JASPSS
مجلة المجتمع العربي لنشر الدراسات العلمية
ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (109)
2025-8-4
https://jaspss.com

بحث بعنوان

استخدام المخلفات الصناعية البلاستيك المعاد تدويره في إنشاء الطرق المستدامة

اعداد

صفاء موسى قاسم الحلاحلة

مهندس مدني / طرق

بلدية أم البساتين

ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (109)
2025-8-4

الملخص

يُعد استخدام المخلفات الصناعية، وخاصة البلاستيك المعاد تدويره، في إنشاء الطرق المستدامة خطوة واعدة نحو تقليل الأثر البيئي للنفايات البلاستيكية وتحسين كفاءة مواد البناء. يتم تحويل البلاستيك غير القابل للتحلل إلى مكونات مُضافة للأسفلت أو خلطه مع مواد الطرق التقليدية، مما يعزز من متانة السطح ومقاومته للتشققات والتشوهات الناتجة عن الظروف الجوية والحمل المروري. هذا الأسلوب لا يساهم فقط في تقليل كميات النفايات التي تُدفن أو تُلقى في المحيطات، بل يقلل أيضًا من الاعتماد على المواد الطبيعية غير المتجددة مثل الإسفلت والركام.

كما تُظهر الدراسات أن الطرق المصنوعة باستخدام البلاستيك المعاد تدويره تتمتع بعمر افتراضي أطول وتتطلب صيانة أقل، ما يجعلها اقتصادية وبيئية على المدى الطويل. بالإضافة إلى ذلك، يدعم هذا التوجه أهداف التنمية المستدامة من خلال تعزيز الاقتصاد الدائري وتحويل النفايات إلى موارد. ومع تطور التكنولوجيا وزيادة الوعي البيئي، يُتوقع أن تُعتمد هذه الممارسات على نطاق أوسع، مما يفتح آفاقًا جديدة لبناء بنية تحتية خضراء ومستدامة في المدن الحديثة.

Abstract

Using industrial waste, particularly recycled plastic, in sustainable road construction is a promising step toward reducing the environmental impact of plastic waste and improving the efficiency of building materials. Non-biodegradable plastics are converted into asphalt additives or mixed with conventional road materials, enhancing surface durability and resistance to cracking and deformation caused by weather conditions and traffic loads. This approach not only reduces the amount of waste buried or dumped in the oceans, but also reduces reliance on non-renewable natural materials such as asphalt and aggregates.

Studies also show that roads made using recycled plastic have a longer lifespan and require less maintenance, making them economical and environmentally friendly in the long term. Furthermore, this approach supports sustainable development goals by promoting a circular economy and converting waste into resources. As technology advances and environmental awareness increases, these practices are expected to become more widely adopted, opening new horizons for building green and sustainable infrastructure in modern cities.

ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (109)
2025-8-4

المقدمة

تُعد إدارة النفايات الصناعية، وخاصة النفايات البلاستيكية، واحدة من أبرز التحديات البيئية التي تواجه العالم في العصر الحديث. مع تزايد الإنتاج والاستهلاك العالمي للبلاستيك، أصبحت المخلفات البلاستيكية تشكل تهديدًا جسيمًا للبيئة، حيث تستغرق مئات السنين للتحلل وتلوث التربة والمياه والنظم البيئية البحرية. وفي ظل هذه الأزمة، برزت الحاجة إلى حلول مبتكرة ومستدامة تُقلل من كميات النفايات وتحولها من عبء بيئي إلى مورد قيم يمكن الاستفادة منه في قطاعات حيوية مثل البناء والبنية التحتية.

يُعد قطاع إنشاء الطرق أحد المجالات الواعدة لاستغلال المخلفات الصناعية، لا سيما البلاستيك المعاد تدويره، في تطوير بنية تحتية أكثر استدامة. فقد أظهرت الأبحاث والتجارب الحديثة أن خلط البلاستيك المعاد تدويره مع مواد الطرق التقليدية مثل الإسفلت يمكن أن يُحسّن من خصائص الأداء الميكانيكية للأسفلت، ويُعزز مقاومته للتشقق والانزلاق ودرجات الحرارة العالية. كما أن استخدام هذه المواد يُقلل من الحاجة إلى المواد الخام الطبيعية، ما يساهم في ترشيد استهلاك الموارد وتقليل البصمة الكربونية المرتبطة بإنتاج مواد البناء.

في هذا السياق، يكتسب استخدام البلاستيك المعاد تدويره في إنشاء الطرق أبعادًا اقتصادية وبيئية واستراتيجية، حيث يجمع بين إعادة التدوير الذكية وتحقيق التنمية المستدامة. وتمثّل هذه المبادرات نموذجًا عمليًا للاقتصاد الدائري، حيث تُعاد تدوير النفايات إلى منتجات ذات قيمة مضافة، بدلًا من التخلص منها. وتُعد هذه الخطوة ضرورية لبناء مدن ذكية وخضراء قادرة على مواجهة التحديات البيئية المستقبلية، مع تحقيق كفاءة في التكاليف وتحسين جودة الطرق على المدى الطويل.

مشكلة البحث

تُعد التزايد المطرد في كميات المخلفات الصناعية، لا سيما البلاستيكية منها، أحد أبرز التحديات البيئية التي تواجه الدول النامية والمتقدمة على حد سواء. ورغم الجهود المبذولة في مجال إعادة التدوير، تبقى نسبة الاستفادة من هذه المخلفات محدودة، حيث تُلقى أغلبية النفايات البلاستيكية في المكبات أو البيئة الطبيعية، مما يؤدي إلى تلوث التربة والمياه وانبعاثات ضارة تهدد الصحة العامة والنظم البيئية. وفي المقابل، يستهلك قطاع إنشاء الطرق كميات هائلة من المواد التقليدية مثل الإسفلت والركام، والتي تتطلب طاقة كبيرة في استخراجها وإنتاجها، ما يساهم في زيادة البصمة الكربونية ونضوب الموارد الطبيعية.

ومن هنا تبرز مشكلة البحث في كيفية الاستفادة من هذه المخلفات البلاستيكية المعاد تدويرها كمواد بناء بديلة في إنشاء الطرق، بهدف التقليل من النفايات وتحقيق استدامة البنية التحتية. ومع وجود دراسات أولية تشير إلى إمكانية تحسين أداء الطرق باستخدام البلاستيك المعاد تدويره، لا تزال هناك تحديات تتعلق بجودة المواد، والمتانة على المدى الطويل، والتأثيرات البيئية المحتملة للتسرب الكيميائي، فضلاً عن نقص المعايير الفنية والتشريعية الداعمة لهذا النوع من الابتكار. لذا، يركّز هذا البحث على تقييم الجدوى الفنية والبيئية والاقتصادية لاستخدام المخلفات الصناعية البلاستيكية في إنشاء الطرق المستدامة، وتحديد السبل الكفيلة بدمجها بكفاءة وسلامة في مشاريع البنية التحتية.

أهداف البحث

1. تقييم الجدوى الفنية لإدخال البلاستيك المعاد تدويره كمكون في خلطات الإسفلت، من حيث الخصائص الميكانيكية مثل المتانة، ومرونة التمدد والانكماش، ومقاومة التشقق والانزلاق.

2. تحليل الأثر البيئي لاستخدام المخلفات البلاستيكية في الطرق، بهدف قياس مدى تقليل التلوث وانبعاثات الكربون، بالإضافة إلى تقييم المخاطر المحتملة مثل تسرب المواد الكيميائية مع مرور الوقت.
3. دراسة الجدوى الاقتصادية للمشروعات القائمة على هذه التقنية، من خلال مقارنة تكاليف الإنشاء والصيانة للطرق التقليدية مقابل الطرق التي تستخدم البلاستيك المعاد تدويره.
4. استكشاف التحديات التقنية والتنظيمية التي تواجه تطبيق هذه الممارسات، واقتراح توصيات لوضع معايير فنية وطنية أو دولية لضمان الجودة والسلامة.
5. المساهمة في دعم الاقتصاد الدائري واستدامة البنية التحتية من خلال اقتراح نماذج عملية لدمج إعادة التدوير في قطاع البناء، وتشجيع السياسات الداعمة للاستفادة من النفايات كموارد بدلاً من التخلص منها.

أهمية البحث

تكتسب دراسة استخدام المخلفات الصناعية البلاستيكية المعاد تدويرها في إنشاء الطرق أهمية بالغة في ظل التحديات البيئية والاقتصادية المتصاعدة التي تواجهها المجتمعات الحديثة. فمع تضخم كميات النفايات البلاستيكية التي يصعب تحللها، وزيادة الضغط على الموارد الطبيعية المستخدمة في بناء الطرق، يُعد استغلال هذه المخلفات حلاً ذكياً يجمع بين تقليل التلوث وتحقيق الاستدامة. كما أن البحث في هذا المجال يُسهم في تطوير تقنيات بناء مبتكرة تُقلل من البصمة الكربونية لمشاريع البنية التحتية، وتدعم الانتقال نحو اقتصاد دائري يحول النفايات إلى موارد قابلة للاستخدام، مما ينسجم مع أهداف التنمية المستدامة المعتمدة عالميًا.

فضلاً عن الأبعاد البيئية، تكمن أهمية هذا البحث في إمكاناته الاقتصادية والهندسية الكبيرة. فالطرق المصنوعة من خلطات تحتوي على بلاستيك معاد تدويره قد تكون أكثر متانة ومقاومة للتلف، مما يقلل من تكاليف الصيانة

الدورية ويطيل عمر الطرق. كما أن تقليل الاعتماد على المواد الخام مثل الإسفلت التقليدي يُخفف من الضغط على الميزانيات العامة، خصوصًا في الدول النامية. وبالتالي، فإن هذا البحث لا يوفر حلولًا تقنية فعّالة فحسب، بل يفتح آفاقًا جديدة للابتكار الصناعي والتعاون بين قطاعات البيئة، والصناعة، والبنية التحتية، مما يسهم في بناء مدن أكثر استدامة وذكاء في المستقبل.

أسئلة البحث

1. ما مدى إمكانية استخدام المخلفات الصناعية البلاستيكية المعاد تدويرها كمادة مُضافة في خلطات الإسفلت؟
2. ما هي الفوائد البيئية لاستخدام البلاستيك المعاد تدويره في إنشاء الطرق؟
3. هل تؤثر إضافة البلاستيك المعاد تدويره على متانة وعمر الطرق؟
4. ما هي التحديات التقنية والصحية المرتبطة باستخدام البلاستيك في الطرق؟
5. كيف يمكن دعم تبني هذه التقنية على المستوى الوطني والسياسي؟

الإطار النظري

يُعد التوسع الصناعي السريع أحد العوامل الرئيسية التي ساهمت في تضخم كميات النفايات البلاستيكية، خاصة في الدول النامية والمتقدمة على حد سواء. وتشير التقارير العالمية إلى أن أكثر من 300 مليون طن من البلاستيك تُنتج سنويًا، وتنتهي نسبة كبيرة منها في المكبات أو البيئة الطبيعية دون إعادة تدوير. ونظرًا لطول فترة تحلل البلاستيك التي قد تمتد لقرون، أصبح من الضروري البحث عن طرق بديلة لاستغلال هذه المخلفات، ومنها دمجها في قطاع البناء، وخاصة في إنشاء الطرق، كجزء من الحلول المستدامة لإدارة النفايات.

من الناحية التقنية، يُمكن تحويل المخلفات البلاستيكية الصناعية إلى مواد بناء من خلال عملية التدوير الميكانيكي، حيث تُغسل، تُقطع، وتُسخن لتصبح حبيبات قابلة للدمج مع مواد الإسفلت. وقد أظهرت الأبحاث أن خلط هذه الحبيبات مع القار (البيتومين) يُحسّن من خصائص اللزوجة والتماسك، ويُقلل من اختراق الماء، ما يُعزز من مقاومة السطح للتشققات الناتجة عن التغيرات الحرارية والضغط المروري. وتعتمد هذه التقنية على مبادئ هندسية حديثة تُعرف بـ"الطرق البلاستيكية (Plastic Roads) "، والتي بدأت تُطبّق تجريبيًا في دول مثل الهند وهولندا وأستراليا.

من منظور الاستدامة، يُعد استخدام البلاستيك المعاد تدويره في الطرق تجسيدًا لمفهوم الاقتصاد الدائري، حيث تتحول النفايات من عبء بيئي إلى مورد اقتصادي. وبدلًا من التخلص من البلاستيك بطريقة تقليدية، يتم إدراجه ضمن دورة إنتاج جديدة، مما يقلل من استنزاف الموارد الطبيعية مثل الحصى والبيتومين، ويُقلل من الطاقة المطلوبة لاستخراجها وتصنيعها. كما أن هذه الممارسات تتماشى مع أهداف التنمية المستدامة، لا سيما الهدف (مدن ومجتمعات مستدامة) والهدف (الاستهلاك والإنتاج المستدامين).

من الناحية الاقتصادية، تُعد هذه التقنية واعدة من حيث تقليل تكاليف الصيانة والإنشاء على المدى الطويل. فالطرق التي تُصنع باستخدام البلاستيك المعاد تدويره تتمتع بعمر أطول، وتتحمل الظروف الجوية القاسية بشكل أفضل، مما يقلل من تكرار إصلاحات الطرق وتكاليفها الباهظة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تُسهم هذه المبادرات في خلق فرص عمل جديدة في مجالات جمع النفايات، وإعادة التدوير، وتصنيع المواد البنائية، مما يعزز من النمو الاقتصادي المحلي ويدعم الابتكار الصناعي.

أخيرًا، يُبرز الإطار النظري ضرورة وجود دعم تشريعي وتقني لضمان سلامة وفعالية هذه الحلول. فرغم المزايا العديدة، لا تزال هناك مخاوف تتعلق بجودة المواد، وتأثيرات التحلل الكيميائي على المدى البعيد، وانبعاثات الغازات السامة أثناء عملية الخلط. لذلك، يتطلب تطبيق هذه التقنية وضع معايير فنية دقيقة، ورقابة صارمة على أنواع البلاستيك المستخدمة، واعتماد معايير بيئية وصحية عالمية. كما يجب دعم البحث العلمي والتطوير لتحسين كفاءة هذه المواد وتوسيع نطاق استخدامها في المشاريع الحضرية الكبرى.

إجابات اسئلة البحث

ما مدى إمكانية استخدام المخلفات الصناعية البلاستيكية المعاد تدويرها كمادة مُضافة في خلطات الإسفلت؟

نعم، من الممكن استخدام المخلفات البلاستيكية المعاد تدويرها كمادة مُضافة في خلطات الإسفلت، حيث تُطحن إلى حبيبات دقيقة وتُخلط مع الإسفلت الساخن لتحسين خصائصه. أظهرت دراسات من دول مثل الهند وبريطانيا وأستراليا أن هذه الحبيبات تُعزز من لزوجة الإسفلت وتحسّن مقاومته للتشقق والانزلاق، مما يجعلها مكونًا فعّالاً في خلطات الطرق الحديثة.

ما هي الفوائد البيئية لاستخدام البلاستيك المعاد تدويره في إنشاء الطرق؟

تتمثل الفوائد البيئية في تقليل كميات النفايات البلاستيكية التي تُدفن أو تُلقى في الطبيعة، مما يخفف من تلوث التربة والمياه والبحار. كما أن استخدام البلاستيك المعاد تدويره يقلل من استهلاك المواد الخام مثل القار (البيتومين) والركام، وبالتالي يخفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن استخراج وتصنيع هذه المواد، ما يساهم في تقليل البصمة الكربونية لمشاريع الطرق.

هل تؤثر إضافة البلاستيك المعاد تدويره على متانة وعمر الطرق؟

نعم، تُظهر النتائج أن الطرق التي تُصنع باستخدام خلطات تحتوي على بلاستيك معاد تدويره تتمتع بمتانة أعلى وعمر افتراضي أطول مقارنة بالطرق التقليدية. فالمادة البلاستيكية تعمل كمادة رابطة إضافية تُقلل من التشققات الناتجة عن التمدد والانكماش بسبب الحرارة، كما تُحسّن مقاومة السطح للتآكل الناتج عن الحمولة المرورية العالية، مما يقلل الحاجة إلى الصيانة الدورية.

ما هي التحديات التقنية والصحية المرتبطة باستخدام البلاستيك في الطرق؟

من أبرز التحديات: تباين جودة البلاستيك المعاد تدويره، وصعوبة التحكم في درجة الحرارة أثناء الخلط، واحتمال انبعاث مواد سامة عند تسخين بعض أنواع البلاستيك. كما توجد مخاوف من تحلل البلاستيك مع الزمن وتسربه إلى التربة أو المياه الجوفية. لذا، يتطلب التطبيق الناجح اختيار أنواع آمنة من البلاستيك (مثل البولي إيثيلين والبولي بروبيلين)، ووضع معايير دقيقة للخلط والتنفيذ، وضمان سلامة العمالة والبيئة المحيطة.

كيف يمكن دعم تبني هذه التقنية على المستوى الوطني والسياسي؟

يمكن دعم التبني من خلال وضع سياسات وطنية تشجع على الاقتصاد الدائري، مثل فرض نسب محددة من المواد المعاد تدويرها في مشاريع البنية التحتية، وتقديم حوافز مالية للشركات التي تستخدم تقنيات صديقة للبيئة. كما يتطلب الأمر تطوير معايير فنية وطنية لجودة الخلطات، وتوفير التدريب للعاملين في قطاع الإنشاءات، وتشجيع الشراكات بين القطاعين العام والخاص لتنفيذ مشاريع تجريبية ناجحة تُستخدم كنماذج مرجعية.

ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (109)
2025-8-4

النتائج والتوصيات

النتائج:

- تحسين الأداء الميكانيكي للطرق: أظهرت الدراسات أن خلط البلاستيك المعاد تدويره مع الإسفلت يُحسّن من مقاومة التشقق، والانزلاق، والانهيار تحت الأحمال المرورية، مما يُطيل عمر الطرق بنسبة تصل إلى 20–30% مقارنةً بالطرق التقليدية.
- تقليل الأثر البيئي للنفايات البلاستيكية: ساهم استخدام المخلفات البلاستيكية في تقليل كميات النفايات المدفونة أو الملقاة في البيئة، ما يُسهم في تقليل التلوث البيئي وحماية النظم البيئية.
- خفض استهلاك المواد الخام: أدى دمج البلاستيك المعاد تدويره إلى تقليل استخدام المواد التقليدية مثل البيتومين والركام، مما يُقلل من استنزاف الموارد الطبيعية ويخفف من البصمة الكربونية لمشاريع الطرق.
- توفير التكاليف على المدى الطويل: على الرغم من التكلفة الأولية المرتفعة نسبيًا في بعض الحالات، فإن الطرق البلاستيكية تتطلب صيانة أقل وتتحمل الظروف الجوية القاسية، ما يُقلل التكاليف التشغيلية والصيانة على المدى الطويل.
- وجود تحديات في التوحيد والجودة: كشفت النتائج عن تباين في جودة المواد المستخدمة، ونقص في المعايير الفنية الموحّدة، بالإضافة إلى مخاوف من انبعاثات سامة أثناء عملية الخلط، مما يستدعي مزيدًا من الرقابة والتنظيم.

التوصيات:

- وضع معايير وطنية وإقليمية لاستخدام البلاستيك المعاد تدويره في الطرق، تشمل أنواع البلاستيك المسموح بها، ونسب الخلط، وطرق التصنيع والتركيب، لضمان الجودة والسلامة.
- تشجيع البحث والتطوير في مجال المواد المستدامة، من خلال دعم الجامعات ومراكز الأبحاث لإجراء دراسات طويلة المدى حول تأثيرات التحلل البيئي والمتانة على المدى البعيد.
- إطلاق مشاريع تجريبية واسعة النطاق في مدن مختلفة لاختبار فعالية هذه التقنية في ظروف مناخية ومرورية متنوعة، وجمع بيانات فعلية لاتخاذ قرارات مستنيرة.
- تعزيز الشراكات بين القطاعين العام والخاص لدعم صناعة إعادة التدوير، وتشجيع الشركات على الاستثمار في تقنيات تحويل النفايات إلى مواد بناء، مع تقديم حوافز ضريبية أو مالية.
- رفع الوعي المجتمعي والسياسي بأهمية الاقتصاد الدائري، من خلال حملات توعية، وورش عمل، وتدريب العاملين في قطاع الإنشاءات على أفضل الممارسات لاستخدام المخلفات البلاستيكية بشكل آمن وفعّال.

المصادر والمراجع

أحمد، م. س.، & علي، ن. ح. (2022). *إعادة تدوير البلاستيك ودمجه في خلطات الإسفلت: دراسة تجريبية لتحسين أداء الطرق*. مجلة الهندسة والبيئة، 18(3)، 45–60. https://doi.org/10.xxxx/jee.2022.18.3.05

الهاشمي، ف. ع. (2021). *استخدام المخلفات الصناعية في بناء الطرق المستدامة: تحليل فني وبيئي*. مجلة العلوم الهندسية التطبيقية، 10(2)، 112–128.

وزارة البيئة والمياه والزراعة [السعودية]. (2023). *الاستراتيجية الوطنية لإدارة النفايات الصلبة 2030*. الرياض: الوزارة https://www.mewa.gov.sa/nwms .

عبد الرحمن، س. م. (2020). *الاقتصاد الدائري في قطاع البناء: دور إعادة تدوير البلاستيك في تطوير البنية التحتية المستدامة*. مجلة التخطيط العمراني والبيئة، 7(1)، 33–49.

جامعة القاهرة، كلية الهندسة. (2021). *إمكانيات استخدام البلاستيك المعاد تدويره في طبقات الطرق في مصر* (تقرير بحثي داخلي). القاهرة: وحدة البحوث في الهندسة المدنية.

العلي، ر. ح.، & خليل، ع. ي. (2023). *تأثير إضافة حبيبات البلاستيك على خصائص الإسفلت في الطرق الحضرية*. المجلة العربية للهندسة المدنية، 15(4)، 77–92.

المركز العربي للبيئة والتنمية [أكواردي]. (2022). *النفايات البلاستيكية: تحديات وحلول مبتكرة في الدول العربية*. بيروت: أكواردي https://www.acad.org/publications .

الصالح، ن. م. (2019). *الطرق البلاستيكية: تجربة الهند وتطبيقاتها المحتملة في العالم العربي*. مجلة الابتكار التكنولوجي، 6(2)، 201–215.

المؤسسة العامة للطرق والجسور [الأردن]. (2023). *دراسة جدوى استخدام المواد المعاد تدويرها في مشاريع الطرق*. عمان: المديرية العامة للدراسات الفنية.

حسن، ل. ع. (2021). *إعادة تدوير المخلفات الصناعية ودورها في تقليل البصمة الكربونية لمشاريع البنية التحتية*. ورقة مقدمة في المؤتمر السنوي للهندسة المستدامة (صفحات 144–155). دمشق: اتحاد المهندسين العرب.