------مجلة علوم الرافدين، المجلد 28، العدد 1، ص 94-105، 2019------

دراسة تأثيرات عامل التعتيق على كفاءة أداء الكلال لمادة متراكبة بوليمرية المادة الأساس

أحمد نوري محمود* **أسماء عماد عبد****

كلية علوم البيئة وتقاناتها/ جامعة الموصل

**E-mail: Aboibrahem70@yahoo.com * **E-mail: Asmaaemad77@yahoo.com **

(أستلم 13/ 9 /2018 ؛ قُبل 3 / 12 /2018)

الملخص

يتناول البحث دراسة تأثير عامل التعتيق على سلوك الكلال الانحنائي لراتنج (Dia Ethylene Bisphenol Epoxy-A) المقوى بنسب حجميه مقدارها (33.3%) من مسحوق (SiO2) و (44.4%) من مسحوق (Al)، تم حفظ النماذج لفترات زمنية مختلفة (2,4,6) سنة ضمن شروط الحفظ المفتوح. أجريت فحوصات الكلال الانحنائي على العينات غير المدعمة و المدعمـة، بينت النتائج هنالك تحسن في عمر الكلال للمادة الأساس المدعمة وأن هذا التحسن يكون معتمدا على نوع مادة التدعيم، كما أن كفاءة أداء الكلال للمواد الأساس المدعمة وغير المدعمة تقل مع زيادة أزمان التعتيق وأن المادة الأساس المدعمـة بمـسحوق (SiO2) تكون اقل حساسية للتأثر بزمن التعتيق من المادة الأساس المدعمة بمسحوق (Al) وكلاهما أقل حساسية للتأثر بـ زمن التعتيق من المادة الأساس غير المدعمة. وأخيرا تبين أن الضرر الحاصل في المادة هو من نوع الضرر الكمي كما ظهر أيضا ان المادة الأساس يمكن ان تكون هي المسؤول الرئيس عن هذا الضرر.

الكلمات الدالة: الكلال الانحنائي لراتنج، سلوك الكلال، عامل التعتيق.

A Study of the Effects of the Aging Factor on the Efficiency of the Fatigue Performance for Polymer Matrix Composites

Ahmed N. Mahmmod **Asmaa E. Abed**

College of Environmental Science and Technologies/ University of Mosul

ABSTRACT

In this research a study of the effect of aging factor on behavior of binding fatigue of resin (Dia Ethylene Bisphenol Epoxy-A) which is reinforced by adding volume ratio (33.3%) of (SiO2) powder and (44.4%) of (Al) powder, those samples were kept under open conservation condition for different time periods (2,4,6) years. Fatigue test was conducted for unreinforcement and reinforcement samples. The results have shown that there are an improvement in fatigue life in reinforcement matrix and this improvement depend on the nature of reinforcement material. and the results have shown that the efficiency of fatigue life for unreinforcement and reinforcement matrix is decreased with increasing age of aging and the matrix which is reinforced by (SiO2) powder be less sensitive from matrix which is reinforced by (Al) powder and both are less sensitive from unreinforcement matrix . Finally, the results show that the damage to the material is the type of quantitative damage and that is likely to be the matrix is responsible of such damage.

Keywords: (DEBE-A) composite, bending Fatigue, Aging composite.

المـقـدمة

تعد دراسة الخواص الميكانيكية للبوليمرات من أكثر العمليات تعقيدا وذلك بسبب الحساسية العالية للسلوك الميكانيكي تجاه مجموعة من العوامل الخارجية والداخلية. تتمثل العوامل الخارجية بتأثيرات الحرارة والزمن والضغط و الإشعاع، أما العوامل الداخلية فتتمثل بدرجة التشابك البنية البلورية ودرجة البلمرة ووجود الإضافات، مثل الملونات والحشوات ------ الخ.

تعتمد الخواص الميكانيكية للمواد البوليمرية وبشكل كبير على درجة الحرارة, زمن التحمل، زمن التعتيق مقارنة بالمواد الهندسية الأخرى الأقل تأثرا بهذه العوامل، ويعود السبب في ذلك على الى طبيعة البوليمرات اللازجة- المرنة (Visco-elastics)، فالبوليمرات تتسم بصفات السوائل اللازجة عند تسليط إجهاد عليها وأن الإجهاد يتلاشى على هيئات حرارية وعندما يصل الإجهاد إلى مستويات معينة فأن المادة لا تعود إلى حالتها الأصلية بعد زوال القوة المؤثرة ولكن تنتقل إلى حالة أخرى توصف بالحالة المشوهة (Deformed Form) والتي تفقد فيها المادة القدرة على استعادة مواصفاتها الأولية، في نفس الوقت فأن البوليمرات تمتاز بصفات المرونة (Elastic) والتي تعطي المادة خاصية أنه عند تسليط أجهاد على المادة فأنها تخزن الشغل المصروف عليها على هيئة طاقة مخزونة فتسترجع الأبعاد الأولية للمادة حال زوال الإجهاد وتنشأ هذه الازدواجية في الخواص من طبيعة تركيب المواد البوليمرية إذ أن وجود نوعين من القوى وهي الأواصر التساهمية القوية داخل الجزيئات والروابط الثانوية الضعيفة كالهيدروجينية وفاندرفالز بين الجزيئات هي التي تؤثر في الخواص الميكانيكية. (Zhi *et al.*, 2012) هذه الصفات المميزة للبوليمرات جعلت منها من أكثر المواد نجاحا في تصنيع المواد المتراكبة بوليمرية المادة الأساس (PMCs) حيث أن أشتراك المواد البوليمرية مع مواد أخرى مختلفة وبهيئات مختلفة ضمن حدود مقيدة متمثلة بالمادة الأساس تعطي مادة ذات صفات اقترانية ترتقي إلى الحالة الممتازة، فضلا على أن معظم هذه المواد هي بالأصل متوفرة في الأسواق وذات كلفة منخفضة. (Hongyu *et al.*, 2016)، ان معـظم صفات المواد البوليمرية وبما فيها الصفات المستحدثة عند تشكلها بهيئة متراكبة تكون ذات حساسية عالية للزمن، أذ أن معظم هذه المواد تفقد جزء أو كل كفاءتها الميكـانيكية بعد فترة من الزمن، وأن هذا الفقدان في الكفاءة لا يكون مقترن بشرط تعرض المادة إلى مؤثر ميكانيكي، حيث أن بعض المواد المتراكبة بوليمرية المادة الأساس تفقد من كفاءتهـا تجاه خاصية ميكانيكية معـيـنـة حتى وأن لـم تـتـعرض لتأثـير هـذه الصـفـة الميكانيكية. (Mohammed and Salaration, 2014 ؛ Moe, 2002). أن هذه الخاصية خلقت تحدي جديد أمام هذه المواد، أن هذه التحدي يتضمن أنه ليس من الضروري في هذه المواد استحداث صفات ايجابية جديدة فقط ولكن الحفاظ على هذه الصفات مع تأثير عامل الزمن، بذلك بداية فان البحث تناول هذه المواد كمحوره الرئيسي له دراسة الشروط والعوامل والظروف التي يجب توفرها في المادة المتراكبة بوليمرية المادة الأساس (PMCs) لتكون ذات صفات مميزة فضلا عن قدرتها على الحفاظ على هذه الصفات أطول فترة ممكنة (Lifeng *et al.*, 2018 ؛ Stepashkin *et al.*, 2018).

بصورة عامة أن الخواص الميكانيكية تصف سلوك المواد البوليمرية ومتراكباتها الواقعة تحت تأثير قوة مسلطة وأن الطرق التي يمكن فحص هذه المواد ودراسة خواصها فضلا عن اختبار مدى قدرة هذه المواد على الحفاظ على هذه الصفات لأطول فترة ممكنة يمكن تقسيمها إلى ثلاث مجاميع هي. (Chee *et al.*, 2013).

1. طرائق فحص الخواص الميكانيكية التي تصف سلوك المادة الواقعة تحت تأثير قوى ساكنة مثل قوة الشد (Tension)، الانحناء (Flexural)، الأنضغاطية (Compression)، القص (Shear).
2. طرائق فحص الخواص الميكانيكية التي تصف سلوك المادة الواقعة تحت تأثير قوى متحركة مثل الصدمة (Impact)، اللي (Torsion)، الكلال (Fatigue).
3. طرائق فحص الخواص الميكانيكية التي تصف سلوك المادة الواقعة تحت ثاثير قوى ثابتة بمرور الزمن كالزحف (Creep).

الجانب العملي

يتضمن هذا الجزء من البحث وصف للمادة المستخدمة بوصفها مادة أساس لتصنيع المادة المتراكبة بوليمرية المادة الأساس (PMCs)، كما يتضمن وصف للمواد المستخدمة لتدعيم المادة الأساس بالإضافة إلى الاختبارات الميكانيكية التي أجريت على النماذج المصنعة.

المواد المستخدمة في البحث:

المواد المستخدمة في تصنيع النماذج هي:

1- المادة الأساس: Matrix Material

تحضر الأساس من مزج المادة لراتنج

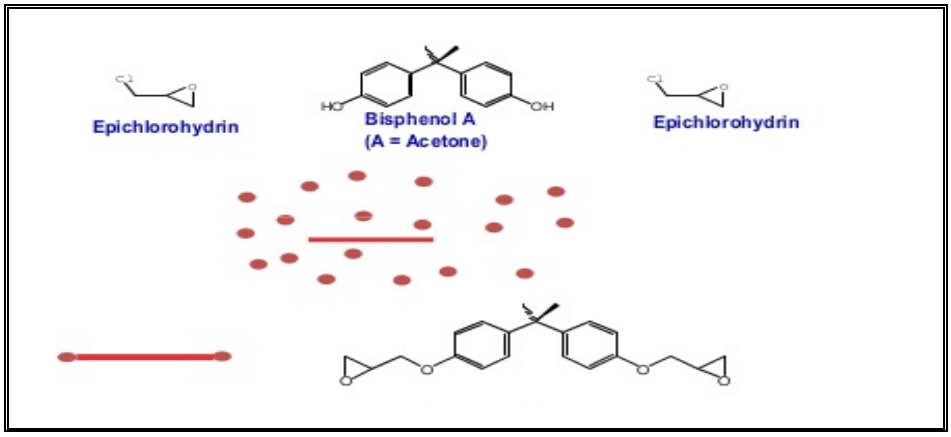
Resin :Dia Ethylene Bisphenol Epoxy-A(DEBE-A)

مع مادة المصلّب Hardener: Dia Tetrawen (DT)

وبنسبة مزج حجمية {3 R./ 1 H.}. بعض الخواص الفيزيائية للمادة الأساس هي:

Flash Point > 81 C °
Viscosity : 1200 – 1800 Cp
Specific Density : 1.05

الشكل أدناه يوضح الترتيب الهندسي الجزيئي للمادة الأساس.



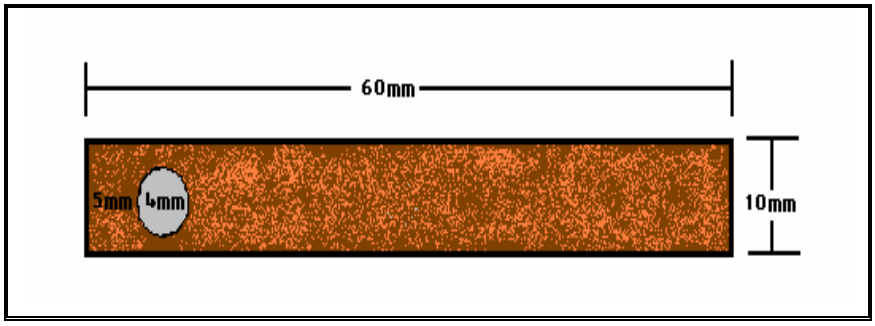
الشكل1: الترتيب الهندسي الجزيئي للمادة الأساس (Composit-Expo, 2014)

2- مادة التقوية: Reinforcement Material

استخدمت مساحيق من مادة السليكا (SiO_2) والألمنيوم (Al) وبالحجم الحبيبي (30µ) كل على حدى كمالئات (Filler) لتدعيم المادة الأساس وبنسب حجميه (SiO_2 → 33.3 %) و (Al→ 44.4 %) والتي تمثل النسب المثلى للتدعيم وبمقاومة مقدارها (95%) ولكلا النوعين. (الوطني، 2010).

3- تصنيع النماذج: Samples Preparation

لأجل تحضير النماذج تم الاستعانة بقوالب صنعت خصيصا من اجل الحصول على مادة متراكبة بأبعاد تلائم جهاز فحص الكلال الانحنائي، إذ أن النماذج المصنعة كانت بالأبعاد mm (3×10×60) بعد إجراء المعاملات السطحية المتمثلة بعمليات الصقل والتنعيم، الشكل (2) يمثل مخطط للنماذج المصنعة.

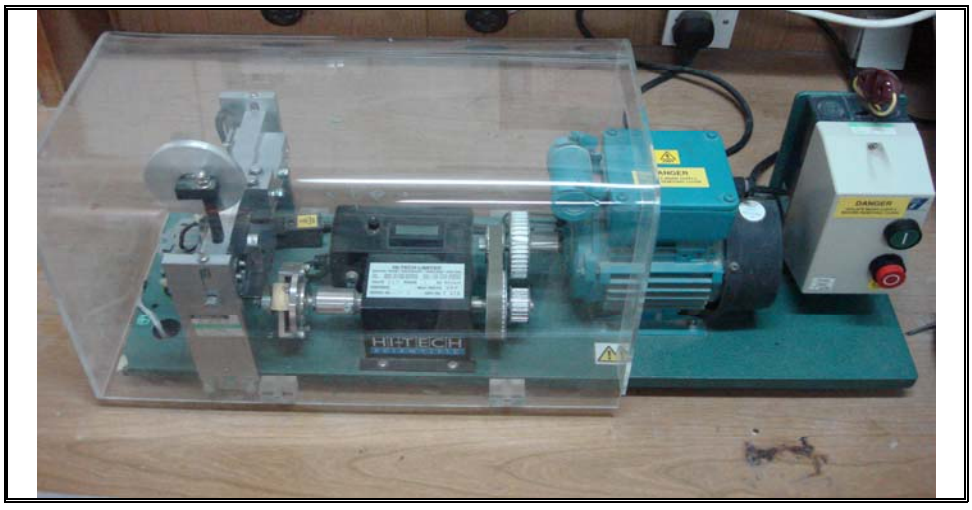


الشكل 2: مخطط للنماذج المصنعة والمستخدمة لفحوصات الكلال

حفظت النماذج المصنعة لفترات زمنية مختلفة (2,4,6) سنة، إن عملية الحفظ كانت ضمن شروط الحفظ المفتوح والمتمثلة بدرجات حرارة حفظ تتراوح مابين C° (15-35) : T، وتعرض للإضاءة الطبيعية للمختبر، وبنسب رطوبة هواء المختبر الاعتيادية.

4- فحص الكلال الانحنائي: Bending Fatigue Test

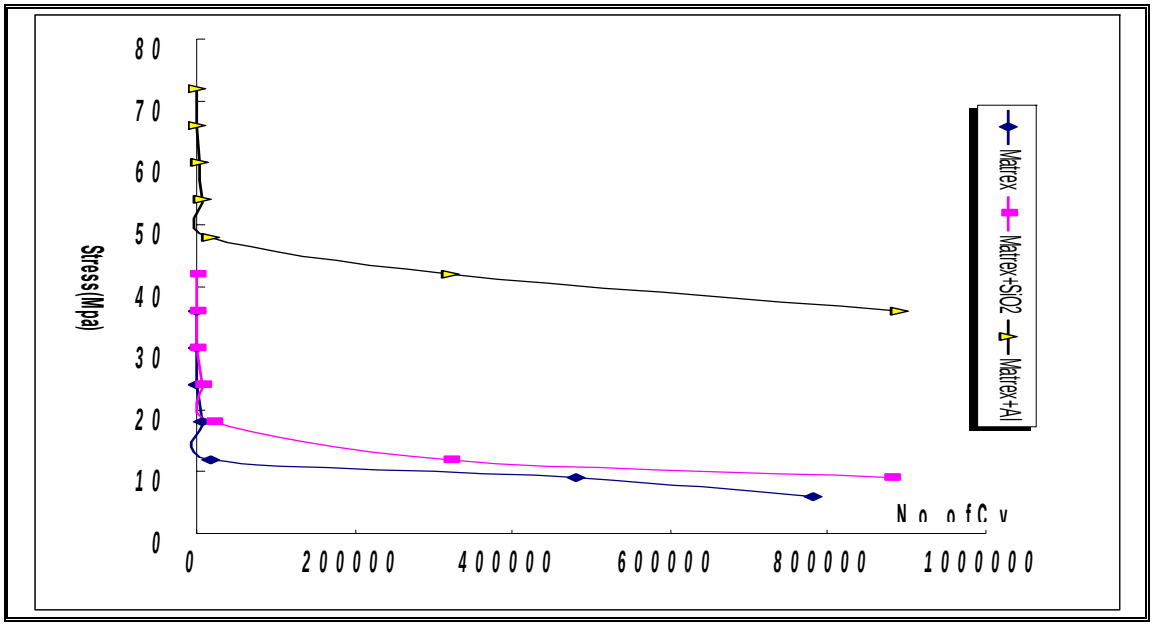
أجريت فحوصات الكلال الانحنائي للنماذج المصنعة خلال فترات زمنية مختلفة (0,2,4,6) سنة على التوالي. الجهاز المستخدم في فحوصات الكلال الانحنائي هو جهاز فحص الكلال الميكانيكي من نوع (HsM20)، هذا الجهاز من أنتاج شركة (HI-Tech) الانكليزية وهو عبارة عن جيل مطور من جهاز (Rotating Fatigue Machine HsM19)



الشكل 3: جهاز فحص الكلال الانحنائي

النتائج والمناقشة

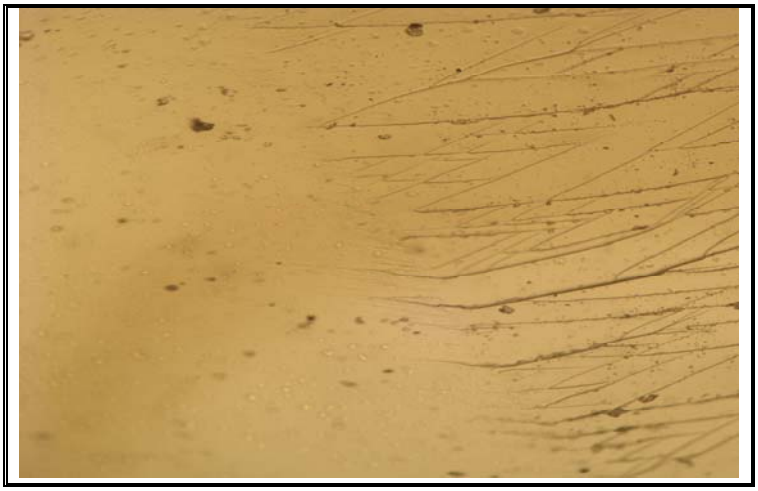
يوضح الشكل (4) منحنيات الكلال (S-N Curves) للمادة الأساس غير المدعمة والمادة الأساس المدعمة بمساحيق (Al) and (SiO2) وبالحجم الحبيبي (30µm)، أن منحنى الكلال التقليدي يمكن تقسيمه إلى ثلاث مراحل، المرحلة الأولى التي تكون فيها عدد الدورات المؤدية إلى الفشل معتمدة على مقدار الحمل المسلط وليس على مقدار قدرة المادة على توزيع الإجهاد وأن هذه المرحلة تحصل عند قيم الأحمال العالية. أما المرحلة الثانية فإن مقدار عدد الدورات المؤدي إلى الفشل يعتمد وبشكل كبير على قدرة المادة على توزيع الاجهادات المسلطة عليها وتجنب تمركزها عند نقاط معينة. أما المرحلة الأخيرة فهي المرحلة التي يمكن من خلالها تحديد حدود الكلال (Fatigue Limit)، حيث أن هناك مستويات محدّدة الإجهاد وقوة الشد المسلطة، وأن أقل من هذه المستويات يصبح عمر الكلال (Fatigue Life, Nf) لا نهائي، (Popescu, 2007).



الشكل 4: منحنيات الكلال للمادة الأساس غير المدعمة والمدعمة بمسحوق (Al) and(SiO2) عند زمن التعتيق الصفري

نلاحظ من الشكل أن هناك تحسناً في عمر الكلال للمادة الأساس المدعمة و يعود السبب في ذلك الى تحقيـق خاصـية الاستمرارية (Continuation)، وذلك لكون المادة الأساس هي الوسط الذي يتم من خلاله تـسليط الاجهـادات علـى المـادة وتوزيعها عند مختلف نقاط المادة المتراكبة وأن عملية توزيع الاجهادات هذه تتأثر وبشكل كبير بخاصية الاستمرارية، وكما هو موضح في الشكل (5)، والتي تتعزز كلما قل احتواء المادة على الفراغات في التوزيع الهندسي ما فوق الجزيئي، وبما أن المادة الأساس غير المدعمة تكون في الغالب ذات محتوى عالٍ نسبيا لمثل هذه الفراغات، لذلك نجد أن قدرة هذه المادة على توزيـع الإجهاد يكون متـواضعاً نـسبـياً وبالتالي عـمـر كلالها سـيكون قصـيـراً نـسـبـياً. (Yunsheng *et al.*, 2001 ؛Andrzej *et al.*, 2018 ؛ World Industrial Reporter, 2014 ؛ Yingjie *et al.*, 2015).

فضلا على ذلك فأن وجود مواد التدعيم سيوفر فرصا اكبر لحصول درجة ربط تشابكي أكبر (Cross linking) بتحفيز الحرارة الناتجة عن عملية تصليب الأيبوكسي، وهذا بدوره يؤدي إلـى زيـادة فـي مطيليـه المـادة ومقاومتهـا للإجهـاد. (Haleem *et al.*, 2014).



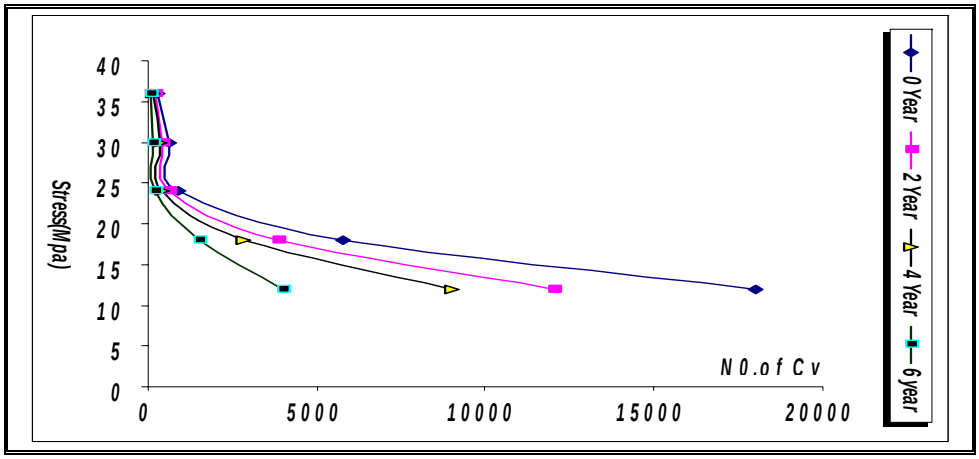
الشكل 5: الفحص المجهري للمادة الاساس غير المدعمة يوضح فقدان خاصية الاستمرارية (x 150)

كما يلاحظ من الشكل (4) أن كفاءة أداء الكلال للمادة الأساس المدعمة بـ ـ ـمسحوق الألمنيوم (Al) يكـون أفـضل وبشكل كبير من كفاءة أداء الكلال للمادة الأساس المدعمة بـمسحوق السليكا (SiO2)، إذ يلاحظ أن منحنـي الكـلال للمـادة الأساس المدعمة بـ ـ (Al) يكون في المرحلة الثالثة تقريبا بينما يكون منحني الكلال للمادة الأساس المدعمـة بـ ـ (SiO2) بالمرحلة الأولى وعند نفس قيمة الإجهاد، ربما يكون السبب في ذلك أن المادة المستخدمة لتـدعيم المـواد البوليمريـة فـي (PMCs) والتي تكون بهيئة مساحيق تقسم إلى مواد فعالة ومواد غير فعالة، حيث أن المواد غير الفاعلة هي المـواد التـي لا تؤدي إلى تحسن معين في خواص المادة المتراكبة بينما المواد الفعالة هي التي تؤدي إلى تحسن في تلك الخواص وأن درجـة الفعالية يمكن أن تخمن من خـلال مقـدار التحـسن الـذي يطـرأ علـى خـواص لـ ـ (PMCs)(Yun *et al.*, 2001؛ Eswar *et al.*, 2009).

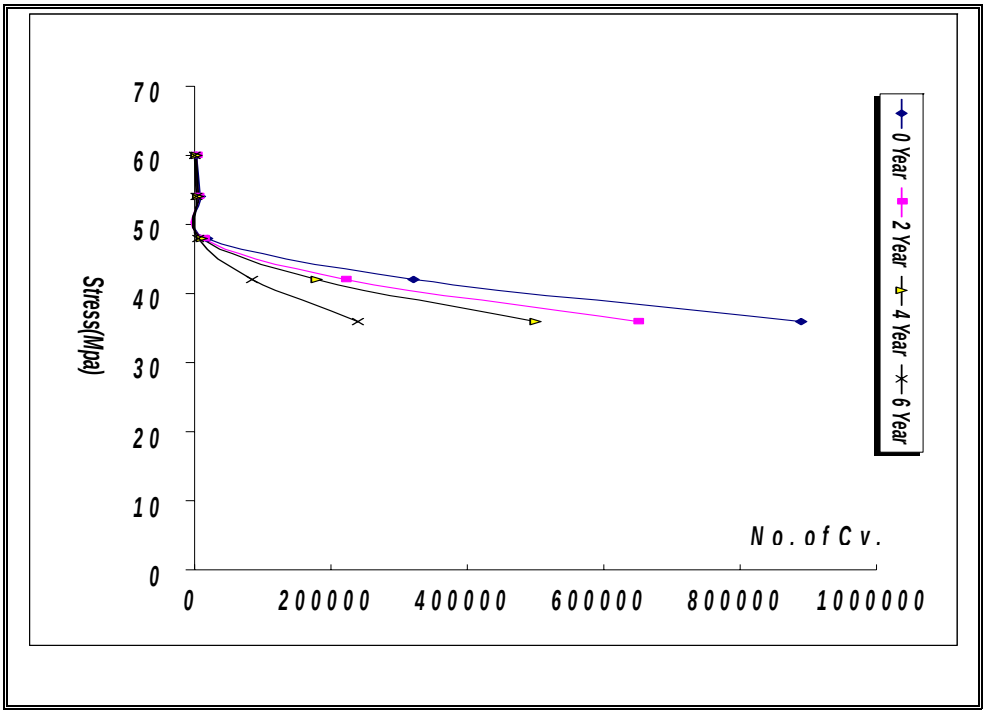
أن استعمال مسحوق (Al) كمادة تدعيم لـ (DEBE-A) يؤدي إلى ملء الفراغات في التركيب ما فوق الجزيئي حيـث تستقر تجمعات ذرات الألمنيوم في التجاويف بين السلاسل البوليمرية، وكما هو موضح بالشكل (6)، ما يؤدي إلى تقليل مواقع الخلل في المادة الأساس وزيادة قدرتها على توزيع الإجهاد وبالتي عمر كلال أطول وكفاءة أداء أفـضل. بينمـا لا تـستطيع جزيئات (SiO2) التمركز في مثل هكذا مواقع وبالنتيجة لا ترتقي المادة الأساس المدعمة بـ ـ (SiO2) إلـى كفـاءة المـادة الأساس المدعمة بـ (Al). (Andrzej *et al.*, 2018 ; Daniel *et al*, 2014).

الشكل 6: الفحص المجهري للمادة الاساس المدعمة بمسحوق (Al) توضح تجمع مسحوق الـ (Al) في تجاويف بين السلاسل البوليمرية لـ (DEBFE-A) (x 150)

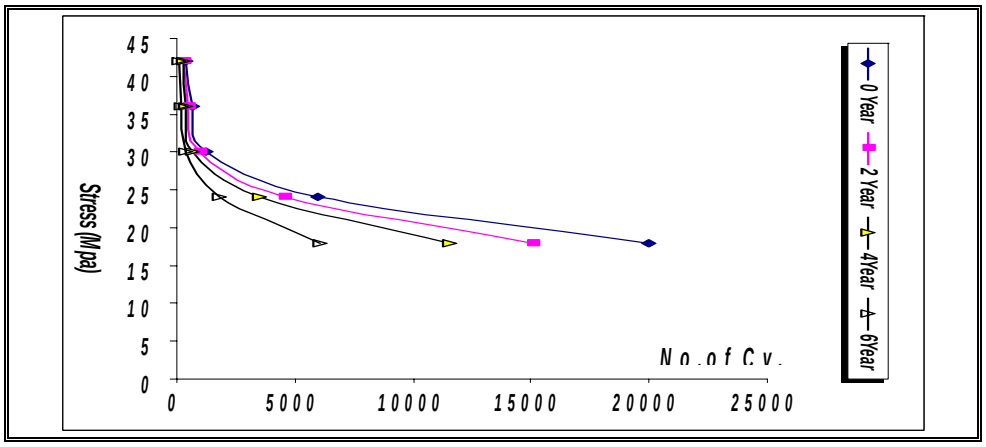
الأشكال (7), (8), (9) تمثل منحنيات الكلال للمادة الأساس غير المدعمة والمادة الأساس المدعمة بمسحوق (Al) فضلا عن المادة الأساس المدعمة بمسحوق (SiO2).



الشكل 7: منحنيات الكلال للمادة الأساس غير المدعمة خلال أزمان تعتيق مختلفة



الشكل 8: منحنيات الكلال للمادة الأساس المدعمة بمسحوق (Al) خلال أزمان تعتيق مختلفة



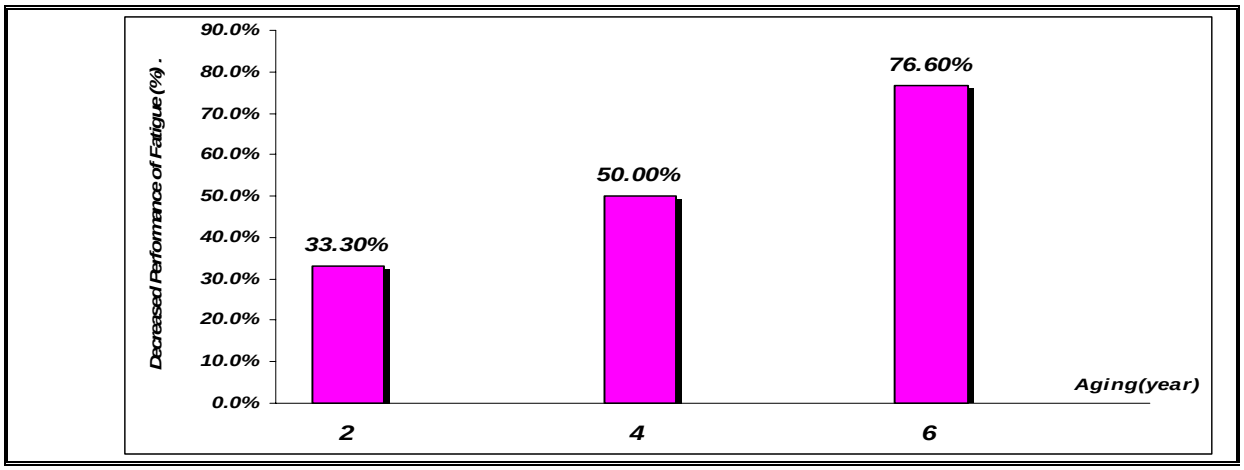
الشكل 9: منحنيات الكلال للمادة الأساس المدعمة بمسحوق (SiO2) خلال أزمان تعتيق مختلفة

يلاحظ من الأشكال السابقة أن كفاءة أداء الكلال للمادة الأساس غير المدعمة والمادة الأساس المدعمة تتناقص مع زيـادة أزمان التعتيق مع بقاء منحنيات الكلال خلال الفترات الزمنية المختلفة بنفس السلوكية للمادة الأساس غير المعتقـة المدعمـة وغير المدعمة. أن هذا يعني أن المادة الأساس تبقى قادرة على تحمـل الاجهـادات الدوريـة (Cyclic Stress) وأن هـذه الاجهادات تكون بـهيئـة شـد وانضغاط (Tension and Compression) ونتيجة لهذه الاجهادات فأن التشوه الحاصل في المادة الأساس يكون من نوع التشوه المرن (Elastic Deformation) وأن العلاقة بين الإجهاد والانفعال (Steain-Stress) تكون متمثلة بعلاقة خطية ضمن حدود هذه المنطقة، كما أن عملية نمو الإجهاد بهذا الشكل يؤدي إلى تحول التشوه المرن إلى تشوه لدن (Plastic Deformation) حيـث أن نـقطـة الـتـحول بين التشوهين تسمى نقطة الخـضوع (Yield Point)، وأن الاستمرار في نمو هذه الأجهادت يؤدي الى الفشل متمثلا بكسر العينة. أن بقاء السلوكية الميكانيكية للعينة بهـذه الهيئـة ولفترات تعتيق مختلفة تعطي مؤشرا على أن هناك احتمالية أن يكون التلف الحاصل في المادة هو مـن نـوع التلـف الكمـي (Quantitative Damage)، وهو التلف الذي يحصل في المادة مع بقاء سلوكية المادة بنفس الهيئة وأن نتيجة هذا التلف هـو نقصان في كفاءة أداء المادة، وأنه ليس من نوع التلف النوعي (Qualitative Damage)، وهو التلف الذي يحصل في المادة

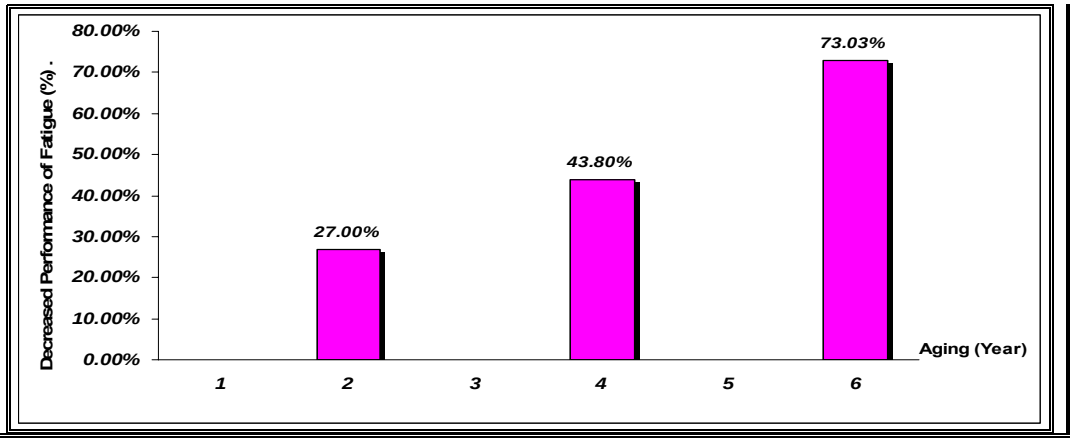
مع تغير سلوكية المادة وأن نتيجة هذا التالف هو ظهور المادة بهيئة وسلوكية جديدة مما يتطلب التعامل معـا ضـمن ضـوابط جديدة. (Yun *et al.*,2015 ; Jalal *et al.*, 2015).

أن التناقص في كفاءة أداء الكلال مع زيادة أزمان التعتيق للمادة الأساس المدعمة وغير المدعمة من المحتمل أن يكـون السبب في ذلك هو الترابط الذي يحصل للسلاسل البوليمرية أثناء عملية التصنيع، حيث أن هذا الترابط يكون من نوع التـرابط معتمد الزمن (Time-dependent Correlation)، وأن هذا الاعتماد الزمني يبقى فعالا حتى في حالة عدم تعـرض المـادة البوليمرية إلى أي نوع من أنواع الإثارة الميكانيكية، أي أن قوة ترابط السلاسل البوليمرية تتناقص مع مرور الزمن في كـل الأحوال، هذا بدوره سوف يؤدي إلى تناقص في مطيليه المادة (Ductility). ومما تجدر الإشارة إليه أن تناقص مطيليه المادة لا تعني بالضرورة أن المادة هشة وذلك بسبب وجود صفة المرونة (Flexibility)، والتي تكون في الغالب صفة متأصلة فـي المواد البوليمرية، ولذلك فأن فقدان المطيلة مع بقاء المرونة يعطي المادة خاصية عدم التهشم (Shatter on) ولكنهـا بـالعموم تؤدي إلى تناقص متانة المادة (Toughens)، وهذا بدوره يعزز فرضية الضرر الكمي.

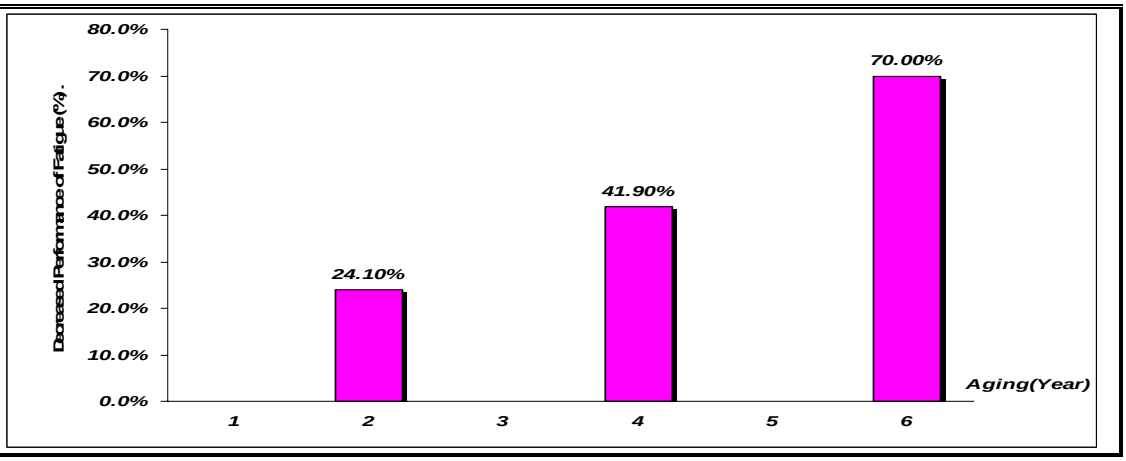
ولغرض معرفة مدى تأثر النماذج الثلاثة بعامل زمن التعتيق، تم احتساب معدل تناقص كفـاءة أداء الكـلال للنمـاذج الثلاثة، حيث توضح الإشكال (10)، (11)، (12) معدل تناقص كفاءة أداء الكلال بوصفها دالة لزمن التعتيق، حيث يتبين مـن الإشكال أن معدل تناقص كفاءة أداء الكلال للمادة الأساس غير المدعمة يكون اكبر من معدل تناقص كفاءة أداء الكلال للمـادة الأساس المدعمة، يعود السبب في ذلك إلى أن تدعيم المادة الأساس بمساحيق المواد المختلفة والذي يودي إلى زيادة في درجـة الترابط ألتشابكي (Cross Linking) وأن التناقص في الترابط المعتمد على الزمن يتناسب عكسيا مع درجة الترابط وبذلك نجد أن معدل تناقص كفاءة أداء الكلال يكون اقل في المادة الأساس المدعمة عن ما هو عليه في المادة الأساس غيـر المدعمـة. (Eswar *et al.*, 2009 ; Paul *et al.*, 2005 ; Bleay *et al.*, 2001).



الشكل 10: النسبة المئوية لتناقص أداء الكلال للمادة الأساس غير المدعمة ولأزمان تعتيق مختلفة



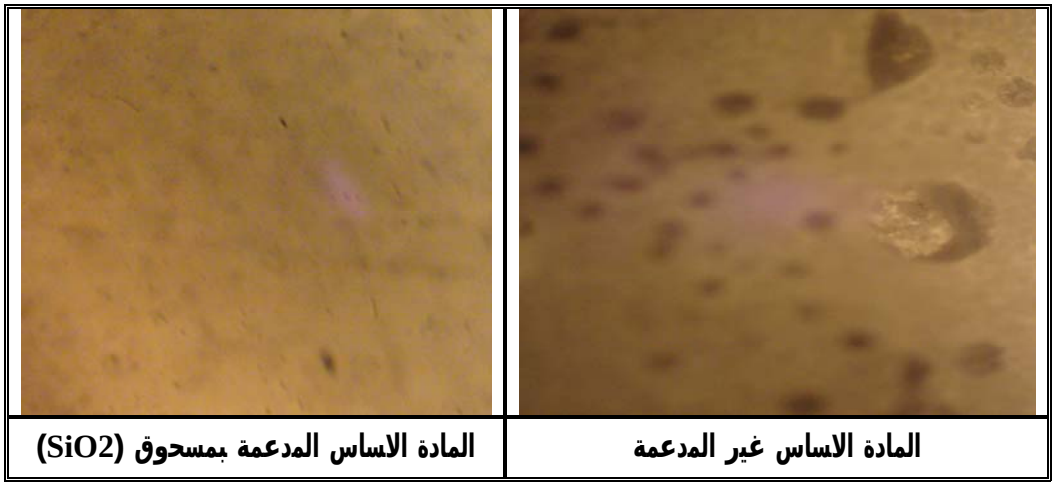
الشكل 11: النسبة المئوية لتناقص أداء الكلال للمادة الأساس المدعمة بـ- (Al) ولأزمان تعتيق مختلفة.



الشكل 12: النسبة المئوية لتناقص أداء الكلال للمادة الأساس المدعمة بـ- (SiO2) ولأزمان تعتيق مختلفة.

كما يلاحظ من الأشكال السابقة أن معدل تناقص كفاءة أداء الكلال للمادة الأساس المدعمة بمسحوق (Al) يكون أكبر من معدل تناقص كفاءة أداء الكلال للمادة الأساس المدعمة بمسحوق (SiO2)، لغرض فهم هذه الحالة فأن علينا العودة إلـى حقيقـة أن هناك مساحيق تدعيم فعالة وأخرى غير فعالة وأن فعالية أو عدم فعالية هذه المواد هي ليست خاصية مطلقة، أي أنه ربما تكون فعالة عند استخدامها ضمن ظروف معينة أو تطبيق معين لكنها لا تكون فعالة ضمن ظروف أو تطبيق آخر، ولذلك فأن هنـاك شروطاً و صفات أساسية يجب توفرها في المادة لتكون فعالة كمادة تدعيم لغرض تحسين صفة ميكانيكية معينة، فمثلا أن مادة الألمنيوم تكون فعالة في تدعيم المادة الأساس لتكوين (PMCs) ذات عمر كلال طويل، وكما هو مبين سابقا، ألا أن هذه المادة لا تمتلك شروط الامتزاج العالي مع المادة الأساس، بينما تكون مادة السليكا أقل فعالية في تحسين عمر الكلال مع وجود قابليـة الامتزاج مع المادة الأساس، وكما هو معروف أن هناك عدة عوامل تؤثر على قابلية الامتزاج منهـا اللزوجـة (Viscosity)، الكثافة (Density)، القطبية (Polarity)، الحجم الحبيبي (Green Size)، القدرة النفوذية (Penetration Ability)، و كلما كانت درجة الامتزاج مرتفعة مع وجود قدرة نفوذية عالية أدى ذلك إلى تكون مادة متراكبة قليلة المسامية (Porosity)، كمـا هو موضح في الشكل (13)، وأن التناقص في محتوى المسامية يقود إلى درجة هشاشة اقل وعزل اكبر عن مؤثرات المحـيط الخارجي، وخلاصة ذلك مادة ذات قدرة على الحفاظ على ثباتية الخواص مع زيادة أزمنة التعتيق.

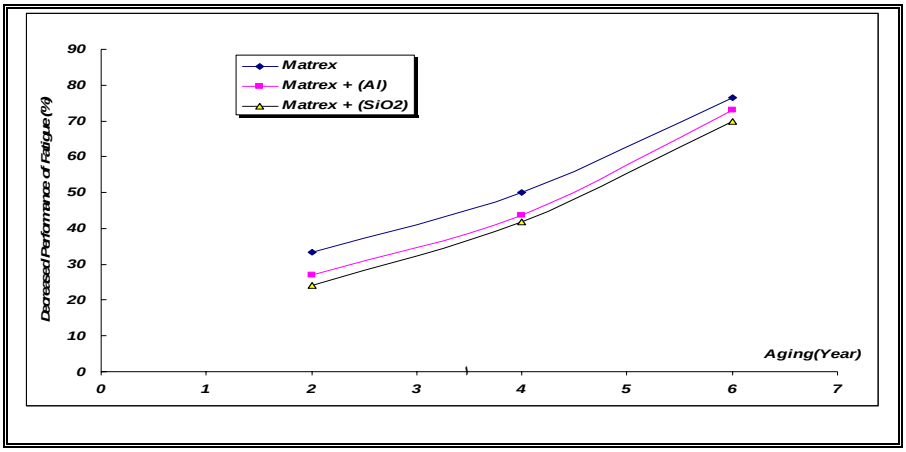
.(Middleton *et al.*, 2015; Pingkarawat *et al.*, 2015 ; Thabang *et al.*, 2015; Orsolya *et al.*, 2014)



المادة الاساس غير المدعمة	المادة الاساس المدعمة بمسحوق (SiO2)

الشكل 13: الفحص المجهري للمادة الاساس غير المدعمة والمدعمة بمسحوق (SiO2) يوضح تناقص المسامية المادة الأساس (DEBFE-A) بسبب التدعيم (X 150)

وأخيرا ولغرض تخمين المادة التي تكون مسؤولة عن تناقص كفاءة أداء الكلال للنماذج الثلاثة، تم رسم معـدل تنـاقص كفاءة أداء الكلال بوصفها دالة لزمن التعتيق، إذ يوضح الشكل (14) معدل تناقص كفاءة أداء الكلال للنماذج الثلاثة يسلك وإلى حد كبير سلوكا خطيا مع زيادة الفترة الزمنية للتعتيق، ما أن العامل المشترك بين النماذج الثلاثة هي المادة الأساس لذلك فأنـه من المحتمل أن تكون المادة الأساس هي المسؤولة عن التناقص في كفاءة أداء الكلال وأن وجود مـواد التـدعيم يـؤدي إلـى انخفاض في مستوى التناقص وهذا بدوره يقود مرة أخرى إلى فرضية أن التناقص يكون بسبب الضرر الكمي وأن كمية هـذا الضرر تتزايد مع مرور الزمن وأن وجود مادة التدعيم يؤدي إلى زيادة قدرة المادة على مقاومة تزايد الضرر مع زيادة زمـن التعتيق. (Lei *et al.*, 2015 ؛ Fiore *et al.* ,2016؛ Minoo *et al.*, 2016 ؛ Yinghui *et al.*, 2016) .



الشكل 14: تناقص كفاءة أداء الكلال للمادة الأساس غير المدعمة والمدعمة بمسحوق (Al) and(SiO2) خلال ازمأن تعتيق مختلفة

الاستنتاجات

1- تحسن في كفاءة أداء الكلال للمادة الأساس يعتمد على نوع وطبيعة مادة التدعيم.

2- كفاءة أداء الكلال للمادة الأساس غير المدعمة والمدعمة بمساحيق (Al) and (SiO2) تتناقص مع زيادة زمن التعتيق.

3- كفاءة أداء الكلال للمادة الأساس غير المدعمة يكون الأكثر حساسية مع زيادة زمن التعتيق بينما تكون كفاءة أداء الكـلال للمادة الأساس المدعمة بـ ـمسحوق (Al) أكثر حساسية من المادة الأساس المدعمة بمسحوق (SiO2) وأن كليهما أقل حساسية من المادة الأساس غير المدعمة.

4- معدل تناقص كفاءة أداء الكلال للمادة الأساس غير المدعمة والمدعمة بـ ـ ـ (SiO2) and (Al) يسلك سـلوكا خطيـا تقريبا مع زيادة أزمان التعتيق مما يدل على أن الضرر الحاصل في المادة يكون من النوع الكمي.

5- من المرجح أن تكون التأثيرات التي تحصل في المادة الأساس بسبب عامل التعتيق هي المسؤولة عن تناقص كفاءة الكلال للمادة الأساس المدعمة وغير المدعمة لأن السلوكية متماثلة للنماذج الثلاثة وهي خطية تقريبا.

المصادر العربية

الوطني، أحمد نوري (2010). الخواص الميكانيكية للمواد المتراكبة ذات أساس أيبوكسي. أطروحة دكتوراه، جامعة الموصل، كلية العلوم.

المصادر الأجنبية

Andrzej, K.; Dominik, W.; Andrzej, K. (2018). Determination of fatigue limit of polymeric composites in fully reversed bending loading mode using self-heating effect. *J. Composite Mate.*, ISSN: 0021-9983, Online ISSN: 1530-793X.

Bleay, S.M.; Loader, C.B.; Hawyes, V.J.; Humberstone, L.; Curtis, P.T. (2001). A smart repair system for polymer matrix composites. *J. Composites. Part A: Applied Sci. and Manufacturing,* **32**(12), 1767-177.

Composite Expo – (2014). "International Specialized of Exhibitions on Composites Materiel and Technologies". 7th ed. Moscow, Russia.

Chee, B.C.M.R. (2013). The engineering properties of high performance concrete with HCWA–DSF supplementary binder. *J. Construction and Building Materials.* **40,** 93-103.

Daniel, J.M.; Cory, L.; Kristina, H.; Zeinab, E.; Pelling, M. (2014). Apple derived cellulose scaffolds for 3D mammalian cell culture. *J. Che. Phy. Letters*, **614**, 148-150.

Eswar, P.E.; Barun, D.; Urmimala, M.; Upadrasta, R.; Rao, C.N.R. (2009). Extraordinary synergy in the mechanical properties of polymer matrix composites reinforced with 2 nanocarbons. **106**(32), 13186-13189. https://doi.org/10.1073/pnas.0905844106.

Fiore, V.; Calabrese, L.; Di, B.G.; Scalici, T.; Galtieri, G.; Valenza, A.; Proverbio, E. (2016). Effects of aging in salt spray conditions on flax and flax/basalt reinforced composites: Wet ability and dynamic. *J. Composites Part B: Engineering*, **93**, 35-42.

Jalalel, Y.; Gilles, L.; Abderrazak, T.; Jacques, V. (2015). Monitoring and simulations of hydrolysis in epoxy matrix composites during hygrothermal aging. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **68**, 184-192.

Haleem, K.H.; Gui, W.; Yu, W.Y. (2014). Experimental study to investigate mechanical properties of new material polyurethane–cement composite (PUC). *J. Construction and Building Materials*, **50**, 200-208.

Hongyu, C.; Valeriy; Ginzburg, V.; Jian, Y.; Yunfeng, Y.; Wei, L.; Yan, H.; Libo, D.; Bin, C. (2016). Thermal conductivity of polymer-based composites: Fundamentals and applications. *J. Progress in Poly. Sci.*, **59**, 41-85.

Lei, C.; Feng, W.; Li, L.; Weilu, C.; Zhen, H.; Guangshun, Wu.; Yunzhe, D.; Chunhua, Z.; Yudong, H. (2015). Grafting of silane and graphene oxide onto PBO fibers: Multifunctional interphase for fiber/polymer matrix composites with simultaneously improved interfacial and atomic oxygen resistant properties. *J. Composites Sci. and Tech.*, **106**, 32-38.

Lifeng, M.; Wei, Y.; Yansong, W.; Hao, C.; Yanfen, X.; Jincheng, W. (2018). Multi-dimensional strain sensor based on carbon nanotube film with aligned conductive networks. *J. Composites Sci. and Technol.*, Available online 2 July 2018.

Middleton, J.; Hoffman, J.; Burks, B.; Predecki, P.; Kumosa, M. (2015). Aging of a polymer core composite conductor: Mechanical properties and residual stresses. *Composites Part A: Applied Sci. and Manufacturing*, **69**, 159-167.

Minoo, N.; Mohammad, M.A.; Hamid, K.; Abbas, A.; Bronwyn, F. (2016). Crack damage in polymers and composites. *J. Poly. Rev.,* **56**(1).

Moe, M.T.K.L. (2002). Effects of environmental aging on the mechanical properties of bamboo–glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites. *J. Composites Part A: Applied Sci. and Manufacturing*, **33**(1), 43-52.

Mohammed, M.; Salavatian, L.S. (2014). An improved analytical model for shear modulus of fiber reinforced laminates with damage. *J. Composites Sci. and Tech.*, **105**, 9-14.

Orsolya, T.; Hartmut, L.; Márton, M.; Katalin, B.; Csaba, B.; Levente, T. (2014). The influence of sintering on the dispersion of carbon nanotubes in ceramic matrix composites. *Che. Phy. Letter,* **614**, 148-150.

Pingkarawat, K.; Dell, D.; Varley, R.J.; Mouritz, A.P. (2015). An efficient healing agent for high temperature epoxy composites based upon tetra-glycidyl diamino diphenyl methane. *Composites Part A: Applied Sci. and Manufacturing*,**78**, 201-210.

Popescu, D. (2007). "A Model for Damage Prediction in Polymer Matrix Composites Subjected to Bending Fatigue Loading." Proceeding of the Romanian Academy, Series A, Vol. 8, No.2

Paul, J.; Schilling, B.P.; Karedla, R.A.; Tatiparthi, K.M.; Verges, A.P.; Herrington, D. (2005). X-ray computed icrotomography of internal damage in fiber reinforced polymer matrix composites. *J. Composites Sci. and Tech.*, **65**(14), 2071-2078.

Stepashkin, A.A.; Chukov, D.I.; Senatov, F.S.; Salimon, A.I.; Korsunsky, A.M.; Kaloshkin, S.D. (2018). 3D-printed PEEK-Carbon Fiber (CF) composites: Structure and thermal properties. *J. Composites Sci. and Tech.*, **164**, 248-259.

Thabang, H.; Mokhothu, M.; Jacob, J. (2015). Review on hygroscopic aging of cellulose fibres and their biocomposites. *Carbohydrate Polymers*, **131**, 337-354.

Yunsheng, X.; Chung, D.D.L.; Cathleen, M. (2001). Thermally conducting aluminum nitride polymer-matrix composites. *Composites Part A: Appl. Sci. and Manufacturing.* **32**(12), 1749-1757.

Yingjie, X.; Pan, Z.; Weihong, Z. (2015). Two-scale micromechanical modeling of the time dependent relaxation modulus of plain weave polymer matrix composites. *Composite Structures*, 35-4.

Yinghui, H.X.; Li, A.; Lang, W.; Yunpeng, Z.; Steven, R.N. (2016). Water immersion aging of polydicyclopentadiene resin and glass fiber composites. *J. Poly. Degradation and Stability*, **124**, 35-42.

Yun, H.; Zhao, Z.K.; Wu, S.L.B. (2015). Study on thermal properties of graphene foam/graphene sheets filled polymer composites. *Composites Part A: Applied Sci. and Manufacturing*, **72**, 200-206.

World Industrial Reporter, (2014). "Developing Carbon Nanotubes with High Degree of Dispersion, Stability within the Polymer Matrix". February 26, 2014.

Zhi, M.D.; Jin, K.Y.; Jun, W.Z.; Tao, Z.; Sheng, L.; Guo, H.H. (2012). Fundamentals, processes and applications of high-permittivity polymer–matrix composites. *J. Progress in Mate. Sci*., **57**(4), 660-723.