مجلة جامعة الملك عبد العزيز: العلوم الهندسية, م **16**, ع **1**, ص ص 77-102 (2005م/1426هـ)

أحدث التطورات في مجال المواد المركبة – المواد المركبة الصديقة للبيئة والقابلة لإعادة الاستخدام

محمود نديم نحاس

أستاذ، كلية الهندسة، جامعة الملك عبد العزيز، جدة، المملكة العربية السعودية

E-mail: nahasm@yahoo.com

المستخلص: في الستينات من القرن الماضي بدأ انتشار المواد المركبة. وهي المواد المؤلفة من مادتين مختلفتين متمايزتين أو أكثر، أولاهما مادة تقويـة يمكن أن تكون على شكل ألياف مصنوعة من مواد عالية المقاومة (كألياف الكربون وألياف الزجاج مثلاً)، والمادة الثانية هي إحدى اللدائن أو البوليمرات الغروية، التي تعطي المنتج النهائي شكله المطلوب وتسمى المادة الحاضنة، وتكون الخواص الميكانيكية للمنتج النهائي مغايرة لخواص أي من المواد المؤلفة.

وقد انتشرت المواد المركبة انتشاراً هائلاً خلال الفترة القصيرة من عمرها نظراً لخواصها الميكانيكية الممتازة مقارنة بوزنها المنخفض، فدخلت في كل المجالات الهندسية، رغم أنها ولدت أصلاً في عالم صناعة الطائرات ومركبات الفضاء، حيث تلعب خفة الوزن دوراً

رئيسياً في اختيار المواد.
إن كل الأشياء المصممة من المواد المركبة يُفترض لها عمر طويل، ولذا فإن المواد الداخلة فيها مواد غير متحللة. لكن هذه الخاصية أصبحت في الآونة الأخيرة غير مرغوب فيها نظراً لصعوبة التخلص من المواد المركبة بعد انتهاء عمرها الافتراضي. وهناك طريقتان تقليديتان للتخلص منها أولاهما بوضعها في مدافن خاصة، والثانية بحرقها في محارق خاصة. لكن كلا الطريقتين مرتفعة الكلفة من ناحية، ومسببة لتلوث البيئة من ناحية ثانية.
وإضافة لذلك فإنه يصعب في المواد المركبة التقليدية إعادة استخدامها نظراً لأنها تتألف من مادتين مختلفتين.
لهذه الأسباب فقد اتجهت الأبحاث في الآونة الأخيرة نحو التوصل إلى مواد مركبة تكون قابلة للتحلل عضوياً بحيث تتحلل في التربة بعد دفنها، أي كالكائنات الحية بعد موتها، أو تكون قابلة لإعادة الاستخدام بعد انتهاء عمرها الافتراضي.
وهذه الورقة تقدم أحدث التطورات في ثلاثة مجالات مهمة تتعلق بالمواد المركبة. الأول في اللدائن المقواة بألياف طبيعية، والثاني في المواد المركبة الحيوية، والثالث في المواد المركبة القابلة لإعادة الاستخدام.

كلمات دالة: مواد مركبة، لدائن مقواة بألياف طبيعية، مواد مركبة حيوية، مواد مركبة قابلة لإعادة الاستخدام، المواد الصديقة للبيئة.

1- المقدمة

ولدت المواد المركبة (Composite Materials) في مجال هندسة الطيران والفضاء بسبب خفة وزنها، حيث تلعب خفة الوزن أهمية قصوى في إنشاءات الطائرات والمركبات الفضائية. وتتألف هذه المواد كما هو معلوم من ألياف (fibres) ذات مقاومة (strength) كبيرة وجسوءة (stiffness) مرتفعة، مثل ألياف الزجاج وألياف

الكربون وألياف الكفلار، مغمورة في مادة لدنة (plastic) أو مبلمَرة (مادة مضاعفة الأصل، أو بوليمر) (polymer) أو راتنج (resin) خفيفة الوزن، مثل البوليستر (polyester) والإيبوكسي (epoxy)، تؤلف القالب أو المادة الرابطة (matrix) بين الألياف، كما تقوم بنقل إجهادات القص (shear stress) بين الألياف، وتأمين الحماية لها من أي مادة ضارة خارجية. ومن أهم المزايا التي تتصف بها المواد المركبة مرونة التصميم، إذ يستطيع المهندس أن يصممها بحيث يضع الألياف في اتجاه الأحمال، مما يؤدي إلى استخدام أمثل للمادة، ويؤدي بالتالي إلى انخفاض أكبر في وزن الإنشاء النهائي. وقد انتشرت المواد المركبة في كل التطبيقات الهندسية لاسيما في الإنشاءات التي تتطلب مقاومة مرتفعة مع خفة الوزن. وبقي أن يشار إلى أن المثلب الأكبر للمواد المركبة من الناحية الهندسية هو ضعف قدرتها على تحمل الأحمال الصدمية الديناميكية حيث يتسبب ذلك غالباً في الانفصال الطبقي للمادة.

إن كل المنتجات المصنعة من المواد المركبة تصمم لعمر افتراضي طويل نسبياً، ولذا فإن المواد الداخلة فيها مواد ثابتة وغير متحللة. لكن هذه الخاصية أصبحت في الآونة الأخيرة غير مرغوب فيها نظراً لصعوبة التخلص من هذه المنتجات بعد انتهاء عمرها الافتراضي. وهناك طريقتان تقليديتان للتخلص منها، أولاهما بوضعها في مدافن خاصة، والثانية بحرقها في محارق خاصة لتحويلها إلى غازات. والطريقة الأولى تسبب وجود نفايات دائمة لأنها لا تتحلل، وتتطلب بالتالي مساحات كبيرة من الأراضي، في حين تسبب الطريقة الثانية تلوثاً للبيئة. وكلتاهما بالتالي تسببان مشكلات بيئية كبيرة، إضافة لارتفاع كلفة الطريقتين من ناحية أخرى. وإذا كانت المنتجات المعدنية يمكن إعادة استخدامها بصهرها من جديد، فإن المنتجات المصنعة من المواد المركبة غير قابلة للتدوير وإعادة الاستخدام نظراً لأنها تتألف من مادتين مختلفتين. وإعادة

الاستخدام أصبح أمراً ملحاً في الوقت الحاضر لسببين: أولهما المحافظة على المصادر الطبيعية للمواد بحيث تبقى لأجيال عديدة بعدنا، والسبب الثاني هو حماية البيئة بالتقليل من الأضرار البيئية الناتجة عن الدفن أو الحرق.

لهذه الأسباب فقد اتجهت الأبحاث في الآونة الأخيرة نحو التوصل إلى مواد مركبة حيوية تكون قابلة للتحلل بحيث تذوب في التربة بعد دفنها، أي كالكائنات الحية بعد موتها، وتكون مفيدة للتربة، أو تكون قابلة لإعادة التصنيع والاستخدام بعد انتهاء عمرها الافتراضي. وقد سميت هذه المواد بالمواد المركبة الخضراء (green composite materials)، في إشارة إلى الطبيعة التي نأمل في المحافظة عليها خضراء. وهذه الأبحاث جاءت نتيجة ازدياد صرامة الأنظمة والقوانين التي تجبر المصنعين على إنتاج مواد ومنتجات تكون صديقة للبيئة في كل مراحل عمرها حتى بعد انتهاء فترة استخدامها. وقد أصبح موضوع التدوير وإعادة الاستخدام (recyclability)، وموضوع التصميم الصديق للبيئة (ecological design)، والمسمى اختصاراً (eco-design)، أصبحا مهمين في عالم الصناعة اليوم. هذا ولكون صناعة السيارات هي المستهلك الأكبر للمواد فإنها تسعى لأن تجعل كل قطع السيارات قابلة للتدوير بسبب الأنظمة الجديدة في الاتحاد الأوربي والقاضية بأنه بحلول عام 2015م يجب أن تكون 95% من قطع السيارات مصنوعة من مواد قابلة لإعادة الاستخدام (85% يمكن استرجاعها بطرق ميكانيكية، و 10% يمكن الاستفادة منها بطرق حرارية لتوليد الطاقة)، وذلك من أجل تقليل النفايات الناتجة عن السيارات.

وهذا البحث يقدم أحدث التطورات في هذا الموضوع في ثلاثة مجالات مهمة: الأول هو اللدائن المقواة بألياف طبيعية (Natural Fibre Reinforced Plastics, NFRP)، والثاني هو المواد المركبة الحيوية (biocomposites)، والثالث هو المواد المركبة القابلة للتدوير وإعادة الاستخدام (recyclable composites).

2- اللدائن المقواة بالألياف الطبيعية
(Natural Fibre Reinforced Plastics, NFRP)

المعروف أن اللدائن (plastics) أو البوليمرات (polymers) تنقسم إلى نوعين: لدائن التصلد الحراري (thermosets) وهذه تتصلد وتأخذ شكلها النهائي عند تشكيلها لأول مرة ولا يمكن إعادة تشكيلها بالتسخين، ولدائن حرارية (thermoplastics) وهذه يمكن إعادة تشكيلها بإعادة التسخين. وحيث أن الكلام هنا عن إعادة التصنيع فإن لدائن التصلد الحراري لا تصلح في هذا المجال. وبالفعل كانت نقطة البداية لإنتاج مواد مركبة هي استخدام اللدائن الحرارية مثل البولي بروبيلين (polypropylene, PP)، والبولي أولوفين (polyolefin)، والبولي إثيلين (polyethylene)، والبولي يوريثين (polyurethane)، والبولي أميد (polyamide) والبولي فينيل كلورايد (polyvinylchloride, PVC) مع ألياف من أصل نباتي وقابلة للتحلل حيوياً.

في بداية التطور في مجال اللدائن المقواة بالألياف الطبيعية استخدمت نشارة الخشب أو الألياف الخشبية الناتجة من المنتجات الخشبية المستعملة مثل الأثاث القديم أو صناديق التعبئة الخشبية أو بقايا الأخشاب المستخدم في الإنشاءات، وذلك كحشوة لـمادة PP أو PVC [1]. وهذه المواد المركبة تسمى الخشب البلاستيكي، وتكون نسبة الخشب فيها بين ثلاثين وسبعين في المائة. ويمكن أن تستخدم في إطارات الأبواب والنوافذ وهياكل السيارات، وقطع الأثاث، حيث لا تتعرض كل هذه المنتجات إلى إجهادات عالية أثناء الاستخدام، مما يسهل استخدام مواد لدنة معاد تصنيعها، وهذا يعطي حلاً جزئياً لمشكلة النفايات للمواد اللدنة ذات الأصل البترولي. وبسبب وجود التقنية والآلات لمزج وتشكيل وتصنيع هذه المواد فإن المواد المركبة ذات اللدائن الحرارية، كالخشب البلاستيكي، هي مواد سهلة التصنيع. وقد نما سوق هذه المواد المركبة بشدة في

السنوات القليلة الماضية. وكذلك استخدمت ألياف الخشب ونشارة الخشب مع راتنجات من عدة أنواع لإنتاج ألواح من الألياف متوسطة الكثافة (Medium Density Fibres, MDF) كبديل عن الخشب، وهذه يدخل في تركيبها نفايات الخشب بشكل أساسي. وفي الهند يُستخدم تفل قصب السكر لإنتاج ألواح مماثلة من الألياف [1].

والألياف الطبيعية من أصل نباتي معروفة من قديم في صناعة الحبال والخيوط وأشرعة السفن. ويُحصل عليها من ساق النباتات أو من أوراقها، وهي بالتالي متجددة سنوياً، بل إن الخيزران مثلاً متجدد كل بضعة أشهر، في حين أن خشب الأشجار لا يتجدد إلا كل حوالي عشرين سنة حتى يمكن قطعه والاستفادة منه. وهذا يعني أن الألياف الطبيعية متوفرة باستمرار على مدار العام، وهي بالإضافة لذلك رخيصة الثمن. ويبين الجدول رقم (1) بعض الألياف النباتية مع خواصها مقارنة بالألياف المستخدمة في المواد المركبة المتقدمة (وهي المصنوعة من الألياف عالية الأداء كألياف الكربون والكفلار والبورون .. الخ).

وواضح من الجدول أن الألياف الطبيعية ليست لها مقاومة كمقاومة ألياف الكربون أو ألياف الكفلار لكن بعضها لها جسوءة أكبر من جسوءة ألياف الزجاج، وبعضها لها مقاومة نوعية (مقاومة مقسومة على الكثافة) أكبر من المقاومة النوعية لألياف الزجاج. أما عند الكلام عن الكلفة فإن كلفة إنتاج ألياف الزجاج تصل إلى ثلاثة أضعاف كلفة إنتاج الألياف الطبيعية، وكلفة إنتاج ألياف الكربون تصل إلى ثلاثين ضعفاً.

وبالمقارنة مع ألياف الزجاج فإن الألياف الطبيعية المجوفة وذات المسامات لها خواص عزل أفضل ضد الصوت والحرارة. وهذا مهم في تطبيقات بعينها كما في السيارات (الصفائح الداخلية للأبواب، والصفائح الداخلية

الجدول رقم (1): متوسط خواص الألياف الطبيعية مقارنة بألياف المواد المركبة المتقدمة.

الألياف	الوزن النوعي w kN/m^3	الانفعال عند الانكسار %	مقاومة الانكسار σ_u MPa	المقاومة النوعية σ_u/w km	معامل المرونة E GPa	الجسوءة النوعية E/w Mm
القطن Cotton	14.7	7.5	442	30.1	8	0.54
الجوت Jute	12.7	1.6	583	45.7	26	2.04
الكتان Flax	14.7	2.9	690	46.9	40	2.72
القنب Hemp		1.6	690			
السيزال Sisal	14.7	2.2	573	38.9	15	1.02
ليف جوز الهند Coir	11.8	30	175	14.9	5	0.42
الخيزران Bamboo	7.8		695	88.6	68	8.66
الخشب المرن Soft wood	14.7		1000	67.9	40	2.72
الأناناس Pineapple		1.6	1020		58	
قنب سيام Ramie	14.7	3.7	669	45.5	95	6.46
لب شجر الصنوبر Spruce pulp	5.9		1350	229.4	45	7.65
ألياف الزجاج E-glass	25.5		3000	117.6	72	2.82
ألياف الكفلار Kevlar 49	14.1		3900	276.1	131	9.27
ألياف الكربون Carbon	17.2		3000	174.8	235	13.69
ألياف بولي بروبيلين Polypropylene, PP	9		650	72.2	18	2

للسقف، والصفائح الفاصلة بين المحرك ومقصورة الركاب، ولوحة أجهزة القياس). علماً بأن صفائح مصنوعة من الألياف الطبيعية ومادة PP أو غيرها من اللدائن الحرارية دخلت الاستخدام في كثير من السيارات. ومازالت الأبحاث جارية لاستخدامها في تطبيقات داخلية أخرى. ومن المنافع البيئية للألياف

الطبيعية أنها ينبعث منها كمية من ثاني أكسيد الكربون عندما تتحلل أقل من تلك الكمية التي يمتصها النبات خلال مرحلة الزراعة، في حين أن إنتاج ألياف الزجاج والكربون والأراميد يؤدي إلى توليد غاز ثاني أكسيد الكربون الذي ينفلت في الجو مع أكاسيد النتروجين والكبريت والغبار، وكلها مضرة بالصحة. والألياف الطبيعية لا تسبب الحكة ولا تخدش أدوات الإنتاج ولا آلات التصنيع، وزراعة محاصيلها سهلة ولا تستهلك مساحة كبيرة من الأرض.

إن منافع الألياف الطبيعية ليست بيئية فقط وإنما لها خواص فيزيائية وميكانيكية جيدة. ففي البحث الموضح في [2] تم استخدام ألياف القنب في تقوية راتنج الفينوليك phenolic، علماً بأن هذا الراتنج يُستخدم في وسائل المواصلات التي تتطلب مقاومة للحريق، وقد وجد أنه باستخدام طبقتين من ألياف القنب في إنتاج صفائح مركبة ضاعف من مقاومة الانحناء للصفائح (من 11 ميجا باسكال إلى 25 ميجا باسكال)، وزاد معامل المرونة بمقدار 23%، وحسّن من خواص الصدم بشكل ملحوظ، إذ من المعروف أن صفائح الفينوليك هشة (brittle)، فقللت الألياف من هشاشتها وحولتها إلى مادة مطيلية (ductile) إلى حد ما. كذلك فإن الألياف قللت من عدد ومقاس الفراغات (voids) التي تنتج في الفينوليك عند صبه، حيث امتصت الألياف الطبيعية الرطوبة الناتجة أثناء تفاعلات التحول إلى مادة صلبة.

وتُستخدم اللدائن المقواة بالألياف الطبيعية في صناعة الأجزاء غير الإنشائية في السيارات منذ فترة. فالسيارة الموضحة في الشكل (1) استُخدمت فيها لدائن مقواة بألياف الجوت وذلك في الصفائح الداخلية للأبواب. والجوت له مواصفات جيدة لأن اللحاء فيه ذو ألياف مماثلة لألياف لحاء الأشجار. واستخدمت فيها أيضاً ألياف الكتان مع PP في بعض القطع السفلية في السيارة، كما في الشكل (1) [3].

الشكل (1): :سيارة تُستخدم فيها لدائن مقواة بألياف طبيعية [المرجع 3] .

والمادة المركبة من ألياف الكتان مع PP مادة قابلة للتدوير وإعادة التصنيع وإعادة الاستخدام. ويمكن استخدام المادة المعاد تدويرها في تصنيع الأجزاء بواسطة القولبة بالحقن (injection molding). أما الكلفة فهي منخفضة. وهذه المادة تحقق متطلبات السلامة. هذا إضافة إلى أن شكلها الجمالي يعطي منظراً يروق للركاب. وهي مادة مقاومة للخدش ولا تتطلب عمليات تشطيب نهائي لأن منظرها جميل وتتوفر بألوان مختلفة، ويتوقع لها أن تنتشر انتشارا واسعا في كل القطع الداخلية في السيارات التي تتطلب منظراً أنيقاً.

غير أن الألياف الطبيعية لا يمكن استخدامها بشكلها الطبيعي. فالألياف السيلولوزية يجب فصلها عن الراتنج البكتيني (pectin resin) الذي يربطها بقلب الساق الخشبي للنبات، وكذلك لابد من فصل الألياف عن بعضها لزيادة مساحة السطح من أجل عملية الالتصاق بالمادة الرابطة في المادة المركبة. وهناك عدة طرق لعملية الفصل. وقد يتم إخضاع الألياف لعمليات معالجة لتعزيز عملية الالتصاق باللدائن في المادة المركبة. وهناك عدة طرق للمعالجة. والألياف الطبيعية يمكن تصنيعها بشكل نسيج أو غير ذلك مما هو معروف في ألياف

الزجاج بحيث تكون جاهزة للتصنيع.

ويتوقع كثيرون بأن اللدائن المقواة بالألياف الطبيعية لن يقتصر استخدامها على الأجزاء غير الإنشائية في السيارات، بل سوف تصبح مادة إنشائية لأن مقاومتها النوعية المرتفعة تؤهلها لخفض وزن الأجزاء المصنوعة من المواد المركبة بحوالي 40%. وإذا كانت هذه المواد مازالت في بدايتها من حيث الانتشار فإن أمامها مجال كبير للتطور والتحسن والاستخدام في تطبيقات إنشائية مختلفة كثيرة.

وإذ تم ذكر مزايا اللدائن المقواة بالألياف الطبيعية فلا بد من ذكر المساوئ. فمازالت مقاومة الصدم فيها منخفضة، وكذلك مقاومة الحريق. والألياف غير المعالجة يمكن أن يحصل فيها أعطاب بسهولة، ويمكن أن تضعف خلال عمليات المناولة والتصنيع. والمواد المركبة المصنوعة منها يمكن أن تكون خواصها منخفضة إذا لم تلتصق الألياف بالراتنجات بشكل جيد. هذا إضافة إلى أن الألياف لا تتحمل درجات الحرارة المرتفعة مما يعني أن بعض طرق تصنيع المواد المركبة التقليدية لا يمكن استخدامها. والألياف أيضاً يمكن أن تتحلل خلال عمليات التصنيع أو في فترة الاستخدام. وإذا انكسرت الألياف فقد تصدر رائحة غير محببة، لاسيما مع امتصاص الرطوبة حيث قد تنتفخ. كذلك فإن أسعار الألياف وخواصها وجودتها يمكن أن تتغير بشكل كبير حسب ظروف الزراعة وطرقها. لكن كل هذه المشكلات يمكن معالجتها كما يتوقع أهل الاختصاص. وهناك أبحاث كثيرة تدعمها الحكومات الأوربية ومراكز البحث العلمي في هذا المجال. ويبقى التحدي الأكبر للمواد المركبة الطبيعية هو التغلب على نقطة الضعف الرئيسية ألا وهي تدني القدرة على تحمل الصدم، فهذه المعضلة لم تزل تواجه مثيلاتها من المواد المركبة الصناعية، لاسيما وأن الخواص الميكانيكية للمادة الحاضنة ضعيفة جداً.

ومن الأبحاث المهمة في الموضوع اختيار طرق التصنيع اللاطيفة لعملية دمج الألياف مع الراتنجات دون حصول أعطاب في الألياف. إضافة إلى ذلك هناك أبحاث لتحسين جودة الألياف بدءاً من مرحلة الزراعة إلى مرحلة الحصول على الألياف ومعالجتها. والهدف من ذلك هو الوصول إلى خواص ميكانيكية مرتفعة في المواد المركبة المقواة بالألياف الطبيعية، إضافة إلى معرفة خواصها الأخرى كمقاومة الحريق ومتانتها ومقدار امتصاصها للماء، وذلك كي يثق المستخدم النهائي بخواص وسلوك هذه المواد. وهناك أبحاث لتصنيع أجزاء إنشائية يتم تجريبها على سيارات كالتي في الشكل (2) [3].

الشكل (2): سيارة تستخدم NFRP في إنشاءاتها [المرجع 3].

وهناك أبحاث عديدة لمحاولة استخدام طرق تصنيع اللادائن المقواة بألياف الزجاج (GFRP) في تصنيع NFRP. وبسبب الاختلافات بين الألياف الطبيعية وألياف الزجاج فإن الباحثين يدرسون أيضا كيفية تعديل طرق تصنيع المواد المركبة التقليدية لتناسب المواد المركبة ذات الألياف الطبيعية [4]. وفي الجدول (2) مقارنة بين خواص ألياف الزجاج وألياف الكتان بشكل مركب القولبة (sheet molding compound, SMC). والنتائج مشجعة لاسيما عند استخدام

الألياف الطبيعية الطويلة، لكن مقاومة الصدم مازالت نقطة حساسة في المواد المركبة ذات الألياف الطبيعية. كما تركز الأبحاث على خواص الترابط بين الألياف والمادة الراتنجية أو الرابطة. وقد أدت معالجة الألياف ببعض المواد إلى تحسين الالتصاق بين الألياف والراتنج وتضاعفت مقاومة القص بين الطبقات (interlaminar shear strength) [5]. وهذا أدى إلى زيادة في مقاومة المادة المركبة بمقدار 250% وزيادة في معامل المرونة بمقدار 500% في الاتجاه العرضي للألياف (transverse direction)، أما في الاتجاه الطولي (longitudinal) فالزيادة 40% و 60% على التوالي. وهذه النتائج تبين أن لهذه المواد مستقبلا ممتازا.

الجدول رقم (2): مقارنة بين خواص ألياف الزجاج وألياف الكتان بشكل مركب القولبة (SMC).

الخواص	ألياف زجاج بنسبة 20% وزناً (15% حجماً)	ألياف كتان بطول 25 مم ونسبة 21% وزناً (22% حجماً)
جسوءة الشد (GPa)	8.5	11
مقاومة الشد (MPa)	95	80
جسوءة الانحناء (GPa)	10	13
مقاومة الانحناء (MPa)	125	144
مقاومة الصدم (kJ/m^2)	50	22

ويثق كثير من الباحثين أن اللدائن المقواة بالألياف الطبيعية ستستخدم في الأجزاء الإنشائية، لاسيما تلك المقواة بالألياف الطويلة، وذلك بسبب انخفاض وزنها وارتفاع مقاومتها وجسوءتها النوعيتين. وفي الوقت الحاضر فإن خواصها الحالية مناسبة للأجزاء شبه الإنشائية حيث لا تكون مقاومة الصدم مهمة. لكن متانة الانكسار (fracture toughness) مازالت نقطة ضعف في هذه

المواد، ولهذا تنصب بعض الأبحاث على معالجة الألياف بحيث يتم تحسين خواصها وخواص التصاقها مع المادة الرابطة [6].

3- المواد المركبة الحيوية
(Biocomposites)

برزت المواد المركبة الحيوية من الحاجة لمواد قابلة للتحول بعد انتهاء عمرها الافتراضي لتكون صديقة للبيئة. وتتألف هذه المواد من ألياف طبيعية (natural fibres) مغمورة في مواد مبلمَرة حيوية (biopolymers). وكان طبيعيا أن يتم اختيار ألياف التقوية من مواد ذات أصل نباتي، أي متجدد (renewable). وهذه الألياف السيلولوزية تتوفر في معظم بلدان العالم وهي رخيصة الكلفة نسبياً، إضافة إلى خواص أخرى مهمة تمت الإشارة إليها آنفاً، مثل كونها لا تخدش أدوات الإنتاج، وكونها قابلة للاحتراق بعد انتهاء عمرها المصممة له، وخفيفة الوزن وعازلة للحرارة والصوت. وتأتي خفة الوزن وخاصية العزل من كونها ألياف مسامية أسطوانية مجوفة أو مفرغة. صحيح أن هذه المواد ليست ذات خواص عالية كالمواد المركبة المتقدمة، لكن كثيرا من التطبيقات التي تستخدم فيها المواد المركبة لا تتطلب خواصا ميكانيكية عالية. واختيار الألياف المناسبة يعتمد على قيم المقاومة والجسوءة المطلوبة من المادة المركبة. وهناك طبعاً معايير أخرى تلعب دوراً في اختيار نوع الألياف مثل مقدار الانفعال (strain) عند الانكسار، والتوازن الحراري، وشدة التصاق الألياف بالمادة الرابطة، وسلوك المادة المركبة على المدى الطويل، وطرق التصنيع المناسبة وكلفة الإنتاج. لكن تجدر الإشارة إلى أن الألياف الطبيعية يمكن أن تكون حيوانية المصدر، كالشعر والحرير والصوف والريش، وهذه كلها تتألف من بروتينات.

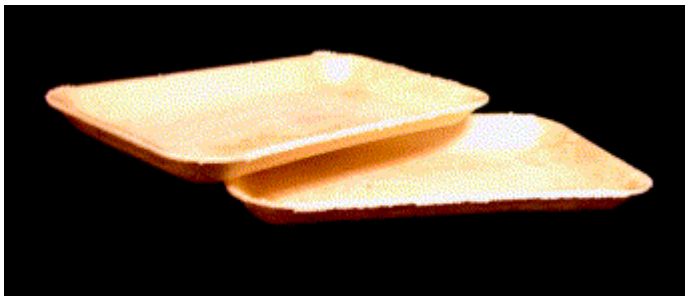
وفي المواد المركبة الحيوية يجب أن تكون المادة الرابطة حيوية أيضاً

لتحقيق متطلبات البيئة بشكل كامل. وكما هو الحال في تصنيف البوليمرات ذات الأصل البتروكيميائي فإن البوليمرات الحيوية يمكن تقسيمها إلى لدائن حرارية، ولدائن تصلد حراري. الأولى يمكن إعادة تشكيلها بإعادة التسخين، والثانية تتصلد ولا يمكن إعادة تشكيلها بإعادة التسخين. واللدائن الحرارية الحيوية تم تطويرها أساساً لصناعة التغليف، وهي لا تملك المواصفات المناسبة لاستعمالها كمادة رابطة في المواد المركبة الحيوية. أما لدائن التصلد الحراري فهي المناسبة، لكن لا يتم تصنيعها كاملاً وإنما تكون مبلمَرة جزئياً، وذلك لتتصلد بعد وضعها في المادة المركبة حيث يتم التصليد بالطرق المعروفة في صناعة المواد المركبة.

تُصنع لدائن التصلد الحراري الحيوية من الزيوت النباتية والدهون الحيوانية، وتتم معالجتها بطرق مختلفة وإضافة مواد بتروكيميائية لتحسين خواصها. والهدف في هذا كله هو الحصول على خواص معقولة مع المحافظة على أن يكون المحتوى الحيوي أكبر ما يمكن. لكن الأبحاث تسعى إلى الوصول إلى مركبات حيوية مائة بالمائة. ويتم دراسة مزج أنواع مختلفة من المواد للوصول إلى الهدف المنشود. وهناك مواد عضوية ومواد غير عضوية تتم دراستها كمواد إضافية لتحسين مختلف الخواص. ونتائج الأبحاث مشجعة في الوصول إلى المطلوب [7]. وإضافة إلى ذلك يتم أيضاً تجريب مختلف الطرق المعروفة في إنتاج المواد المركبة التقليدية وتعديلها حسب الحاجة لتناسب المواد المركبة الحيوية [8].

لقد تم إجراء تعديل كيميائي لبعض أنواع من الزيوت للحصول على مواد راتنجية من أجل الوصول إلى مواد مركبة خضراء. من ذلك مثلاً راتنجات أساسها زيت فول الصويا، أو زيت العصفر أو زيت الزيتون وغيرها من الزيوت التي يتم هندستها جينياً. ورغم أن معظم هذه الراتنجات ليست قابلة

للتحال إلا أنها يمكن تعديلها كيميائياً لجعلها قابلة للتحال. وقد تم بالفعل إنتاج سلسلة من الـ maleinized hydroxylated triglycerides من الزيوت المذكورة [1]. ويتم حالياً بذل جهود كبيرة لتطوير مواد مركبة قابلة للتحال حيوياً وبشكل كامل وذلك باستخدام ألياف طبيعية مع راتنجات قابلة للتحال حيوياً. وهذه الجهود مازالت في بداياتها ولذا فإن تقنياتها مازالت في مرحلة البحث والتطوير. لكن بعض المنتجات بدأت بالفعل تظهر على مستوى تجاري. والمواد المركبة هذه صديقة للبيئة وقابلة للتحال كلياً، إي إنها خضراء بكل ما في الكلمة من معنى. وفي نهاية حياتها يمكن التخلص منها بسهولة أو تحويلها لسماد دون الإضرار بالبيئة. والمواد المركبة الخضراء هذه يمكن استخدامها بفعالية في كثير من التطبيقات ذات العمر القصير (حتى سنتين)، أو للاستخدام لمرة واحدة أو فترة قصيرة ثم يتم التخلص منها. غير أن معظمها يمكن استخدامها في تطبيقات بعيداً عن التعرض لظروف طقس خارجية لعدة سنوات، أي تماماً كالخشب. وهناك عدد من الراتنجات الطبيعية أو الاصطناعية القابلة للتحال حيوياً والتي يمكن استخدامها في المواد المركبة الخضراء. ومعظمها تتحال بواسطة التفاعلات الإنزيمية عندما تتعرض لظروف مواتية. وبعضها يتحال أيضاً في الهواء الطلق بوجود الرطوبة. والشكل (3) يري صواني مصنوعة من مواد مبلمرة قابلة للتحال الحيوي وهي starch-polyvinyl acetate (PVA) [1].



الشكل (3): صواني مصنوعة من مواد مركبة حيوية [المرجع 1].

وقد تم استخدام أنواع مختلفة من الراتنجات مع ألياف من الأناناس لإنتاج مادة مركبة خضراء [9-10]. ووجد أن مقاومة الشد ومقاومة الانحناء في اتجاه الألياف أكبر بمقدار لا بأس به من خواص الخشب حتى عند نسب الألياف المنخفضة بحدود 30%. ومع ازدياد نسبة الألياف فإن الخواص تتحسن، ويمكن استخدام مثل هذه المواد المركبة في إنشاءات ثانوية في السيارات وغيرها. كما تم إنتاج مواد مركبة خضراء من البوليستر كمادة رابطة مع ألياف الجوت بعد معالجتها لزيادة التصاقها بالمادة الرابطة وتحسين خواصها [11-12]. وقد وجد أن هذه المواد تتحلل بسرعة. وهناك أبحاث عديدة حول تحلل اللدائن والمواد المركبة حيويا. كما تمت دراسة المواد المركبة من ألياف القنب والكتان مع راتنج مصنوع من النشاء المعدل [7]. وبعض هذه المواد المركبة لها خواص مقاربة لخواص اللدائن المقواة بألياف الزجاج. كذلك هناك أبحاث حول بوليمرات بروتين الصويا [13-14] التي تتوفر بأشكال مختلفة ويمكن أن تقولب بالضغط للحصول على مواد مركبة مع ألياف الخشب أو ألياف القنب، ويمكن أن تستخدم في قطع الأثاث (الشكل 4) والأشكال الجمالية المعمارية غير الإنشائية (أي غير المعرضة لأحمال)، أو في التعليب أو في القطع المعدة للاستهلاك السريع. وهي مواد قابلة للتحلل كلياً. ومن المتوقع أن يتم تحسين خواصها بعد تحسين طرق إنتاجها.

وهناك أبحاث حول تعديل النشاء لإنتاج راتنج يستخدم في تصنيع المواد المركبة الخضراء [1] مع ألياف القنب والخيزران ذات الجسوءة المرتفعة، والمواد المركبة منها لها خواص انحناء ممتازة. فمثلاً وصلت مقاومة ألياف القنب مع راتنج أساسه النشاء إلى 250 ميجا باسكال ويمكن أن تستخدم في أجزاء إنشائية. وهناك أبحاث لإنتاج راتنجات من الزيوت [15] ستكون أرخص من الراتنجات الحالية. وكذلك أبحاث لإنتاج راتنجات صناعية رخيصة قابلة

للتحال حيويا بخواص أفضل وذلك باستخدام تقنية النانو (nanotechnology) [1].

الشكل (4): منتجات مصنوعة من مواد مركبة خضراء [المرجع 1].

لكن مازال هناك عقبات في طريق الاستخدام التجاري للمواد المركبة الخضراء. ومن أهمها الكلفة المرتفعة للراتنجات، حيث أنه في الوقت الحاضر، تكلف الراتنجات القابلة للتحال حيويا أكثر بكثير (3-5 مرات) من الراتنجات المصنوعة من المواد الادنة. لكن مع حصول المواد الخضراء على القبول وازدياد إنتاجها فمن المتوقع أن تنخفض كلفة الإنتاج. هذا إضافة إلى أنه من المتوقع أيضاً الوصول إلى طرق أخرى في الإنتاج تكون أقل كلفة. ومن العوائق أيضا تغير مقاومة الألياف الطبيعية، فهي تتغير حسب قطر الألياف وعوامل أخرى مثل العوامل الزراعية. هذا إضافة إلى أن الألياف تكون في العادة ملتصقة وتحتاج لفصل قبل استخدامها. ومعظم الألياف الطبيعية تتشرب

الرطوبة وبالتالي تنخفض مقاومتها وخواصها الأخرى، ثم تنكمش عندما تجف. واستمرار تشرب الرطوبة ثم الجفاف يخفض المقاومة ويؤثر على الالتصاق بالراتنج، وهذا بدوره يؤثر على المقاومة أيضاً. وهناك أبحاث حول معالجة الألياف لتقليل حساسيتها للرطوبة. وهناك عوائق تتعلق بدرجات الحرارة في أثناء التصنيع حيث لا تتحمل معظم الألياف الطبيعية درجات حرارة أكثر من 175 درجة مئوية لفترة طويلة، وهذا يحد من إمكانية استخدامها مع اللدائن الحرارية. ومازال هناك الكثير مما يمكن عمله لتحسين خواص المواد المركبة المقواة بالألياف الطبيعية ولتصنيع منتجات تجارية.

ومن تطبيقات المواد المركبة الحيوية خوذة السلامة (الـشكل 5) التـي تشكل فيها المواد المركبة الحيوية أكثر من 85%، وتحقق متطلبـات الـسلامة حسب المقاييس الألمانية، وهي أخف بعشرة بالمائة من مثيلاتها المصنوعة مـن المواد اللدنة [8].

الشكل (5): خوذة سلامة مصنوعة من مواد مركبة حيوية [المرجع 8].

ومن التطبيقات أيضاً الصفائح الخاصة بمقاعد القطـارات (الـشكل 6) وهي أخف من مثيلاتها المصنوعة من اللدائن المقواة بألياف الزجـاج بحـوالي ثلاثين بالمائة. ويتم الآن اختبارها للاستخدام الطويل الأمد.

الشكل (6): صفائح من المواد المركبة الحيوية لمقاعد القطارات [مرجع 8].

وقد قامت إحدى الشركات المتخصصة في إنتاج الآلات الزراعية باستخدام راتنج حيوي في إنتاج الصفائح الجانبية والعلوية في إحدى الآليات التي تقوم بتجميع القش (الشكل 7).

الشكل (7): هذه الآلية تستخدم المواد المركبة الحيوية [مرجع 3].

والراتنج المستخدم في هذه الآلة مصنوع من مزيج من زيوت فول الصويا والذرة. وتذكر الشركة أن الصفائح الناتجة منه مرنة ومقاومة للتآكل

ومقاومتها جيدة، ووزنها أقل بـ 25% من صفائح الصلب التي كانت تستخدمها سابقاً. وتذكر أيضاً أن المنتجات التي تستخدم هذا الراتنج لها تقريبا خواص المنتجات التي راتنجاتها من أصل بترولي، وتعادلها في الأداء، لكن الفرق الكبير يكمن في أنها أرخص منها.

4- المواد المركبة القابلة لإعادة الاستخدام
(Recyclable Composites)

رغم وجاهة الأبحاث المذكورة آنفاً والتي تتعلق باستخدام الألياف الطبيعية لأنها صديقة للبيئة ولا تخلف نفايات دائمة، فإن الاتجاه الآخر في المحافظة على البيئة والمحافظة على المصادر الطبيعية لا يقل أهمية. هذا الاتجاه هو استخدام مواد قابلة لإعادة الاستخدام. وفي هذا المجال برزت مادة البولي بروبيلين (Polypropylene, PP) التي يمكن إعادة تصنيعها وإعادة استخدامها. ومادة PP هي مادة مبلمَرة من نوع اللدائن الحرارية وغير قابلة للتحلل، وقد سبقت الإشارة إلى استخدامها كمادة رابطة مع الألياف الطبيعية لإنتاج ما يسمى المواد المركبة الخضراء. لكن هذه الفقرة تتعلق بموضوع آخر ألا وهو المواد المركبة كليا من PP، والمسماة (all-PP composites). أي إن هذه المادة الرابطة يتم تقويتها بألياف من جنسها لتشكل مادة مركبة قابلة لإعادة الاستخدام [16].

ولهذه المادة مزايا اقتصادية وبيئية أكثر من المواد المركبة المقواة بألياف الزجاج لأنها قابلة لإعادة الاستخدام. وعند إعادة تصنيعها فإن الناتج منها ما هو إلا مادة PP نفسها والتي يمكن إعادة استخدامها كمادة مركبة أو كمادة رابطة أو غير ذلك من استخدامات اللدائن. وقد أمكن تصنيع هذه المادة المركبة بصورة شريط تنتظم أليافه بشكل ممتاز مما يعني ارتفاع مقاومته وجسوءته،

ويغطي الألياف طبقة رقيقة من مادة PP، ويمكن استخدام الشريط لإنتاج المواد المركبة بعدة طرق منها الطرق الحرارية وطريقة لف الخيوط (filament winding).

إن اللدائن الحرارية عامة يمكن صهرها بالتسخين وإعادة تشكيلها من جديد، لكن ذلك يبقى محدوداً بإمكانية فصل الألياف، وهو أمر صعب. ولذا فقد بدأ اتجاه نحو استخدام مواد مصنوعة من مادة واحدة. ومن هنا برزت أهمية مادة المادة المركبة كليا من PP. وهذه المادة رخيصة ويمكن إعادة تصنيعها عدداً كبيراً من المرات دون فقدان كبير لخواصها. وفي العقد الأخير فقط كانت مادة PP الأكثر نمواً بين المواد اللدنة حيث بلغت نسبة زيادة إنتاجها 7% في العام الواحد. وعند تقويتها بألياف الزجاج أو الألياف الطبيعية تصبح ذات مقاومة مرتفعة، ولكن في هذه الحالة يصعب إعادة استخدامها.

إن إحدى القواعد المهمة في التصميم من أجل التدوير وإعادة التصنيع هو استخدام أقل عدد ممكن من العناصر المختلفة الداخلة في تركيب المواد. وهذا يعني في حالة اللدائن استخدام لدائن متناسقة مع بعضها. أي عمليا استخدام مادة وحيدة (monomaterial) عوضاً عن مزيج من المواد. ومن هنا برزت فكرة تقوية PP بألياف مرتفعة الخواص من مادة PP نفسها. والمادة المركبة بهذه الطريقة مادة قابلة لإعادة الاستخدام بشكل كامل، أي لها مزايا بيئية مهمة.

وإضافة لخواص إعادة الاستخدام المهمة تمتاز ألياف PP عن ألياف الزجاج بأنها لا تسبب خدشاً في آلات التصنيع. ويمكن استرجاع الطاقة منها بعد انتهاء عمرها إذ القيمة الحرارية لها تساوي القيمة الحرارية للزيوت. وهي ذات كثافة منخفضة، مما يعني خفة وزن القطع المصنوعة منها. ومن حيث الخواص الميكانيكية فهي مادة مطيلية (ductile)، أي إذا انهارت فإن انهيارها مرن وليس متشظياً (splintered)، مما يعني أنها أكثر أماناً من ألياف الزجاج في حالات

الصدم. وهذا أمر مهم جداً في تصميم السيارات، وهذا أيضاً يعني من ناحية ثانية امتصاص قدر أكبر من طاقة الاصطدام مما ينعكس إيجاباً على سلامة الركاب.

إن التحدي الأول الذي تواجهه هذه المادة هو الحصول على ألياف PP ذات أداء مرتفع من أجل الحصول على مادة مركبة كليا من PP تنافس اللدائن المقواة بألياف الزجاج. إن معامل المرونة لألياف PP المتوفرة تجارياً هو بحدود (3-5) جيجا باسكال، ولكن بحثاً مشتركاً بين بعض الجامعات والصناعة أدى إلى تحسين طرق الإنتاج بحيث وصل معامل المرونة إلى 18 جيجا باسكال ومقاومة شد مقدارها (650) ميجا باسكال. وفي الجدول (1) المذكور آنفاً تم بيان الخواص الميكانيكية لألياف PP مقارنة بالألياف الأخرى. ومنه يتضح أنها بخواصها النوعية يمكن أن تنافس ألياف الزجاج.

أما التحدي الثاني فيكمن في تطوير طرق لإنتاج مادة مركبة كلياً من PP، أي تطوير طريقة لدمج ألياف PP مع راتنج PP. وهو تحد لأن المادتين من تركيب كيميائي واحد ودرجة انصهار واحدة. ومن المهم أن تتم المحافظة على الألياف سليمة وفي الاتجاه المطلوب خلال عملية دمجها بالراتنج المنصهر. وإحدى الطرق المتبعة هي رفع درجة حرارة انصهار الألياف بإحدى الطرق المعروفة في تصنيع البوليمرات والمسماة (overheating behavior of constrained oriented polymer fibers) [17]. وهناك طريقة أخرى تقوم على إنتاج PP بشكل شريط (tape) بواسطة البثق مستخدمة نوعين من PP مختلفين في درجة حرارة الانصهار، ويتم سحب الشريط على البارد لتحسين الخواص الميكانيكية، ثم تتم عملية لصق الشرائط معاً. وهذه الشرائط تتألف من قلب من PP في اتجاه السحب ليعطي المقاومة والجسوءة المطلوبين، ثم طبقة رقيقة غشائية من PP ذات درجة انصهار أقل من القلب وتشكل المادة الرابطة.

وهناك ميزة للشرائط عن الألياف، وهي أن الشرائط يمكن حياكتها بشكل نسيج، ثم تدمج لتؤلف طبقات المادة المركبة. إن ميزة استخدام الشريط عوضا عن الألياف هي أن الشرائط مسطحة مما يسمح بزيادة نسبتها في المادة المركبة أكثر من الألياف ذات المقطع الدائري، أي تسمح الشرائط بزيادة التقوية في المادة المركبة. وإضافة لذلك فإن الالتصاق بين القلب والطبقة الغشائية السطحية من المادة الرابطة أسرع بكثير من حالة الألياف، وبالتالي فإن نوعية المادة المركبة أفضل، وتكون خالية من الفراغات (voids). ورغم أن خواص شرائط PP أقل من خواص ألياف الزجاج إلا أن المادة المركبة كليا من PP تفوق في خواصها المادة المركبة من ألياف الزجاج مع اللدائن الحرارية، وذلك بسبب أن الشرائط مستمرة ونسبة التقوية فيها أعلى. ومن الشرائط يمكن تصنيع المادة المركبة كليا من PP بعدة طرق كالقولبة في قوالب أو التشكيل بطرق أخرى مثل التشكيل بالتفريغ (vacuum forming).

5- خاتمة

إن خفة وزن المواد المركبة المقواة بالألياف الطبيعية جعلتها ممكنة الاستخدام بديلا عن المواد المركبة المقواة بألياف الزجاج. لكن مازال هناك قصور في إمكانية استخدامها في ظروف بيئية صعبة، ولذا فقد اقتصر استخدامها حتى الآن على تطبيقات مثل الصفائح الداخلية في السيارات والقطارات والمفروشات وأدوات الرياضة والترفيه. ويجب أن تنصب الجهود على ابتكار أو تعديل طرق إنتاج المواد المركبة لتتناسب مع مكونات هذه المواد. ومن المتوقع أن يزداد استخدام هذه المواد أكثر فأكثر مع دخولها السوق بشكل تجاري، وأيضاً مع اقتراب وقت تطبيق القوانين الجديدة الصارمة والخاصة بالمحافظة على البيئة.

كذلك فالمواد المركبة الحيوية والتي تستخدم المواد القابلة للتحلل ليست بأقل أهمية، ومستقبلها واعد في الوصول إلى خواص مرتفعة مما سيؤدي في النهاية إلى الوصول إلى مواد مركبة حيوية متقدمة لتحل محل المواد المركبة المتقدمة التقليدية. لاسيما وأن بعض العلماء يبحثون إمكانية استخدام الألياف البروتينية عالية المقاومة مثل خيوط الحرير الناتجة من العنكبوت الذهبي الكروي الشكل. لكن هذه الخيوط نادرة في الطبيعة ولذا فهناك أبحاث لتركيب خيوط مماثلة لها، وهناك أبحاث أخرى لهندسة جينات هذا الحرير وإنتاجه.

إن من التطبيقات المهمة للمواد المركبة كلياً من PP هي في صناعة السيارات حيث الاتجاه واضح نحو استخدام الأجزاء اللدنة مكان الأجزاء المعدنية لتخفيف الوزن وتقليل الكلفة. وحسب الأنظمة الجديدة في جعل أجزاء السيارات قابلة لإعادة الاستخدام فإن المستقبل هو للمواد المركبة كليا من PP، وهناك من يتوقع أنها سوف تحل محل اللدائن المقواة بألياف الزجاج واللدائن المقواة بالألياف الطبيعية المستخدمة في الأجزاء الداخلية. والسبب في ذلك هو أن المادة المركبة كليا من PP قابلة لإعادة الاستخدام بشكل كامل، وخفيفة الوزن، ويمكن تشكيلها بالحرارة. وهناك أبحاث عديدة لاستخدامها في تطبيقات هندسية واسعة.

المراجع

[1] **A. N. Netravali** and **S. Chabba**, Composites get greener, *Materials Today*, 6(4), (2003), 22-29.

[2] **M. Richardson** and **Z. Zhang**, Nonwoven hemp reinforced composites, *Reinforced Plastics*, 45(4), (2001), 40-44.

[3] **G. Marsh**, Next step for automotive materials, *Materials Today*, 6(4), (2003), 36-43.

[4] G**. T. Pott,** Upgraded natural fibres for polymer composites. Euromat 97, (*5th Conference on Advanced Material Science and Material Technology*). Maastricht, the Netherlands, (1997), **Vol. 2**, 107-113.

[5] **I. Van de Weyenberg** and **I. Verpoest** , Knitted flax fibre polyester composites, *Proc. 23rd International Symposium on Materials Science, Sustainable Natural*

and Polymeric Composites - Science and Technology, Roskilde, Denmark, (2002), 341-348.

[6] **M. Hughes, G. Sbe, J. Hague, C. Hill, M. Spear,** and **L. Mott**, An investigation into the effects of micro-compressive defects on interphase behaviour in hemp-epoxy composites using half-fringe photoelasticity, Composite Interfaces , (2000), 7(1), 13-29.

[7] **A. S. Herrmann, J. Nickel** and **U. Riedel**, Construction materials based upon biologically renewable resources from components to finished parts, Polymer Degradation and Stability, 59 (1-3), (1998), 251-261.

[8] J**. Nickel** and **U. Riedel**, Activities in biocomposites, *Materials Today*, 6(4), (2003), 44-48.

[9] S**. Luo** and **A. N. Netravali**, Green composites made from pinapple fibers and poly (hydroxybutyrate-co-valerate) resin, *Proc. of ICCE-5* (Fifth International Conference On Composites Engineering), Las Vegas, USA, (1998), 661-667.

[10] **S. Luo** and **A. N. Netravali**, Mechanical and thermal properties of environment-friendly "green" composites made from pineapple leaf fibers and poly (hydroxybutyrate-co-valerate) resin. *Polymer Composites*, 20(3), (1999), 367-378.

[11] **A. K. Mohanty, Mubarak A. Khan** and **G. Hinrichsen**, Surface modification of jute and its influence on performance of biodegradable jute-fabric/Biopol composites, *Composite Science and Technology*, 60 (7), (2000), 1115-1124.

[12] **A. K. Mohanty, M. A. Khan** and **G. Hinrichsen**, Influence of chemical surface modification on the properties of biodegradable jute fabrics–polyester amide composites, *Composites*, Part A, 31 (2), (2000), 143-150.

[13] **S. F. Thames** and **L. Zhou**, Effect of preparation and processing on mechanical properties and water absorption of soy protein-based biocomposites, *Proc. of ICCE-5* (Fifth International Conference On Composites Engineering), Las Vegas, USA, (1998), 887-897.

[14] S. F. Thames, Richard Cook, L.A. Edgar Jr. and S. deBlasio, Combining soybean protein with other renewable agrochemicals to produce environmentally friendly, formaldehyde-free wood adhesives, Proc. of ICCE-6 (Sixth International Conference On Composites Engineering), Florida, USA, 1999, 135-146.

[15] **R. P. Wool**, Genetically engineered composites, *Proc. of ICCE-6* (Sixth International Conference On Composites Engineering), Florida, USA, (1999), 45-56.

[16] **T. Peijs,** Composites for recyclability, *Materials Today*, 6(4), (2003), 30-35.

[17] **J. Loos, T. Schimanski, J. Hofman, T. Peijs** and **P. J. Lemstra,** Morphological investigations of polypropylene single-fibre reinforced polypropylene model composites, *Polymer*, 42(8), (2001), 3827-3834.

New Development in Composite Materials - Recyclable and Environment Friendly Composite Materials

M. N. NAHAS
Professor, Faculty of Engineering, King Abdul Aziz University, Jeddah, Saudi Arabia
E-mail: nahasm@yahoo.com

ABSTRACT. Composite materials appeared in the sixties of the last century. They consist of two different materials combined on a macro scale. The first material is in the form of fibres of high strength (like carbon fibres and glass fibres). The second material is made of plastics or polymers that give the product its final shape.
Composites spread so widely during short period of time due to their high mechanical properties and their low weight. They have been used for a variety of applications although they were born originally in the aerospace industry where light weight plays an important role in selecting the appropriate materials.
All parts made of composites are designed to sustain long life. This is why they are made of nondegradable materials. But this advantage has become disadvantage due to the fact that composites are not easy to dispose off after their proposed life.
At the moment there are two ways to dispose composites after use. They are either buried in landfills, or burnt up. However, both methods are expensive and cause pollution to the environment.
For these reasons, recent research work focus on deriving composite materials that can degrade in soil after they are put in landfills, or composites that can be recycled.
This paper covers the new development in three new fields in composites: the first is the natural fibres reinforced plastics, the second is biocomposites, and the third is recyclable composite materials.

KEYWORD. composite materials, natural fibres reinforced plastics, biocomposites, recyclable composite materials, environment-friendly materials.