



تأثير اضافة كبريتات الحديد النانوية على بعض خصائص النفايات البلاستيكية من البولي ستايرين تحت تأثير العامل الفيزيائي الحراري

رشيد محمود يوسف

احمد نوري محمود

عبد الله رياض محمد

قسم علوم البيئة/ كلية علوم البيئة وتقاناتها/ جامعة الموصل

p-ISSN: 1608-9391
e-ISSN: 2664-2786

Article information

Received: 28/7/2022

Revised: 5/9/2022

Accepted: 15/9/2022

DOI:

[10.33899/rjs.2025.189227](https://doi.org/10.33899/rjs.2025.189227)

corresponding author:

عبدالله رياض محمد

Abdallah20evp12@student.uomosul.edu.iq

المخلص

في هذا البحث، تم تصنيع نماذج من مادة متراكبة بوليمرية المادة الاساس (PMCs) ذات الاساس البولي ستايرين المدعمة بكبريتات الحديد النانوية ($FeSO_4$) وبنسب وزنية (5، 10، 15، 20، 25)%. عرضت النماذج الى درجات حرارة محددة (40، 60، 80) درجة مئوية ولفترات زمنية محددة (3، 6، 9) ساعة. خضعت النماذج المحضرة لفحوصات الصلادة السطحية ومقاومة الصدمة، لاختبار قدرة تلك النماذج على تحمل المؤثر الفيزيائي الحراري. اختلفت قيم الصلادة والصدمة للنماذج باختلاف درجة الحرارة وايضا مع فترة تعريض النماذج للمؤثر الفيزيائي الحراري. أظهرت النتائج زيادة قيم الصلادة السطحية عند اضافة مادة كبريتات الحديد النانوية الى البولي ستايرين بتركيز 20% تحت تأثير درجة حرارة 80م°، وسجلت مقاومة الصدمة اعلى قيمة عند اضافة المادة النانوية بنسبة 20% عند التعريض لدرجة حرارة 40م° لمدة 3 ساعات استنادا الى معاملة السيطرة، بينما بدأت هذه القيم بالتناقص عند زيادة نسبة كبريتات الحديد النانوي المضافة الى 25%. بينت نتائج تحليل طيف حيود الاشعة السينية وصور المجهر الالكتروني الماسح بدء تحلل البولي ستايرين المدعم بمادة كبريتات الحديد النانوية بتركيز 20% والمعامل بدرجة حرارة 60م°.

الكلمات الدالة: كبريتات الحديد النانوية، البولي ستايرين، الخواص الميكانيكية، الاشعة السينية، المجهر الالكتروني الماسح.

المقدمة

ان استهلاك المواد البلاستيكية كبير ويزداد باستمرار بسبب المزايا المستمدة من تنوعها (Emadian *et al.*, 2017). تمتاز المواد البلاستيكية بصفة التحلل البطيء في الطبيعة، حيث تحتاج الى أكثر من 500 سنة تقريبا لإتمام التحلل، إضافة الى ان عملية تحلل قسم من هذه المواد يكون مصحوبا بانطلاق الغازات الخطيرة، وبذلك يعد التلوث البلاستيكي تهديدا خطيرا للبيئة والكائنات الحية. توجد اليوم عدة طرق تهدف الى تعجيل وتيرة التحلل ومنع انبعاث الغازات السامة خلال التحلل، هناك أربع آليات يتحلل من خلالها البلاستيك: التحلل الضوئي Photodegradation، التحلل بالأكسدة الحرارية Thermooxidative degradation، التحلل المائي Hydrolytic degradation والتحلل البيولوجي Biodegradation. ويمكن ان تستغرق هذه الآليات وقتا طويلا حتى يكتمل التحلل (Andrady, 2011). حديثا تم اللجوء الى طرق للتسريع من عملية تحلل البلاستيك وهي المعالجة بالمركبات النانوية (Getor *et al.*, 2020). يمكن ان تؤدي تطوير تقنيات التحلل المحفز بإضافة المواد النانوية الى المواد البلاستيكية الى جودة انظمة بيئية مستدامة، لأنها لا توفر فقط التخلص المناسب من النفايات القائمة على البوليمرات الاصطناعية، ولكنها ايضا تضمن معالجة النفايات بموارد منخفضة التكلفة وسهولة تحضيرها والحصول عليها. اثبتت العديد من البحوث والدراسات على ان المادة النانوية تمتاز بقدرتها الفائقة على تغير خواص المادة الأساس (Liu *et Bhat et al.*, 2021; *al.*, 2022). كشفت عدد من الدراسات عن جانب جديد من قابلية الجسيمات النانوية الفريدة في تعزيز تحلل المواد البلاستيكية، الذي يعتمد على قابلية المواد النانوية على تغير الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للبوليمرات (Mona *et al.*, 2016)، وان هذا التغير في الخواص قد جعل البلاستيك اكثر عرضة للتحلل بالأكسدة الحرارية او الضوئية او التحلل البيولوجي، وان الحرارة هي احدى العوامل التي تسرع من عملية التحلل للمواد البلاستيكية المدعمة بالمواد النانوية، وبذلك يمكن وضع تقنية النانو كبديل للإسهام في استعادة النفايات البلاستيكية وإعادة استخدامها مرة اخرى او تغير خواصها لجعلها اكثر عرضة للتحلل بالمؤثرات البيئية، وبالتالي تحل مشكلة تراكم النفايات البلاستيكية في البيئة (Dicastillo *et al.*, 2020) ومع ذلك، فإن عدد المركبات النانوية المدمجة بالنفايات البلاستيكية المعاد تدويرها بعد الاستهلاك أو اضافتها اثناء عملية تصنيع البلاستيك ضئيل للغاية. الهدف من الدراسة هو تدعيم نفايات البلاستيك المصنوعة من البولي ستارين بنسب وزنية معينة من كبريتات الحديد النانوي ومن ثم تعريضه لمؤثر فيزيائي حراري عند درجات حرارية معينة ولفترات زمنية محددة، للتوصل الى مدى قابلية المادة النانوية من تغير خصائص البولي ستارين لجعله أكثر قابلية للتحلل عند تعرضه للظروف البيئية الخارجية.

المواد وطرائق العمل

تحضير النماذج

تم تصنيع قوالب من الواح الالمنيوم بسمك (1mm)، واعتمدت ابعاد النماذج المصنعة بالقياسات (120×10×10) ملم، كما موضحة في الشكل (1).



Fig. 1: A model of the manufactured aluminum mold.

استخدمت الاكواب البلاستيكية الشفافة المصنوعة من البولي ستايرين كمادة اساس. ثم تم خلط كبريتات الحديد النانوية (المصنعة من قبل شركة CDH الهندية بحجم حبيبي 50 ± 5 نانومتر) مع قطع الاكواب البلاستيكية المفرومة خلطا جيدا الى ان يتجانس الخليط، ثم يسخن على مصدر حراري مع الاستمرار بالخلط الى ان يذوب، بعدها يصب في القوالب المصنعة. بعد اتمام عملية تصلب النماذج المصنعة، يعامل النموذج بأوراق تتعيم من نوع كاربيدات السليكون وبدرجات حبيبية (400، 1000، 2000) على التوالي، وتتم عملية التتعيم بورق التتعيم الاكثر خشونة اولا ومن ثم الاقل فالأقل، تتم عملية التتعيم لغرض الحصول على انتظام سطوح النماذج قبل اجراء الفحوصات، كما موضح في الشكل (2).



Fig. 2: One of the manufactured models is shown after surface treatment.

لدراسة تأثير العامل الفيزيائي الحراري، وضعت النماذج المصنعة من البولي ستايرين والمدعمة بالمادة النانوية كبريتات الحديد في الفرن الكهربائي من نوع Dinder الماني المنشأ الشكل (3). عرضت النماذج لدرجات حرارية محددة (40، 60، 80) درجة مئوية لأوقات زمنية محددة (3، 6، 9) ساعة.



Fig. 3: Image of the electric oven used to expose models to the thermal physical effect.

الفحوصات التي اجريت على النماذج

اجريت الفحوصات الميكانيكية في مختبر فحص المواد/ قسم الميكانيك/ كلية الهندسة / جامعة الموصل.

الصلادة السطحية Hardness: قيس صلادة النماذج المصنعة باستخدام جهاز قياس الصلادة (Shore Durometer) ياباني المنشأ من نوع S.S.N الشكل (4). يحدد الجهاز قيمة صلادة النموذج مباشرة عن طريق احداث وخز بواسطة ابرة على سطح النموذج ومن ثم يعطي الجهاز القراءة مباشرة (Wu et al., 2022).



Fig. 4: The device used to determine the surface hardness values of manufactured specimens.

مقاومة الصدمة Impact strength: استخدم جهاز الصدمة من نوع جاري (Charpy impact test instrument) امريكي المنشأ لقياس مقدار تحمل النماذج للصدمة الشكل (5). ان مبدأ عمل فحص مقاومة الصدمة يعتمد على ان الطاقة الكامنة الموجودة في المطرقة يتم امتصاصها من النموذج قبل حدوث الكسر، وان هذه الطاقة الممتصة تعتمد على طبيعة المكونات الداخلة في صناعة المادة المتراكبة ومدى قدرتها على مقاومة الاجهاد الخارجي المسلط عليها (Yee Albert, 1987).

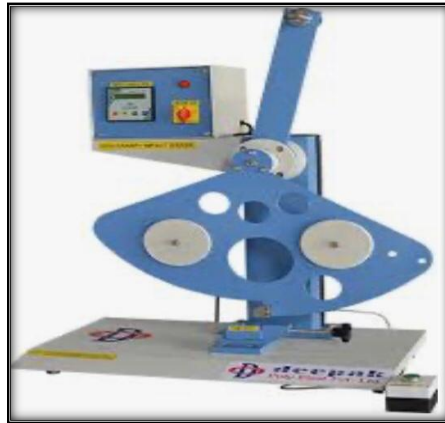


Fig. 5: Shock resistance measuring device image.

حيود الاشعة السينية X-Ray Diffraction

استخدم جهاز حيود الاشعة السينية (XRD) لدراسة الطبيعة البلورية للمادة عبر تفاعل الموجات الكهرومغناطيسية مع التراكيب البلورية التي تتسبب في حيود هذه الموجات التي تمتلك اطوالا موجية مقارنة للمسافات بين الذرات في البلورة (Ronavari *et al.*, 2021).

فحص المجهر الالكتروني الماسح Scanning Electron Microscope

تم اخذ صور لطوبوغرافية سطح نماذج المادة الاساس البولي ستايرين المدعمة بالمادة النانوية $FeSO_4$ والمعاملة بدرجة حرارة $60^\circ C$ لفترة زمنية 9 ساعات، باستخدام المجهر الالكتروني الماسح (SEM).

النتائج والمناقشة

الصلادة السطحية Hardness

يلاحظ من الاشكال (6، 7، 8) اختلاف قيم الصلادة السطحية لنماذج البولي ستايرين المدعمة بالمركب النانوي $FeSO_4$ باختلاف نسبها الوزنية المستخدمة واختلاف الفترات الزمنية للتعرض للعامل الفيزيائي الحراري.

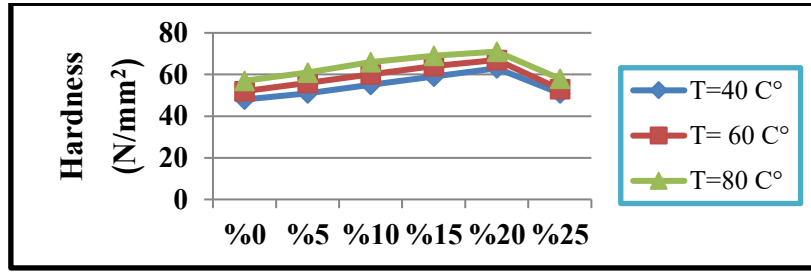


Fig. 6: Hardness of the prepared samples as a function of the nano addition ratios of FeSO₄ for a heat treatment time of 3 hours.

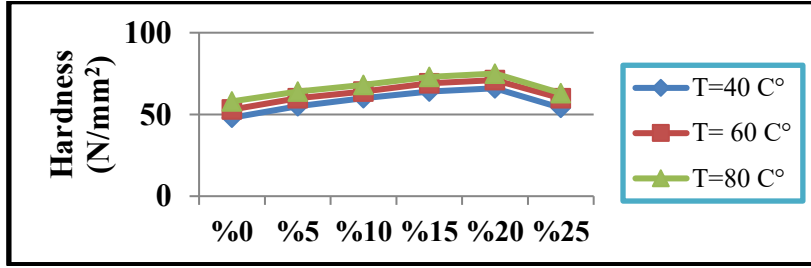


Fig. 7: Hardness of the prepared samples as a function of the nano addition ratios of FeSO₄ for a heat treatment time of 6 hours.

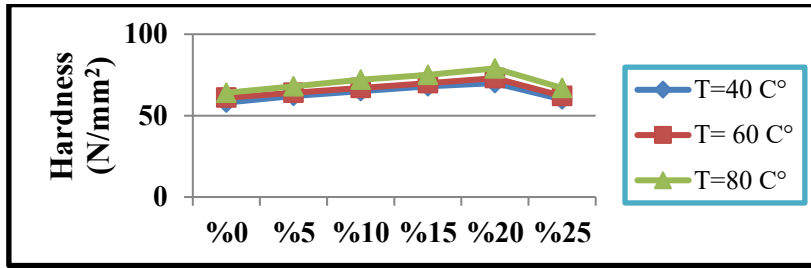


Fig. 8: Hardness of the prepared samples as a function of the nano addition ratios of FeSO₄ for a heat treatment time of 9 hours.

تشير البيانات في الاشكال السابقة الى اختلاف قيم الصلادة السطحية لنماذج المادة الاساس البولوي ستايرين باختلاف النسب الوزنية للمادة النانوية المضافة والاقوات الزمنية للتعرض لدرجات الحرارة. وجد ان اضافة مركب FeSO₄ النانوي الى مادة البولوي ستايرين (تركيز 20% ولمدة 9 ساعات تعريض لدرجة حرارة 80°م) اعطى اعلى قيمة للصلادة السطحية التي بلغت 79N/mm² استنادا الى نموذج البولوي ستايرين غير المدعم بالمادة النانوية (معاملة السيطرة) والذي سجل قيمة صلادة بلغت 64N/mm²، ويعود سبب هذا الى قابلية انتشار المادة النانوية بشكل متجانس داخل المادة الاساس عند تلك الدرجة الحرارية، حيث يشير مصطلح الصلادة الى مقدار قدرة المادة على مقاومة احداث اثر على سطحه، وهذا يعود الى طبيعة التماسك والتلاصق والشد السطحي الناتجة من لزوجة وكثافة هذه المادة فضلا عن انتشار المادة النانوية بشكل متجانس داخل المادة الاساس عند تلك الدرجات الحرارية، في حين سببت التراكيز العالية من المادة النانوية (25%) وعند زيادة درجة الحرارة اكثر من 40°م الى تناقص قيم الصلادة السطحية للبولوي ستايرين (Fraha *et al.*, 2020)، حيث ان المواد تكون لها قدرة محددة على احتواء المؤثر الفيزيائي الحراري اي ان هناك قيم المؤثرات يمكن لهذه المواد التعامل معها وان اعلى من هذا المدى سوف يكون للمؤثر تأثير سلبي مسببا تناقص تلك القيم، قد يعود ذلك الى زيادة كتل المادة النانوية التي لا تصمد بدورها امام اختراق الاجسام الاكثر صلادة (Alam *et al.*, 2015).

مقاومة الصدمة Impact strength

توضح الاشكال (9، 10، 11) مقدار التغير الحاصل في قيم مقاومة الصدمة لمادة الاساس البولوي ستارين المدعمة بالمادة النانوية FeSO₄ وبنسب وزنية محددة عند درجات حرارة ولفترات زمنية محددة.

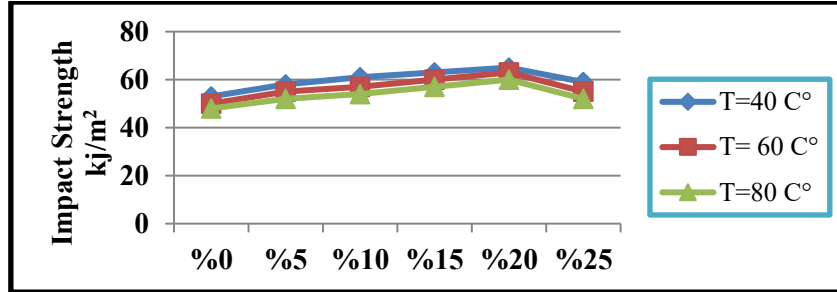


Fig. 9: Shock resistance of the prepared specimens as a function of FeSO₄ nano addition ratios for a heat treatment time of 3 hours.

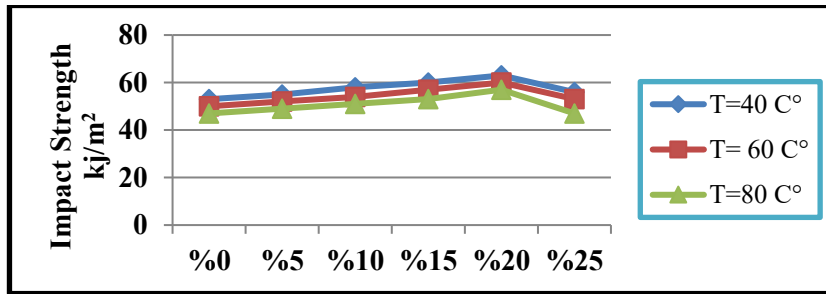


Fig. 10: Shock resistance of the prepared specimens as a function of nano addition ratios of FeSO₄ for a heat treatment time of 6 hours.

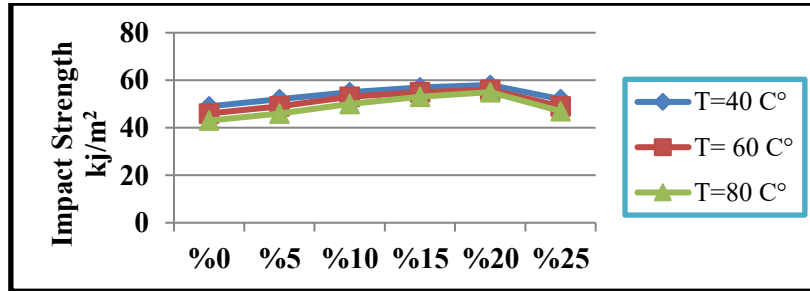


Fig. 11: Shock resistance of the prepared specimens as a function of nano addition ratios of FeSO₄ for a heat treatment time of 9 hours.

يلاحظ من الاشكال السابقة ان مقاومة الصدمة للبولوي ستارين المدعم بالمادة النانوية ازدادت عن البولوي ستارين غير المدعم عند جميع درجات الحرارة ولفترات زمنية مختلفة. يلاحظ ايضا ان مقاومة الصدمة تتناقص مع زيادة درجة الحرارة ومع زيادة فترة التعريض للحرارة. اعطى التركيز 20% للمادة النانوية اعلى مقاومة صدمة عند درجة حرارة 40°C و زمن تعريض 3 ساعات بلغت 65kJ/m² مقارنة ببقية المعاملات المستخدمة. ان خاصية مقاومة الصدمة هي احدى الخصائص الميكانيكية التي تتصف بها المواد البوليميرية المترابطة، والتي تتمثل بقدرة المادة على امتصاص كمية الطاقة المجهزة لها بفعل مؤثر خارجي. لأجل جعل المادة ذات مقاومة صدمة عالية، لابد من استيعاب الطاقة المجهزة لها بشكل سريع، اضافة الى قابلية المادة على توزيع الطاقة داخل المادة ومنع تركزها في نقاط محددة (Yang et al., 2021). ان سبب زيادة مقاومة الصدمة عند اضافة المادة النانوية يعزى الى التشبث المتجانس للحبيبات النانوية في المادة الاساس البولوي ستارين وهذا يسهل التشوه اللدن، لذلك اثناء

تعرض المادة للكسر فان الاجهاد اللازم لبدء تكوين الشقوق المايكروية في المادة الاساس سيكون أكبر وطاقة الصدمة سوف تمتص بشكل كبير من قبل التشوه اللدن الذي يحصل بسهولة حول الحبيبات النانوية. في حين سببت اضافة المادة النانوية بنسبة 25% انخفاض في مقاومة الصدمة خاصة عند درجة حرارة 60°م و80°م، ويمكن تفسير ذلك بالاعتماد على ميل الحبيبات النانوية الى التكتل عند نسب الاضافة العالية وعند زيادة درجة الحرارة وهذا بدوره يولد حالة من التشتت غير المتجانس مولدا مناطق تركز الاجهاد والتي تبدا عندها الشقوق المايكروية، لذلك كلما زاد تكتل الحبيبات كلما سبب نقاط ضعف بالمادة وبذلك فان الاجهاد المطلوب لكسر المادة سيكون اقل وبالنتيجة تقل مقاومة الصدمة وبالتالي يسهل تحلل المادة البلاستيكية البولي ستايرين عند تعرضه للمؤثرات البيئية الخارجية (Carmichael and Arulraj, 2021).

فحص حيود الاشعة السينية X-Ray Diffraction

يلاحظ من الشكل (12) تحليل طيف الاشعة السننة للنماذج المحضرة من: المادة الاساس، النهر، ستارين (معاملة السيطرة) وكما

موضح بالجدول (1).

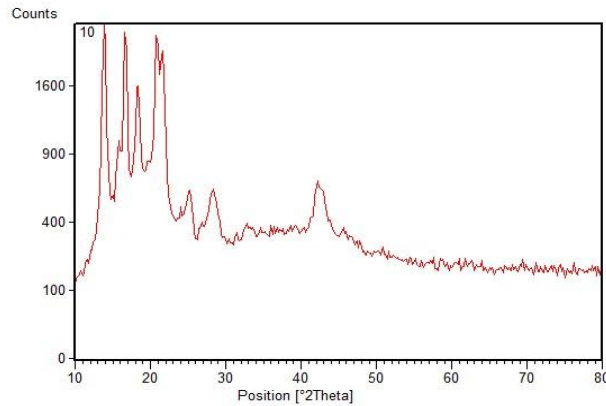


Fig. 12: X-ray spectrum of polystyrene base material.

Tble 1: X-ray spectrum of polystyrene base material.

Peak Search Report (11 Peaks, Max P/N = 22.6)								
[1162AR#10#20220330-084747_200.mdj] XRD SSC 30KV/20mA Slit:1deg & 1deg &. 2mm Monochromator: ON								
Ts-Td 200								
PEAK: 13-pts/Parabolic Filter, Threshold=3.0, Cutoff=0.1%, BG=3/1.0, Peak-Top=Summit								
2-Theta	d(nm)	BG	Height	I%	Area	I%	FWHM	XS(nm)
13.825	0.64002	201	2219	100	9483	71.1	0.727	11
16.623	0.53286	240	2054	92.6	10373	77.8	0.859	9
18.359	0.48285	260	1338	60.3	7607	57.1	0.967	8
20.848	0.42574	281	1972	88.9	13331	100	1.149	7
25.166	0.35358	307	302	13.6	1700	12.8	0.957	8
28.374	0.31429	316	301	13.6	1997	15	1.128	7
32.821	0.27265	316	81	3.7	422	3.2	0.886	9
36.255	0.24757	307	73	3.3	218	1.6	0.508	16
38.611	0.23299	298	84	3.8	646	4.8	1.307	6
42.211	0.21391	280	403	18.2	3329	25	1.404	6
45.618	0.1987	259	114	5.1	540	4.1	0.805	10

يشير الشكل (13) الى الحصول على نفس الملاحظات التي رصدت في نموذج المادة الاساس، وهذا يعني غياب تأثير $FeSO_4$ عند درجة 40°م اي ان المادة الاساس حجبت تأثير المادة النانوية باتحادها معه بحيث لا يمكن تميز أثر له. من الملاحظات المهمة هو ارتفاع قيمة الخلفية وان هذا الارتفاع قد يحتوي بداخله اطوار المادة المضافة وبما ان هذه الاطوار ضعيفة فأنها سوف تكون مخفية داخل الخلفية وكما موضح في الجدول 13.

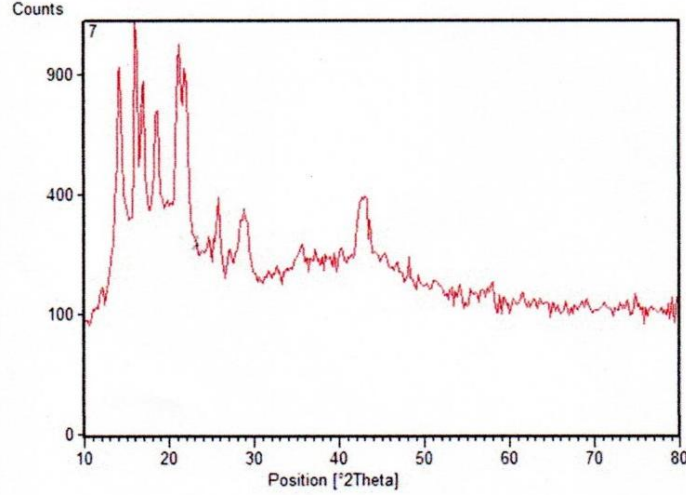


Fig. 13: X-ray spectrum of the base material material supported by 20 wt% $FeSO_4$ nanocomposites at 40°C for 9 hours.

Table (13): X-ray spectrum of the base material material supported by 20 wt% $FeSO_4$ nanocomposites at 40°C for 9 hours.

13Peak Search Report (13 Peaks, Max P/N = 12.0)								
[1162AR#7#20220330-081835_200.mdi] XRD SSC 30KV/20mA Slit:1deg & 1deg &. 2mm Monochromator: ON								
Ts-Td 200								
PEAK: 11-pts/Parabolic Filter, Threshold=3.0, Cutoff=0.1%, BG=3/1.0, Peak-Top=Summit								
2-Theta	d(nm)	BG	Height	I%	Area	I%	FWHM	XS (nm)
12.001	0.73683	96	54	6.5	177	7.2	0.557	14
14.126	0.62645	285	652	78.5	2253	91.7	0.587	13
16.082	0.55068	363	831	100	1879	76.5	0.384	21
18.537	0.47827	375	357	43	967	39.4	0.46	17
21.218	0.41838	366	697	83.9	2456	100	0.599	13
25.739	0.34583	208	186	22.4	444	18.1	0.406	20
28.807	0.30966	196	158	19	955	38.9	1.028	8
35.576	0.25214	184	68	8.2	380	15.5	0.95	8
37.173	0.24167	188	51	6.1	212	8.6	0.707	12
42.927	0.21051	228	169	20.3	1176	47.9	1.183	7
54.106	0.16936	117	39	4.7	99	4	0.432	21
57.881	0.15918	110	51	6.1	201	8.2	0.67	13
74.875	0.12671	95	42	5.1	128	5.2	0.518	19

يلاحظ من الشكل (14) ان نفس الملاحظات التي ظهرت في نموذج المادة الاساس ظهرت في هذا النموذج من حيث اطوار الاساس والاطوار الثانوية. الملاحظة البارزة في هذا الطيف هو زيادة عرض الشدة وهذا يعني زيادة الاحجام الكمية والتي يمكن ان تكون قد انتقلت من مرحلة النانومتر الى مرحلة المايكروميتر. وبذلك يمكن الاستنتاج ان حزم الطاقة قد أثر على طيف المادة ومن الممكن ان تكون بداية ايجابية لتوفير محتوى طاقة قابل للخرن ضمن المادة وكما وضع أيضا في الجدول (14).

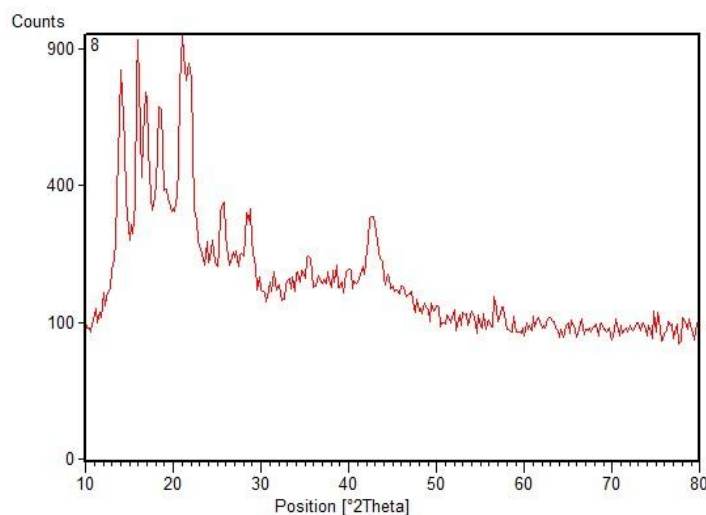


Fig. 14: X-ray spectrum of the base material supported by 20 wt% FeSO₄ nanocomposites at 60°C for 9 hours.

Table: 14: X-ray spectrum of the base material supported by 20 wt% FeSO₄ nanocomposites at 60°C for 9 hours

Peak Search Report (13 Peaks, Max P/N = 9.9)								
[1162AR#8#20220330-083918_200.mdi] XRD SSC 30KV/20mA Slit:1deg&1deg&.2mm Monochromator: ON								
Ts-Td 200								
PEAK: 11-pts/Parabolic Filter, Threshold=3.0, Cutoff=0.1%, BG=3/1.0, Peak-Top=Summit								
2-Theta	d(nm)	BG	Height	I%	Area	I%	FWHM	XS(nm)
14.032	0.63064	247	562	91.7	2008	53.4	0.607	13
15.985	0.55398	335	608	99.2	1302	34.6	0.364	22
18.482	0.47966	363	300	48.9	959	25.5	0.543	15
21.076	0.42117	355	613	100	3760	100	1.043	7
25.683	0.34657	208	145	23.7	476	12.7	0.558	14
28.708	0.31071	181	154	25.1	711	18.9	0.785	10
31.368	0.28494	142	45	7.3	130	3.5	0.491	17
35.413	0.25327	159	62	10.1	295	7.8	0.809	10
38.47	0.23381	151	50	8.2	123	3.3	0.418	20
42.631	0.2119	181	134	21.9	884	23.5	1.121	7
57.464	0.16024	87	37	6	263	7	1.208	7
70.416	0.1336	72	33	5.4	87	2.3	0.448	22
74.993	0.12654	78	40	6.5	111	3	0.472	21

يلاحظ من الشكل (15) ان نفس الملاحظات التي رصدت عند درجة حرارة 40°م و 60°م أيضاً ظهرت عند درجة حرارة 80°م مع زيادة ملحوظة في عرض خطوط الطيف عند منتصف الشدة، هذا يؤكد قابلية خزن الطاقة قد حصل فيها زيادة مع زيادة درجة حرارة المادة وان المادة بدأت تتأثر بالحرارة المعرضة لها اي ان المادة بدأت تستجيب للمؤثر الفيزيائي الحراري، وان هذه الحالة لم تحصل الا بوجود المركب النانوي المضاف وبذلك تعد نتيجة ايجابية لهذه الحالة من المعالجة، وهذا يعني ان زيادة درجة الحرارة بوجود المادة النانوية قد سببت ارتخاء في الاواصر بين جزيئات المادة الاساس وهذا يعطي امكانية امتصاص جزء من الطاقة مسببا ذلك التشوه في الطيف (Platti, 1975). اظهرت نتائج حيود الاشعة السينية بصورة عامة ان مستوى التبلور يزداد مع زيادة نسبة الجسيمات النانوية ودرجات الحرارة (Chowdary and Kumar, 2015). وأيضاً كما موضح في الجدول (15).

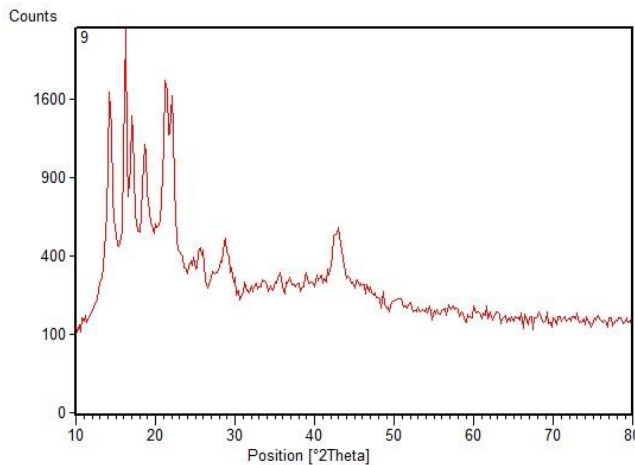


Fig. 15: X-ray spectrum of the base material supported by 20 wt% FeSO4 nanocomposites at 80°C for 9 hours.

Table 15: X-ray spectrum of the base material supported by 20 wt% FeSO4 nanocomposites at 80°C for 9 hours.

Peak Search Report (13 Peaks, Max P/N = 23.2)								
[1162AR#9#20220330-084332_200.mdi] XRD SSC 30KV/20mA Slit:1deg&1deg&.2mm								
Monochromator: ON Ts-Td 200								
PEAK: 13-pts/Parabolic Filter, Threshold=3.0, Cutoff=0.1%, BG=3/1.0, Peak-Top=Summit								
2-Theta	d(nm)	BG	Height	I%	Area	I%	FWHM	XS(nm)
14.222	0.62223	134	1545	67.7	7071	69.5	0.778	10
16.216	0.54613	138	2282	100	6742	66.3	0.502	16
18.63	0.47589	143	1035	45.4	6015	59.1	0.988	8
21.253	0.41771	147	1650	72.3	10176	100	1.048	7
25.627	0.34732	154	293	12.8	1808	17.8	1.049	7
28.801	0.30973	158	342	15	2408	23.7	1.197	6
31.903	0.28028	161	103	4.5	681	6.7	1.124	7
33.423	0.26787	162	125	5.5	1121	11	1.525	5
35.59	0.25204	163	159	7	894	8.8	0.956	8
36.798	0.24404	164	136	6	849	8.3	1.061	7
39	0.23076	165	156	6.8	1092	10.7	1.19	7
42.975	0.21029	165	393	17.2	3109	30.6	1.345	6
50.417	0.18085	163	51	2.2	413	4.1	1.377	6

تحليل صور المجهر الالكتروني الماسح SEM Analysis

تم اخذ صور لطوبوغرافية سطح نماذج المادة الاساس البولي ستايرين المدعم بالمواد النانوية $FeSO_4$ والمعاملة بدرجة حرارة $60C^\circ$ لفترة زمنية 9 ساعات. يلاحظ من الشكل (16) صور المجهر الالكتروني الماسح للنماذج المحضرة من المادة الاساس البولي ستايرين (معاملة السيطرة).

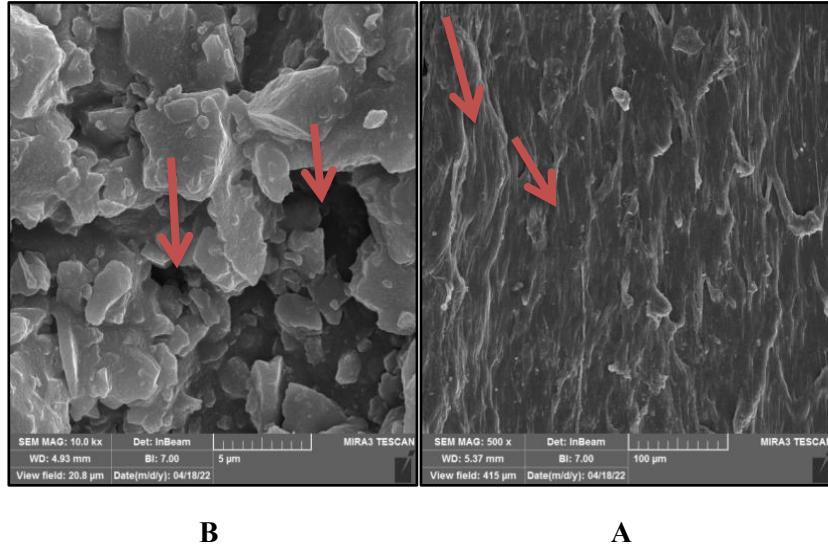


Fig. 16: SEM image of the polystyrene prepared model (A) and the polystyrene prepared model reinforced with $FeSO_4$ nanocomposite (B). The arrows in A represent linear chains in the polystyrene. The arrows in B indicate the formation of cavities and gaps due to the addition of the nanomaterial.

يلاحظ ظهور سلاسل خطية قصيرة ذات تفرعات جانبية قد لا تؤدي الى ارتباط مع السلاسل الاخرى، تظهر على شكل سطح شبه منتظم خالي من التجاويف يمتاز بتركيبة اتجاهية الى حد ما وربما يكون السبب في خمول هذه المادة الشكل (16A)، التي اختلفت عند اضافة المادة النانوية الى المادة الاساس الشكل (16B)، حيث يلاحظ ظهور طبقات متعددة ذات عمق الى الداخل مع وجود تراكيب بشكل فجوات، هذه الحالة تعني وجود نوع من الطاقة السطحية للمادة مما يجعلها تشكل طبقات متعددة معينة، تعد هذه الحالة صفة ايجابية للمادة التي يراد منها امتصاص اكبر قدر ممكن من الطاقة ليسهل عملية تحللها (Ismail *et al.*, 2018).

على ضوء النتائج المتحققة في هذا البحث، يمكن القول ان مادة $FeSO_4$ النانوية المستخدمة في هذه الدراسة ابدت قابليتها على تغيير خصائص بلاستيك البولي ستايرين عند اضافتها بنسب أكبر من 20%، وان هذا التغيير في الخواص قد جعل هذا النوع من البلاستيك أكثر عرضة للتحلل بالحرارة، وبذلك يمكن وضع تقنية النانو كبديل للإسهام تغيير خواص المواد البلاستيكية لجعلها أكثر عرضة للتحلل بالمؤثرات البيئية، وبالتالي تحل مشكلة تراكم النفايات البلاستيكية في البيئة.

المصادر

- Alam, M.D.; Arif, S.; Shariq, M. (2015). Enhancement in mechanical properties of Polystyrene-ZnO nanocomposites. *Inter. J. Innovat. Res. Adv. Eng.*, **2**(6), 2163-2349.
- Andrady, A.L. (2011). Microplastics in Marin environment. *Mar. Poll. Bull.*, **62**, 1596-1605. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2011.05.030
- Bhat, A.; Budholiya, S.; Aravind, R.S.; Sultan, M.D.; Hui, D.; Shah, A.U. (2021). Review on nanocomposites based on aero-space applications. *Nanotech. Rev.*, **10**(1), 237-253. DOI: 10.1515/ntrev-2021-0018
- Carmichael, M.J.; Arulraj, G.P. (2021). Impact resistance of concrete with nano materials. *Mat. Today: Proc.*, **37**(2), 677-684. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.05.635
- Chowdary, M.S; Kumarm, N. (2015). Effect of nonclay on the mechanical properties of polyester and s-glass fiber (Al). *Inter. J. Adv. Sci. Tech.*, **74**, 35-42. DOI:10.14257/ijast.2015.74.04
- Dicastillo, C.L.; Rojas, A.; Gaurda, A.; Galotto, M.J. (2020). The use of nano additives within recycled polymers for packaging: Properties, recyclability and Safety. *Compr. Rev. Food Sci. Food Safety*, **19**(4), 1760-1776. DOI: 10.1111/1541-4337.12575
- Emadian, S.M.; Onay, T.T.; Demirel, B. (2017). Biodegradation of bioplastics in natural Environments. *Waste Manag.*, **59**, 526-536. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.10.006
- Farha, H.A.; Al Naim, A.F.; Mansour, S.A. (2020). Thermal degradation of polystyrene (PS) nanocomposites loaded with sol-gel-synthesized ZnO nanorods. *Poly.*, **12**, 1935-1947. DOI: 10.3390/polym12091935
- Getor, R.Y.; Mishra, N.; Ramudhin, A. (2020). The role of technological innovation in plastic Production within a circular economy framework. *Res. Con. Recyc.*, **163**, 105094. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105094
- Ismail, M.A.; Taha, K.K.; Modowi, A.; Khezami, L. (2018). ZnO nanoparticles: Surface and X-ray profile analysis. *J. Ovo. Res.*, **14**(4), 381-393.
- Liu, G.; Hui, H.; Lau, D. (2022). Two-dimensional-based polymer composite: Fundamentals and applicatios. *Nanotech. Rev.*, **11**, 770-792. DOI: 10.1515/ntrev-2022-0041
- Mona, U.; Ahnad, H.M.; Belker, M. (2016). Effect of filter Graunsize on some physical properties of nanocomposite based on blend matrix IOSR. *J. Engin.*, **6**(8), 28-32.
- Platti, L. (1975). Effect of temperature on the impact fracture toughness of polymer. *Polym.*, **16**(10), 915-920.
- Ronavari, A.; Igaz, N.; Adamecz, D.I.; Szerencses, B.; Molnar, C.; Konya, Z.; Pfeiffer, I.; Kiricsi, M. (2021). Green silver and gold nanoparticles: biological synthesis approaches and potentials for biomedical applications. *Mole.*, **26**(844), 1-39. DOI: 10.3390/molecules26040844
- We, H.; Dave, F.; Mokhari, M.; Ali, M.M.; Sherlock, R, McIlhagger, A.; Tormey, D.; McFadden, S. (2022). On the application of Vickers micro hardness testing to isotactic Polypropylene. *Poly.*, **14**(9), 1840. DOI: 10.3390/polym14091804
- Yang, J.; Wang, H.; Liu, X. Fu, S.; Song, P. (2021). Anano-TiO₂/regenerated cellulose bio-hybrid enables simultaneously improved strength and toughness of solid epoxy resins. *Comp. Sci. Technol.*, **212**(18), 108884. DOI: 10.1016/j.compscitech.2021.108884
- Yee Albert, F. (1987). " Impact Resistance from Polymers". An Encyclopedia Source.
-

Effect of Adding Nano Iron Sulfate on some Properties of Polystyrene Plastic Waste under the Influence of the Thermophysical Factor

Abdullah R. Mohammed

Ahmed N. Mahmood

Rasheed M. Yousif

*College of Environmental Sciences and Technology/ Department of Environmental Sciences/
University of Mosul*

ABSTRACT

In this research, a polymeric composite material with a polystyrene basis reinforced with iron sulfate (FeSO_4) nanoparticles was manufactured at a percentage of (5, 10, 15, 20 and 25)%. The manufactured samples were subjected to specific temperatures ($T=40, 60$ and 80) $^\circ\text{C}$ and for specific periods of time (3, 6, 9) hours. The samples were subjected to surface hardness and impact strength tests, to identify their ability to endure the thermophysical effect. These values differed with the difference in the temperature of the sample treatment and also with the period of the exposure of the samples to the thermophysical effect. Results showed that an increase in the values of surface hardness when adding FeSO_4 nanomaterial to the polystyrene with a concentration of 20% and temperature of 80°C and impact strength recorded the highest value when adding nanomaterial at 20% when exposed to a temperature 40°C for 3 hours according to the control treatment, while those values began to decrease when the percentage of FeSO_4 nanomaterial was increased to 25%. Results of X-ray diffraction spectrum and Scanning Electron Microscope images showed the beginning of decomposition of polystyrene reinforced with FeSO_4 nanoparticles with a concentration of 20% under a temperature of 60°C .

Keywords: Iron sulfate, Polystyrene, Mechanical properties, X-ray diffraction, Scanning Electron Microscope.