تعزيز الخلطة الاسفلتية بالكبريت (ثيوبيف)

Thiopave Sulphur Enhancement for Asphalt Mixtures

اعداد

المهندسة آلاء صالح الطوالبـــه

المستخلص Abstract

جدد ارتفاع أسعار المواد الرابطة الإسفلتية الاهتمام بالكبريت باعتباره مادة رابطة مما جعلها افضل توجه لاستخادمها كبديل ع مادة البيتومين.

يحتوي الكبريت أيضًا على القدرة على تقليل سماكات الرصف وتحسين الأداء عن طريق زيادة معامل الأسفلت وزيادة الترابط في الخليط.

منذ عدة عقود، تم استخدام خليط الإسفلت المعدل بالكبريت في العديد من الطرق التجريبية، حيث أن هذه الطرق بشكل عام كان ادائها جيد تحت تأثير الحمولات المحورية.

كانت هناك مشاكل مع انبعاثات كبريتيد الهيدروجين (H2S) أثناء الإنتاج ورصف الطريق ، مما تسبب في مخاوف تتعلق بالسلامة للعمال في المصنع والموقع. في ذلك الوقت ، تم استخدام الكبريت في سائل مصهور و يضاف مباشرة إلى رابط الأسفلت.

الكلمات المفتاحية: خلطة اسفلتية، ثيوبيف، ThioPave، الكبريت، الاسفلت، البيتومين

مقدمـــة

الخلطة الإسفلتية

الخلطة الإسفلتية عبارة عن خليط متماسك مكون من الركام ذي تدرج مختلف المغلف بالإسفلت العادي أو المعدل، تتخللها فراغات هوائية، تستعمل في رصف الطرق و مدرجات المطارات و المواقف و الساحات حسب طبيعة استخدامها، كما تستخدم في تبطين القنوات. يشكل الركام عناصر الهيكل الإنشائي للخلطة أما الإسفلت فيربط العناصر ببعضها.

تمر عملية تصميم الخلطة الاسفلتية بسلسلة من الإجراءات الهادفة إلى تحديد نوع و نسب و خواص المواد الداخلة في تركيب الخلطة الإسفلتية و طرق اختبارها للتأكد من تحقيق الخلطة و مكوناتها للمواصفات التعاقدية و قدرتها على الأداء تحت ظروف التشغيل المتوقعة، ولا تخفى الطريقة الأشهر في تصميم الخلطات وهي طريقة مارشال.

متطلبات الخلطة الإسفلتية والتي كانت دائما سببا للبحث الدائم عن تقنيات جديدة وفعالة واقتصادية وآمنة بنفس الوقت، وتحقق هذه المتطلبات، ومنها:

1- **الثبات: القدرة على مقاومة التشوه الناتج عن الأحمال المرورية و البيئي.**
2- **المرونة: القدرة على التجاوب مع القوى المؤثرة دون أن تتكسر.**
3- **المتانة: القدرة على مقاومة العوامل البيئية و ثبات الخواص مع مرور الزمن.**
4- **قابلية التشغيل: سهولة تشكيل و إعادة تشكيل الخلطة أثناء الرصف بحيث يتمشى سطحها مع الخطوط التصميمية دون أن تتفكك أو تتشقق أو يتشوه سطحها أو تنفصل مكوناتها.**
5- **قابلية الدمك: سهولة دمك الخلطة للحصول على الكثافة المطلوبة أثناء التنفيذ دون إلحاق الضرر بالخلطة أو مكوناتها.**

THIOPAVE

الباب الاول: ما هو الثيوبيف ThioPave

لأن الغرض الأهم للخلطات الاسفلتية هو الديمومة، فكان البحث عن تقنيات جديدة وعملية وناجعة في جعل العمر التشغيلي للطريق اطول مما هو عليه في الخلطات الاسفلتية التقليدية.

فجاء اهتمام خاص في استخدام مواد بديلة لتحل محل اهم مكون في مخاليط الأسفلت وهو البيتومين، ففي السنوات الأخيرة تم التحقق من استخدام الكبريت كمنتج بديل في بعض الدول أولها في دول أمريكا الشمالية والتي استخدمت في مختلف المشاريع في الولايات المتحدة وكندا، ولكن عادت الظروف الاقتصادية لتعيد التوجه نحو الخلطات الاسفلتية التقليدية (مارشال). أما الآن، فعاد الاهتمام متجدداً نحو المواد البديلة لأسباب اقتصادية وبيئية وتحسين الأداء.

Thiopave ثيوبيف هي المادة التي طورت إختراعها شركة شيل سلفر سوليوشن العالمية للحلول التكنولوجية، لاستخدام الكبريت الناتج عن عمليات تكرير النفط، كمادة محسنة للبيتومين الذي يستعمل كمادة رابطة في خلطات الرصف الأسفلتية الساخنة. حيث تعمل حبيبات الثيوبيف كمادة معدلة لخواص البيتومين ومحسنة لأداء خلطات الرصف الأسفلتية، بتعزيز جساءة الخلطة وزيادة لدونتها، مما يزيد من مقاومة الطريق لتكون الأخاديد الطولية وظهور التشققات بمختلف أنواعها والناتجة بفعل أحمال المركبات.

صورة (1) التخدد Rutting Failure

صورة (2) التشققات التمساحية Alligator cracks

الباب الثاني: تطبيق فعلي في الكويت

قام معهد الكويت للابحاث في دولة الكويت بعدة تجارب مختبرية لتصميم خلطات أسفلتية بتقنيات متعددة لرفع مستوى الاداء للخلطات، وكان اهمها تقنية احلال الكبريت (الثيوبيف) بنسبة محددة من حجم البيتومين اللازم لتصميم الخلطة الاسفلتية.

وكانت هذه الجهود عقب التدهور الذي شهدته شوارعها جراء الامطار الغزيرة التي شهدتها الكويت في عام 2018، وكانملخص هذه التجربة الناجحة في هذا المقال المقتبس من جريدة القبس الكويتية:

"علقت مديرة برنامج التشييد والمواد بمركز أبحاث الطاقة والبناء، ومديرة المشروع الباحثة العلمية المهندسة سعاد خالد البحر، على مشروع الطريق التجريبي ذي التقنيات المتعددة، وقالت ان الطريق يعتبر أحد المشاريع الرائدة التي نفذها معهد الأبحاث في مجال تكنولوجيا أسفلت الطرق، حيث مولت شركة نفط الكويت في 2013 – 2015، مشروعا تعاقديا بقيمة 109 آلاف دينار لتقييم ودراسة فعالية استخدام الثيوبيف ® Thiopave

وذكرت البحر أن برنامج الدراسة اشتمل على القيام بفحوص مختبرية لتصميم خلطات رصف أسفلتية ذات تقنيات متنوعة، جميع مكوناتها من مواد أولية محلية وباستخدام المادة البيتومينية الرابطة المحسنة بمادة{Thiopave®} بإحلالها بنسبة تتراوح بين 25% – 30 % محل البيتومين المحلي، وأخرى باستخدام الكبريت المحلي، الناتج عن مصافي شركة البترول الوطنية الكويتية، بالنسبة نفسها، مضافا إليه مواد مثبطة لانبعاث الأبخرة والروائح الناجمة عن كبريتيد الهيدروجين، هذا بالإضافة الى تصميم خلطات أسفلتية معدلة باللدائن البوليمرية (ما يسمى تصميم سوبربيف)، وأضافت أن الدراسة اشتملت على خلطات الأسفلت التقليدية المستخدمة من قبل وزارة الأشغال العامة في رصف الطرق السريعة (ما يسمى تصميم المارشال).

وقالت إن الطريق التجريبي يخدم حركة المرور لمحطة معالجة المخلفات الصناعية السائلة التابعة للهيئة العامة للصناعة. ويقدر حجم الحركة المرورية على الطريق بما يعادل 150 صهريج محمل بالمياه الصناعية كل 12 ساعة على مدار العام. وأشارات المهندسة البحر الى أن الطريق التجريبي منذ افتتاحه في يونيو 2015 وحتى

الآن لم يشهد أي مظهر من مظاهر التدهور التي تأثرت بها طرق وشوارع الكويت خاصة بعد موجة الأمطار الغزيرة التي شهدتها البلاد في نوفمبر 2018 والتي تسببت في تدهور بالغ للكثير من الطرق القائمة والطرق الحديثة للرصف".

الباب الثالث: شركات متخصصة

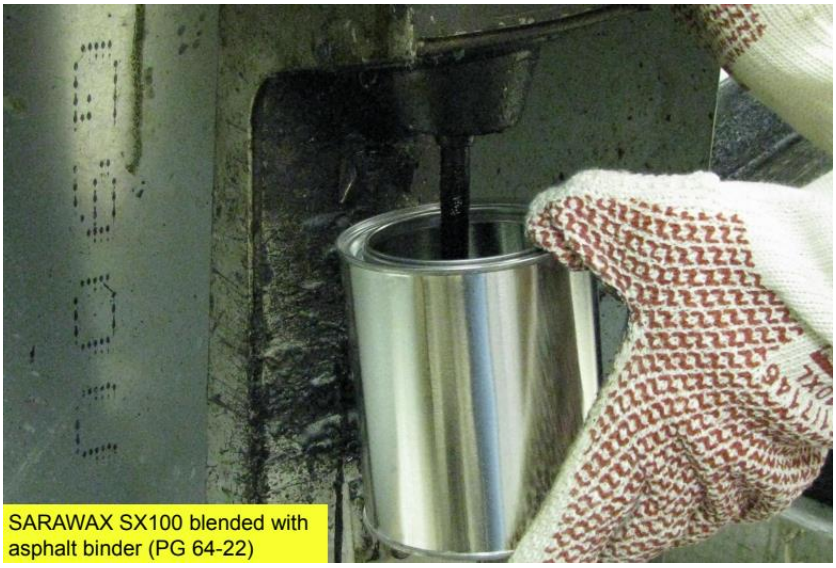
شركة شيل سلفر سوليوشن العالمية للحلول التكنولوجية

"ظهرت شركة (THIOPAVE Shell) والمتخصصة في هذا المجال والتي عظمت قيمة استخدام مادة الكبريت وتطويرها لإدخالها في مكونات الخلطة الاسفلتية بحيث تحل بنسبة (20- 25)% من حجم البيتومين في الخليط وذلك من خلال اجراء عدة تجارب والاطلاع على النتائج للخواص الفيزيائية ومقارنتها مع نتائج الخلطة التقليدية (كما سيوضح لاحقا في باب 6).

قامت الشركة بتصنيع مادة الكبريت المستخدمة في الخلطات الاسفلتية على شكل حبيبات (ThioPave Pellets)، ووفرت مادة تستخدم كعامل ربط تسمى (SARA WAX SX 100 Compaction Agent).

صورة (1) ThioPave Pellets

صورة (2) SX 100 SARAWAX



صورة (3) بيتومين مذاب فيه مادة SARAWAX SX100

الباب الرابع: لماذا مادة الكبريت؟

هو عنصر كيميائي لافلزّي رمزه S وعدده الذرّي16 ؛ ويقع ضمن عناصر الدورة الثالثة وفي المجموعة السادسة عشر) المجموعة السادسة وفق ترقيم المجموعات الرئيسية (في الجدول الدوري، حيث يقع في المرتبة الثانية في نفس مجموعة الأكسجين، بالتالي فهو من الكالكوجينات .ينتمي عنصر الكبريت إلى اللافلزّات وهو متعدّد التكافؤ ويوجد عددٌ كبيرٌ من المركّبات الكيميائية الكبريتية. عُرفَ الكبريت في الحضارات القديمة المختلفة، وكان للعلماء العرب والمسلمين دوراً في تطوير ونشر المعارف عن الكبريت، خاصّةً العالم جابر بن حيان، الذي توصّل إلى اكتشاف حمض الكبريتيك وأسماه «زيت الزاج»، حيث كانت تشير تسمية الزاج إلى أملاح الكبريتات المشتقّة من هذا الحمض.

Source: Wikipedia

نشرت جامعة ولاية أيوا نتائج أبحاثهم على 4 أنواع مختلفة من مواد الأسفلت للطرق. كالتالي. عنصر :WED بديل الأسفلت البيتومينيي؛ تسمى صيغة المادة المحضرة من الكبريت لهذا الغرض .SEA في هذه المادة، يحل الكبريت محل جزء من الأسفلت التقليدي. تبلغ كمية الكبريت المستخدمة في معظم الحالات حوالي 30٪ من وزن المادة.

تحتوي هذه المادة على تركيز أقل مقارنة بالإسفلت التقليدي عند درجة حرارة تزيد عن 130 درجة مئوية، وهذه المشكلة تسمح بخلطها وضغطها عند درجة حرارة منخفضة.

في درجات الحرارة العالية، تحتوي مادة الأسفلت SEA على تركيز أعلى من الأسفلت التقليدي وهي أكثر مقاومة لخدش عجلة السيارة والتشوه الناجم عن الطقس الحار من الأسفلت التقليدي. بالإضافة إلى ذلك، هذه الأنواع من الأسفلت أكثر مقاومة لوقود الديزل والمذيبات الأخرى من الأسفلت العادي. بين عامي 1971 و 1982، تم تعبيد ما يقرب من 150 طريقًا بهذه المادة. (ويكيبيديا)

أهمية احلال الكبريت محل الاسفلت بنسبة معينة:

بيئياً: التقليل من خطر المشاكل المحتملة في البيئة وصحة العمال.

نظرياً: يعدل الكبريت على الخواص الميكانيكية للخلطات الأسفلتية.

عملياً: الحد من استجابته السلبية لتغيرات درجة الحرارة.

وزيادة مقاومته للتشوهات الناتجة عن التغير المناخي او الاحمال المرورية

مقاومة التشققات بسبب زيادة الترابط وليونة الخليط.

الباب الخامس: تصميم الخلطة الاسفلتية باستخدام الثيوبيف

Conventional Mix Design Values

- Bitumen Content: 6.0 % PG 70-22
- Air Voids: 4.0 %
- VMA: 15.5 %
- VFA: 73.8 %
- Tensile Strength Ratio: 97.7 %
- Mix Temp.: 325 F
- Compaction Temp.: 295 F
- Max. Specific Grav.: 2.419

- Thiopave pellets are preheated at 140 F
- Aggregate was preheated at 290 F
- Asphalt/Sarawax blend then weighed into preheated aggregate
- Mixing begins then pre-weighed quantity of Thiopave pellets are added

• Thiopave pellets melt at 245 F

NEW TOTAL BINDER CONTENT

• Thiopave + Bitumen Wt. % = A (100)* R

100*R – Ps*(R-Gbitumen)

A=Weight % bitumen in Conventional Mix=6.3
R=Thiopave to bitumen substitution ratio = GThiopave/Gbitumen=1.92/1.03=1.86408
Ps=Weight Thiopave in Binder % =38.5%
A=7.6 %

(NEW TOTAL BINDER CONTENT) Bitumen to Thiopave Ratio

• Bitumen Weight % of TOTAL: 61.5 %
• Thiopave Weight % of TOTAL: 38.5 %
• SARAWAX @ 1.5 %

TOTAL BINDER CONTENT

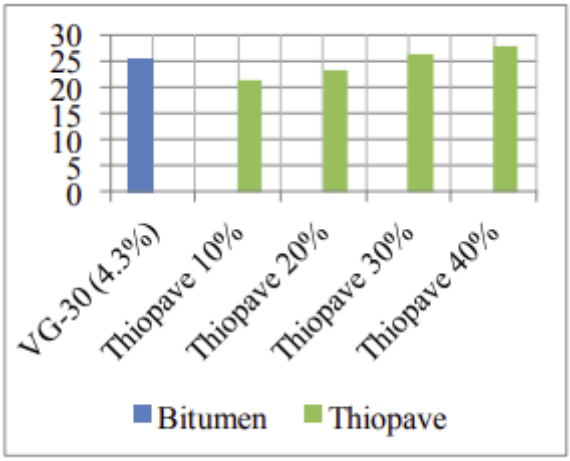
• NEW TOTAL BINDER CONTENT=7.6 %
– Bitumen Ratio %=61.5 %
– % Bitumen of New TOTAL BINDER= • 7.6 % * (61.5/100)~ 4.67 %
– % Thiopave of New TOTAL BINDER= • 7.6 % * (38.5/100)~2.93 %

Thiopave Mix Design Values

TOTAL NEW BINDER %: 7.6 % -4.67 % PG 64-22 (22 % reduction) -2.93 % Thiopave Air Voids: 4.0 %
VMA: 16.0 %
VFA: 74.8 %
TSR: 90.4 %
Max. Specific Grav.: 2.445

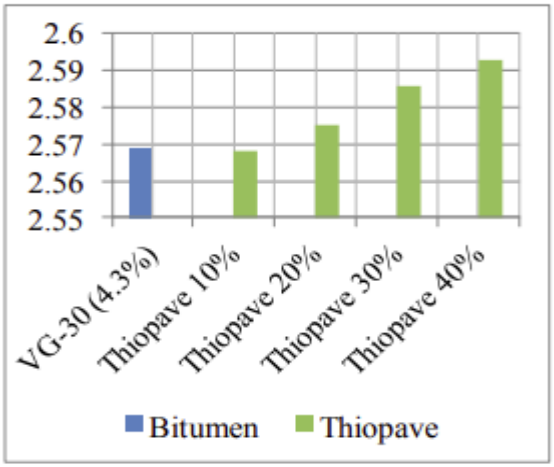
مقارنة بين نتائج مختبرية لعينة خلطة تقليدية VG-30وعينة ثيو بيف (بيتومين%+ثيوبيف%) بنسب مختلفة

أ- الثبات Stability : نلاحظ من النتائج في الرسم البياني(1) أن أعلى درجة ثبات هي في الثيوبيف 40% + بيتومين 60%.



رسم بياني (1) يبين التغير في قيمة الثبات لعينة خلطة تقليدية وعينات للثيوبيف

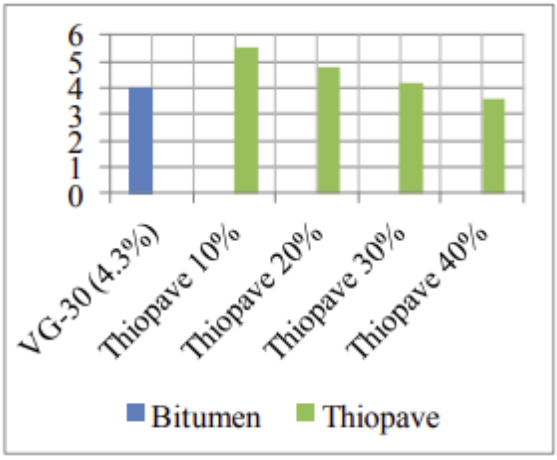
ب- كثافة مارشال Marshall Density : نلاحظ من النتائج في الرسم البياني(2) أن أعلى كثافة والتي تلبي متطلبات الخلطة الاسفلتية في الموقع هي في الثيوبيف 40% + بيتومين 60%.



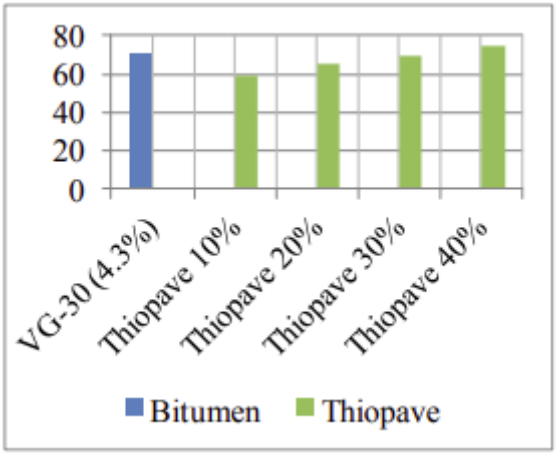
رسم بياني (2) يبين التغير في قيمة كثافة مارشال لعينة خلطة تقليدية وعينات للثيوبيف

ت- الفراغات الهوائية Air Voids: نلاحظ من النتائج في الرسم البياني(3) أن أعلى نسبة فراغات هوائية هي في الثيوبيف 10% + بيتومين 90%، وأدناها في الثيوبيف 40%+بيتومين 60%.

كما يظهر أيضا بالرسم البياني رقم (4) أن نسبة الفراغات المملوءة بالبيتومين كانت في نفس العينة أعلاه.

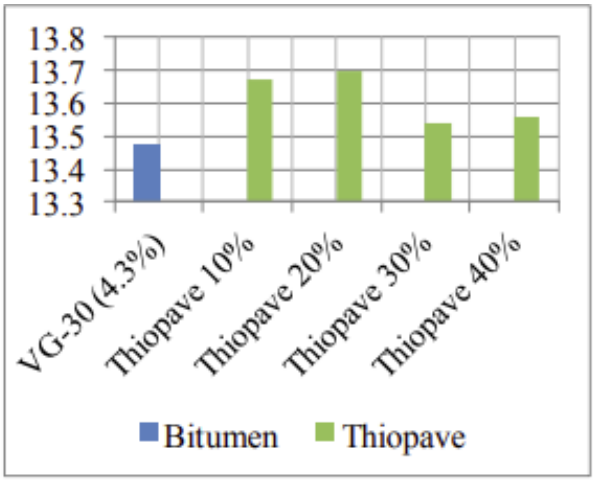


رسم بياني (3) يبين التغير في قيمة الفراغات الهوائية لعينة خلطة تقليدية وعينات للثيوبيف



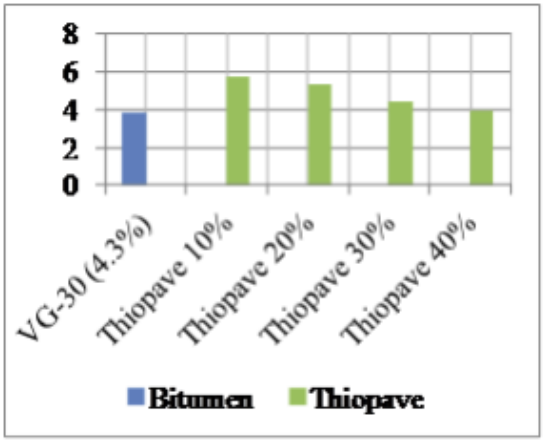
رسم بياني (4) يبين التغير في قيمة الفراغات الهوائية المملوءة بالبيتومين لعينة خلطة تقليدية وعينات للثيوبيف

ث- الفراغات المعدنية Minerals Voids of Aggregates: نلاحظ من النتائج في الرسم البياني(5) أن أعلى نسبة فراغات في المواد الحصوية هي في الثيوبيف 20% + بيتومين 80%، وأدناها في العينة التقليدية VG-30.



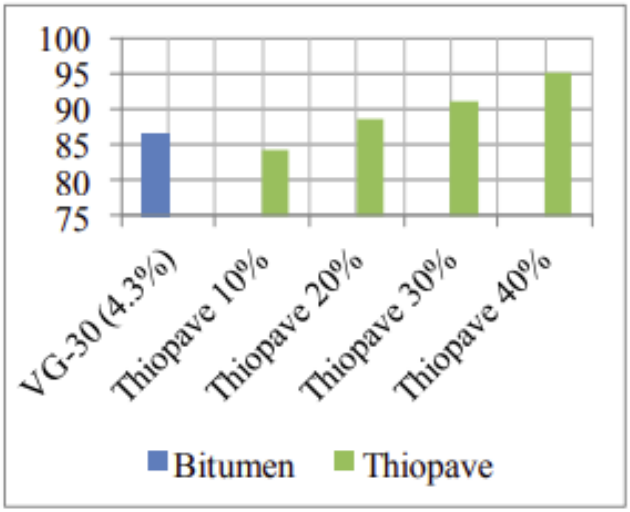
رسم بياني (5) يبين التغير في قيمة الفراغات المعدنية للمواد الحصوية لعينة خلطة تقليدية وعينات للثيوبيف

ج- التدفق Flow: نلاحظ من النتائج في الرسم البياني(6) أن أعلى مستوى تدفق والتي تلبي متطلبات الخلطة الاسفلتية في الموقع هي في الثيوبيف 10% + بيتومين 90%.



رسم بياني (6) يبين التغير في قيمة التدفق لعينة خلطة تقليدية وعينات للثيوبيف

د- صافي الثبات Retained Stability: نلاحظ من النتائج في الرسم البياني(7) أن أعلى صافي ثبات والتي تلبي متطلبات الخلطة الاسفلتية بعد الرصف هي في الثيوبيف 40% + بيتومين 60%.



رسم بياني (7) يبين التغير في قيمة صافي الثبات لعينة خلطة تقليدية وعينات للثيوبيف

الباب السادس: التوصيات CONCLUSION

1- من خلال هذه الدراسة؛ نستنتج بأن الثيوبيف بإمكانه أن يكون فعالا بإحلاله محل البيتومين بنسبة (30-40)%.

1. With the help of this study is concluded that thiopave can be a most effective for replacement for bitumen at 30 to 40 %.

2- الثيوبيف الكثيف بالخلطة الاسفلتية يتميز بثبات مارشالي عالي، وهذا يستدل عليه من المقاومة العالية للتخدد. قيم الثبات المارشالي كانت تزداد بمقدار اعلى مما هي عليه في الخلطة الاسفلتية التقليدية.

2. The Thiopave dense bituminous mixtures have higher Marshall Stability value indicating that it is a rutting resistant mixture. The Marshall Stability values were increased higher with thiopave

dense bituminous macadam mixtures when compared with conventional DBM.

3- أعلى ثبات وأعلى كثافة سُجلت في الخليط الذي يحتوي على النسب (ثيوبيف:بيتومين)، (70:30)،و (60:40).

3. The maximum stability and density will increase in the % of mix with thiopave bitumen is 70:30 and 60:40 ratios.

4- اعلى نسب في الفراغات الهوائية كانت في (ثيوبيف:بيتومين)، (80:20)،و (90:10)، أي عند الاحلال بنسبة قليلة.

4. The maximum Air voids and voids in mineral aggregate will increase in the % of mix with thiopave and bitumen is 90:10 and 80:20 ratios.

5- اعلى تدفقيزداد في خليط (ثيوبيف: بيتومين)، (90:10) ، فالتدفق يزيد من الثبات.

5. The maximum flow will be increases in the % of mix with thiopave and bitumen is 90:10 and 80:20 ratios. And flow will increased stability.

6- الفراغات المملوءة بالبيتومين تزداد في خليط (ثيوبيف:بيتومين)،(60:40)، حيث تزداد الكثافة والثبات.

6. The voids filled is increases in the % of mix with thiopave and bitumen is 60:40 ratio. The density and stability also increases.

7- صافي الثبات يزداد في خليط (ثيوبيف:بيتومين)، (70:30)،و(80:20)،و (90:10)، زيادة الثبات تعني عمر اطول للطريق.

7. Retained stability will be increases in the % of mix of thiopave and bitumen 70:30 80:20 and , 90:10 ratios. The increased in stability pavement life will be more.

8- بمقارنة الخلطة الاسفلتية الساخنة التقليدية بخليط الثيوبيف والبيتومين فإن الثاني يقلل التكلفة بمقدار (20-30)%

8. Compared to normal hot mix asphalt with bitumen and thiopave the cost reduction of about 20 to 30 % can be saved.

المراجع والمصادر References

1- Bailey, — Innovative Sulphur Technology Applied to European Asphalt Mixtures. In: Proceedings of 6th International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control-2009.
2- Gary Fitts, — Sulphur Enhanced Asphalt for the 21st Century. Texas pavement presentation center-2009.
3- David Strickland, —A study of the low temperature properties of shell sulphur extended asphalt mixtures. Manchester, united kingdom-2008.
4- صحيفة القبس الكويتية، مقال نفّذها «الأبحاث» بدعم من مؤسسة البترول «تكنولوجيا الأسفلت».. مشاريع رائدة
https://www.alqabas.com/article/3683945
5- A. Taylor, —Evaluation of mixture performance and structural capacity of pavements using shell thiopave comprehensive laboratory performance evaluation Technology, NCAT Report, September 2010.
6- IS: 1202 - 1978, —Methods for testing ta and bituminous materials: Determination of Specific gravity (First revision).
7- IS: 73-2006, —Specifications for paving bitumen.
8- Jayaprakash B et al Int. Journal of Engineering Research and Applications www.ijera.com ISSN: 2248-9622, Vol. 5, Issue 2(Part 3), February 2015, pp.67-76
9- ويكيبيديا، الكبريت