أعادة تدوير مرشحات الترسيب التالفة المستخدمة في منظومات تصفية المياه المنزلية ودراسة بعض خواصها الميكانيكية والحرارية

ميثاق محسن عبد

MEE1SA2012@GMAIL.COM

جامعة الفرات الاوسط التقنية / المعهد التقني كربلاء

الملخص :-

يهدف العمل الحالي أعادة تدوير مرشحات الترسيب التالفة Tainted Sediment Filters المستخدمة في منظومات تصفية وتحلية المياه المنزلية لتقليل التلوث البيئي الناتج عنها. في هذا البحث تم استخدام فلاتر الترسيب التالفة Tainted Sediment Filters كمادة مقوية للبوليستر الغير مشبع Unsaturated Polyester Resin ، حيث تم حساب النسبة المئوية للعوالق المترسبة في الفلتر وكانت 15% كنسبة وزنية بمتوسط حجم حبيبي مقداره 30 مايكروميتر. تم تثبيت نسبة المادة المقوية (ألياف بولي بروبلين + عوالق طينية مترسبة) بمقدار 12.5% كنسبة وزنية الى راتنج البوليستر الغير مشبع. هيأت العينات بشكلين هما (UPS+New Filter) و (UPS+ Tainted Filter) وتم مقارنة النتائج فيما بينها، حيث تم دراسة خواص الشد والانضغاط والانحناء والصدمة والصلادة مع دراسة خاصية التوصيل الحراري.أظهرت النتائج تحسن ملحوظ عند التقوية بالفلاتر التالفة ، حيث أرتفعت قيم الصلادة بنسبة 12% ومقاومة الشد بنسبة 18% ومقاومة الانحناء بنسبة 17% ومقاومة الانضغاط بنسبة 11 % ، بينما انخفضت مقاومة الصدمة بنسبة 25% ومتانة الكسر بنسبة 15%.أنخفضت ايضا قيمة الموصلية الحرارية بنسبة 20% تقريبا. من الممكن أستخدام هذه المادة في الكثير من التطبيقات كأغطية لمنهولات الصرف الصحي ، مقابض بلاستيكية و حاويات للتطبيقات الزراعية .

الكلمات المفتاحية: اعادة تدوير، مرشحات الترسيب، بولي بروبلين ، خواص ميكانيكية ، خواص حرارية .

RECYCLING OF TAINTED SEDIMENT FILTER USED IN WATER SYSTEMS AND STUDYING ITS MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES

Meethaq M. Abed

MEE1SA2012@GMAIL.COM

AL-Furat AL-Awsat Technical University, Karbala Technical Institute

ABSTRACT

The present work aims to recycling of tainted sediment filters that used in water purification and desalination in order to reduce the environment contaminations. In this research, the tainted Polypropylene sediment filters we are used as strengthening phase in unsaturated Polyester resin matrix.The percentage of sediment particles is 15% as percentage weight at average particle size is 30 µm.The percentage of strengthening phase is 12.5% (PP Fibers + Sediment Clay Particles) from UPS resin. The specimens are prepared as two types the first is (UPS+Tainted Filter) and the second is (UPS+New Filter)

Received : 16 – 3 - 2016
Accepted : 16 – 5 – 2016

then compare between the results .The tensile strength, compression strength, flexural strength, impact strength, hardness and thermal conductivity test were studied. The results showed that the hardness strength improved by to 12% percentage, tensile strength improved to 18% percentage, flexural strength improved to 17% percentage and compression strength improved to 11% percentage at tainted filter strengthening while the impact strength was decreased to 25% percentage and the fracture toughness to 15%. Also, thermal conductivity decrease by 20% percentage. We can use it in many applications such as sewer room cover, faucet handles and agricultural applications.

Key Words: Recycling, Sediment Filters, Polypropylene, Mechanical Properties, Thermal Properties.

المقدمة

أصبح مفهوم أعادة التدوير Recycling اليوم ثقافة شائعة لدى المجتمعات الانسانية نتيجة لتراكم النفايات الهائل بشتى انواعها سواء كانت معادن ، زجاج ، ورق ، مواد بلاستكية او أي مواد أخرى، وعلى الرغم من قِدم مفهوم "اعادة التدوير" الا انه اليوم وبشكل نسبي اصبح في وعي الناس والطبقة السياسية متعلقاً بحماية البيئة وقضايا أدارة النفايات ، كذلك اصبحت اليوم ازالة المواد البلاستيكية من الانهار والتجمعات المائية ومكبات النفايات تمتلك مساحات واسعة من الاهتمام البالغ [Vannessa G. 2007] ، وذلك لنتيجة تزايد الاستهلاك العالمي السنوي للمواد البلاستيكية من حوالي 5 مليون طن سنويا في الخمسينات ليصل الى 150 مليون طن سنويا في الوقت الحاضر [Dimitris S. 2012] ، ففي اوروبا مثلا وفي عام 1994م ، كمية المواد البلاستيكية المعاد تدويرها بلغ 6,4 % من اجمالي نفايات المستهلك وكان للبولي اثيلين الخطي والواطئ الكثافة النسبة الاكبر من مجموع المواد البلاستيكية المعاد تدويرها بنسبة 49% يليها البولي اثيلين عالي الكثافة بنسبة 19% ويحل البولي بروبلين بالمركز الثالث بنسبة 14% كما في **الشكل رقم(1)** [Clive Maier & Teresa C. 1998]. المرشحات Filters او فلاتر الترسيب هي واحدة من هذه النفايات البلاستيكية التي تلوث البيئة ، والتي تحتاج الى أعادة التدوير والتخلص منها حيث توصف هذه المرشحات او فلاتر الترسيب بانها كالشبكة Net تقوم بمسك الجسيمات Particles الكبيرة عند مرورها الى داخل الفلتر.تستخدم فلاتر الترسيب المصنوعة من الياف البولي بروبلين بأعداد هائلة جدا في منظومات تصفية المياه سواء كانت منزلية او غيرها ، حيث تستخدم في التصفية Clarification ، التنظيف Polishing ، الاختزال الحيوي Bio-Reduction ، ووظيفة الترشيح الابتدائي Pre-Filtiration في تصفية المياه Water Purification والصناعات الكيميائية ، وهي متوفرة بمعدلات أزالة مايكروية تبدأ بـ 0,5 مايكروميتر الى 70 مايكروميتر [Dalta Max^{TM} , 2005] .تُصنع فلاتر الترسيب بطريقة نفخ- المنصهر Melt-Blowing عبر باثقات مايكروية لانتاج الياف مايكروية يتراوح اقطارها من 2-0.3 مايكرومتر ، يمكن

استخدامها كمرشحات ، مواد ممتزة ، موانع للرطوبة وعوازل كما اشار الى ذلك Shipp. Jr وجماعته وهم المخترعون لهذه المادة [Shipp.Jr, et al 1978] . تكاد لاتوجد دراسات خاصة بأعادة تدوير او أستخدام فلاتر الترسيب التالفة الا ان استخدام الياف البولي بروبلين PP Fibers كمادة مقوية للارضيات المتصلدة بالحرارة Thermoset Matrix دُرس من قبل الباحث Paul J.Hogg ، حيث أستنتج الباحث بان الالياف المصنوعة من المواد المتلدنة بالحرارة Thermoplastic Fibers تزيد من المتانة Toughness عند تقوية المواد البوليمرية المتصلبة بالحرارة [Paul J. Hogg 2005]، كذلك فان الدراسات أشارت الى ان أستخدام كلا الصنفين لايجاد مادة مركبة تتمتع بخاصية خفة الوزن مع مقاومة جيدة وقابلة للتدوير Recyclabilityيكون شائع الاستخدام ضمن مفهوم " البوليمرات المقواة ذاتيا " Self–Polymer Reinforced [Andrzej K. et all 2010] . يعتبر راتنج البوليستر الغير مشبع Unsaturated Polyester resin أساس بوليمري جيد للمواد المتراكبة Composite Materials من حيث الكلفة وسهولة تشكيل النماذج فضلا عن خواصه الميكانيكية الجيدة كالشد ، الانضغاط والانحناء كذلك تمتعه بمتانة كسر عالية نسبيا [M. Davallo 2010] ، اما الياف البولي بروبلين فتعتبر هي الاخرى مفضلة جدا في صناعة بعض الاجزاء الداخلة في صناعة السيارات بسبب انخفاض كلفتها النسيبة ، خفة وزنها وطبيعتها الخاملة الا انه غالبا لا يستخدم الا مع الياف أخرى ذات جساء وخواص ميكانيكية افضل منه كالياف الزجاج مثلا وذلك لزيادة كفاءة المادة المنتجة [Renita S. and Derek E. Riley 2002].الدراسة الحالية ركزت على الجمع بين هذين الصنفين من البوليمرات وذلك لأتصاف الاول (بوليمرات متصلدة بالحرارة) بكونه سائل في درجة حرارة الغرفة قبل التصليد وهذا ما يجعله ينساب بشكل جيد ويتغلغل الى داخل مادة التقوية وهي الصنف الآخر من البوليمرات (بوليمرات متلدنة بالحرارة) التي تمتاز بحالتها الصلبة في درجة حرارة الغرفة اضافة الى كونها مادة قابلة للتدوير وتحتوي على جسيمات صلبة تساهم بدورها برفع بعض الخواص الميكانيكية المهمة.

الجزء العملي Experimental Part

هذا الجزء يصف الخطوات العملية المتبعة لإنجاز هدف البحث وهي كالاتي :

اولاً: المكونات الاساسية للمادة المتراكبة Components of Composite Materials

1.المادة الاساس (Matrix Material)

تم استخدام راتنج البولي استر غير المشبع (UPS) كمادة اساس في تحضير المواد المتراكبة البوليمرية والمصنع من قبل شركة (SIR) السعودية يكون هذا الراتنج على شكل سائل لزج شفاف وردي اللون عند

درجة حرارة الغرفة وهو احد انواع البوليمرات المصلدة حرارياً Thermosetting ، ويتحول هذا الراتنج من الحالة السائلة الى الحالة الصلبة وذلك بأضافة المصلد Hardener المصنع من قبل الشركة نفسها وهو عبارة عن (بيروكسيد مثيل اثيل كيتون) ويرمز له (MEKP) ويكون على شكل سائل شفاف يضاف الى راتنج البولي استر غير المشبع بنسبة 2% من الراتنج عند درجة حرارة الغرفة، ولزيادة سرعة التصلب تم استخدام مواد محفزة على التفاعل كعامل مساعد Catalyst تدعى المعجلات Accleration وهي كوبلت نفثاليت والتي تم مزجها مباشرةً مع الراتنج والمُصنع من قبل الشركة نفسها والمُحضر من تفاعل نفثويك اسيد مع الكوبلت اوكسايت وهو مادة غامقة اللون تكون بهيئة سائل وتضاف بقيمة 2 غرام لكل 100 غرام من الراتنج ، **والجدول (1-1)** يبين اهم خواص مادة البولي أستر غير المشبع المستخدمة في البحث وحسب مواصفات الشركة المنتجة.

2.مواد التقوية (Reinforced Materials)

تم أستخدام فلاتر الترسيب التالفة Tainted Filter (TF) وهي فلاتر مصنوعة من لدائن البولي بروبلين كطور تقوية للبوليستر الغير مشبع ، والمستخدمة في منظومات تصفية المياه المحلية في محافظة بابل والتي يتم اخراجها من المنظومة عند تجاوز الضغط التشغيلي لها ما مقداره 60 بار ، حيث تكون قيمة الضغط هذا مقياسا لتراكم الحد المسموح به من العوالق داخل الفلتر وبعد هذه القيمة من الضغط يتم رميها واتلافها ، كذلك تم جلب فلاتر جديدة New Filter (NF) ذات مواصفات متطابقة مع مواصفات الفلاتر التالفة من حيث المنشأ والشركة والمادة لكي تتم المقارنة بين النتائج. هذه الفلاتر تكون اسطوانية الشكل بطول 50 سم وقطر 10 سم وتحتوي على تجويف داخلي بقطر 2,5 سم كما في **الشكل رقم(2)** .

ثانياً: أجراء اختبارات أولية Principle Tests

3.حساب نسبة العوالق Sediment Material Percentage

تم فصل المواد العالقة (Sediment Materials) من الفلتر باستخدام حامض الهايدروكلوريك HCL بتركيز 100% وتحت درجة حرارة 70 سيليزي باستخدام جهاز التحريك المغناطيسي Magnet Stirer، حيث تم وضع كمية مجففة ذات وزن ابتدائي مقداره Wo من مادة الفلتر التالف في حاوية Beaker سعة 100 مللتر من الحامض. بعد مرور زمن مقداره 2 ساعة تم اخراج العينة وتنظيفها من الحامض وتجفيفها لمدة ساعة تحت درجة 90 سيليزي وحساب الوزن النهائي Wf ، ومن خلال الفرق في الاوزان تم استخراج النسبة المئوية للعوالق المترسبة داخل الفلتر وكانت 12,5% كنسبة وزنية ، يبين **الشكل رقم (3)** الادوات المستخدمة في عملية اذابة العوالق وشكل الفلتر التالف بعد عملية اذابة الترسبات العالقة فيه.

4. فصل المواد العالقة Separation of Sediment Materials

تم فصل المواد العالقة لغرض تحليل التركيب الكيميائي لمكوناتها بواسطة وضع الفلاتر التالفة في حاوية من الماء المغلي لدرجة 100 درجة مئوية وتحريك الفلتر بصورة ارتجاجية لغرض فصل العوالق والترسبات ومن ثم اجراء عملية الترشيح للسائل لغرض فصل العوالق ، يبين **الشكل رقم (4)** العوالق والترسبات الطينية بقوة تكبير 200 مرة باستخدام المجهر الضوئي.

5. أجراء فحص FTIR

تم اجراء هذا الفحص في مختبرات كلية هندسة المواد/جامعة بابل بواسطة جهاز مطيافية الاشعة تحت الحمراء موديل IRAffinity-1 تصنيع شركة SHIMADZU لغرض تحليل مادة الفلتر (البولي بروبلين) والتأكد من صفاتها التركيبية ، واظهر الفحص شدة الاصرة المنفردة لمادة البولي بروبلين PP وقيمتها 2889 بوحدات 1/سم ، ويبين الشكل رقم(6) مخطط فحص FTIR.

6. تحليل الحجم الحبيبي Particle Size Analyzer

تم أجراء هذا الاختبار للعوالق التي تم فصلها لغرض معرفة التدرج الحبيبي ، وأظهرت النتائج بأن التدرج الحبيبي يتراوح من 2,026 مايكرو ميتر بنسبة 10% الى 50,05 مايكرو ميتر بنسبة 90% ، **والشكل رقم (5)** يوضح نتائج الفحص.

7. حساب الكثافة Density

تم حساب الكثافة باستخدام جهاز حساب الكثافة موديل ، حيث كانت كثافة مادة الفلتر الجديد (NF) تساوي 0,1646 غرام/سم^3 وكثافة مادة الفلتر التالف (TF) تساوي 0,814 غرام/سم^3 ، وهنا نلاحظ ارتفاع كثافة مادة التقوية لوجود العوالق والترسبات الطينية.

8. أجراء فحص X-Ray Diffraction

تم اجراء هذا الفحص في مختبرات كلية هندسة المواد/جامعة بابل بواسطة جهاز الاشعة السينية X-Ray لغرض تحليل مادة الترسبات (العوالق) وأظهر الاختبار وجود عدد من الاكاسيد اهمها الكوارتز SiO_2 ، كالسايت$CaCO_3$ واطيان الكأولين Kaolinite، يبين **الشكل رقم (7)** نتائج فحص X-Ray .

ثانياً: تهيئة عينات الفحص Preparing Test Specimens

تم تهيئة عينات الفحص وفق المواصفات القياسية ASTM لجميع الاختبارات المستخدمة ولنموذجين لكل أختبار ،النموذج ألاول يمثل عينة من البوليستر الغير مشبع مقواة بمادة البولي بروبلين بنسبة 15% الماخوذ من الفلاتر الصالحة للاستخدام ويرمز لها بالرمز (UPS+NF) والنموذج الثاني عينة من البوليستر الغير مشبع مقواة بألياف البولي بروبلين الماخوذ من الفلاتر التالفة بنسبة 15% ويرمز لها بالرمز (UPS+TF) حيث تم تهيئة ثلاث عينات لكل نموذج وأخذ معدل القراءات.

ثالثاً: الاختبارات الميكانيكية Mechanical Test

تم أجراء اختبار الشد والانضغاط والانحناء تحت معدل حمل مقداره 5 نيوتن/دقيقة .**الجدول(1-2)** يوضح الاختبارات المستخدمة والمواصفات القياسية واشكال العينات وابعادها.

1- أختبار الشد Tension Test

2- أختبار الانضغاط Compression Test

3- أختبار الصدمة Impact Test

4- أختبار الانحناء Bending Test

5- أختبار الصلادة Hardness Test

رابعاً: اختبار الموصلية الحرارية Thermal Conductivity

تم اجراء اختبار الموصلية الحرارية بواسطة جهاز قياس معامل الموصلية الحرارية موديل YBF-3 الموضح **بالشكل رقم(8)** على عينات الاختبار بقطر 50 ملم وسمك 3 ملم.

النتائج والمناقشة Results and Discussion

أظهرت جميع الفحوصات الميكانيكية لكلا النموذجين ازديادا ملحوظا بالقيم الناتجة عند التقوية بمادة الفلاتر التالفة ، حيث ارتفعت قيمة مقاومة الشد من 10,63 ميكاباسكال الى 12,6 ميكاباسكال أي بنسبة 18% تقريبا وذلك يعود لمساهمة كل من الياف البروبلين والجسيمات الصلبة في تحمل القوى المسلطة عليها كما في **الشكل (7- أ)**.أما مقاومة الانضغاط فقد أرتفعت قيمتها من 41,7 ميكاباسكال الى 47 ميكا باسكال أي بنسبة 11% نتيجة تحمل الجسيمات الصلبة الى الحمل الانضغاطي كما في **الشكل (7- ب)** ، كذلك أزدادت قيمة مقاومة الانحناء من 1,654 ميكاباسكال الى 2 ميكاباسكال أي بنسبة 17% وذلك بسبب

الترابط الحاصل بين الجسيمات الصلبة من جهة وبين المادة الرابطة من جهة اخرى أضافة الى خاصية الترطيب العالية Wettability للجسيمات الصلبة التي تزيد من ترابط المادة المركبة كما في **الشكل (7-ج)** ، ارتفعت ايضا قيمة الصلادة 10,63 الى 12,6 على مقياس Shore D اي بنسبة 12% كما في الشكل **(7 – د)** وذلك لوجود الجسيمات الصلبة التي تقوم بحمل جزء من القوة المسلطة على النموذج. من جهة أخرى نلاحظ أنخفاض قيمة مقاومة الصدمة من 2,5 كيلوجول/متر^2 الى 2 كيلوجول/متر^2 اي بنسبة 25% كما في الشكل **(7-هـ)** وهذا ادى بدوره الى انخفاض متانة الكسر Fracture Toughness من 76,57 ميكاباسكال*متر^{0,5} الى 66,57 ميكاباسكال*متر^{0,5} اي بنسبة 15 % كما في الشكل **(7- و)** ، حيث يُعلل هذا الانخفاض الى وجود العوالق الطينية نفسها التي تحد من التصاق ألياف البولي بروبلين مع الطور الاساس وتكون على شكل طبقة فاصلة بينهما تقلل الطاقة اللازمة للكسر فتكون بذلك مركزا مرشحا لبداية حدوث الفشل ونمو الشق لذا تميل المادة الناتجة نحو الانهيار السريع امام الاحمال المفاجئة. أما مايتعلق بخاصية التوصيل الحراري فقد أظهرت النتائج أنخفاض قيمة معامل التوصيل الحراري K من 0,673 واط/متر x درجة سيليزي للعينة المقواة بمادة الفلتر الجديد الى 0,536 واط/متر x درجة سيليزي للعينة ذات الفلتر التالف ، اي بنسبة 20% تقريبا، وبذلك تزداد خاصية العزل الحراري والتي تتعتبر مهمة جدا في الكثير من التطبيقات الهندسية **ويبين الشكل (8)** نتائج اختبار الموصلية الحرارية .

الاستنتاجات

1- أظهرت النتائج ارتفاع قيم المقاومة عند التقوية بمرشحات الترسيب التالفة Tainted Filter لكل من مقاومة الشد ، مقاومة الانضغاط ،الصلادة ومقاومة الانحناء .

2- أنخفضت قيمة مقاومة الصدمة عند التقوية بمرشحات الترسيب التالفة Tainted Filter وذلك لوجود العوالق الصلبة التي تكون على شكل مراكز لتوليد ونشوء الشقوق المايكروية.

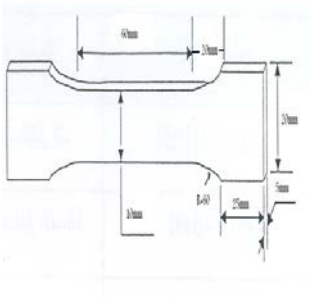
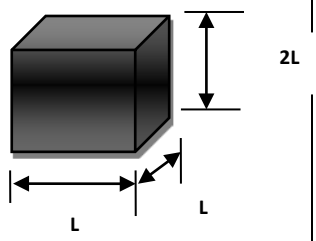
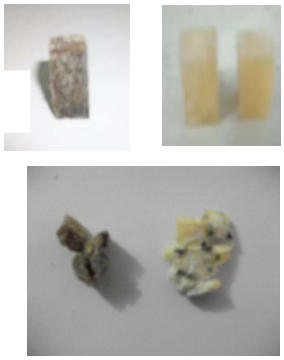
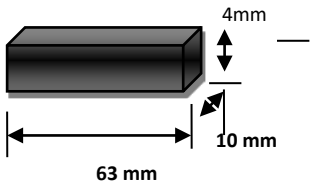
3- انخفضت قيمة متانة الكسر عند التقوية بمرشحات الترسيب التالفة Tainted Filter بنسبة 25% عن تلك المقواة بالمرشحات الجديدة الا انها تزداد بشكل كبير جدا عند المقارنة مع البوليستر الغير مشبع النقي.

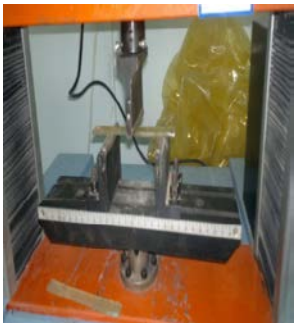
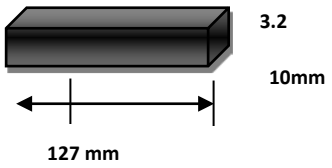
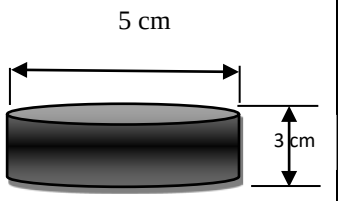
4- انخفضت خاصة العزل الحراري عند التقوية بمرشحات الترسيب التالفة Tainted Filter بنسبة 20% تقريبا وذلك لارتفاع قيمة معامل التوصيل الحراري (λ).

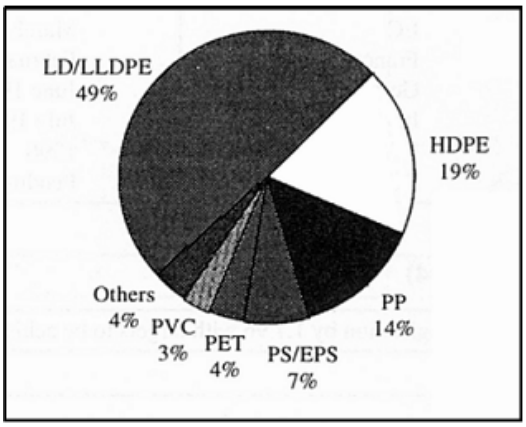
الجدول (1-1) يبين خصائص مادة البولي أستر غير المشبع حسب مواصفات الشركة المنتجة.

Density gm / cm^3	Thermal conductivity w/m.c°	Specific Heat J/ kg. k	Coefficient of thermal expansion $10^{-6}(c°)^{-1}$	Fracture Toughness MPa-$m^{0.5}$	Tensile strength MPa	Percent Elongation (EL%)	Modulus of elasticity GPa
1.2	0.17	710-920	100-180	0.6	41.4-89.7	< 2.6	2.06-4.41

الجدول (1-2) الاختبارات المستخدمة والمواصفات القياسية واشكال العينات وابعادها

Test	Machine	Standard	Figure of machine	Dimension of sample	Figure of specimen
Tension	WDW – 5E Microcomputer controlled Electronic Universal Testing Machine	ASTM D638-87			
Compression	WP310 Universal Material Tester 50 KN	ASTM D695			
Impact	Charpy Tension Impact testing machine	ASTM D256-87			

Bending	WDW – 5E Microcomputer controlled Electronic Universal Testing Machine	ASTM D790			
Hardness	Hardness Shore D	SHORE D			



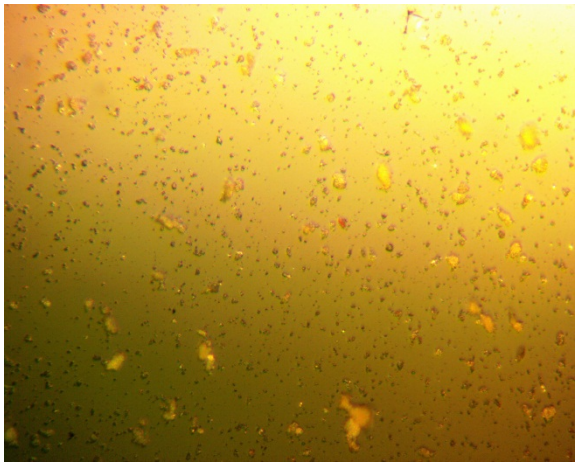
شكل رقم (1): المواد البلاستيكية المعاد تدويرها في اوروبا عام 1994م.

(أ)

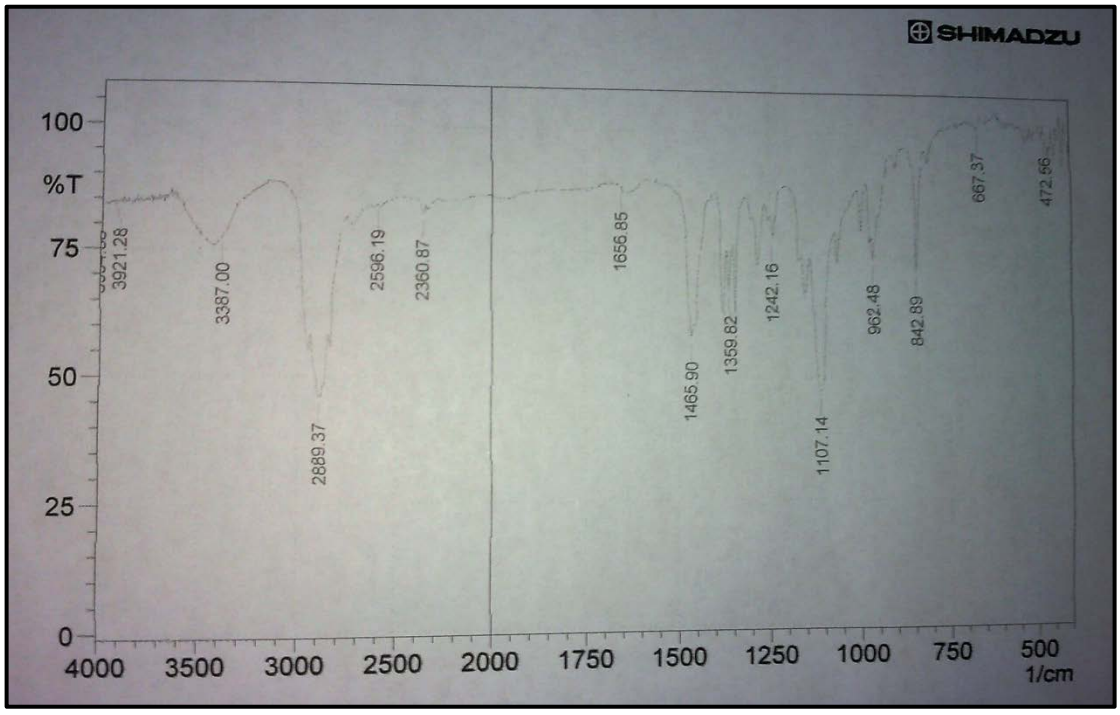
(ب)

شكل رقم (2) أ- فلاتر البولي بروبلين الجديدة ب- فلاتر البولي بروبلين التالفة

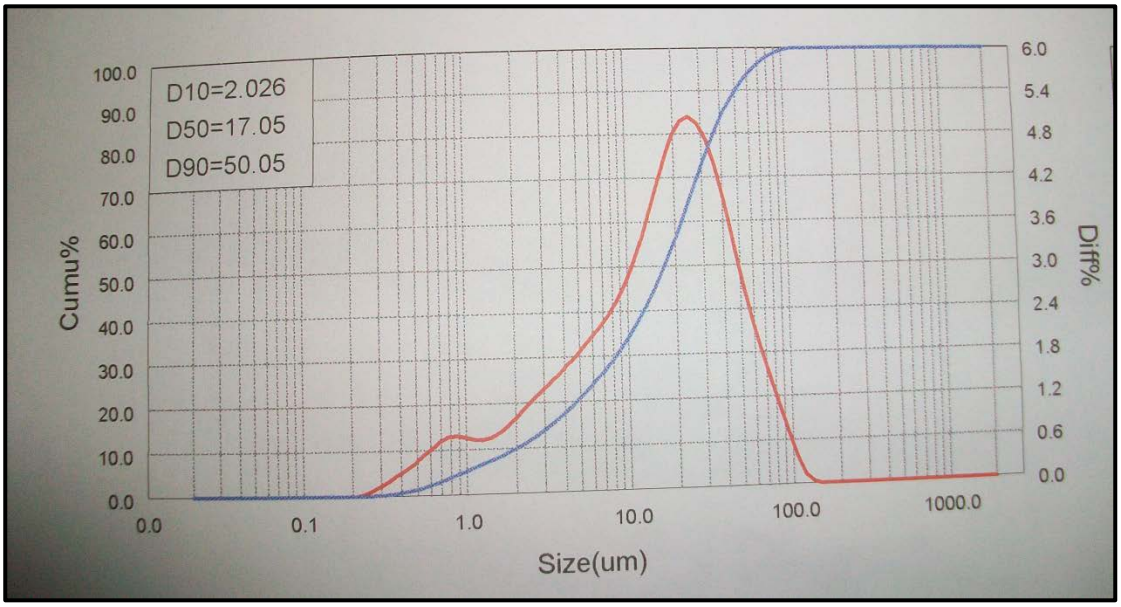
شكل رقم (3) الادوات المستخدمة في عملية اذابة الترسبات والعوالق الطينية و شكل الفلتر التالف قبل وبعد الاذابة .



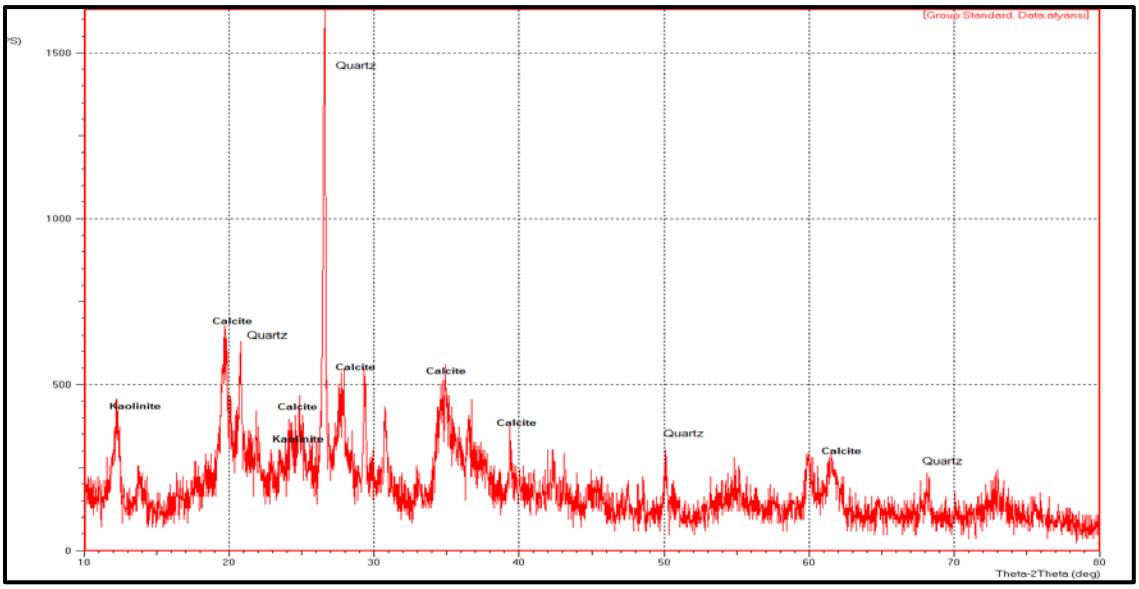
شكل رقم (4) العوالق والترسبات الطينية بقوة تكبير 200X



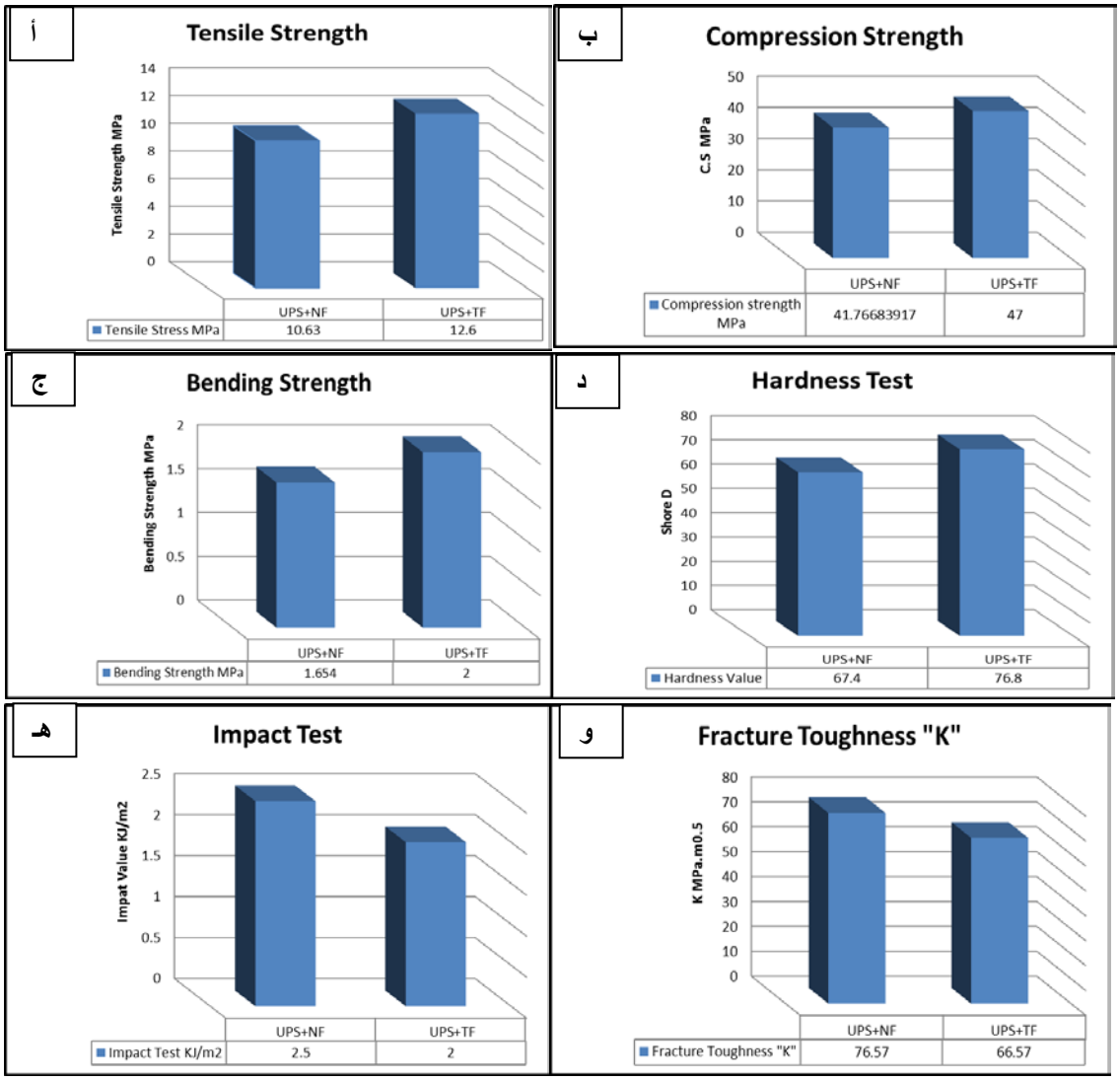
شكل رقم (5) فحص FTIR لمادة فلاتر البولي بروبلين



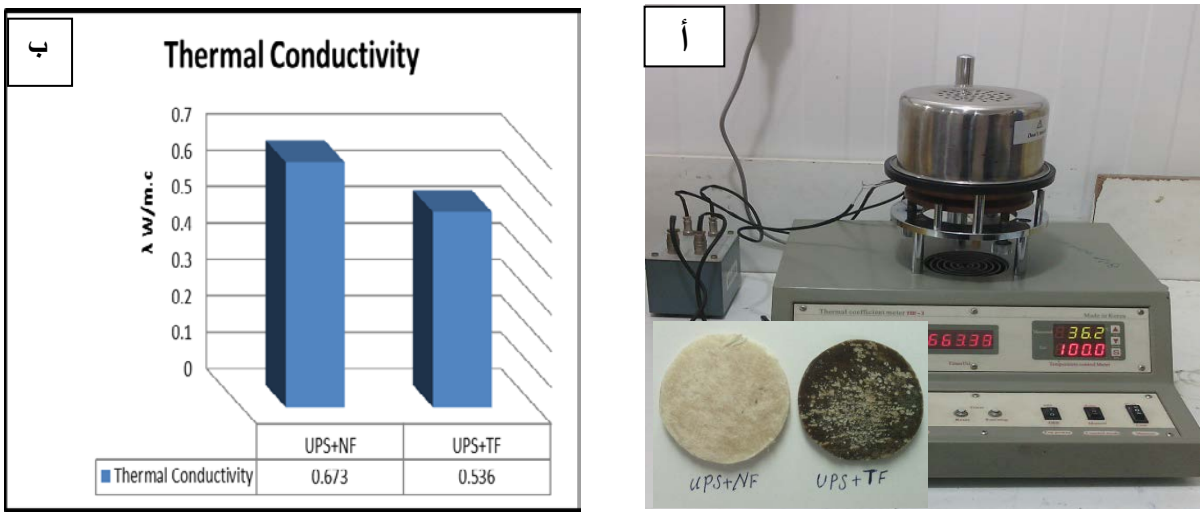
شكل رقم (6) تحليل الحجم الحبيبي للعوالق والترسبات الطينية



شكل رقم (7) فحص X-Ray للترسبات (العوالق) .



شكل رقم (8) نتائج الاختبارات الميكانيكية لكلا النموذجين UPS+NF وUPS+TF



شكل رقم(9) أ–جهاز اختبار معامل التوصيل الحراري ب– نتائج معامل التوصيل الحراري

المصادر

Andrzej K. Bledzki, Angela Ries & Daniel Pabmann" Functional graded self-reinforced polypropylene sheets" , Scientific Conference of Polymer Materials Pomerania — Plast 2010", Kolobrzeg, 8—11 June 2010.

ASTM Standard D638-87 " Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics" ASTM International, West Conshohocken, PA 19428-2959, D20.10,2002.

ASTM Standard D695-02a "Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics" ASTM International, West Conshohocken, PA 19428-2959, D20.10,2002.

ASTM Standard D256-05a "Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics" , ASTM International, West Conshohocken, PA 19428-2959, D20.10,2005.

ASTM Standard D790-02 "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials" ASTM International, West Conshohocken, PA 19428-2959, D20.10,2002.

Clive Maier & Teresa Calafut " Polypropylene" , plastic design library, chapter -10, page-75, 1998.

Dalta Max™, All-polypropylene depth filter cartridge,Product news Elsevier,2008: ISBN: 0015-1882, Volume 42, Issue 1, January–February 2005, Pages 13.

Dimitris S.Achilias "Material Recycling-Trends and Perspectives" ,In Teach,2012.

M. Davallo, H. Pasdar, M. Mohseni " Mechanical Properties of Unsaturated Polyester Resin" , International Journal of ChemTech Research, Vol.2, No.4, pp 2113-2117,oct-2010.

Paul J. Hogg" Toughening of thermosetting composites with thermoplastic fibres" Elsevier, Materials Science and Engineering A 412 ,97–103,2005.

Renita S. Jones, Ph.D. & Derek E. Riley, C. Eng. " A New Self-Reinforced Polypropylene Composite", SPE Automotive Composites Conference September 12 & 13 ,2002.

Shipp.Jr, et al." Melt-Blown Material with Depth Fiber Size Gradient", Patent, 1978.

Vannessa Goodship ," Introduction to Plastics Recycling" , Second edition,Smithers Rapra Technology Limited, 2007.