مجلة البحوث الأكاديمية

Journal homepage: www.lam.edu.ly

دراسة العوامل المؤثرة في تخدد الرصف المرن حالة دراسية (قطاعات طرق داخل مدينة مصراتة)

عبد العزيز الأسطى
جامعة مصراتة، كلية الهندسة، ليبيا

إسلام التريكي
جامعة مصراتة، كلية الهندسة، ليبيا

عمر المنصوري
جامعة مصراتة، كلية الهندسة، ليبيا

محمد عامر
جامعة مصراتة، كلية الهندسة، ليبيا

محمد الحداد
جامعة مصراتة، كلية الهندسة، ليبيا

استلمت الورقة بتاريخ 2021/07/01، وقبلت بتاريخ 2021/07/14، ونشرت بتاريخ 2021/07/19

الكلمات المفتاحية:
تخدد، نسبة الفراغات، أسفلت، ركام، خلطة أسفلتية

الملخص

تعاني الطرق في ليبيا عامة ومدينة مصراتة خاصة من غياب الدراسات الخاصة بعيوب الرصف. يوجد أبحاث محدودة العدد والإمكانيات وتتناول في معظمها تقييم الأضرار أو العيوب الموجودة في الرصف دون التطرق للمسببيات. تم في هذا البحث دراسة مشكلة التخدد بشكل موسع لتحديد أهم العوامل المساهمة في ظهورها. تم استخراج عينات من خمسة مواقع داخل مدينة مصراتة تعاني من التخددات، حيث تم قياس شدة التخدد في جميع المواقع، بالإضافة إلى تجهيز العينات وإجراء اختبارات الوزن النوعي والاستخلاص والتحليل المنخلي والشد غير المباشر عليها. خلصت النتائج إلى أن شدة التخدد عالية جداً في جميع القطاعات، وأن التخدد يحدث بصورة أكبر في الطبقة السطحية، وهذا يرجع إلى زيادة نسبة البيتومين ونسبة المواد الناعمة ونقص الفرغات الهوائية فيها. بالإضافة إلى الحمولات غير القانونية من الشاحنات ووجود مهدئات السرعة بكثرة على الطريق. أهم ما أوصت به الدراسة هو المراقبة المستمرة لأوزان الشاحنات وإصدار القوانين لمعاقبة المخالفين مع الاهتمام بالتصميم الجيد للخلطة الأسفلتية واختيار مواد ذات جودة عالية ومطابقة للمواصفات والتأكد من عدم احتوائها على نسبة عالية من المواد الناعمة.

1. المقدمة

يلعب نظام النقل دوراً حيوياً في تطور الدول والمجتمعات، حيث يساهم في ازدهار الاقتصاد الوطني ونمو الصناعة وارتفاع مستويات المعيشة. أنظمة النقل في الدول النامية تواجه العديد من المشاكل والتحديات وخاصة في البنية التحتية لشبكات الطرق [2]. يعتبر قطاع النقل من أهم القطاعات التي تدعم العملية الاقتصادية ويعتبر الركيزة الأساسية للاقتصاد القومي، فتحقيق النمو في قطاعات الاقتصاد الوطني لا يمكن أن يتم دون مواكبة قطاع النقل لهذا النمو المنشود، وذلك من خلال التخطيط الجيد وتنفيذ طرق ذات مواصفات فنية ممتازة تكون فيها الحركة المرورية مريحة وآمنة [1]. تعتبر الطرق السريعة السمة المميزة لأي شبكة طرق والعنصر الرئيسي فيه. هذه الطرق السريعة تستهلك كميات هائلة من المواد في انتاجها وجعلها مرصوفة بشكل يتطابق مع متطلبات الحضارة والمدنية [3]. ولهذا يعتبر الرصف من أهم المتطلبات التي تساعد على تطور نظام النقل في البلدان، فهو يعمل على تحمل الإجهادات الناتجة من حركة المرور وينقل أوزان المركبات إلي طبقات التربة. وبناءً على ما ذكر فإنه يجب أن يكون تصميم هذه الطبقات مطابقاً للمواصفات من حيث سمك الطبقات وجودة المواد الداخلة في تنفيذه، كذلك يجب الاهتمام بطريقة التنفيذ وتوفير الصيانة المستمرة. هذه العوامل تحافظ على سطح الطريق وتطيل من عمره الافتراضي وتقلل من ظهور العيوب الإنشائية. وعليه فإن من الواجب تصميم الطرق بأساليب حديثة ومنضبطة للوصول إلى نتيجة جيدة من ناحية الأداء الوظيفي والسلامة وبتكاليف اقتصادية مناسبة.

تعتبر التخددات من أهم عيوب الرصف والتي لها تأثير مباشر على السائقين من حيث الراحة والأمان أثناء القيادة، وذلك بسبب الهبوط الحاصل في سطح الطريق (بشكل قنوات) في منطقة مسار إطارات السيارات، والذي يصاحبه أحيانا انتفاخ في سطح الأسفلت على جوانب الطريق. يحدث التخدد بسبب تحرك المواد تحت تأثير الأحمال المتكررة سواءً للطبقات الإسفلتية أو طبقة الأساس. فعندما يكون الدمك ضعيفا تكون نسبة الفراغات عالية مما يؤدي إلى حدوث هبوط تحت مسار العجلات. كذلك فإن زيادة نسبة الأسفلت في الخلطة الأسفلتية تعمل على حدوث تشوهات دائمة بسبب الحركة الجانبية لطبقات الرصف نتيجة لنقص الاحتكاك الداخلي بين حبيبات الركام.

جاءت الحاجة إلى تقييم الأسباب المرتبطة بظهور التخددات في الطريق الساحلي نظراً للغياب الواضح للأبحاث والدراسات الخاصة بعيوب الرصف في ليبيا والتي في مجملها تتناول تقييم الأضرار أو العيوب الموجودة في الرصف دون التطرق للمسببيات. هناك دراسة غير منشورة تمت في فترة سابقة للطريق الرابط بين مصنع الحديد والصلب وطريق النقل الثقيل تم فيها دراسة مشكلة التخدد بشكل واسع. خلصت الدراسة إلى أن نسبة الفراغات في الخلطة منخفضة مع استخدام نسبة إسفلت عالية جدا. بالإضافة إلى عدم مطابقة تدرج الركام للمواصفات المطلوبة مما يسبب في زيادة نسبة التخدد.

2. منطقة الدراسة

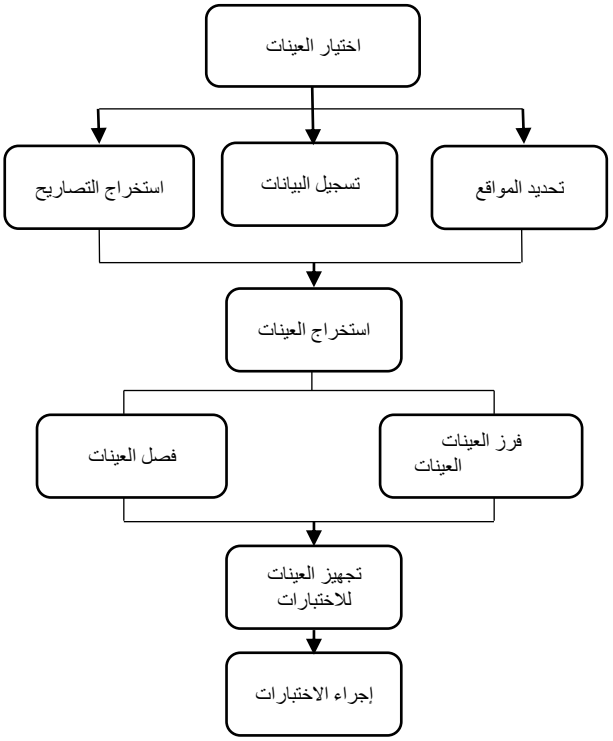
تم اختيار خمسة أماكن تعاني من ظهور التخددات في طريقين رئيسيين داخل مدينة مصراتة. القطاع الأول في الطريق الساحلي ويمتد من الجسر الأوسط حتى مدرسة اليرموك. يعتبر هذا الطريق الرابط بين مدينة مصراتة والمدن الأخرى وكذلك يعتبر ممر رئيسي لسائقي الشاحنات نظراً لوجود عدد من المصانع على امتداده، حيث تم إعادة رصفه من قبل الشركة العامة للطرق والجسور، قطاع (القربولي – سرت) سنة 2007 م. أما القطاع الثاني فكان في طريق النقل الثقيل عند بداية الطريق القادم من مصنع الحديد والصلب والميناء، وتم اختيار هذا القطاع لأهميته ولاحتوائه على نسبة كبيرة من الشاحنات، فهو يربط مصنع الحديد والصلب وشركة البريقة والميناء بالطريق الساحلي. تم إعادة رصف طريق النقل الثقيل من قبل الشركة العامة للطرق والجسور فرع المنطقة الوسطى سنة 2007 م.

3. منهجية العمل

يرتكز العمل في هذه الدراسة في مجمله على الاختبارات المعملية وفق منهجية واضحة تعتمد على اختيار العينات عند أماكن تواجد مهدئات السرعة

والتي غالبا ما تكون الأكثر تضرراً وحسب الخطوات المبينة بالشكل 1. تم في المرحلة الأولى تحديد القطاعات وتقسيم الطريق الساحلي إلى القطاعات A وB وC وD عند مهدئات السرعة مع أخذ عدد ست عينات في كل قطاع بواقع عينتين أسطوانيتين متجاورتين في مسار العجلات عند كل نقطة اختبار. بالنسبة للقطاع الواحد فإنه تم توزيع العينات الست طوليا إلى ثلاثة نقاط عند منتصف القطاع؛ وعند بداية ونهاية القطاع المسافة بينهما في حدود 100 متر. المجموع الكلي للعينات التي تم استخراجها من الطريق وصل إلى ثماني عشرة عينة باعتبار أن نهاية كل قطاع تمثل القطاع الذي يليه. أما فيما يخص طريق النقل الثقيل فتم اختيار قطاع واحد تظهر فيه التخددات بوضوح عند بداية الطريق وتم تسميته بالقطاع E مع أخذ ست عينات بنفس الطريقة المذكورة سابقا. بعد ذلك تم استخراج العينات وترقيمها وفصل الطبقات عن بعضها وتجهيزها للاختبارات.

تضمنت المرحلة الثانية إجراء مجموعة من الاختبارات على العينات كاختبار الوزن النوعي (G_{mb}) [4] واختبار مقاومة الشد غير المباشر (IDT) Indirect Tensile Test [5] على العينات المدموكة، واختبار الاستخلاص لتحديد نسبة الأسفلت واختبار تدرج الركام واختبار الوزن النوعي الأقصى (G_{mm}) [6] على العينات التي تم تفكيكها في المرحلة السابقة وذلك للحصول على مجموعة من النتائج ومعرفة مدى مطابقتها للمواصفات.



شكل 1 منهجية العمل

4. النتائج

النتائج المرفقة في هذا البحث تم الحصول عليها بعد إجراء الاختبارات المعملية وقياس قيم التخدد في الموقع. فيما يلي ملخص لأهم النتائج المتحصل عليها:

أ. شدة التخدد

تم تسجيل مستويات شدة التخدد لجميع القطاعات مع التأكيد على أن مستويات الشدة كانت عالية عند كل النقاط كما هو مبين بالجدول 1. مستويات الشدة العالية تم توثيقها عند كل قطاع من قطاعات الطريق الساحلي من A إلى D كما هو مبين بالصور المرفقة، حيث تظهر فيها تخددات عميقة جداً مما يجعل الطريق غير آمنة للقيادة. بالنسبة لطريق النقل الثقيل والمتمثل في القطاع E فقد كانت التخددات أقل حدة ولكنها أيضاً عالية الشدة.

جدول 1 مستويات الشدة

قطاع A
شدة التخدد 77.6/ عالي

قطاع B
شدة التخدد 54.6/ عالي

قطاع C
شدة التخدد 116/ عالي

قطاع D
شدة التخدد 59/ عالي

قطاع E
شدة التخدد 57.7/ عالي

ب. الاختبارات المعملية

تم في هذا الجزء تنفيذ مجموعة من الاختبارات لمعرفة مدى مطابقة مواد الرصف للمواصفات المتبعة. تم في البداية تحديد الوزن النوعي للعينات بعد فرزها وفصلها إلى طبقة رابطة وأخرى سطحية. تم بعد ذلك تفكيك العينات لاستخدامها في تحديد الوزن النوعي الأقصى G_{mm}. استخدمت القيم المتحصل عليها لتحديد نسبة الفراغات V_a في كل طبقة. تم كذلك تحديد مقاومة الشد IDT للعينات المستخرجة من الطريقين. تم في المرحلة التي تليها تحديد نسبة البيتومين المستخدمة في الخلطة. متوسط النتائج للطريق الساحلي ولطريق النقل الثقيل مبينة بالجدول 2.

جدول 2 نتائج الاختبارات

	الطريق الساحلي		طريق النقل الثقيل	
	السطحية	الرابطة	السطحية	الرابطة
G_{mb}	2.308	2.194	2.378	2.270
G_{mm}	2.326	2.399	2.389	2.422
V_a %	0.75	8.55	0.47	6.29
P_a %	6.1%	4.5%	5.3%	4.3%
IDT (MPa)	1.82	0.93	1.69	1.57

بعد تحديد نسبة الأسفلت تم استخدام نفس العينات المستخدمة في عملية استخلاص الاسفلت لتحديد التدرج الحبيبي للمواد ومطابقتها بالتدرج المحدد بالمواصفات. الجدول 3 يبين نتائج اختبار التحليل المنخلي للعينات المستخلصة.

جدول 3 نتائج اختبار التحليل المنخلي.

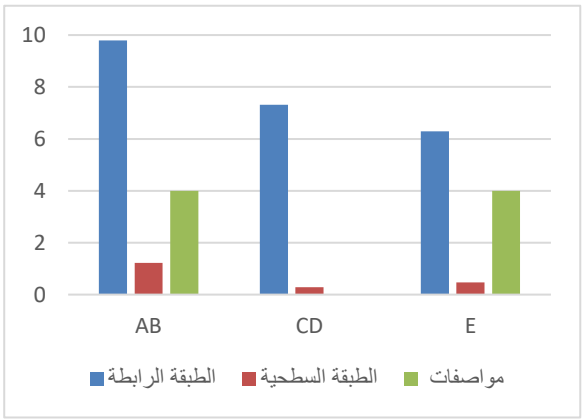
المقاس mm	الطبقة السطحية		الطبقة الرابطة	
	الساحلي	الثقيل	الساحلي	الثقيل
37.5	-	-	-	100
25	-	100	-	85.4
19	100	96.4	100	79.3
12.5	90.8	86	89.6	67.7
9.5	83.2	73.8	76.6	61.3
4.75	67.5	56.6	44.8	46.6
2.360	48.5	44.2	27.7	34.1
0.600	28.2	24.6	17.1	13.8
0.300	20.2	18.8	12.4	9.5
0.150	12.6	13.1	7.2	6.7
0.075	8.1	9.2	4.8	4.5

5. تحليل النتائج

سيتم في هذا الجزء تحليل ودراسة نتائج الاختبارات المعملية المتحصل عليها ومقارنتها بالمواصفات وتحديد مدى تأثيرها على جودة الرصف. بالإضافة إلى تحديد أهم العوامل التي من الممكن أن تتسبب في ظهور التخددات في الخرسانة الأسفلتية. حيث سيتم دراسة تأثير نسبة الفراغات الهوائية وتدرج الركام ونسبة البيتومين واختبار الشد غير المباشر على التخدد.

أ. تأثير الفراغات الهوائية على التخدد:

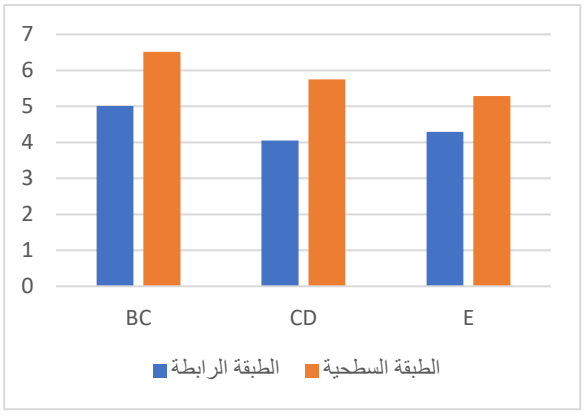
تعتبر الفراغات الهوائية من أكثر الخصائص تأثيرا في الخلطة الأسفلتية، فتغير نسبة الفراغات عن القيم التصميمية مسبب رئيسي في تخدد الطريق وتؤدي إلى سرعة تأكسد الأسفلت وزيادة النفاذية مما ينتج عنها مشاكل تقلل من عمر الطريق. تبين في هذه الدراسة بعد إجراء الاختبارات على العينات للطبقتين السطحية والرابطة أن متوسط نسبة الفراغات للطبقة السطحية للطريق الساحلي أقل من (1%) ولطريق النقل الثقيل أقل من (0.5%)، وهذه النسب قليلة جدا عند مقارنتها بالمواصفات ومؤشر واضح لحدوث التخدد. أما بالنسبة للطبقة الرابطة فإن متوسط نسبة الفراغات عالية جدا للطريقين الساحلي والنقل الثقيل (أكبر من 8%) (أكبر من 6%) على التوالي. هذه النسب تعتبر عالية وبعيدة عن الحد المسموح به في المواصفات مع الأخذ في الاعتبار قدم الرصف في القطاعين المذكورين كما هي موضحة بالشكل 2.



شكل (2) مقارنة الفراغات الهوائية بالمواصفات

ب. تأثير نسبة البيتومين على التخدد:

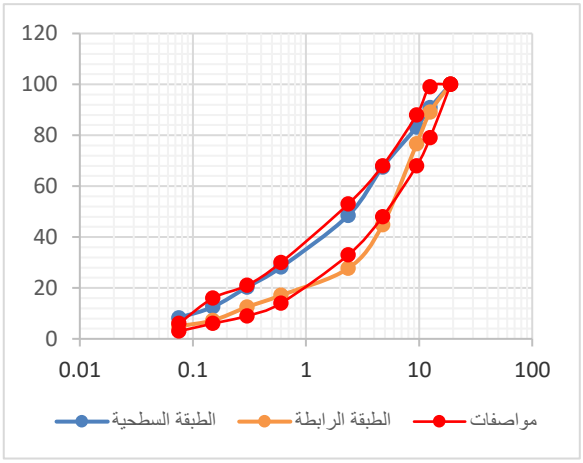
تعمل زيادة نسبة البيتومين المستخدم في الخلطة الإسفلتية على نقص الاحتكاك الداخلي بين حبيبات الركام وضعف التكوين الإنشائي وبالتالي فإن مقاومة الرصف للأحمال تقل، مما يسبب في حدوث عيوب في الخلطة مثل زيادة التخددات. بعد إجراء اختبار الاستخلاص على العينات للطبقتين السطحية والرابطة تبين أن متوسط نسبة البيتومين للطبقة السطحية للطريق الساحلي أعلى من (6%) ولطريق النقل الثقيل أعلى من (5%). تعتبر نسبة الأسفلت المتحصل عليها في قطاعات الطريق الساحلي مرتفعة وهذا مؤشر واضح قد يساعد في حدوث التخدد. أما بالنسبة للطبقة الرابطة كان متوسط نسبة البيتومين جيد للطريقين الساحلي والنقل الثقيل كما بالشكل 3.



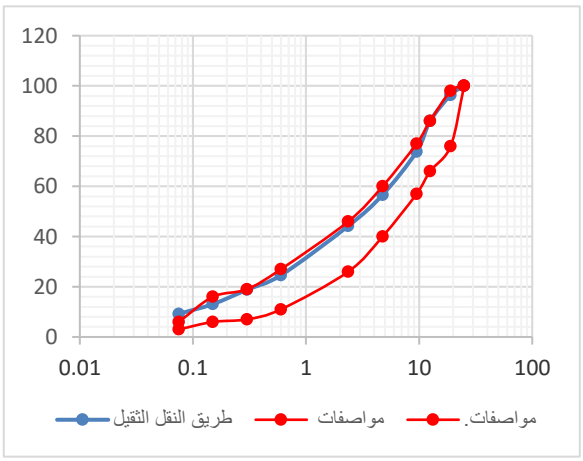
شكل 3 مقارنة بين نسب البيتومين للطبقتين

ج. تأثير التدرج الحبيبي على التخدد:

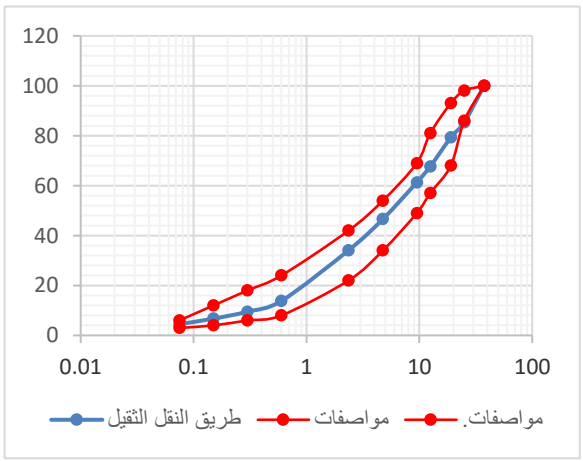
التدرج الجيد يعطي قوة وثبات للخلطة الأسفلتية ويؤثر بشكل كبير على صلابة الخلطة، بينما يعمل التدرج السيئ؛ وخاصة إذا كانت نسبة المواد الناعمة عالية؛ على حدوث انزلاق بين حبيبات الركام وظهور التخددات بسبب الهبوط الواضح في سطح الطريق. النتائج المتحصل عليها من اختبار التحليل المنخلي تبين أن نسب المواد الناعمة للطبقة السطحية عالية للطريقين كما بالأشكال 4 و 5. أما بالنسبة للطبقة الرابطة فكان تدرج المواد الخشنة في الطريق الساحلي فقط خارج حدود المواصفات كما هو موضح بالأشكال 4 و6.



شكل 4 التدرج الحبيبي للطريق الساحلي



شكل 5 التدرج الحبيبي للطبقة السطحية لطريق النقل الثقيل



شكل 6 التدرج الحبيبي للطبقة الرابطة لطريق النقل الثقيل

د. تحليل نتائج اختبار IDT:

يمكن استخدام اختبار IDT لتقييم مقاومة الشد للعينة الأسفلتية وتحديد مدى مقاومتها للتشوه الناتج من الأحمال. نتائج الاختبار توضح أن مقاومة العينات للأحمال في القطاعين كانت عالية مما يعني قدرتها العالية لمقاومة التخددات كما بالجدول 4. يمكن تحديد مقاومة الطبقات للتخدد من خلال مقارنتها بالقيم المنصوص عليها في مؤسسة النقل في بنسلفانيا – أمريكا لتحديد مقاومة الرصف الأسفلتي [7].

جدول 4 مقاومة الرصف الأسفلتي للتخدد

	الطبقة السطحية	الطبقة الرابطة	مقاومة التخدد
الطريق الساحلي	1820	930	ممتاز
طريق النقل الثقيل	1690	1570	ممتاز

6. الخلاصة

قيم التخدد للقطاعات التي تم دراستها عالية جداً، مما يجعل الطريق الساحلي غير مريح ويقلل الأمان للسائقين. بينت الاختبارات التي أجريت على العينات التي تم استخراجها أن الفراغات للطبقة الرابطة للطريق الساحلي ولطريق النقل الثقيل مرتفعة جداً. من ناحية أخرى فقد تبين انخفاض نسبة الفراغات الهوائية في الطبقة السطحية في الطريق الساحلي مع ارتفاع نسبة البيتومين، وبالتالي فإن من المتوقع أن تقل مقاومة الرصف للأحمال والتي بدورها ستؤدي إلى زيادة في شدة التخددات. كذلك فإن تدرج الركام المستخدم في الطبقة السطحية للطريق الساحلي ولطريق النقل الثقيل غير مطابق للمواصفات لاحتوائه على نسبة عالية من المواد الناعمة وهو مؤشر آخر لحدوث التخدد.

مما سبق يتضح أن التخدد يحدث بصورة أكبر في الطبقة السطحية، وهذا يرجع إلى زيادة نسبة البيتومين ونسبة المواد الناعمة ونقص الفرغات الهوائية فيها. بالإضافة إلى الحمولات الزائدة غير القانونية من الشاحنات نظراً لعدم التزام السائقين بالأوزان القانونية وعدم وجود رقابة حقيقية على الحمولات، بالإضافة إلى وجود مهدئات السرعة بكثرة على الطريق مما يساهم في زيادة التشوهات بسبب التركيز العالي للأحمال واستمراره لفترات طويلة. وعليه فإن على الجهات المسؤولة إصدار القوانين للمخالفين عن الحمولات المحورية القانونية والتي تعمل بشكل مباشر على فشل الطريق وتلف طبقاتها. كذلك فإنه يجب الاهتمام بالتصميم الجيد للخلطة الأسفلتية بحيث تحتوي على مواد ذات جودة عالية وضمن الحدود والمواصفات والتأكد من عدم احتوائها على نسبة عالية من المواد الناعمة، واستخدام خلطة اسفلتية خاصة عند نقاط وجود مهدئات السرعة وقرب التقاطعات، حيث أنها أكثر الأماكن عرضة للتخددات.

المراجع

1. عمر المنصوري وعبد العزيز الأسطى، استنتاج علاقة رياضية لتحديد نسبة الأسفلت المثلى في الخلطات الأسفلتية باستخدام خواص الركام، المجلة الدولية المحكمة للعلوم الهندسية وتقنية المعلومات، مجلد 4، عدد 1، 2017.

[2] Elmansouri, Omar, Abdulmojeb Almhroog, and Ibrahim Badi. "Urban transportation in Libya: An overview." Transportation Research Interdisciplinary Perspectives 8 (2020): 100161.

[3] Eltariki Isslam and Abdulmojeb Almhroog. “Evaluating the use of SS and CW in asphalt concrete. The international Journal of Engineering and Technology, Vol.6, No2,2020.

[4] AASHTO T166-00 (2000) Bulk specific gravity of bituminous mixtures using saturated surface dry specimens, Standard specifications for transportation materials and methods of sampling and testing, part II—tests, 20th edn, Washington, DC, USA

[5] ASTM designation D6931-07. Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Bituminous Mixture.

[6] ASTM D2041 / D2041M-19, Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Asphalt Mixtures.

[7] Naiel, A. K., Flexible Pavement Rut Depth Modeling For Different Climate Zones. Ph.D. Thesis, Wayne State University, 2010.