل إلى 50% مقارنة بالحديد التقليدي.

5. يعمل على تخفيض تكاليف التشغيل بنسبة تصل إلى 60%.

6. يتيح حديد النانو بناء هياكل أكثر كفاءة مع توفير المواد والوقت في نفس الوقت.

• الخشب المعالج بتقنية النانو:

يُعتبر الخشب من المواد الإنشائية الشائعة التي تستخدم في البناء، ومع أن خواصه الطبيعية بسيطة إلى حد ما، فقد تم تطويره باستخدام تقنية النانو لتعزيز قوته ومرونته. إذ تم تعديل ترتيب جزيئات الخشب بشكل يساهم في تحسين ترابطه وزيادة متانته، بالإضافة إلى تطوير حساسات نانو قادرة على تحديد مواقع التشققات والأضرار لمعالجتها بشكل دقيق (Bertolini, Invernizzi, Marzi & Tulliani, 2010).

ومن أهم مميزات الخشب المعالج بتقنية النانو ما يلي (Robert, 2009)

- يصبح سطح الخشب أكثر مقاومة للماء والأتربة بفضل المعالجة بتقنية النانو.
- الخشب المعالج يتمتع بقدرة عالية على مقاومة البخار ومنع تغلغله داخل المادة.
- يتمتع بقدرة فائقة على مقاومة الحرارة العالية، مما يعزز من استدامته في البيئات المختلفة.
- الطلاء المستخدم في المعالجة يكون شفافاً وغير مرئي، مما يحافظ على اللون الطبيعي للخشب دون التأثير عليه.
- الخشب المحسن بتقنية النانو يُظهر مقاومة جيدة للأشعة فوق البنفسجية والعوامل الجوية الأخرى، بالإضافة إلى مقاومته للتآكل والتشققات.
- يعد الخشب المعالج مقاوماً للطحالب والبكتيريا والفطريات.

يُعد الخشب المعالج بتقنية النانو مادة منخفضة التكلفة، خفيفة الوزن، ومرنة، ما يسهل تشكيلها واستخدامها في مختلف التطبيقات الإنشائية (العالم والعامري، 2022).

من خلال ما سبق، تظهر لدينا تكنولوجيا النانو كأداة فعالة لتحسين كفاءة وجودة المواد الإنشائية، مما يؤدي إلى تقليل التكاليف وتعزيز استخدامها في مجالات البناء المختلفة، مما يؤدي إلى استدامة المباني في مواجهة التحديات البيئية والهيكلية.

2.2.5 أثر تطبيقات تقنية النانو في الأعمال الإنشائية:

لقد أحدثت تكنولوجيا النانو ثورة حقيقية في صناعة البناء، من خلال تحسين وتطوير مواد البناء بشكل لم يكن ممكناً من قبل. من أبرز التطبيقات التي استفادت من هذه التكنولوجيا هي تصميم الواجهات المعمارية، حيث ساهمت في تحسين الجوانب الجمالية، البيئية، والوظيفية للمواد المستخدمة في البناء ويمكن تفصيلها كما يلي (عليان، 2025):

1. تحسين المواد وواجهات المباني: ساهمت تكنولوجيا النانو في تطوير المواد التي تستخدم في بناء الواجهات المعمارية بشكل كبير. فقد تم إدخال مواد نانو معالجة تقدم خصائص مميزة من حيث مقاومة العوامل الجوية، وتحسين الجمالية، فضلاً عن تأثيرها الإيجابي على البيئة. على سبيل المثال، تم إنتاج مواد أكثر استدامة وأكثر فعالية في مقاومة التغيرات المناخية، مما يتيح للمصممين والمطورين الاستفادة من واجهات مبتكرة تجمع بين الفعالية البيئية والجمالية (عبدالله، 2017).

2. **استدامة البيئة وتحسين أداء المباني:** تكنولوجيا النانو قدمت حلولاً فعالة للمشاكل البيئية المرتبطة بالبناء. المواد النانوية التي تم تطويرها تتمتع بخصائص فريدة تسمح بإعادة التدوير بسهولة، مما يساعد في تقليل الهدر وتحقيق استدامة أكبر في بناء المباني. كما أن استخدام هذه المواد يزيد من متانة المباني ويطيل عمرها الافتراضي، حيث أنها تقاوم التأثيرات الجوية والعوامل البيئية بشكل أفضل من المواد التقليدية (Ahmed & Fagal, 2019).
3. **تحسين العزل وتوفير الطاقة:** من خلال تقنيات النانو، أصبحت المواد المستخدمة في الواجهات قادرة على تحسين العزل الحراري والصوتي للمباني، مما يقلل من الحاجة لاستهلاك الطاقة سواء للتبريد أو التدفئة. إضافة إلى ذلك، فإن المواد المعالجة نانو تقنياً تساعد في تقليل الانبعاثات الحرارية، مما يعزز من كفاءة استهلاك الطاقة ويقلل من التكاليف التشغيلية للمبنى.
4. **ابتكار تصميمات معمارية جديدة:** تكنولوجيا النانو ساعدت في خلق أفكار وتصميمات معمارية غير تقليدية، حيث أتاحت للمصممين استخدام مواد مبتكرة تسمح بتطوير واجهات غاية في الجمال والفنية. المواد النانوية توفر إمكانيات واسعة للتحكم في الألوان، اللامعان، وحتى الانعكاسات الضوئية، مما يجعل الواجهات المعمارية أكثر تناعماً مع البيئة المحيطة وتضفي عليها طابعاً عصرياً وامتجدداً.

بناء على ما سبق يمكن القول إن تكنولوجيا النانو قد أحدثت تحولاً كبيراً في طريقة تصميم وتشيد المباني، حيث تساهم في تحسين الأداء البيئي والجمالي للمباني، مما يفتح آفاقاً جديدة للاستدامة والابتكار في صناعة البناء.

• النتائج والتوصيات:

سنعرض هنا أبرز النتائج التي تم التوصل إليها ومن ثم التوصيات المقترحة في ضوء تلك النتائج.

نتائج الدراسة :

أظهرت نتائج الدراسة أن توظيف تقنيات النانو في مجال البناء والأعمال الإنشائية أسهمت بفعالية في تحسين الأداء المعماري والبيئي للمباني، من خلال تعزيز كفاءتها الحرارية والوظيفية، إلى جانب تطوير الجوانب التشكيلية والتقنية للواجهات الخارجية. كما مكّنت هذه التقنيات المصممين من ابتكار حلول تصميمية غير تقليدية، خاصة في معالجة الواجهات، ما أتاح التعبير عن أشكال معمارية مميزة يصعب تنفيذها بوسائل البناء التقليدية. ومن الناحية الإنشائية، ساعد استخدام مواد النانو على تعزيز مقاومة المباني للعوامل البيئية مثل التآكل والصدأ والشروخ، مما انعكس بشكل مباشر على إطالة عمرها الافتراضي. كذلك، ساهمت هذه التقنية في تحسين العزل الحراري وتقليل استهلاك الطاقة، مما يدعم توجهات الاستدامة ويخفض من حجم الانبعاثات الكربونية. على الصعيد الجمالي، وفرت تقنيات النانو إمكانيات معمارية جديدة تحقق توازناً بين

الشكل والوظيفة، وأسهمت في إضفاء طابع بصري مميز على المباني. إضافة إلى ذلك، أوضحت النتائج إمكانية تطبيق هذه التقنيات على نطاق واسع، خاصة في مواد مثل الزجاج، الحديد، الدهانات، والسيراميك، مع تقديم خصائص تفوق التكلفة المضافة، ما يجعلها خيارًا عمليًا وفعالًا في مجالات البناء والتصميم.

التوصيات:

في ضوء النتائج التي تم التوصل إليها، يوصي الباحث بما يلي:

- ضرورة نشر الوعي بتقنيات النانو وسبل تطبيقها في العمارة والهندسة من خلال المؤتمرات، الندوات، والمناهج الجامعية.
- تشجيع الجهات الأكاديمية والحكومية على دعم البحوث التطبيقية والعلمية في مجال تقنية النانو، وربطها بالاحتياجات البيئية والمعمارية.
- يُوصى بإدراج تقنيات النانو ضمن مشاريع الدولة العمرانية الكبرى، لما لها من أثر على تحسين كفاءة البناء وتحقيق الاستدامة.
- على الممارسين تبني تقنيات النانو في التصميم الخارجي للمباني لإنتاج واجهات أكثر ابتكارًا وكفاءة وظيفية.
- يُنصح بالتركيز على تطوير تقنيات النانو نحو نماذج صديقة للبيئة، لتسهم في تحقيق الاستدامة وتقليل استهلاك الموارد.



المجلة الإلكترونية الشاملة متعددة التخصصات
Electronic Interdisciplinary Miscellaneous Journal
العدد الرابع والثمانون شهر 6 (2025)
Issue 84, (6) 2025

ISSN: 2617-958X

الخاتمة:

استنادًا إلى نتائج الدراسة، يتضح أن تقنيات النانو تمثل تحولًا نوعيًا في عالم البناء والمعمار، حيث ساعدت في تخطي قيود المواد التقليدية وفتحت آفاقًا جديدة للابتكار المعماري، سواء من حيث الشكل أو الوظيفة. كما أكدت النتائج على أهمية دمج هذه التقنية ضمن السياسات العمرانية والتعليمية لما لها من دور كبير في دعم الاستدامة وتقليل استهلاك الطاقة. ومع التقدم المستمر في هذا المجال، يبدو المستقبل واعدًا لتقنيات النانو في البناء، خصوصًا إذا تم توجيهها نحو الحلول البيئية الذكية والمستدامة.

المراجع:

المراجع العربية:

- حسنيين، هالة محمد، غالي، محمد حمدي، أحمد، نورهان سيد عبده. (2024). دور تكنولوجيا النانو الخضراء في رفع كفاءة وأداء العمارة الداخلية للمراكز الصحية، مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية، 9(44)، 623-642.
- حسن، محمد حسن رمضان، محمد، علي محمد سنوسي، محمد، دعاء عبدالرحمن. (2025). أثر استخدام تطبيقات تقنية النانو تكنولوجي على مواد الإنشاء لرفع كفاءة المبنى الذكي. مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية، 10(50)، 394-412.
- معلا، ياسر. (2023). دور تكنولوجيا النانو في الصناعات الإنشائية-دراسة عملية عن نانو سيرميك، الجامعة الافتراضية السورية، 1-60.
- شبية، أحمد صلاح الدين، عبدالفتاح، زكريا احمد، محمد، هالة عبدالمعز. (2024). استخدام تطبيقات المواد النانوية في المباني ومساهماتها في دعم التكنولوجيا الخضراء، مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية، 9(43)، 21-37.
- عبدالله، أمجد محمود. (2007). التطور والتغير في الفكر الجديد والأبنية الصناعية الذكية، جامعة بغداد، العراق.
- حبيب الله، سبنا المرضي إبراهيم. (2019). نحو عمارة ذكية ومستدامة باستخدام النانو تكنولوجي، جامعة بنغازي، ليبيا.
- الشمري، أحمد عام حسين. (2023). علم النانو وتقنية النانو تحضيره وتطبيقاته، دار المها للطباعة والنشر والتوزيع، بغداد.
- عليان، سامح محمد حامد. (2025). تأثير تكنولوجيا النانو في تحسين الراحة الحرارية داخل المباني، مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية، 10(50)، 47-61.



ISSN: 2617-958X

المجلة الإلكترونية الشاملة متعددة التخصصات
Electronic Interdisciplinary Miscellaneous Journal
العدد الرابع والثمانون شهر 6 (2025)
Issue 84, (6) 2025

عبدالله، أحمد عبدالله. (2017). تأثير تطبيقات تقنية النانو على المواد المستخدمة في الواجهات الخارجية للمباني، كلية الهندسة، جامعة القاهرة.

المراجع الأجنبية:

- Elbony, F., & Sydhom, S. (2022). Nanotechnology for energy efficient building material embodied energy for the cement-based building materials. *International Design Journal*, 12(4), 273-283.
- ALBARSSI, S. S, ALHADI, R.M. (2020). The Potential of Nanotechnology in Improving the Efficiency of Existing Building Performance: A Literature Review, *International Science and Technology Journal*, (22), 268-290.
- Haggag, A. G. (2023). The Effect of Using Nanotechnology in Construction Processes Applied by BIM. *Journal of Engineering Research*, 7(1), 81-93.
- Parthenopoulou, N. K., & Malindretos, M. (2016). The use of innovative materials in innovative architectural applications. Combining forces for high performance structures. *Materials Today: Proceedings*, 3(3), 898-912.
- Manojlović, J. (2018). Introduction to nanotechnology and molecular self-assembly. *Facta Universitatis, Series: Automatic Control and Robotics*, 17, 105.
- Nouailhat, A. (2010). *An introduction to nanoscience and nanotechnology* (pp. 1–206). ISTE Ltd and John Wiley & Sons.
- Friedersdorf, L. E., & Spadola, Q. A. (2020). Introduction to nanotechnology. In *Nanotechnology* (pp. 1–14).
- Ahmed, S., Ahmad, M., Swami, B. L., & Ikram, S. (2016). A review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications: A green expertise. *Journal of Advanced Research*, 7(1), 17–28.
- Khandve, P. V. (2014). Nanotechnology for building material. *International Journal of Basic and Applied Research, Special Volume 4*
- Srivastava, A., & Singh, K. (2011, December). Nanotechnology in civil engineering and construction: a review on state of the art and future prospects. In *Proceedings of Indian Geotechnical Conference* (Vol. 1, No. 024, pp. 1077-1080).

- Wahab, A., Kumar, B. D., Bhaskar, M., Kumar, S. V., & Swami, B. L. P. (2013). Concrete composites with nano silica, condensed silica fume and fly ash— study of strength properties. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(5), 1-4.
- Hatem S, Amr, H., Sami, R. (2007). EVALUATION OF BOND CHARACTERISTICS OF MMFX STEEL Constructed Facilities, Laboratory Department of Civil, Construction, and Environmental Engineering, North Carolina State University.
- Bertolini Cestari, C Invernizzi, S., Marzi, T., & Tulliani, J. M. (2010, June). Nanotechnologies/Smart-materials in timber constructions belonging to cultural heritage. In *Proceedings of 11th world conference on timber engineering* (Vol. 4, pp. 761-762).
- Robert, M. (2009). *Nanotechnology and Wood the Green Connection*, Purdue University.
- Ahmed, W. S., & Fagal, K. S. (2019). A resource-based study that contributes to the use of smart materials to achieve sustainability within the context of contemporary architecture. *Journal of Advanced Engineering Trends*, 38(2), 1-19.
- Renovat KSA. (n.d). Building construction: the solid foundation for sustainable construction, Retrieved from: <https://translate.google.com/?hl=ar&sl=ar&tl=en&text=%0A%0A%0A%D8%AA%D9%85%20%D8%A7%D9%84%D8%A7%D8%B3%D8%AA%D8%B1%D8%AC%D8%A7%D8%B9%20%D9%85%D9%86%20&op=translate>