دور أشعة غاما في معالجة النفايات واستعمالها في صناعة الخرسانة(*)

Abstract

Scientific advances since the 2nd world war have lead to the development of numerous numbers of products that provide excellent benefits to the human kind. Most of these products, however, become waste materials after a short life and contribute to environmental pollution. Worldwide, this problem has become of great concern. Trying to tackle this issue, many investigation focused on recycling using innovative and clean technologies, such as ionizing radiation. In this context, it was found that the use of gamma radiation in recycling waste materials is a useful tool not only in reducing environmental pollution but also in improving the mechanical properties of concrete. For example, the compressive strength and modulus of elasticity are improved by the addition of gamma irradiated waste materials. Some of these materials that can be irradiated and reused to enhance the properties of concrete are polyethylene plastic bottles, used automotive car tires and cellulose extracted from packing containers.

مقدمـــة

تُعد الخرسانة (Concrete) المكونة من الرمل والحصى والإسمنت بنسب محددة، من أكثر مواد البناء استعمالاً في العالم، نتيجة لسهولة تحضيرها وكلفتها المنخفضة. مع ذلك، فإن لها بعض المساوئ من أهمها: (أ) احتوائها على مسامات تسمح بدخول الماء والغازات والمواد الكيميائية التي يمكن أن تؤذي الخرسانة، إضافة

(*) المقالة مترجمة بتصرف عن ورقة علمية بعنوان "Gamma Radiation as a Recycling Tool for Waste Materials Used in Concrete" والورقة منشورة في : "Evolution of Ionizing Radiation Research, Mitsuru Nenoi , 2015. Eds., In Tech, Rijeka, pp. 259-279".

إلى (ب) التلف السريع في السطوح الخرسانية بسبب عوامل التآكل (Abrasion) وقوة احتكاكها العالية، و(ج) ضعف مقاومتها للمواد المخرشة (Aggressive) والمياه المالحة ثم (د) ضعف مقاومتها للحرارة العالية. يعد إدخال المواد البوليمرية، التي ترتبط بشكل جيد مع المكونات الرئيسية لخلطة الخرسانة، وخاصة بعد تعريضها لأشعة غاما، أحد الخيارات المناسبة لمواجهة هذه المشكلة.

يهتم القائمون على الصناعة في الوقت الحاضر، نتيجة لقوانين حماية البيئة الصارمة، والطلب المتزايد على المنتجات الصديقة للبيئة، بتطوير طرق جديدة تهدف إلى تخفيف التأثيرات البيئية للعمليات الصناعية من خلال تخفيض كمية النفايات الناتجة، ومعالجة الكميات التي لابد من إنتاجها. إذ يشكل خطر استنزاف الاحتياطيات المؤكدة للمواد الأولية، وضرورة حماية الموارد غير المتجددة حافزاً لتطوير طرق جديدة لإعادة استعمال النفايات كبديل أو متمم للمواد الأولية الجديدة في العديد من المجالات الصناعية، ممّا يشجع على الحد من الضرر البيئي الناتج عن استخلاص المواد الصناعية الخام والكلفة العالية لعملية الاستخلاص.

اقتُرحت، في السنوات القليلة الماضية، وسائل واستراتيجيات متعددة لمواجهة التحديات البيئية في صناعة البناء ومنها: (أ) زيادة استعمال النفايات، وخاصة النواتج الجانبية للعمليات الصناعية، و(ب) استعمال المواد المدورة بدلاً من المصادر الطبيعية ممّا يجعل هذه الصناعة أكثر استدامة، و(ج) زيادة المتانة وتحسين الخصائص الميكانيكية وغير الميكانيكية، ممّا يقلل من حجم مواد البناء اللازمة لإقامة أبنية جديدة أو لإعادة تشييد الأبنية المدمرة.

يمكن، من حيث المبدأ، تعديل البنية الجزيئية للمواد المعقدة (البوليميرات) المعاد تدويرها والتي يمكن أن تدخل في تركيب الخرسانة، باستعمال الأشعة المؤينة، وذلك عن طريق تفاعلات إنتاج الروابط التصالبية (التشابكية) الإشعاعية (Cross-linkage reactions) وتفاعلات التفكك التي تفكك الروابط في السلاسل البوليميرية (Chain scission). ويعد التركيب الكيميائي للبوليميرات العامل الأساسي الذي يحدد مدى حدوث هذه التفاعلات، فمن الممكن أن نحصل على مركبات بمواصفات متميزة من النفايات البوليميرية عند تعريضها للأشعة المؤينة بغرض إنتاج الروابط التصالبية

فيها. وبالتالي، فإن استعمال تقنية التشعيع في إعادة تدوير النفايات البوليميرية، يعد خياراً جيداً من وجهة النظر الاقتصادية والبيئية.

تهدف هذه المقالة إلى توضيح دور الأشعة المؤينة في إعادة تدوير النفايات وتأمين وسائل بديلة لتحسين الخصائص الفيزيائية والكيميائية للخرسانة، وتناقش، بشكل خاص، دور الأشعة المؤينة، وخاصة أشعة غاما، في تعديل الخصائص الفيزيائية والكيميائية لبعض النفايات مثل القوارير البلاستيكية المصنوعة من تيرافثالات البولي إيثيلين (PET) والإطارات المطاطية التالفة والسليولوز المستخلص من علب ومواد التغليف المستعملة، واستخدام هذه النفايات المعالجة بالأشعة في تحسين خواص الخرسانة، وتركز على مساهمة ذلك في حماية البيئة.

النفايات المدورة المستعملة في صناعة الخرسانة

بات استعمال النفايات في الأنشطة الصناعية، على ضوء الوعي المتزايد لأخطارها البيئية، يشكل فرصة جذابة للاستثمار. فقد شكّل جمع النفايات الصلبة، وإعادة تدويرها، موضوعاً هاماً للبحث العلمي منذ زمن. كما أن استعمال هذه النفايات في تشييد الأبنية وبناء الطرق وصناعة مواد لتعبيدها مفيد في خفض التلوث البيئي وحل مشكلة تراكم النفايات في البيئة.

يمكن إدخال العديد من أنواع النفايات في تركيب الخرسانة ومنها المواد الناتجة عن إعادة تدوير القوارير البلاستيكية والألياف الناتجة عن إعادة تدوير الإطارات المستعملة وألياف السليولوز المستخرجة من النفايات الورقية، وخاصة مواد التغليف. وقد ركزت العديد من الدراسات على تطوير مواد جديدة للخلطة الخرسانية باعتماد طرق مبتكرة في إنتاج الخرسانة.

تصنّف النفايات الصلبة، وفقاً لطبيعتها الكيميائية، إلى مواد عضوية وأخرى لاعضوية. يعد الزجاج والسيراميك والمعادن مثل الألومنيوم المستعمل في مواد التغليف، إضافة إلى التوتياء والنحاس والحديد من أهم المواد اللاّعضوية الموجودة في النفايات الصلبة. أما بالنسبة للنفايات العضوية الصلبة، فتحتل المواد البلاستيكية

المصنوعة من تيرافثالات البولي إثيلين (PET) المرتبة الأولى. فقد بلغ استهلاك العالم من القوارير المصنوعة من هذه المادة في عام 2007 نحو 250 بليون قارورة (نحو 10 ملايين طن من النفايات)، ففي الولايات المتحدة الأمريكية وحدها يتم ترحيل نحو 50 بليون قارورة سنوياً إلى مكبات النفايات. وباعتبار أن هذه المادة (PET) لا تتفكك بيولوجياً، فمن الممكن أن تبقى في البيئة لمئات السنين القادمة. لحسن الحظ، يمكن استعمال هذه المادة (PET) في إنتاج صمغ البوليستر غير المشبع وذلك بوجود الكحول وحمض ثنائي الوظيفة الحمضية (Dibasic acid). وهذه المادة يمكن أن تستعمل كمادة لاصقة لإنتاج الخرسانة البوليميرية التي تتميز بقدرتها على تحمل الضغوط العالية.

ونظراً للاحتياجات الكبيرة في مجال مواد البناء، تتحرى الدراسات إمكانية إيجاد مواد بديلة للمواد التقليدية المستعملة في هذه الصناعة بمواصفات كيميائية وفيزيائية وميكانيكية أفضل وكلفة أقل. ويُعد استعمال المواد البلاستيكية كبديل لبعض مواد الخلطة الخرسانية (الرمل أو الحصى) أحد الخيارات الهامة لإعادة تدوير القوارير البلاستيكية المصنوعة من تيرافثالات البولي إثيلين (PET). أسهمت ألياف البولي إثيلين الناتجة عن إعادة تدوير القوارير البلاستيكية، عند إضافتها للخرسانة، في التقليل من تشققها، وقد بينت الاختبارات وجود تأثير معنوي كبير لهذه الإضافة في متانة الخرسانة وتحسن في قيم قوة مقاومة الضغط ومعامل المرونة.

تعتمد قوة مقاومة الضغط للخرسانة على تركيز الألياف البلاستيكية (PET). ويمكن تفسير مثل هذا السلوك اعتماداً على خصائص سطح الأسمنت الحاوي على هذه الألياف. فعند إضافة كميات قليلة من الألياف البلاستيكية، تغطي هذه الألياف حبيبات الرمل والحصى معطية أسطحاً أكثر خشونة. ومع زيادة تركيزها (حتى 2.5%) يعطي المزيج أسطحاً أكثر تجانساً، ولكن زيادة هذه النسبة إلى 5% يؤدي إلى ظهور بعض التشققات.

إضافة إلى ذلك، فقد تبين، خلال العقدين الماضيين، المزايا الهامة التي يمكن للبوليميرات أن تضيفها عند استعمالها في تغطية أسطح الطرق. فقد وجد الباحثون

بأن مزج بوليميرات مختلفة، بطريقة مناسبة، مع الإسفلت قد أدى إلى زيادة في عمر الإسفلت وتحسن في أدائه، غير أن الكلفة العالية لهذه المواد وقلة توفرها تحد من استعمالها. ولكن يمكن تحسين أداء الطرق الإسفلتية من خلال إضافة النفايات البوليميرية مثل القوارير البلاستيكية، بدلاً من البوليميرات الجديدة، بما يقلل الكلفة ويخفف من التلوث البيئي ويساهم في تحسين كفاءة الطرق.

لقد أدى تراكم كميات ضخمة من إطارات السيارات المستعملة، بسبب التزايد الكبير للسيارات في العالم، إلى نشوء مشكلة حقيقية في إدارة هذه النفايات والتخلص منها. فمثلاً، بلغ عدد الإطارات التالفة في عام 2002 نحو 275 مليون إطار في الولايات المتحدة الأمريكية و110 مليون إطار في اليابان و37 مليون إطار في المملكة المتحدة، كما تنتج تايوان أكثر من 100 ألف طن من الإطارات المستعملة سنوياً. يشكل التخلص النهائي من هذه الإطارات تحدياً بيئياً كبيراً، فالمكبات التي تلقى فيها هذه الإطارات تشكل خطراً بيئياً وصحياً بالغاً. ويعد حرق الإطارات المستعملة لإنتاج الطاقة أو البخار اللازم لتوليد الكهرباء واحداً من أكثر الطرق استعمالاً في التخلص من الإطارات التالفة. كما تستخدم هذه الإطارات كوقود بديل في أفران الإسمنت في الولايات المتحدة الأمريكية وبعض الدول الأوربية. تتضمن تطبيقات استخدام الإطارات المستعملة أيضاً تحويلها إلى مواد تستعمل في تحسين مواصفات الإسفلت المستعمل في فرش الأرصفة. ويمكن أن تستخدم أيضاً كبديل للمكونات الناعمة (الرمل) أو الخشنة (الحصى) في الخلطات المستعملة في صناعة الخرسانة. وتؤدي إضافة مثل هذه المواد إلى تحسن في بعض المواصفات الميكانيكية للخرسانة مثل المتانة والقوة ومعامل المرونة.

يمكن لإعادة تدوير الإطارات المستعملة واستخدامها في صناعة البناء أن يساهم في تخفيف التلوث البيئي ويساعد في تصميم أبنية بكفاءة اقتصادية أعلى. وبهذا الخصوص، فقد بات استعمال الإطارات التالفة في صناعة الخرسانة الجاهزة (Ready-mixed concrete)، في العقدين الماضيين، معروفاً على مستوى العالم، ومحفزاً لقدر هام من البحث العلمي. كما أن كمية محدودة من الإطارات المستعملة تستخدم اليوم لتقوية الأرصفة البحرية في امتصاص الصدمات الناتجة عن الأمواج أو

السفن. ومازال الناس يلجؤون، في بعض دول العالم، إلى حرق الإطارات المستعملة، كإجراء ينتج عنه مستويات غير مقبولة من التلوث البيئي. وعليه، فمن الأهمية بمكان أن نلجأ إلى تقنيات جديدة ومبتكرة في مجال إعادة تدوير الإطارات المستعملة. والكثير من الدول تمنع تجميع الإطارات المستعملة أو تخزينها في مكبات النفايات مقدمة بذلك حافزاً هاماً للبحث عن استراتيجيات للتخلص منها. تتضمن واحدة من هذه الاستراتيجيات تحويل هذه الإطارات إلى حبيبات صغيرة تستخدم في الخلطة المستعملة لتحضير الخرسانة، مؤمنة بذلك تحويلها إلى فرصة اقتصادية وموفرة من كمية المواد الأولية المستعملة في الخلطة.

تستخدم المواد الناتجة عن الإطارات المستعملة أيضاً في صناعة العديد من المنتجات البلاستيكية، إضافة إلى استعمالها في صناعة المطاط الإسفلتي المستخدم في فرش الأرصفة، ويستعمل أوكسي كلوريد الإسمنت كرابط في تحضير مزيج الخرسانة المطاطية (Rubberized concrete). ومن الجدير ذكره أن مزيج المطاط والإسفلت يحقق المواصفات القياسية العالمية للجمعية الأمريكية للاختبارات والمواد (ASTM) ويمكن أن يشكل بديلاً ممتازاً للمزيج التقليدي الذي يستعمل المواد والتقنيات المحلية في بناء الأرصفة.

ورغم أن استعمال المطاط في الخرسانة يؤدي إلى انخفاض في قوة مقاومة الضغط للخرسانة الناتجة، ممّا يحد من إمكانية استعمالها في بعض الإنشاءات الهندسية، فإن للخرسانة المحضرة بهذه الطريقة العديد من الميزات المرغوبة مثل الكثافة المنخفضة والمتانة والمقاومة العالية والقدرة على العزل، خاصة ضد الأصوات. ويمكن أن تكون هذه الخصائص مفيدة في العديد من التطبيقات العملية مثل بناء الطرق السريعة داخل المدن. وبالتالي، فمن الممكن تخفيض كمية الإطارات المستعملة بشكل كبير باستعمال نواتج طحن هذه الإطارات في صناعة الخرسانة. كما أن إضافة أكسي كلوريد المغنسيوم يمكّن من الحصول على خرسانة عالية القوة بأداء وقوة التصاق أفضل.

تعد المواد المحتوية على السليولوز واحدة من أهم مكونات النفايات، فمثلاً يتكون معظم الكرتون المستعمل في علب التغليف من ثلاث مواد أولية هي الورق

(نحو 75%) وتيرافثالات البولي إثيلين منخفض الكثافة (نحو 20%) والألومنيوم (قرابة 5%). يتم إعادة تدوير علب التغليف المستعملة بفصل ألياف السليولوز عن الطبقة الرقيقة من البولي إثيلين والألومنيوم. يشكل الوحل (الطين) الورقي (Paper sludge) معظم نفايات صناعة الورق ويتم حرق هذه النفايات للحصول على رماد الورق (Paper ash). يستعمل رماد الورق كمحسن للتربة الزراعية، كما يستعمل كمادة أولية في صناعة الإسمنت. يزيد رماد الورق، بقدرته العالية على امتصاص الماء، من قوة الخرسانة عالية الصلابة.

تستعمل الناقلية الحرارية كمقياس لفعالية العزل الحراري للمواد، وتؤدي إضافة ألياف السليولوز للخلطة الخرسانية (بمعدل 2 ـ 16% وزناً) إلى تلاشي قيم الناقلية الحرارية، مؤدياً ذلك إلى توفير في الطاقة اللازمة لتدفئة أو تبريد الأبنية. يعود هذا التأثير إلى مزايا العزل لألياف السليولوز ذاتها، إضافة إلى تكوّن فقاعات هوائية أثناء خلط ألياف السليولوز مع مكونات الخرسانة، وعند تكون فراغات أكثر في المزيج نحصل على خرسانة بوزن أقل وقدرة عزل أعلى.

لقد استُعملت ألياف السليولوز في صناعة الخرسانة الخفيفة، إذ تخلط ألياف السليولوز المستخلصة من مواد التغليف المعاد تدويرها مع الخلطة الخرسانية بنسبة تصل حتى 16% وزناً. وقد بيّنت نتائج الدراسات بأن زيادة نسبة ألياف السليولوز قد أدت إلى انخفاض في قوة مقاومة الضغط للخرسانة ولكنه أدى أيضاً إلى تحسن في قدرتها على العزل الحراري. يؤمن الحصول على خرسانة بكثافة منخفضة وقدرة عزل عالية مادة بناء خفيفة الوزن، وتستعمل الخرسانة الخفيفة في بناء جدران التقطيع الداخلية للأبنية وفي الأسقف المستعارة.

دور أشعة غاما في إحداث تغيرات بنيوية في النفايات البوليميرية

تنتج أشعة غاما من تفكك نوى الذرات المشعة وبعض الجسيمات النووية الأخرى، وهي عبارة عن أشعة كهرطيسية تشبه الضوء المرئي ولكن بطول موجة أقصر بكثير. يقل طول موجة أشعة غاما، بشكل عام، عن عدة أعشار من الأنغستروم، وتقدر طاقة هذه الأشعة بوحدة تدعى الإلكترون فولط (eV). ويعرف

الإلكترون فولط بأنه الطاقة التي يمتلكها الإلكترون عندما يتحرك بفرق كمون مقداره فولط واحد، ولكن الوحدة المستعملة حالياً أكبر من الإلكترون فولط بمليون مرة وتدعى ميغا إلكترون فولط (MeV). ويؤدي انتقال الطاقة إلى ذرات العناصر والجزيئات التي تصطدم بها الأشعة إلى نوعين من الأفعال هما التأين (Ionization) والإثارة (Excitation)، وذلك وفقاً لكمية الطاقة المنتقلة.

تنتج الإثارة عن انتقال إلكترون من مداره إلى مدار أبعد عن النواة ثم ما يلبس أن يعود إلى المدار الذي اقتلع منه بعد أن يحرر الطاقة التي اكتسبها. أما التأين فينتج عن إزاحة إلكترون من الذرة بشكل كامل تاركاً وراءه ذرة موجبة الشحنة أو متأينة، ولعملية التأين هذه تطبيقات هامة جداً لدرجة سمّيت الأشعة القادرة على إحداثها بالأشعة المؤينة، وتعد أشعة غاما من أهمها.

تُقيّم تأثيرات أشعة غاما في النفايات، وخاصة منها البولميرية، من خلال التغيرات التي تحدثها في تركيبها الكيميائي وسلوكها الميكانيكي. تحدث هذه التغيرات نتيجة لإعادة ترتيب الروابط الكيميائية التي تسمح بزيادة في درجة البلمرة أو التشابك البنيوي. يهدف تعديل ترتيب الروابط في البوليميرات، باستعمال أشعة غاما، إلى تحسين مزاياها إلى الحدود المثلى وزيادة ملاءمتها للمواد الداخلة في تركيب الخلطة الخرسانية.

تستعمل تقنية التشعيع بأشعة غاما اليوم، بشكل ناجح، في إعادة تدوير النفايات البلاستيكية. وهذه التقنية ممكنة من الناحية العملية ومجزية من وجهتي النظر الاقتصادية والبيئية. ومن بين الفوائد الأكثر أهمية لهذا التطبيق ما يلي : (أ) تحسين الخصائص الميكانيكية وأداء البوليميرات أو مزيجها من خلال الروابط التصالبية (التشابكية) الإشعاعية و(ب) تسريع عملية تفكك البوليميرات، وخاصة من خلال تقطيع (تفكيك) الروابط في السلاسل البوليميرية، التي ينتج عنها مركبات بوزن جزيئي منخفض يمكن استعمالها كإضافات أو كمادة خام في عدة صناعات، و(ج) وإنتاج مواد بوليميرية متطورة مصممة بشكل خاص لتكون صديقة للبيئة (قابلة للتفكك).

تمت دراسة تأثير التشعيع بأشعة غاما في الخصائص المورفولوجية (الشكلية) لسطح حبيبات النفايات البلاستيكية (PET) والمطاطية والسليولوزية المعاد تدويرها،

باستعمال المجهر الإلكتروني الماسح (Scanning electron microscopy, SEM)، وقد بينت النتائج ظهور العديد من التغيرات في سطح هذه الحبيبات.

وفي دراسة لتقييم تأثير التشعيع بأشعة غاما في المواد البلاستيكية المعاد تدويرها بجرعات وصلت حتى 15000 كيلو غراي تبين حدوث انخفاض في الكتلة الجزيئية على جرعات وصلت حتى 5000 كيلو غراي. وقد عزي ذلك إلى وقوع انقطاعات في السلاسل البوليميرية ولكن الكتلة الجزيئية تزايدت على جرعات أعلى من 5000 كيلو غراي نتيجة لتجميع السلاسل المنفصلة وإعادة تشكيلها. وفي دراسة أخرى شععت فيها القوارير البلاستيكية المعاد تدويرها بجرعات وصلت إلى 670 كيلو غراي، بينت النتائج تزايد في درجة التبلور وحجم البلورات مع زيادة الجرعة.

دُرس أيضاً تأثير أشعة غاما على الخصائص الميكانيكية والحرارية لمزيج من النفايات البلاستيكية المعاد تدويرها مع البولي إثيلين منخفض الكثافة (LDPE) وأسيتات فينيل الإثيلين (EVA) باستعمال جرعات إشعاعية تراوحت بين 25 و100 كيلو غراي، وقد بينت النتائج أن حدوث تفاعلات إنتاج الروابط التصالبية (التشابكية) الإشعاعية لتيرافثالات البولي إثيلين (PET) تركيز 10% بلغ حده الأعظم عند جرعة 100 كيلو غراي.

بينت التحريات التي ركزت على تأثير أشعة غاما في الخصائص الفيزياكيميائية للسليولوز أن زيادة جرعة التعرض بمقدار 25 كيلو غراي قد أدى، بالمتوسط، إلى فقد 1% في درجة التبلور وذلك في مجال جرعة حتى 1000 كيلو غراي. وتم الحفاظ على درجة البلمرة (Degree of polymerization) حتى جرعة 1 كيلو غراي ولكن تناقص هذا على جرعات أعلى من 10 كيلو غراي. زيادة على ذلك، فقد تمت ملاحظة تغيرات في الجاذبية النوعية (Specific gravity) وثابت الشبكية (Lattice constant) حتى جرعة 1000 كيلو غراي، مع تفكك تام للسليولوز عند جرعة 6550 كيلو غراي.

تظهر صور المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) لحبيبات الإطارات المستعملة المعاد تدويرها أن الحبيبات غير المشععة تبدي سطوحاً متجانسة في حين أن

الحبيبات المعرضة لجرعة 200 كيلو غراي تظهر خشونة وفراغات في سطحها. كما أن زيادة الجرعة تؤدي إلى مزيد من التشقق للسطح وتشكّل فراغات (أكبر من 100 أنغستروم). وعند جرعة 300 كيلو غراي، يصبح التأثير أكثر وضوحاً وتظهر التشققات بشكل أوضح.

استعمال النفايات المشعة المعاد تدويرها في صناعة الخرسانة

يضيف استعمال أشعة غاما مزايا هامة للنفايات البوليميرية المعاد تدويرها إذ تحسّن النفايات المشعة من الخصائص والمزايا الميكانيكية للخرسانة، مسألة يمكن تفسيرها من خلال التغيرات التي تحصل في البنية الكيميائية والفيزيائية للسطح. فالتشعيع بأشعة غاما يسرع من عملية البلمرة، التي تؤدي إلى التصاق أفضل بين الألياف البوليميرية والشبكة الأسمنتية. أهم الخصائص الميكانيكية المعتمدة في تقييم جودة الخرسانة هي قوة مقاومة الضغط (Compressive strength) ومعامل المرونة (Elasticity modulus) وقوة مقاومة الصدمات أو المتانة (Impact strength) والإجهاد (Strain) ومقدار التشوه في نقطة الخضوع (نهاية حد المرونة) والانهيار أو الكسر (Deformation in the yield point and breakdown) وقيم التشوه.

بالنسبة للخرسانة الحاوية على نفايات الإطارات المشعة، وجد أن قوة مقاومة الضغط تناقصت مع زيادة نسبة النفايات في الخرسانة. وتتوقف الخصائص الميكانيكية للخرسانة الحاوية على حبيبات النفايات المطاطية على حجم وتركيز تلك الحبيبات. إذ تتناقص قيم قوتي مقاومة الضغط ومقاومة الشد بوجود حبيبات النفايات المطاطية غير المشعة. ولكن، يمكن تحسين الخصائص الميكانيكية لهذه الحبيبات عن طريق تعريضها لأشعة غاما. ويبدو أن أفضل النتائج يتم الحصول عليها عندما يكون حجم الحبيبات المشعة نحو 2.8 ملم وبنسبة إضافة لا تزيد عن 10%. علماً بأنه من الممكن إضافة الحبيبات المطاطية المشعة إلى الخلطة الخرسانية بنسب تصل حتى 30% ممّا يساعد في خفض كلفتها النهائية.

ربما تعود التغيرات في الخصائص الميكانيكية للخرسانة إلى التغيرات المورفولوجية (الشكلية) التي تحدث في أماكن التشقق. فعند تعريض النفايات

المطاطية لجرعة 200 كيلو غراي، تتغطى حبيبات الإسمنت المنتشرة بألياف الإطارات المشعة كنتيجة للانقسامات التي تحصل في سلسلة البوليميرات. ويمكن للإسمنت، الذي يعمل كمادة لاصقة عند خلطه مع حبيبات المطاط الناتجة عن إعادة تدوير الإطارات المستعملة، أن ينتج قوالب أسمنتية أكثر مرونة، مؤمناً بذلك أسطحاً أكثر نعومة. وتؤدي القوالب المنتجة والمستعملة لتغطية الأرصفة أداءً جيداً من حيث الانزلاق وقوة الاحتكاك. وتعد التغيرات في قوة مقاومة الشد الناتجة عن الروابط التصالبية الإشعاعية وتفاعلات التفكك واحدة من أكثر التأثيرات وضوحاً للتشعيع.

تستخدم نواتج طحن الإطارات المطاطية التالفة أيضاً في تركيب الخلطة الخرسانية المستعملة لإنتاج الصفائح متعددة الطبقات التي تتعرض للتأثير المباشر للطلقات النارية، حيث تستعمل طبقات متناوبة من المواد الصلبة والطرية في وقف القوة البالستية للطلقة. تعمل الطبقة الطرية المكونة من الخرسانة الحاوية على المطاط كوسادة لامتصاص جزء من طاقة التصادم الكلية، مؤدية بذلك إلى خفض قوة التصادم التي تصل إلى الطبقة الصلبة. ينتج عن ذلك تأخر في زمن الاستجابة في بداية التصادم ممّا يخفض من ذروة التسارع ويقلل من الانزياح الرأسي لمركز الكتلة.

وجد في دراسة للخرسانة المقواة بالنفايات البلاستيكية (PET) أن الخرسانة الحاوية على النفايات غير المشعة قد اتبعت سلوكاً نموذجيا في التشوه الناتج عن قوة الضغط (Compressive strain) التي تزايدت طرداً مع زيادة تركيز جسيمات تيرافثالات البولي إثيلين. ولكن ذلك لم ينطبق على قوة مقاومة الضغط أو معامل المرونة. فقد بينت الدراسات اختلاف سلوك الخرسانة الحاوية على بوليميرات مشعة عن تلك الحاوية على بوليميرات غير المشعة، فعندما نزيد تركيز تيرافثالات البولي إثلين غير المشعة تتلاشى قوة مقاومة الضغط وتنخفض قيمة التشوه الناتج عن قوة الضغط بشكل واضح، ولكن معامل المرونة يبدي سلوكاً معاكساً. وباعتبار أن قوة مقاومة الضغط للخرسانة تعد واحدة من المعايير التصميمية الأساسية المستعملة من قبل المهندسين في الإنشاءات الهندسية فإن النفايات البلاستيكية (PET) يمكن أن تؤمن مادة مناسبة للبناء. فإضافة نسبة صغيرة منها (نحو 5%) كبديل للرمل في تركيب الخلطة الخرسانية يمكن أن يزيـد من قوة مقاومة الضغط حتى 23%

ويخفض التشوه الناتج عن قـوة الضغط حتـى 26%. ولذلـك فإن التشعيع يشكل أداة مفيدة وطريقة مناسبة لإعادة تدوير النفايات البلاستيكية واستعمالها في صناعة البناء.

وتم في إحدى الدراسات إضافة النفايات البلاستيكية (PET) المدورة إلى تركيب الخرسانة المقاومة للرطوبة (Hydraulic concrete) كبديل للرمل ودرس تأثير ذلك في الخصائص الميكانيكية (قوة مقاومة الضغط ومعامل المرونة) للخرسانة الناتجة. وبينت النتائج بأن العينات التي تعرضت لجرعة 100 كيلو غراي أظهرت قوة مقاومة ضغط أعلى (15 ـ 35%) من العينات غير المشعة. وقد لوحظ عند تشعيع العينات بجرعة 150 أو 200 كيلو غراي أن القوة الميكانيكية تزايدت بمقدار 50% مقارنة بتلك التي تعرضت لجرعة 100 كيلو غراي، ولكن لم يلاحظ أي تأثير لحجم أو تركيز حبيبات البولي إثيلين في تلك العينات. أما بالنسبة لمعامل المرونة، فقد تشابهت القيم لكلا النوعين من العينات (مشعة وغير مشعة) مع وجود علاقة عكسية بين الخصائص الميكانيكية وحجم الحبيبات البلاستيكية (PET)، فكلما صغر حجمها كلما زاد معامل المرونة.

تم التقصي، في دراسة حديثة، عن أهمية أشعة غاما والنفايات السليولوزية في تحسين الخصائص الميكانيكية للخرسانة. استخلص السليولوز من علب التغليف المستعملـة (نفايات)، وأضيفـت النفايـات السليولوزية إلى الخلطة الإسمنتية بتركيز 3 و5 و7%. بينت الدراسات على الخرسانة الخالية من النفايات السللوزية، أن قيم مقاومة قوة الضغط للخرسانة تتزايد مع الزمن وتبلغ حدها الأعظم بعد 28 يوماً من تحضيرها. أما الخرسانة الحاوية على النفايات السليولوزية، فإن قيم قوة مقاومة الضغط تتناقص بشكل تدريجي مع زيادة تركيز السليولوز، ويبلغ هذا الانخفاض حده الأدنى (5%) عن الشاهد (بدون سليولوز) في الخرسانة الحاوية على 3% من النفايات السليولوزية. وبشكل مشابه للخرسانة الخالية من النفايات السليولوزية، فإن قيم قوة مقاومة الضغط للخرسانة الحاوية على نفايات سليولوزية تتزايد مع الزمن بغض النظر عن نسبة السليولوز المضافة. يمكن شرح هذا الانخفاض في القيم (قيم قوة

مقاومة الضغط) من خلال كمية النفايات السليولوزية المضافة. إذ تعتمد قوة مقاومة الضغط على كمية النفايات السليولوزية المضافة ونسبة الماء إلى الإسمنت (W/C).

أما في الخرسانة الحاوية على نفايات سليولوزية مشعة، فقد لوحظ سلوك مختلف. إذ تزايدت هذه القيم (قيمة قوة مقاومة الضغط) مع تزايد تركيز نفايات السليولوزية. وسجلت القيمة العظمى لقيمة قوة مقاومة الضغط في الخرسانة المعرضة لجرعة 300 كيلو غراي بعد ثمانية أيام من التحضير إذ زادت بمقدار 47% عن الشاهد. وزادت هذه القيمة لكل جرعة إشعاعية مع زيادة المدة بعد التحضير. وبشكل عام، فقد غطت حبيبات السليولوز المشعة حبيبات الرمل وبالتالي فقد تأثرت المنطقة المحيطة بتركز الإجهاد (Stress concentration). لذلك، عندما تكون المسافة بين الحبيبات صغيرة بما يكفي، تتفاعل هذه المناطق وتشكل شبكة تقطير (ترشيح)، مؤدية إلى التصاق جيد بين حبيبات الأسمنت وحبيبات السليولوز وبذلك يتم الحصول على قفزة في عامل المرونة. يمكن أن تعزى هذه النتائج إلى تأثير التشعيع بأشعة غاما في النفايات السليولوزية.

يمكن شرح التحسن في قيم قوة مقاومة الضغط من خلال تأثير أشعة غاما في مكونات الخرسانة والنفايات السليولوزية. فكما هو معلوم، تحدث العديد من التفاعلات الكيميائية خلال تشعيع المواد البوليميرية بأشعة غاما مثل تفاعلات إنتاج الروابط التصالبية الإشعاعية وتفاعلات التفكك التي تفكك الروابط في السلاسل البوليميرية، إضافة إلى تفاعلات أخرى.

إن تشكل الروابط التصالبية الإشعاعية في السلاسل البوليميرية للسليولوز تحت تأثير التشعيع هام جداً لجهة تأثيرها في الإسمنت وجزيئات الماء. ويعد تأثير تفاعلات الروابط التصالبية الإشعاعية هو الأكثر أهمية في تشعيع البوليميرات لأنها تحسن، بشكل عام، الخصائص الميكانيكية والحرارية والكيميائية للخرسانة. إضافة إلى ذلك، فإن تعريض السليولوز لأشعة عالية الطاقة (كأشعة غاما) يؤدي إلى إنتاج جذور حرة نتيجة انفصال الروابط الضعيفة، ومثل هذه الجذور يمكن أن تتفاعل مع جزيئات معينة في الصبة الإسمنتية.

الخلاصـــة

تشكل النفايات البوليميرية المعاد تدويرها، وخاصة منها البلاستيك والمطاط والسليولوز، وأشعة غاما، أداتان مفيدتان في تحسين الخصائص الميكانيكية للخرسانة، إذ تستخدم هذه النفايات كبديل لبعض مكونات الخلطة الخرسانية مثل الحصى والرمال. ويؤدي تعريض هذه النفايات لجرعات إشعاعية معينة، وإدخالها بنسب محددة في تركيب الخرسانة، إلى زيادة في المتانة وتحسن في قوة مقاومة الضغط ومعامل المرونة للخرسانة الناتجة.

وعلى اعتبار أن قوة مقاومة الضغط هي مقياس أساسي يستعمل من قبل المهندسين في تصميم الأبنية، فإن النفايات، بأشكالها وأنواعها المختلفة (حبيبات أو ألياف)، يمكن أن تكون مادة مناسبة في البناء. إذ يمكن استبدال الرمل بكميات صغيرة من هذه النفايات لتعزيز الخصائص الميكانيكية للخرسانة الناتجة. إضافة إلى ذلك، يمكن لأشعة غاما أن تكون أداة مفيدة في إعادة تدوير النفايات البوليميرية وتحسين خصائص المواد الناتجة عنها. أخيراً يمكن القول، استناداً إلى صور المجهر الإلكتروني الماسح (SEM)، بأن تأثير أشعة غاما في النفايات البوليميرية والخصائص الميكانيكية للخرسانة يعززان بعضهما البعض.

ترجمة : د. محمد منصور
هيئة الطاقة الذرية السورية
mmansour@aec.org.sy

References

(1) Chiu C.-T. 2008. Use of ground tire rubber in asphalt pavements: field trial and evaluation in Taiwan. Resources, Conservation and Recycling, 52: 522–53

(2) Martínez-Barrera G., Brostow, W. 2009. Fiber-reinforced polymer concrete: property improvement by gamma irradiation. In: Barrera-Díaz

C, Martínez-Barrera G (eds.) Gamma radiation effects on polymeric materials and its applications. Kerala: Research Signpost. p. 27–44.

(3) Martinez-Barrera, G., W. Brostow and S. Hernandez-Lopez. 2015. Recovery of waste tetra pak materials and its application in concrete. Proceedings of 29th The International Conference, London, United Kingdom, 12th July 2015, ISBN: 978-93-85465-50-5.

(4) Paranhos Gazineu M.H., dos Santos W.A., Hazin C.A., de Vasconcelos W.E., Dantas C.C. 2011. Production of polymer–plaster composite by gamma irradiation. Progress in Nuclear Energy. 53: 1140–1144.

(5) Stankovic S.J., Ilic R.D., Jankovic Bojovic K.D., Loncar B. 2010. Gamma radiation absorption characteristics of concrete with components of different type materials. Acta Physica Polonica . 117 (5): 812–816.