بسم الله الرحمن الرحيم

مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية KACST

المملكة العربية السعودية

مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

إن المشرف العام على مكتب البراءات السعودي، وبموجب أحكام نظام براءات الاختراع والتصميمات التخطيطية للدارات المتكاملة والأصناف النباتية والنماذج الصناعية الصادر بالمرسوم الملكي الكريم رقم م/٢٧ وتاريخ ١٤٢٥/٠٥/٢٩هـ، واستناداً لأحكام اللائحة التنفيذية له الصادرة بالقرار الإداري رقم ١٦١-٢-٣٦٠٧٣٢٩ وتاريخ ١٤٣٦/١٢/٣٠ هـ، يقرر منح:

١) شركه الزيت العربية السعودية

Saudi Arabian Oil Company

٢) جامعة الملك فهد للبترول والمعادن

King Fahd University of Petroleum and Minerals

براءة اختراع رقم ٥٧٤٩

بتاريخ ١٤٣٩/٠٥/٢٦هـ الموافق ٢٠١٨/٠٢/١٢ م

عن الاختراع المسمى/ أسفلت كبريتي رغوي لإعادة تصنيع رصيف واستقرار تربة

Foamed sulfur asphalts for pavement recycling and soil stabilization

ولمالك البراءة الحق في الانتفاع بكامل الحقوق التي يمنحها النظام في المملكة العربية السعودية.

المشرف العام على مكتب البراءات السعودي

م. صقر بن ناصر الفطيماني

[19] **المملكة العربية السعودية** SA
مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

[11] **رقم البراءة:** ٥٧٤٩
[45] **تاريخ المنح:** ١٤٣٩/٠٥/٢٦ هـ
الموافـــــق: ٢٠١٨/٠٢/١٢ م

[12] براءة اختراع

[72] **اسـم المخـترع:** محمـد المهـذل، صـالح العيـدي، حمـد العبدالوهاب، ابن الوليد حسين

[73] **مالك البراءة :** ١) شركه الزيت العربية السعودية، ٢) جامعة الملك فهد للبترول والمعادن

عنوانه: ١) ص. ب ٣١٣١١ الظهران ٣١٣١١، المملكة العربية السعودية، ٢) ص. ب ٣١٢٦١ الظهران ٣١٢٦١، المملكة العربية السعودية

جنسيته: ١) سعودية، ٢) سعودية

[74] **الوكيل:** مكتب المحامي سليمان ابراهيم العمار

[21] **رقم الطلب:** ٥١٦٣٧١٢٤٥

[22] **تاريخ دخول المرحلة الوطنية:** ١٤٣٧/٠٨/٢٤ هـ
الموافق : ٢٠١٦/٠٥/٣١ م

تاريخ الإيداع للطلب الدولي: ٢٠١٤/١٢/٠١ م

[86] **رقم الطلب الدولي:** PCT/US2014/067872

[87] **رقم النشر الدولي:** WO/2015/088799

تاريخ النشر الدولي: ٢٠١٥/٠٦/١٨ م

[30] **بيانات الأسبقية:**

US	١٤/١٠١,٨٥٧	٢٠١٣/١٢/١٠م

[51] **التصنيف الدولي** (IPC[8]) :
C08K 003/022, C08K 003/006, C08L 095/000, E01C 007/026, C08J 009/012

[56] **المراجع:**

GB	١٣٢٥٩١٦	١٩٧٣/٠٨/٠٨م
EP	١٣٩٨٣٥١	٢٠٠٤/٠٣/١٧م
WO	٢٠١٠٠١٧٢٨٣	٢٠١٠/٠٢/١١م

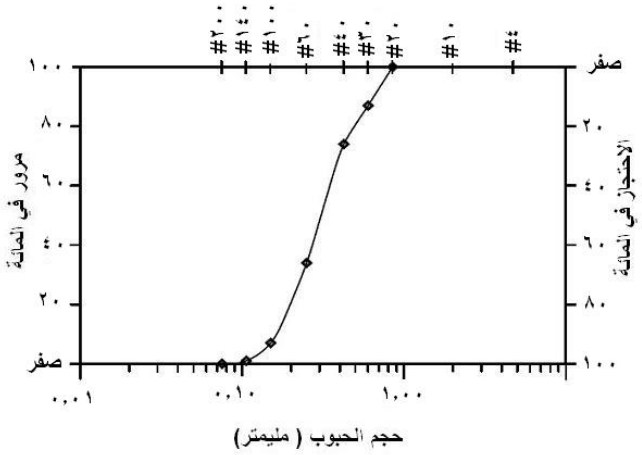
اسم الفاحص: أحمد بن محمد السلامة

[54] **اسم الاختراع:** أسفلت كبريتي رغوي لإعادة تصنيع رصيف واستقرار تربة

Foamed sulfur asphalts for pavement recycling and soil stabilization

[57] **الملخص:** يتعلق الاختراع الحالي بطرق تصنيع أسفلت كبريتي sulfur asphalt ذو رغوة لتربة مستقرة stabilized soil وأسفلت كبريتي رغوي foamed sulfur asphalt ويتضمن الأسفلت الكبريتي ذو الرغوة لتربة مستقرة stabilized soil أسفلت كبريتي رغوي ومجموعة جافة الهواء air-dried وماء ترطيب moisturizing water وأسمنت بورتلاند Portland cement ويتضمن الأسفلت الكبريتي الرغوي رابط أسفلتي asphalt binder وكبريت عنصري elemental sulfur وهواء إضافة رغوة وماء رغوة. ويكون للأسفلت الكبريتي الرغوي فترة نصف عمر للرغوة مساوي أو أكبر من حوالي ٦ ثوان ونسبة تمدد رغوة مساو لـ أو أكبر من ٨. ويكون أيضاً للأسفلت الكبريتي الرغوي مقدار من الكبريت العنصري بمعدل من حوالي ١٠٪ إلى حوالي ٥٠٪ بالوزن من الكميات المدمجة من الكبريت العنصري والرابط الأسفلتي في الإسفلت الكبريتي الرغوي.

عدد عناصر الحماية (١٩)، عدد الأشكال (٦)



الشكل (١)

أسفلت كبريتي رغوي لإعادة تصنيع رصيف واستقرار تربة

Foamed sulfur asphalts for pavement recycling and soil stabilization

الوصف الكامل

خلفية الإختراع

يتعلق مجال الاختراع بمجموعات أسفلت كبريتية رغوية foamed sulfur asphalts وتربات مستقرة stabilized soils من الأسفلت الكبريتي الرغوي وطرق تكوينهم.

أثناء تصنيع ومعالجة المواد المحتوية على أسفلت المتضمنة مجموعة متراكمة مغطاة بالأسفلت (أسمنت أسفلتي asphalt cement) وخلائط أسفلت ساخن وأسفلت رغوي، يمكن لدرجات حرارة العمل فوق حوالي ١٥٠°م التسبب في مشكلات للعاملين والمعدات. وتبدأ مركبات الكبريت والكبريت الموجودة في الأسفلت المتضمنة كبريت عنصري ومركبات متغايرة عضوية موجودة بصورة طبيعية، نمطياً بالتفاعل مع مكونات أخرى في الأسفلت ومع الهواء عند درجة حرارة أعلى من حوالي ١٥٠°م. ويُكَون الكبريت غاز كبريتيد الهيدروجين hydrogen sulfide(H2S) السام للبشر الذي يبدأ عند حوالي ١٥١°م. ويعمل الكبريت الحر Free sulfur في بيئة هيدروكربونية متضمنة الأسفلت على نزع الهيدروجين dehydrogenates من الهيدروكربونات hydrocarbons الموجودة ويُكوَن كبريتيد هيدروجين. ويعمل تسخين الكبريت إلى درجات عالية الحرارة في وجود الأكسجين oxygen على تكوين ثاني أكسيد الكبريت sulfur dioxide الضار بالبشر ويكون مُلوث هوائي.

يعتبر الكبريت مادة وافرة وغير مكلفة. ويكون الكبريت العنصري منتج ثانوي من معالجة الغاز الطبيعي غير الحلو non-sweet natural gas والبترول petroleum. وتتضمن مصادر الكبريت Sources sulfur "الحر" معامل تكرير البترول ووحدات تحلية الغاز gas sweetening plants . بسبب كمية الكبريت المستخلصة من الغاز الطبيعي والبترول، يعتبر العديد من منتجي الكبريت الكبريت العنصري elemental sulfur منتج مهمل.

يُفضل إيجاد استخدامات تجارية للكبريت العنصري يلمكن التخلص منه بصورة آمنة وفعالة. دمج الكبريت في منتجات تجارية يمكنه تحويل ما قد يعتبره الكثير منتج "مهمل" محتمل إلى منتج ذو قيمة عملية.

يتعلق طلب البراءة الأوروبي رقم ١٣٩٨٣٥١ بعملية لإعداد تركيبة أسفلت.

يتعلق طلب البراءة البريطاني رقم ١٣٢٥٩١٦ بطريقة إنتاج مادة رغوية، وجهاز لإجراء تلك الطريقة. تحديداً، مناسب لإنتاج مواد رغوية، لطلاء و / أو ربط المادة المجمعة أو مواد دقائقية صلبة آخرى.

<u>الوصف العام للاختراع</u>

تتضمن طريقة لتصنيع تربة مستقرة stabilized soil من أسفلت كبريتي رغوي foamed sulfur asphalt تقديم رابط أسفلتي asphalt binder وكبريت عنصري elemental sulfur وهواء رغوي foaming air وماء رغوي foaming water إلى خلاط تكوين رغوة foaming mixer. يكون للماء الرغوي ضغط أكبر من الهواء الرغوي. وتتضمن الطريقة خطوة لتشغيل خلاط الرعوة بحيث يتكون أسفلت كبريتي رغوي. ويكون للأسفلت الكبريتي الرغوي نصف عمر رغوة foam half-life مساوي لـ أو أكبر من حوالي ٦ ثوان ونسبة تمدد رغوة مساوية لـ أو أكبر من ٨. ويتم تشغيل خلاط الرغوة عند درجة حرارة لا تتعدى ١٥٠ْ م. وتتضمن الطريقة خطوة تقديم الأسفلت الكبريتي الرغوي ومتراكم له محتوى من الرطوبة moisture وأسمنت بورتلاند Portland cement في خلاط متراكم aggregate mixer . وتتضمن الطريقة خطوة تشغيل خلاط المتراكم بحيث تتكون التربة المستقرة من الأسفلت الكبريتي الرغوي.

تتضمن تربة مستقرة من أسفلت كبريتي رغوي الأسفلت الكبريتي الرغوي، المتراكم جاف الهواء، ماء ترطيب وأسمنت بورتلاند. ويكون للأسفلت الكبريتي الرغوي نصف عمر رغوة مساوي لـ أو أكبر من حوالي ٦ ثوان ونسبة تمدد رغوة مساوية لـ أو أكبر من ٨.

تتضمن طريقة لتصنيع أسفلت كبريتي رغوي تقديم الرابط الأسفلتي والكبريت العنصري والهواء الرغوي والماء الرغوي في داخل الخلاط الرغوي. ويكون للماء الرغوي ضغط أكبر من الهواء الرغوي. وتتضمن الطريقة خطوة تشغيل الخلاط الرغوي بحيث يتم تكوين أسفلت كبريتي رغوي.

ويكون للأسفلت الكبريتي الرغوي نصف عمر رغوة مساوي لـ أو أكبر من حوالي ٦ ثوان ونسبة تمدد رغوة مساوية لـ أو أكبر من ٨. ويعمل الخلاط الرغوي عند درجة حرارة لا تتعدى ١٥٠ْ م.

يتضمن أسفلت كبريتي رغوي الرابط الأسفلتي والكبريت العنصري والهواء الرغوي والماء الرغوي. ويكون للأسفلت الكبريتي الرغوي نصف عمر رغوة مساوي لـ أو أكبر من حوالي ٦ ثوان ونسبة تمدد رغوة مساوية لـ أو أكبر من ٨. ويكون للأسفلت الكبريتي الرغوي مقدار من الكبريت العنصري بمعدل يتراوح من حوالي ١٠٪ إلى حوالي ٥٠٪ بالوزن من الكميات المُدمجة من الكبريت العنصري والرابط الأسفلتي في الأسفلت الكبريتي الرغوي.

يعتبر الأسفلت الكبريتي الرغويfoamed sulfur asphalt (FSA) والتربة المستقرة من الأسفلت الكبريتي الرغوي foamed sulfur asphalt stabilized soil (FSASS) من سبل استهلاك الكبريت العنصري الذي يكون منتج ثانوي من انتاج الهيدروكربون. ويعمل استخدام الكبريت الحر أيضاً على تمدد المدد الأسفلتي بالعمل كحشوة. وقد تم على نحو يدعو للدهشة إيجاد أن الكبريت العنصري يعزز من خواص تركيبات التربة المستقرة الأسفلتية الرغوية. وتعمل إضافة الكبريت إلى تركيبة الأسفلت الرغوية على زيادة مده حياه (FSASS) المنتج. وتعمل إضافة الكبريت إلى تركيبة الأسفلت الرغوية أيضاً على تقليل درجة حرارة تصنيع المنتج الأسفلتي الرغوي مما يحافظ على الطاقة بينما لا يتم انتاج غازات كبريتية sulfur gases ضارة harmful أو سامة toxic مثل كبريتيد الهيدروجين hydrogen sulfide أو أكاسيد الكبريت sulfur oxides.

يمكن استعمال الأسفلت الكبريتي الرغوي والتربة المستقرة الأسفلتية الرغوية بواسطة صناعة التشييد حول العالم كبديل للأسفلت الرغوي المعتاد لاستقرار التربة وإعادة تدوير الرصيف pavement recycling. وقد يتم عمل (FSASS) باستخدام تقنيات إعادة التدوير الباردة cold recycling. وتعتبر خلائط الرصف من قواعد الطرق المَجمعة والقواعد الثانوية والأسفلت المعادة إستصلاحه (أي المُستعمل سابقاً) تجميعات مفيدة لتكوين تربات مستقرة أسفلتية كبريتية رغوية. يكون (FSA) مفيداً أيضاً لاستقرار أنواع التربة المتنوعة متضمنة الرمل sand والمرل marl وتربات السبخة sabkha soils لتكوين FSASS. ولأغراض هذا التطبيق، تكون "تربة soil " و"كتلة مجمعة aggregate " مصطلحات قابلة للتبادل. وتعتبر الخصائص الفيزيائية العديدة الشائعة للتربات المستقرة إما قابلة للمقارنة بـ أو فائقة عند استقرارها مع (FSA) مقابل الأسفلت الرغوي المعتاد.

يوفر استخدام الأسفلت الكبريتي الرغوي العديد من المزايا. ويمكن انتاج (FSA) عند ١٥٠°م بينما تم إكتشاف أنه لا يمكن انتاج الأسفلت الرغوي المعتاد عند درجة حرارة أقل من ١٨٠°م بينما يظل يفي بمتطلبات التمدد الرغوي ونصف العمر. ولا يوفر ذلك فقط في الطاقة (معدات تشغيل المعالجة عند درجات حرارة أقل) ولكنه أيضاً يمنع ابتعاث كبريتيد الهيدروجين hydrogen sulfide وأكاسيد الكبريت sulfur oxides من الكبريت الموجود بصورة طبيعية في البيتومين bitumen بالإضافة إلى الكبريت المضاف added sulfur.

يكون لمنتجات التربة المستقرة الأسفلتية الكبريتية الرغوية العديد من الخصائص المفضلة عن التربات المستقرة الأسفلتية الرغوية. إلى جانب العمل كمسامية مفيدة للكبريت "المهمل"، يُضفي إدراج الكبريت أيضاً خصائص فيزيائية مفيدة على نحو مدهش في بعض توليفات التربة/ الأسفلت الكبريتية الرغوية. ويحدث انخفاض في التشوه الدائم في كلا التوليفات لـ (FSA) مع تربة مارل وتربة سبخة. وبناء على تلك النتائج، يُعتقد أنه يمكن مزج الكثبان الرملية أيضاً مع تربات سبخة أو مارل والأسفلت الكبريتي الرغوي لتحسين مقاومتها للحفر التي سوف تعمل على تمدد الأنواع واتاحة الالتراكم في البيئات الصحراوية لبناء الطريق والموقع. أيضاً وعلى نحو يدعو للدهشة، تحسنت فترة ("فقدان الثبات stability loss ") لكل FSASS عن نظرائهم من التربة المستقرة الأسفلتية المنتظمة الرغوية. إضافة لما سبق، يكون للتربة المستقرة بالأسفلت الكبريتي الرغوي مقاومة أعلى للحفر مقارنة بنفس التربة المعالجة بالأسفلت الرغوي التقليدي.

<u>شرح مختصر للرسومات</u>

يتم فهم تلك السمات وأخرى وجوانب ومزايا الاختراع الحالي بصورة أفضل فيما يتعلق بالوصف التفصيلي التالي للتجسيدات المُفضلة وعناصر الحماية المرفقة والأشكال المصاحبة، حيث:

يكون شكل ١ رسم بياني لعرض منحنى تدرج للكثيب الرملي غير المعالج untreated dune sandالمستخدم لتكوين البنيات الأسفلتية الرغوية المستقرة المثالية والمثالية المقارنة؛

شكل ٢ رسم بياني يعرض منحنى توزيع الحجم الحبيبي grain size distribution لتربة سبخة العزيزية المستخدمة لتكوين التربات المستقرة الأسفلتية الرغوية المثالية والمثالية المقارنة؛

شكل ٣ رسم بياني يعرض تأثير محتوى الرطوبة على الكثافة الجافة ونسبة تحمل كاليفورنيا California Bearing Ratio(CBR) لتربة سبخة المستخدمة لتكوين التربات المستقرة الأسفلتية الرغوية المثالية والمثالية المقارنة؛

شكل ٤ رسم بياني يعرض منحنى توزيع الحجم الحبيبيى لتربة مارل marl soil المستخدمة لتكوين التربات المستقرة الأسفلتية الرغوية المثالية والمثالية المقارنة؛

شكل ٥ رسم بياني يعرض تأثير محتوى الرطوبة على الكثافة الجافة لتربة مارل dry density of marl soil لتكوين التربات المستقرة الأسفلتية الرغوية المثالية والمثالية المقارنة؛ و

شكل ٦ رسم بياني يعرض نسبة التمدد ونصف العمر عند ١٥٠°م لرابط أسفلتي كبريتي يبلغ ٣٠/ ٧٠ بالوزن في المائة ومستخدم لتكوين التربات المستقرة الأسفلتية الكبريتية الرغوية المثالية.

<u>الوصف التفصيلي:</u>

تشير المواصفات التي تتضمن الكشف عن الاختراع ووصف الرسوم والأشكال والوصف التفصيلي للتجسيدات المفضلة وعناصر الحماية المرفقة إلى سمات محددة (تتضمن العملية وخطوات الطريقة) بالاختراع. ويعي ذوي المهارة بالفن تضمن الاختراع لكل التوليفات الممكنة والاستخدامات للسمات المحددة التي تم وصفها بالمواصفات. ويعي ذوي المهارة بالفن عدم محدودية الاختراع بوصف التجسيدات المحددة بالمواصفات. ولا يكون الموضوع الابتكاري الأساسي محظوراً عدا فقط بروح المواصفات وعناصر الحماية المرفقة.

يفهم المهرة بالفن أيضاً أن المصطلحات المستخدمة لوصف التجسيدات المحددة لا تحد من منظور أو اتساع الاختراع. وفي تفسير المواصفات وعناصر الحماية المرفقة، يجب تفسير كل المصطلحات بأشمل طريقة ممكنة تتماشى مع سياق كل مصطلح. يكون لكل المصطلحات التقنية والعلمية المستخدمة في المواصفات وعناصر الحماية المرفقة نفس المعنى كما تُفهم شيوعاً من قبل الماهر بالفن الذي ينتمي له هذا الاختراع ما لم يتم تحديد خلاف ذلك.

وكما تم الاستخدام في المواصفات وعناصر الحماية المرفقة، تتضمن الأشكال المفردة "أحد" "أحدى" و"ال" إشارات إلى الجمع ما لم يشير السياق إلى خلاف ذلك بوضوح. ويجب تفسير الفعل

"يشتمل" وأشكاله المقرنة بأنها تشير إلى العناصر أو المكونات أو الخطوات بصورة غير حصرية. وقد توجد العناصر المرجعية أو المكونات أو الخطوات أو يتم استعمالها أو توليفها مع عناصر أو مكونات أو خطوات أخرى لم يتم الإشارة إليها صراحة.

وحيث يتم توفير معدل من القيم في المواصفات وعناصر الحماية المرفقة، يُفهم أن الفاصل يحيط بكل قسمة متداخلة بين الحد العلوي والحد السفلي إضافة إلى بين الحد العلوي والحد السفلي. ويشتمل الاختراع على ويقيد معدلات أصغر من الفاصل تكون عرضة لأي إستثناء محدد معطى.

بينما تتم الإشارة في المواصفات وعناصر الحماية المرفقة إلى طريقة تشتمل على اثنان أو أكثر من الخطوات المحددة، يمكن تنفيذ الخطوات المحددة بأي ترتيب أو بالتزامن عدا ما يستثناه السياق من هذه الامكانية.

عند الإشارة إلى براءة أو منشور في هذا الكشف، يتم دمج المرجع بالإشارة وفي مجمله لدرجة عدم تعارضه مع الجمل المذكورة في هذا الكشف.

أسفلت كبريتي رغوي يتضمن الأسفلت الكبريتي الرغوي رابط أسفلتي. ويمكن نشأة البيتومين Bitumen أو الأسفلت المستخدم من تقطير البترول (مثل الذيول الفراغية vacuum tails)؛ معالجة الفحم coal أو رمال القار tar sands أو الطفل الزيتي oil shale؛ أو من المصادر التي تحدث بصورة طبيعية (مثل بحيرات ترينيداد Trinidad Lakes). ويمكن أن يكون الأسفلت النظيف (أي بدون كبريت حر free sulfur مضاف أو مواد مضافة أخرة) مادة فردية أو مزيج من العديد من الأسفلت القاعدي. وتعتبر كل أنواع الروابط الأسفلتية مفيدة لعمل الأسفلت الكبريتي الرغوي متضمناً أسفلت "درجة الأداء" ومع ذلك لا يمكن استخدام الأسفلت المستحلب والمخفف نظراً لعدم امكانية جعله رغوياً. وتعتمد روابط أسفلت "درجة الأداء" على الخصائص المُدرجة في جدول درجة الأداء ("جدول ١") بمواصفات AASHTO Performance Graded Asphalt Binder Specification M م ٣٢٠. ويشتمل تجسيد للأسفلت الكبريتي الرغوي على رابط أسفلتي ٦٤-١٠ (PG 64-10) Performance Graded 64-10.

يتضمن الأسفلت الكبريتي الرغوي كبريت عنصري. ولا يتضمن الكبريت العنصري أو "الحر" ذرات كبريت فقط ولكن أيضاً كبريت في معقدات ومرتبطة تساهمياً بذرات كبريت sulfur atoms

أخرى، متضمنة الفا –كبريت α–sulfur (كبريت معين مستقيم) وكبريت– بيتا β–sulfur (كبريت أحادي الميل monoclinic sulfur) وكبريت "وتر catena ". وقد تتراوح سلاسل أو حلقات ذرات الكبريت من القليل من ذرات الكبريت إلى المئات من ذرات الكبريت المترابطة تساهمياً. وتكون الصور المتأصلة للكبريت العنصري مناسبة للاستخدام في التركيبة الكبريتية الممتدة. لا يعتبر الكبريت المرتبط تساهمياً مع الذرات غير الكبريتية non–sulfur atoms مثل الكربون carbon أو الهيدروجين hydrogen أو الأنواع الذرية الأخرى متضمنة المركبات متغايرة الخصائص "حراً" أو كبريت عنصري. ونظراً للأنواع المتأصلة المتنوعة بصورة كبيرة، يوجد الكبريت العنصري في العديد من الأشكال الصلبة والسائلة المختلفة ويمكنه التغير بين الأشكال على أساس التعديلات ببيئته متضمنة الحرارة والضغط. وبناء على التصميم الجزيئي للكبريت الحر، تتغير نقطة انصهار الكبريت ما بين حوالي ١١٥ ْم وحوالي ١٤٠ ْم. ومع ذلك ونموذجياً يتم معالجته إما شكل كرية أو صلب على هيئة مسحوق أو في شكل سائل مذاب.

يكون للأسفلت الكبريتي الرغوي نسبة تمدد رغوي مئوية مساوية لـ أو أكبر من ٨. وتكون نسبة التمدد الرغوي هي نسبة الحجم الممتد من الأسفلت الرغوي مقارنة بحجم الأسفلت الرغوي المُفرغ من خلاط إضافة الرغوة.

يكون للأسفلت الكبريتي الرغوي نصف عمر رغوة مساوي لـ أو أكبر من ٦ ثواني. ويتم تحديد نصف عمر الرغوة كفترة بين نقطة ذروة التمدد والنقطة التي يتم عندها انهيار الأسفلت الرغوي إلى نصف حجمه من ذروة التمدد.

تكوين الأسفلت الكبريتي الرغوي يتضمن طريقة تصنيع الأسفلت الكبريتي الرغوي خطوات تقديم الكبريت الحر والرابط الأسفلتي في خلاط عمل الرغوة. وقد يكون تقديم الكبريت الحر والرابط الأسفلتي منفصلً أو قد يكون مادة مدمجة أي رابط أسفلتي كبريتي. ويتضمن تجسدياً بالطريقة تقديم الكبريت الحر والرابط الأسفلتي في خلاط الرغوة كرابط أسفلت كبريتي. ويكون مقدار الكبريت العنصري بالمعدل من ١٪ إلى ٥٠٪ بالوزن من المقادير المدمجة من الكبريت العنصري والرابط الأسفلتي. ويتضمن تجسدياً بالطريقة حيث يشتمل الرابط الأسفلتي الكبريتي المقدم على ٣٠ بالوزن ٪ من الكبريت الحر وحوالي ٧٠ بالوزن ٪ من الرابط الأسفلتي النظيف بالوزن من الرابط الأسفلتي الكبريتي. ويمكن مزج الرابط الأسفلتي الكبريتي بالمكان أو يتم تشكيله مسبقاً. ويتضمن أحد

تجسيدات الطريقة خطوات تقديم الكبريت الحر والرابط الأسفلتي إلي خلاط مسبق بحيث يتكون الرابط الأسفلتي الكبريتي وبالتالي يتم تقديم الرابط الأسفلتي الكبريتي إلى خلاط الرغوة مكان الرابط الأسفلتي والكبريت العنصري المقدمان بصورة منفصلة.

بغض النظر عن طريقة تقديم الكبريت الحر في خلاط الرغوة -كجزء من رابط أسفلتي كبريتي مسبق أداؤه أو بصورة منفصلة- يتضمن تجسيد لطريقة تقديم مثل هذا الكبرت الحر تقديم الكبريت الحر كسائل مذاب. ويمكن خلط الكبريت المذاب مع الأسفلت النظيف في بيئة منخفضة عمودياً لتكوين الرابط الأسفلتي الكبريتي الذي يتم بالتالي تقديمه في خلاط الرغوة أو مباشرة إلى داخل خلاط الرغوة. فعلى سبيل المثال، لعملية إعادة تدوير باردة، يتم حفظ الأسفلت النظيف والكبريت الحر في أوعية منفصلة عند درجة حرارة يكون كلاهما فيها منصهر. ويتم تقديم كلا من الكبريت الحر المنصهر والأسفلت النظيف المنصهر لبعضهما البعض في خلاط رابط لتكوين الرابط الأسفلتي الكبريتي مباشرة قبل تقديم الرابط الأسفلتي الكبريتي إلى داخل خلاط الرغوة. ويتضمن تجسيد لطريقة تقديم مثل هذا الكبريت الحر تقديم الكبريت الحر كمادة صلبة. ويتم تقديم الكبريت العنصري الصلب كمسحوق أو كرية في ومزجه مع أسفلت نظيف منصهر، عادة ما يكون تحت قص عالي، لدمج الكبريت بالكامل في الأسفلت. ويمكن حفظ الأسفلت عند درجة حرارة أقل أو عند أو أعلى من درجة حرارة انصهار الكبريت ولكن تُعرف درجات الحرارة الأعلى لمساعدة الدمج.

تتضمن طريقة تصنيع الأسفلت الكبريتي الرغوي خطوة تقديم ماء الرغوة في خلاط الرغوة. ويتضمن تجسيد للطريقة تقديم ماء الرغوة بحيث يكون للأسفلت الكبريتي الرغوي محتوى ماء بمعدل من حوالي ٢,٣ ٪ وحوالي ٤,٧ ٪ بالوزن. ويتضمن تجسيد للأسفلت الكبريتي الرغوي حيث يكون للأسفلت الكبريتي الرغوي محتوى ماء بمعدل من حوالي ٢,٣ ٪ إلى حوالي ٤,٧ ٪ بالوزن. ويعمل تغيير نسبة الماء المُقدم إلى الأسفلت على التلاعب بنسبة التمدد المئوية ونصف العمر لتركيبة الأسفلت الرغوية المُنتجة. ويتم تغير مقدار ماء الرغوة المقدم ويتم تحديد نسبة التمدد ونصف العمر عند العديد من قيم محتوى الرطوبة الأسفلتي الكبريتي الرغوي عند ١٥٠°م باستخدام ٧٠/٣٠ بالوزن ٪ رابط أسفلتي كبريتي كما بشكل ٦. ويتم انتقاء محتوى الماء للأسفلت الكبرتي الرغوي لتوفير أدنى نسبة للتمدد تبلغ ٨ مرات وأدنى نصف عمر يبلغ ٦ ثوان. ووفقاً لشكل ٦، يفي

٧٠/٣٠ بالوزن ٪ من الرابط الأسفلتي الكبريتي متطلبات عامل التمدد ونصف العمر مع محتوى ماء في المعدل من حوالي ٢,٣ ٪ وحوالي ٤,٧٪ بالوزن.

يعمل خلاط الرغوة عند درجة حرارة تتراوح ما بين حوالي ١٤٠°م وحوالي ١٥٠°م. ولا يُنصح تشغيل خلاط الرغوة عند درجات حرارة أعلى من ١٥٠°م بسبب التطور المحتمل للغازات القابلة للإشتعال من توليفة الكبريت والأسفلت (مثل كبريتيد الهيدروجين) في وجود هواء الرغوة الذي يتم ضغطه ولتطور الغاز السام / الضار.

تكوين التربة المستقرة الأسفلتية الكبريتية الرغوية تتضمن طريقة تصنيع التربة المستقرة الأسفلتية الكبريتية الرغوية خطوة تقديم مادة مجمعة يكون لها محتوى من الرطوبة في خلاط المادة المجمعة.

في احد تجسيدات طريقة تصنيع التربة المستقرة الأسفلتية الكبريتية الرغوية، يمكن خلط المادة المجمعة مسبقاً بمقدار من الماء.

وفي أحد التجسيدات، يكون مقدار الماء مناسب بحيث يكون محتوى الرطوبة للمادة المُجمعة بعد الخلط المسبق يماثل محتوى الرطوبة الأمثل للدمج بالتراص مع المادة المُجمعة. وفي تجسيد آخر، تتضمن الطريقة خطوة تقديم ماء الرطوبة إلى المادة المجمعة بحيث تُكّون التوليفة مادة مجمعة لها محتوى رطوبة يماثل محتوى الرطوبة الأمثل للدمج بالتراص مع المادة المُجمعة. وفي تجسيد آخر، تتضمن الطريقة خطوة تقديم ماء الرطوبة بحيث تُكّون توليفة ماء الرطوبة والمادة المُجّمعة المُنتجة مادة مُجمّعة لها محتوى رطوبة يماثل ٠,٥ (WOMC)+١، حيث يكون WOMC محتوى الرطوبة الأمثل المحدد للمادة المُجّمعة المُنتجة بالوزن في المائة. لمثل تلك التجسيدات، يكون محتوى الرطوبة للمادة المجمعة المنتجة بالوزن في المائة من المادة المجمعة حيث تكون المادة المجمعة مجففة الهواء في معدل مما يماثل محتوى رطوبة المادة المجمعة مجففة الهواء إلى أقل مما يماثل محتوى الرطوبة الأمثل لدمج المادة المجمعة بالتراص.

يمر الأسفلت الكبريتي الرغوي من خلاط الرغوة ويتم تقديمه إلى المادة المجمعة عند درجة حرارة لا تتعدى ١٣٠°م.

يتضمن تجسيد لطريقة تصنيع التربة المستقرة الأسفلتية الكبرتية الرغوية تقديم مقدار من أسمنت بورتلاند في معدل يتراواح ما بين ٠,١ بالوزن ٪ إلى حوالي ٢ بالوزن ٪ من وزن المادة المَجمعة

على أساس هواء مجفف. يضيف أسمنت بورتلاند مقدار محدد من الطبيعات اللاصقة للمواد المجمعة الدقيقة مثل التربة والرمل.

مثال

تعمل أمثلة التجسيدات المحددة على تيسير فهم أفضل لاستخدام الأسفلت الكبريتي الرغوي والتربة المستقرة الأسفلتية الكبريتية الرغوية. لا يجب أبدً أن تحد أو تحدد الأمثلة منظور الاختراع.

يتم استخدام ثلاثة أنواع من التربة السائدة من الشركة العربية السعودية الشرقية في اتحاد مع نوعين مختلفين آخرين من التركيبات الأسفلتية الرغوية– أسفلت كبريتي رغوي (مثال) وأسفلت رغوي (مثال مقارن)– لتكوين سلسلة من عينات التربة المستقرة التجريبية للاختبار الفيزيائي المقارن لتأثير إضافة الكبريت إلى الأسفلت الرغوي.

وسيلة خلط : تعمل وسيلة خلط على تكوين كلا من التركيبتين الأسفلتيين الرغويتين المثالية والمثالية المقارنة. ويتم استخدام وحدة قياس الأسفلت الرغوي المعملية (WLB١٠) مع خلاط مجموعة ويرتجن من ألمانيا) الذي يعمل على محاكاة الانتاج كامل القياس/ النطاق لأنواع الأسفلت الرغوي بصورة قريبة, في التجارب.

يتضمن (WLB١٠) مع الخلاط غلاية عازلة مع تحكم بدرجة الحرارة لتسخين وحفظ الرابط الأسفلتي. وتتضمن وسيلة الخلط أيضاً نظام توزيع معياري لتقديم الرابط الأسفلتي والماء والهواء إلى بعضهما البعض لتكوين التركيبة الأسفلتية الرغوية. وتعمل وسيلة الخلط على حقن أحجام مسبقة التحديد من الرابط الأسفلتي والماء والهواء إلى خلاط رغوة لتكوين التركيبات الأسفلتية الرغوية. ويتم تنظيم درجة حرارة خلاط الرغوة الذي يكون غرفة تمدد. وتتكون التركيبة الأسفلتية الرغوية في نظام مغلق. لا يتم اطلاق الأبخرة من نشوء الغازات الضارة أو السامة الكبريتية المحتملة في البيئة أو إلى مُشغلي وسيلة الخلط. للتجربة، تتم معايرة مقياس دفق الهواء بـ(WLB١٠) لضغط تقديم هواء حوالي ٥٠٠ كيلو باسكال وعند درجة الحرارة المحيطة. ويمكن أن يتراوح ضغط تقديم الهواء بالمعدل من حوالي ٥٠٠ كيلو باسكال إلى حوالي ٩٠٠ كيلو باسكال. وللتجربة، تتم معايرة مقياس دفق الماء لضغط تقديم ماء حوالي ٦٠٠ كيلو باسكال وعند درجة الحرارة المحيطة. ويتم حفظ ضغط تقديم الماء الرغوي على الأقل ١٠٠ كيلو باسكال أعلى في

الضغط من ضغط الهواء الرغوي لتجنب تدخل الهواء. ويكون الماء الصالح للشرب صالحاً للاستخدام مثل الماء المُقدم. ويتم حفظ معدل دفق الرابط الأسفلتي بالتلاعب في درجة حرارة تقديم الرابط الأسفلتي. يتم تفريغ التركيبة الأسفلتية الرغوية من خلاط الرغوة من خلال فوهه الأسفلت الرغوي. يتم تفريغ مقدار ثابت من التركيبات الأسفلتية الرغوية بصورة مباشرة في عينة من مادة مُجمعة في حاوية خلط لمادة مجمعة معملية. ويحرك الخلاط المعملي تركيبة المادة المجمعة بالتقليب والتركيبة الأسفلتية الرغوية لتكوين التربة المستقرة الأسفلتية الكبريتية الرغوية للاختبار.

أنواع التربة : تكون ثلاثة أنواع من التربة السائدة من الشركة العربية السعودية الشرقية المستخدمة لتكوين عينات التربة المستقرة المقارنة كثبان رملية dune sand وتربة سبخة وتربات مارل. تكون كل عينات المادة المجمعة مجففة الهواء قبل التقديم. كثبان رملية : يعتبر الرمل مصدر متاح وغير باهظ الثمن بصورة كبيرة ليس فقط في المملكة العربية السعودية ولكن أيضاً في العديد من البلدان حول العالم. ويمكن الاستفادة من الاستخدام الفعال للرمل ببناء الطريق اذا تم استقراره بصورة ملائمة. ويُعرض منحنى التدرج لعينات الكثبان الرملية غير المعالجة بشكل ١. ويتم تحديد خصائص الكثبان الرملية المَجمّعة غير المعالجة بمعيار المادة المجمعة واختبارات التربة ويتم تلخيصها في جدول ١. ويكون محتوى الرطوبة الأمثل للكثبان الرملية حوالي ٠٪.

الخاصية	اختبارات معيارية	القيمة
مكافيء الرمل	ASTM D 2419	٧٩٪
جاذبية الكتلة المحددة (دقيقة)	ASTM C 128	٢,٥٩٣
جاذبية الكتلة الواضحة (دقيقة)	ASTM C 128	٢,٦٦١
امتصاص الماء (دقيق)	ASTM C 128	٠,٩٪
مؤشر اللدونة	AASHTO T-88	غير ملدن

جدول ١: نتائج العديد من اختبارات التربة والمادة المُجمعة المعيارية للكثب الرملي غير المعالج

تربة سبخة : يتم تجميع تربة سبخة من شقق سبخة العزيزية. وتتضمن التربة الخام raw soil كل الطبقات أعلى منضدة الماء الأرضية مع استثناء القشرة السطحية surface crust. للتجفيف بالهواء، يتم نشر التربة على ألواح بلاستيكية خارج المعمل. ويتم استخدام المطارق البلاستيكية لكسر البلورات break any crystals والكتل lumps بحيث تمر التربة الناتجة من خلال منخل / غربال Sieve (ASTM) رقم ٤. ويتم خلط التربة التي تم فحصها وحفظها في اسطوانات بلاستيكية plastic drums حتى يتم الخلط والاختبار.

يتم عرض منحنى توزيع الحجم الحبيبي لتربة سبخة في شكل ٢. ويتم أداء نوعين من تحليلات الغربال الرطب لوصف تربة سبخة. يستخدم أحد الاختبارات ماء مقطر بينا يستخدم الآخر "محلول ملحي سبخة" أو المحلول الملحي الموجود بنفس الحفرة التي يتم استخلاص التربة منها. ويكشف كلا الاختباران اللذان قدما منحنيين في شكل ٢ التركيبة الرملية لتربة سبخة. وبناء على تلك النتائج، يمكن تصنيف تربة سبخة كـ"SP " وفقاً لنظام التصنيف المتحد للتربة (USCS) وكـ"A-3" وفقاً لتصنيفAASHTO .

يتسخدم اختبار تربة سبخة اختبار دمج مراقب مُعدل (ASTM D١٥٥٧) لتحديد العلاقة بين محتوى الماء بالرتبة في القالب وقيمة الكثافة الجافة. ويتم ايضاً اختبار تربة سبخة لنسبة كاليفورنيا للتحمل California Bearing Ratio (CBR) (ASTM D١٨٨٣). ويتم فرض نتائج اختبار (CBR) على نتائج اختبار دمج المراقب Proctor compaction لتحديد علاقة سلوك قوة المادة مع التغيرات في محتوى الرطوبة. ويتم تقديم النتائج في شكل ٣. ويكون محتوى الرطوبة moisture content (MC) عند قيمة (CBR) غير المغمورة المثلى والتي تناظر حوالي ٩٥٪ من القيمة القصوى للكثافة الجافة، حوالي ١١,٥ ٪ على أساس الوزن الجاف لتربة سبخة.

تربة مارل : يوفر شكل ٤ منحنى توزيع الحجم الجبيبي لتربة مارل التي تم تجميعها. ويكون الحجم الحبيبي للتربة أقل من ٢,٥٤ سم. ويمر نصف حجم التربة من خلال غربال رقم ٢٠٠. ويعرض شكل ٥ منحنى دمج المعدل الذي يشير إلى محتوى الرطوبة الأمثل حوالي ١١,٨٪ على أساس الوزن الجاف لتربة مارل. ويكون للتربة (CBR) من ٧٨ و(CBR) مغمورة من ٨. وتشير النتائج المعطاه في جدول ٢ إلى أن كمية الرمل منخفضة.

وصف الاختبار	المعيار	نتائج الاختبار
تحليل الغربال (تدرج)	ASTM D 422	شكل ٤
أقصى كثافة جافة Maximum Dry Density (MDD)	ASTM D 1557	١٩١٠ كجم/م٣
محتوى الرطوبة الأمثل Optimum Moisture Content(OMC)	ASTM D 1557	١١ ,٨ ٪
حد السائل Liquid Limit(LL)	ASTM D 4318	٢٨
مؤشر التلدن Plasticity Index (PI)	ASTM D 4318	١٠
CBR غير مغمور عند ٩٥٪ من أقصى كثافة جافة عند ٩٥٪ من أقصى كثافة في حالة الجفاف	ASTM C 1883	٧٨
CBR مغمور عند ٩٥٪ من أقصى كثافة جافة عند ٩٥٪ من أقصى كثافة في حالة الجفاف	ASTM C 1883	٨
مكافيء الرمل	ASTM D 2419	١١٪

جدول ٢: نتائج اختبارات المادة المتراكمة المعيارية والتربة المتعددة لتربة مارل

محتوى رطوبة التربة حيث يتم تقديم ماء الترطيب إلى عينة التربة المجففة بالهواء لجعل محتوى رطوبة عينة التربة قريبة إذا لم تكن مثل محتوى الرطوبة الأقصى Optimum Moisture Content (OMC) للدمج قبل خلط كل تربة مع الأسفلت الرغوي المثالي أو المثالي المقارن. ويعتمد مقدار ماء الترطيب المُقدم إلى عينة تربة مجففة بالهواء على نوعها ودرجة محتوى الرطوبة في المادة المتراكمة. لهذه التجربة، يتم تحديد مقدار ماء الترطيب المزمع تقديمه باستخدام المعادلة ١:

Wadded = 1+ (0.5 WOMC – Wair-dry), (معادلة ١)،

حيث يكون (Wadded) محتوى الرطوبة الذي سيضاف عينة المادة المجمعة المجففة بالهواء بواسطة تقديم ماء الترطيب (في الوزن المئوي من التربة الجافة الهواء)، تكون WOMCمحتوى الرطوبة الأمثل المحدد لعينة التربة (في الوزن المئوي) وتكون Wair-dry محتوى الرطوبة المحدد لعينة التربة المجففة الهواء (في الوزن المئوي) قبل إضافة الماء. فعلى سبيل المثال، وكما قرر من قبل تكون WOMC للكثب الرملي حوالي ٩٠ ويكون للكثب الرملي المجفف بالهواء محتوى رطوبة حوالي ٠٪؛ لذا يكون مقدار ماء الترطيب المُقدم إلى الكثب الرملي لاستقبال الأسفلت الرغوي ومن ثم الضغط بالدمج بحيث سوف يكون للكثب الرملي محتوى رطوبة حوالي ١ بالوزن ٪ بوزن التربة المجففة بالهواء. وتحدث إضافة الماء تماماً قبل دمج المادة المجمعة الرطبة الآن مع التركيبات الأسفلتية الرغوية المثالية والمثالية المقارنة.

أسمنت بورتلاند : بالإضافة إلى تقديم ماء الترطيب إلى عينة التربة، يتم تقديم ومزج حوالي ٢٪ بالوزن للتربة المجففة الهواء من أسمنت بورتلاند مع عينة التربة. تتم إضافة أسمنت بورتلاند لتعزيز المعالجة وتطوير القوة. يحدث تقديم أسمنت بورتلاند قبل تقديم الأسفلت الرغوي المثالي أو المثالي المقارن إلى عينة التربة.

الرابط الأسفلتي المعتاد : يتم تقديم الأسفلت البسيط والنظيف أو الخالص لتكوين الأسفلت الرغوي المثالي المقارن إلى الغلاية المعزولة لـ WLB ١٠ ويتم التسخين والتقليب عند درجة حرارة حوالي ١٨٠ْ م حتى الاستعمال لإضافة الرغوة. لهذه التجربة، يكون الأسفلت المعتاد رابط أسفلتي مدرج الأداءPerformance Graded (PG) ٦٤-١٠.

لا يتم حفظ درجة الحرارة أقل من ١٨٠°م للأسفلت الخالص حيث لا يكون الأسفلت البسيط الرغوي مستقراً أو قادراً على الوفاء بأدنى الخصائص لعامل نسبة التمدد المئوي لـ ٨ على الأقل أو أدنى نصف عمر رغوة يبلغ على الأقل حوالي ٦ ثواني أو كلاهما.

الرابط الأسفلتي الكبريتي : يتم انتاج الرابط الأسفلتي الكبريتي بواسطة الخلط حتى التجانس حوالي ٣٠ بالوزن ٪ من الكبريت الحر وحوالي ٧٠ بالوزن ٪ من الأسفلت البسيط (PG ٦٤-١٠) بالوزن الكلي للرابط الأسفلتي الكبريتي. يتم استخدام ٧٠/٣٠ بالوزن ٪ من الأسفلت الكبريتي مسبق المزج (بدون أي مواد إضافة مُعدلة أخرى) كرابط أسفلتي كبريتي للتجربة.

يتم تكوين ٧٠/٣٠ بالوزن ٪ من الرابط الأسفلتي الكبريتي في فرن عند ١٤٥°م والمزج سوياً بينما يكونوا في حالة منصهرة. ويتم تقديم الرابط الأسفلتي الكبريتي المنصهر في الغلاية المعزولة بـ WLB ١٠، ويتم التسخين إلى درجة حرارة تبلغ حوالي ١٥٠°م والتقليب حتى الاستعمال لإضافة الرغوة.

ماء الرغوة : يتم تقديم ماء الرغوة إلى الرابط الأسفلتي الكبريتي بحيث يكون للأسفلت الكبريتي الرغوي محتوى من الماء يبلغ ٣,٤٥٪ بالوزن من الرابط الأسفلتي الكبريتي.

أمثلة وأمثلة مقارنة لتكوين تربة مستقرة : يتم استعمال تصميم مارشال لخلط الخلائط الباردة لتصميم مثال أو مثال مقارن لخلائط تربة مستقرة أسفلتية رغوية. ويتم عمل ست عينات اجمالية لتربة مستقرة- كل منها لـع مقدار مختلف من الأسفلت الرغوي المثالي أو المثالي المقارن- لكل نوع من عينة التربة التي يتم تقريرها في جدول ٣.

يتم تقديم مقادير من الرابط لأسفلتي الكبريتي وماء الرغوة وهواء الرغوة إلى بعضهما البعض داخل الخلاط ويعمل الخلاط بحيث يُكون مثال للأسفلت الكبريتي الرغوي في الخلاط. ومع محتوى رطوبة يبلغ ٣,٤٥٪ بالوزن من الرابط الأسفلتي الكبريتي، تكون نسبة تمدد الرغوة للأسفلت الكبريتي الرغوي حوالي ٨,٨ مرات من حجم الأسفلت الكبريتي المُفرغ ويكون نصف عمر الرغوة حوالي ٩,١ ثانية. ويتم تقديم مقادير من الأسفلت المنتظم وماء الرغوة وهواء الرغوة إلى بعضهما البعض داخل الخلاط ويعمل الخلاط بحيث يتكون مثال مقارن لأسفلت رغوي في الخلاط. ويتم حفظ درجة الحرارة داخل الخلاط عند حوالي ١٥٠°م.

يتم انتاج المثال والمثال المقارن من الأسفلت الرغوي من الخلاط عن طريق فوهه الأسفلت الرغوية. ويكون للأسفلت الرغوي المثالي والمثالي المقارن درجة حرارة أقل من حوالي ١٣٠°م مما يمنع احتمال نشوء المركبات الكبريتية السامة أو الخطرة.

لجعل عينات التربة لكلا من التربتين المستقرتين الأسفلتية الرغوية الكبريتية والخالصة، يتم تقديم مقدار من ماء الترطيب إلى عينة التربة المجففة بالهواء للوفاء بالتحديد المعمول به باستخدام المعادلة ١. إضافة لما سبق، يتم أيضاً تقديم حوالي ٢٪ من أسمنت بورتلاند بالوزن من المادة المجمعة المجففة الهواء ومزجها لحوالي ٣٠ ثانية.

تتم معايرة وسيلة الخلط لتفريغ كمية ثابتة من الأسفلت الرغوي المثالي أو المثالي المقارن لكل وحدة زمنية قبل تحضير كل عينة تربة. يتم تفريغ الحجم المحدد من الأسفلت الرغوي مباشرة على عينة التربة بينما يتم تحريك عينة التربة في خلاط هوبارت معملي. ويتم التحقق من صحة مقدار الأسفلت الرغوي المثالي أو المثالي المقارن المُقدم لعينة التربة بوزن اختلاف محتوى الوعاء قبل وبعد إضافة الأسفلت الرغوي. يحدث خلط توليفة الأسفلت الرغوي المثالي أو المثالي المقارن وعينة التربة لفترة تتراوح ما بين حوالي ٣٠ ثانية وحوالي دقيقة.

اختبار فيزيائي لأمثلة وأمثلة مقارنة لتربة مستقرة حيث يتم عمل الأمثلة (التي تشتمل على أسفلت كبريتي رغوي) والأمثلة المقارنة (التي تشتمل على أسفلت بسيط رغوي) للتربة المستقرة باستعمال ٧٥ ضربة من مطرقة مارشال المعيارية لكل وجه لكل عينة تربة مستقرة. تتم معالجة كل عينة تربة مستقرة وعند الضرورة ليتم أداء الاختبار، يتم الغمر في الماء قبل الاختبار. تتضمن الاختبارات المؤداه على كل عينة تربة مستقرة ثبات مارشال وفقدان ثبات مارشال (أو فترة التحمل) (ASTM D ١٥٥٩)؛ قوة الشد غير المباشرة ومحتوى البيتومين الرغوي الأمثل (ASTM D ٤٨٦٧ و AASHTO T ٢٤٥-)؛ مُعامل مرن سهل التكيف (ASTM D ٤١٢٣)؛ والحفر (التشوه الدائم). يكون محتوى الرابط الأمثل محتوى الرابط الذي تكون عنده قوة الغمر هي الأعلى. ويتم تحديد فترة التحمل باستخدام عينات مارشال للثبات مشابهه ونفس إجراء الاختبار ولكن بعد العينات المغمورة في الماء لمدة ٢٤ ساعة عند درجة حرارة الغرفة. ويتم تقديم النتائج في جدول ٣ لكلا من الأمثلة والأمثلة المقارنة للتربة المستقرة.

قوة الشد غير المباشرة: يساعد اختبار قوة الشد غير المباشر Indirect Tensile Strength (ITS) على تحديد مقاومة الخلط بتطور الصدوع. ويتم أداء اختبار (ITS) على العينات الاسطوانية ذات ارتفاع ٢ ١/٢ سم في قطر ١٠,١٦ سم (٦٣,٥ ملليمتر ارتفاع في ١٠١,٦ ملليمتر قطر). ويتم تحضير عينات الاختبار بعد طريقة مارشال للضغط بالدمج. ويكون أقصى حمل تحملة العينة قبل الفشل هو النتيجة.

تم تنفيذ الاختبار عند ٢٥ْ م.

تكون نسخة العينة المغمورة من اختبارITS (العينات المغمورة في الماء لمدة ٢٤ ساعة عند درجة حرارة الغرفة) المؤشر الأولي لتحديد محتوى الرابط الأمثل لكل أمثلة العينة المستقرة.

مُعامل مرن:

يكون اختبار المعامل المرن متغير هام لمسالك التصميم الميكانيكي لبنيات الرصيف. وهو يمثل قياس استجابة الرصيف نسبة إلى الضغوط الديناميكية والتوترات الناتجة المناظرة. ويتم توصيل معامل HMA المرن باستعمال حمولات نبض قطرية. ويتم استعمال الحمولة في المسطح القطري الرأسي لعينة اسطوانية يبلغ ارتفاعها ٢ ١/٢ سم في قطر ١٠,١٦ سم (٦٣,٥ ملليمتر ارتفاع في ١٠١,٦ ملليمتر قطر). ويتم تحضير عينات الاختبار بعد طريقة مارشال للضغط بالدمج. ويتم قياس التشوه الأفقي الناتج للعينات واستخدامه لحساب المعامل المرن. تم تنفيذ الاختبار عند ٢٥ْ م.

اختبار الحفر (تشوه دائم Permanent Deformation) :

يتم تقييم أمثلة التربة المستقرة والأمثلة المقارنة لمقاومة الحفر باستخدام محلل الرصيف الأسفلتي عند ٣٠ْ م، وهو تجهيزة متعددة العجلات تتبع تكراراً عجلة مرجحة جيئة وذهاباً عبر الوتجه المسطح لعينة تربة مستقرة على شكل قرص. يتم ضبط حمولة العجلة على ٤٥,٣ كيلو جرام قوة ويتم ضبط ضغط العجلة على ٠,٦ ميجاباسكال.

وتعمل أداة ضغط ودمج دوارة على دمج عينات الرتبة المستقرة المستديرة ذات ٢,٧ كيلو جرام إلى نفس كثافة عينات مارشال للدمج بامتداد الوجه السطحي للقرص. وتعبر التجهيزة ذات العجلات

عند قطر كل عجلة تربة مستقرة. قبل الاختبار، تتم ملائمة ظروف الأمثلة والأمثلة المقارنة للتربة المستقرة عند درجة حرارة الاختبار لمدة ٤ ساعات.

نوع التربة	الاختبار	نوع الأسفلت	
		أسفلت كبريتي رغوي	اسفلت رغوي
كثب رملي	محتوى الرابط الأمثل (كلي ٪)	٨	٧
	ثبات مارشال (عقدة)	٧,٨	٦,٨
	فترة التحمل (٪)	٧٩	٧٥
	المعامل المرن (ميجا باسكال)	٩٥٠	١٠٢٤
	ITS (كيلو باسكال)	٨٥	٨١
	الحفر عند ٣٠° م (ملليمتر)	١٢	١٢
مارل	محتوى الرابط الأمثل (كلي ٪)	٧	٧
	ثبات مارشال (كيلو باسكال)	٣٠	٢٧,٧
	فترة التحمل (٪)	٧٢	٦٣
	المعامل المرن (ميجا باسكال)	٣٤٥٠	٤١٠٠
	ITS (كيلو باسكال)	٦٤٠	٥٣٢,٩
	الحفر عند ٣٠° م (ملليمتر)	١,٢٧	٢,٦
سبخة	محتوى الرابط الأمثل (كلي ٪)	٧	٨
	ثبات مارشال (كيلو باسكال)	٢٠	٢٠
	فترة التحمل (٪)	٥١	٤٨
	المعامل المرن (ميجا باسكال)	١٨٥٠	٢١٧٠
	ITS (كيلو باسكال)	٣١٠	٤٢٥,٨
	الحفر عند ٣٠° م (ملليمتر)	١,٨	٤

جدول ٣: نتائج اختبار الكثب الرملي المستقر وتربات مارل وسبخة.

يبدو أن لاستخدام الأسفلت الكبريتي الرغوي حفر منخفض لعينات تربة مارل وسبخة أكثر من ٥٠٪ مقارنة باستخدام الأسفلت الرغوي النظيف. وبالرغم من عدم الرغبة في التقيد بالنظرية، يُعتقد أن مقاومة الحفر للكثب الرملي يمكن زيادتها بخلط الرمل مع أنواع أخرى من المواد المُجمعة.

٥ ويبدو أن تربة مارل الأسفلتية الكبريتية المستقرة هي أكثر تركيبات التربة المستقرة تفضيلاً من الستة الذين تم عرضهم. لهذه التركيبة، يكون ثبات مارشال أكبر من ٦,٦٧٢ عقدة (٠) وتكون قوة الشد غير المباشرة أكبر من ٢٠٠ كيلو باسكال (٦٤٠) ولها فترة تحمل أكبر من ٧٠٪ (٧٢). ويفي ذلك بالمتطلبات المتعددة لأدنى استخدام يومي لخرسانة أسفلتية.

عناصر الحماية

١- طريقة لتصنيع تربة مستقرة stabilized soil من أسفلت كبريتي رغوي foamed sulfur asphalt تشتمل على خطوات:

إدخال رابط أسفلتي asphalt binder ، كبريت عنصري elemental sulfur ، هواء إضافة رغوة foaming air ، وماء رغوة foaming water في خلاط رغوة foaming mixer، يكون لماء الرغوة ضغط إدخال ماء water introduction pressure ، حيث يكون لهواء إضافة الرغوة ضغط إدخال هواء air introduction pressure ، وحيث يكون ضغط إدخال الماء water introduction pressure أكبر من ضغط إدخال الهواء air introduction pressure ؛

تشغيل خلاط الرغوة foaming mixer بحيث يتكون أسفلت كبريتي رغوي foamed sulfur asphalt مع محتوى ماء من ٢,٣٪ إلى ٤,٧٪، حيث يكون للأسفلت الكبريتي الرغوي sulfur asphalt forms نصف عمر رغوة foam half-life من ٦ إلى ٩,١ ثوان ويكون له نسبة تمدد رغوة foam expansion من ٨ إلى ٨,٨، وحيث يعمل خلاط الرغوة foaming mixer عند درجة حرارة من ١٤٠ إلى ١٥٠ درجة مئوية؛

إدخال الأسفلت الكبريتي الرغوي foamed sulfur asphalt ، مادة مجمعة لها محتوى رطوبة moisture ، وأسمنت بورتلاند Portland cement في خلاط مادة مجمعة aggregate mixer ؛ و

تشغيل خلاط المادة المجمعة aggregate mixer بحيث تتكون التربة المستقرة الأسفلتية الكبريتية الرغوية foamed sulfur asphalt .

٢- الطريقة وفقًا لعنصر الحماية ١حيث يكون مقدار الأسمنت البورتلاندي Portland cement الذي يتم إدخاله في خلاط المادة المجمعة aggregate mixer في المدى من ٠,١ ٪ وزن إلى ٢ ٪ وزن المادة المجمعة المجففة بالهواء.

٣- الطريقة وفقًا لعنصر الحماية ١حيث أن محتوى رطوبة moisture المادة المجمعة التي تم إدخالها يبلغ محتوى الرطوبة moisture الأمثل للدمج بالتراص للمادة المجمعة aggregate.

٤- الطريقة وفقًا لعنصر الحماية ١ والتي تشتمل أيضًا على خطوة إدخال ماء ترطيب إلى المادة المجمعة التي تم إدخالها بحيث تشكِّل توليفة ماء الترطيب والمادة المجمعة التي تم إدخالها مادة مجمعة لها محتوى رطوبة moisture يبلغ محتوى الرطوبة moisture الأمثل للدمج بالتراص للمادة المجمعة، حيث يكون محتوى رطوبة moisture المادة المجمعة aggregate التي تم إدخالها بنسبة وزن من المادة المجمعة كمادة مجمعة مجففة بالهواء في المدى من محتوى رطوبة moisture المادة المجمعة المجففة بالهواء air-dried aggregate إلى أقل من محتوى الرطوبة moisture الأمثل للدمج بالتراص للمادة المجمعة aggregate.

٥- الطريقة وفقًا لعنصر الحماية ١ والتي تشتمل أيضًا على خطوة إدخال ماء ترطيب إلى المادة المجمعة aggregate التي تم إدخالها بحيث تشكِّل توليفة ماء الترطيب والمادة المجمعة التي تم إدخالها مادة مجمعة لها محتوى رطوبة moisture يبلغ ٠,٥(WOMC) + ١، حيث يمثل WOMC محتوى الرطوبة moisture الأمثل المحدد للمادة المجمعة المدخلة بنسبة وزن وحيث يكون محتوى رطوبة moisture المادة المجمعة التي تم إدخالها بنسبة وزن من المادة المجمعة كمادة مجمعة مجففة بالهواء في المدى من محتوى رطوبة moisture المادة المجمعة المجففة بالهواء air-dried aggregate إلى أقل من محتوى الرطوبة moisture الأمثل للدمج بالتراص للمادة المجمعة.

٦- الطريقة وفقًا لعنصر الحماية ١ حيث يكون مقدار الأسفلت الكبريتي الرغوي الذي تم إدخاله في خلاط المادة المجمعة aggregate mixer في المدى من ٥ ٪ وزن إلى ١٠ ٪ وزن التربة المستقرة من أسفلت كبريتي رغوي foamed sulfur asphalt .

٧- تربة مستقرة stabilized soil من أسفلت كبريتي رغوي foamed sulfur asphalt مشتملة على أسفلت كبريتي رغوي foamed sulfur asphalt له محتوى ماء من ٢,٣٪ إلى ٤,٧٪ عند إنتاجه عند درجة حرارة من ١٤٠ إلى ١٥٠ درجة مئوية، مادة مجمعة لها محتوى رطوبة moisture ، وأسمنت بورتلاند Portland cement ، حيث يكون للأسفلت الكبريتي الرغوي

sulfur asphalt forms نصف عمر رغوة foam half-life من ٦ إلى ٩,١ ثوان ويكون له نسبة تمدد رغوة foam expansion من ٨ إلى ٨,٨.

٨- التربة المستقرة stabilized soil من الأسفلت الكبريتي الرغوي sulfur asphalt forms وفقًا لعنصر الحماية ٧ والتي لها ثبات مارشال من ٦,٦٧٢ إلى ٧,٨ عقدة.

٩- التربة المستقرة stabilized soil من الأسفلت الكبريتي الرغوي sulfur asphalt forms وفقًا لعنصر الحماية ٧ والتي لها قوة شد غير مباشرة تبلغ ٢٠٠ كيلو باسكال.

١٠- التربة المستقرة stabilized soil من الأسفلت الكبريتي الرغوي sulfur asphalt forms وفقًا لعنصر الحماية ٧ والتي لها متانة من ٧٠٪ إلى ٧٩٪.

١١- التربة المستقرة stabilized soil من الأسفلت الكبريتي الرغوي sulfur asphalt forms وفقًا لعنصر الحماية ٧ حيث يتم اختيار المادة المجمعة من المجموعة المشتملة على كثب رملي، وتربة مارل، وتربة سبخة، وقاعدة مادة مجمعة للطرق، وقاعدة ثانوية لمادة مجمعة للطرق، وخليط رصيف أسفلتي مستصلح وتوليفات مما سبق.

١٢- طريقة لتصنيع أسفلت كبريتي رغوي foamed sulfur asphalt تشتمل على خطوات:
إدخال رابط أسفلتي asphalt binder ، كبريت عنصري elemental sulfur ، هواء إضافة رغوة foaming air ، وماء رغوة foaming water في خلاط رغوة foaming mixer، يكون لماء الرغوة ضغط إدخال ماء water introduction pressure ، حيث يكون لهواء إضافة الرغوة ضغط إدخال هواء air introduction pressure ، وحيث يكون ضغط إدخال الماء water introduction pressure أكبر من ضغط إدخال الهواء air introduction pressure ؛ و
تشغيل خلاط الرغوة foaming mixer بحيث يتكون أسفلت كبريتي رغوي foamed sulfur asphalt مع محتوى ماء من ٢,٣٪ إلى ٤,٧٪، حيث يكون للأسفلت الكبريتي الرغوي sulfur

asphalt forms نصف عمر رغوة foam half-life من ٦ إلى ٩,١ ثوان ويكون له نسبة تمدد رغوة foam expansion من ٨ إلى ٨,٨، وحيث يعمل خلاط الرغوة foaming mixer عند درجة حرارة من ١٤٠ إلى ١٥٠ درجة مئوية.

١٣- الطريقة وفقًا لعنصر الحماية ١٢ حيث يكون الرابط الأسفلتي asphalt binder المدخلة عبارةً عن رابط أسفلتي asphalt binder من نوع Performance Grade.

١٤- الطريقة وفقًا لعنصر الحماية ١٢ حيث يتم إدخال الرابط الأسفلتي asphalt binder والكبريت العنصري elemental sulfur كرابط أسفلتي كبريتي sulfur asphalt binder .

١٥- الطريقة وفقًا لعنصر الحماية ١٢ حيث يكون محتوى الكبريت العنصري elemental sulfur الرابط الأسفلتي الكبريتي sulfur asphalt binder من ١٠ ٪ وزن إلى ٥٠ ٪ وزن الرابط الأسفلتي الكبريتي sulfur asphalt binder .

١٦- الطريقة وفقًا لعنصر الحماية ١٢ والتي تشتمل على خطوات إدخال الرابط الأسفلتي asphalt binder والكبريت العنصري elemental sulfur في خلاط مسبق بحيث يتكون الرابط الأسفلتي الكبريتي sulfur asphalt binder ، ثم إدخال الرابط الأسفلتي الكبريتي sulfur asphalt binder في خلاط الرغوة foaming mixer مكان كل من الرابط الأسفلتي asphalt binder والكبريت العنصري elemental sulfur .

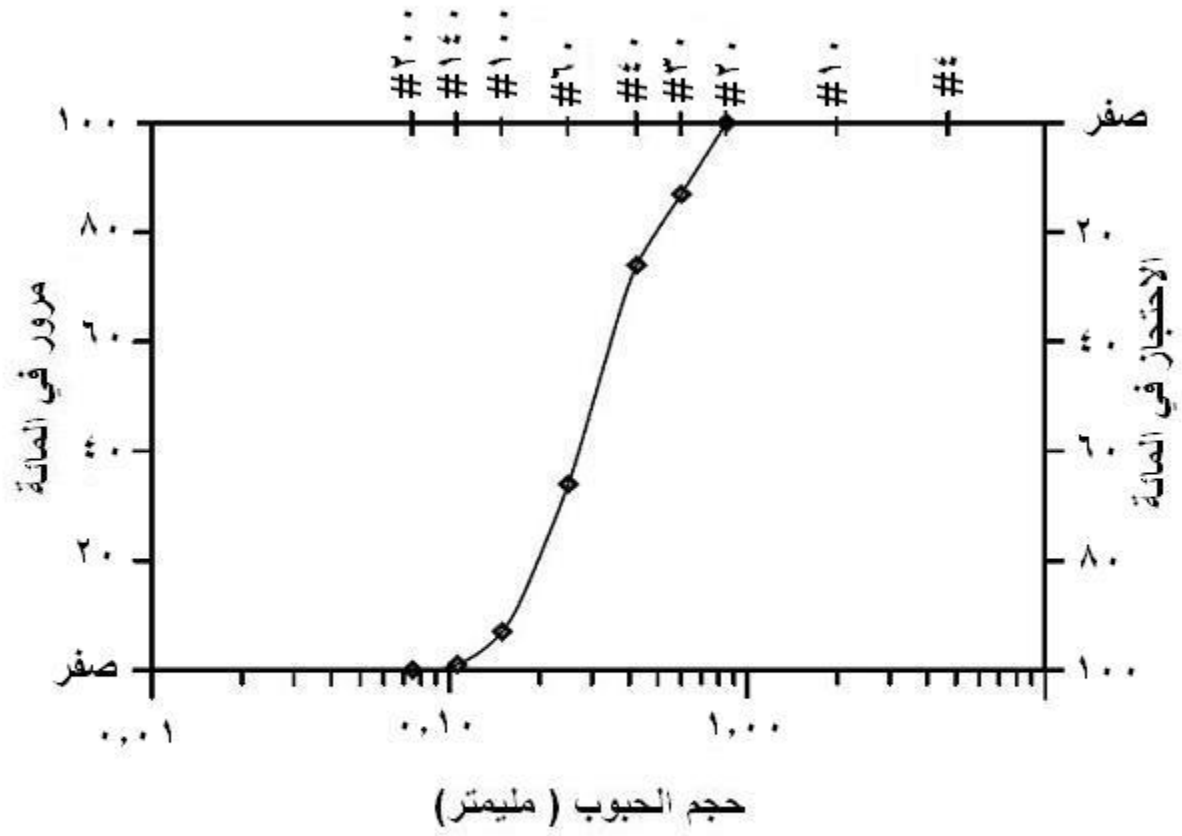
١٧- الطريقة وفقًا لعنصر الحماية ١٢ حيث يتم إدخال الكبريت العنصري elemental sulfur في خلاط الرغوة foaming mixer كسائل منصهر molten liquid.

١٨- أسفلت كبريتي رغوي foamed sulfur asphalt مشتمل على رابط أسفلتي asphalt binder ، كبريت عنصري elemental sulfur ، هواء إضافة رغوة foaming air ، وماء رغوة foaming water ، حيث يكون للأسفلت الكبريتي الرغوي sulfur asphalt forms محتوى ماء

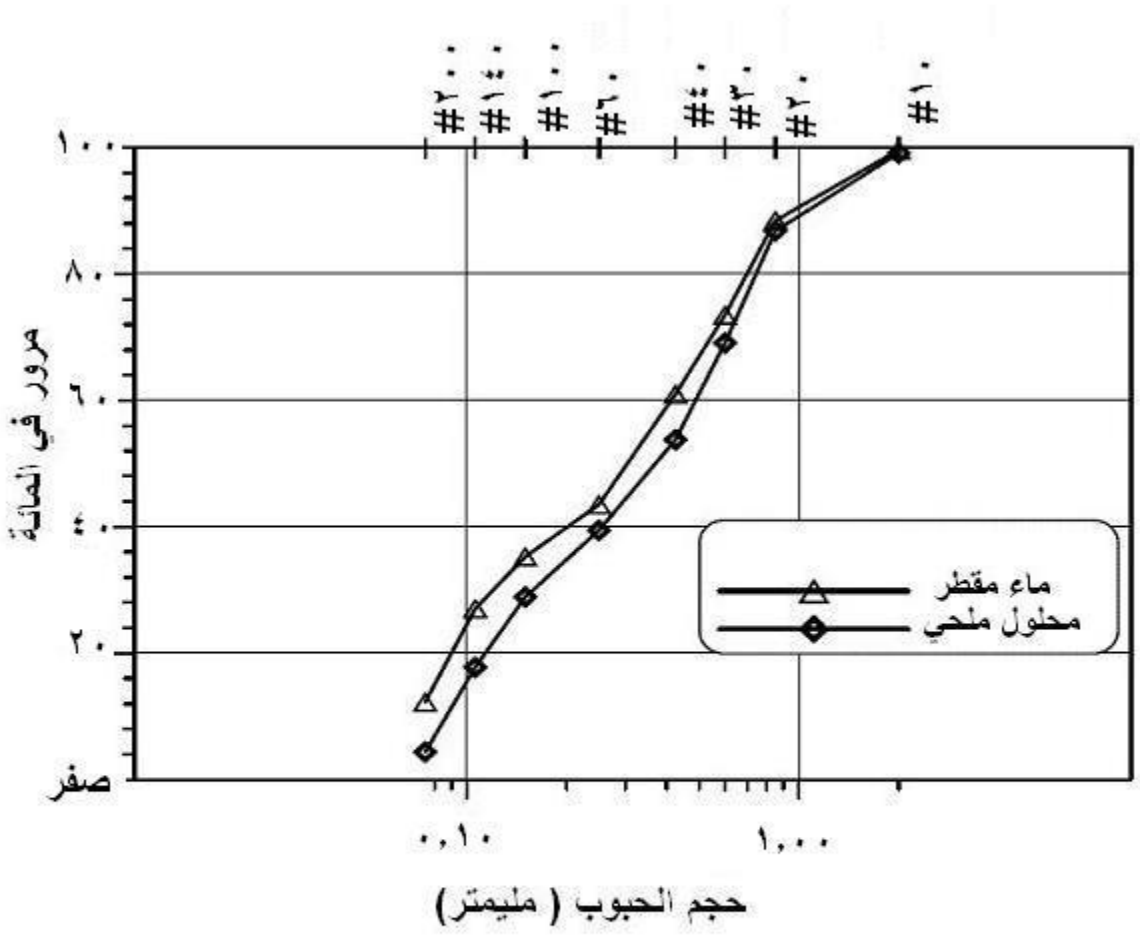
من ٢,٣٪ إلى ٤,٧٪ عند إنتاجه عند درجة حرارة من ١٤٠ إلى ١٥٠ درجة مئوية، نصف عمر رغوة foam half-life من ٦ إلى ٩,١ ثوان، يكون له نسبة تمدد رغوة foam expansion من ٨ إلى ٨,٨، ومحتوى كبريت عنصري elemental sulfur في المدى من ١٠٪ إلى ٥٠٪ من وزن المقدار المجمع للكبريت العنصري والرابط الأسفلتي asphalt binder في الأسفلت الكبريتي الرغوي sulfur asphalt forms.

٥

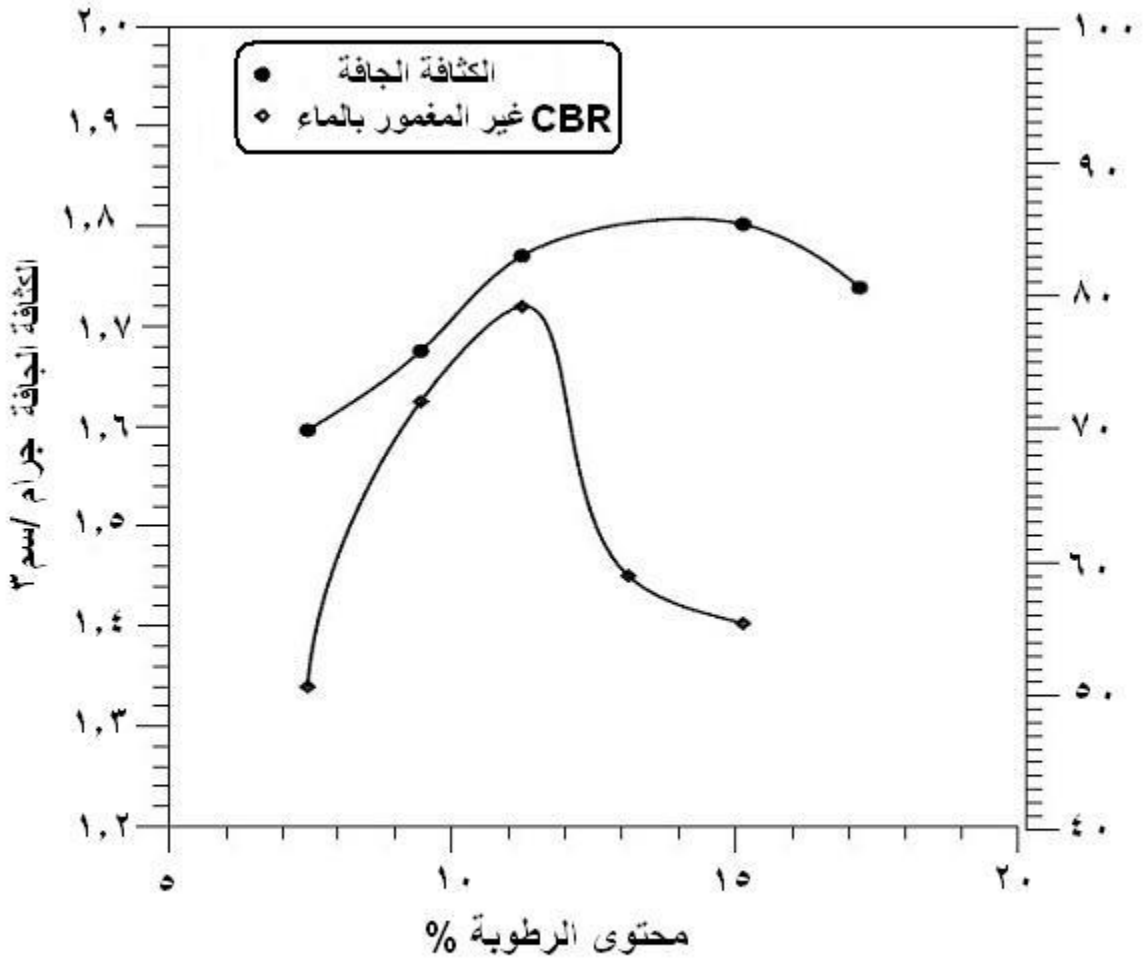
١٩- الأسفلت الكبريتي الرغوي sulfur asphalt forms وفقًا لعنصر الحماية ١٨ حيث يكون الرابط الأسفلتي asphalt binder عبارةً عن رابط أسفلتي asphalt binder من النوع PG 64-10.


#٢٠٠
#١٤٠
#١٠٠
#٦٠
#٤٠
#٣٠
#٢٠
#١٠
#٤
١٠٠
٨٠
٦٠
٤٠
٢٠
صفر
مرور في المائة
صفر
٢٠
٤٠
٦٠
٨٠
١٠٠
الاحتجاز في المائة
٠,٠١
٠,١٠
١,٠٠
حجم الحبوب (مليمتر)

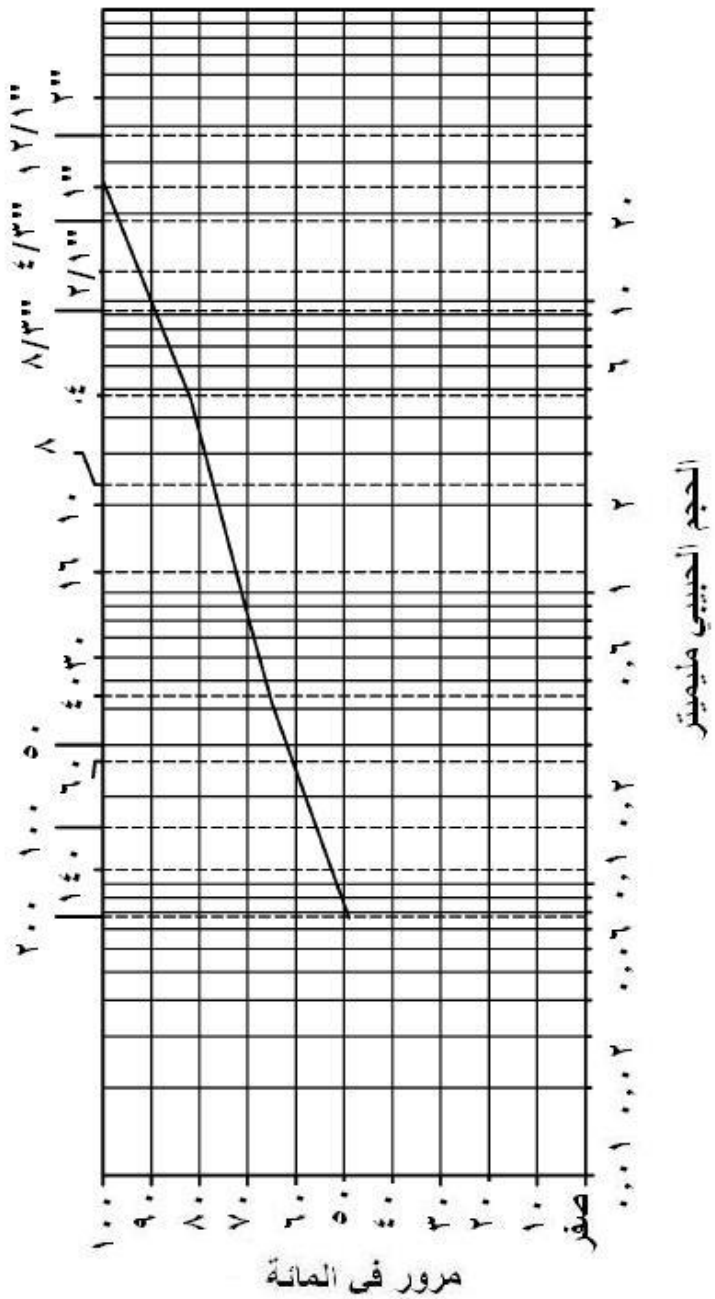
شكل ١


#٢٠٠
#١٤٠
#١٠٠
#٦٠
#٤٠
#٣٠
#٢٠
#١٠
١٠٠
٨٠
٦٠
٤٠
٢٠
صفر
مرور في المائة
ماء مقطر
محلول ملحي
٠,١٠
١,٠٠
حجم الحبوب (مليمتر)

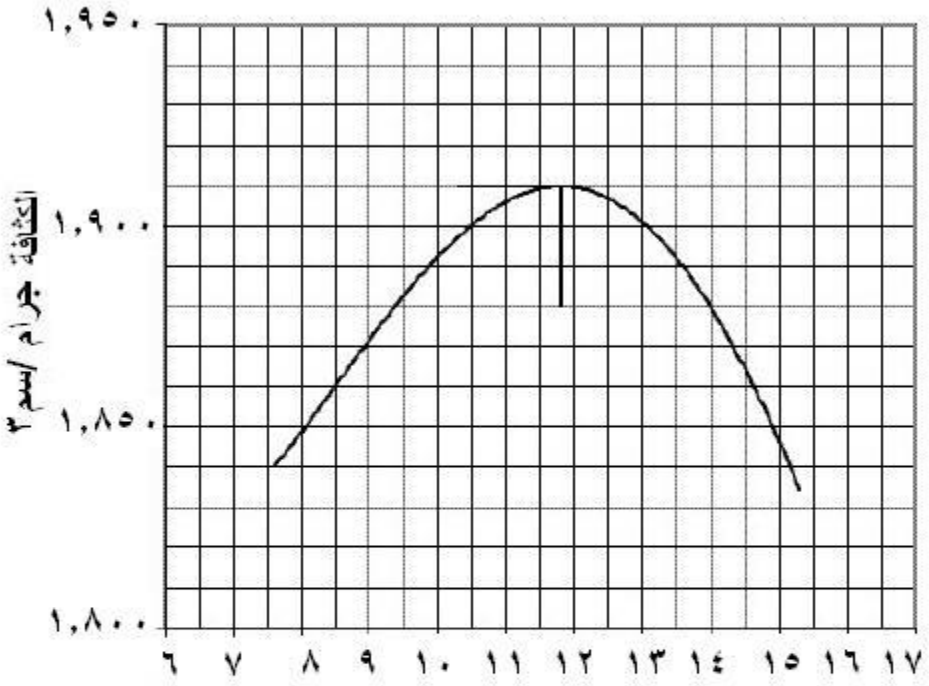
شكل ٢


الكثافة الجافة
CBR غير المغمور بالماء
الكثافة الجافة جرام /سم٣
٢,٠
١,٩
١,٨
١,٧
١,٦
١,٥
١,٤
١,٣
١,٢
١٠٠
٩٠
٨٠
٧٠
٦٠
٥٠
٤٠
٥
١٠
١٥
٢٠
محتوى الرطوبة %

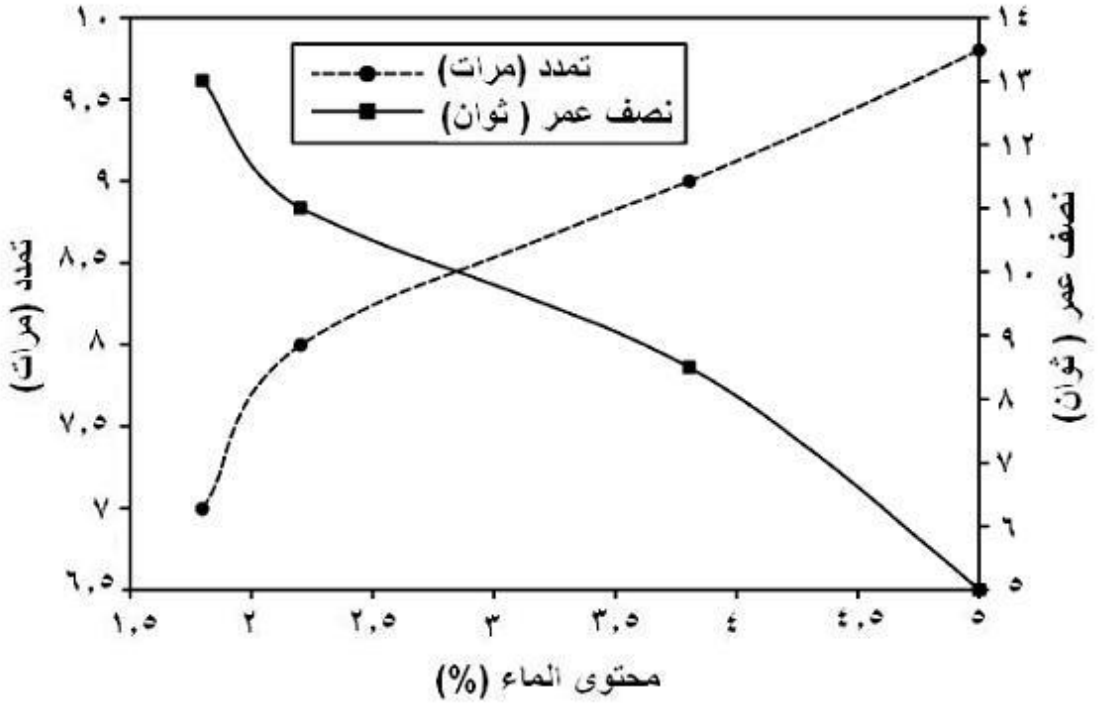
شكل ٣


الحجم الحبيبي مليمتر
٠,٠٠١ ٠,٠٠٢ ٠,٠٠٦ ٠,٠١ ٠,٠٢ ٠,٠٦ ٠,١ ٠,٢ ٠,٦ ١ ٢ ٦ ١٠ ٢٠
٢٠٠ ١٤٠ ١٠٠ ٦٠ ٥٠ ٤٠ ٣٠ ٢٠ ١٦ ١٠ ٨ ٤ ٣/٨" ٤/٣" ١/٢" ١" ٢/١" ٢" ٣"
١٠٠ ٩٠ ٨٠ ٧٠ ٦٠ ٥٠ ٤٠ ٣٠ ٢٠ ١٠ صفر
مرور فى المائة

شكل ٤


١,٩٥٠
١,٩٠٠
١,٨٥٠
١,٨٠٠
الكثافة جرام/سم٣
٦ ٧ ٨ ٩ ١٠ ١١ ١٢ ١٣ ١٤ ١٥ ١٦ ١٧
محتوى الرطوبة %

شكل ٥


تمدد (مرات)
نصف عمر (ثوان)
تمدد (مرات)
نصف عمر (ثوان)
محتوى الماء (%)
١٠
٩,٥
٩
٨,٥
٨
٧,٥
٧
٦,٥
١٤
١٣
١٢
١١
١٠
٩
٨
٧
٦
٥
١,٥
٢
٢,٥
٣
٣,٥
٤
٤,٥
٥

شكل ٦

مدة سريان هذه البراءة عشرون سنة من تاريخ إيداع الطلب

وذلك بشرط تسديد المقابل المالي السنوي للبراءة وعدم بطلانها أو سقوطها لمخالفتها
لأي من أحكام نظام براءات الاختراع والتصميمات التخطيطية للدارات المتكاملة والأصناف النباتية
والنماذج الصناعية أو لائحته التنفيذية

صادرة عن
مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية ، مكتب البراءات السعودي
ص ب ٦٠٨٦ ، الرياض ١١٤٤٢ ، المملكة العربية السعودية
بريد الكتروني: patents@kacst.edu.sa