ENGINEERING RESEARCH JOURNAL (ERJ)
Vol. 1, No. 40 April 2019, pp. 211-220.
Journal Homepage: www.feng.bu.edu.eg

تقنية النانو وتاثيرها على إقتصاديات مواد البناء الهيكلية فى مصر

Nanotechnology and its impact on the economics of structural building materials in Egypt

م. يسرا عثمان على١؛ د. ماجد محمد أبو العلا٢؛ أ.د. منى حسن سليمان٣

١. باحثة بقسم الهندسة المعمارية (تصميم معمارى)–كلية هندسة-قسم عمارة-جامعة الفيوم
٢. مدرس بقسم الهندسة المعمارية –كلية الهندسة- جامعة الفيوم
٣. استاذ بقسم الهندسة المعمارية- كلية هندسة- جامعة الفيوم

ملخص البحث:-

لقد سيطرت التقنيات الفائقة وخاصة تقنية النانو على مختلف مجالات الحياة فى هذا العصر وبخاصة العمارة من خلال استغلال إمكانياتها فى إنتاج مواد جديدة أو تحسين خواص مواد معينة من خلال بعض الإضافات النانوية, مما أدى إلى ظهور عمارة النانو وهى أحدث ما أنتجته التقنيات الفائقة فى القرن الحادى والعشرين حيث أعطت العمارة إمكانيات متعددة لتشكيل منتج معمارى متفاعل مع البيئة الطبيعية من خلال استخدام خامات بناء محسنة بتقنيات النانو مثل الخرسانة والحديد والخشب وإلخ....يتناول البحث تطور تقنية النانو بالإضافة إلى العديد من المفاهيم المتعلقة بمجال النانو, والمواد النانوية وخواصها: وما أتاحته من خصائص متقدمة لنظم الإنشاء وخامات البناء المتنوعة سواء كانت الخرسانة أو الفولاذ أو الخشب التى ساعدت على زيادة كفاءة واقتصاديات المبانى, وتم عمل دراسة تحليلية باستخدام منهج التحليل الوصفى المقارن للوصول إلى تأثير المواد النانوية على التكلفة وزمن التنفيذ وأداء أعلى للمبنى. حيث أن هدف البحث هو تحديد مدى تأثير استخدام تكنولوجيا النانو على اقتصاديات المواد فى مجال التشييد والبناء.

الكلمات المفتاحية: النانو – مواد الانشاء الهيكلية – اقتصاديات المواد النانوية

Abstract:-

the high tech, especially nanotechnology, has dominated various aspects of life in this age, especially architecture, by exploiting its potential to produce new materials or to improve the properties of certain materials through some nanomaterials. This has led to the emergence of nanostructures, the latest of high-tech technologies in the 21st century. Where architecture has given multiple possibilities to form an architectural product interacting with the natural environment through the use of building materials improved with nanotechnologies such as concrete, iron, wood, etc. The research deals with the development of nanotechnology in addition to many concepts related to the field of nanotechnology, Nanoparticles and their properties: The advanced properties of construction systems and various construction materials, whether concrete, steel or wood, which helped to increase the efficiency and economics of buildings. An analysis was carried out using the comparative descriptive analysis method to study and analyze the success factors of examples to reach the impact of nanomaterials On cost and time of implementation. The objective of the research is to determine the impact of the use of nanotechnology on the economics of materials in the field of construction.
key words:- Nanostructures - Structural Materials - Nanomaterials Economics

المقدمة:

إن عصرنا الحالى هو عصر التكنولوجيا والتقدم العلمى, عصرالارتقاء الذى تطرقه حضارة القرن الحادى والعشرين فى مختلف المجالات, وبذلك أصبح تطبيق وسائل التكنولوجيا المتطورة مطلبا اساسيا تسعى لتحقيقه جميع المجتمعات كى تواجه به مختلف متطلبات حياة أفرادها بأسلوب راقى يحقق الإرتقاء بمستوى الأداء بكافة مجالات الحياة وبخاصة فى مجال العمارة وفى عالم البناء. فيمثل العصر الحالى عصر النانو تكنولوجى، فالهدف منه استخدام مواد البناء الحديثة الأقل تكلفة والاكثر صداقة للبيئة .. وتكنولوجيا النانو تساهم في تقليل الانبعاثات من المنازل، كما ان تكنولوجيا النانو هي وسيلة للعيش في مسكن صحي نظيف منخفض التكاليف على المدى الطويل كما يريح من عناء التنظيف اليومي، وينظف نفسه ذاتيا، ويحافظ على حالته الجيدة لمدة طويلة كما يتحكم في درجات حرارة ورطوبة الغرف تبعا للظروف المناخية، ويراقب الاعطال والاضرار ويقاوم التصدعات والتشققات التي يمكن ان تحدث للمبنى ويصلحها بنفسه فمع تكنولوجيا النانو سيتحول هذا الخيال إلى تحقيق واقعى في المستقبل القريب. وقد أثرت تكنولوجيا النانو على مواد البناء وعلى العمارة بشكل كبير فتم تطوير وتحسين أداء المواد الانشائية (الخرسانة – الحديد – الخشب), وقد ساهم علم النانو تكنولوجي في تطور أعمال التشييد والبناء حيث أن العمر الافتراضي للعقارات التقليدية قد يصل إلى المائة عام، إلا أنه مع استخدام علم النانو تكنولوجي في علوم العمارة والبناء يؤدى إلى أن يصل العمر الافتراضي للعقار إلى الخمسمائة عام.

مشكلة البحث:

تعد تكنولوجيا النانو واحدة من أهم التطورات العلمية والتى لها أثر كبير على العديد من المجالات بما فيها العمارة حيث أنها تقدم موادا جديدة من شأنها أن تؤثر فى مجال التشييد والبناء من حيث الإرتقاء بمستوى كفاءة الأداء وإقتصاديات البناء وقد أدى ظهور هذه التكنولوجيا المتطورة إلى خلق الإحتياج إلى دراسة إمكانية استخدام النانو تكنولوجى فى مجال التشييد والبناء للوصول إلى مبانى ذات كفاءة أداء عالية وبأقل تكلفة على المدى البعيد.

هدف البحث:

يهدف البحث إلى تحديد مدى تأثير تقنية النانو وخواصها والإضافات المختلفة التى تساعد على الارتقاء بمستوى البناء على اقتصاديات المواد فى مجال التشييد والبناء.

المنهجية:

إعتمدت منهجية البحث على النظامين الاستقرائى والتحليل المقارن لدراسة تقنية النانو فى مجال اقتصاديات تكنولوجيا البناء:-

- أولا : مقدمة عامة للبحث تشتمل على المفاهيم الاساسية لتقنية النانو والمواد النانوية وخواصها وأهميتها.
- ثانيا : دراسة المواد النانوية الهيكلية من الخرسانة والحديد والخشب وتأثيرها على اقتصاديات المبنى.
- ثالثا : استخدام منهج التحليل المقارن الذى يشتمل على تحليل نموذج على التطبيقات النانوية الهيكلية المستخدمة ونموذج لمواد البناء الهيكلية التقليدية والذى ينتهى بالوصول إلى قائمة الاعتبارات التصميمية التى تساعد على الوصول إلى زيادة كفاءة اقتصاديات الإنشاء.
- رابعا : تطبيق ما تم استنتاجه من الدراسة التحليلية على مبنى تم إنشائه للعمل على زيادة كفاءته الاقتصادية وينتهى البحث بالوصول إلى النتائج والتوصيات العامة للدراسة البحثية.

شكل(١) كأس الملك لايكورجوس.
المصدر: احمد فتحى متولى,٢٠١٢

١. المفاهيم الأساسية لتقنية النانو:

علم النانو يهتم بالتعامل مع المواد فى مستواها الذرى والجزيئى بمقياس لا يتعدى ١٠٠ نانومتر, ويهتم أيضا بإكتشاف ودراسة الخصائص المميزة لمواد النانو[١], وتقنية النانو تشمل الأبحاث والتطورات التقنية على المستويات الذرية والجزيئية فى مجال طولى حوالى ١-١٠٠ نانومتر, لتوفير فهم أساسى للظواهر والمواد على مقياس النانو وهى التى تصنع وتستخدم تركيبات لديها خصائص فريدة نظرا لصغر حجمها[٢].

إن استخدام تقنية النانو قديم جدا ويعود إلى الحضارة الرومانية والحضارة الصينية فى صناعة الزجاج, ولعل الكأس الإغريقى الشهر للملك الرومانى لايكورجوس فى القرن الرابع الموجود فى المتحف البريطانى كما فى شكل(١) يحتوى على جسيمات ذهب وفضة نانوية تسبب فى تغير لون الكأس وذلك وفقا لزاوية سقوط الضوء الوردى المتوهج إلى اللون الاخضر المتوهج.[٣]

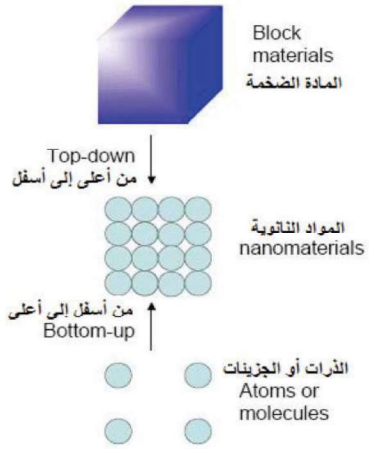
٢. المواد النانوية وخصائصها:-

إن المواد النانوية هى الفئة المتميزة من المواد المتقدمة التى يمكن إنتاجها بحيث تتراوح مقاييس أبعادها أو أبعاد حبيباتها الداخلية بين ١-١٠٠ نانومتر, وقد تكون موادا عضوية أو غير عضوية طبيعية أو مصنعة, تسلك تلك المواد سلوكا مغايرا للمواد التقليدية كما فى شكل(٢).

وهناك الكثير من الخصائص التى تميز جسيمات النانو وذلك لسببين هما:

أ- الزيادة النسبية للمساحة السطحية: المواد النانوية لها مساحة سطح أكبر عندما تقارن بنفس المواد فى الحيز الأكبر, وهذا يجعل المواد أكثر نشاطا كيماويا ويؤثر فى قوتها أو خواصها الكهربائية. فأصبحت مواد النانو تستخدم كمواد محفزة.

ب- التأثيرات الكمية: وهى تبدأ فى التحكم فى تصرفات المادة فى حيز النانو, لأن هذه المواد لم تعد تخضع لقوانين الفيزياء الكلاسيكية نظرا لأبعادها الصغيرة التى تقترب من الأبعاد الذرية لذا فإنها تخضع لقوانين فيزياء الكم والذى ينعكس على خواصها. منها القدرة على تغير اللون والشفافية والصلابة الكبيرة على التوصيل والعزل.[4]



شكل(٢) تقنيات التصنيع فى تكنولوجيا فإن اتجهت من أعلى إلى أسفل والعكس
المصدر: احمد فتحى متولى,٢٠١٢

٣. تطبيقات النانو تكنولوجى فى مجال البناء والتشييد:-

أدى دمج مواد البناء بتقنية النانو أدى إلى تحسين خواصها وإكسابها إمكانيات أكثر من مادة فى نفس الوقت, فأصبح المصممون لا يهتمون كيف سيتم البناء لكن يهتمون بالتصميم. وسوف يقوم البحث باستعراض كل مادة من حيث الإضافات النانوية وتأثيرها على المادة وأهم فوائدها[٥]

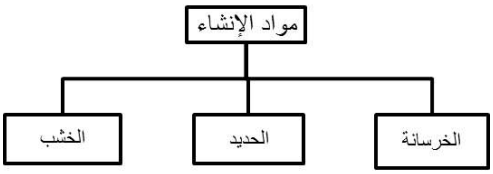
٣-١ المواد الهيكلية:-

تتكون المواد الهيكلية كما فى شكل(٣) من العناصر الآتية:-

١- الخرسانة النانوية والتى تتضمن خرسانة بتقنية ثانى أكسيد التيتانيوم وخرسانة أنابيب الكربون النانوية.

٢- الحديد والذى يتضمن الحديد المعالج بالنانوMMFX2 وحديد Steel CF and Guardian.

٣- الخشب والذى يتضمن الخشب النانو البلاستيكى ولب الخشب المعالج ولب الخشب الشفاف.



شكل(٣) تطبيقات تقنية النانو فى مواد الإنشاء

[١] الإسكندرانى,محمد,٢٠١٠ " تكنولوجيا النانو من أجل غذ أفضل", الكويت , عالم المعرفة, صفحة رقم ١٨

[٢] Leydecker, S. (2008). Nano Materials in Architecture, Interior Architecture and Design. Birkhauser, Germany.

[٣] احمد فتحى متولى,٢٠١٢, تكنولوجيا النانو وتأثيرها فى مجال التصميم الصناعى,رسالة ماجستير,كلية فنون تطبيقية, جامعة حلوان,صفحة ٣٨

[4] Hatem, S. (2010). Nanotechnology Research Center. Faculty of Engineering, Alexandria University. P 12.

[٥] Ahmad,A.2007. Early planning for the concrete work at the Burj khalifa, UAE.Technical paper,p21.29.

٣-١-١ الخرسانة:-

هى من أكثر المواد إنتاجا واستخدامها فى العالم, حيث يتم إنتاج سنويا حوالى طن واحد من الخرسانة لكل إنسان فى العالم[٦]. إن المواد النانونية أكدت تميزها وبقوة على المواد التقليدية, مما يجعل الباحثين يكرسون كل طاقتهم للوصول إلى الخرسانة من المواد النانونية المستخدمة فى الخرسانة والأسمنت لتحسين خصائصها أو اضافة خصائص عن طريق بعض الإضافات لمكونات الخرسانة[٧]جدول(١):

جدول (١) يوضح بعض إضافات المواد النانونية لتحسين خواص الخرسانة

	مكونات المادة	تأثيرها على الخرسانة	أمثلة	الشركة المنتجة
السيليكا النانوية	أحد منتجات المواد الخام من السليكون	زيادة القوة والمتانة	استخدامها فى المبانى الشاهقة فى الارتفاع مثل برج الخليفة بدبى	Guangzhou Hongwu material technology co البلد/ الصين
ثانى أكسيد التيتانيوم النانوى	أكسيد يتكون طبيعيا من معدن التيتانيوم	زيادة القوة وتقنيات التشكيل, وبفضل عملية التحفيز الضوئى تجعله قادرا على منع تلوث الأسطح ومضاد للبكتيريا	يستخدم فى الأسطح الخارجية الواسعة فى المناطق الملوثة مثل كنيسة اليوبيل فى إيطاليا	Shanghai Liangjiang Titanium white product co البلد/ الصين
أنابيب الكربون النانوية	أنابيب الكربون النانوية	تزيد من مقاومة الضغط والشد والإنحناء للخرسانة وتعمل على سد الشروخ الميكروبية فى أجزاء الخرسانة.		شركة PILKINGTON

٣-١-١-أ خرسانة بتقنية ثانى أكسيد التيتانيوم النانوى:-

إن حبيبات ثانى أكسيد التيتانيوم النانوى تحسن من الأداء البيئى للخرسانة والأسمنت, ومقاومة الخدش التى قد تتعرض الخرسانة له من عمليات التجوية، والتنظيف الذاتى من المكروبات والمركبات العضوية وغير العضوية, والتخلص من المياه "Super Hydrophilic" التى تكون على سطح الخرسانة, وأثبت دراسات على أن مادة ثانى أكسيد التيتانيوم تزيد من قوة تحمل الخرسانة المسلحة حيث تصل مقاومتها إلى عشرة أضعاف الخرسانة المألوفة, وكذلك تقلل من انبعاثات ثانى أكسيد الكربون التى تتعرض له الخرسانة[٨].

ومن أهم الأمثلة : كنيسة اليوبيل فى إيطاليا-٢٠٠٣م للمعمارى ريتشارد ماير وهى تتكون من ثلاثة أشرعة بيضاء عملاقة كما فى شكل(٤) ارتفاعها ٣٦ مترا فى السماء, والكنيسة واقعة فى منطقة عالية التلوث بعوادم السيارات ودخان المصانع. فقد تم إضافة ثانى أكسيد التيتانيوم النانوى إلى الخليط الخرسانى الذى حافظ على نظافة السطوح البيضاء, كما خفف من التلوث البيئى المحيط بالمبنى[٩].

شكل(٤) كنيسة اليوبيل فى روما توضح الجدران المنحنية من الخرسانة النشطة
المصدر(Leydecker,S.2008)

٣-١-١-ب أنابيب الكربون النانوية:-

هى عبارة عن شرائح أو طبقات مسطحة مكونة من ذرات كربون مصفوفة ومترابطة فى أشكال هندسية سداسية, ويتم طيها فى شكل أنابيب مجوفة, ويكون قطر كل أنبوب من ١ إلى ١٠٠نانومتر أو جزء من بليون من المتر..ويؤكد العلماء أنها أقوى مواد البناء التى تم إكتشافها, فهى أقوى مائة مرة من الصلب. وعندما تم خلط هذه الألياف بالخرسانة, زادت قوة وليونة الخرسانة المسلحة إلى نحو ٣٠٠ مرة من الخرسانة التقليدية. وتتميز أيضا بخاصية أمتصاص الثقل والجهد من المواد المحيطة بها.[١٠]

التطبيقات المحتملة للأنابيب الكربون النانوية:-

١- **تنقية المياه:** إزالة الزرنيخ والفلوريد والمعادن الثقيلة والمركبات العضوية السامة
٢- **الجسور فائقة القوة:** يمكن استخدامها فى حزم مثل كابلات الجسور المعلقة التى يمكن أن تزيد من عمر الجسر الرئيسى بما يقرب ثلاث مرات.

٣-١-٢ الحديد:-

الحديد هو العنصر الرئيسى للبناء بالخرسانة المسلحة، واستخدمت المواد النانوية فى الفولاذ للحماية من التأكل بسبب التفاعلات الكيميائية والتحلل عن طريق إضافة بعض المواد النانوية التى تساعد على ذلك، وبمقارنة حديد التسليح "MMFX2"بالحديد العادى"Grade 60" المستعمل كما فى شكل(٥),(٦) فنجد انه اكثر توفيرا فى حديد التسليح حيث نحتاج الى كمية أقل وكذلك مقاومته الاعلى فى القص"Shear[11]"

---

٦ Stone, Zak.(2013). “This Beautiful Mexico City Building Eats The City’s Smog.” Co.Exist. http://www.fastcoexist.com/1681660/this-beautiful-mexicocity-building-eats-the-citys-smog?utm_source=facebook#1(February 12, 2017).

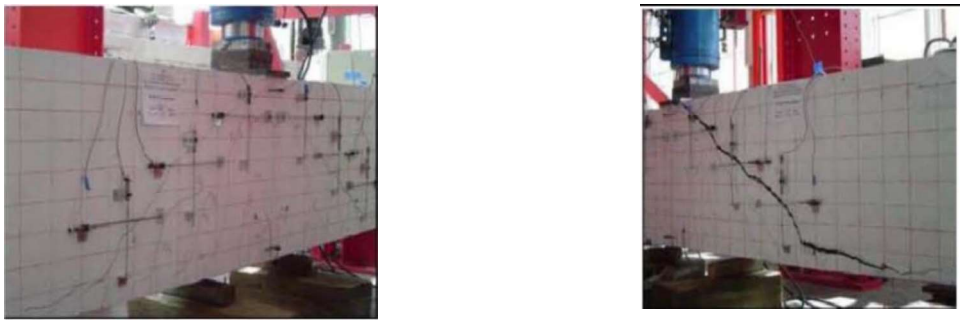
٧

٨ م.عبدالله على صقر,٢٠١٤,"المواد النانوية فى الهندسة المعمارية تطبيقاتها وخصائصها فى المبانى", رسالة ماجستير, كلية هندسة, جامعة القاهرة, صفحة ١١٢

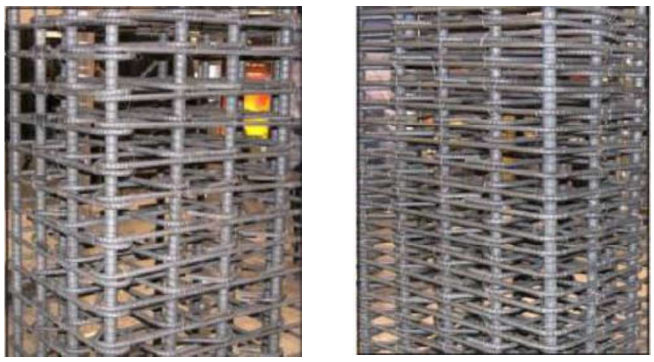
٩ .Leydecker, S. (2008). Nano Materials in Architecture, Interior Architecture and Design. Birkhauser, Germany

١٠ Giuseppe ferro;Jean-Marc Tulliana; Simone Musso.2011," Carbon nanotubes cement composites" G.Ferro et alii, Cassino(FR), Italia,; ISBN978-88-95940-36-6,PP.49-50

11 . Dr,George Elvin Green,2007,"Nanotechnololgy for green building",technology forum.p.70



شكل(٥) اختبار القص للخرسانة المسلحة عند 128kipes(57.142 ton) (يمين) grade 60 steel (يسار)MMFX
المصدر:http://rebar.ecn.purdue.edu/ect/links/technologies/civil/mmfx.aspx



ازدحام فى العمود فى الحديد العادى اقل ازدحام فى الحديد النانوى
شكل(٦) مقارنة بين كمية الحديد التقليدى والحديد MMFX2 النانوى
المصدر:http://www.mmfx.com/advantages/service-life/

مميزات الحديد المعالج بالنانو[١٢]:-

-كمية حديد تسليح أقل: أن حديد التسليح المعالج بالتكنولوجيا النانو له بنية هيكلية نانوية فريدة تتحمل مقاومة أضعاف ما يتحمله الحديد العادى المستخدم وهذا يقلل من كمية حديد التسليح المستخدم فى المبانى بنحو ٢٠-٥٠٪ .

-أيدى عاملة أقل: يقلل من تكاليف الأيدى العاملة إلى ٦٠٪.

-أقل ازدحام (تراكم): من الممكن تصميم هيكل لحديد التسليح دون تزاحم.

الحديد ذات البنية النانونية إنتاج شركة ساندفيكSANDVIK :-

حديد ساندفيك نانوفلكس هو نوع جديد من الفولاذ المقاوم للصدأ مع قوة فائقة, وقابلية جيدة للتشكيل, وتشطيب جيد للسطح تم تطويره بواسطة شركة ساندفيك للتكنولوجيا. نظرا لأدائه العالى, ساندفيك نانوفلكس مناسب للتطبيق تصاميم خفيفة الوزن وصلبة. وبسبب مقاومته الجيدة للتآكل يمكن إبقاء التكاليف منخفضة نظرا لطول عمره الافتراضى.

ومن أهم الأمثلة : استاد أستانا فى كازاخستان-٢٠٠٩م كما فى شكل(٧): حيث تم الاعتماد على فولاذ النانو المرن القابل للتشكيل والمقاوم للتآكل والحرارة فى كامل هيكل المبنى ذو المجازات الكبيرة وعلى أربعة أقسام هى (سقف ثابت, سقف قابل للطى, الشرفة العليا, الجدران الجانبية), مما أعطى شكلا ديناميكيا للملعب مع فراغ داخلى خال من العناصر الإنشائية بالإضافة لتفاعله مع البيئة عن طريق السقف الفولاذى القابل للطي[١٣].

شكل(٧) استاد أستانا الوطنى.
المصدر:CELTIKCI, N. T., & Serap GUCLU. (2009)

[١٢] http://rebar.ecn.purdue.edu/ect/links/technologies/civil/mmfx.aspx

[١٣] CELTIKCI, N. T., & Serap GUCLU. (2009). Steel Structure of Astana Stadium – Kazakhstan. Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS), (October), P 1420–1431

٣-١-٣ الخشب:-

يتكون الخشب من هيدرات الكربون واللجنين فى هيكله الذى يمكن تدميره بفعل عوامل مختلفة مثل الأشعة فوق البنفسيجية والفطريات والنمل والخنافس والمواد الكيميائية, ممل يقلل متانة الهيكل الخشبى, حيث تم إضافة مواد نانوية لتحسين اداء الخشب أهمها:

أ- اكسيد الألومنيوم النانوى: يزيد من صلابة الخشب ومقاومته للتآكل والخدش.

ب- أكسيد الحديد وثانى أكسيد التيتانيوم النانوى: يعمل على حماية الخشب من الأشعة فوق البنفسيجية ومقاومة الفطريات والعفن والطحالب وبالتالى تزيد من عمره الزمنى.

ت- نانو السليكا: تعمل على زيادة صلابة الخشب ومنع تسرب الماء وعدم نفاذية البخار.

تؤثر الإضافات كثيرا فى تحسين الأداء الهيكلى للخشب ومقاومته وزيادة عمره الزمنى مما أعطاه القدرة على الاستدامه بالإضافة إلى سهولة تشكيل الخشب بالمقاطع والأشكال مطلوبة للتصميم.

كما يستخدم كمادة إنشائية فى التصاميم العضوية المرنة ذات التشكيل الحر والمظلات. ويؤثر الخشب على أداء المبنى فى الحصول على فراغات داخلية ذات بيئة مريحة والتقليل من انبعاثات غاز ثانى أكسيد الكربون وتقليل التكلفة الإقتصادية[١٥].

كما أثرت على الشكل فى إنتاج تصاميم عضوية ومرنة, وإعطاء إحساس بأن المبنى مولود من الطبيعة. كما أثرت على تقليل انبعاثات ثانى أكسيد الكربون وتأمين بيئة داخلية مريحة.

ومن أهم الأمثلة : مظلة متروبول الشمسية الملونة فى أسبانيا-٢٠١١م[١٦] كما فى شكل(٨):-

شكل(٨) مظلة متروبول الشمسية الملونة- باسبانيا

المصدر: D'ingénierie bois. (2011)[١٤]

تعتبر مظلة متروبول الشمسية الملونة فى اشبيليه أكبر هيكل خشبى فى العالم حيث يصل إرتفاعها ٢٨متر وتغطى مساحة أكثر من ١١٠٠٠ متر مربع. الخشب المستخدم فى الهيكل مصنوع من تقشير جذوع شجرة التنوب بسماكة ٣ ملم ومعالجتها بالإضافات النانوية من البولى يوريثين مما جعلها مقاومة لأحوال الطقس من حرارة الشمس والرطوبة وطاردة للمياه والأوساخ ومانعة لتشكل العفن.

٤. استخدام تطبيقات تكنولوجيا المواد النانوية فى العناصر الهيكلية

ظهرت مواد بناء عديدة مع تقدم التكنولوجيا والعلوم فى مجال البناء والتشييد, ولكن تعتبر تطبيقات تكنولوجيا النانو فى البناء والتشييد أفضلها حيث لفتت انتباه المهندسون فى مجال البناء والتشييد, حيث ظهرت مواد ذات خصائص فريدة, من شأنها أن تغير المفهوم العام فى استخدام مواد البناء فى المبانى.

جدول (٢) خصائص المواد الانشائية النانوية

المواد الهيكلية	خصائص ومميزات المواد الهيكلية النانوية
الخرسانة المسلحة النانوية	
الإضافات النانوية فى الخرسانة	عند إضافة السيليكا النانوية بنسبة٢٪ مع ١٠٪ من أبخرة السيليكا المكثفة فى الأسمنت يعطى أعلى مقاومة ميكانيكية. الألياف الكربون النانوية(CNF): المعالجة الذاتية ثانى أكسيد التيتانيوم: طلاء للتنظيف الذاتى ذات التحفيز الضوئى.١
اقتصاديات الاستخدام	عند استخدام الخرسانة النانوية تعمل على توفير تكلفة تصل إلى ٥٠٪ من تكاليف العمالة, كما انها اسرع فى الفترة الزمنية للصب بنسبة ٨٠٪ من صب الخرسانة العادية.
الحديد النانوى	
الإضافات النانوية فى الحديد	النحاس النانوى, وصفائح نانوية من المارتنسيت النانوى٢
اقتصاديات الاستخدام	عند استخدام حديد التسليح النانوى يوفر من ٥٠٪-٢٠٪بالنسبة لإستخدام حديد تسليح غير نانوى, كما يقلل من تكاليف الأيدى العاملة إلى ٦٠٪.
المميزات	- التنظيف الذاتى - مضاد للخدوش - مضاد للشروخ - مضاد للبكتيريا والفطريات - تقليل انبعاثات مواد مضرة بالبيئة - تحليل المركبات العضوية إلى مواد هيدروكربونية صديقة للبيئة - مضادة للتلوين(الكتابة) - مقاومة للحرائق عالية بالمقارنة مع الخرسانة المسلحة الغير نانوية

٥. دراسة تأثير مواد البناء التقليدية ومواد النانو تكنولوجى على التكلفة وزمن التنفيذ:

تهدف الدراسة لتحليل عدد من المبانى التقليدية والنانونية لتحقيق عدة أهداف منها:-

- رصد الاساليب المختلفة من خواص المواد النانوية المستخدمة فى المبانى وما تقدمة من أفكار وحلول مبتكرة فى التصميم والتنفيذ لتحقيق أقل تكلفة إنشائية وأعلى عمر افتراضى واقل زمن تنفيذ.

---

[١٤] Metropol Parasol a Seville une prouesse mondiale D'ingenierie bois.(2011).Finnforest,p 1:7

[١٥] . Husien, B., Hamdi, G., Agha, M., & Mohamed, M. B.(2013). Nano Smart Home an InterdisciplinaryCollaboration for a Better Quality of the Built Environment. 2nd International Conference on Energy Systems and Technologies, 295–304

[١٦] CELTIKCI, N. T., & Serap GUCLU. (2009). Steel Structure of Astana Stadium – Kazakhstan. Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS), (October), P 1420–1431

- إيجاد بدائل مختلفة ومتعددة تساعد على وضع أفكار تتناسب مع مختلف الظروف المناخية وكذلك مع المشروعات القائمة أو التى فى مرحلة التصميم.

تم استخدام منهج التحليل الوصفى المقارن للوصول إلى دراسة وتحليل عوامل نجاح الأمثلة:

الحالة الدراسية الأولى : التطبيق التقليدى المستخدم (كلية الفنون الجميلة, جامعة لاغونا, أسبانيا:-

المعمارى : مجموعة جى بى وى , خوان أنطونيو غونزاليس بيريز ، أوربانو يانس توانا ، كونستانتس سيكست

العميل: جامعة لاغونا

التطبيق المستخدم: الخرسانة المسلحة

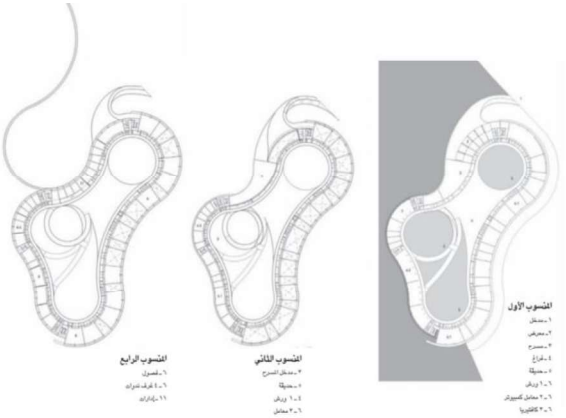
المساحة: ٣٢٢٦٠ متر مربع

التكلفة العالمية: ٢٦٢٨٦٠٠٠ دولار

بداية/ نهاية المشروع: تم الانتهاء من الإنشاء ٦-٢٠١٤

وصف المشروع: يحيط البناء نفسه بفضاء حميم مفتوح, مما يصنع المشهد الداخلى لكلية الفون الجميلة الجديدة. الغلاف الخارجى يتكون من شرائح خرسانية معلقة مما يصنع الإلتفاف الخارجى والشكل المنحنى الذى يتطور على مختلف المستويات كما فى شكل(٩), لحماية الفضاء الداخلى المفتوح للمبنى والإلتفاف حوله. هذا الغلاف يولد مساحة بينية يؤثر على الوحدة وينشر الإضاءة لفراغات العمل. كما تتجلى وظيفته المزدوجة على مقياسين, تحديد المناطق التعليمية وتحديد صورة المبنى الحضرية والإقليمية.

شكل(٩) يوضح الفناء الداخلى لكلية الفنون الجميلة
المصدر[١٧] www.gpyarquitectos.com



شكل(١٠) يوضح المساقط الأفقية لكلية الفنون الجميلة
المصدر:- gpyarquitectos.com

شكل(١١) يوضح الفراغ المركزى لمبنى الكلية والحدائق والمنحدرات الصاعدة للأدوار العلوية

التطبيق المستخدم فى هذا المشروع:-

الخرسانة المسلحة حيث يتكون الهيكل الإنشائى الأساسى للمبنى من نظام وحدات من الأعمدة والكمرات من مادة الخرسانة التى تم صبها فى الموقع. توزع الأعمدة على مسافات ٦ متر, أما الكمرات فتتراوح من ٨,٧٠ إلى ١٣,٤٠ متر, هذه المساحات عبارة عن كابولى يحمل وزنه على الجانب الأخر. أما البلاطات الأرضية فهى مصمته بسمك ٢٥. سم. يحتوى المبنى على مساحتين منفصلتين, الأولى مساحة مفتوحة كبيرة يمكن أن تمتد إلى الساحة الخارجية عبر المدخل الرئيسى, فى هذه المساحة يصل عرضها إلى ٤٢م وذلك عن طريق وجود عمودين كبيرين متوازيين وشرفة منحنية مع وجود عصب خرسانى ممتد على الوتر السفلى. أما الفراغ الثانى هو الشرفة المفتوحة على المدخل, فقد تم استخدام الخرسانة المسلحة فى بنائها وحملها على كمرات متصلة بواسطة بلاطات خرسانية تحملها كمرات على شكل حرف T, وقد استخدمت نفس هذه الفكرة فى بناء المنحدر الرئيسى مع وجود أعمدة رئيسية. ولكن من عيوب الخرسانة المسلحة ضعف مقاومة الشد لها حيث تتراوح بين ١٠٪ إلى ٢٠٪ من مقاومتها فى الضغط كما أن ثقل وزن الخرسانة وكثافتها النسبية حيث تتراوح ما بين ٢ طن/م٣ إلى ٢,٢ طن/م٣ مما يشكل نسبة كبيرة من وزن المنشأ كما ان لها نفاذية عالية.

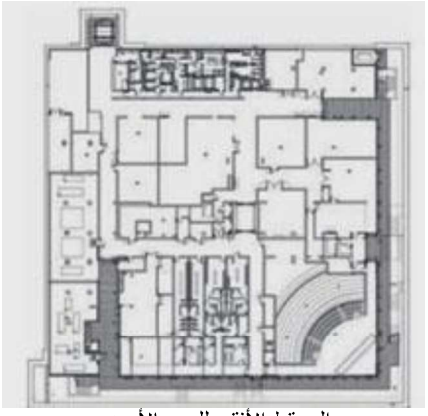
الحالة الدراسية الثانية : التطبيق النانوى المستخدم(متحف موسم MUCEM" MUSEUM by RUDY RICCIOTTI ARCHITECT):-

المعمارى: رودى ريتشيوتى, مهندس إلزامى, رولان كارتا, مهندس مشارك

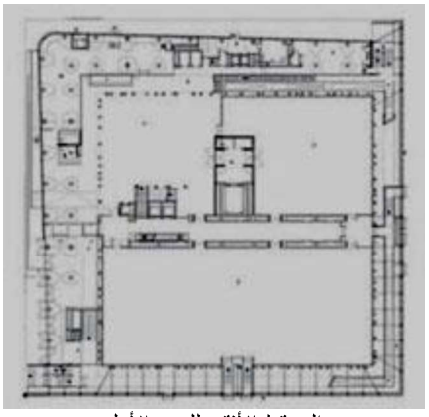
العميل: وزارة الثقافة والإتصالات, المديرية العامة للتراث من خلال مشغل التراث والمشاريع العقارية للثقافة, أوبيك

[١٧] http://gpyarquitectos.com

التطبيق المستخدم: الالياف الخرسانية النانونية عالية الأداء
المساحة: (المبنى J4) : ١٥,٥١٠ متر٢
التكلفة الكلية: ١٦٠ مليون يورو
بداية/ نهاية المشروع: يونيو ٢٠١٣
وصف المشروع: يظهر المشروع وكانه قيمة كبيرة شفافة تقع داخل فاعليات المبنى فعلى المحيط الخارجى يأتى غطاء خرسانى يظلل ما بداخل المبنى بينما تم وضع الزجاج على المربع الداخلى بالإضافة إلى أنه مجالا رائعا للإطلاله على القلعة والبحر

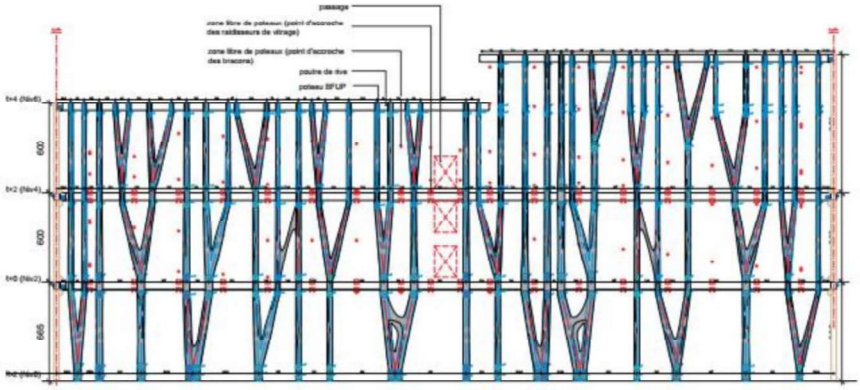


المسقط الأفقى للدور الأرضى



المسقط الأفقى للدور الأول

شكل(١٢) يوضح المساقط الأفقية لمتحف الموسم بمرسيليا
المصدر: مجلة البناء,عمارة الخرسانة, السنة السادسة والثلاثين, العدد ٣٠٧, شعبان١٤٣٧ه/مايو٢٠١٦م[١٨]



شكل(١٣) يوضح الأعمدة وكأنها أشجار مرصوصة
المصدر: مجلة البناء,عمارة الخرسانة, السنة السادسة والثلاثين, العدد ٣٠٧, شعبان١٤٣٧ه/مايو٢٠١٦م

<u>التطبيق النانوى المستخدم فى هذا المشروع:-</u>

الالياف الخرسانية النانونية عالية الأداء:-

هى خرسانة يتم مزجها ألياف من لدائن صناعية أو ألياف معدنية بحيث تغطى الخرسانة قوة تحمل ضغط أعلى مما كانت عليه وتساعد فى جعل المادة أكثر قبولا لقوى الشد, كما انها تتميز بالصلابة من ٦ إلى ٨ وات وأكثر من الخرسانة التقليدية وقدرة التحمل على الشد أكبر ٣ مرات من الخرسانة التقليدية. تقلل من ضخامة أشكالها وتجعل مكوناتها أكثر نحافة بكثير من ذى قبل وإنشائية فى نفس الوقت. كما انها خرسانة تستخدم بدون أى اضافات عليها, وهى قادرة على عزل الماء نظرا للكثافة المادية لها ومقاومة للعوامل الكيميائية الخارجية. بينما من الناحية المعمارية هذا يعنى الكثير, فالمعماريون يحتاجون إلى هذا النوع من المواد التى يعطى لهم أكثر من البعد التشكيلى, والبعد الإنشائى.

تأثير إستخدام هذه التقنية على إقتصاديات المشروع:-

البعد الإقتصادى لهذه التقنية يجعل المعمارى أكثر حرية عند تشكيل مبناه, كونه يتعامل مع مادة إقتصادية. كما إن التكلفة الكلية لهذه الخرسانة تقل من ٤ إلى ٥ مرات بالنسبة للخرسانة العادية, كما ان عمرها الزمنى طويل.

<u>وبمقارنة الحالتين التقليدية والنانونية نرى أن:-</u>

جدول(٣) يوضح مقارنة بين الحالتين الدراسيتين الأولى والثانية

وجه المقارنة	التطبيق التقليدى المستخدم	التطبيق النانوى المستخدم
مقاومة الشد	ضعف مقاومة الشد لها حيث تتراوح بين ١٠٪ إلى ٢٠٪ من مقاومتها فى الضغط	تعمل على إعطاء الخرسانة قوة ضغط أعلى مما كانت عليه الخرسانة التقليدية, كما أن قدرة التحمل على الشد أكبر ٣ مرات من الخرسانة التقليدية.
وزن الخرسانة	ثقل وزن الخرسانة وكثافتها النسبية حيث تتراوح كثافة الخرسانة بين ٢طن/م٣ إلى ٢,٢طن/م٣ مما يشكل نسبة كبيرة من وزن المنشا	تقلل من ضخامة أشكالها وتجعل مكوناتها أكثر نحافة بكثير من ذى قبل وإنشائية فى نفس الوقت, كما أنها تتميز بالصلابة من ٦ إلى ٨ وات أكثر من الخرسانة التقليدية
نفاذية الخرسانة	لها نفاذية عالية	قادرة على عزل الماء نظرا للكثافة المادية لها ومقاومة للعوامل الكيميائية الخارجية
التكلفة الكلية	التكلفة الكلية للمشروع **٢٦٢٨٦٠٠٠ دولار**	التكلفة الكلية لهذه الخرسانة تقل من ٤ إلى ٥ مرات بالنسبة للخرسانة العادية. كما ان التكلفة الكلية للمشروع **١٦٠ مليون يورو**

[١٨] مجلة البناء,عمارة الخرسانة, السنة السادسة والثلاثين, العدد ٣٠٧, شعبان١٤٣٧هـ/مايو٢٠١٦م صفحة

العمر الافتراضى	العمر الافتراضى لها حوالى ٥٠ عام	العمر الافتراضى لها طويل أكثر من ٥٠٠عام.

من خلال هذا المقارنة نجد أن التطبيق النانوى يتفوق على التطبيق التقليدى فى كافة مستويات التحليل وخصوصا فى تأثيرها على التكلفة الكلية للمبنى.
نستنتج من الدراسة النظرية والدراسة التحليلية السابقة الاعتبارات التصميمة الآتية:-

جدول(٤) الأعتبارات التصميمية لتاثير تقنية النانو على اقتصاديات مواد البناء

وجه المقارنة	خواص ومميزات	اقتصاديات المواد	الزمن
	الخرسانة		
خرسانة بتقنية ثانى أكسيد التيتانيوم النانوى	-زيادة قوة تحمل الخرسانة المسلحة إلى ١٠ أضعاف الخرسانة المألوفة. - تعمل على أنخفاض تلوث الهواء إلى ٢٠٪	هى أغلى ٣٠-٤٠٪ من الخرسانة العادية لكن على المدى البعيد فهى تقلل تكلفة الصيانة نظرا لانها صديقة للبيئة	يمتد تاثير tio2 فى المحافظة على شكل المبنى الاصلى لمدة ١٥ سنة بينما فى المواد التقليدية يمتد من سنة إلى ٣ سنوات
أنابيب الكربون النانوية	- الخرسانة الرغوية تزيد من قوة الضغط بنسبة أكثر من ٧٠٪ من الخرسانة التقليدية. -الخرسانة الرغوية أقل كثافة بنسبة٥٠٪ من الخرسانة التقليدية. - الأنابيب النانوية الكربونية تشكل ٠,٠٥ % من كتلة الخليط. -تقليل التوصيل الحرارى بين ١٢-٢٠٪.	- سعر المتر المكعب من الخرسانة يقارب الخرسانة العادية. - التكلفة الكلية تقل حيث يقلل نفقات النقل بنسبة ٢٠٪ إلى ٣٠٪ -تكلفة إنتاج الطوب من هذه الخرسانة قليلة جدا لانها تعتمد على الاسمنت ٤٠٪ ولا يحتاج إلى افران	يمكن عمل الجدران الفاصلة الداخلية والخارجية ويجف فى فترة ٣-٤ ساعات
	الحديد		
حديد التسليح "MMFX2"	-يتحمل ٥ اضعاف مقاومة للتأكل بدون استخدام أى طلاء للحماية.	-كمية حديد تسليح أقل بنحو ٢٠-٥٠٪ وبالتالى يقلل من تكاليف الأيدى العاملة إلى ٦٠٪. - وبالتالى يقلل من تكلفة النقل لقلة الحديد المستخدم	يقل زمن التنفيذ نظرا لقلة كمية حديد التسليح المستخدم
	الخشب		
ألياف السيلولوز النانوية	- يعود الاهتمام بألياف CNFs إلى وزنها الخفيف ومتانتها، - وزنها خُمس وزن الفولاذ وقوتها ٥ أضعافه. أقوى ١٢ مرة من الخشب الطبيعى - العبء البيئي الذي يشكله أقل خفض الكهرباء اللازمة لإنتاج ألياف نانوية بـ٦٠ إلى ٣٠٠ مرة.	-أقل تكلفة من ألياف الكربون - تقلل من تكلفة الطاقة الكهربية	تعطى عمر أفتراضى أطول
أكسيد الحديد وثانى أكسيد التيتانيوم النانوى	-حماية الخشب من الاشعة فوق البنفسيجية ومقاومة الفطريات والعفن والطحالب وبالتالى تزيد من عمره الزمنى	-	-

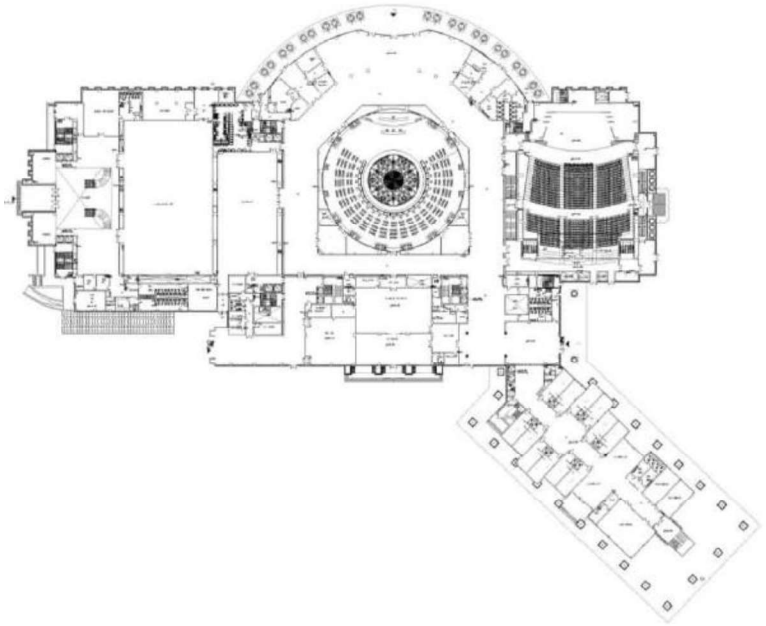
٦. الدراسة التطبيقية على تطبيقات النانو:-
تشمل الدراسة التطبيقية على الحالة الدراسية التى تم اختيارها على اسس ومعايير تقييم المبانى المطبقة لمواد تقنية النانو لرفع كفاءة المعدلات الزمنية للتنفيذ والتكلفة للمبنى.

٦-١ محددات تطبيق تقنية مواد النانو الهيكلية على المعدلات الزمنية للتنفيذ والتكلفة:-
تم تطبيق مواد النانو فى المبنى بالعناصر الآتية:-
١- التكلفة
٢- المعدلات الزمنية
٣- أعمال الصيانة
٤- إطالة العمر الأفتراضى

٦-٢ تطبيق المنهجية والدراسة على مبنى جديد بالعاصمة الإدارية الجديدة:

مبنى قاعة المؤتمرات الماسة بالعاصمة الإدارية الجديدة	
اسم المبنى	قاعة المؤتمرات الماسة بالعاصمة الإدارية الجديدة
تاريخ التنفيذ	تم الانتهاء من تنفيذه
المعمارى	جماعة المهندسين الاستشاريين (ECG)
موقع المبنى	تقع على حدود مدينة بدر (٤٥ كيلو متر من وسط القاهرة و٨٠ كيلو مترا من السويس)- مصر
نوع المبنى	قاعة المؤتمرات
وصف المشروع	• مساحة مشروع العاصمة الإدارية ١٧٠ ألف فدان, يتكون المشروع من ٦٥٪مبانى و٣٥٪مساحات خضراء وطرق. يقع المبنى على مساحة ٢٥٠٠٠م٢. المبنى مكون من قاعة مؤتمرات كبيرة, قاعة أفراح رئيسية تسع ٩٠٠شخص, قاعة أفراح تسع٦٠٠شخص وقاعة أفراح تسع ٣٠٠شخص, كما يحتوى على غرفة للصحافة وقاعات بث لاجهزة الفيديو والإذاعة وخدمات أخرى.[٦] • **النظام الإنشائى المستخدم بالمبنى:-**

	• الخرسانة سابقة الإجهادPress Streeed Concrete • نظام البلاطات المستوية (Flat Slab): يتم فيه نقل الاحمال مباشرة إلى الاعمدة الخرسانية بدون إستعمال كمرات. • خرسانة النهو: عناصر الخرسانة المسلحة المطلوبة أن تكون أسطحها الظاهرة فى النهو(Fair Face) يجب ان يتم تنفيذها بشدات معدنية او من الكونتر المغطى بطبقة الملامين. • البلاطات المصبوبة فوق الردم: يسوى سطح جميع البلاطات بطريقة ميكانيكية(الهليكوبتر) لنهو السطح للبلاطات المصبوبة لتكون سطح البلاطات سطح نهائى. • تم أستخدام الخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية(GFRC): وذلك فى كل من (الوحدات الزخرفية- الكرانيش- تجاليد الأعمدة- أعمدة ديكورية)(٥)



شكل(١٤) يوضح المسقط الافقى للدور الارضى لمبنى قاعة المؤتمرات الماسة بالعاصمة الإدارية الجديدة
المصدر: جماعة المهندسين الاستشاريين

٦-٣ تطبيق بعض المعايير المقترحة لأخذها فى الاعتبارات التصميمية لمبنى قاعة المؤتمرات الماسة بالعاصمة الإدارية الجديدة لرفع كفاءة المبنى الاقتصادية والزمنية بالمواد النانونية:-

- يقترح تزويد كافة فراغات المبنى بالتوصيلات الكابلية من الألياف الضوئية (Fiber-Optic) ذات القدرة العالية على النقل السريع والكفء للمعلومات بصورة رقمية, بما يدعم أتمته أنظمة المبنى.
- يقترح استخدام الألياف الخرسانية النانونية عالية الأداء حيث تقل التكلية الكلية لها من ٤ إلى ٥ مرات بالنسبة للخرسانة العادية كما أن العمر الأفتراضى لها أكبر
- يقترح استخدام الاسمنت المضئ المشع, الذى يسمح بمرور الضوء من خلاله.
- يقترح أن تكون أبواب الفراغات الأدارية مصنوعة من مواد مقاومة للحريق بأستخدام طلاء النانو سيليكا.
- يقترح أستخدام البلاطات الذكية ذات القدرة على الأستشعار وتحديد هوية المستخدمين ويمكن أستخدامها عند المدخل الرئيسى للمبنى.

٥. النتائج:-

- تحديد مدى تأثير تقنية النانو وخواصها والإضافات المختلفة التى تساعد على الارتقاء بمستوى البناء على اقتصاديات المواد فى مجال التشييد والبناء.
- يمثل اقتصاد تكنولوجيا النانو قوة هائلة تفوق فى حجم استثماراتها العالمية فى كل الصناعات.
- نستنتج من التحليل أن التطبيق النانوى يتفوق على التطبيق التقليدى فى كافة مستويات التحليل وخصوصا فى تأثيرها على التكلفة الكلية للمبنى وزمن التنفيذ والعمر الإفتراضى للمبانى.
- أعطت التكنولوجيا امكانية الكفاءة التى تجعل المواد أخف وزنا وأقوى واصلب وأكثر تحملا مما كان دافعا للمصمم المعمارى لاختبار تكوينات شكلية جديدة وتحرير الابداع المعمارى, تسهيل نقل المواد بعيدا عن مراكز انتاجها, مما يسمح بتجاوز والارتباطات الاقليمية للمادة, كما تعطى التكنولوجيا دقة التصميم وسيطرة التصنيع وتعطى اختصار التكلفة وتقلل حجم استهلاك المواد البنائية فى البناء كما تقلل الجهد البشرى.
- تقنية النانو تعطى للمواد خواص جديدة تساعدها على الصمود أمام الظروف الانشائية والمناخية وبالتالى تعمل على خفض تكاليف التشغيل والصيانة.
- تتميز منتجات تكنولوجيا النانو بانها ذات مردود اقتصادى كبير حتى ولو على المدى البعيد لانه يمكن ان تكون باهظة الثمن الى حد ما ولكن على المدى البعيد يكون عمرها الافتراضى اكبر وتوفر صيانة المبانى, وبالتالى استخدام منتجات وتطبيقات النانو فى المبانى يطيل العمر الافتراضى لها.

٦. التوصيات:-

- توصى الدراسة باستخدام تطبيقات ومنتجات تكنولوجيا النانو فى المبانى المعمارية لما تتمتع به من أفضلية عن المواد والتطبيقات المعمارية المستخدمة فى المبانى.
- توصى الدراسة البحثية بتوسيع قاعدة استخدام تكنولوجيا النانو فى مجال التشييد والبناء عن طريق توفير تكنولوجيا النانو فى السوق المصرية.

- توصي الدراسة البحثية المؤسسات التعليمية الجامعية فى المجال المعمارى الاهتمام والتركيز على مواد البناء المعالجة بتكنولوجيا النانو ومدى تطور أساليب التنفيذ من خلال المناهج التعليمية لكى يواكبوا التطور السريع لتلك التقنية.
- توصى الدراسة البحثية بتنظيم ورش عمل اسبوعية أو شهرية لدعم دور تكنولوجيا النانو فى مجال تكنولوجيا البناء فى الجامعات المصرية يتم من خلالها مناقشة أحدث الابحاث العالمية والعربية فى هذا المجال.
- يوصى بفرض مطالب من قبل ملاك المبانى العامة والخاصة باستخدام مواد البناء النانوية بشكل متزايد وفرض لوائح وقوانين فى كثير من الحالات, هذه القوانين تجبر المهندسين باستخدام المواد النانوية لما تتمتع من زيادة الكفاءة الانشائية والعائد الاقتصادى والعمر الافتراضى .

٧. الهوامش:-

[١] احمد فتحى متولى,٢٠١٢, تكنولوجيا النانو وتأثيرها فى مجال التصميم الصناعى,رسالة ماجستير,كلية فنون تطبيقية, جامعة حلوان,صفحة ٣٨

[٢] الإسكندرانى,محمد,٢٠١٠ " تكنولوجيا النانو من أجل غذ أفضل", الكويت , عالم المعرفة, صفحة رقم ١٨

[٣] جماعة المهندسين الاستشاريين

[٤] عبدالله على صقر,٢٠١٤,"المواد النانوية فى الهندسة المعمارية تطبيقاتها وخصائصها فى المبانى", رسالة ماجستير, كلية هندسة, جامعة القاهرة, صفحة ١١٢

[٥] مجلة البناء,عمارة الخرسانة, السنة السادسة والثلاثين, العدد ٣٠٧, شعبان١٤٣٧ه/مايو٢٠١٦م صفحة

[6] Ahmad,A.2007. Early planning for the concrete work at the Burj khalifa, UAE.Technical paper,p21.29

[7] building-eats-the-citys-smog?utm_source=facebook#1(February 12, 2017).

[8] CELTIKCI, N. T., & Serap GUCLU. (2009). Steel Structure of Astana Stadium – Kazakhstan. Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS), (October), P 1420–1431

[9] CELTIKCI, N. T., & Serap GUCLU. (2009). Steel Structure of Astana Stadium – Kazakhstan. Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS), (October), P 1420–1431

[10] Dr,George Elvin Green,2007,"Nanotechnololgy for green building",technology forum.p.70

[11] Giuseppe ferro;Jean-Marc Tulliana; Simone Musso.2011," Carbon nanotubes cement composites" G.Ferro et alii, Cassino(FR), Italia,; ISBN978-88-95940-36-6,PP.49-50

[12] Hatem, S. (2010). Nanotechnology Research Center. Faculty of Engineering, Alexandria University. P 12

[13] Husien, B., Hamdi, G., Agha, M., & Mohamed, M. B.(2013). Nano Smart Home an InterdisciplinaryCollaboration for a Better Quality of the Built Environment. 2nd International Conference on Energy Systems and Technologies, 295–304

[14] Leydecker, S. (2008). Nano Materials in Architecture, Interior Architecture and Design. Birkhauser, Germany

[15] Metropol Parasol a Seville une prouesse mondiale D'ingenierie bois.(2011).Finnforest,p 1:7

[16] Stone, Zak.(2013). "This Beautiful Mexico City Building Eats The City's Smog." Co.Exist. http://www.fastcoexist.com/1681660/this-beautiful-mexicocity-

[17] http://rebar.ecn.purdue.edu/ect/links/technologies/civil/mmfx.aspx

[18] http://www.mmfx.com/advantages/service-life/

[19] www.gpyarquitectos.com