

## محاكاة مادة متراكبة ذات أساس أيبوكسي والمقواة بألياف معدنية

كاظم خيون كحلول

المعهد التقني كوفة

### الخلاصة:

في هذا البحث تم محاكاة مادة متراكبة ذات أساس بوليمري ( الأيبوكسي ) مقواة بأسلاك من الفولاذ عالي الكربون ( Steel Reinforced Plastic ) متموجة وأخرى ذات نهايات والتي تمتاز هذه الأسلاك بالمتانة والجساءة العاليتين مع كلفة منخفضة . وتم دراسة الخواص الميكانيكية لتلك المادة المتراكبة ( الشد/الأنضغاط ) بواسطة برنامج ( COMSOL Multiphysics ٤.١ ) . أظهرت النتائج عند إجراء عملية الشد على عينات مقواة بأسلاك متموجة تزداد القوة بمقدار ( ١٧٥ % ) ( حيث تبلغ قوة الانفصال ( ٣٧٢N ) ) وهي بذلك تسجل أعلى قوة فصل للسطح البيني من العينات المقواة بأسلاك ذات انحناء على نهايتها حيث بلغت قوة الفصل للسطح البيني ( ١٩٧N ) . كما بينت نتائج الأنضغاط لعينات من المادة المتراكبة ذات أساس أيبوكسي مقواة بأسلاك فولاذية متموجة وذات انحناء من النهايات تناسب الانفعال مع الحمل المسلط ولجميع العينات . حيث نلاحظ زيادة قيمة مقاومة الانضغاط للمادة المتراكبة المقواة بأسلاك ذات الانحناء من النهايات عن الأسلاك المتموجة .

الكلمات الرئيسية : راتنج الأيبوكسي ، الألياف المعدنية ، اختبار الشد ، اختبار الأنضغاط والمواد المركبة ، comsol .

### المقدمة Introduction

أن التطور الصناعي والتكنولوجي يعتمد بشكل كبير على التقدم في حقل المواد ونتيجة لهذا التطور

الصناعي الكبير الذي شهده العالم في كافة المجالات ظهرت الحاجة إلى إيجاد مواد هيكلية حديثة ذات مواصفات هندسية عالية وكذلك الحصول على خواص لا نستطيع الحصول عليها من المواد الهندسية بشكل منفرد ( كالمواد السيراميكية ، البوليمرية ، السبائك ) [١] ، هي المواد المتراكبة (Composite Material) التي أصبحت الأساس في تغيير وتطوير التصاميم الهندسية للكثير من التطبيقات الصناعية وأكثر ملائمة من الناحية الاقتصادية بحيث يمكن استخدامها في صناعة السيارات والسفن والطائرات والصواريخ ومواد البناء والمجالات الطبية خصوصاً في مجال الجراحة التجميلية [٢] . فقد درس الباحث ( Andrea وآخرون ) مقاومة التني للمادة المتراكبة ذات الأساس من الأيبوكسي مقواة بأسلاك فولاذية ذات قطر ( ٠.٨ mm ) بشكل مبروم ومقارنة النتائج مع مادة متراكبة ذات أساس أيبوكسي مقواة بألياف الكربون . واستنتجوا أن المادة المتراكبة المقواة بأسلاك فولاذية بشكل مبروم تحقق نتائج أفضل من المادة المتراكبة المقواة بألياف الكربون مع أعطاء مرونة أكثر في التصميم [٣] .

قام الباحثان ( Bernd و Christian ) بدراسة سلوك سحب الليف للمادة المتراكبة ذات أساس أيبوكسي مقواة بأسلاك فولاذية مقاومة للصدأ بقطر ( ٠.٨ mm ) ذات التواء من النهايات ( Hooked Steel Wire ) باستخدام اختبار سحب الليف . وتوصل الباحثان إلى أن التواء الأسلاك الفولاذية من النهايات المغمورة بالأيبوكسي تعطي

بمقدار ( ٦٠ % ) مقارنة بالمادة المتراكبة المقواة بأسلاك فولاذية منتظمة الشكل الهندسي وملساء . أما عند تغيير الشكل الهندسي للأسلاك الفولاذية فإن قوة الربط للسطح البيئي تزداد بمقدار ( ٢٦.٦٦ % ) مع تحسن في متانة التني وزيادة الطاقة الممتصة اللازمة للكسر مقارنة بالمادة المتراكبة المقواة بأسلاك فولاذية ملساء ومنتظمة الشكل الهندسي [٨] .

#### المواد المتراكبة Composite Materials

وهي الأنظمة الصلبة الناتجة عن اشتراك مادتين أو أكثر، بحيث تمثل كل مادة طوراً منفصلاً في النظام، والغرض منها هو الحصول على مواد جديدة ذات خواص مناسبة تجمع بين خواص المواد الأولية الداخلة في تحضير المادة المتراكبة وتتجاوز الخواص غير المرغوب بها لتكون أكثر ملائمة للتطبيقات الصناعية. أن المادة المتراكبة تتكون من [٩] :-

#### المادة الأساس Matrix Material

المادة الأساس هي إحدى مكونات المادة المتراكبة ووظيفتها الأساسية هي [١٠,١١] :-  
 ١- ربط مادة التقوية.  
 ٢- تقوم بنقل الحمل إلى مواد التقوية.  
 ٣- المحافظة على مواد التقوية من الظروف الجوية والتغير في درجات الحرارة والأكسدة والتآكل. وقد يكون اختيار المادة الأساس على أساس تحسين الخواص الكهربائية أو الحرارية أو لسهولة التشكيل.... الخ ، وأن مادة الأساس تتصف في أغلب الأحيان بأنها منخفضة الكثافة وذات صلادة ومقاومة منخفضة مقارنة بمواد التقوية .

#### مواد التقوية Reinforcement Materials

هي احد المكونات الاساسية للمواد المتراكبة حيث تضاف مواد التقوية الى المادة الاساس لغرض تقويتها وبالتالي تحسين مواصفاتها وتتضمن عملية التقوية نقل الحمل المسلط من المادة الاساس الى مواد التقوية عبر السطح البيئي، وتدعى هذه المواد

سلوكاً أفضل من الأسلاك الفولاذية الملساء المنتظمة المستخدمة في مادة الكونكريت [٤] . قام الباحثان ( Khanh و Denault ) بدراسة تأثير الكسر الحجمي وشكل مواد التقوية ومقاومة السطح البيئي في متانة مادتين من المواد البوليمرية المطاوعة للحرارة وقد تم استخدام أنواع مختلفة من مواد التقوية [٥] .

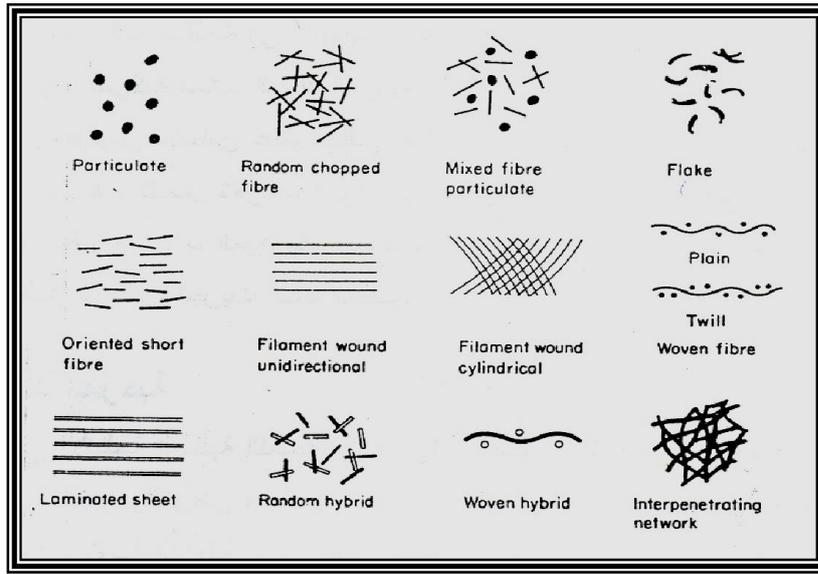
الباحثان ( Karihaloo و Alae ) بتحضير مادة متراكبة تتألف من مادة أساس بوليمرية ( الايبوكسي ) مقواة بأسلاك ملتوية وامكانية استخدام هذه المادة المتراكبة في تصليح المباني الكونكريتية ، وذلك باستخدام نوعين من الأسلاك الفولاذية الملتوية. النوع الأول عالي في عدد الأسلاك الملتوية والثاني قليل في عدد الأسلاك الملتوية واختبرت العينات لمعرفة مقاومة الانحناء [٦] .

قام الباحث ( Uleiwi ) باجراء دراسة تهدف الى تقييم الحمل الحرج للصفائح المركبة الاحادية الاتجاه ذات الاساس البوليمري باستخدام طريقة العناصر المحددة ( finite element techniques ) والطريقة العملية ( experimental techniques ) عند زوايا ليف مختلفة وكسور حجمية مختلفة وظهرت النتائج ان الحمل الحرج ( Critical load ) يقل بعلاقة غير خطية مع زاوية الليف ويزداد مع زيادة الكسر الحجمي للليف [٧] .

درست الباحثة ( Aseel ) السطح البيئي لمادة متراكبة ذات أساس بوليمري ( الايبوكسي ) مقواة بأسلاك من الفولاذ عالي الكربون ، وكانت نتائج الفحص أن قوة الربط للسطح البيئي للمادة المتراكبة تزداد بمقدار ( ٧٣.٣ % ) نسبة إلى المادة المتراكبة المقواة بأسلاك فولاذية ملساء منتظمة الشكل الهندسي ، وكذلك حصول تحسين لسلوك الانحناء ومتانة التني بمقدار ( ١١.٧٧ % ) للمادة المتراكبة المقواة بأسلاك فولاذية مخشنة وحدوث زيادة في الطاقة الممتصة اللازمة لكسر المادة

المادة الأساس يمكن أن تتشوه تشوهاً لئداً بينما تبقى الألياف في حالة انفعال مرن. يحدث الفشل في المادة المترابكة أما بفشل الألياف أو بفشل المادة الأساس اعتماداً على مطيلية كليهما . ويمكن أن تكون هذه المترابكات غير متماثلة ( Anisotropic ) ، حيث أن معاملات المرونة المقاسة باتجاه الألياف تكون أعلى من تلك التي في الاتجاه العمودي عليها .

بعناصر الطور الثانوي او طور التقوية او الطور المغمور (Embedded Phase) . وتتصف بصورة عامة بالمقاومة العالية ، أما مطيليتها فهي مختلفة فقد تكون عالية أو منخفضة اعتماداً على نوع المادة والغرض المستعمل لأجله، وتصنف اعتماداً على الشكل والإبعاد إلى ، ألياف (Fibers) أو دقائق (Particles) أو قشور (Flakes) أو بهيئة شبكة من المواد [١٢] وكما موضح في الشكل (١).



شكل (١) الأشكال المختلفة لمواد التقوية الأحادية والهجينة

على افتراض أن الألياف المستخدمة أحادية الاتجاه ومنتظمة ووجود تزايب بين الألياف والمادة الأساس ، فعند تسليط حمل على المادة المترابكة باتجاه مواز إلى اتجاه الألياف فإنه سيتوزع على كل من المادة الأساس والألياف وفقاً للمعادلة التالية [١٣]

$$P_c = P_f + P_m \dots\dots\dots(١)$$

حيث أن : ( P<sub>c</sub> ) الحمل المسلط على المادة المترابكة و ( P<sub>f</sub> ) الحمل

وأعتماداً على شكل مواد التقوية صنفت إلى ثلاثة أصناف كما يأتي [١٢]:-

- ١- التقوية بالدقائق  
Particulate Reinforcement
  - ٢- التقوية بالألياف  
Fibers Reinforcement
  - ٢- التقوية بالطبقات  
Laminates Reinforcing
- قاعدة الخلط Rule of Mixture**

إن التشوه الحاصل في المترابكات المدعمة بالألياف يعتمد على اتجاه الألياف ، ففي حالة الاجهاد المنخفض فإن كل من الألياف والمادة الأساس ينفعلان انفعالاً مرناً. وفي حالة زيادة الاجهاد فإن

بأتجاه موازي لأتجاه الالياف فأن الانفعال سيكون متساوياً لكل من الالياف والمادة الاساس وبالتالي مساوياً للمادة المترابكة ، وتعرف

هذه الحالة في حالة تساوي الانفعال ( Iso - Strain ) :-

.....(٧)

حيث أن : (  $\epsilon_c$  ) انفعال المادة المترابكة و (  $\epsilon_f$  )

انفعال الألياف و (  $\epsilon_m$  ) انفعال المادة الأساس .

وبما ان  $E = \sigma / \epsilon$  حسب قانون هوك للمرونة

(Hook's Law For Elasticity) نحصل على العلاقة:-

حيث أن : ( E ) معامل المرونة.

يمكن كتابة المعادلة ( ٦ ) بالصيغة الآتية :-

$$E_c \epsilon_c = E_f \epsilon_f V_f + E_m \epsilon_m (1 - V_f) \quad \text{.....(٨)}$$

وبالقسمة على  $\epsilon_c$  وتعويض  $V_m = 1 - V_f$

نحصل على العلاقة الآتية [١] :-

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m \quad \text{.....(٩)}$$

ويطلق على المعادلة (٩) بقاعدة الخلط (Rule of

Mixture) وتستخدم هذه العلاقة لأيجاد معامل

المرونة للمادة المترابكة ولأيجاد الكثافة وكذلك

تستخدم لأيجاد خواص اخرى مثل المقاومة، أما

عندما يسلط الحمل وبأتجاه عمودي على اتجاه

الالياف فأن الاجهاد يكون متساوي في كل من

الالياف والمادة الاساس وبالتالي مساوياً للمادة

المترابكة وتعرف مثل هذه الحالة بحالة تساوي

الاجهاد (Iso-Stress State) كما في العلاقة

التالية [٩] :-

$$\sigma_c = \sigma_m = \sigma_f \quad \text{.....(١٠)}$$

المسلط على الألياف و (  $P_m$  ) الحمل المسلط على المادة الأساس .

وبما أن الاجهاد (  $\sigma$  ) يمثل مقدار الحمل المسلط

( P ) لوحدة المساحة ( A ) :-

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{.....(٢)}$$

وبتعويض المعادلة ( ١ ) بالمعادلة ( ٢ ) ينتج :-

$$\sigma_c A_c = \sigma_f A_f + \sigma_m A_m \quad \text{.....(٣)}$$

وبالقسمة على (  $A_c$  ) ينتج :-

$$\sigma_c = \sigma_f \left( \frac{A_f}{A_c} \right) + \sigma_m \left( \frac{A_m}{A_c} \right) \quad \text{.....(٤)}$$

حيث أن :

$$\left( \frac{A_f}{A_c} \right) \text{ كسر المساحة للألياف و } \left( \frac{A_m}{A_c} \right) \text{ كسر}$$

المساحة للمادة الأساس .

فاذا كانت الألياف ذات مقطع عرضي منتظم وذات

أطوال مساوية إلى طول مادة الأساس فإن كسر

المساحة سوف يصبح مساوياً لكسر الحجمي لكل

من الليف

$$\sigma = \sigma_f V_f + \sigma_m V_m \quad \text{والمادة}$$

الأساس [١٣، ١٤] :-

.....(٥)

$$V_f + V_m = 1 \quad \text{وبما أن مجموع الكسر}$$

الحجمي لمادة الأساس ومادة

الليف يساوي

$$\sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma_m (1 - V_f) \quad \text{واحد [١٤] :-}$$

لذا ستكون المعادلة ( ٥ ) بالشكل الآتي :-

.....(٦)

وتصبح المعادلة ( ٦ ) في منطقة المرونة الخطية

من منحنى الاجهاد / الانفعال .

وبما أن الترابط جيد بين الالياف والمادة الاساس

عندما تكون القوة المسلطه على المادة المترابكة

### المواد المستخدمة

أستخدم في هذا البحث مادة بوليمرية مصلدة بالحرارة ( Thermoset ) وهي الايبوكسي (Epoxy) كمادة أساس أما مادة التقوية فقد تم استخدام أسلاك فولاذية لتقوية مادة الأساس ، وهي من نوع أسلاك الفولاذ العالي الكربون (High carbon steel wires) . تمتاز هذه الأسلاك بمقاومتها وممانتها العاليتين وكلفتها المنخفضة. فضلاً عن مقاومتها للظروف الجوية ، حيث تم استخدامها بشكل أسلاك مستمرة ( Continuous wires ) في جميع العينات ويقطر ثابت مقداره ( ٠.٩٦ mm . والجدولين ( ١ ) و ( ٢ ) بينان الخواص الميكانيكية ونسب العناصر الداخلة في تركيب هذه الأسلاك على التوالي . المسلط على المادة المترابطة و ( P<sub>f</sub> ) الحمل لغرض دراسة تأثير شكل الأسلاك على الخواص الميكانيكية للمادة المركبة المقواة بالأسلاك الفولاذية

أما انفعال المادة فيساوي مجموع أنفعالي (الالياف والمادة الاساس) نسبة الى الكسر الحجمي لكل منهما وحسب العلاقة التالية :-

$$\epsilon_c = \epsilon_m V_m + \epsilon_f V_f \dots\dots(11)$$

وحسب قانون هوك Hook's Law نحصل على العلاقة التالية:-

$$\frac{\sigma_c}{E_c} = \frac{\sigma_m}{E_m} V_m + \frac{\sigma_f}{E_f} V_f \dots\dots(12)$$

وبالقسمه على  $\sigma$  نحصل على العلاقة التالية:-

$$\frac{1}{E_c} = \frac{V_m}{E_m} + \frac{V_f}{E_f} \dots\dots(13)$$

وبذلك نحصل على العلاقة التالية:-

$$E_c = \frac{E_f E_m}{V_f E_m + V_m E_f} \dots\dots(14)$$

وبما أن :-

$$V_m = 1 - V_f$$

$$E_c = \frac{E_f E_m}{E_m V_f + E_f (1 - V_f)} \dots\dots(15)$$

جدول ( 1 ) الخواص الميكانيكية للأسلاك الفولاذية المعتمدة في الدراسة الحالية وحسب مواصفات الشركة العامة

لصناعة إطارات بابل / النجف

Breaking force(N)	Elongation at breaking (%)	Weight per unit length(gr/m)
1320	5	5.4

جدول(2) التركيب الكيماوي للأسلاك الفولاذية المعتمدة في الدراسة الحالية وحسب مواصفات الشركة العامة

لصناعة إطارات بابل / النجف

C%	Mn%	Si%	S%	(S+P)%	P%	Ni%	Cr%
0.72	0.6	0.2	0.05	0.08	0.05	0.1	0.05
				Combined			

( Steel Fiber Reinforced Polymer ) ، فقد تم تغيير شكل الأسلاك الفولاذية المستخدمة في البحث الحالي ذات السطح الأملس إلى الشكلين ذو انحناء من النهايات والتموج كما في الشكل رقم ( ٢ ) ، أما نسبة طول الألياف إلى القطر أخذت (

وتستخدم المعادلة (١٥) لأيجاد معاملات مرونة وكثافة المادة المترابطة وتستخدم ايضاً خواص اخرى مثل المقاومة والتوصيل الحراري والكهربائي باتجاه عمودي على اتجاه الليف [١٠] . الجانب العملي

تم أخذ أربعة عينات لغرض المحاكاة للمواد المتراكبة ذات الأساس راتنج الأيبوكسي المقواة بالألياف الفولاذية على برنامج ( COMSOL

الأجهادات ، الأنفعالات ، اتجاه وقيمة القوى المسلطة ، سمك العينة) .

### خطوات المحاكاة بواسطة برنامج ( COMSOL Multiphysics ٤.١ )

١- الخطوة الأولى هي ( Model Wizard ) وتضمنت مايلي :-

- \* تحديد الرسم ببعدين ( ٢D ) .
- \* تحديد مجال العمل ( Solid Mechanics ) .
- \* مجال الدراسة ( Stationary ) .

٢- الخطوة الثانية هي ( Model Builder ) وتضمنت مايلي :-

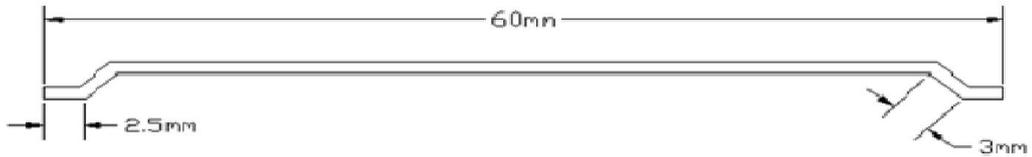
- \* إجراء مرحلة الشبكة ( Mesh ) من أجل ترابط الألياف الفولاذية براتنج الأيبوكسي لكل عينة مراد دراستها .

( ٠.١ : ١٥ وهي المفضلة عادةً ولكي لا تتركز الاجهادات على نهاية الليف وتتنوع بشكل جيد أستخدم الليف ذو المقطع الدائري [١٢] .

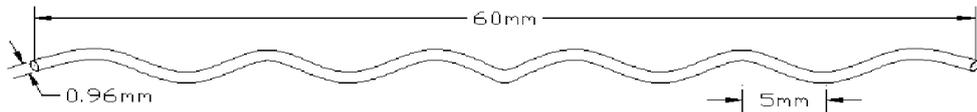
### المحاكاة Simulation

٤.١ ( Multiphysics ) لأجراء عملية المحاكاة (الشد و الأنضغاط) .وقسمت العينات الى مجموعتين ، المجموعة الأولى وتضم عينتين الأولى مقواة بالألياف الفولاذية ذات انحناء من النهايتين أما العينة الثانية مقواة بالألياف الفولاذية ذات الشكل المتموج لأجراء عملية المحاكاة بطريقة الشد . المجموعة الثانية أيضا تضم عينتين الأولى مقواة بالألياف الفولاذية ذات انحناء من

النهايتين أما العينة الثانية مقواة بالألياف الفولاذية ذات الشكل المتموج لأجراء عملية المحاكاة بطريقة الأنضغاط كما في الجدول رقم (٣) \* رسم العينات المستخدمة في البحث عن طريق ( Geometry ) . \* أدخل مواصفات المواد المستخدمة في البحث ( راتنج الأيبوكسي ، الألياف الفولاذية ) عن طريق \* تحديد شروط الدراسة والتي تشمل (مستوى



(A)

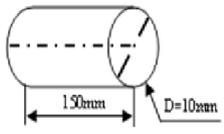
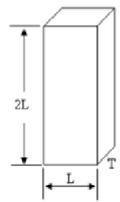


(B)

شكل (٢) A- سلك فولاذي ذو انحناء من النهايات

B- سلك فولاذي متموج

جدول ( 3 ) يبين الأبعاد القياسية لعينات مادة اليبوكسي المقواة بأسلاك فولاذية تم اعتمادها في البحث الحالي والمطلوبة لكل اختبار من أجل المحاكاة

نوع الأختبار	الشكل الهندسي للعينة	عدد الأسلاك وفق الكسر الحجمي	مقدار القوة المسلطة (N)	شكل الليف الفولاذي المستخدم	المواصفة القياسية
اختبار الشد		10% (4)	400-100	انحناء من النهايات متموج	ASTM-D256-87
اختبار مقاومة الانضغاط		10% (8)	400-100	انحناء من النهايات متموج	ASTM-D695

٤- المناقشة

بأسلاك فولاذية ذات انحناء من النهايات إلى مرحلتين . المرحلة الأولى تمثل الميل الناتج من التشوه المرن للجزء المستقيم من السلك وبدأ انفصاله من المادة الأساس . فعند بدأ السلك بالانزلاق يحدث تشوه لدن في نهايته بالإضافة إلى تشوه يحيط بالمادة الأساس يصبح هو السائد والذي يمثل المرحلة الثانية . إن الحمل الأعظم هو الذي يسبب أستقامة السلك وذلك بتعديل الزاوية العليا للسلك . والحمل يؤثر على السلك المعدل ويستمر إلى أن يصبح السلك أشبه بالمستقيم . وهناك عاملان يؤثران بقوة على سلوك المادة المترابطة ذات أساس ايبوكسي المقواة بأسلاك فولاذية ذات التواء من النهايات هما الزاويتين الموجودتين في نهاية السلك والمنطقة المحصورة بين الزاويتين [٤]

الشكل ( ٣ ) يبين منحنى (الحمل / الأستطالة) للعينات المقواة بأسلاك فولاذية ذات انحناء من النهايات ( Hooked Steel Fiber ) وأسلاك متموجة ( Crimped Steel Fiber ) . فعند تسليط الحمل على العينة المقواة بأسلاك فولاذية ذات انحناء من النهايات تقوم الأسلاك بتحمل معظم الحمل المسلط إلى أن يصل إلى أعظم قيمة عند ( ١٩٧ N ) والتي تمثل قوة الانفصال وأستطالة مقدارها ( ٠.٩٨mm ) ، بعدها يبدأ المنحنى بالنقصان والشكل ( ٤ ) الذي يوضح المحاكاة للسلك الفولاذي ذو انحناء من النهايات مبيناً فيه الزاويتين العليا والسفلى ويمكن تقسيم سلوك سحب الليف للعينة المستخدمة المقواة

يوضح الشكل (٧) إجهاد وانفعال الانضغاط لعينات من المادة المتراكبة ذات أساس ايبوكسي مقواة بأسلاك فولاذية ذات التواء من النهايات و متموجة ، حيث نلاحظ تناسب الانفعال مع الحمل المسلط ولجميع العينات. كما نلاحظ حدوث زيادة في قيم مقاومة الانضغاط للمادة المتراكبة المقواة بأسلاك فولاذية متغيرة الشكل الهندسي كما مبين في طريقة المحاكاة في الشكلين (٨) و(٩) . حيث نلاحظ زيادة قيمة مقاومة الانضغاط للمادة المركبة المقواة بأسلاك ذات الالتواء من النهايات عن الأسلاك المتموجة ، ويعزى سبب ذلك إلى أن مقاومة الانضغاط تعتمد وبشكل رئيسي على قوة تراطيب وتماسك السطح البيني بين المادة الاساس والماده المدعمه فاذا كان السطح البيني قوي ومتين فان مقاومة الانضغاط سوف تتحسن وبشكل ملحوظ . بينما في حالة كون هذا السطح ضعيف فإن المادة المدعمة سوف تنفصل وبسهولة عن المادة الأساس [١١].

كما بين الشكل (٧) أيضاً تدني مقاومة الانضغاط لراتنج الايبوكسي المقوى بأسلاك فولاذية متموجة حيث إن زيادة الحمل المسلط يزيد من مواضع الفشل مؤدياً إلى انهيار المادة بصورة أسرع إذ يعزى ذلك إلى حصول فشل موضعي عند سطح التماس ( الليف / المادة الأساس ) . إضافة إلى ذلك فإن شكل الليف الهندسي المتموج يؤثر على عملية الترصيف [١٢].

ومن الملاحظ أن قيم مقاومة الانضغاط واطئة للمادة المتراكبة المقواة بالألياف وهي من المشاكل الأساسية للمواد المركبة وهذا ما تبين من خلال عملية المحاكاة والسبب يعود الى حدوث بعض الميلان في الألياف والتي تؤدي إلى حدوث فشل مبكر للمادة المتراكبة فضلاً عن وجود بعض العيوب في المادة المتراكبة والتي تشكل مناطق لتمرکز الاجهادات وهذا يتفق مع ما توصل إليه الباحث (Andrea) [٣] .

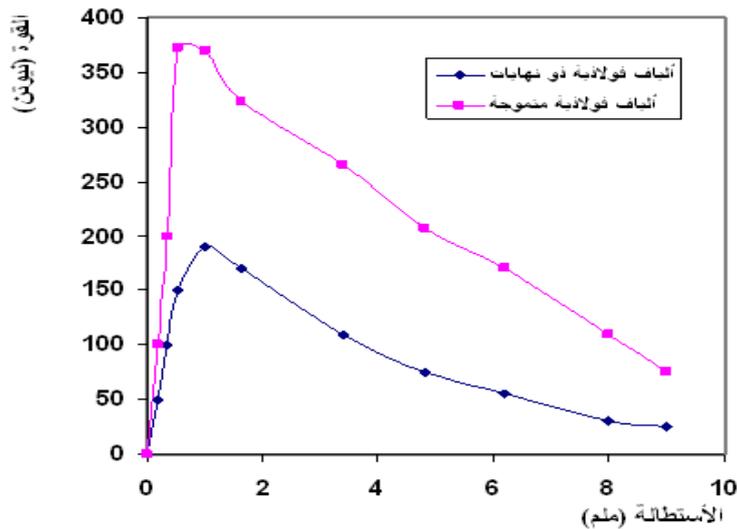
. أما عند تسليط الحمل على العينة المقواة بالأسلاك الفولاذية المتموجة ( Crimped Steel Fiber ) فإن المنحني يأخذ خطأ مستقيماً حتى يصل عند قمة المنحني عند القوة ( ٣٧٢ N ) وأستطالة مقدارها ( ١.١ mm ) . ونلاحظ أن سلوك المادة المستخدمة المقواة بهذا النوع من الأسلاك الفولاذية بعد الانفصال هو السلوك المتموج ويعود سبب ذلك إلى حدوث الانزلاق الالتحامي الذي يتولد على طول الليف المزروع في المادة الأساس بعد حدوث الانسحاب ( Pull-out ) . إن الانزلاق الالتحامي هو المسؤول بشكل واضح على التقوية والشكل ( ٥ ) الذي يوضح المحاكاة للسلك الفولاذي المتموج ونلاحظ من الشكل (٣) أيضاً أن المادة المركبة المقواة بالأسلاك الفولاذية المتموجة تتحمل قوى أعلى من المادة المركبة المقواة بالأسلاك الفولاذية ذات انحناء من النهايات بسبب التموجات الموجودة على طول السلك التي تعمل كمعوقات لحدوث الانزلاق المستمر المباشر، كما أن التموج يزيد من الربط الميكانيكي [٣] .

نلاحظ من الشكل (٦) أن النتائج النظرية (المحاكاة) لأختبار سحب الليف للمادة المتراكبة ذات أساس ايبوكسي مقواة بأسلاك فولاذية ذات انحناء من النهايات و متموجة أعطت اختلاف قليل جداً ومقبول مع النتائج العملية التي توصلت إليه الباحثة ( [٨] Aseel ) والسبب يعود إلى أن ظروف العمل في الجانب العملي تختلف عن الجانب النظري من صنع القالب وعملية الصب وتوزيع الألياف وطريقة السحب... الخ . وبصورة عامة تزداد مقاومة سحب الليف Pull-out Resistance عند تغير الشكل الهندسي للأسلاك الفولاذية والسبب يعود إلى أن زيادة مقاومة سحب السلك الفولاذي يؤدي إلى زيادة المساحة السطحية لنفس مساحة المقطع العرضي ، مع زيادة الاحتكاك وقوة الربط على طول السلك مما يؤدي إلى زيادة كفاءة الأسلاك وبالتالي زيادة مقاومتها ضد الانزلاق [٨] .

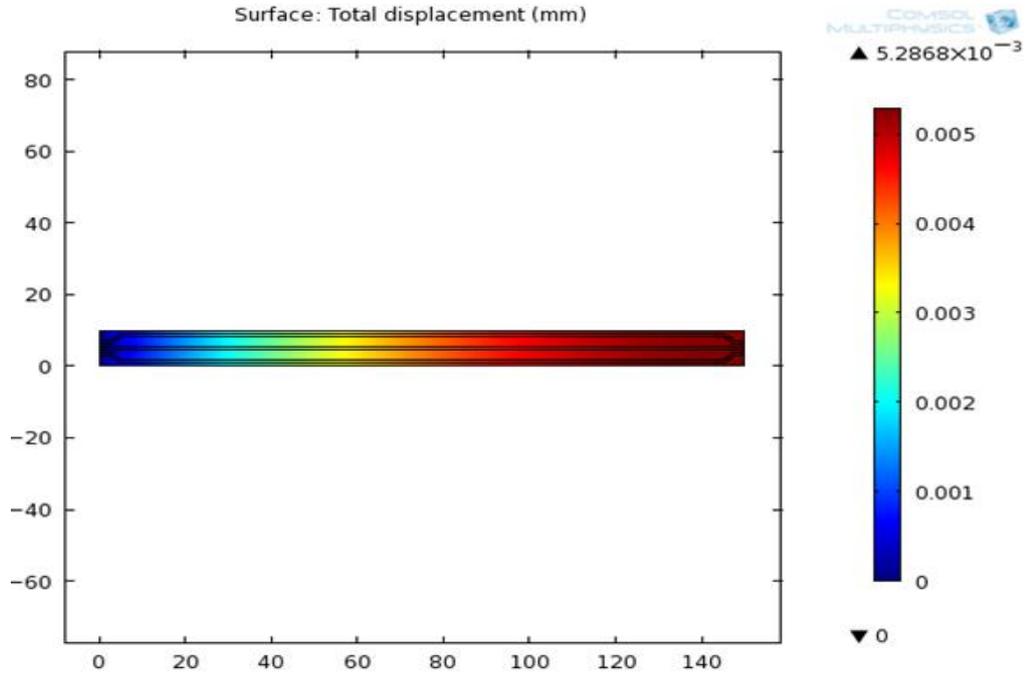
من خلال النتائج والمخططات التي تم أستعراضها سابقا يمكننا أن نصل الى الاستنتاجات التالية :-  
 ١- إن أفضل نتائج المحاكاة تم الحصول عليها كانت لنماذج المادة المترابكة ذات الأساس من الالبيوكسي المقواة بأسلاك فولاذية متموجة .  
 ٢- مقاومة سحب السلك الفولاذي من مادة الالبيوكسي تزداد عند زيادة المساحة السطحية للسلك الفولاذي عند تغيير الشكل الهندسي للسلك لنفس مساحة المقطع ، وبذلك تزداد كفاءة الربط الميكانيكي بين الأسلاك الفولاذية ومادة الأساس الالبيوكسي .  
 ٣- إن إجراء عملية التموج على طول السلك الفولاذي يؤدي إلى زيادة قوة الربط مع مادة الأساس الالبيوكسي بمقدار (١٧٥%) مقارنة بالمادة المترابكة المقواة بأسلاك فولاذية ذات نهايات . وبذلك يحسن الربط الميكانيكي بين الاسلاك الفولاذية والالبيوكسي وعليه يكون السلك الفولاذي المتموج أفضل شكل هندسي مستخدم في تقوية الالبيوكسي .

الشكل (١٠) يبين مقارنة لمقاومة الانضغاط لراتنج الالبيوكسي المقوى بأسلاك فولاذية ذات التواء من النهايات و المتموجة بين النتائج النظرية(المحاكاة) وماتوصلت إليه الباحثة ( Aseel ) [٨] نجد أنها أعطت اختلاف قليل جدا ومقبول والسبب يعود إلى أن ظروف العمل في الجانب العملي تختلف عن الجانب النظري من صنع القالب وعملية الصب وتوزيع الألياف وطريقة الأنضغاط... الخ .  
 ولفهم آلية المحاكاة كما في الشكلين ( ٤ و ٥ ) يتم من خلال التدرج بالألوان ، كلما كان اللون الأحمر أكثر يعني التشوه(أستطالة) في المادة المركبة أكبر وهو باتجاه القوة السلطة والعكس صحيح ، حيث كان مقدار الأستطالة ( $١٠^{-٣} * ٥.٢٨٦٨$ ) عند قوة مقدارها (٥٠ نيوتن) للعينات المقواة بأسلاك فولاذية ذات انحناء من النهايات أما العينات المقواة بأسلاك فولاذية متموجة كان مقدار الأستطالة ( $١٠^{-٣} * ٥.٢٣٩٧$ ) عند قوة مقدارها (٥٠ نيوتن) لأن تحملها يكون أكبر . وهذا التفسير ينطبق نفس الشيء على الأشكال ( ٨ و ٩ ) .

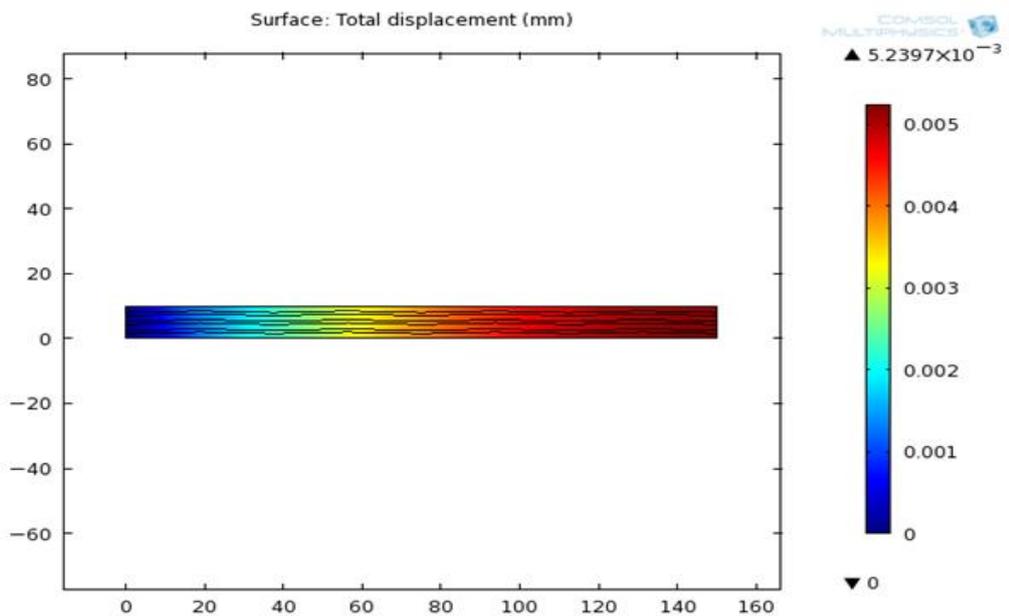
##### ٥- الأستنتاجات



شكل (3) يبين منحنى (الحمل/الأستطالة) لأختبار سحب الليف للمادة المترابكة المستخدمة في البحث ذات أساس البيوكسي مقواة بأسلاك فولاذية ذات انحناء من النهايات ومتموجة

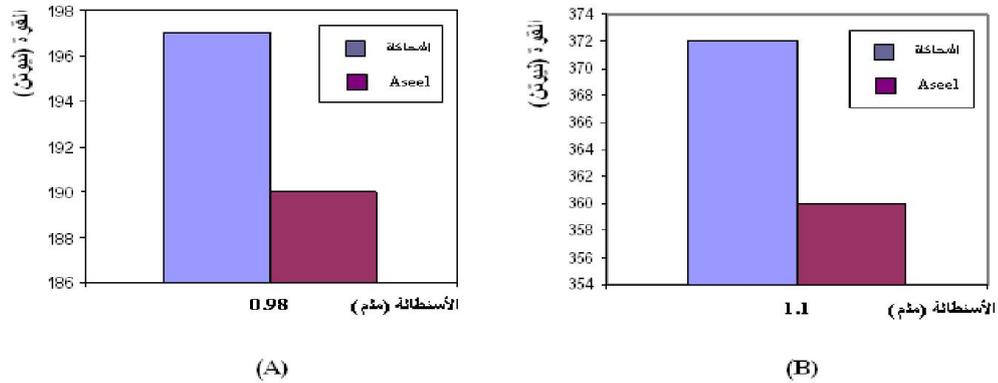


شكل (4) يبين مقدار الأستطالة لرائنج الأديوكي المقوى بواسطة الأسلاك الفولاذية ذو الأندحاء من النهايتين عند قوة سحب مقدارها 150 نيوتن

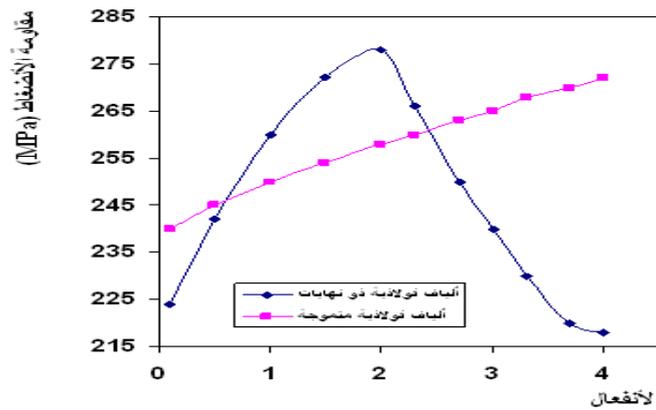


١٠

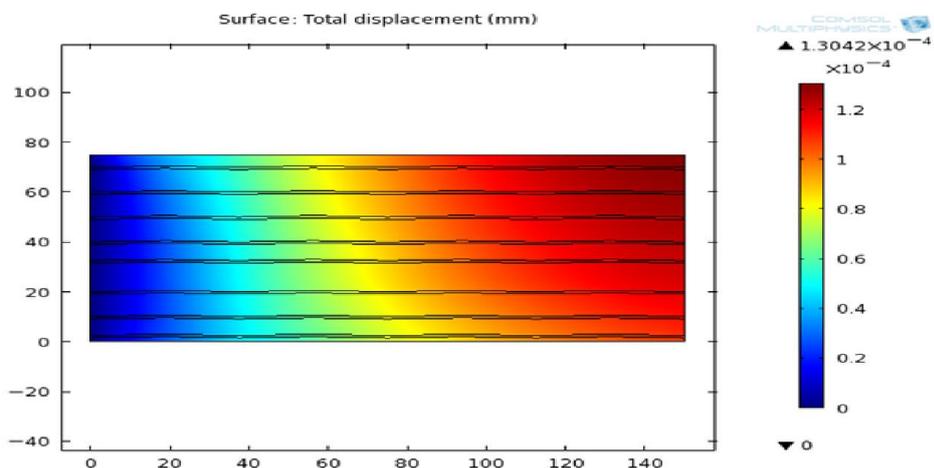
شكل (5) يبين مقدار الأستطالة لرائنج الأديوكي المقوى بواسطة الأسلاك الفولاذية المتموج عند قوة سحب مقدارها 150 نيوتن



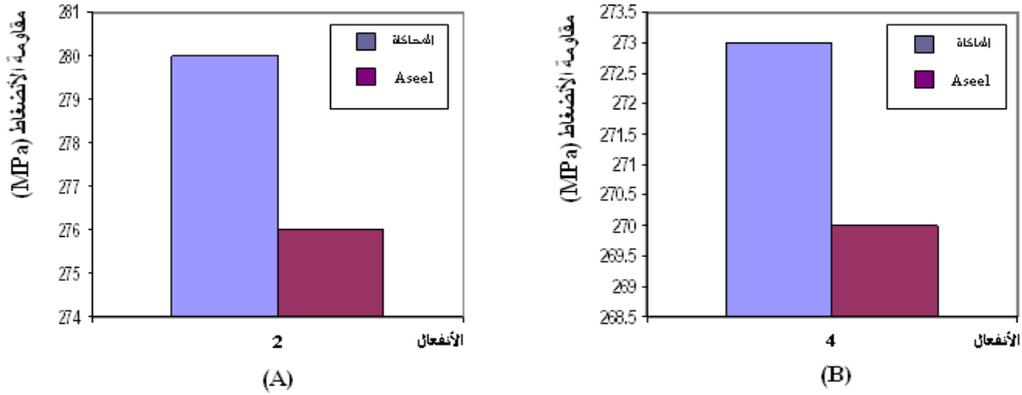
شكل (6) A – مقارنة بين الشبكات والدراسة المسابقة لمراتج الأيوني المقوى بواسطة الأسلاك الفولاذية ذو الأضخاء من النهايتين B – مقارنة بين الشبكات والدراسة المسابقة لمراتج الأيوني المقوى بواسطة الأسلاك الفولاذية المنسوجة



شكل (7) يبين مدغنى (الأجهاد / الأفعال) لأختبار الأفضاظ لمادة متركبة ذات أساس أديوكسى مقواة بأسلاك ذات نهايات ومتموجة



شكل (9) يبين مقدار التشوه الحاصل لمراتج الأيوني المقوى بواسطة الأسلاك الفولاذية ذو الأضخاء من النهايتين عند قوة ضغط مقدارها 150 نيوتن



شکل (10) A - مقارنة بين الخرسانة والدراسة السابقة لنتائج الترقى بواسطة الأسلاك الفولاذية ذو الأضلاع من التجهيزين  
B - مقارنة بين الخرسانة والدراسة السابقة لنتائج الترقى بواسطة الأسلاك الفولاذية المموج

#### References:

- [١] Brain S. Mitchell, "An Introduction to Materials Engineering and Science for Chemical and Materials Engineers", ١<sup>st</sup> Edition, John Wiley and Sons, Inc., (٢٠٠٤).
- [٢] Department of Defense, Handbook, U.S.A. "Composite Material Handbook" Vol.٢, Polymer Matrix,(٢٠٠٠).
- [٣] Andrea Prota, Kah Yong Tan, Antonio Nanni, Marisa Pecee and Gaetano Manfredi, "Performance of Shallow RC Beams With Externally Bonded Steel Reinforced Polymer", (٢٠٠٤).

- [٤] Bernd Weiler and Christian Grosse, "Pull-out Behavior of Fibers in Steel Fiber Reinforced Concrete", International Symposium NDT-CE, ٢٠٠٠, Vol. ٣, ١١٦-١٢٧.
- [٥] Khanh V. U. & Denault T., "Toughness of Reinforced Ductile Thermoplastics ", Journal of Composite Materials, Vol.٢٦,(١٩٩٢).
- [٦] Alae F. J. and Karihaloo B. L., "Retro Fitting of Reinforced Concrete Beams With Cardifrc", ASCE Journal of Composites for Construction, V. ٧, No. ٣, pp. ١٧٤-١٨٠, (٢٠٠٣).

- [٧] Uleiwi J.K "Buckling Analysis of Unidirection AL Polymer Matrix Composite Plates " ٢٠٠٦ .Baghdad University , AL– Khwarizmi: College of Eng. Journal AL– Khwarizmi Eng : (٢٠٠٦) .
- [٨] Aseel Mahmood B. , " Study of Effect of Interfacial Shear Stress on the Mechanical Properties of ( SRP ) Composites", University of Technology, Master of Science ,(٢٠٠٦) .
- [٩] Holliday L., "Composite Material", Elsevier Publishing, London, (١٩٦٦).
- [١٠] Piatti G., "Advances in Composite Materials", Applied Science Publishers LTD, (١٩٧٨).
- [١١] Schwartz M. M. "Composite Materials Hand Book", McGraw Hill Company, New York, (١٩٨٤).
- [١٢] Sheldon R. P., " Composite Polymeric Material" School of Materials Science Publishing, London, (١٩٨٢).
- [١٣] William D. J.R. Callister, "Materials Science and Engineering An Introduction", ٥<sup>th</sup> Edition, (٢٠٠٠).
- [١٤] Ahmet Samanci, "Fracture behavior of woven steel fiber reinforced and sand particle filled polymer composites ",ScienceDirect, Elsevier Ltd (٢٠١١). المكتبة الافتراضية العراقية

## Simulation of the Polymer Matrix Composite Reinforced by Metal Fiber

Kadim Khayoun Kehlol

[Khalol2011@yahoo.com](mailto:Khalol2011@yahoo.com)

Technical Institute Kufah

### Abstract:

In this search we simulate the polymer matrix composite of (epoxy) reinforced with wire of high carbon steel (Steel Reinforced Plastic) undulating and another with bend on the end and characterized of these wires by stiffness and toughness with low cost. Study was that the mechanical properties of the composite material (tensile/compression) by a program (COMSOL Multiphysics ٤.١).

Results showed that when a process of tensile specimens reinforced with wire undulating increase power by (١٧٥%) , where the power of separation ( ٣٧٢N) and thus the highest power of the separation of the user interface of the samples reinforced wire with a bend on the end where the magnitude of the separation of the interface(١٩٧N) .

The results show that compressive strength of samples of the composite of the basis of epoxy reinforced with steel wires and undulating with endings fit of Bending Strain hanging with the pregnancy and all the samples. Where we note increasing the value of compressive strength of the composite material reinforced with wire bending the ends of the wire rolling.