JAUES

Journal of Al Azhar University Engineering Sector

Vol. 11, No. 38, January, 2016, 331-342

تطبيقات تكنولوجيا المواد في التدعيم بالألياف الكربونية بمشروعات الحفاظ علي التراث المعماري دراسة حالة – مدرسة العيني الأثرية بالقاهرة

ياسمين صبري محمود حجازي[1]- مايسة علي السيد سليم[2]

[1] مدرس بقسم الهندسة المعمارية - كلية الهندسة - جامعة الزقازيق

[2] معيد بقسم الهندسة المعمارية - هندسة العاشر من رمضان

ABSTRACT

Conserving architectural heritage considers, a conservation of nation identity, as soon as heritage buildings had a good state of conservation, that help in delivering the historic message about architect interaction with the surrounding environment, in addition to experience transfer from a thousands of years , which previous civilizations expressed this experience though its buildings, our role in conserving that great heritage is to support its sustainability to get benefit from heritage as a nonrenewable resource from one side, from the other side keeping it perfectly to future generations .

This research highlights technology applications as an effective tool in conservation, as the new materials balance between structural safety through consolidation and authenticity materials, in addition to saving time and effort.

To understand deeply the research will present technological application in materials and its integrated testing equipment, through using carbon fiber in the Islamic monument " Madreset al ayny " the chosen case study", which consolidate the dome and kept the authenticity, here where technology had a door opened in all fields of dealing with heritage buildings

---

ملخص البحث:

الحفاظ علي التراث المعماري يعد حفاظ على هوية امة ،فكلما بقيت المباني التراثية في حالة حفاظ جيدة استطاعت توصيل رسالتها التاريخية للتعبير عن تفاعل المعماري القديم مع بيئته المحيطة و نقل خبرات الاف السنين التي عبرت عنها الحضارات المتلاحقة من خلال مبانيها، ولعل دورنا تجاه هذا التراث العظيم هو دعم الاستدامة في هذه المشروعات للاستفادة من التراث كمورد غير متجدد من ناحية، والحفاظ عليه في حالة كاملة للأجيال المستقبلية.

لذلك يلقي هذا البحث الضوء علي تطبيقات التكنولوجيا الذي أصبح أداه فعالة في عملية الحفاظ ، وذلك لما تتميز به المواد الحديثة و تطبيقاتها من تدعيم شديد يوازن ما بين تحقيق الأمان الإنشائي للأثر و كذلك الحفاظ على اصولية المواد الأصلية المستخدمة، بالإضافة إلى ما يوفره من وقت وجهد.

ولمحاولة فهم أفضل للتدخل التكنولوجي سيهتم البحث بعرض أحد المواد الحديثة و أجهزة الاختبار المكملة لهذا التطبيق، وهي شرائح الألياف الكربونية التي استخدمت في تدعيم قبة مدرسة العيني احد الأثار الإسلامية وهي الحالة الدراسية المختارة ، والتي رفعت كفاءة القبة و حافظت على أصوليتها دون الحاجة للتدخل بفكها مما أضاف بعداً أكثر أصولية للترميم، كان من نتاج هذا التطبيق فتح الباب للتطبيقات التكنولوجيا في كافة مجالات التعامل مع مباني التراث.

الكلمات المفتاحية: الحفاظ – التراث المعماري – تكنولوجيا الترميم- الألياف الكربونية – مدرسة العيني- التدعيم.

1- مقدمة:

الهدف من استخدام تطبيقات التكنولوجيا الحديثة هو الحفاظ على التراث كمورد غير متجدد وفحصه وتوثيقه وترميمه ووقف تدهورة باستخدام الوسائل الحديثة التي توصلت إليها الدراسات والبحوث في هذا المجال .ولقد ساعدت التكنولوجيا في تحسين التعامل مع التراث من خلال:

أ - فهم للعنصر المراد ترميمه ومعرفة بنائه الداخلي و حالته وأسباب تلفه وأسباب تحول مادته وضعفها والتحكم في مظاهر ومسببات التلف بالفحوصات والتوثيق.
ب - إمكانية تطبيق حلول جديدة لم تكن متاحة مع الأساليب التقليدية لعمليات الترميم .
ت - وجود وسائل متقدمة في الفحص والتحليل والوقاية التي تعطي لعناصر المبني عمراً إضافياً،وفي نفس الوقت لاتفقد العنصر قيمته الأصلية.
ث - أساليب إنشائية حديثة تحفظ المبني في سجل يمكن الرجوع إليه بسهولة إذا ما تطلب المبني أعمال ترميمية جديدة مستقبلاً.

2- عوامل التلف التي تتعرض لها المباني التراثية:

2-1- عوامل التلف الميكانيكي:

أ- الرياح والعواصف: من عوامل التعرية وتسبب النحر للأحجار وللمباني الآثرية خاصة في أثناء حملها حبيبات رمال ذات صلابة عالية.

ب - الإتلاف البشري وينقسم إلي:

- **حرائق** : وهي تسبب ضرراً بالغاً بالمباني الآثرية خاصة إن معظم مواد البناء في المباني الأثرية قابلة للاشتعال بدرجة كبيرة خاصة الأسقف الخشبية، بالإضافة إلى أنها تحدث تحولات كيميائية في مواد البناء الأخرى ولعل من أهم الآثار التي تأثرت بالحريق قصر الجوهرة بالقلعة.
- **حروب** : والتي قد يلجأ العدو فيها لتدمير تراث الدول المعماري لمحو حضارة هذه البلاد كما حدث في الحرب العالمية الثانية التي تم فيها تدمير العديد من المباني التاريخية.
- **أعمال الهدم والتخريب :** وينتج هذا عن طريق ضعف الرقابة على المباني الآثرية مما قد يسبب نهب كنوزها أو مد المرافق فيها يساعد على تلفها وغير ذلك من أعمال التخريب.
- **الترميم الخاطيء:** الذي قد يؤدي إلى طمس معالم البناء أو تغيير عناصره مما يسبب التلف للآثر كما في الترميمات الأسمنتية التي أحدثتها لجنة الحفاظ على الآثار العربية في منطقة أثار القلعة.
- **الأمطار والسيول:** تسبب تفكك لمونة البناء وتساقط ملاط الحوائط وقد تسبب ضياع النقوش والألوان وغيرها من خلخلة المبنى وتآكل حجارته ثأثراً بالسيول.
- **الزلازل والصواعق** :الزلازل قد تهدم المباني الأثرية بالكامل أو تتسبب في تساقط أجزاء منها وذلك ما حدث عام 1992 في الزلزال الذي ضرب القاهرة وتسبب في الضرر لمعظم آثارنا الإسلامية، أما الصواعق فقد تسبب الحرائق للمبنى الآثري وقد عرضنا فيما قبل عن تأثير الحرائق على المباني الآثرية.

2-2- عوامل التلف الفيزيوكيميائي:

أ- التفاوت في درجات الحرارة:

يسبب العديد من المشاكل للأحجار وللأسطح الخارجية للأثار مثل إنهيار ترابط حبيبات هذه الأحجار مما يجعلها سهلة التأثر بالرياح والعواصف بالإضافة إلى التأثير الكبير الذي يسببه هذا التفاوت على طبقات الملاط الآثري .

ب - التذبذب في منسوب مياة الرشح والنشع :

وهو يعتبر من العوامل التي تسبب تلف بالغ في الآثار فتجمع مياة الرشح خاصة في الأماكن القريبة من مجاري المياة التي تؤدي إلي تلف الأساسات .

ج - التغيرات الكبيرة في معدلات الرطوبة النسبية :

التي قد تسبب تفاعلات مع الأسطح الخارجية للآثر وتسبب تبلور للأملاح في خارجها، فتصبح الطبقات الخارجية هشة نتيجة سحب بعض المواد المكونة أثناء التفاعل مع الرطوبة النسبية في الجو مما يسبب إضعاف صلابة الأحجار ومونة البناء وملاط الحوائط .

2-3- عوامل التلف البيولوجي:

أ- النباتات:

التي قد تستقر في الشقوق والفواصل التلف وذلك لنموها في هذه الشقوق التي قد تكون جزء من حائط أو فاصل بين كتلتين من المبنى الأثري وقد يسبب هذا النمو التصدع للمبنى أو قد يسبب له تآكل لمواد بنائه بسبب الإفرازات التي تفرزها خلايا الجذور.

ب - الحيوانات :

حيث يسبب تلف فضلاتها التي تتركها على الآثار تحلل بعض مواد البناء أو الجحور التي تحفرها في الجدران أو تحت الأرض عند الأساسات مثل الفئران والوطاويط.

ج – الحشرات:

مثل النمل الابيض والنحل وتأثيراتهما البالغة بسبب عمل أعشاشهما في حوائط الآثر وبخاصة تأثير النمل الأبيض على تآكل الأخشاب.

د- الكائنات الدقيقة :

وتأثيرها يكون بتفاعلها مع الأسطح الخارجية للآثر سواء بإفراز مواد قلوية أو حمضية مما يخل بالمحتوى الكيميائي للأسطح ويسبب تلفها[١].

٣ - التدخل التكنولوجي في الحفاظ على التراث:

يرجع الحفاظ على التراث بدرجة كبيرة على إبقاؤه في حالة جيدة مما يستلزم وضع الوسائل المناسبة لمراقبة التراث بصفة مستمرة لوقف التدهور حال حدوثه[٢].وعندما تتطلب حالة التراث تدخل عاجل حال تعرضها لأحد من مظاهر التلف السابق ذكرها،ويكون التدخل بالترميم باستخدام المواد الأصلية في الترميم مع الأحتفاظ بدرجة التدخل في الحد الأدني[٣] .

وقد اهتمت المواثيق الدولية بدور التكنولوجيا في خدمة التراث المعماري، وحددت في بنودها الإطار العام عند القيام بعملية الترميم باستعمال التكنولجيا الحديثة، حيث تعد التكنولجيا الحديثة ضلع أساسي في الحفاظ علي المباني التراثية،ولذا يجب أن يتم توظيفها بشكل صحيح لكي تخدم التراث المعماري دون ضرر يذكر.وسيتم توضيح بعض البنود التي التي تناولت التدخل التكنولوجي للحفاظ علي التراث المعماري[٤]:

- **ميثاق فينسيا 1964م:** الاصل هو استعمال المواد الأصلية في الترميم ،ويمكن الأستعانة بالتقنيات الحديثة عندما تعجز التقنيات القديمة عن الإصلاح ،ويجب أن تثبت كفاءة هذة التقنيات عن طريق خبراء ،وبإثباتات علمية.
- **ميثاق أثينا 1931م**: الأستعمال المتعقل عند إتمام أعمال الحفاظ بواسطة المواد والتقنيات والوسائل الحديثة.
- **ميثاق لاهور:** يفضل استعمال التكنولوجيا التي يمكن العدول عنها والعودة بالأثر لحالته الأصلية قبل الترميم.
- **ميثاق مدريد:** يجب إعادة تنفيذ العناصر والأجزاء طبقاً الأصل.
- **ميثاق أبلتون:** يجب أحترام المواد والتقنيات الأصلية مع إمكانية استعمال المستحدث منها.
- **ميثاق إيطاليا 1972م:** يجب جميع التقنيات والوسائل التكنولوجية في عمليات الترميم أن تكون مطابقة للمواصفات.

من خلال البنود السابقة نستنتج أن لامانع من استخدام التكنولوجيا الحديثة في الحفاظ المعماري بشرط أن يحقق الشروط التالية:

١. اختبار التكنولوجيا المستخدمة لضمان صلاحيتها قبل استخدامها في أعمال الترميم .
٢. أن تتكامل التكنولوجيا مع المبني التراثي .
٣. أن تحقق التكنولوجيا المستخدمة مبدأ التراجعية.
٤. أن لا تطغي التكنولوجيا الحديثة علي المبني التراثي.
٥. أن يكون استخدام التكنولوجيا الحديثة في أعمال الترميم تحت أشراف شركات متخصصة ولها خبرة كبيرة في تطبيقها .

٤ - استخدام تكنولوجيا فايبر كربون Carbon Fiber في تدعيم المبني :

نعتبر من الوسائل التكنولوجيا التى ظهرت مؤخراً فى مجال الترميم الإنشائى والتي حققت نجاحاً كبيراً في الترميم لتقوية بعض العناصر الإنشائية او أي عنصر به خلل في الأمان الإنشائي، حيث تساعد هذه التكنولوجيا علي تقليل الترخيم والتشويه و معالجة التغييرالانشائي في عناصرالمبني وتساعد علي التقليل من اتساع الشروخ والتي قد تنتج من عدة اسباب منها زياده الاحمال واجهادات الشد والقص والتغييرات في استخدام المبني.

بدء العمل بالكود المصري لأسس تصميم و اشتراطات تنفيذ استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف في مجالات التشييد بقرار وزير الأسكان رقم 492 لسنة 2005،حيث تتميز البوليمرات المسلحة بالألياف بامكانيات فنية وأقتصادية عالية لما لها من مقاومة عالية و خفة وزن علاوة على عدم قابليته للصدأ، ويتكون من عنصرين أولهما الألياف و الأخر راتنج بوليمري، يتم دمجهما معاً بالموقع أو تصنع كمواد سابقة التجهيز [٥] و تنقسم إلى :

أ - الياف الكربون
ب - الياف الزجاج
ت - الياف الأراميد

وتعتبر مادة الكربون المستخدمه في هذه الوسيلة التكنولوجية ذات ميزة جيده حيث انه يمكن توجيه الالياف بالاتجاه المرغوب حسب الاحتياج لتدعيم المنشأت الأثرية كنوع من أنواع الإصلاح باستخدام الشرائح التي يتم لصقها على السطح الخارجي[٦].

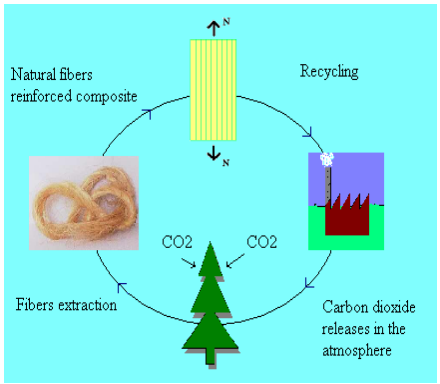
تصنع الشرائح من الألياف بأقطار من 5 – 20 ميكرومتر في صورة خيوط متوازية في اتجاه واحد أو في اتجاهين متقاطعين،وتتجمع هذه الألياف داخل الوسط المحيط البوليمري المناسب ، ثم يتم لصق العديد من الطبقات فوق بعضها حتى الوصول للسمك المطلوب.تعتبر هذه الألياف هي العنصر المقاوم للحمل و هذه المقاومة ترجع إلى نوع و طول و خواص الألياف الياف الكربون[٧].

٥ - مميزات و مساويء الألياف الكربونية:

تتميز الياف الكربون بما يلي:
أ - أعلى مقاومة للشد
ب - سهلة التشكيل وتقاوم الظروف الطبيعية
ت - المرونة الشديدة مقارنة بمثيلاتها
ث - إنخفاض الكثافة وخفة الوزن
ج - مقاومة البري والتآكل
ح - قيمة سالبة للتمدد الحراري
و من ضمن عيوب تطبيقاتها:
خ - حدوث استطالة نسبية وقت تحرك العنصر الإنشائي.
أ - تأثرها بدرجات الحرارة المرتفعة و الحريق مما يلزم رصدها الدائم لمراجعة سلوكها.
ب -موصل للكهرباء مما يجعلها غير مناسبة للأستخدام في المنشأت المعرضة لمجال كهربائي.
ت -تسبب تآكل بعض المعادن كالحديد و الألومنيوم حال ملامستها.

٦ - انواع الواح الألياف الكربونية[٨]:
أ - الياف الكربون للأستخدام العادي general purpose.
ب -الياف الكربون عالي المقاومة high strength
ت -الياف الكربون فائق المقاومة ultra high strength
ث -الياف كربون عاليه معاير المرونة high modulus
ج -الياف كربون فائق معايير المرونة ultra high modulus

٧ - تطبيقات الألياف الكربونية على المباني التراثية:
الياف الكربون هي مادة طبيعية صديقة للبيئة نظراً لأنها جاءت من الطبيعة حيث تنتج بالمعالجة الحرارية لألياف عضوية تمهيدية مثل البولي أكريلونيتريل PAN مع القار وذلك في بيئة خاملة [٩] ، ويمكن أن يعاد تدويرها مرة اخرى [١٠]، وهي مرتفعة الثمن عند مقارنتها بالألياف الزجاجية، ولكنها على الرغم من ذلك تتميز عنها في الخواص الميكانيكية مما أهلها إلى الأستخدام في معدات الفضاء [١١] نظراً لما تتمتع به من خواص و مرونة و مميزات مقاومة للأجهادات و الحركة الجانبية شكل رقم (1).



شكل رقم (1) يوضح دورة حياة الياف الكربون
المصدر: fibers for strengthening of timber structures

الغرض من الحفاظ على التراث هو أرجاعه إلى كفاءته كما كان في سابق عصره، ولكن برؤى حديثة تواكب تكنولوجيا العصر وبدون التأثير على أصوليه التراث [١٢] ، وهنا يأتي القرار بدخول مواد غريبة ليس من أصل المكان أمام بقاء ورفع كفاءة المبنى، شكل هذا بداية أعتبار التكنولوجيا كمنقذ للعديد من الحالات الحرجة في الترميم، فذلك بمثابة إحياء التراث مع مواكبه العصر.
بدأت فكرة التدعيم بالبوليمرات بصفة أساسية للحفاظ على المنشآت التذكارية ثم أمتدت إلى الحفاظ على المنشآت الخرسانية الجديدة، وذلك لما لها من أمكانية في تحقيق رفع كفاءة إنشائية بدون تشويه للشكل الأصلي للأثر، واعتبرت كتقنية معتمدة لعلاج تأثيرات الزلازل على المباني التراثية [١٣]، فهي مادة ذات سمك صغير ولا ينتج عن استعماله أي أوزان زيادة عند أستعمالها و تطبيقها على الأسطح، كما أنها تساعد على صمود المباني التراثية أمام الزلازل. لذلك تم ترشيح الياف الكربون كتقنية معتمدة للتدعيم المتطور في تدعيم المنشآت التراثية باتت تستعمل في مقاومة أجهادات القص بصفة خاصة عند الحديث عن مقاومة الزلازل[١٤].

كانت فرنسا لها السبق في بداية البحوث على تكنولوجيا العمل بالتدعيم بالياف البوليمرات منذ عام 1946، توالت بعدها البحوث وابدت الألياف تحسين في رفع كفاءة العناصر الإنشائية و خصوصا في مقاومة أعمال الزلازل حيث أن معظم المباني راعت الحموله المحورية و لكن لم تؤخذ كافة الأحتياطات اللازمة لملافاه آثار الأنتقال الجانبي الذي ينتج عن قوى الزلازل[١٥].

٨ - شروط استخدام التكنولوجيا في الحالة الدراسية المختارة:

تهدف الدراسة التطبيقية إلي تقييم نجاح لأستخدام الوسائل التكنولوجيا الحديثة المستخدمة في الترميم من خلال رصد تأثير استخدام التكنولوجيا على المبني التراثي وعناصره،وكذلك تحقيقها للشروط العامة الواجب توافرها مثل:

- **المنفعة:**وتعني أن تحقق عملية الترميم الغرض منها ،فأعمال الترميم لا تتم إلا لسبب معين وهوالحفاظ على التراث وارجاعه لحالته الأصلية.
- **الأقتصاد:**يؤثر عنصر الأقتصاد في عملية ترميم المباني التراثية ،خاصاً للبلاد الفقيرة ،وفي بعض الأحيان تكون عملية الترميم بوسائل التكنولوجيا الحديثة مكلفة جداً، ولكن استخدام تطبيقات استخدام مواد حديثة بتطبيق تكنولوجي جديد يعتبر بديل جيد
- **المتانة:**أن تحقق التدعيم الكامل للعنصر المرمم دون التأثير عليه.

وكذلك تحقيقها للشروط التي نصت عليها المواثيق الدولية وهي كما يلي:

- **تراجعية:** ان تكون المادة عكسية الأستخدام فما نقبله نحن قد لا يقبله الجيل القادم عند ترميمه للمباني التراثية ،فقد يقدم العلم وسائل وطرق حديثة أفضل من الموجودة حالياً.
- **توافقيه :**تعني التوافق والأنسجام بين مواد المبني القديمة والمواد الحديثة المستخدمة في الترميم،وذلك لتحقيق العنصر الجمالي للمبني ،ولا يبدو مشوهاً بسبب أعمال الترميم.
- **الأمان:**يجب التأكد من سلامة استخدام الوسائل التكنولوجيا المستخدمة في الترميم المبني التراثي أو علي القائمين بالترميم بتلك الوسائل التكنولوجيا.

٩ - حالة دراسية : مشروع ترميم قبة مدرسة العيني باستخدام نظام التدعيم بالكربون فايبر(carbon Fiber):

9-1- التعريف بالأثر[١٦]:

- رقم الأثر: سنة 102
- تاريخ أنشاء الأثر: 1411م/814 هـ
- عصر أنشاء الأثر:دولة المماليك الجراسكة
- نوع الأثر: مدرسة
- أسم المنشئ: بدر الدين محمود بن أحمد بن موسي
- الجهة المسئولة عن ترميم : وزارة الثقافة (مشروع تطوير القاهرة التاريخية)

9-2- نبذة تاريخية[17] :

تقع هذه المدرسة خلف الجامع الأزهر، وتعتبر ضمن مجموعة فريدة من الآثار الإسلامية، حيث تجاور منزل زينب خاتون وبيت الهراوي ومنزل الست وسيلة، وتطل بواجهتها الشمالية على شارع الإمام محمد عبده بحي الأزهر. وقد أنشأها العيني قاضى القضاة بدرالدين محمود بن أحمد بن موسى، ولد بالشام، و جاء إلى القاهرة في أواخر القرن الرابع عشر الميلادي وتولى وظيفة محتسب القاهرة وقاضي القضاة الحنفية لمدة أثنى عشر سنة متوالية ، وقد توفي في عام 1451م ودفن بالقبة الضريحية بالمدرسة.

جدد حفيده الشهابي أحمدالعيني هذا الأثر سنة 870 هـ،وبني إلي جانبه في الجنوب الشرقي داراً للسكني وجدد شبابيك بيت الصلاة والأيوان الغربي سنة 891 هـ ،وفي سنة 1229 هـ ، وبعدها جدد الشيخ أحمد الطهطاوي بعض ما تخرب من هذا الجامع ،وفي سنة 1318 هـ حدث به ترميم من طرف دائرة البرنس سعيد سليم باشا ،وفي سنة 1351 هـ جددت لجنة الأثار الإسلامية ما تدهور من المدرسة.

جاءت فكرة تحويل المبانى العلوية الملحقة "بمدرسة العينى" بعد الترميم إلى مركز إبداع الطفل عام 2003 كانعكاس لكل الجهود المبذولة لتنمية الثقافة وزيادة الوعى الأثري وإطلاق الإبداعات المكنونة داخل الطاقات البشرية ، ولأن أهم الفئات

العمرية فى مجتمع الدرب الأحمر هم الأطفال أجيال المستقبل ، فتم الاعتبار الى ذلك في فكرة إعادة التأهيل ، و كان على مركز إبداع الطفل أن يكون ملتقى لهؤلاء الأطفال (من سن 6 سنوات إلى 15 سنة) ليكشف عما بداخلهم من إبداع فى مجالات الرسم والغناء والموسيقى والشعر شكل رقم (2) .

كما كان هذا المركز من أول المراكز التى تستوعب أطفال منطقة الدرب الأحمر ليخدم بذلك أهداف محاربة العشوائيات وأصبح فى أمس الحاجة إلى إظهار الوجه الحضارى للمنطقة الأثرية الغنية بالآثار الإسلامية.

شكل رقم (2) يوضح مركز أبداع الطفل بمدرسة العيني
المصدر: مجد العمارة الإسلامية،كتاب، 2002- 2006

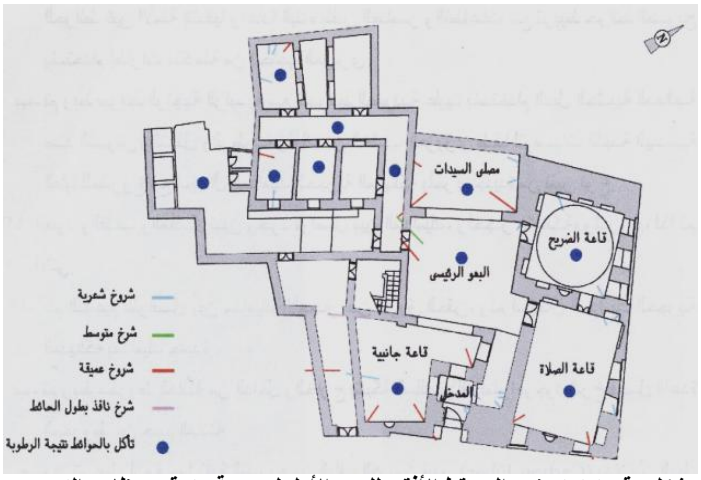
9-3- التكوين المعماري لمدرسة العيني:

تتبع هذه المدرسة فى تخطيطها المدارس المملوكية التي تتكون من صحن أوسط يحيط به ايوانين الجنوبي الشرقي والشمالي الغربي، وتشتمل المدرسة على واجهتين، أولهما الرئيسية بالناحية الجنوبية الشرقية وتطل على عطفة العيني وتضم المدخل الرئيسي بالمدرسة. ويؤدي المدخل الرئيسي إلى صحن سماوي يتقدمه الأيوان الجنوبي الشرقي، وقد قسم إلى قاعتين و يتصدر جدار جنوبها الشرقي محراب وينتهي ضلعها الشمالي الغربي بفتحة باب تؤدى للغرفة الضريحية يتوسطها تربتان حجر الأولى تعلو قبر قاضى القضاه بدر الدين العيني والثانية تعلو قبر احمد العسقلاني شارح صحيح البخاري.

9-4- مظاهر تدهور مدرسة العيني:

ظهرت بالمدرسة عدة من مظاهر التدهور نتيجة عوامل تلف متداخلة بين الطبيعي من جراء زلزال 1992 والبشري نتيجة سوء الاستخدام مما أثر على حالتها و أمانها الإنشائي و تمثلت هذه المظاهر في:

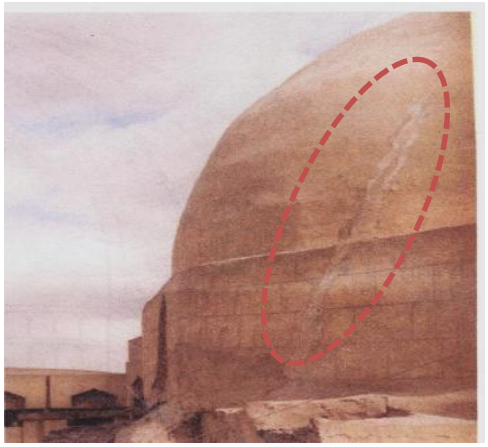
- وجود شروخ عميقة ومتفرقة بقبة الضريح ،وإنفصال أفقي بالمئذنة
- ظهورشروخ رأسية بشبابيك الواجهه الرئيسية والحوائط والعقود والأسقف ،وتنوعت الشروخ مابين شروخ عميقة أومتوسطة أو شعرية. شكل رقم (3).
- وجود تأكل بالأخشاب و تدهور الطبقات الزخرفية و الألوان أعلاها وكذلك تآكل أحجار بعض الحوائط
- تأثيرات زلزال 1992 الذي إلحق بقبة ومئذنة المدرسة أضرار جسيمة
- ارتفاع معدلات الرطوبة.
- هبوط الأساسات بسبب ضعف التربة أسفل المبنى
- عوامل بشرية من سوء الاستخدام .



شكل رقم (3) توضح المسقط الأفقي للدور الأول لمدرسة وتوقيع مظاهر التدهور عليه
المصدر:تكنولوجيا الترميم الحديثة آلية لاستمرار حياة المباني التراثية،ص 211

9-5- وصف القبة:

تغطي القبة غرفة مربعة المساحة ،ترتكز علي تربيع سفلي ويليها منطقة إنتقال من خمس حطات من المقرنصات الخشبية عليها زخارف نباتية بالتذهيب ذات عقود مدببة ويفتح علي رقبة القبة أربع نوافذ معقودة بعقود نصف دائرية مغشاه بجص معشق بالزجاج الملون ويليه خوذة القبة ،اما حالتها فغير آمنة لوجود شرخ طولي نافذ بالقبة ،مما أثر علي سلامتها الإنشائية شكل رقم (4).



شكل رقم (4) توضح الشرخ الموجود بالقبة من الخارج
المصدر: المكتب الفني لمشروع القاهرة التاريخية

9-6-تدعيم القبة بالكربون فايبر :

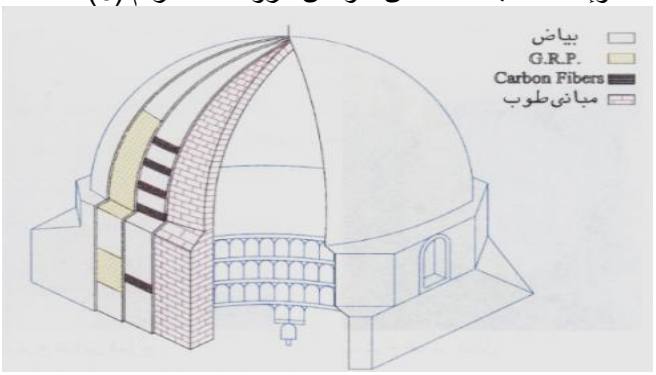
بعد الدراسات اتخذ فريق العمل القرار بعدم فك القبة و إعادة بناؤها لما له من تأثير على أصولية العنصر [١٧]، ووجهت الدراسات نحو الحفاظ باستخدام التكنولوجيا المتطورة لمواد الترميم الحديثة و خصوصاً في ظل وجود أليات للتنبؤ بسلوك المواد مما ساعد على اختيار أستخدام الياف الكربون لتدعيم القبة الطوب بعد إحلال المون المتهالكة و لمميزاته التي تناسب الحالة الإنشائية للقبة من احتياج الى ربط افقي بمادة مرنة، وظهرت نتائج الدراسة في صالح هذا القرار بعد التجارب المبدئية.

كان لاختيار التدعيم بالألياف الكربونية تحقيق لمبدأ التدخل في الحد الأدنى كما جاء بالمواثيق و التوصيات الدولية لأعمال الترميم، ووجه ذلك الفكر كافة أعمال الترميم التي تلت عملية التدعيم بأستخدام الألياف الكربونية، مع أخذ كافة التدابير اللازمة لمراقبة التغيرات الحادثة بالمبنى وبصفة خاصة العنصر الذي تم أستخدام مواد حديثة به كأجراء دائم في مراقبة[١٨] التدخل بإعادة تأهيل ورفع كفاءة القبة.

أستقر الرأي علي أستخدام شرائح كربون فايبر لرفع كفاءة القبة عن طريق استعادتها لمقاومتها التصميمية للأحمال ووقف الترخيمات التي تحدث بها .

7-9- مراحل تطبيق تدعيم القبة بالألياف الكربونية:شكل رقم (5)
تم تطبيق التدعيم باستخدام الألياف الكربونية على عدة مراحل لعمل اختبارات بعد كل مرحلة لمراقبة القبة و لقياس مدى كفاءة مراحل التطبيق المتلاحقة، وهذه المراحل تم تطبيقها كما يلي:

- تم أزالة طبقة البياض الغير أصلية التي تم عملها سابقاً في ترميم حديث سابق، للتمكن من استخدام الكربون فايبر،الذي يتماشي مع شكل وإنحناء القبة لما له من خواص مرونة شكل رقم (6).



شكل رقم (5) توضح نموذج تدعيم قبة مدرسة العيني بالكربون فايبر
المصدر: المكتب الفني لمشروع القاهرة التاريخية

شكل رقم (6) لقطات لتكسير البياض الخارجي للقبة
المصدر: المكتب الفني لمشروع القاهرة التاريخية

- تم مساواة سطح القبة حتي يسهل وضع الطبقة التحضرية بسمك 6سم ،وهي عبارة عن سيكاتوب 122 شكل رقم(7)،(8)

شكل رقم (7)،(8) توضح تسوية سطح القبة ووضع الطبقة التحضرية سيكاتوب 112
المصدر: (مجد العمارة الإسلامية)،كتاب، 2002- 2006

- تم عمل اختبار Pull-out test،وذلك لقياس قوي الترابط بين جسم القبة وبين الطبقة التحضرية الموجودة أسفل الكربون فايبر شكل رقم (9) .
- وعمل أختبارMoisture content test لقياس نسبة الرطوبة بالمادة التحضرية شكل رقم (10).

شكل رقم (9) ،(10) اختبار Pull-out test لقياس قوة تماسك بين الحجر والطبقة التحضرية
المصدر: تكنولوجيا الترميم الحديثة آلية لاستمرار حياة المباني التراثية،ص 215

- تم لصق الألياف الكربونية carbon Fiber علي سطح الطبقة التحضرية وفردها بالكامل بدهان الأيبوكسي قبل أن يجف شكل رقم (11) ،(12)،(13) .

شكل رقم (11) توضح دهان الطبقة التحضرية بدهان الأيبوكسي
المصدر: (مجد العمارة الأسلامية)،كتاب، 2002- 2006

شكل رقم (12) ،(13) توضح لصق الكربون فايبر علي الطبقة التحضرية
المصدر: تكنولوجيا الترميم الحديثة آلية لاستمرار حياة المباني التراثية،ص 216

- تم تثبيت شبك GRP بمسامير صلب غير قابلة للصدأ علي الكربون فايبر ،ورش الكربون فايبر بالرمل قبل أن يجف الايبوكسي للوصول إلى سطح خشن يمكن أن يستقبل مونة البياض شكل رقم (14) ،(15) ، بعد ذلك يتم أعمال البياض بمون متوافقة استعداداً لطبقة الدهان النهائية) لتصل القبة إلى شكلها النهائي شكل رقم (16)،(17).

شكل رقم (14)، (15) توضح لقطات للتحضير سطح القبة لدهانها
المصدر: المكتب الفني لمشروع القاهرة التاريخية

شكل رقم (16) توضح اعمال البياض بعد تركيب شرائح الكربون فايبر لاستعداداً لطبقة الدهان
المصدر: القاهرة التاريخية (مجد العمارة الأسلامية)،كتاب، 2002- 2006

شكل رقم (17) توضح الشكل النهائي لقبة مدرسة العيني بعد ترميمها بالكربون فايبر
المصدر: تكنولوجيا الترميم الحديثة آلية لاستمرار حياة المباني التراثية،ص 210

ومن خلال استخدام الألياف الكربونية في تدعيم القباب الطوب تحققت المعادلة بين التدخل الأدنى في المباني التراثية كما نصت المواثيق و الأتفاقيات الدولية ليحظي الأثر بكافة جوانب أصوليته من حيث أصولية كل من:

- أصولية التصميم فمازال له نفس التصميم الأصلي لم ينتقص أي شئ من تصميمه.
- أصولية الحرفة لأن عمليات الترميم شملت نظافة احجاره وتدعيمها دون العبث بالقيمة الأصلية أو التدخل بحرفية مختلفة.
- أصولية المواد استخدمت نفس المواد الأصلية في الترميم و أضافة شرائح الكربون تمت بإستخدام مواد متوافقة.
- أصولية الموقع لم يتم تغيير مكان الممتلك أو نقله لذا فهو يلاقي كافة أوجه الأصولية طبقاً لما جاء في وثيقة نارا وكذلك تم رفع كفاءة القبة بتدعيمها ورفع مقاومتها التصميمة الى سابق عهدها لتتمكن من أداء دورها الإنشائي ومقاومة الأجهادات الواقعة عليها

١٠ المنتائج:

خرجت الدراسة بنتائج عامة لفكر استخدام التكنولوجيا في الترميم و نتائج خاصة بأستخدام الكاربون فايبر في تدعيم العناصر الإنشائية بالمباني التراثية

10-1- نتائج عامة للدراسة

- تحقق استخدامات المواد الحديثة في الترميم مبدأ التدخل الأدنى بالمباني التراثية التي تقره معظم التوصيات و الأتفاقات الدولية
- دعم الأبحاث العلمية لتجربة المواد الحديثة مثل الالياف الكربونية يحقق أكتشافات تدعم من الحفاظ على أصولية عناصر المبنى التراثي
- وجود أجهزة أختبارات يساعد على التأكد من مسار عملية الترميم و يسهل من تعديل أنحرافات التطبيق
- تكامل منظومة الدراسة و التطبيق المرحلي و الأختبار ثم المراقبة يضمن أبقاء المباني التراثية في حالة حفاظ جيدة
- تدعيم العناصر الدائرية و المنحنيات يتطلب مادة ذات مرونة عالية و بنسب استطالة ضئيلة كما في الألياف الكربونية

10-2- نتائج خاصة للتدعيم باستخدام الياف الكربون

- يناسب التدعيم بالألياف الكربونية المباني المتعرضة لأحمال الزلازل
- تقاوم الألياف الكربونية عند أستخدامها في التدعيم القوى الناشئة عن أحمال جانبية بكفاءة
- حققت ألياف الكربون في تدعيم القبة أعلى مقاومة للشد ومعاملات جيدة في مقاومة الحرارة والرطوبة أثناء تفقدها دورياً ضمن أجراءات المراقبة
- لإنخفاض كثافة الياف الكربون وخفة وزنها لم تنشأ إجهادات زيادة على المبنى التراثي
- لم تتأثر الألياف الكربونية بالحرارة و بصفة خاصة لأنها مطبقة على سطح نهائي معرض لدرجات حرارة عالية بالتمدد الحراري
- حقق تطبيق التدعيم بألياف الكربون مبدأ الحفاظ الخاص بالتراجعية لأنه يمكن إزالة هذا التدعيم تماماً مع الحرص في التنفيذ

١١ -التوصيات :

- يوصي بإجراء دراسة تشمل كل ما يتعلق بالمبني التراثي لمعرفة الأسباب التي أدت إلي إصابته بالتلف وبالتالي تحديد أنسب الطرق المناسبة لترميمه.
- يوصي بالالتزام بالمواثيق الدولية طالما تواجدت المواد المناسبة لتحقيق ذلك.
- يجب إظهار الأضافات التي طرأت علي المبني ،حتي وإن كانت مخفية داخل عناصر المبني وذلك بعمل تقرير وإرشادات تعلق داخل المبني.
- يوصي باختبار أي مادة تضاف للمبني قبل إستخدامها ،وبعد ثبوت صلاحيتها يوصي بالتوعية باستعمالها في الترميم كبديل عن الفك .
- مرحلة الأختبارات و إجراء فحوص دورية علي المباني المعالجة جزء لا يتجزأ من أجراءات الحفاظ .
- يوصي بطرح تكنولوجيا الترميم باستخدام المواد الحديثة ضمن محاور المؤتمرات العلمية للجامعات كمحور دائم لتطوير تطبيقات هذه المواد بالمباني التراثية.
- تشجيع وزارة الآثار على الأستفادة بالخبرات الأكاديمية للباحثين بالجامعات في مختلف التخصصات لتحقيق أفضل النتائج لعمليات الحفاظ
- تطرح وزارة الأثار المواضيع المتعلقة بالترميم و التي تحتاج إلى أبحاث على الجامعات للبحث العلمي للماجستير و الدكتوراه في كليات الآثار و الهندسة

المراجع

١. [١] عبد المعز شاهين ، ترميم وصيانة المباني الآثرية ،وزارة المعارف السورية، 1986،سوريا.
2. [2] UNESCO, Monitoring World Heritage, UNESCO World Heritage center,2002.
3. [3] Venice charter , 1964, www.icomos.org/charters
٤. [٤] أماني عبد الرحمن أحمد الريس:"المواثيق والتوصيات الدولية للتعامل مع التراث المعماري و العمراني"،رسالة ماجستير غير منشورة،جامعة القاهرة ،كلية هندسة ، 2002
٥. [٥] اللجنة الدائمة لإعداد الكود المصري ، كود 208، الكود المصري لأسس تصميم و اشتراطات تنفيذ استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف في مجالات التشييد، مركز بحوث الإسكان و البناء، 2005، صفحة 1-1
6. [6] Charlez Selwitz , research in conservation, , 1992 , page 85
٧. [٧] اللجنة الدائمة لإعداد الكود المصري ، كود 208، مرجع سابق، مركز بحوث الإسكان و البناء، 2005، صفحة7-2
8. [8] Debrah D.L.Chung, Carbon Fiber Composites , 1994, page 4
9. [9] Fatma Marii and Usan Chaidan, technical vocabulary for culture property conservation, UNESCO, 2011, page 32
10. [10] Alann Andre , fibers for strengthening of timber structures, lulea university of technology, 2006, page 18
11. [11] Alann Andre , previous reference, lulea university of technology ,2006, page 41
12. [12] Robert Layton, Peter G. Stone and Julian Thomas, destruction and conservation of cultural property, Routledge, 2001, page 294
13. [13] S.Saileysh Sivaraja and others, preservation of historical monumental structures using fiber reinforced polymer (FRP), proceeding engineering .54, Elsevier, 2013, page 474
14. [14] Andre de Naeyer, new materials for safeguarding cultural heritage, university chant, Belgium ,page 3
١٥. [١٥] غادة العسراوي، مأمون السمكري، دراسة التشوهات و إشكال الانهيار للأعمدة المدعمة بألياف الكربون، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، المجلد الحادي و العشرون – العدد الأول- 2005 ، صفحة 73.
١٦. [١٦] طارق المري، ياسمين صبري واخرون، مجد العمارة الإسلامية (مهمة لحفظ التراث 2002- 2006) ، 2006
17. [17] Nara document of authenticity, www. icomos .org
18. [18] May Cassar, center for historic buildings, university college London, technological requirement for solutions in the conservation and protection of historic monuments and archeological remains, 2001, page 10