مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (36) العدد (5) 2014
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (36) No. (5) 2014

دراسة تحسين الخصائص الميكانيكية للمونة الإسمنتية المعدلة بالنفايات البوليميرية بدرجات الحرارة المرتفعة

الدكتور علي خيربك *
علي طوالو **

(تاريخ الإيداع 11 / 5 / 2014. قُبِل للنشر في 21/ 9 / 2014)

□ ملخّص □

يعالج هذا البحث دراسة تأثر خصائص المونة الإسمنتية المعدلة بحبيبات من البولي إيتيلين كاستبدال نسبي حجمي من الرمل بدرجات الحرارة المرتفعة. تركز البحث حول تحليل نتائج عينات من المونة الإسمنتية تم تحضيرها في صيف عام 2013 في مخابر كلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين وذلك لمعرفة تأثير هذا التعديل بدرجات الحرارة المرتفعة على المقاومة على الضغط البسيط والشد بالانعطاف، وكذلك لتحديد درجة الحرارة المثلى التي تعطي المقاومة الأفضل للمونة المعدلة. تُبدي المونة الإسمنتية المعدلة بنفايات البولي إيتيلين انخفاضاً واضحاً بالمقاومة الميكانيكية على الشد و الضغط بدرجات الحرارة العادية، لا يلبث أن يتحول لتحسن واضح بدرجات الحرارة المرتفعة القريبة من درجة ذوبان البولي إيتيلين.

يتعلق حجم التغير في الخصائص بمحتوى المونة من البوليميرات و بدرجة الحرارة التي تم تعريضها لها. تم في البداية تحديد نسبة الاستبدال المثلى بدرجة حرارة 160 درجة مئوية، ليتم بعدها تثبيت هذه النسبة بدرجات حرارة مختلفة بهدف انتقاء درجة الحرارة الأكثر ملاءمة. تبدي النتائج التي حصلنا عليها للمونة المعدلة بالبولي إيتيلين وفق النسب المثلى و بالتعريض للدرجة المحددة تجريبياً تحسناً واضحاً في خصائص المونة الميكانيكية لتستعيد بذلك جزءاً مهماً من المقاومة التي فقدتها بفعل إضافة البولي إيتيلين.

الكلمات المفتاحية: النفايات البوليميرية المعاد استخدامها، خلطات المونة الإسمنتية، مقاومة المونة بالحرارة العالية.

* أستاذ مساعد في قسم هندسة و إدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية –جامعة تشرين –اللاذقية–سورية
** مشرف على الأعمال في قسم الهندسة الإنشائية –كلية الهندسة المدنية–جامعة تشرين–اللاذقية–سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (36) العدد (5) 2014
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (36) No. (5) 2014

Amélioration des propriétés mécaniques du mortier modifié aux déchets de polymères à température élevée

Dr. Ali Kheirbek [*]
Ali TAWALO [**]

(Déposé le 11 / 5 / 2014 . Accepté 21/9/2014)

□ Résumé □

Cet article porte sur l'étude du changement des propriétés du mortier cimentaires modifiés aux particules de polyéthylène à températures élevées. Les recherches se sont concentrés sur l'analyse des résultats d'éprouvettes de mortier confectionnées à l'été 2013 aux laboratoires de faculté génie civil à l'Université Tichrine afin de vérifier l'effet de cette modification sur la résistance à la compression et à la flexion, ainsi pour déterminer la température optimale qui donne la meilleure résistance. Le mortier modifié aux déchets de polyéthylène montre une baisse de résistance mécanique à la flexion et compression à des températures normales, qui se transforme d'une nette amélioration à hautes températures.

Le taux du changement des propriétés du mortier modifié dépend de son contenu des polymères et de la température d'exposition. Le contenu optimal de polymères ainsi que la température optimale ont été déterminés dans cette recherche. Les résultats obtenus montrent une nette amélioration des performances mécaniques du mortier modifié, qui permet de récupérer une partie importante de résistance perdue par l'addition de particules de polyéthylène.

Mots clés : Déchet recyclés de polymère, formulation de mortier cimentaire, résistance de mortier à température élevée.

[*]**Maître-assistant, Département de construction, faculté de génie civil et construction , Université Tichrine, , Lattaquié, Syrie.**
[**]**Chargé de travaux", département de génie civil et construction, Université Tichrine, Lattaquié, Syrie.**

مقدمة:

تزايد استخدام البلاستيك في جميع أنحاء العالم بشكل كبير خلال السنوات القليلة الماضية مما خلف كميات كبيرة من نفاياته التي تعدّ مصدراً أساسياً للخطر البيئي.

إن فكرة إعادة استخدام نفايات البلاستيك لإنتاج مواد جديدة تُستخدم في المونة الإسمنتية أو في البيتون قد يكون من الحلول المثلى لدفن هذه النفايات، و هو ما يحقق مردوداً اقتصادياً وبيئياً مهماً [1]. فدخول حبيبات البلاستيك في تركيب المونة الإسمنتية أو البيتون يحسن بعض خواص الخلطة بفضل خفة وزنه و امتلاكه لخصائص ديمومة جيدة. يمكن الاستفادة عندها في صناعة بيتون بوزن حجمي منخفض يقلل الخطورة الزلزالية على الأبنية، و بديمومة جيدة.

قد تؤثر إضافة النفايات البلاستيكية سلباً على الخصائص الريولوجية و الميكانيكية للخلطات كإضعاف قابلية التشغيل و خواص المقاومة والمرونة قياساً بالخلطات غير المعدلة، و هو ما سعينا لتلافيه في هذا البحث من خلال المعالجة الحرارية للمونة المعدلة بعد تصلبها [2].

1. ما هو البولي إيتيلين:

البولي إيتيلين هو بوليمر يتألف من سلاسل طويلة من مونومر الإيتيلين (IUPAC)، يتشكل البولي إيتيلين من بلمرة الإيتين. أما الرمز الكيميائي له فهو $CH2=CH2$ المتمثل بزمرتي ميتيلين مرتبطتين برابطة مضاعفة. ويعد البولي إيتيلين منتج استهلاكي يصنف من المنتجات البلاستيكية ذات التلدن الحراري. يرمز له في الصناعة برمز PE بنفس النمط الذي ترمز به بوليميرات أخرى مثل PP البولي بروبيلين وPS البولي ستايرين.و ينتج منه سنوياً أكثر من 60 مليون طن في جميع أنحاء العالم.

يصنف البولي إيتيلين إلى فئات عدة اعتماداً على الكثافة وتفرع السلسلة البوليميرية، و تعتمد الخواص الميكانيكية لهذا البوليمير على متغيرات عدة مثل نوع التفرع، البنية البلورية، والوزن الجزيئي:

- البولي إيتيلين فائق الوزن الجزيئي(Ultra High Molecular Weight Polyethylene UHMWPE)
- البولي إيتيلين فائق الوزن الجزيئي المنخفض (Ultra High Molecular Weight Polyethylene ULMWPE)
- البولي إيتيلين عالي الكثافة (High Density Polyethylene HDPE) ويعرّف بكونه ذي كثافة أكبر من $0.941g/cm^3$. و يمتاز بأن لديه درجة أقل من التفرع. يستخدم هذا البوليمير في التغليف وصناعة المنتجات مثل أواني الحليب، قوارير المنظفات، علب المنتجات الغذائية، سلال القمامة، وصناعة أنابيب نقل مياه الشرب.
- البولي إيتيلين المتشابك عالي الكثافة (High Density cross-linked Polyethylene HDXLPE)
- البولي إيتيلين المتشابك (Cross-linked Polyethylene PEX) و هو عبارة عن بولي إيتيلين متوسط إلى عالي الكثافة يحوي في سلسلته البوليميرية على روابط مشبكة، مما يجعله أكثر مرونة. يستخدم بشكل خاص في تمديدات المياه.

- البولي إيتيلين متوسط الكثافة (Medium Density Polyethylene MDPE) و تتراوح كثافته بين $0.926-0.94\ g/cm^3$. يتم تصنيعه مثل البولي إيتيلين عالي الكثافة HDPE. لديه مقاومة جيدة للصدمات وللتشققات. و يستعمل بشكل خاص في أنابيب الغاز، التغليف والمعدات المهنية.
- البولي إيتيلين منخفض الكثافة (Low Density Polyethylene LDPE) و تتراوح كثافته بين $0.91-0.94\ g/cm^3$. و يمتاز بأن لديه درجة كبيرة من التفرع بالتالي فإن السلاسل لا ترتص بالبنية البلورية، مما يؤدي إلى إضعاف القوى بين الجزيئات، مما يؤدي إلى مقاومة أضعف على الشد وقابلية سحب كبيرة. يصنع عن طريق البلمرة الجذرية. يستخدم لصناعة الأكياس البلاستيكية وفي التغليف.
- البولي إيتيلين الخطي منخفض الكثافة (Linear Low Density Polyethylene LLDPE) و تتراوح كثافته بين $0.915-0.925\ g/cm^3$. يمتاز بطبيعته الخطية مع وجود العديد من التفرعات القصيرة. يمتاز هذا البوليمير بأن لديه مقاومة أكبر على الشد من LDPE ويمكن استخدامه لتصنيع رقائق بلاستيكية أقل سماكة مقارنة مع LDPE. يستخدم بشكل خاص في التغليف وصناعة الرقائق البلاستيكية نظراً لمرونته وشفافيته النسبية.
- البولي إيتيلين منخفض الكثافة بشكل كبير (Very Low Density Polyethylene VLDPE) تتراوح كثافته بين $0.88-0.915\ g/$. يصنع بأسلوب مشابه للبولي إثيلين الخطي منخفض الكثافة LLDPE. ويستخدم في صناعات التغليف الغذائية.

يعتبر البولي إيتيلين عموماً من البوليميرات الخاملة كيميائيا. ولا يتفاعل أو يذاب مع أي مادة كيميائية عند درجة حرارة الغرفة ولكنه ينتفخ قليلاً بمذيبات مثل البنزين و رابع كلوريد الكربون عند درجة حرارة منخفضة ويذوب تماما عند درجة حرارة تقترب من درجة انصهاره مع بعض المذيبات كالتريكلوروبنزين و النفتالين.

أهمية البحث وأهدافه :

يكمن الهدف الرئيسي من هذه الدراسة في تبيان تأثير الحرارة في تحسين سلوك المونة الإسمنتية المعدلة بإضافة نفايات البولي إيتيلين (كاستبدال حجمي من الرمل) مقارنة مع عينات نظامية غير معدلة بهدف الحصول على نسبة الاستبدال المثلى نسبة و درجة الحرارة الأنسب و التي تحقق أفضل تحسين في سلوك العينات المعدلة مما سيتيح الاستفادة من هذه المواد المعدلة عند إنتاجها بطريقة صحيحة، دون أن يطرأ تأثراً كبيراً في خصائصها الأخرى. قد تتيح النتائج البحثية على المونة الإسمنتية تطبيقها على البيتون للحصول على منتج بيتوني بخصائص متميزة يمكن استخدامه في أعمال إنشائية مختلفة.

طرائق البحث ومواده:

اعتمد البحث على دراسة نظرية مستفيضة لأنواع البلاستيك الذي يعاد استخدامه في بعض التطبيقات الهندسية في عدد من الدول العربية والأجنبية [3]. وتم الاستفادة من بعض هذه التجارب في إغناء هذا البحث التجريبي الذي تم إجراؤه في مخابر كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين وباستخدام مواد محلية خلال صيف العام2013.

وقد تم التركيز على استخدام حبيبات البولي إيتيلين معادة التصنيع و التي حصلنا عليها محليا من أحد المعامل في مدينة اللاذقية حيث يتم في هذا المعمل تخليص قطع البولي إيتيلين المأخوذة من خزانات المياه المستعملة من جميع الشوائب ثم طحنها لإعادة تدويرها.

4. 1. مواصفات المواد الداخلة في خلطات المونة الإسمنتية :

استُخدمت في البحث لتحضير خلطات المونة الإسمنتية المختلفة المواد التالية :

a) **إسمنت بورتلاندي عادي أسود تصنيف I** صنع معمل إسمنت طرطوس مُصنَّع وفق المواصفة السورية رقم 1987/63 بصنف 32.5 .

b) **ماء للجبل**_قابل للشرب.

c) **رمل مزيج مكون من رمل نهري من مقالع مرقية (منطقة بانياس) و ناعم من مقالع منطقة القريتين (رمل قرواني)** للحصول على مزيج رملي بمعامل نعومة قدره Mf=2.5 ، و قيمة متوسطة للمكافئ الرملي ES=98%. حصلنا عليها بعد الغسل، و وزن حجمي صلب ρs=2.64g/cm3.

d) **حبيبات من البولي إيتيلين المطحون**_: نبين فيما يلي خصائص هذه المادة التي تم الحصول عليها من خلال الاختبارات المجراة عليها في مخبر تجريب المواد في كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين.

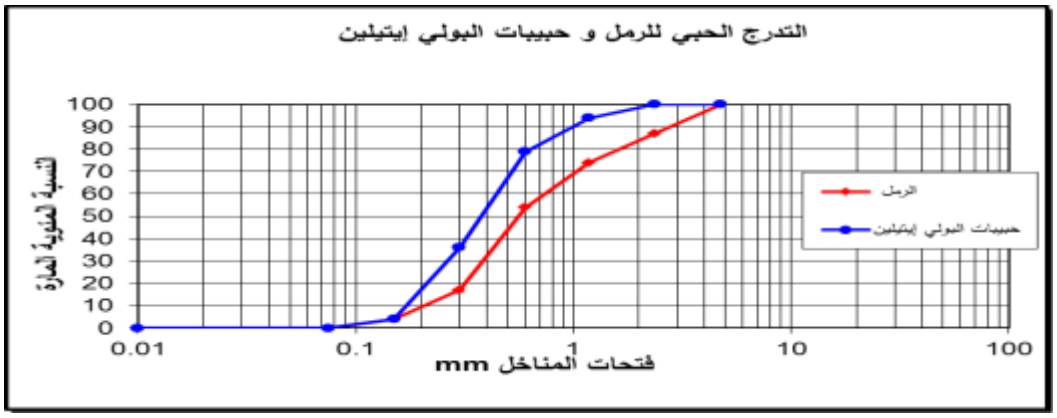
الوزن الحجمي الصلب: $\rho s=0.91 g/cm^3$

المقاومة على الشد المباشر: $\sigma_t=250:g/cm^2$

درجة الذوبان: t=120C

معامل النعومة: *Mf*=1.87

يظهر في الشكل (1) منحنيي التدرج الحبي لعينتي مطحون المادة البلاستيكية من البولي إيتيلين وعينة الرمل المستخدم:



الشكل (1) منحنيات التدرج الحبي للمادة البلاستيكية و الرمل

4. 2. تصميم خلطات المونة الإسمنتية :

استخدمت المواد الموصفة سابقاً في صناعة عينات المونة الإسمنتية مختلفة التركيب (مع و بدون حبيبات من البولي إيتيلين). تمت عملية التحضير باستخدام خلاط المونة الإسمنتية الخاص في مخبر تجريب المواد في كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين، و بشكلٍ موحد لجميع العينات وفق التسلسل التالي [4]:

- وزن المواد (رمل – إسمنت – ماء – حبيبات بولي إيتيلين) بدقة وبشكل منفصل.
- وضع الماء في الخلاط بهدوء (الخلاط متوقف).
- وضع الإسمنت في الخلاط (الخلاط متوقف).
- تشغيل الخلاط بسرعةٍ بطيئة (140 دورة/دقيقة)، مدة 15 sec.
- إضافة الرمل (أو خليط الرمل مع حبيبات البولي إيتيلين).
- ترك الخلاط يدور بسرعة بطيئة (140 دورة/دقيقة)، مدة 30 sec.
- إيقاف الخلاط و تحريك المواد يدوياً لنزع ما التصق في قعر وعاء الخلط .
- إعادة الخلاط للدوران بسرعة (285 دورة/دقيقة)، مدة 30 sec ثمّ ببطء مدة 15 sec.

تم تحضير مجموعة من العينات الموشورية ذات الأبعاد 4*4*16cm و ذلك بتراكيب مختلفة بحسب نسبة المادة البلاستيكية المضافة للخلطة كنسبة مئوية تستبدل حجماً من محتوى الرمل.

بلغ عدد العينات المحضرة لهذا البحث تسعاً وثلاثين عينة موشورية من جميع الخلطات التي شملت خمسة تراكيب اختلفت فيما بينها بمحتواها من حبيبات البولي إيتيلين.

يبين الجدول (1) تراكيب هذه الخلطات حيث تدل الرموز V0, V10, V20, V30, V40 على نسب الاستبدال الحجمي للرمل بحبيبات البولي إيتيلين في الخلطات. حيث تم اقتطاع النسبة المستبدلة من الرمل وزنا ثم حساب حجم هذه النسبة واستبدالها بحجم مكافئ من مادة البلاستيك ثم حساب وزنها وإضافته إلى الخلطة.

الجدول (1) التركيب الوزني لخلطات المونة الإسمنتية

رمز الخلطة	وزن الرمل (g)	وزن الرمل المستبدل (g)	حجم الرمل = حجم البوليمير cm^3	وزن البولي إيتيلين (g)	وزن الإسمنت (g)	وزن الماء (g)
V0	1500	0			500	250
V10	1350	150	56.8	52	500	250
V20	1200	300	114	103	500	250
V30	1050	450	171	154	500	250
V40	900	600	228	205	500	250

النتائج و المناقشة:

تم إجراء سلسلة من الاختبارات على العينات المختلفة من خلطات المونة الإسمنتية مع و بدون استبدال و ذلك لقياس تأثير استبدال الرمل بحبيبات البولي إيتيلين على الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية للمونة الإسمنتية.

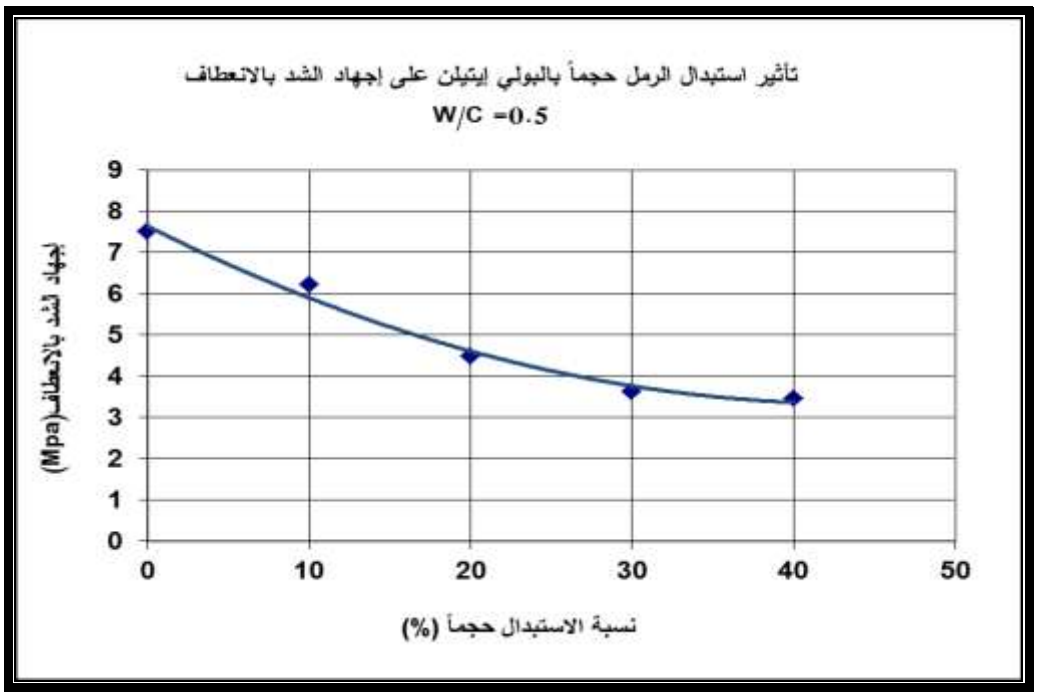
شملت سلسلة الاختبارات المجراة على العينات ما يلي:

- المقاومة على الشد بالانعطاف.
- المقاومة على الضغط البسيط.
- دراسة تأثر مقاومة العينات بعد تعريضها لدرجة حرارة 160°C بعد تصلبها لاختيار نسبة الاستبدال الحجمية المثلى للخلطة من حبيبات البولي إيتيلين.
- دراسة تأثير تغير درجة الحرارة بين 130°C و 220°C على الخلطة المثلى لإيجاد درجة الحرارة المثلى التي تعطي أفضل تحسن لخواص المقاومة لخلطات المونة الإسمنتية المعدلة بحبيبات البولي إيتيلين بالنسبة الحجمية المثلى من البولي إيتيلين.
- دراسة تأثر مقاومة العينات بعد تعريضها لدرجة الحرارة المثلى بعد تصلبها.

5. 1. تأثير استبدال الرمل بحبيبات البولي إيتيلين على المقاومة على الشد بالانعطاف :

أجريت جميع اختبارات قياس الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية للخلطات المحضرة بعمر الـ 28 يوماً.

يبين الشكل (2) تأثير استبدال الرمل بحبيبات البولي إيتيلين على مقاومة المونة الإسمنتية على الشد بالانعطاف.



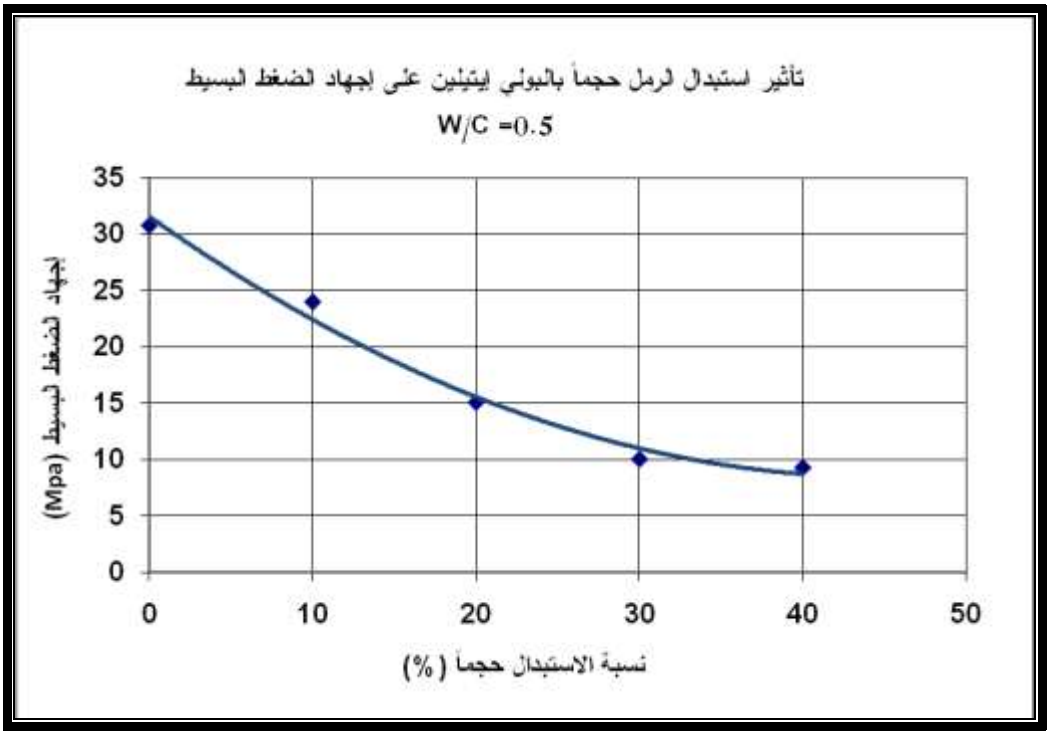
الشكل (2) تأثير استبدال الرمل حجماً بالبولي إيتيلين على إجهاد الشد بالانعطاف.

تمثل كل نقطة من نقاط المنحني وسطي قيمة إجهاد الشد بالانعطاف لثلاث عينات متماثلة.

يبدو من منحني الشكل (2) نقصان قيم المقاومة على الشد بالانعطاف بشكل واضح مع زيادة نسبة الاستبدال الحجمي بالبولي إيتيلين في الخلطة. يُعزى ذلك إلى الترابط الضعيف بين حبيبات البلاستيك والعجينة الإسمنتية الرابطة مقارنة بترابط العجينة مع حبيبات الرمل. كما تبدو النتائج متوافقة مع أبحاث مماثلة سابقة [4 – 5].

5. 2. تأثير الاستبدال على المقاومة على الضغط البسيط:

يبين المنحني في الشكل (3) الانخفاض الواضح في قيم المقاومة على الضغط البسيط مع زيادة نسبة الاستبدال الحجمي بالبولي إيتيلين في الخلطة.كما يبدو تأثر المقاومة على الضغط البسيط أكثر حدة من نقصان المقاومة على الشد بالانعطاف.[3]



الشكل (3) تأثير استبدال الرمل حجماً بالبولي إيتيلين على إجهاد الضغط البسيط.

5. 3 – تأثير الاستبدال على خصائص المونة المعدلة بالبولي إيتيلين بدرجات الحرارة المرتفعة:

تم التركيز في هذا البحث على دراسة تأثير الحرارة على عينات المونة الإسمنتية بتراكيبها المختلفة و لهذا الغرض تم تعريض هذه العينات إلى تسخين و تبريد بين الدرجتين **20°C** و **160°C**.

تم الانتقال الحراري بين الدرجة 20 و الدرجة 160 بشكل متدرج و خلال ساعة من الزمن، لتترك بعدها العينات لمدة ساعتين إضافيتين عند الدرجة 160 درجة مئوية، ثم تُترك لتبرد بشكل تدريجي معاكس لبرنامج التسخين و ذلك بين الدرجتين 160 و 20 و اختبارها في اليوم التالي.

اختُبرت العينات المعرضة للتسخين و التبريد وفق الآلية السابقة لتحديد تأثر خصائصها الميكانيكية و الفيزيائية بالحرارة المرتفعة بهدف الوصول إلى نسبة الاستبدال المثلى.

5. 3. 1. تأثير الحرارة المرتفعة على مقاومة المونة المعدلة للشد بالانعطاف:

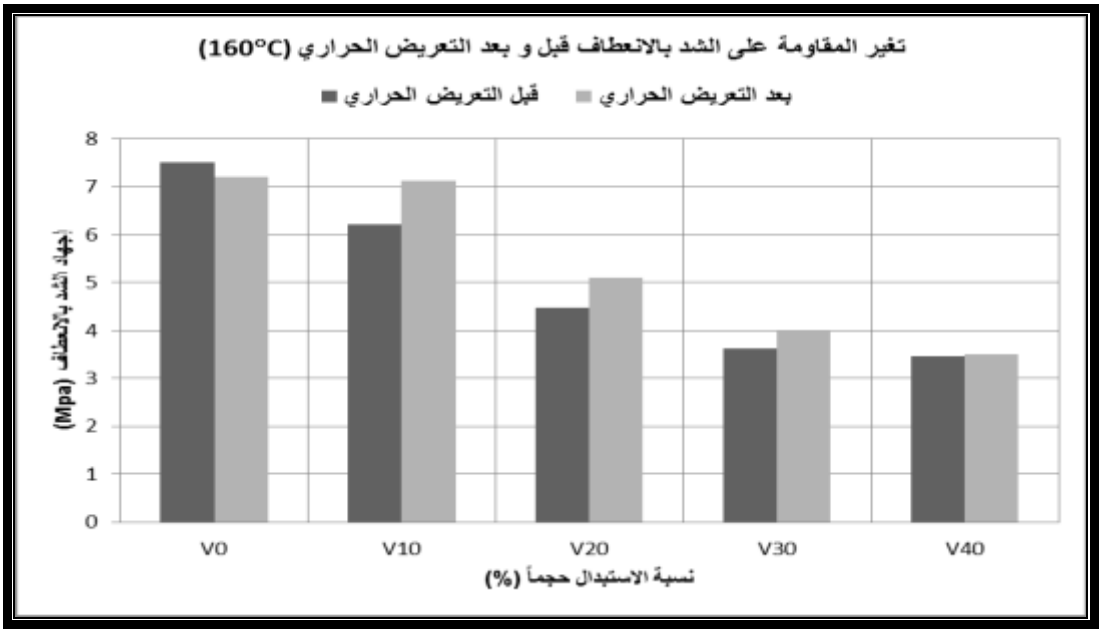
تُظهر نتائج الاختبارات على المونة الإسمنتية المعدلة بحبيبات البولي إيتيلين عند التعرض لدرجة الحرارة 160 أن مقاومة المونة الإسمنتية على الشد بالانعطاف ترتفع بنسب محددة في الجدول 2 بعد تعريضها للتسخين و التبريد وفق الآلية الموضحة سابقاً.

يوضح الشكل (4) تغير المقاومة على الشد بالانعطاف بعد تعريض العينات للحرارة المرتفعة و تبريدها و ذلك بالنسبة للخلطات التي تحوي في تركيبها حبيبات البولي إيتيلين بنسب استبدال مختلفة.

كما يبين الجدول (2) نسب تغير المقاومة عند التعرض للحرارة.

الجدول (2) تغير المقاومة على الشد بالانعطاف قبل و بعد التعريض الحراري عند الدرجة 160°C

الخلطة	الشد بالانعطاف بدون تعريض حراري(Mpa)	الشد بالانعطاف مع تعريض حراري (Mpa)	نسبة تغير المقاومة بعد التعريض للحرارة (%)
V0	7.5	7.2	-4.0
V10	6.22	7.1	14.5
V20	4.48	5.1	13.8
V30	3.62	4.0	10.8
V40	3.46	3.5	1.2



الشكل (4) تغير المقاومة على الشد بالانعطاف قبل و بعد التعريض الحراري.

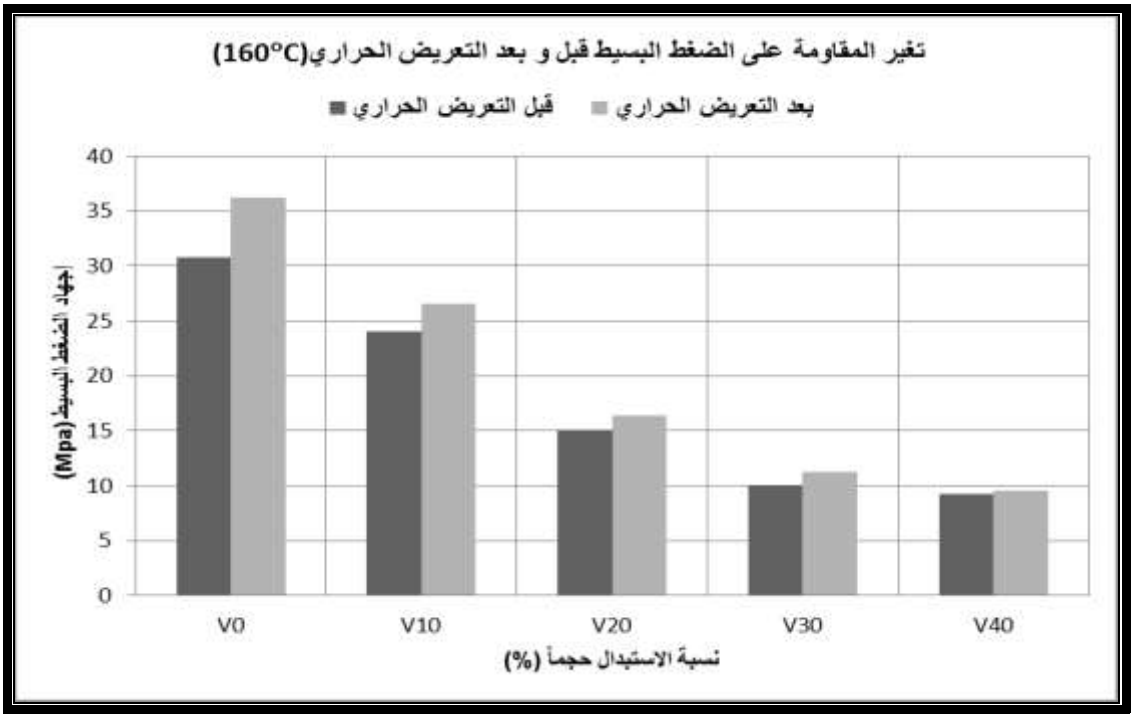
5. 3. 2. تأثير الحرارة المرتفعة على مقاومة المونة المعدلة للضغط البسيط:

تظهر نتائج الاختبارات على المونة الإسمنتية المعدلة بحبيبات البولي إيتيلين أن المونة تعود و تكتسب مقاومة على الضغط البسيط بعد تعريضها للتسخين و التبريد وفق الآلية الموضحة سابقاً.

يظهر على الشكل (5) و الجدول 3 سلوك العينات بالنسبة للضغط البسيط بعد تعريضها للحرارة المرتفعة و تبريدها وذلك بالنسبة للخلطات التي تحوي في تركيبها حبيبات البولي إيتيلين بنسب استبدال مختلفة.

الجدول (3) تغير المقاومة على الضغط البسيط قبل و بعد التعريض الحراري عند الدرجة 160°C

الخلطة	الضغط البسيط بدون تعريض حراري(Mpa)	الضغط البسيط مع تعريض حراري (Mpa)	نسبة تغير المقاومة بعد التعريض للحرارة (%)
V0	30.8	36.2	17.5
V10	24	26.6	10.6
V20	15.05	16.4	8.6
V30	10	11.3	13.0
V40	9.25	9.5	2.7

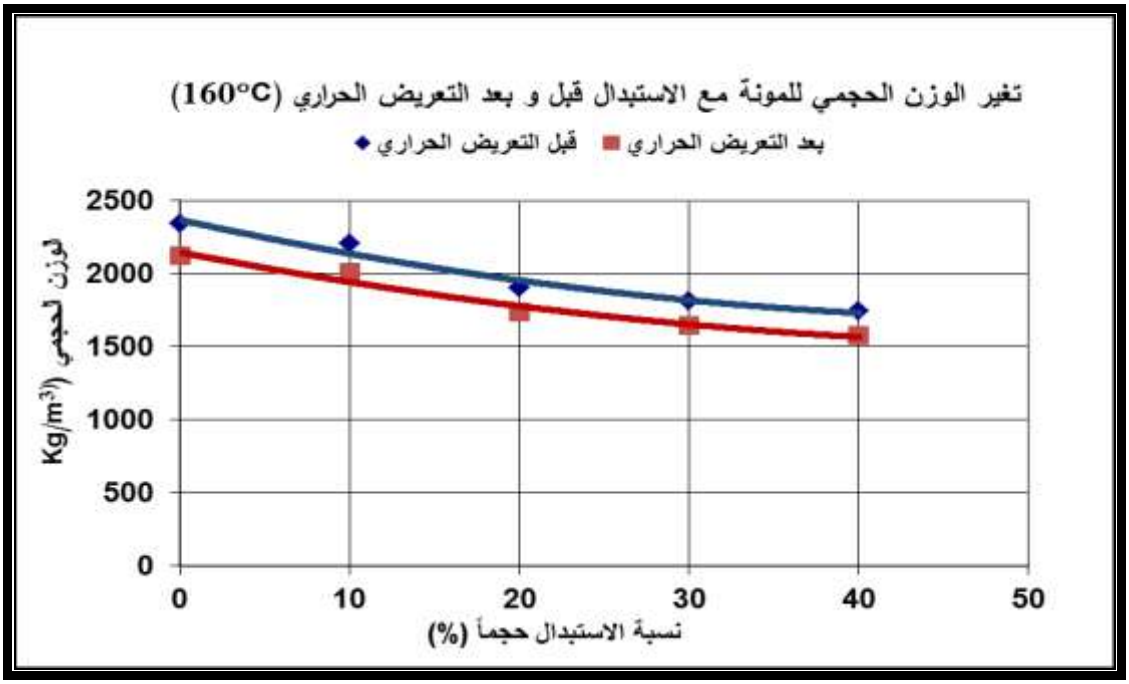


الشكل (5) تغير المقاومة على الضغط البسيط قبل و بعد التعريض الحراري.

5. 3. 3. تأثير الاستبدال و الحرارة المرتفعة على الوزن الحجمي للمونة المعدلة:

يساهم الوزن النوعي المنخفض لمادة البلاستيك $\rho s=0.91 g/cm^3$ في إنقاص الوزن الحجمي للخلطة كلما زادت نسبة استبدال الرمل. يبين الشكل (6) الأثر الإيجابي لاستبدال الرمل نسبياً بحبيبات البلاستيك و الذي يتمثل

بانخفاض الوزن الحجمي للمونة المعدلة بحبيبات البولي إيتيلين مع نسب الاستبدال. يزداد انخفاض الوزن الحجمي للمونة المعدلة بحبيبات البولي إيتيلين كلما تعرضت العينات للحرارة، يفيد ذلك في الحصول على مونة خفيفة ذات وزن حجمي منخفض ($\rho<2000Kg/m^3$).



الشكل (6) تأثير استبدال الرمل بالبولي إيتيلن على الوزن الحجمي قبل وبعد التعرض للحرارة.

بعد معاينة نتائج الاختبارات بعد التعريض الحراري للعينات بدرجة الحرارة 160يظهر ان النسبة الأفضل للاستبدال الحجمي للرمل بحبيبات البولي إيتيلين هي بجوار الـ 10% إذ تحافظ عندها المونة المعدلة على مقاومة مقبولة على الشد بالانعطاف والضغط البسيط على الرغم من وجود حبيبات البولي إيتيلين التي تخفض تلك المقاومات. كما تعدّ قيم الأوزان الحجمية التي حصلنا عليها عند هذه النسبة منخفضة نسبياً (أقل من $2000kg/m^3$). أما نسب الاستبدال التي تتجاوز الـ 10% فقد أبدت عندها المونة أداء اقل عند التعريض الحراري مع تسجيل انخفاض الوزن الحجمي الذي يسمح باعتبار المونة في هذه الحالة مونة خفيفة.

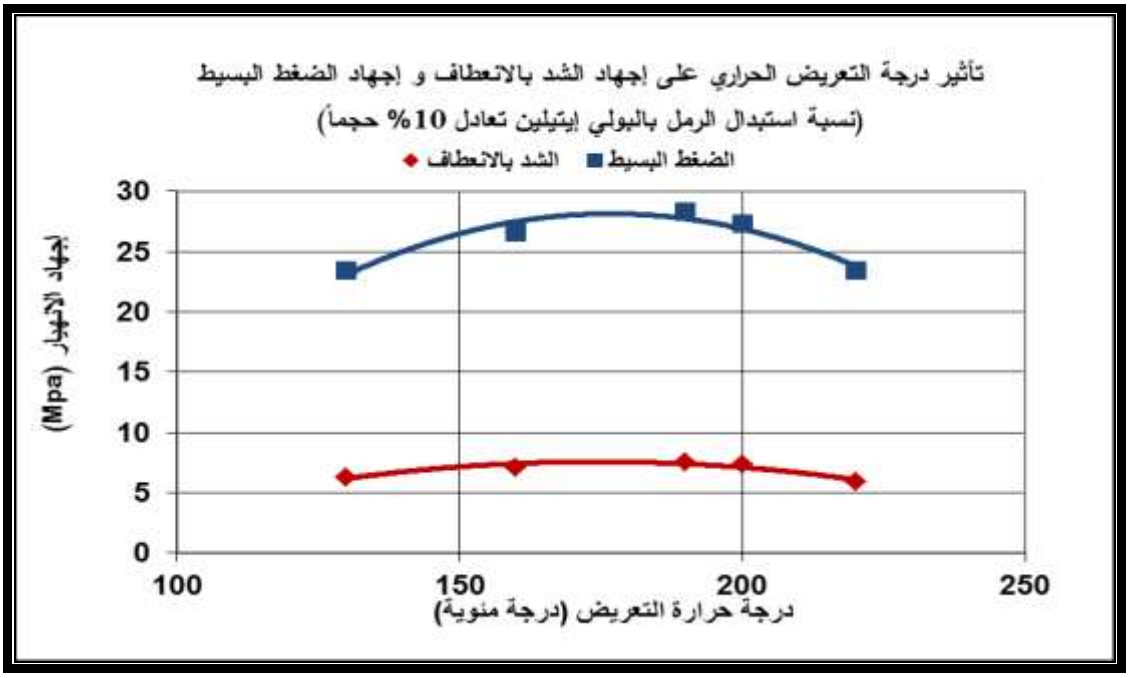
و لتحديد درجة الحرارة الأفضل للتعريض، قمنا بدراسة تأثير درجة حرارة التعريض انطلاقاً من الدرجة **130°C** التي تمثل درجة بداية ذوبان المادة البلاستيكية حتى الدرجة **220°C** التي تمثل درجة أكسدتها وتفككها الكامل.

تم اختبار ثلاث مواشير من المونة الإسمنتية المعدلة بالبولي إيتيلين بنسبة استبدال حجمية 10% من أجل كل درجات التعريض الحراري التالية: **(130°C, 160°C, 190°C, 200°C, 220°C)** وذلك وفق آلية التسخين والتبريد المعرفة سابقاً.

يبين الجدول (4) و الشكل (7) نتائج إجهاد الشد بالانعطاف والضغط البسيط لعينات المونة الإسمنتية المعدلة بنسبة استبدال حجمي 10% بعد تسخينها وتبريدها بدرجات الحرارة المختلفة المذكورة اعلاه.

الجدول (4) إجهاد الشد بالانعطاف والضغط البسيط لعينات المونة الإسمنتية المعدلة بنسبة 10%

درجة الحرارة	إجهاد الشد بالانعطاف MPa	إجهاد الضغط البسيط MPa
T= 130°C	6.3	23.4
T= 160°C	7.1	26.6
T=190°C	7.5	28.3
T=200°C	7.4	27.3
T= 220°C	5.9	23.4



الشكل (7) تأثير تغير درجة الحرارة على سلوك المقاومة لنسبة الاستبدال % 10

نلاحظ من خلال الشكل أعلاه أنه و عند وصول درجة الحرارة الى الدرجة **190°C** تبدأ حبيبات البولي إيتيلين بالانصهار لتكون روابط جديدة مع بعضها ومع حبيبات المونة الإسمنتية المجاورة لها وعند إعادة تبريدها تتبلور جزيئات البولي إيتيلين مرة ثانية بفعل السلاسل المفتوحة بشكل متعرج ملتوي حيث تعود الروابط المتفككة لتتحد عند درجة حرارة الغرفة وتتقسى المادة وتتحول بذلك إلى شبكة تربط بين جزيئات المادة لتملأ الفراغات وهذا ما يفسر زيادة المقاومة على الشد عند درجة الحرارة **190°C** [7].

وكذلك تبين أنه بعد التعريض الحراري تزداد مقاومة الضغط البسيط بشكل أفضل و هو ما يعود لكون المقاومة العظمى للبلاستيك تظهر عندما ينصهر تماما لتملأ جزيئاته فيما بعد الفراغ ثم تتجمد بمقاومة أكبر.

يبين الشكل (5) أن درجة الحرارة الأفضل للتعريض هي بجوار الـ **190°C** اذ أنه بدرجات الحرارة الأقل أو الأعلى لا تصل المادة إلى المقاومة القصوى حيث لا تتفكك الروابط بشكل كامل بدرجات الحرارة الأقل أو أنها تتخرب ولا تعود للانتظام في درجات الحرارة الأعلى من **190°C** .

الاستنتاجات و التوصيات :

1. تدل نتائج استخدام حبيبات البولي إيتيلين المدورة كإحدى مكونات المونة الإسمنتية على إمكانية التخلص من هذه النفايات بطريقة علمية على الرغم من بعض المساس بالخصائص الميكانيكية للمونة و التي يمكن إعادتها نسبياً بالتعريض الحراري الذي يمكن أن تُعالج به العناصر مسبقة الصنع في أفران خاصة.

2. سيساهم استخدام هذه المنتجات البوليميرية في صناعة المونة و البيتون في تقديم حلول بديلة ملائمة بيئياً واقتصادياً مقارنة بالحرق أو الدفن عندما تُطرح مشكلة التخلص من النفايات البلاستيكية.

3. استخدمنا في هذا البحث نسب الاستبدال الحجمية و آلية تأثيرها على الخواص الميكانيكية بصورة دقيقة من خلال التجارب التي أجريت على عدد كبير من العينات. إذ أمكن من خلال ذلك التوصل إلى التركيب الأكثر ملاءمة لصناعة مونة قابلة للتنفيذ في عناصر مسبقة الصنع تصلح للاستخدام في الأبنية.

4. تبين من خلال نتائج التعريض الحراري إمكانية استعادة جزء من مقاومة المونة الاسمنتية المعدلة بحبيبات البولي إيتيلين بعد تحديد نسبة الاستبدال المثلى و حرارة التعريض الأنسب.

5. تعدّ النتيجة الأهم التي وصلنا إليها إمكانية استعادة جزء مهم من المقاومة على الشد و الضغط عند إدخال حبيبات البولي إيتيلين إلى تركيب الخلطة بتعريضها لحرارة بجوار الـ 190°C كون تبلور البولي إيتيلين عند هذه الدرجة قريب من التوازن الكامل والشكل البلوري المستقر.

6. من المهم دراسة ظاهرة كسب المقاومة بعد التعريض الحراري على البيتون، و سيكون عند ذلك متاحاً استخدام نفايات بلاستيكية أكبر حجماً من الحبيبات المستخدمة في المونة الإسمنتية. مما سيخفض من نفقات إدارة النفايات البلاستيكية إذا ما أظهرت النتائج على البيتون زيادات ممكنة في المقاومات بعد التعريض الحراري بنسب تقارب النسب التي بينتها نتائج هذا البحث على المونة الإسمنتية المعدلة بحبيبات البولي إيتيلين.

المراجع :

1. KHATIB J. , KAUR I. " Use of recycled plastic in concrete" , Elservier, India, 2008, pp. 1835-1852.
2. GUPTA E. "Study of the use of plastic from municipal solid waste in concrete as a disposal technique" department of civil Engineering, New Delhi, India, 2006.
3. ZHANG Y. "Effects of different types of polyethylene on the morphology and properties of recycled polyethylene". Polymers for Advanced Technologies, Vol. 22, Issue 12, pp. 1851-1858, December 2011.
4. خيربك، علي. أثر الاستخدام الأمثل للملدنات على مواصفات المونة الإسمنتية في الحالة الطرية والصلبة، مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية– سلسلة العلوم الهندسية، جامعة تشرين، المجلد (30) العدد (1) 2008، 29 – 39.
5. BABOO R. , RUSHAD S. , BHAVESH K. , DUGGAL S. K. "Study of waste plastic mix concrete with plastcize" National Institute of Technology, patna, India, vol.2012, Article ID469272, 5 pages.
6. MARZOUK O. Y. , DHEILLY R. M. , QUENEUDEC M. "Valorization of post-consumer waste plastic in cementitious concrete composite" wast management, vol.27, pp.310-318, 2007.
7. ARIEBY R. "caractérisation mécanique et modélisation thermodynamique du comportement anisotrope du polyéthylène à haute densité. Intégration des effets d'endommagement". Thèse de Doctorat, INPL, Université de Nancy, France, 2007.