تأثير استخدام مخلفات الزجاج المسحوق في الخلطات الاسفلتية والاستفادة منها في دعم الإرشادات المرورية في المدن الحديثة

تنفيذا على منشآت جامعة الطائف

The effect of using crushed glass waste in asphalt mixtures and their utilization inSupporting traffic guidelines in modern cities

Implementation of the facilities of Taif University

أ.د/ نهال عبد الجواد محمد أبو الخير[٢]

أستاذ دكتور بكلية التصاميم والفنون التطبيقية - جامعة الطائف - المملكة العربية السعودية .

Prof. Dr. Nehal Abd El Gawad Mohammad Abo El Khair[3]

Professor -Faculty of Design & Applied Art - Al Taif University - KSA -

nehalartdr@yahoo.com

ملخص البحث:

يعتبر إعادة تدوير مخلفات الزجاج إحدى الركائز الأساسية لعملية الاستدامة، فالصناعات التي تخدم الإنسان سواء كانت معدنية، خرسانية، بلاستيكية، خشبية أو حتى زجاجية. الخ، هي في نهاية الأمر سوف تتحول إلى نفايات يجب التخلص منها، والحل الأمثل للتعامل مع هذه مخلفات هي إعادة تدويرها واستخدامها مرة أخرة كمواد أولية أو كمحسنات بحيث يتم الحد من استنزاف الموارد الطبيعية للمواد الخام وتقليل المساحات المستهلكة كمكبات للنفايات

ومن بين هذه المخلفات مادة الزجاج التي تستخدم على نطاق واسع في مجالات مختلفة ويعتبر التخلص منه مشكلة بيئية لأنها مادة غير قابلة للتحلل وغير قابلة للاحتراق

وقد بدأت البحوث في العديد من دول العالم عن استعمال مخلفات الزجاج بعد طحنه حيث تم استخدامه في أعمال إنشاء الطرق كتعويض عن الركام في الخلطة الاسفلتية الساخنة بالشكل الذي يضمن عملية إدارة مستدامة للنفايات الزجاجية.

وتمكن الباحثون من تصنيع نماذج من الاسفلت الزجاجي من المواد الاولية المستعملة في تصنيع الخلطات الاسفلتية الساخنة وكذلك توصل الباحثون الي عمل دمج بين مسحوق الزجاج وخلطة الاسفلت للاستفادة من شفافية مادة الزجاج لعمل بعض التصميمات الزخرفية البسيطة.

وهنا يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير استخدام مخلفات الزجاج المطحونة في الطبقة الاسفلتية المطابقة لخواص مارشال للخلطات الاسفلتية الساخنة وكيفية الاستفادة منها في دعم الإرشادات المرورية تنفيذا على منشآت جامعة الطائف.

كما يوصي البحث بتوسيع نطاق استخدام الاسفلت الزجاجي في النظم الإرشادية المرورية ونظم التوجيه الخاصة بالمجمعات السكنية والسياحية ذات الطابع المعماري المعاصر.

الكلمات المفتاحية:

- منشآت جامعة الطائف university campus
- خواص مارشال Marshall Properties
- بيولوجيا الحفظ وإدارة النظام البيئي CBEM
- هندسة الطرق السريعةHMA
- الاسفلت الزجاجي Glass asphalt

- الإرشادات المرورية Traffic guidelines
- نظم الإرشاد والتوجيه Way Finding & directional systems

Abstract:

Recycling glass waste is one of the main pillars of the sustainability process, as industries that serve people, whether they are metal, concrete, plastic, wood or even glass. Etc., it will eventually turn into waste that must be disposed of, and the best solution to deal with these crushed glass waste is to recycle them and use them again as raw materials or as improvements so that the depletion of natural resources for raw materials is reduced and the spaces consumed as waste dumps are reduced.

Among these is the remnants of crushed glass, which is widely used in various fields, and its disposal is considered an environmental problem because it is a non-degradable and non-combustible material.

Research has begun in many countries of the world on the use of crushed glass waste, as it was used in road construction works as compensation for rubble in the hot asphalt mixture in a manner that guarantees a sustainable management process for glass waste.

The researchers were able to manufacture models of glassy asphalt from the raw materials used in the manufacture of hot asphalt mixtures

This research aims to study the effect of using crushed glass waste in the bonding asphalt layer on the properties of Marshall hot asphalt mixtures and how to benefit from them in supporting traffic instructions in implementation of the facilities of Taif University.

The research also recommends expanding the use of glass asphalt in traffic guidance systems and guidance systems for residential and tourist complexes of a contemporary architectural nature.

Keywords:

university campus , Marshall Properties, CBEM

مقدمة البحث:

إن عملية التصميم لأيٍ من منتجات الفنون التطبيقية تعتمد وبشكل أساسي على الحوار المتبادل بين عناصر متداخلة هي احتياجات الحياة اليومية ومتطلبات البيئة ومعطيات الثقافة، إلى جانب المعرفة التقنية الخاصة بالمصمم والمرتبطة بتنفيذ تلك المنتجات.

والبحث هنا يحاول الاستفادة من معطيات الثقافة السعودية ويتعرض لأهم تداعياتها وهي الانفتاح ورؤية ٢٠٣٠ لخلق شخصية الفرد السعودي المنتج والمواكب للتطور العالمي في كل مجالات الحياة بوضع تصميمات معاصرة لدعم الارشادية المرورية المستخدمة في طرق المملكة تطبيقا على منشآت جامعة الطائف بما يحقق النفعية الوظيفية والقيمة الاقتصادية إلى جانب القيمة الجمالية.

يتعرض البحث أيضاً للخلفية التاريخية لمدينة الطائف ومقوماتها السياحية واحتياجاتها لعديد من منتجات الفنون التطبيقية للحفاظ على طابعها المحلي إلى جانب إكسابها الروح المعاصرة، بما يحقق نشر الوعي بأهمية المنطقة سياحيا وتاريخها الحضاري العريق.

يتعرض البحث كذلك للتقنيات الحديثة لاستخدام اللوحات الارشادية المرورية مؤكداً على استلهامها لمعطيات البيئة وإشباعها لاحتياجات الحياة اليومية.

ويقوم البحث بعمل تحليل لبعض طرق استخدام الاسفلت الزجاجي المختارة من حيث الشكل والمضمون للوصول لشكل الأمثل القابل للتنفيذ بالتقنيات المتاحة للوحات الارشادية المرورية المقترح استخدامها في منشآت جامعة الطائف

كما يقوم البحث بتطبيق التصميمات المقترحة على بعض للوحات الارشادية المرورية المستخدمة في منشآت جامعة الطائف، وذلك بمساعدة برامج الحاسب الآلي الخاصة بالصور والتصميم والواقع التخيلي مثل Adobe Photoshop, AutoCAD & 3D Max

مشكلة البحث:

- الحاجة إلى الموازنة بين الأصالة والمعاصرة في تأكيد الهوية والطابع المعماري والتطبيق في مجالات الحياة اليومية بالاستفادة من نفايات الزجاج في انتاج اسفلت زجاجي واستخدامه في دعم الارشادات المرورية.

أهمية البحث:

- مواكبة التطور العمراني والصناعي والاتجاهات المعمارية الحديثة بالمملكة.
- الاستفادة من الأسفلت الزجاجي Glass asphalt في دعم الإرشادات المرورية للمدن المعاصرة.
- التأكيد على القيم الجمالية لأعمال التجميل المعماري للمدن الحديثة وإثراء الوظيفة الفنية بالقيم المعلوماتية والإرشادية المتضمنة في التصميم الفني.
- التأكيد على وحدة الشكل والمضمون لمنظومة الإرشادات المرورية ونظم التوجيه والإرشاد Signage & Way Finding تطبيقا على منشآت جامعة الطائف وما تحتويه من مباني وأماكن رئيسية وطرقات.

أهداف البحث:

- المزج بين تقنيات رصف الطرق وخواص الزجاج الفيزيائية في اتجاهات تصميمية معاصرة لإستخدامها في الارشادات المرورية بالمدن الحديثة ومواكبة التطور العمراني والصناعي الذي تشهده المملكة.
- الاستفادة من الارشادات المرورية الزجاجية التي تجعلها مساحة جيدة لتأكيد التصميم المعماري التي يمكن استغلالها كنظام توجيه وإرشاد Signage & Way Finding System للحركة داخل منشآت جامعة الطائف وما تحتويه من مباني وأماكن رئيسية وطرقات.
- صياغة المنظومة المتكاملة الإرشادية ونظم التوجيه والإرشاد داخل حرم الجامعة ومبانيها اعتمادا على التصميمات المقترحة للإرشادات المرورية الزجاجية.

منهج البحث:

- المنهج المسحي لتقنيات الرصف واستخدام الأسفلت الزجاجي Glass asphalt
- المنهج التجريبي لتصميم وضع بعض الارشادات مرورية وتطبيقاها داخل منشآت جامعة الطائف
- تصميم نظام متكامل للإرشاد والتوجيه Signage & Way Finding System داخل منشآت جامعة الطائف وبين مبانيها اعتمادا على التصميمات المقترحة للإرشادات مرورية من الاسفلت الزجاجي.

خطوات البحث:

(١)الإطار النظري

1. تدوير مخلفات الزجاج المسحوق
2. ما هي عملية تدوير مخلفات الزجاج وما الفائدة من تلك العملية؟
3. استخدام الزجاج المعاد تدويره في مشروعات رصف الطرق
4. المقارنة بين تقنيات رصف الطرق وتحديد مدى ملائمة كل منها للتنفيذ في موضوع البحث.

(٢) الإطار العملي:

يتبع الباحث المنهج التجريبي ويشمل:

- تحديد وحدات الارشادات المرورية المقترح تطبيقها في منشآت جامعة الطائف
- التصميمات المقترحة لبعض وحدات الارشادات المرورية لتطبيقها في منشآت جامعة الطائف
- إعداد الرسم التنفيذي المناسب لكل عنصر على حدة في إطار الملامح المشتركة التي تؤكد على وحدة الشكل والمضمون.
- البيئة وتأثيرها على الحلول التشكيلية في أماكن وضع الإرشادات المرورية الخاصة بالمملكة.
- التقنيات المستخدمة في تنفيذ التصميمات المقترحة الإرشادات المرورية باستخدام الاسفلت الزجاجي
- الرسوم التنفيذية للأماكن المقترحة لوضع اللوحات المرورية الارشادية باستخدام الأسفلت الزجاجي.

أولا: الإطار النظري للبحث:

١-تدوير مخلفات الزجاج المسحوق

الزجاج مادة صلبة غير عضوية وعادة ما تكون شفافة أو نصف شفافة سهلة الكسر غير نافذة للمواد الطبيعية و اشتهرت مادة الزجاج ذات الاستخدامات المحدودة قديما إلا أنه أصبح الأن مادة شائعة في استعمالات شتى، مثل المباني والأدوات والأواني المنزلة ومعدات الاتصالات السلكية، واختلفت أنواع الزجاج اختلافا شاسعاً عبر العصور، وخاصة في اختلاف مكوناته وخصائصه الفيزيائية، و أكثر أنواع الزجاج شيوعا في عصرنا الحالي هو ذلك المستخدم في صناعة النوافذ وأواني الشرب وادوات المائدة وهو زجاج الصودا - جبر، والذي يتكون من ٧٥ %من السليكا وأكسيد الصوديوم وأكسيد الكالسيوم، مع أو بدون مواد إضافية أخرى كالبوراكس (أكسيد البورون) الذي يلعب دور كبير في حفظ الزجاج من الكسر ويتم تدوير الزجاج في مصانع ضخمة على مستوى العالم، وخصوصا في الدول التي لديها نظام متكامل لفرز المخلفات الصلبة، ففي الاتحاد الأوروبي وحده، تجري عملية اعادة تدوير ما يقرب من سبع من أصل عشر زجاجات لما للعملية من عوائد اقتصادية و بيئية مثلما يحدث في أحد المصانع بـ "أنفير" في بلجيكا حيث يعالج سنويا حوالي مئتان وخمسون ألف طن من الزجاجات، في حين تنتج من عملية اعادة تدوير الزجاج في فرنسا ٦٠٠ الف زجاجة يوميا (هذه فقط لنوع مشروب معين) بسبب التكلفة الرخيصةً للطن الواحد، والميزة الأهم هي أنها صديقة للبيئة، وهناك العديد من المصانع لإعادة تدوير مخلفات الزجاج سواء على مستوى الوطن العربي أو عالميا.

٢- فما هي عملية تدوير مخلفات الزجاج وما الفائدة من تلك العملية؟

تدوير الزجاج هو عملية تحويل مخلفات الزجاج بعد طحنها إلى منتجات قابلة للاستخدام ولذا يجب عند اجراء عمليات فرز الزجاج فصل المخلفات الزجاجية على أساس التركيب الكيمائي وثم فصلها إلى ألوان مختلفة بحيث يعتمد استخدامها اعتمادا نهائي طبقا لقدرات المعالجة المحلية في كل دولة وهناك العديد من شركات تدوير المخلفات التي تجمع الزجاج على أساس اللون لأنه يحتفظ بلونه بعد إعادة التدوير، وتستخدم في عملية إعادة تدوير الزجاج طاقة أقل من تصنيع الزجاج الصودا-

جير، و هي عملية بيئية مطلقة حيث ان كل طن من تدوير مخلفات الزجاج المسحوق يتم استغلاله في منتجات جديدة يحول دون إطلاق ٣١٥ كلغ من ثاني أوكسيد الكربون الى الغلاف الجوي أثناء تصنيع زجاج جديد، وذلك لان مسحوق الزجاج المعاد تدويره يستهلك وقودا أقل مما يحتاجه طن من المواد الأولية بمقدار ٣٤ لتر من الوقود و أن كأسا واحدة من الزجاج المعاد تصنيعه يوفر مقدارا من الطاقة تعادل إضاءة مصباح بقوة ١٠٠ وات لمدة ٤ ساعات، ويوفر كل طن من مسحوق الزجاج المعاد تدويره ما يعادل ٢,١ طن من المواد الأولوية ، اضافة الى ما سبق فان الزجاج قابل للتدوير مرات ومرات ، كما أن الاختراعات الجديدة الساحرة للزجاج المعاد تدويره التي تضاعفت من خلال البحوث الجديدة حول كيفية الاستفادة من الزجاج المعاد تدويره لذا يعتبر الزجاج احد اهم اصدقاء البيئة، وبالإضافة إلى أنه يعتبر من المواد الصديقة للبيئة و ذو تكلفة اقل فأنه يعطي قيم جمالية ووظيفية أكثر من مخلفات المواد الاخرى.

٣- استخدام الزجاج المعاد تدويره في مشروعات رصف الطرق

ان سمة العصر الحالي هو التطور والنمو السريع لتلبية طلب المجتمعات مثل الحاجة الي تطوير شبكات الطرق نظرا لتزايد عدد المركبات والسيارات وكذلك زيادة الأحمال المحورية للسيارات والمركبات الحديثة والذي أدي إلى تسريع تدهور حالة رصف الطرق

لذلك تعتبر صناعة الاسفلت أحد اهم الصناعات الموجودة اليوم كما انها من أكثر الأشياء المطلوبة في العالم وهو عبارة عن مادة سوداء اللون تشبه كثيرا الاسمنت كما اننا نجدها بنسبة كبير في النفط الخام، وهو له لزوجة عالية، والاسفلت يعتبر واحد من المواد الحرارية المتلدنة وبمعنى ادق هي تعتبر من المواد التي تصبح لينة وتصير على صورتها السائلة إذا تم تعرضها الى درجة الحرارة، وبعد ذلك ترجع الى طبيعتها الصلبة حين تبرد، كما ان الاسفلت يحافظ على حالته الطلبة بشكل جيد للغاية.

يعمل الاسفلت كعازل جيد جدا من الماء للطبقات السفلى ولكنه يتاثر بوجود الماء على السطح لمدة كبيرة حيث يحدث بيه بعض الحفر وتطاير بعض اجزاء من البيتومين مما يسبب خشونه فى السطح ، كما انه من المواد الصلبة التي لا تتأثر باي عوامل مثل الاملاح او حتى الاحماض، ويتم استخدام الاسفلت لعملية رصف الطرق وذلك لأنه من المواد التي تتماسك مع الرمل والاحجار وتعمل على منع الماء من الوصول الى الرصيف، كما ان الاسفلت يمكن ان ينحني إذا تم وضعه تحت الضغط وهو من المواد الرائعة التي لا تنكسر كالصخور وغيرها من الاشياء، كما انه من أفضل المواد التي يتم استخدامها لعملية رصف الطرق مثل الشوارع وطرق المطارات وغيرها من الطرق.

مكونات خلطة الأسفلت التقليدية

يتكون الأسفلت من عدة مواد كيميائية فالنسبة الأكبر من مكونات أسفلت هي

-نسبة الكربون حيث تشغل حوالي ٧٠-٨٥%

-ثم يليه الهيدروجين ٧-١٢% ثم السلفر ١-٧%

-ثم اكسجين ٠-٥%

-وأخيرا النيتروجين يشغل نسبة قدرها ٠-١ .%

وتتكون الخلطة الإسفلتية من ثلاث طبقات رئيسية، هي :-

١.طبقة الأساس هي عبارة عن حصى عادي او حصى متكسر، وأيضا من رمال، والفلر.

٢. الطبقة الرابطة والتي تتكون من الحصى المكسر والذي تصل نسبته الى حوالي ٩٣-٩٦ % ولكن يفضل ان يكون الرمل الذي يتم استخدامه هو الناتج عن تكسر الحصى، ويفضل ذلك حتى يتم الحصول على نسبة ثبات عالية يجب أن لا يقل ثبات الخلطة عن ٧٠٠ كجم طبقا لجهاز مارشال، ويكون سمك تلك الطبقة من خمس سم حتى تصل الى ٨ سم.

٣.الطبقة السطحية فهي تتكون من نفس المكونات التي تتكون منها الطبقة الثانية ولكن مع اختلافهم في الحجم والسمك، حيث انها يصل سمكها من ٤ سم الى ٧ سم .وتكون فى المتوسط ٥ سم فى اغلب المواصفات

كيفية صناعة الأسفلت

يتم عزل الاسفلت عن النفط الخام، ويكون ذلك عن طريق عملية التكرير، فيتم انتاج الكيروسين والبترول وغيرها من المنتجات، بالنسبة الى البترول والمنتجات الأخرى فأنها يتم استخراجها عن طريق الغليان او ما يعرف باسم التقطير، وفي النهاية يتواجد الزيت الذي يعرف باسم الزيت الخام المقطوف، بعدها يتم تنقية ذلك الزيت حتى نحصل على الاسفلت، ويختلف نوع الاسفلت على حسب طريقة التنقية التي يستخرج من خلالها، فيمكن ان نحصل على الاسفلت المؤكسد عن طريق نفخ هواء ساخن على الزيت الخام بعدما نقوم بإزالة المواد شديدة التطاير.

ماهي طرق صناعة الأسفلت؟

تختلف صناعة الاسفلت على حسب نوعه، فالأسفلت الطبيعي يتم استخراجه من أماكن تواجده، ويتم استخدام ذلك النوع من الاسفلت فى اماكن تواجده فقط في عملية رصف الطرق الاوليه داخل داخل القارة الامريكية، كما انه يوجد أيضا الاسفلت الصخري وهو عبارة عن الكثير من الترسبات الصخرية التي تحتوي على مواد بيتومينية يتم استخدامها في رصف الطرق بشكل عام، ويعتبر البيتومين النفطي (القار) هو واحد من مشتقات النفط الخام والذي يتم من خلاله تكوين معظم الاسفلت الذي يتم رصف الشوارع به حتى اليوم.

وقد أظهرت التكنولوجيا الحالية لرصف الطرق وصيانتها باستخدام طريقة HMA حلاً غير اقتصادي خاصة في المستقبل لما لهذه التكنولوجيا العديد من العيوب التي لا تتفق مع الجوانب المستدامة والاقتصادية والصديقة للبيئة.

من ناحية أخرى، فإن الطريقة الأخرى خليط الأسفلت البارد (CMA) أو بشكل أكثر تحديدًا خليط مستحلب البيتومين البارد (CBEM) له العديد من المزايا البيئية والاقتصادية مقارنة بـ HMA التقليدي. ومع ذلك، فإنه لا يزال يتمتع بخصائص ميكانيكية وحجمية رديئة منذ بداية استخدامه مقارنة بـ HMA إذا ترك دون علاج وقد توصلت بعض الشركات الى انتاج مستحلبات بيتومينية جيدة مثل الايمليشن والفومد بيتومين وتستخدم حاليا فى البرازيل وجوب افريقيا وقد اتجهت بعض الدول العربية الى استخدام تلك التقنيات مثل مصر وليبيا وفى مصر قد تم رفع كفاءة الممر الرئيسى لمطار شرم الشيخ R04باستخدام تقنيات الرصف الحديثة باستخدام الايمليشن وتدوير طبقات الرصف القديمة استعدادا لتجهيزات مصر لمؤتمر المناخ COP 27

من هذا المبدأ بدأ الباحثون والمشرعون والمبدعون تركيز جهودهم لإدخال خليط أسفلتي جديد يتماشى مع جوانب التطور والنمو المتزايد لاستخدام الطرق وله خصائص متفوقة أو قابلة للمقارنة على الأقل مع HMA ولذلك تم تقديم تقنية Cold Mix Asphalt(CMA) مؤخرًا كواحدة من أكثر الحلول الواعدة للخلطات الإسفلتية المتاحة نظرًا لأنها تتمتع بالعديد من الخصائص المفيدة مقارنة بتقنيات الخلطات الأخرى ومع ذلك ايضا لا تزال CMA تتمتع بخصائص حجمية وميكانيكية ومتانة غير مقبولة إذا تُركت دون معالجة أو تحسين.

دمج مخلفات الزجاج المسحوق في الخلطات البيتومينية (الاسفلتية)

لم تكن فكرة دمج مخلفات الزجاج المسحوق في الخلطات البيتومينية (الاسفلتية) لضمان الجوانب البيئية والاقتصادية جديدة حيث بدأت البحوث عن استعمال مخلفات الزجاج (الزجاج المجروش) فى الخلطات الاسفلتية منذ عام ١٩٦٠ وأخذ المنحنى البحثي يتزايد أكثر في الولايات المتحدة ما بين عام ١٩٧٠ و١٩٨٠ حيث تم رصف الكثير من الشوارع في مدينة بالتيمور في امريكا وبين عام ١٩٩٠ وحتى عام ١٩٩٥ تم استعمال اكثر من 250000طن فى الطبقة السطحية للطرق في نيويورك وتم تحديد نقاط التخوف من استعمال الزجاج فى الخليط الاسفلتى في الاتي :

-انه من الصعب ترابطه وحصول تطاير لحبيبات الزجاج Strip

-كذلك الانعكاس الضوئى light reflection

-الانزلاق skid resistance

-نفاذية الماء water permeability

ولكن وبعد كثير من التجارب ثبت انه عند إضافة مسحوق الزجاج حتى ١٠ %من وزن الخليط الكلى ومع استعمال تدرج اقل من ربع انش بمعنى استعمال تدرج من ¼ انش وحتى المار من منخل ٢٠٠ لا توجد أي مشاكل في حالة الزيادة

وعلاوة على ذلك ، فإن إعادة تدوير مخلفات الزجاج المسحوق في الخلطات البيتومينية (الاسفلتية) ضرورية لتوفير المواد الخام وتقليل تأثير هذه مخلفات على مدافن مخلفات الزجاج المسحوق في معظم البلدان المتقدمة مثل اليابان والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية على سبيل المثال ، يتم إنتاج كمية كبيرة من مخلفات الزجاج المسحوق سنويًا والتخلص منها و تصبح معقدة وتحتاج لمساحات كبيرة من مكبات مخلفات الزجاج.

٤-المقارنة بين تقنيات رصف الطرق وتحديد مدى ملائمة كل منها للتنفيذ في موضوع البحث.

1- تقنية CMA

CMA عبارة عن خليط من مزيج ركام متدرج مناسب مع مادة رابطة بيتومين (مستحلب البيتومين أو تقطيعه) مع أو بدون إضافات

ويمكن تحضيره بسهولة في درجات الحرارة المحيطة بدون مواد تسخين بالمقارنة مع تقنيات خليط الأسفلت الأخرى، لا يزال CMA قيد التطوير ويتطلب مزيدًا من الدراسات نظرًا لضعف خصائص الزمنية ووقت المعالجة الطويل

وأظهرت دراسات أخرى أن تطوير CMA قد ينتج مادة مناسبة لرصف طبقة الطرق مثل الطبقة الأساسية

وقد انتهي باحثون آخرون إلى أن مثل هذا الخليط الأسفلتي يمكن استخدامه كرابط في الأحمال المرورية الثقيلة حيث تم الحصول على خصائص مماثلة أثناء تطوير CMA

مزايا وعيوب تقنية CMA

الحد من التأثير على البيئة الطبيعية، وتوفير التكلفة، وتوفير السلامة في البناء والتصنيع، وهي من أهم المزايا التي تشجع على استخدام CBEM بدلاً من HMA وهو البديل الواعد لرصف الطرق التي تحترم البيئة وتتوافق مع متطلبات الاستدامة.

٢-تقنية خلط مستحلب البيتومين البارد (CBEM)

هي تقنية واعدة لصناعة رصف الطرق وعلى الرغم من أنه يُظهر مزايا حيوية إلا أن CBEM التقليدي لا يزال يتمتع بخصائص هندسية رديئة عند مقارنته بـ HMA خاصةً إذا تُرك دون علاج أو تطوير ولا تزال CBEM تقنية جديدة وتتطلب دراسات مكثفة للتطوير لجعل خصائصها مقاومة للأحمال الثقيلة المتكررة.

وتلك التقنية تعتبر أحد أنواع تقنيات الخلط البارد وهي مزيج من الركام المتدرج المناسب مع مستحلب البيتومين والماء المخلوط في درجة الحرارة المحيطة (١٠-٦٠ درجة مئوية) واستخدمت العديد من البلدان مثل فرنسا والولايات المتحدة الأمريكية تقنية CBEM في مشاريع الطرق الخاصة بها منذ عام ١٩٧٠وفي ذلك الوقت و نظرًا لضعف القوة اقتصرت CBEM على إصلاح الأرصفة وإعادة الأعمال في الطرق ذات الكثافة المرورية المنخفضة وبعض الأعمال الجانبية.

ويجب النظر في عدة جوانب بالتوازي أثناء تطوير CBEM مثل:

١-تطوير إجراءات تصميم الخليط حساب نسب الخلطة التقليدية، حيث لا يمكن مقارنة الإجراءات الحالية بإجراءات تصميم HMA

٢-السبب الرئيسي لضعف الخواص الهندسية هو الرطوبة المحتسبة بين الركام وطبقة الإسفلت. وبالتالي هناك طلب كبير على الصيانة المستمرة لإزالة المياه المحاصرة.

٣-إدخال تقنيات جديدة لتحسين الخواص الحجمية لـ CBEM أمر مطلوب أيضًا حيث تقترن الفراغات الهوائية العالية بالعديد من العيوب بطبقات الرصف.

٤-تقديم تقنية جديدة عالية الأداء للتحسينات المذكورة أعلاه التي تعتبر من أهم قضايا البيئة المستدامة هي أيضًا من متطلبات الحياة البيئية المعاصرة.

المزايا التي يمكن الحصول عليها أثناء استخدام CBEM هي

1- تقليل تأثير الغازات الخطرة المضرة بصحة الإنسان والبيئة، لأنها لا تتطلب أي حرارة أثناء إنتاج الخليط يرتبط حوالي ١٤٪ من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون بإنتاج CBEM مقارنةً بـ HMA

2- لا حاجة للتسخين المسبق للركام قبل الخلط مع البيتومين ، مما يؤدي إلى عدم وجود انبعاث للغبار أثناء الإنتاج.

3- كما ذكرت le Bouteiller (2010) ، فإن إنتاج CBEM أرخص من إنتاج HMA لأسباب عديدة.

أولاً: يوفر الطاقة حيث تبلغ الطاقة المطلوبة لإنتاج CBEM حوالي ١٣٪ مقارنةً بـ HMA.

ثانيًا: تكلفة نقل HMA أعلى من CBEM نظرًا لأن محطات CBEM أبسط ويمكن أن تكون محطات محمولة كما انه فى المعدات الحديثة تكون متواجده داخل موقع العمل .

4- يعتبر CBEM أكثر أمانًا من HMA والخلطات الأخرى من حيث عملية المعالجة ، حيث لا توجد حاجة للحرارة لخلط مكوناته.

5- نظرًا لعدم الحاجة إلى حرارة أثناء إنتاج CBEM فإن المادة البيتومينية بعيدة كل البعد عن الأكسدة (الحدابي ، ٢٠١٤).

6- في بعض الحالات تتمتع CBEM بفوائد لوجستية على HMA حيث أنه من غير الضروري استخدام مسارات معزولة خاصة لسحب المزيج لمسافة طويلة (لها فترة زمنية أطول من HMA التقليدية) (Nikolaides، 1994)

7- يمكن إنتاج CBEM من الركام المعاد تدويره بالإضافة إلى الركام البكر على غرار HMA.

من ناحية أخرى، لدى CBEM بعض العيوب، والتي يمكن اعتبارها بيانًا للمشكلة. يعتبر CBEM أقل شأنا من HMA التقليدي، بسبب بعض المشاكل المتأصلة المتعلقة بأداء CBEM أثناء استخدامه كطبقة هيكلية لأسباب عديدة.

وفيما يلي يلخص هذه العيوب (Needham، 1996، Thanaya، 2003، Leech، 1994):

١-قصر عمر الخلطة بسبب استخدام الماء في انتاج الخلطات الذي يتطلب وقتاً طويلاً للتبخر قد تم التغلب على ذلك باستخدامfog seal.

٢-يأخذ وقت طويل حتى يصل إلى تمام الجفاف (٢-٢٤ شهرًا وفقًا لظروف المناخ المحلي) (Leech، 1994).

٣-وجود نسبة عالية من الفراغات الهوائية في الخلطة والتي تكون عادة في حدود ١٠-١٥٪ (Thanaya ٢٠٠٣).

طرق استخدام مخلفات الزجاج المسحوق في خليط CBEM

الزجاج مادة غير معدنية و غير عضوية (Gautam et al.، 2012) و يتم إنتاج كمية كبيرة من مخلفات الزجاج سنويًا في جميع أنحاء العالم والتي تمثل مشكلة كبيرة للبيئة حيث يلزم التخلص من حوالي ١٠ مليون طن في المدن الكبرى في جميع أنحاء العالم وبالتالي تم اقتراح عدة طرق للاستفادة من مخلفات الزجاج (Modak et al.، 2010) في تطبيقات الهندسة المدنية الحديثة حيث تم استخدام الزجاج المسحوق في أعمال الطرق لتحسين خصائص التربة بنجاح (Disfani et al.، 2011، Disfani et al.، 2012) ، وكذلك كمكون في خلطات الإسفلت (Wu et al.، 2004b).

خليط الإسفلت الزجاجي هو مصطلح يستخدم لخليط الأسفلت المشتمل على مخلفات الزجاج المسحوق (Chen etal. 2006) منذ أواخر الستينيات، حيث تم إنشاء حوالي ٣٣ موقعًا من معامل التجارب الميدانية في الولايات المتحدة وكندا لتقييم تأثير الزجاج في HMA وأيضًا تم رصف حوالي١٧ طريق بخليط Glassphalt الاسفلت الزجاجي في منتصف ١٩٧٠ إلى منتصف ١٩٨٠ في مدينة بالتيمور بالولايات المتحدة كما ذكرت سابقا وذلك لإنتاج الطرق ذات التأثير اللامع (Wu et al.، 2004a)، وأيضا خلال عام١٩٩٠ وحتى عام ١٩٩٥ تم رصف حوالي ٢٢٥٠٠٠ طن متري من مزيج الإسفلت الزجاجي الساخن لأغراض إعادة الصقل في مدينة نيويورك.

لذا فإن دمج نفايات الزجاج في خليط الأسفلت الساخن ليس فكرة جديدة (سالم وآخرون، ٢٠١٧) ولقد تم تقييم تأثير مسحوق الزجاج من قبل العديد من الباحثين في أنواع طبقات مختلفة لخليط الأسفلت مثل الطبقة الأساسية (Arnold et al.، 2008)، وطبقة الربط (Nichols and Lay، 2002) والطبقة السطحية (Shafabakhsh and Sajed، 2014) حيث درس العديد من الباحثين تأثير الزجاج المسحوق على أداء HMA ، وأقروا أن الجوانب البيئية والتوفير في التكاليف يمكن تحقيقها عند استخدام مخلفات الزجاج المسحوق .

وأفاد عرباني (٢٠١١) في دراسته عن تأثير مخلفات الزجاج المسحوق على السلوك الديناميكي لخليط الإسفلت لتدرج مادة الربط وتم استخدم مخلفات الزجاج المسحوق كمكون ناعم بأقصى حجم ٤,٧٥ مم بنسب مختلفة من الاستبدال في مكونات الخليط، لقد أوضح أن نسبة ١٥ ٪ من مسحوق الزجاج من مجموع نسبة الوزن الكلي للخلطة يفي بمعايير مارشال علاوة على ذلك يعكس الزجاج في خلطات الإسفلت حساسية أقل لدرجة الحرارة مقارنة بمزيج التحكم في حالة السلوك الديناميكي وذكر عرباني كذلك أن الخلطات مع الركام الزجاجي بالإضافة إلى ٢٪ من الجير كمادة حشو معدنية تعطي صلابة أعلى للخليط.

في الآونة الأخيرة، قُدمت دراسة أجراها سالم وآخرون. (٢٠١٧) تم فيها استخدام مخلفات الزجاج المسحوق كركام بحجم أقصى يبلغ ٢,٣٦ ملم. وخلصوا إلى أنه يمكن استخدام ١٠٪ من مخلفات الزجاج المسحوق كنسبة إحلال مثالية في HMA ، ويمكن تحقيق قوة أعلى إذا تم استخدام عامل مضاد للتقشير ، مثل الجير أو OPC(مادة الربط الهيدروليكي) وذكروا كذلك أن استخدام مخلفات الزجاج المسحوق في رصف الأسفلت يقلل من التلوث والمشاكل البيئية.

مزايا دمج مخلفات الزجاج المسحوق في CBEM

يعد استخدام مخلفات الزجاج المسحوق في البناء اتجاهًا حديثًا في جميع أنحاء العالم وتقنية خلط الأسفلت بمسحوق الزجاج بشكل عام وCBEM بشكل خاص ليست بعيدة عن هذا الاتجاه ومن مزايا استخدام مخلفات الزجاج المسحوق في CBEM

١. تقليل الطلب على المواد الخام ودعم "استدامة" الحفاظ على البيئة

٢. أثبتت بعض مواد مخلفات الزجاج المسحوق كفاءتها في تحسينات CBEM.

٣. لها فوائد اقتصادية، حيث يتم التخلص من مخلفات الزجاج المسحوق بدون تكلفة.

٤. يعتبر من الفوائد البيئية

تصميم خلطات مارشال الإسفلتية

تصميم خلطة مارشال الاسفلتية أي إيجاد أفضل النسب لخلط المواد الصلبة المتاحة تحديد النسبة الملائمة من الأسفلت اللازمة لهذا المخلوط المواصفات التالية:

١-نسبة أسفلت كافية لضمان الديمومة والمرونة في الخلطة.

٢-قوة كافية لمقاومة الانسياب توفي بمتطلبات المرور بدون حدوث تشوهات لرصف الطرق

٣-فراغات هوائية في الخليط الكلي تسمح باستيعاب الإسفلت وإبقاء جزء الفراغات الهوائية، حيث كلما كانت نسبة الفراغات قليلة كلما تم تحديد مرور الهواء والماء خلال الكونكريت الأسفلتي(الخرسانة) أي تحديد دور الماء في فصل الركام عن الأسفلت وكذلك تحديد دور الهواء في أكسدة الأسفلت وتحويله الى مادة هشة إما إذا كانت نسبة الفراغات الهوائية عالية سوف يسبب ذلك انضغاط من جراء تسليط أحمال المركبات وحدوث النزف والنضح والانفصال

ويوفر اختبار مارشال للثبات والتدفق مقياس توقع الأداء لطريقة تصميم خلطة مارشال حيث

-يقيس جزء الثبات في الاختبار الحمولة القصوى التي تدعمها عينة الاختبار بمعدل تحميل يبلغ ٥٠,٨ مم / دقيقة -يتم تطبيق الحمل على العينة بحد أقصي.

-يتم زيادة الحمل لحين وصول تحمل النموذج الى اعلى قيمة والتي يتم تسجيلها كقيمة ثبات الخلطة الاسفلتية، الحمل الأقصى على أنه المعدل المطلوب أثناء التحميل.

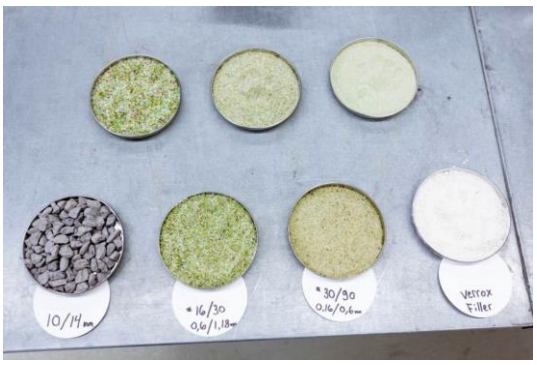
- أثناء التحميل يتم تثبيت مبين القياس لتحديد مقدار التشوه في الخلطة بسبب التحميل

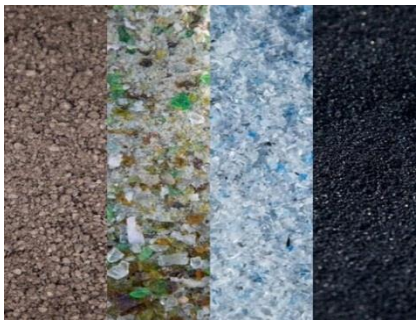
-ان قيمة الجريان تمثل في هذه الحالة التشوه العمودي الحاصل عند الوصول الى اعلى حمل مارشال يعطي مؤشرات لاداء الخلطة الاسفلتية ومقاومتها للتشوه، التخدد، واجهادات القص، وان ثبات الخلطة الاسفلتية يعزى الى عاملين و هما :

قيمة الاحتكاك الداخلي internal friction

والتماسكcohesion

- العينات المستخدمة في تصميم خلطات مارشال





- تلخيص الخطوات المهمة المتضمنة في تصميم المزيج التنظيمي بعد ذلك

- تم اجراء فحوص مارشال على نماذج الاسفلت الزجاجي بنسب تعويضية مختلفة لمخلفات الزجاج المسحوق

- في محاولة إيجاد مقدار قيم الزحف والثبات حيث وجد ان له قيماً مقبولة طبقاً للمواصفات العالمية

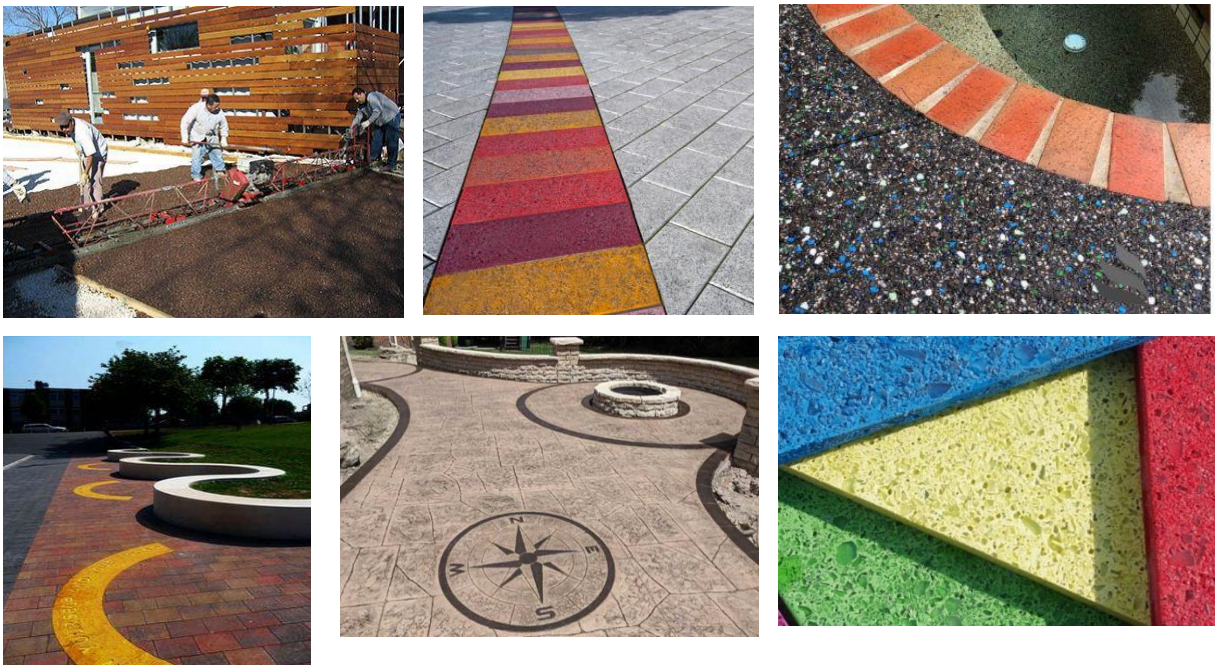
- تحديد إمكانية استعماله في رصف الشوارع حيث يمتاز الاسفلت الزجاجي بقابليته على عكس ضوء المركبات في الظلام في الطرق المعتمة مما يؤدي الى تمييز معالم الطريق بصورة واضحة

-كذلك يمتاز الزجاج المضاف الى الخلطة الاسفلتية بقابليته العالية للعزل الحراري مما يسمح باحتفاظ الخلطة الاسفلتية بالحرارة لمدة اطول مما يساعد على استخدامها في الاجواء الباردة.

- وقد تم استخدام تجربة مارشال في إنشاء "أرصفة زجاجية خرسانية"، مصنوعة من الخرسانة مع قطع زجاج مدمجة فيه، بمناسبة اختيار مدينة بيكس الجامعية في جنوب هنغاريا كمدينة الثقافة الأوروبية في عام ٢٠١٠.

-الرصيف كان له طابع كائن نحتي متآلف. في الليل يضيء من الداخل، مع العديد من شرائح الزجاج التي تكسر الضوء عندما تخترق إلى الخارج، يبدو الرصيف من بعيد وكأنه متلألئ، ولكن كلما اقتربت منه كلما أصبح شكل التطعيمات الزجاجية الصغيرة مرئيًا ومرتبة داخل الرصيف مثل سرب من الضوء

- كان التخوف من استعمال الزجاج في الخليط الاسفلتي لأنه من الصعب ترابطه وحصول تطاير لحبيبات الزجاج ولكن وبعد كثير من التجارب ثبت انه حتى ١٠% من وزن الخليط الكلي لا توجد مشاكل وفي حالة الزيادة قد يسبب ضررا لإطارات السيارات



صور لبعض أشكال رصف الطرق بخلطة الأسفلت الزجاجي

الإطار العملي للبحث:

أولا: التصميمات المقترحة بناءاً على الدراسة التحليلية للارشارات المرورية جرافيكياً ولونياً:

يقترح البحث استغلال الدراسة التحليلية للإشارات المرورية المختارة في عمل تنفيذ التصميمات تكرارية يمكن تنفيذها في بلاطات أسفلتيه ودمجها مع أسفلت الطريق المستخدم في طرقات منشأت جامعة الطائف حسبما يتطلب التصميم المقترح لكل منها.

يعرض البحث الوحدة التصميمية عبارة عن مربع بمقاس ٢٠ سم × ٢٠ سم، كما يعرض مساحة لتكرار تلك الوحدة بمقاس ٨٠ سم × ٨٠ سم، للتأكيد على إمكانية التكرار في المساحات الفعلية.

دليل الإرشادات المرورية بالمملكة العربية السعودية

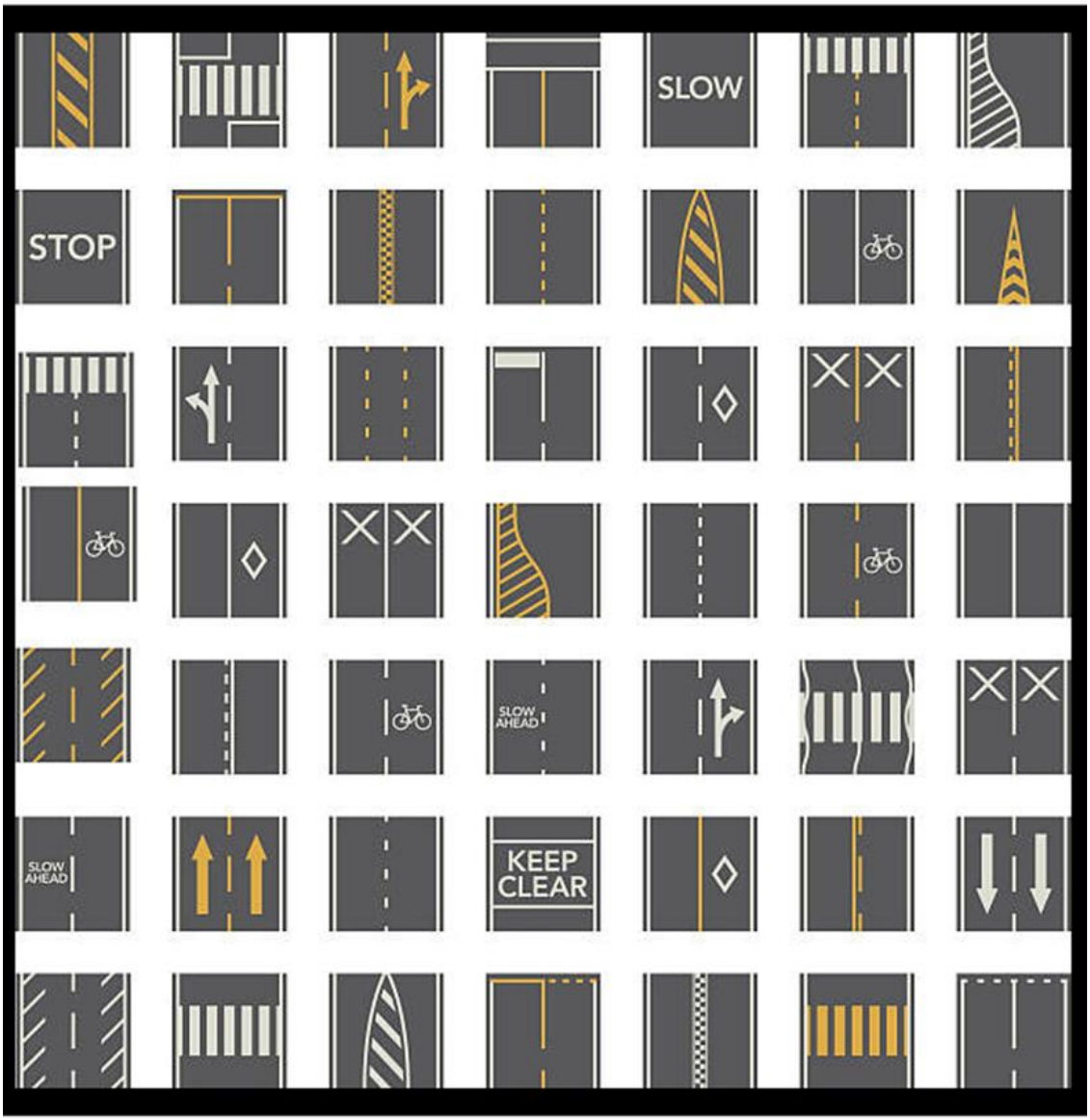
الإرشادات التحذيرية

الإرشادات التنظيمية

الإرشادات الإرشادية

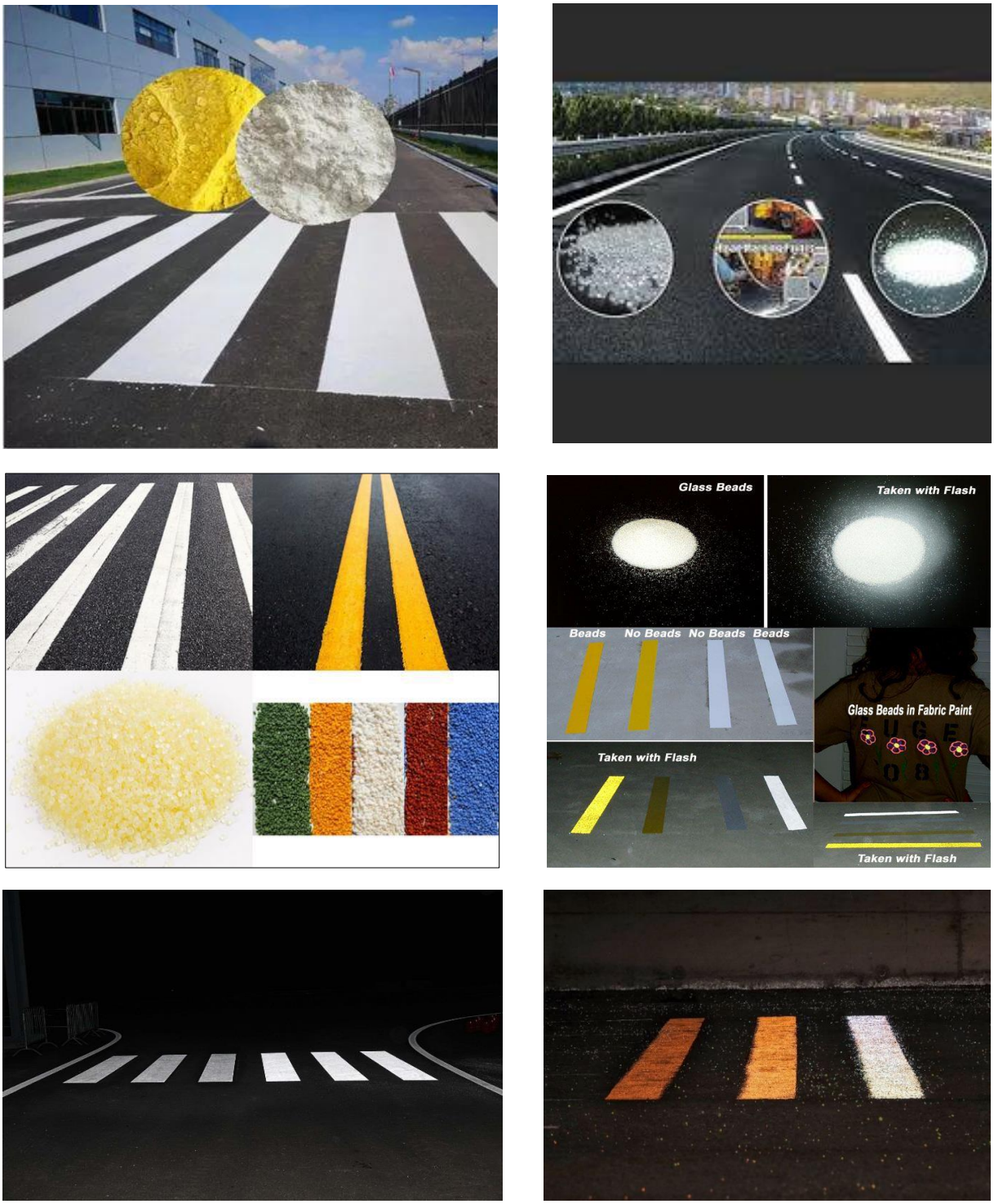
إشارات وعلامات مناطق العمل والمؤقتة

وضعت الإرشادات التحذيرية داخل مثلث أحمر، وأسفل كل إشارة معانيها لسهولة معرفتها



الارشادات المرورية المستخدمة في طرق وشبكات النقل السريع بالمملكة العربية السعودية

ثانيا : التقنيات المستخدمة فى تنفيذ الإرشادات المرورية باستخدام الاسفلت الزجاجي

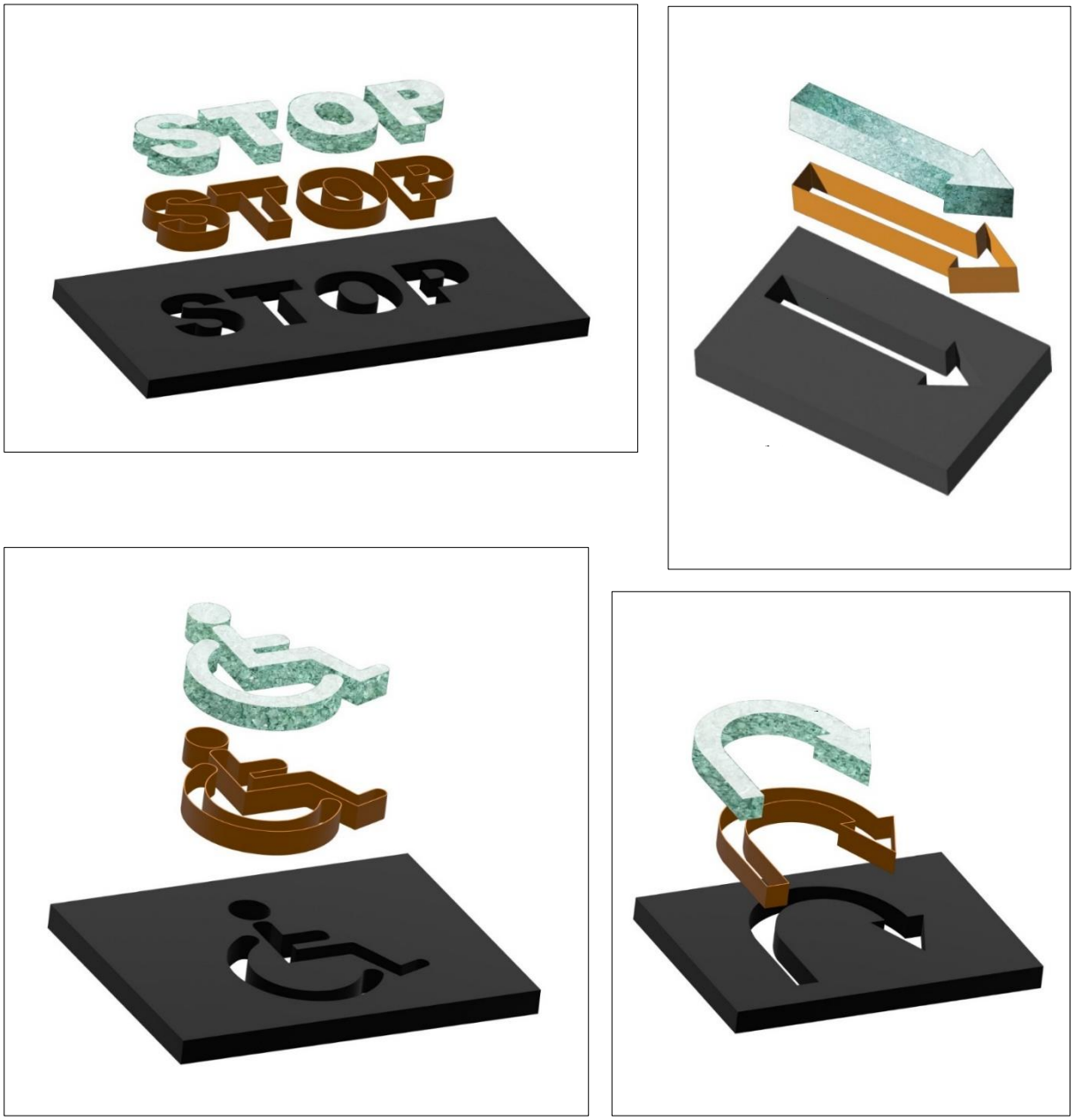


صور للتخطيط حيث تستخدم بودرة الزجاج فى جميع انحاء العالم فى اعمال التخطيط على البارد والتخطيط على الساخن الاكسترودر وال٢ كومبوند وكلما زادت نسبة بودرة الزجاج كلما اصبح انعكاس الخط اقوى مع ضوء السيارات

ثالثا: الرسوم التوضيحية لخطوات تنفيذ الإرشادات المرورية باستخدام الاسفلت الزجاجي

شاع استخدام الزجاج المعاد تدويره لتمهيد الطرق منذ سنوات عديدة في كثير من البلدان حيث استُخدم الزجاج المسحوق في تمهيد الطرق العامة، وتضمنت عملية التمهيد

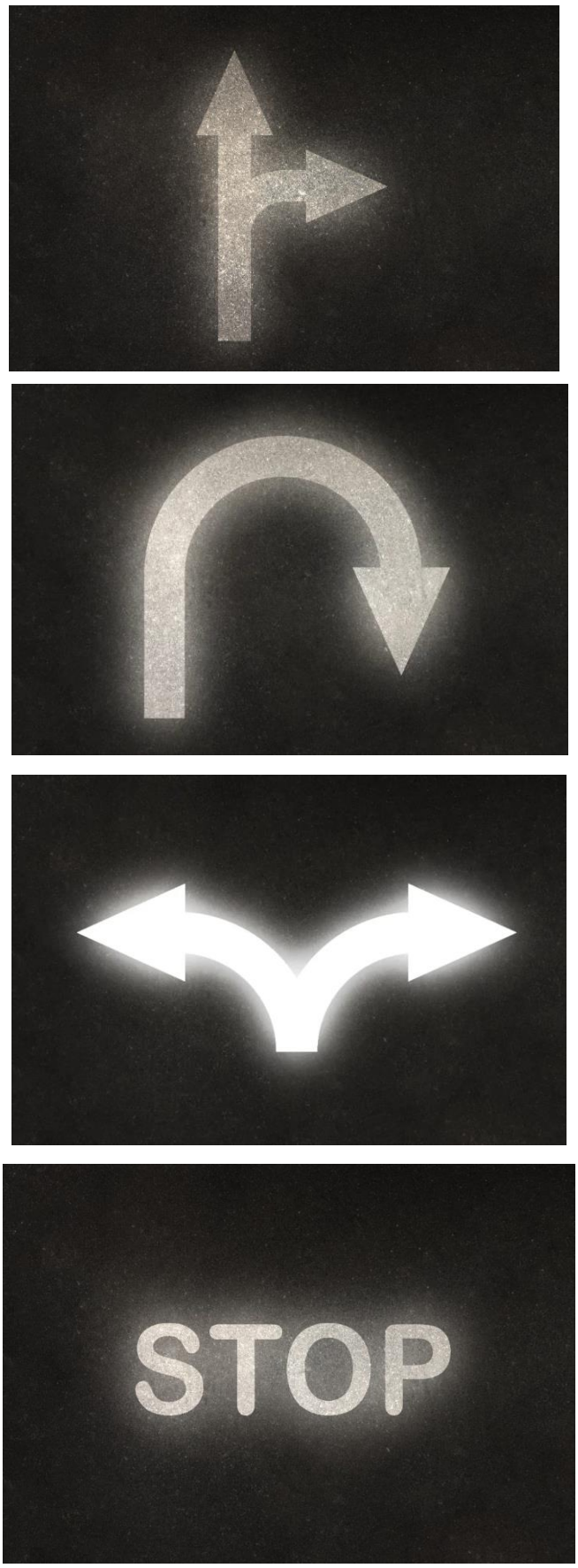
- تثبيت إطار من النحاس (قالب لصب مسحوق الزجاج داخله) في المكان المقترح لعمل الارشادات المرورية.
- نقوم بصب الاسفلت حول الإطار بعد الانتهاء من صب مسحوق الزجاج وتثبيته داخل الإطار النحاسي لتمهيد الطرق لاستخدامها (تطبيقا علي منشأت جامعة الطائف)



رسوم توضيحية لخطوات تنفيذ التصميمات المقترحة لعمل الارشادات المرورية داخل منشأت جامعة الطائف

طبقة الاسفلت

رسوم توضيحية لكيفية تنفيذ التصميمات المقترحة لعمل الارشادات المرورية داخل منشأت جامعة الطائف



رسوم توضيحية للتصميمات المقترحة لعمل الارشادات المرورية بمنشأت جامعة الطائف بعد الانتهاء من تنفيذها

النتائج:

- إمكانية استخدام خليط مخلفات الزجاج المسحوق والاسفلت النشط والعمل علي زيادة الكفاءة وتحسين CBEM من حيث الخصائص الميكانيكية والمتانة في تنفيذ الارشادات المرورية التي يتم تنفيذها حاليا أثناء رصف الطرق بالمدن الحديثة
- إمكانية استخدام الخصائص الحجمية لخلطة الاسفلت الزجاجي مما سيساعد على الاقبال كبير للاستفادة من تلك الخلطات على النهج الأكثر استدامة
- دراسة طرق صناعة الخلطات الإسفلتية. وبالتالي، فإن دمج مخلفات الزجاج المسحوق قد أظهر خصائص ميكانيكية وقوة تحمل مقبولة، وتأثيرًا سلبيًا على محتوى الفراغات مما يؤدي الي تعدد الاستخدامات
- الاستفادة من الخلطات الاسفلتية السابقة في دعم الارشادات المرورية بالمدن الحديثة

التوصيات:

- يوصى بشدة بمحاولة دمج مخلفات الزجاج المسحوق في خليط الاسفلت CBEM لتحقيق فوائد مستدامة.
- مزيدًا من دراسات التجريبية لتحسين مواصفات خلطة الأسفلت الزجاجي من حيث درجة الرطوبة ومدة التسخين، والتردد المستخدم وتأثيره على خصائص المادة الرابطة، والوقت اللازم للوصول إلى قوة الخليط الكاملة.
- ضرورة إجراء الأبحاث الفنية المستلهمة من التقدم الحضاري للمملكة بروافده المختلفة، وتطبيقها في مختلف مجالات الفنون ومنتجاتها التطبيقية "الخزف ـ السيراميك ـ الزجاج ـ الرخام ـ الأحجار ـ الحلي ... إلخ".
- ضرورة الربط بين احتياجات الحياة اليومية ومتطلبات البيئة ومعطيات المعاصرة للوصول لمنتجات فنية تطبيقية تحمل القيم الجمالية وتحقق القيم الوظيفية المعاصرة وتؤكد على الطابع المحلي.
- ضرورة نشر الوعي الحضاري والفني، وتوسيع نطاقها المعرفي من قبل المواطنين لتعظيم الجدوى الاقتصادية والفنية.

المراجع:

1. المحمدي ، أ.د.م ، محمود ، أ. ، وصالح ، ع.ع. (٢٠٢١). تأثير نفايات الزجاج المكسر كركام ناعم على خواص خليط الاسفلت الحار. مجلة تكريت للعلوم الهندسية ، ٢٨ (٣) ، ١٢٩-١٤٥. https://doi.org/10.25130/tjes.28.3.10
2. ahmoorian F ،Samali B. الفحوصات المخبرية حول استخدام RCA في الخلطات الإسفلتية. المجلة الدولية لأبحاث وتكنولوجيا الرصف ٢٠١٨؛ ١١ (٦): ٦٢٧-٦٣٨.
٣. Dalloul NK دراسة تأثير الزجاج المكسور كرمل خشن وحشو في دورة تجليد الأسفلت. ماجستير الأطروحة: الجامعة الإسلامية بغزة. غزة ، فلسطين: ٢٠١٣.
٤. Abukhettala M استخدام المواد المعاد تدويرها في بناء الطرق. المؤتمر الدولي الثاني للهندسة المدنية والإنشائية والنقل2016 .(ICCSTE'16) ، 6-5مايو ؛ أوتاوا ، كندا: جامعة أوتاوا ؛ ص ١-٨.
٥. Bird NR ، Huang Y. ، Heidrich O. مراجعة لاستخدام مواد النفايات الصلبة المعاد تدويرها في أرصفة الأسفلت. الموارد والحفظ وإعادة التدوير ٢٠٠٧ ؛ ٥٢ (١): ٥٨-٧٣.
٦. Fulton B ، Fulton H.استخدام الزجاج المعاد تدويره في ركام الرصف. المؤتمر الدولي الثالث والعشرون لمجلس أبحاث الطرق الأسترالي. ٢٠٠٨ ، مايو ؛ أديلايد ، أستراليا ؛ ص ١-٨
٧. Anochie-Boateng J ، George Tاستخدام نفايات الزجاج المسحوق لإنتاج الأسفلت الساخن. مواد وتقنيات البناء المستدامة ٢٠١٦.
٨. عيسى ي. تأثير إضافة الزجاج المسحوق إلى الخلطة الإسفلتية. محفوظات الهندسة المدنية ٢٠١٦ ؛ ٦٢ (٢): ٣٥-٤٤
٩. ZT Khadawi TS ، Baker MB ، Abendeh R.تأثير النفايات الزجاجية على خواص الخلطات الخرسانية الإسفلتية. المجلة الأردنية للهندسة المدنية, القدس، ٢٠١٧ ؛ ١١ (١): ١١٧-١٣١.

١٠. Alhassan HM ، Yunusa GH ، Sanusl D.إمكانية استخدام كسارة زجاجية كركام في الأسفلت المزيج الساخن. المجلة النيجيرية للتكنولوجيا ٢٠١٨ ؛ ٣٧ (٢): ٣٣٨-٣٤٥.
١١. Al-Saeedi BJK ، Al-Jameel HAE.الأداء المستدام لدورة قاعدة الأسفلت العراقية باستخدام الزجاج المعاد تدويره كبديل للركام. مجلة جامعة بابل للعلوم الهندسية ٢٠١٨. ٢٦ (٥): ٦٣-٨٠.
١٢. Garber NJ، Hoel LA.هندسة المرور والطرق السريعة- نسخة SI. الطبعة الرابعة. كندا : Cengage Learning ؛ ٢٠٠٩.
١٣.م قاسمي ، ماراندي .SM تحسين أداء البيتومين المطاطي المعدل باستخدام مسحوق الزجاج المعاد تدويره. مجلة علوم جامعة تشجيانغ أ ٢٠١٣ ؛ ١٤ (١١): ٨٠٥-٨١٤.
١٤. Sanij HK ، Meybodi PA ، Hormozaky MA ، Hosseini SH ، Olazar M.تقييم الأداء وحساسية الرطوبة لمزيج الإسفلت الدافئ المحتوي على الزجاج المعدل باستخدام zycotherm TM كمادة مضافة مانعة للتعرية. مواد البناء والتشييد ٢٠١٩ ؛ ١٩٧: ١٨٥-١٩٤.
١٥.نيكولايدس أ. الأرصفة والمواد ومراقبة الجودة. نيويورك: مطبعة لجنة حقوق الطفل ؛ ٢٠١٤. [١٧Hunter RN]، Self A ، Read J ، Hobson E. (2015).دليل قذيفة البيتومين. الطبعة السادسة. لندن :ICE للنشر ؛ ٢٠١٥.
١٦. اموري كاظم، مصطفى(٢٠١٨): تطوير تقنيات مختلفة في التبليط باستخدام مخلفات الزجاج، رسالة ماجستير، قسم الهندسية المدنية، جامعة كربلاء، العراق

17-Anochie-Boateng, J., Denneman, E., O'Connell, J. and Ventura, D. 2010. Hot-mix asphalt testing for the South African pavement design method. Proceedings of 29th Southern Africa transportation conference, Pretoria, pp 111-128.
18-Anochie-Boateng, J., O'Connell, T., Verhaeghe, B., and Myburgh, P. Development of a new asphalt mix design manual for South Africa. In Proceedings, Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa, Sun City, South Africa, August, 2015.
19- ASTM C1252. "Standard Test Methods for Uncompacted Void Content of Fine Aggregate (as Influenced by Particle Shape, Surface Texture, and Grading)," ASTM International, West Conshohocken, PA, 5 pages.
20-Chesner, W. and R. Petrarca. Report on Glass Aggregate Pavement for the Browning Ferris Industries'
21- Merrick Transfer Station Located in Hempstead, New York, August 1987
22-College of Engineering Texas Tech University, (1995). Uses of Glass Cullet in Roadway Construction. ١-١٣٣١Texas, USA: Texas Department of Transportation, pp.16-18.
23-Federal Highway Administration Research and Technology, (n.d.). User Guidelines for Waste and By product Materials in Pavement Construction. www.fhwa.dot.gov
24-Flynn, Larry. "Glasphalt Utilization Dependent on Availability." Roads and Bridges, February 1993.
25-Hughes, C.S. ''Feasibility of using recycled glass in asphalt'', Report No.VTRC 90-R3, Charlottesville,Virginia Transportation Research Council (1990)
26-Nash, P.T., Jayawickrama. P, Tock, R.W., Senadheera, S., Viswanathan, K., Woolverton, B. Use of Glass Cullet. In Roadway Construction: Laboratory Testing and Specification Development. Research Report Number 0-1331-2F, Texas DoT, Texas Tech University, 1995.
27-Recycled Materials Resource Center, (n.d.). Waste Glass - Asphalt Concrete. [online] Available at:http://rmrc.wisc.edu/ug-mat-waste-glass.
28-Recycled Materials Resource Center, (n.d.). Waste Glass - Material Description. [online] Available at: http://rmrc.wisc.edu/ug-mat-waste-glass/

29-SANS 3001-AG20. Civil Engineering Test Methods Part AG20: “Determination of the Bulk Density,Apparent Density and Water Absorption of Aggregate Particles Retained On the 5 Mm Sieve for Road Construction Materials,” Pretoria. www.sabs.co.za
30-SANS 3001-AG21. Civil Engineering Test Methods Part AG21: “Determination of the Bulk Density,Apparent Density and Water Absorption of Aggregate Particles Passing the 5 Mm Sieve for Road
31-Construction Materials,” Pretoria. www.sabs.co.za
32-SANS 3001-AG5. Civil Engineering Test Methods Part AG5: “Sand Equivalent Value of Fine
Aggregates,” Pretoria. www.sabs.co.za
33-Washington State Department of Trade and Economic Development, Glass Feedstock Evaluation Project ,1993

[٢] أستاذ دكتور بكلية التصاميم والفنون التطبيقية . جامعة الطائف . المملكة العربية السعودية . nehalartdr@yahoo.com

[٣] - Professor -Faculty of Design & Applied Art - Al Taif University. - KSA nehalartdr@yahoo.com