

تقييم تأثير فتات المطاط المعدل في خصائص الخلطة الإسفلتية الساخنة

* د. فؤاد محمد الكوت

قسم الهندسة المدنية - كلية الهندسة - جامعة المرقب - الخمس - ليبيا

Foad.elkut@yahoo.com

ملخص البحث

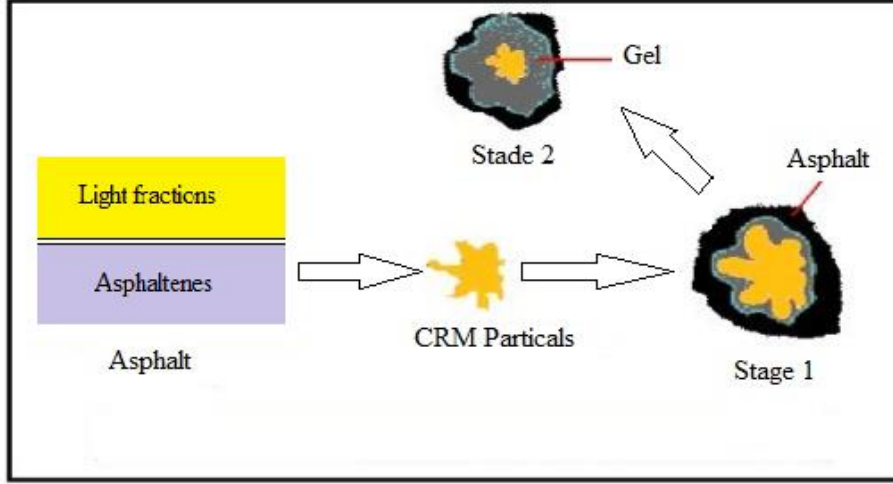
نظرًا لأن أنظمة الرصف تفشل بشكل أساسي بسبب التعب فإن الضرر الذي يلحق بالرصيف يزداد مع زيادة الحمل المحوري للمركبات التي تسير عليه. يعتبر استخدام فتات المطاط المعدل (**Crumb Rubber Modified**) كمادة مضافة من الحلول الذكية لأجل التطور المستدام. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير إضافة فتات المطاط المعدل إلى الخلطة الإسفلتية حيث تم إنتاج فتات المطاط المعدل عن طريق خلط الإسفلت بنسب مختلفة من فتات المطاط وفقا للطريقة الرطبة. تم تقييم الخصائص الفيزيائية للأسفلت الأصلي (70/60) والإسفلت المعدل باستخدام اختبارات الاختراق ونقطة التليين واللزوجة والممطولية. تم إجراء اختبارات التصميم المعملية للخلطة الإسفلتية الساخنة باستخدام طريقة مارشال. أشارت النتائج إلى أن فتات المطاط المعدل قد حسن مؤشر الاختراق مما أدى الي التقليل من الحساسية لدرجات الحرارة وزاد بشكل كبير من اللزوجة التي يمكن أن تعزز الخصائص الهندسية للمادة الرابطة. كما أظهرت الخلطات الإسفلتية المعدلة نقصان في مؤشر الثبات و زيادة في الانسياب مقارنة بالخلطة المرجعية مع تحسين استجابة المادة الرابطة لتغير درجة الحرارة على المدى الطويل. بالإضافة الي أن إعادة تدوير الإطارات المطاطية يقلل من تلوث الهواء و يحافظ علي البيئة.

الكلمات المفتاحية: ثبات مارشال، الانسياب، اللزوجة، فتات المطاط المعدل، الطريقة الرطبة، البيئة.

1. المقدمة

نتيجة النمو السريع و تزايد عدد المركبات في ليبيا أصبحت مخلفات الإطارات مصدر قلق بيئي رئيسي. تعتبر الطرق من أهم عناصر البنية التحتية التي تلعب دور حيوي في حياتنا اليومية ويعتبر استخدام فتات المطاط المعدل (CRM) في انشاء الطرق الإسفلتية من الحلول الذكية لأجل التطور المستدام من خلال اعادة استعمال المواد المستهلكة مما يقلل من تكلفة التصنيع ويساهم ايضا في التقليل من التلوث البيئي الناتج عن مخلفات إطارات السيارات [1]. في السنوات الأخيرة زاد الطلب على الخلطات الإسفلتية الساخنة رافقه زيادة في قيمة ضغط الاطارات على الرصف نتيجة الحمولات المرورية المستخدمة في عمليات النقل بالإضافة إلى تأثير تغير الظروف البيئية والتي سببت في ظهور العيوب المختلفة من تخذد وتشققات الطرق في ليبيا. كما ان كميات كبيرة من الاطارات المطاطية المستهلكة التي يتم تجميعها سنويا تمثل مشكلة في ادارة المخلفات الصلبة (التلوث) وخاصة عند التخلص منها بالحرق علي الصحة العامة والبيئة. فتات المطاط المعدل (CRM) مصطلح يطلق على المطاط المعاد تدويره من اطارات السيارات المخردة. اكتسب استخدام فتات المطاط مؤخرا إهتماماً من قبل الباحث في العديد من الدراسات حيث أظهر الإسفلت المعدل تحسناً في أداء الأرصفة مقارنة مع المادة الإسفلتية الرابطة الأساسية مما أدى إلى تقليل التشققات وتعزيز اللزوجة الالتصاق والخصائص الإنسيابية (Rheological Properties) لمادة الإسفلت المطاطي [2-5]. والشكل رقم (1) يحاكي التفاعل الذي يحدث بين الأسفلت والمطاط. حيث يؤدي خلط الأسفلت وفتات المطاط في درجات حرارة مرتفعة إلى تليين جزيئات المطاط وانتفاخها مما يؤدي إلى تكوين منتج رغوي حول جزيئات المطاط بسبب امتصاص الزيوت العظرية من الأسفلت مما يزيد من لزوجة وصلابة المادة المطاطية [6]. هناك عمليتان أساسيتان لإضافة فتات المطاط في خليط الإسفلت عملية رطبة وجافة. في العملية الرطبة يتم اضافة فتات المطاط المعدل إلى الإسفلت الساخن وأثناء عملية التفاعل تنتفخ جزيئات المطاط بسبب امتصاص الزيوت المتطايرة وتشكل مادة رغوية لزجة حسب درجة الحرارة و زمن الخلط [7]. أما في العملية الجافة يتم

خلط فتات المطاط المعدل مع الركام الساخن قبل إضافة الإسفلت وهذه العملية أدت إلى الحصول على الخواص الحجمية المرغوبة و تحسن خصائص مقاومة التشقق والتخدد [8].



شكل رقم (1): تأثير التفاعل بين الأسفلت والمطاط

بناءً على دراسة بحثية حديثة أعدتها (Venudharan et al., 2016) تم استخدام الإسفلت المطاطي في الخلطات الإسفلتية (ذات التدرجات الكثيفة **dense grade**، المفتوحة **Open grade**، ذات الفجوات **Gape grade**) أو في المعالجات السطحية. وظهرت النتائج أن الإسفلت المطاطي أدى إلى تحسين الأداء مقارنةً بالتدرج الكثيف التقليدي وأثبت أنه أكثر ملاءمة للخلطات ذات التدرجات المفتوحة لأنها توفر فراغات كافية في هيكل الركام لاستيعاب فتات المطاط [9]. ومن خلال النظر في تكاليف مواد الرصف الإسفلتية يتضح أن الإسفلت المطاطي هو بديل فعال من حيث التكلفة للعديد من تطبيقات رصف الطرق. إضافة الي أن العديد من الباحثين أقروا بأن استخدام الإسفلت المطاطي يزيد من متوسط العمر المتوقع للطرق ويحسن التصاق الركام مما يؤدي في النهاية إلى قوة واستقرار أفضل [10-11]. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير إضافة فتات المطاط المعدل إلى الخلطة الإسفلتية حيث تم خلط الإسفلت بنسب مختلفة من فتات المطاط وفقاً للطريقة الرطبة وطبقاً للمواصفات.

2. المواد وطريقة التحضير والاختبار

1.2 المواد

1.1.2 الأسفلت

الاسفلت المستخدم نوع 70/60 حسب درجة الغرز ، ذو كثافة 1.25 ودرجة تلين 50 م ° .

2.1.2 فتات المطاط

تم الحصول على فتات المطاط من الإطارات المستعملة مع مرور أكبر قدر من الجزيئات ذات الحجم

الأقصى من منخل 10 مع احتفاظ بنسبة 70٪ علي منخل 40 كما هو موضح بالجدول (1).

جدول رقم (1): تدرج فتات المطاط المستخدم

رقم المنخل	المار (%)	المتبقي (%)
4	90.50	9.50
8	65.75	34.25
10	59.40	40.6
16	31.15	68.85
40	4.77	95.23
100	0.40	99.60
200	0.05	99.95
pan	--	--

3.1.2 الركام

تم استخدام الجرانيت المكسر كركام في الخلطة وتم الحصول عليه من منطقة العلوص في مدينة الخمس

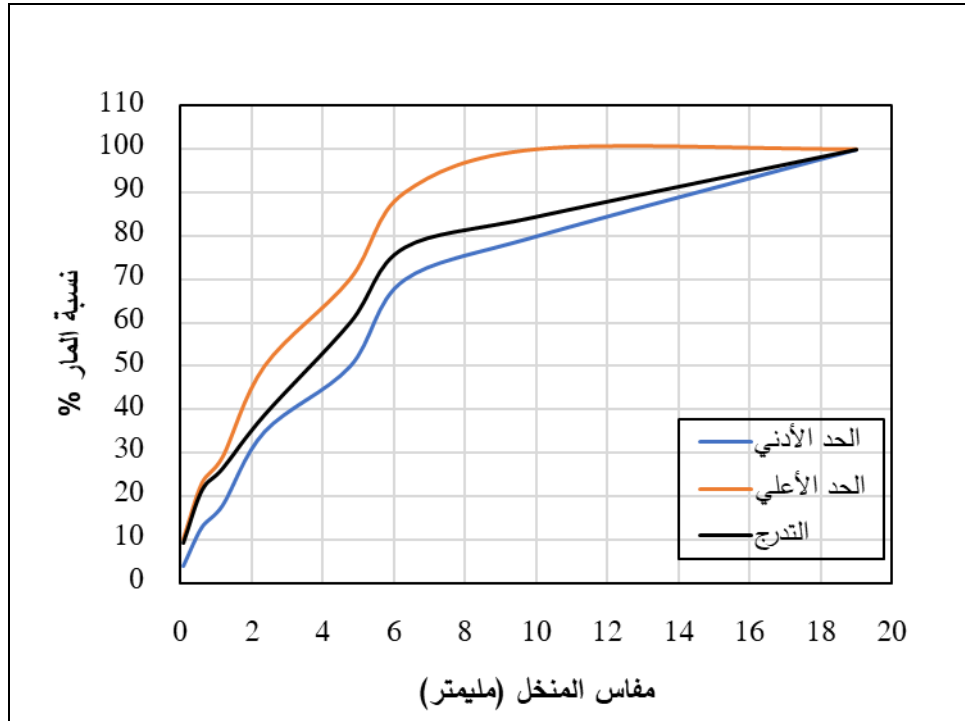
ليبيا. تم تحضير التدرج الحبيبي في الدراسة وفقاً للمواصفات القياسية كما هو موضح بالشكل (2) وخواص

الركام المستخدم موضحة بالجدول (2).

جدول رقم (2): خواص الركام المستخدم

نوع الاختبار	النتائج	حدود المواصفة
لوس انجلوس BS 812: P113	30%	≤ 50 %
التهشيم BS 812: P110	19%	≤ 30 %

$\leq 3 \%$	0.86%	الامتصاص ASTM c 127,128
--	2.665	الكثافة الظاهرية ASTM c 127,128



شكل رقم (2): تدرج الركام المستخدم

2.2 طريقة التحضير والاختبار

تم أخذ حوالي 800 جرام من الاسفلت 60/70 العادي المستخدم في الخلطات غير المعدلة في وعاء عميق قابل للتحكم في درجة حرارته. يتم تحريك الأسفلت باستمرار حتى درجة حرارة 160 درجة مئوية. و بعد ذلك تتم إضافة كمية محددة من فتات المطاط CRM في درجة حرارة الغرفة ببطء مع استمرار التقليب. يتم التخلص من جوانب الوعاء العميق يدوياً لمنع التصاق جزيئات CRM بالجوانب. بعد الخلط لمدة 10 دقائق يتم تقليب الخليط ونقله إلى علب صغيرة. تستخدم طريقة مارشال عينات اختبار قياسية يتم تحضيرها باستخدام إجراء محدد لتسخين و خلط ودمك خليط الإسفلت والركام. ولتحديد محتوى الاسفلت الامثل يجب تحضير ثلاث عينات على الأقل لكل نسبة من نسب الخلط المستخدمة (0، 6، 12، 18) % . وزن كل عينة اختبار 1200 جم تقريباً من الخلطة الاسفلتية. يبدأ اختبار مارشال للثبات والانسياب بغمر العينات في

حمام مائي عند 60 درجة مئوية ± 1 درجة مئوية لمدة 30 دقيقة تقريباً. عندما يكون جهاز الاختبار جاهز يتم نقل العينات من حمام الماء ووضعها في رأس الاختبار ويثبت مقياس الانسياب فوق قضيب توجيه محدد قبل تطبيق حمل الاختبار على العينة بمعدل تشوه ثابت قدره 50.1 مم في الدقيقة حتى يحدث الانهيار. تم تحديد أعماق الاحتراق ونقاط التليين للأسفلت الأصلي (70/60) و الإسفلت المعدل وفقاً لطريقة الاختبار القياسية ASTM D5-06 ، ASTM 36-06 علي التوالي.

3. النتائج والمناقشة

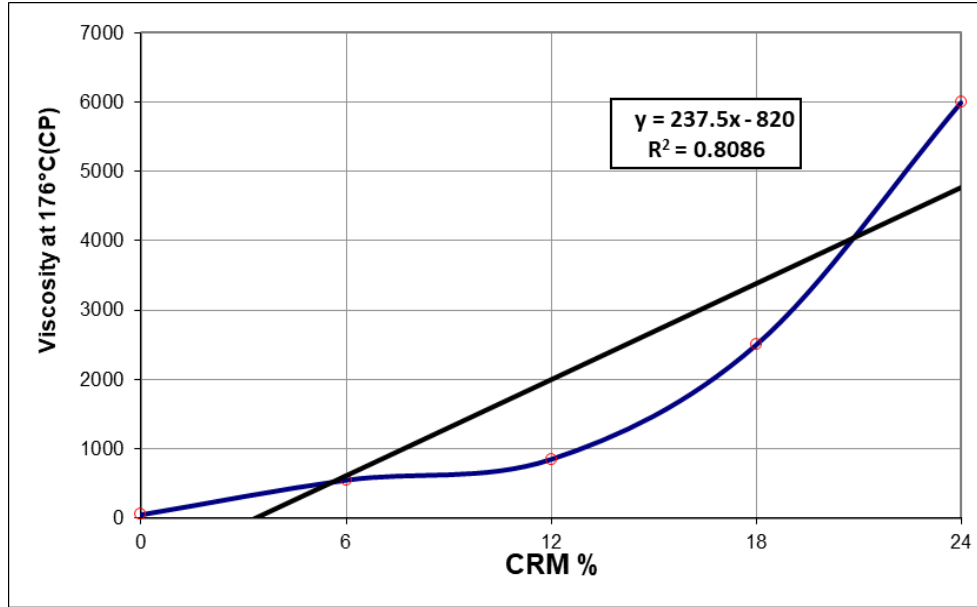
في هذه الدراسة تم تحضير ثلاث عينات من رابط الأسفلت المعدل وتم أخذ متوسط قيم النتائج وبعد ذلك تم استخدام عينة 0% فتات مطاط كعينة مرجعية. كما هو موضح في الجدول (3).

جدول رقم (3): خواص الاسفلت المعدل بنسب مختلفة من CRM

نسبة فتات المطاط من وزن الاسفلت (%)					خواص الاسفلت
24	18	12	6	0	
24	38	44	50	61	الاحتراق عند 25°C
78	63	60	52	50	نقطة التليين °C
+2.5	+0.7	+0.6	- 0.5	-1	مؤشر الاحتراق

كان متوسط قيمة الاحتراق للعينة المرجعية 61 مم وهو ما يتوافق مع متطلبات درجة الاحتراق 70/60. انخفضت قيمة الاحتراق مع زيادة محتوى فتات المطاط. وحدث انخفاض بنسبة 12-18% تقريباً في عمق الاحتراق مع كل زيادة بنسبة 6% من فتات المطاط المضافة إلى الأسفلت. يشير هذا الانخفاض النسبي إلى أن رابط الأسفلت يتم تقويته تدريجياً مع زيادة محتوى المطاط وبالتالي يزيد من صلابة المادة الرابطة. إن الزيادة في محتوى فتات المطاط أدت إلى زيادة نقطة التليين في الإسفلت إلى حد كبير بسبب الإسفلت أصبح أكثر صلابة في وجود فتات المطاط وهذا يدل علي أن الأسفلت المعدل بالمطاط مع نقطة تليين أعلى يمتلك لزوجاً أكبر و بالتالي ستعمل على تحسين الأسفلت المعدل بالمطاط للخدمة أثناء التطبيق الفعلي في بناء

الطرق خاصة في مناطق المناخ الحار. كما أظهرت النتائج زيادة كبيرة في لزوجة الإسفلت وذلك بسبب التفاعل الذي يحدث بين الأسفلت والمطاط حيث يمتص جزئياً بعض مكونات الإسفلت بواسطة المطاط وكانت النتائج (50، 550، 850، 2500، 6000) (CP) عند (0، 6، 12، 18، 24) من %CRM على التوالي كما هو موضح بالشكل (3).



شكل رقم (3): تأثير فئات المطاط علي لزوجة الاسفلت

يمكن استخدام لزوجة المادة الرابطة الإضافية في خليط الإسفلت المعدل لتقليل التشققات الانعكاسية والتعرية مع تحسين استجابة المادة الرابطة لتغير درجة الحرارة والمتانة على المدى الطويل فضلاً عن قدرتها على الالتصاق بجزيئات الركام في الخليط و لمقاومة الشيخوخة **Ageing**. يوضح الجدول (4) نتائج تصميم خلطة مارشال المختبرية وفق العملية الرطبة (WET). حيث اظهرت النتائج ان زيادة نسبة فئات المطاط CRM أدت الي زيادة نسبة الاسفلت المثلي (OAC) ونسبة الفراغات المعدنية للركام (VMA) والفراغات المملوءة بالاسفلت (VFA) والإنسياب في حين قل الاستقرار. مما يدل على الخلطة التي تم تصنيعها باستخدام فئات المطاط CRM تتميز بلزوجة عالية مما يؤدي إلى قابلية تشغيل أقل كفاءة عند دمك الخلطة الاسفلتية.

جدول رقم (4): نتائج تصميم خلطة مارشال المختبرية وفق العملية الرطبة

* نسب الخلط CRM حسب الطريقة الرطبة				الخاصية	
18%	12%	6%	0%		
5.8	5.6	5.2	5.0	OAC %	محتوي الاسفلت الامثل
16.6	16.3	15.8	14.5	VMA %	حجم الفراغات في الركام
79	76	72	71	VFA %	حجم الفراغات المملوءة بالاسفلت
18503	18904	19793	19824	Stability (N) Min 8000 N	ثبات مارشال
16	14	13	10	Flow (8-16) (1/100)"	الانسياب
1.027	1.027	1.027	1.027	Sp. Gr. of Asphalt	الكثافة النوعية للاسفلت

* نسبة خلط فتات المطاط من الوزن الكلي للاسفلت

على الرغم من أن الزيادة في محتوى CRM في الخلطة تؤثر بشكل كبير على نسبة OAC يمكن أن يرتبط ذلك بفوائد خلط الأسفلت وفتات المطاط قبل الخلط مع الركام وهي عملية تضمن التفاعل المناسب بين المادتين. ومن ثم يمكن ملاحظة أن OAC للخلطات أقل تأثيراً بامتصاص الإسفلت بواسطة CRM. يبدو أيضاً أن إضافة فتات المطاط بالطريقة الرطبة تقلل من صلابة الخلطة كما يتضح من انخفاض ثبات مارشال. قد يكون الانخفاض في استقرار مارشال مع زيادة النسبة المئوية لـ CRM في خلطات العملية الرطبة مؤشراً على أن دقيقتين من الخلط والتقدم المحدود للخلطة لا يسمحان بالتفاعل الكافي بين الأسفلت والمطاط لإنتاج خلطة معدلة.

4. الخاتمة والتوصيات

بناءً على نتائج الدراسة الحالية نستنتج أن زيادة محتوى فتات المطاط يؤدي إلى انخفاض في عمق الاختراق وبالتالي المساهمة في زيادة صلابة المادة الرابطة المعدلة بفتات المطاط مقارنة بالاسفلت الاصلي. و تظهر نتائج نقطة التليين أن درجة الحرارة المرتفعة مطلوبة لتليين المادة الرابطة المعدلة حيث تصبح أكثر صلابة

مع زيادة محتوى فتات المطاط. كما أظهرت النتائج زيادة كبيرة في لزوجة الإسفلت المعدل مقارنة بالإسفلت الأصلي وبالتالي يمكن استخدام لزوجة المادة الرابطة الإضافية في خليط الإسفلت المعدل لتقليل التشققات الانعكاسية والتجريد **Stripping** مع تحسين استجابة المادة الرابطة لتغير درجة الحرارة والمتانة على المدى الطويل فضلاً عن قدرتها على الالتصاق بجزيئات الركام في الخلطة الإسفلتية الساخنة و لمقاومة الشيخوخة **Ageing**. وبالنسبة لنتائج اختبار الخواص الحجمية فإن الزيادة في محتوى فتات المطاط أدت الي زيادة **VMA, VTM** و **VFB** بسبب اللزوجة المحسنة لرابط الأسفلت المعدل. في حين قلت قيم استقرار مارشال مع زيادة محتوى فتات المطاط مقارنة بالخلطة المرجعية أما قيم الانسياب زادت وكانت ضمن النطاق المسموح به. و الميزة الرئيسية لاستخدام فتات المطاط **CRM** في إنتاج الخلطات الإسفلتية الساخنة مرتبطة بالاستدامة البيئية للأرصفة وتسمح بإعادة تدوير الإطارات القديمة في ليبيا وبالتالي تساعد في تقليلها تلوث الهواء وقضايا بيئية أخرى. وعموماً كانت النتائج الإجمالية مشجعة لاستخدام فتات المطاط كمعدل للأسفلت بنسبة 12% في الخلطات الإسفلتية الساخنة لبناء الطرق في ليبيا لحل مشكلة تشققات الارصفة الناتجة عن احمال المرور.. في الختام أمل أن يتم توجيه المزيد من الأبحاث لمعالجة القضايا المتعلقة بتفاعلات الإسفلت وفتات المطاط قبل تقييم خصائص أداء خلطات **CRM** حسب العملية الجافة **Dry Process** وأوصى بإجراء المزيد من البحث لمقارنة تصاميم الخلطات الإسفلتية الساخنة بطريقة مارشال **Marshall** و طريقة سوبريف **Superpave Volumetric Mix Designs**.

المراجع

1. Mashaan, N. S., Ali, A. H., Karim, M. R., Abdelaziz, M., An overview of crumb rubber modified asphalt. International Journal of Physical Sciences, 2012. 7(2), 166-170.

2. Kaloush, K. E., Asphalt rubber: Performance tests and pavement design issues. *Construction and Building Materials*, 2014. 67, 258–264.
3. Hamzah, M. O., Mohamed, A., Ismail, H., Laboratory investigation of the properties of a newly developed crumb rubber modified asphalt mixtures. *Emirates Journal for Engineering Research*, 2006, 11(2), 67–72.
4. Bahia HU, Davies R., Factors controlling the effect of crumb rubber on critical properties of asphalt binders. *J. Assoc. Asphalt Paving Technol.*, 1995, 64: 130–162.
5. Airey GD, Rahman MM, Collop AC., Absorption of bitumen into crumb rubber using the basket drainage method. *Int. J. Pavement Eng.*, 2003, 4(2): 105–119.
6. Khiong LM, Safiuddin M, Mannan MA. Material Properties and Environmental Benefits of Hot–Mix Asphalt Mixes Including Local Crumb Rubber Obtained from Scrap Tires. *Environments*. 2021, 8(6):47.
7. Picado–Santos, L. G., Capitão, S. D., & Neves, J. M. C. (2020). Crumb rubber asphalt mixtures: A literature review. *Construction and Building Materials*, 2020, 247, 118577.
8. W. Cao, Study on Properties of Recycled Tire Rubber Modified Asphalt Mixtures using Dry Process, *Construction and Building Materials*, 2007, (21), 1011–1015.

9. Venudharan, V., Biligiri, K.P., Sousa, J.B. and Way, G.B., Asphalt rubber gap-graded mixture design practices: a state-of-the-art research review and future perspective. Road Materials and Pavement Design 18, no. 3 (2017): 730-752.
10. Hicks, R. G., Lundy, J. R., & Epps, J. A., Life cycle costs for asphalt-rubber paving materials. Tempe, AZ: Rubber Pavements Association, 1999.
11. Deshmukh, N. H., & Kshirsagar, D. Y., Utilization of rubber waste in construction of flexible pavement. International Journal for Advance Research and Development, 2017, 2 (7), 70-77.