استخدام مخلفات الزجاج كبديل للسن والحجر في الخلطة الاسفلتية

Using glass waste as a substitute for sand and stone in the asphalt mixture

ا.م.د/مروة احمد صادق مرسي
استاذ مساعد قسم الخزف والزجاج كلية الفنون التطبيقية -جامعة بدر
Assist.Prof.Dr. Marwa Ahmed Sadiq Morsi
Associate Professor Department of Ceramics and Glass, College of Applied Arts - Badr University
dr.marwa.sadek@gmail.com

الملخص

صـــار البحث في اعادة تدوير منتجات الزجاج امرا ملحا وذلك للكميات الكبيرة المتراكمة من النفايات الزجاجية فالنفايات الزجاجية في الغالب لا تكون وحدها وذلك لدخول الزجاج في كثير من الاجهزة الالكترونية والسـيارات والمنازل وغيرها من المجالات التي تحتاج الي عزل الزجاج اولا ثم نقله الي مصـانع التدوير كذلك لا نجد اهتمام كبير من القمامين بالزجاج وذلك لوجود مواد اخري اكثر فائدة عند بيعها مثل المعادن كالنحاس والحديد والالمونيوم او مواد اســـهل في الجمع مثل المواد البلاستكية لذا نجد ان صناعة تدوير الزجاج في كثير من الدول العربية غير منتشرة بالقدر الذي تنتشر فيه صناعات اعادة تدوير المواد الاخري ،فمع التطور الذي شـهدناه في الاونة الاخيرة زاد الاستهلاك البشري بشكل كبير جدا بحيث لم يعد يقتصر علي الشراء عند الحاجة فقط مما زاد الطلب علي الموارد الارضية المستخدمة كمواد خام في الصناعات بشكل هائل يفوق الاستهلاك الامن لها الامر الذي يؤدي في النهاية الي نضوبها كما ان زيادة الاستهلاك يؤدي الي تراكم النفايات بجميع انواعها بشـــكل كبير جدا مما يؤدي في النهاية الي الاخلال بالنظام البيئي فظهرت الحاجة الي البحث عن مصـــادر جديدة يمكن اسـتخدامها كمواد خام ومن اهم الطرق التي ادت الي توفير هذه المواد الخام هي اعادة التدوير ،فاعادة التدوير هي طريقة تم اللجوء اليها في الاونة الاخيرة للتخفيف من النفايات الصـلبة المتراكمة من مخلفات الزجاج بحيث يتم فرزها الي عدة مجموعات مكونة من مواد متشـابهة في منشـأها، ومن ثم اعادة تصـنيع هذه المواد مرة اخري لاسـتخدامها في التجميل المعماري والارضيات الايبوكسية ومن هنا جاءت مشكلة البحث: مشكلة البحث الحاجة الي توفير المعلومات التي تفيد الباحثين لاهمية اعادة تدوير مخلفات الزجاج والاستفادة منها كبديل للسن والركام في الخلطة الاسفلتية واستخدامها في رصـــف الطرق. هدف البحث التخلص من مخلفات الزجاج واعادة تدويرها لاســتخدامها في رصـــف الطرق وتكســية ارضـــيات العمارة الداخلية في المجتمعات العمرانية الجديدة. فرض البحث يتحقق فرض البحث في تحديد الاعتبارات التكنولوجية لاعادة تدوير مخلفات الزجاج الصلبة والاستفادة منها في رصف الطرق.

الكلمات المفتاحية:
مخلفات الزجاج ، السن والحجر ، رصف الطرق

Abstract:

Research into recycling glass products has become an urgent matter due to the large accumulated quantities of glass waste. Glass waste is often not alone, due to the inclusion of glass in many electronic devices, cars, homes and other areas that need to isolate the glass first and then transport it to recycling factories. Likewise, we do not find There is a great interest among scavengers in glass due to the presence of other materials that are more useful when sold, such as metals such as copper, iron, and aluminum, or materials that are easier to collect,

such as plastic materials. Therefore, we find that the glass recycling industry in many Arab countries is not widespread to the extent that other materials recycling industries are widespread. The development that we have witnessed in recent times has increased human consumption very significantly, to the point that it is no longer limited to purchasing when needed only, which has increased the demand for land resources used as raw materials in industries tremendously, exceeding the safe consumption of them, which ultimately leads to their depletion, and the increase in consumption leads to There is a very large accumulation of waste of all kinds, which ultimately leads to disruption of the environmental system. The need arose to search for new sources that can be used as raw materials. One of the most important methods that led to the provision of these raw materials is recycling. Recycling is a method that has been resorted to recently. The latter is to reduce the accumulated solid waste of glass waste so that it is sorted into several groups consisting of materials similar in origin, and then these materials are recycled again for use in architectural beautification and epoxy flooring, and from here came the research problem: The research problem is the need to provide information that will benefit researchers regarding the importance of recycling glass waste and utilizing it as an alternative to aggregate and aggregate in the asphalt mixture and using it in paving roads.
The goal of the research is to get rid of glass waste and recycle it for use in paving roads and covering the floors of interior architecture in new urban communities.
Research hypothesis: The research hypothesis is achieved in determining the technological considerations for recycling solid glass waste and utilizing it in paving roads.

Keywords :
Glass waste, tooth and stone, road paving

مقدمة :

يعتبر إعادة تدوير مخلفات الزجاج إحدى الركائز الأساسية لعملية الإستدامة والحل الأمثل للتعامل مع هذه المخلفات هي إعادة تدويرها واستخدامها مرة أخرة كمواد أولية أو كمحسنات بحيث يتم الحد من إستنزاف الموارد الطبيعية للمواد الخام ،يركز البحث علي إعادة تدوير منتجات الزجاج فالنفايات الزجاجية في الغالب لا تكون وحدها وذلك لدخول الزجاج في كثير من الأجهزة الالكترونية والسيارات والمنازل وغيرها من المجالات التي تحتاج الي عزل الزجاج أولا ثم نقله الي مصانع التدوير وقد بدأت البحوث في العديد من دول العالم عن إستعمال مخلفات الزجاج بنسب مختلفة في الخلطة الأسفلتية واختيار أفضلها في أعمال إنشاء الطرق كبديل عن الركام في الخلطة الاسفلتية الساخنة مما يجعلها أكثر صلابة ومقاومة الإحتكاك والبري من خلال صناعة جديدة يمكن أن تساهم في تحقيق القيمة النفعية والجمالية لهذه الطرق وبالشكل الذي يضمن عملية إدارة مستدامة للنفايات الزجاجية ،كما أوضح اختبار استخلاص البيتومين ان إستخدام نسبة من الزجاج في الخلطة الاسفلتية يقلل من إستخدام نسبه البيتومين الي ثلث النسبة المستخدمة في الأسفلت العادي نتيجة لان الزجاج ليس له معامل امتصاص مقارنة بالسن والركام ومن هنا جاءت مشكلة البحث الحاجة الي توفير المعلومات التي تفيد الباحثين لأهمية إعادة تدوير مخلفات الزجاج والإستفادة منها كبديل للسن والركام في الخلطة الأسفلتية وإستخدامها في رصف الطرق.

أهمية البحث:

استخدام حبيبات الزجاج كبديل للركام (سن١) و(سن)٢ في الخلطة الأسفلتية لرصف الطرق لما له من قوة تحمل ومقاومته للاحتكاك والبري مقارنة بالأسفلت العادي

هدف البحث

التخلص من مخلفات الزجاج وإعادة تدويرها لإستخدامها في رصف الطرق

إنتاج مواد أسفلتية ذات خصائص محسنة بإستخدام مخلفات الزجاج وإيجاد خصائص متطورة لها تساعدها على الإستدامة وتضيف لها خصائص ميكانيكية مختلفة بإضافه الزجاج

حدود البحث:

حدود مكانية: تم تطبيق البحث علي جزء من مدخل التوسعات الشرقية علي محور ٦ أكتوبر وتم إختبار عينات البحث في المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء (معهد بحوث البناء وضبط الجودة)

فرض البحث

يفترض البحث أنه بتحديد خصـــائص المخلفات الزجاجية وتكنولوجيا إعادة تدويرها يمكن اســـتخدامها كبديل وإضـــافتها للخلطات الاسفلتية لتحسين خصائصها.

الزجاج:

اكتشف الانسان الزجاج وصنعه قبل أن يعرف الكثير عن طبيعته ويعرف الزجاج بأنه منتج غير عضوي ناتج من صهر مواد أو مجموع' من المواد مع بعضها ثم تبريدها الي مادة صلبة بدون بلورة أي أن الزجاج مادة غير متبللورة ويوصف بأنه مادة شفافة لها العديد من الخواص مثل الصلابة والقوة والشفافية والصلادة والقدرة علي تحمل الظروف البيئية وقوة الثبات فالزجاج يعتبر من أهم الانتصارات البشرية منذ فجر التاريخ وعلي مر العصور أمكن تطويره وتحسين خواصه ففى حالته المنصهره يمكن تلوينه وتشكيله في قوالب وبعد ذلك يمكن إعادة تجميل سطحه عن طريق الحفر أو القطع أو التلوين ويعد الزجاج من الخامات التي يمكن اعادة تدويره حيث يتم تجهيزه وطحنه وصهره في خلطات جديدة لإنتاج عدد لا حصر له من الزجاجات والعبوات الجديدة ووحدات الاضاءة البسيطة الصنع دون ظهور اي عيوب ظاهرة في المنتج كما أن إعادة تصنيع الزجاج وتحويله الي منتج جديد يوفر الكثير من الطاقة حيث ان معدل الحرارة المستخدمة في صهر الزجاج واعادة تصنيعه اقل بكثير من الطاقة المستخدمة في تصنيع المادة الخام وقد تم إكتشاف إستخدامات جديدة للزجاج المعاد تدويره عن طريق الصهر كما يمكن اضافته الي الخلطات الجديدة بنسبه لا تزيد عن ٢٥ % وذلك لضمان تجانس الخلطه وعدم ظهور عيوب في المنتج الزجاجي ويمكن طحنها بنسب محددة لإستخدامه في مواد الإنشاء والرصف وعمل البلاطات الفنية المعمارية الداخلية وبدأت البحوث في استعمال مخلفات الزجاج في الخلطات الأسفلتية منذ عام ١٩٦٠م وتم رصف الكثير من الشوارع في الطبقة السطحية للطرق في نيويورك وكان التخوف من إستعمال الزجاج في الخلطة الاسفلتية لحدوث عدم ترابط حبيبات الزجاج مع أجزاء الخلطة أو حدوث إنعكاس ضوئئ light reflection أوالانزلاق skid resistance أو نفاذية الماء water permeability ولكن بعد كثير من التجارب ثبت أنه يمكن تغيير نسب الزجاج

في الخلطة الكلية واستعمال تدرج أقل من ربع إنش وحتي المار من منخل ٢٠٠ لا توجد مشاكل وتم إجراء كافة التحاليل من إختبار مارشال وإختبار النفاذية ونسبة الفراغات ومقاومة الإنزلاق وكانت النتائج جيدة كما أنه يقلل التكلفة اقتصاديا

المواد الداخلة في صناعة الزجاج :

يتكون الزجاج بخلط مجموعة من المواد الأساسية وهي الرمل والصودا آش والحجر الجيري بالاضافة الي مواد اخري مثل الدولوميت والجبس والفلسبار والبوراكس وكربونات الباريوم وغيرها ،ويعتتبر الرمل المصدر الأساسي لثاني أكسيد السيليكون Sio2 والمكون الأساسي للزجاج العادي حيث يحتوي الزجاج العادي علي حوالي (٧٠ -٧٥%) ثاني اكسيد السيلكون ومن الممكن عمل زجاج يحتوي فقط علي الرمال بالكامل الا أن هذا الزجاج يحتاج إلي درجة حرارة عالية حتي يمكن تشكيله وهي درجة حرارة عالية جدا بالنسبة للحراريات التي تستخدم في الأفران المنتجة للزجاج وكذلك المصهور الناتج من صهر الرمال بمفردها من الصعب تشكيله بالطرق المتاحة وتوجد الرمال في مصر موزعة علي مساخات شاسعة فجميع الصحاري من شبه جزيرة سيناء الي مرسي مطروح والصحراء الشرقية والغربية تحتوي علي رمال غالبا ما تصلح لصناعة الزجاج وتوجد السيليكا في الطبيعة علي **عدة صور منها** :

الصورة المتبللورة:وهي عبارة عن معدن الكوارتز الذي يختلف في طبيعته حسب ظروف تكوينه .

الصورة المفككة:وتكون حبيبات الرمل مفككة وغير متماسكة يتراوح قطرها من ٢ مم الي ١٦/١ مم ومن هذه الصورة الرمال وتستخدم في صناعة الزجاج

الصورة الكتلية:تكون السيليكا في صورة كتل من حبيبات الرمال متماسكة مع بعضها البعض بواسطة مادة طبيعية لاصقة مكونة ما يسمي بالصخر الرملي حيث يتوقف لون الصخر علي لون المادة اللاصقة .

وللرمال المستخدمة في صناعة الزجاج خواص كيميائية معينة فلابد أن تكون علي درجة عالية من النقاوة بمعني أنها تحتوي علي نسبة عالية من السيليكا Sio2 وأقل نسبة من أكاسيد الحديد والألمونيوم والشوائب الأخري وكذلك يجب أن يكون حجم الحبيبات مناسبا حيث أن صغر حجم الحبيبات يساعد علي ظهور عيوب من الفقاعات الصغيرة جدا في الزجاج المنتج أما كبر حجم الحبيبات فيحتاج لدرجة حرارة أعلي في الانصهار ويقلل من فرصه تجانس الخلطة داخل الأفران. [1]

٢-الصودا أش (كربونات الصوديوم) Na2co3:

تمثل كربونات الصوديوم المكون الرئيسي الثاني في الخلطة الزجاجية وتعتبر المصدر الأول لانتاج أكسيد الصوديوم وهو الذي يقلل من درجة انصهار الخلطة كما يقلل من لزوجة المصهور والمقاومة الكيميائية للمنتج وغالبا ما توجد علي هيئة ثلاثة أنواع فمنها الخفيفة جدا والخفيفة والثقيلة وتصنع في مصر بطريقة سلفاي من كاوريد الصوديوم والأمونيا والحجر الجيري وتستخدم للحصول علي كربونات الصوديوم Na2co3 اذي يدخل كأكسيد Na2o بنسبة تصل الي ١٥ % من وزن الخلطة الزجاجية.

٣- الحجر الجيري (كربونات الكالسيوم) CaCo3:

هو حجر صخري متواجد بمنطقة سمالوط بمحافظة المنيا والمصدر الرئيسى لأكسيد الكالسيوم الذي يرفع من مقاومة الزجاج والملونات الكيميائية بالاضافة الي أنه عامل مثبت ويعد الحجر الجيري المصري من أنقي الانواع المستخدمة.

٤-الدولوميت (كربونات الكالسيوم والماغنسيوم) MgCo3-CaCo3

ويمثل الدولوميت المصدر الرئيسى لأكسيد الماغنسيوم ويوجد في مصر في أماكن كثيرة في الصحراء الشرقية وهو المادة الخام لأكسيد الماغنسيوم في الزجاج وتحتوي علي نسبة لا تقل عن ٢١ % من أكسيد الماغنسيوم و٣١% من كربونات الكالسيوم .

٥-الفلسبار Na – K-Ca

يعد من ارخص المصادر للحصول علي أكسيد الألمونيوم كما يعد مصدرا لاكسيد السيليكون وأكسيد البوتاسيوم وأكسيد الصوديوم ويضاف الفلسبار الي الخلطة ليحل محل جزيئات أكسيد الالمونيوم ليزيد من المقاومة الكيميائية ويقلل معامل التمدد .

أنواع الزجاج :

١- زجاج الجير الصودي : Soda Lime Glass

هو أكثر الأنواع شيوعا وإنتشارا في العالم حيث أن أكثر من ٩٠% من الزجاج المنتج هو زجاج جير صودي وينتج منه زجاج العبوات بأنواعها وألوانها المختلفة والأدوات المنزلية المتعددة والزجاج المسطح وكذلك زجاج السيارات والمباني وغيرها من الإستخدامات الأخري ،وهذا النوع من الزجاج ينتج بصهر مجموعة من المواد الخام مع بعضها في أفران خاصة ثم تشكيله وتبريده لينتج بالصورة المطلوبة وهذا النوع من الزجاج يحتوي علي ٧٠: ٧٥ % سيليكا ،١٣ :١٦ % أكسيد صوديوم ،١٠ :١٣ % أكسيد كالسيوم وحوالي ١ % أكسيد ألمونيوم ويمكن انتاجه ملونا باضافة مواد ملونة في مراحل التصنيع ويمكن اجراء بعض عمليات الزخرفة علي الزجاج المنتج ،ومن خواص هذا النوع من الزجاج أن له خواص ميكانيكية وكيميائية معقولة وبالتالي يصنع منه العبوات التي تحفظ بها العديد من المواد والأدوية والكيماويات وتزيد المقاومة الميكانيكية بزيادة نسبة أكسيد الألمونيوم في التركيب الكيميائي له أما المقاومة الكيميائية فتزيد بزيادة نسبة أكسيد الكالسيوم والماغنسيوم وتقليل نسبة أكسيد الصوديوم في الزجاج.

٢- زجاج الرصاص السيليكاتي :Lead Glass

وهو زجاج يحتوي علي أكسيد الرصاص بالأضافة الي السيليكا ويمكن ادخال الرصاص في الزجاج بنسبة تصل الي ٨٠ % من تركيب الزجاج ومن خواص أكسيد الرصاص يعمل علي زيادة كثافة الزجاج المنتج كما أن له خواص ضوئية حيث يعمل علي انكسار في الضوء الساقط عليه وتشتيته مما يعطي للزجاج خواص ضوئية ممتازة .ويستخدم هذا النوع في صناعة شاشات التليفزيون وكذلك في بعض الادوات المنزلية وعمل زجاج الكريستال لما له من خواص ضوئية جيدة كما يستخدم في لحام بعض المعادن لما له من تمدد حراري كبير.

٣-زجاج البوروسيليكات :Borosilicate Glass

ويحتوي علي أكسيد البورون بنسبة تتراوح من ١٥ : ٢٨ %حسب الغرض المستخدم والجزء الباقي من التركيب عبارة عن سيليكا ويتميز هذا النوع من الزجاج بأن له معامل تمدد حراري منخفض ومقاومة عالية للصدمات.

٤-الزجاج الالومينى :

ويحتوى علي أكسيد الألمونيوم بنسبة تصل الي ١٢ % بجانب أكسيد ووجود الأمونيا يحسن من خواص الزجاج الميكانيكية والكيميائية والكهربية كما أن وجود الألمونيوم في تركيب الزجاج لا يزيد من معامل التمدد الحراري ولكن

يعيب هذا النوع من الزجاج أنه يحتاج الي درجات حرارة عالية في الصـــهر أثناء مرحلة التصـــنيع الا أن له أهمية في صناعة الترمومترات وكذلك الصناعات الكهربية.

خواص الزجاج:

يعتبر الزجاج من أكثر المواد تنوعاً من ناحية الخواص الطبيعية والكيميائية فالزجاج ليس مادة واحدة تصنع منها المنتجات المختلفة بل هو عدد من المواد المختلفة التي يتباين فيها الخواص الطبيعية والكيميائية،قد يكون الإختلاف بين أنواع الزجاج محدوداً وجوهريا،ويبدأ هذا الإختلاف في أن الزجاج ليس له تركيب كيميائي محدد وثابت.(٣ ص١٤)

١-الخواص الطبيعية للزجاج:

يقصـد بالشـفافية للزجاج هي قدرته علي إنعكاس الضـوء في منطقة الضـوء المرئي وهي ما بين (٣٩٠ : ٧٧٠) نانوميتر سـم،وتعد هذل الخاصـية من أشـهروأهم خواص الزجاج وأكثر فائدة في كثير من المجالات المتنوعة في الزجاج، وهذل الخاصية تميزل عن المواد الأخري ومما هو جدير بالذكر أنه يمكن التحكم في درجة شفافيته وذلك بالحصول علي درجات مختلفة من الشفافية .

اللزوجة : تتوقف الحالة الزجاجية علي خاصـية اللزوجة فضـلا علي أنها تتحكم في توليد الغازات والفقاقيع من الزجاج المصهور وتعتمد عمليات تشغيل الزجاج العادية مثل النفخ والضغط والسحب والدرفلة علي
اللزوجة أما مشكلة الأجهاد والتخلص منه فهي تتعلق مباشرة باللزوجة .

الليونة:هي خاصية ثابتة وتعرف درجة حرارة الليونة بأنها الدرجة التي عندهايلين الزجاج بمعدل معين، وهي خاصية ثابتة للزجاج وتعرف بنقطة التمددالحراري للزجاج.**(الصفتي ١٤٣)**

٢-الخواص الكيميائية للزجاج :

المقاومة الكيميائية للزجاج: Chemical Durability

بأنها المقاومة التي يبديها سطح الزجاج للعوامل الجوية والمحاليل المختلفة، ويعتبر الزجاج مادة خاملة كيميائيا حيث يعتبر الزجاج من أكثر المواد ثباتا مع الكثير المحاليل المائية مما يجعل الزجاج له أهمية كبري في كثير الإستخدامات في تعبئة المواد الغذائية والأدوية وغيرها من أنواع الزجاج التي يمكن استخدامها في رصف الطرق ،وتبرز أهمية هذه الخاصية في عدم تغير أسطح بعض انواع الزجاج المستخدم في الارضيات وعدم تفاعله مع المياه والامطار والغازات ومقاومته للاحتكاك والبري.ويوضح جدول رقم (١) التركيب الكيميائي لبعض أنواع من الزجاج

Mineral	Soda Lime Glass	Lead Glass	Borosilicate Glass	Electric Glass
SiO2	70-75%	54-65%	70–80%	52–56%
Na2O +K2O	13-16%	13-15%	4-8%	0-2%
Cao	10-15%	-	-	16-25%

Al2O3	1%	-	7%	12-16%
B2O3	-	-	7-15%	0-10%
pbo	-	20-30%	-	-

جدول رقم (١) التركيب الكيميائي لبعض انواع من الزجاج

3-الخواص الميكانيكية للزجاج :

١-الصلابة Hardness

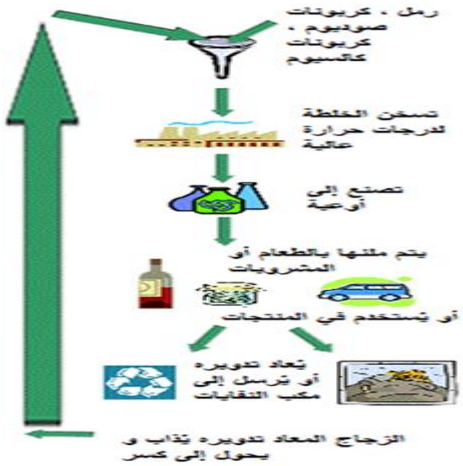
وتعرف بأنها قدرة مقاومة الزجاج لعوامل الزمن والاحتكاك حيث يتطلب الامر الحصـــول علي مواد تكون اصـــلد من الزجاج كي تخشـنه وتؤثر في سـطحه ومن تلك المواد الماس والتي تبلغ صـلادتها (١٠) وهي اعلي من صـلادة الزجاج الاملس وتتراوح صلادة الزجاج من ٥ :٧ من درجات الصلادة العشرة (الصفتي ص ١٤٢)

٢- المرونة : Elasticity

تزداد مرونة الزجاج بارتفاع درجة الحرارة وعند درجة الحرارة العادية اذا تعرض الزجاج للضـــغط فانه يبدو كأنه مادة مرنة صلبة ويتراوح معامل مرونة الزجاج من ٦٥ :١٢٥ رطل /بوصة مربعة وتحسب مرونة الزجاج علي اساس معامل المرونة ليونج

اعادة التدوير :

يعد اعادة تدوير النفايات احدي الركائز الاساسية لعملية الاستدامة فالصناعات التي تخدم الانسان سواء كانت معدنية أو زجاجية فهي في نهاية الأمر سوف تتحول الي نفايات يجب التخلص منها والحل الامثل هو اعادة تدويرها واستخدامها مرة اخري كمواد أولية ومن هذه النفايات الزجاج الذي يستخدم علي نطاق واسع في مجالات كثيرة ويعتبر التخلص منه مشكلة بيئية لانه غير قابل للتحلل ،يمكن ان يشـكل اعادة التدوير حل مشـكلة البطالة وخلق وابداع تكنولوجيا لصـناعة منتجات جديدة آمنة والاستثمار في هذه الصناعة يمثل قيمة مضافة للناتج القومي ولكن لو أحسن استغلال هذا الاستثمار وفق تخطيط جيد وتطبيق الأبحاث المتعلقة والعمل علي تطوير هذه الصناعة وتحسين أوضاع العمليات البدائية الخاصة بالجمع والفرز ودفع المجتمع من خلال وسـائل الاعلام المختلفة عن مخاطر ترك النفايات واثارها السـلبية علي صـحة الانسـان وتعظيم دور الشباب في بناء مجتماعتهم الصحية والآمنه من خلال تطبيق تكنولوجيا اعادة التدوير.



شكل رقم (١) اعاده تدوير الزجاج

المفهوم العلمي للتدوير:

التدوير له اكثر من تعريف حيث يتوقف تعريفه علي نوع العملية التي ســـتجري علي المادة المراد تدويرها وكذلك علي طبيعة هذه المادة نفســها وعموما اجمع المتخصــصــون علي ان التدوير هو العملية التي ينشــأ عنها اعادة اســتخدام المادة وتحويلها مرة اخري الي شــبه مكوناتها الاولية اســتعدادا لاعادة تصــنيعها لمنتجات ذات نفس الطبيعة تقريبا ولكن لغرض اســتخدامات اخري غير ما كانت عليه ســابقا او لتصــنيع منتجات اخري جديدة ،أو هو عملية اعادة تصــنيع واســتخدام المخلفات سواء المنزلية ,الزراعية ،الصناعية وذلك للتخلص من اثار هذه المخلفات علي البيئة .(اكاديمية ص١٢)

وهناك اسباب رئيسية تجعلنا نلجأ لهذه التكنولوجيا المتقدمة من أجل تطبيقها علي مستوي الدول وايضا علي مستوي العالم منها:

الحفاظ علي الموارد الطبيعية :

تنوع الانتاج مع زيادة عدد السكان واحتياجاتهم المتنوعة بما يواكب التطور والنهضة التي يعيش فيها الانسان كان له الاثر الســيئ الكبير علي مخزون الموارد الطبيعية لكوكب الارض بدءا من الاخشـــاب الي المعادن والثروات المائية والطبيعية فالتدوير يعمل علي الحد من تسارع استنفاذ تلك الموارد.

ترشيد الطاقة :

تستهلك عمليات الانتاج كما كبيرا من الطاقة التي ينعكس تأثيرها السلبي بصورة مباشرة علي الناتج القومي للبلاد ،تعتبر صناعة الزجاج من الصناعات المستهلكة للطاقة بشكل كبير حيث تصل درجة الحرارة الي ١٦٠٠ درجة مئوية اما تدوير الزجاج يحتاج الي درجة حرارة اقل بكثير .

الحد من التلوث :

تســتهلك عمليات الانتاج كما كبيرا من الطاقة مما يؤدي الي انبعاث كثير من الأدخنة الضــارة وملوثات البيئة الي الارض وهي أحد الأسـباب الرئيسـية لظاهرة الاحتباس الحراري وخصـوصـا الناتجة من عمليات التصـنيع لذلك نري ان عمليات اعادة التدوير وعلي الرغم من احتياجاتها أيضا للطاقة الا ان معدل التلوث عنها لا يقارن بعمليات الانتاج المستهلكة للطاقة الكثيفة.

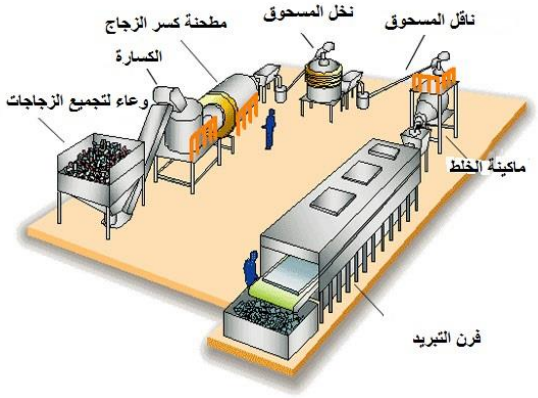
تقليص الامتلاء:

تصاعد المستوي الكمي للنفايات علي مستوي العالم ككل وتمدد تلك النفايات علي مساحات شاسعة من سطح الارض يشكل عاملا مدمرا للبيئة المحيطة مما يؤثر علي الحياة الطبيعية للكائنات واضـــطراب في التوازن الطبيعي المطلوب بما فيهم الانســـان فالتدوير يعمل علي تقليص هذا الكم المتزايد وتنظيف هذه المســـاحات من التلوث وزيادة المســـاحات الخضـــراء لتجديد حيويتها.

تدوير مخلفات الزجاج :

اعادة التدوير موجود منذ القدم في الطبيعة ،والمقصــود باعادة التدوير هو اعادة اســتخدام المخلفات لانتاج منتجات اخري أقل جودة من المنتج الاصـــلي ،فهي عملية تحويل نفايات الزجاج الي منتجات قابلة للاســـتخدام فيجب فصـــل النفايات

الزجاجية علي أساس التركيب الكيميائي وبعد ذلك يتم فصلها الي ألوان مختلفة وذلك اعتمادا علي الاستخدام النهائي وعلي قدرات المعالجة المحلية فالعديد من شـــركات تدوير النفايات تجمع الزجاج علي أســـاس اللون لانه يحتفظ بلونه بعد اعادة التدوير.



شكل رقم (٢) مراحل تدوير الزجاج

يمكن اعادة اسـتخدام بعض الاوعية والعبوات الزجاجية لحفظ الطعام فالزجاج لا يؤثر علي المواد الغذائية المخزنة فيه ولا يتأثر بها لكن يجب أولا تنظيف تلك العبوات المحتوية علي مواد كيميائية ســـابقا ،القيام باعادة تدوير الزجاج و وصـــهره وتشكيله مرة أخري وتتطلب هذه العملية الأيدي العاملة الماهرة لاعادة تشكيل هذا الزجاج ليصبح مشغولات زجاجية ذات قيمة عالية.

شكل رقم (٣) مخلفات الزجاج من الزجاجات الفارغة

ويشكل الزجاج عنصراً كبيراً من النفايات المنزلية والصناعية بسبب وزنه وكثافته وان الزجاج الموجود في اماكن تجميع النفايات المحلية مكون من القوارير الزجاجية والاواني الزجاجية المكســـورة والمصـــابيح الكهربية لصـــناعة الادوات الزجاجية ويستخدم اعادة تدوير الزجاج طاقة اقل من الطاقة المستخدمة في تصنيع الزجاج من الرمل والصودا والجير.

شكل رقم (٤) المخلفات الزجاجية قبل وبعد عملية الفرز

مخلفات الزجاج الناتجة سنويا :

تعتبر مشـكلة المخلفات والتلوث من أهم المشـكلات التي تواجه المجتمع مما لها من أضـرار تعود بالسـلب علي مجتمعنا ،فيجب علي الباحثين الاهتمام بها ومحاولة ايجاد حلول وبدائل للحد من هذه المشـكلة ،واصـبحت مشـكلة المخلفات من أهم متطلبات الدول المتقدمة وايضـــا الدول النامية ومن أهم المزايا التي توفرها حل هذه المشـــكلة هي الاقلال من المخلفات البيئية وتوفير فرص عمل والحفاظ علي البيئة من التلوث الناتج عن حرق المزيد من الوقود في الصـــناعة وتحمي الموارد الطبيعية

دراسة عن كيفية الحصول علي مخلفات الزجاج ومعالجتها :

تعتمد طرق جمع مخلفات الزجاج علي عدة مصادر أهمها :

1. الاتفاق مع شركات النظافة علي توريد مخلفات الزجاج من العبوات الزجاجية والزجاج الكسر بعقود سنوية.
2. الاتفاق مع الفنادق والمستشفيات والمدن الجامعية علي توريد الفوارغ وكسر الزجاج يومياً.
3. الاتفاق مع شركات الأغذية والأدوية والمشروبات الغازية علي شراء المستهلك والكسر منهم بعقود سنوية ونقل الكسر يومياً من مصادره.

الأسفلت asphalt

يعتبر الأسـفلت احد المواد الاسـاسـية المسـتخدمة في رصـف الطرق ويتكون الأسـفلت طبقا لتعريف الجمعية الأمريكية لاختبار المواد (ASTM) من مواد هيدروكربونية ناتج تكرير وتصـنيع زيت البترول الخام وهو عبارة عن مادة سـوداء اللون له لزوجة عالية ويكون ارتفاع الأسفلت علي الطريق بالنسبة للطرق السريعة والمحورية فانها تتكون من طبقة سطح أسفلتي بسمك ٥ سم وطبقة أساس أسفلتي بسمك ٢٠ سم وطبقة أساس حصوي بسمك ٣٠ سم وطبقة قاعدة ترابية بسمك ٣٠ سـم وتتم عملية رصـف الطرق باسـتخدام المعدات الميكانيكية الحديثة بحيث تكون أعمال الرصـف طبقاً للمواصـفات القياسية للكود المصري لرصف الطرق.

البيتومين bitumen

عبارة عن ماده لاصقة ذات لون اسود أو معتم وتكون علي حالة صلبة أو نصف صلبة أو لزجة وتنتج طبيعيا او صناعيا وتتكون من هيدروكربونات ذات وزن جزئئ عال.

كيف يتم تصـنيع البيتومين : يتم انتاج البيتومين الصـافي صـناعيا من الزيوت الخام التي يتم اولا اسـتخدام الكسـور الخفيفة منها والجزء المتبقي يتكون من الزيوت اللزجة يتم فصل البيتومين من الصلابة المطلوبة

.

الخلطة الإسفلتية

الخلطة الإسفلتية عبارة عن كتلة متماسكة من الركام المتدرج المغلف بالأسفلت العادي أو المعدل، تتخللها فراغات هوائية، تستعمل في رصف أسطح الطرق والمطارات والساحات الصناعية والميادين ويشكل الركام عناصر الهيكل الإنشائي للخلطة أما الأسفلت فيربط العناصر ببعضها وتتطلب تصميم الخلطة الأسفلتية تحديد نوع ونسب وخواص المواد الداخلة في تركيب الخلطة الإسفلتية وطرق اختبارها للتأكد من تحقيق الخلطة ومكوناتها للمواصفات التعاقدية وقدرتها على الأداء تحت ظروف التشغيل المتوقعة.

متطلبات الخلطة للزجاج الأسفلتي :

١. **الثبات هو** القدرة على مقاومة التشوه الناتج عن الأحمال المرورية والبيئية.

٢. **المرونة** هي القدرة على التجاوب مع القوى المؤثرة دون أن تتكسر.

٣. **المتانة** القدرة على مقاومة العوامل البيئية وثبات الخواص مع مرور الزمن.

٤. **قابلية التشغيل** سهولة تشكيل وإعادة تشكيل الخلطة أثناء الرصف بحيث يتمشى سطحها مع الخطوط التصميمية دون أن تتفكك أو تتشقق أو يتشوه سطحها أو تنفصل مكوناتها.

5. **قابلية الدك** سهولة دك الخلطة للحصول على الكثافة المطلوبة أثناء التنفيذ دون إلحاق الضرر بالخلطة أو مكوناتها

مراحل التصميم: يمر تصميم الخلطات الإسفلتية، بعدة مراحل أهمها:

المرحلة الأولى – اختيار المواد الداخلة في تركيب الخلطة: ركام، إسفلت، مضافات و محسنات.

المرحلة الثانية – أخذ عدد كافي من العينات الممثلة من جميع المواد وفحصـــها للتحقق من مطابقة المواد المختارة للمواصفات وإمكانية دمج الركام للحصول على التدرج المطلوب.

المرحلة الثالثة – خلط الركام مع نسـب متباينة من الرابط الإسـفلتي وحسـاب الخواص الحجمية وفحص مؤشـرات القوة وعرضها بيانياً لاختيار النسبة المثلى للرابط الإسفلتي.

المرحلة الرابعة – إعداد خلطة عند النسبة المثلى للرابط الإسفلتي و التحقق من مطابقتها للمواصفات.

المرحلة الخامسة – تنفيذ مقطع تجريبي للتأكد من إمكانية إنتاج الخلطة بالخلاطة وإمكانية فردها ودكها حسب المواصفات دون إتلافها.

المرحلة السادسة – إجازة الخلطة.

التجارب المعملية لأنتاج الزجاج الأسفلتي :

تم اسـتخدام الزجاج المصـنع محليا من مخلفات المصـانع (زجاج عبوات – زجاج مسـطح) واسـتبداله بالركام (سـن)١ و(سن)٢ في الخلطة الأسفلتية حيث يتم تدوير مخلفات الزجاج (حبيبات الزجاج) بالصدمة الميانيكية من خلال طحن الواح او كتل الزجاج في مطاحن خاصـة ثم تنقي من الشـوائب او بالصـدمة الحرارية بإعادة صـهرها مرة أخري وصـبها بعد الصـهر مباشـرة علي حمام مائي مفاجئ مما يحدث صـدمة مفاجئة للمصـهور الزجاجي فيتحول الي كتل زجاجية مختلفة الأحجام تؤخذ هذه الكتل ويتم تكسيرها داخل كسارات خاصة متصلة بمناخل متدرجة الاتساع تتراوح ما بين ٢ مم الي ٤ مم وبعد ذلك يتم نخلها للتخلص من البودرة الزجاجية الناتجة من عملية التكسير مع مراعاه أن يتم تكسير كل لون وتشوينه في عبوات خاصة لحين الحاجة اليه .

الخامات المستخدمة :

أ-زجاج شفاف ناتج مخلفات المصانع يتراوح سمكه من ٢ مم الي ٤ مم

تم استخدام كسر الزجاج بنسب مختلفة في الخلطة الاسفلتية واجراء التجارب المعملية عليها لتحديد انسبها والحصول علي افضل نتائج لقوالب التصميم بطريقة مارشال لتصميم الخلطات الاسفلتية الساخنة

شكل رقم (٥) الزجاج المجروش المستخدم

ب- الركام aggregate

يقصد بالركام المواد الصلبة (mineral materials) مثل الرمل والزلط وكسر الأحجار ويستخدم معه وسيط رابط (binder) مثل البيتومين لتكوين خلطات مركبة مثل الخلطات الخرسانية الأسفلتية ويشكل الركام الهيكل الإنشائي للخلطة الإسفلتية ويكون ما يقارب ٩٥% من وزنها و 85% من حجمها. لذلك فإن خواصه تؤثر تأثيراً مباشراً على الأداء تشمل خواص الركام الصلابة ومقاومة التكسر والتفتت أثناء الخلط و النقل والدك والخدمة قد نقوم باستبدال نسبة من الركام بكسر الزجاج في التجارب موضوع البحث ويمكن أن يكون الركام خشن او ناعم وتكون نسبته في المخلوط الأسفلتي من (٩٢: ٩٦%) والركام عبارة عن أحجار جراتينية وردية اللون الاسم التجاري لها سن١ و سن٢ وهي تنقسم طبقا للحجم الي نوعين اساسيين هما ركام غليظ تحجز علي المنخل رقم ٤(٤,٧٥) مم (p4 Hamid)وركام رفيع تمر من المنخل رقم ٤ (٤,٧٥) ويجب أن تكون جيدة الالتصاق بالاسفلت وأن تكون حبيبات الركام نظيفة من الأحجار الطبيعية حاد الزوايا ولا تتجاوز المادة المفلطحة او ذات الاستطالة عن نسبة ١٠ % ويتم اجراء اختبار نسبة الالتصاق بالاسفلت والتاكد من عدم تفتتها عن ٥ %بعد الغمر في الماء لمدة ٢٤ ساعة

شكل رقم (٦) الركام المستخدم في التجارب

ج -رمل طبيعي Sand

يجب أن يكون الرمل جيد التدرج نظيفاً خالي من المواد الطينية والشوائب لما لها من تأثير ضار علي أداء وتكلفة الخلطة الأسفلتية عندما تكون متواجدة فيها بكميات زائدة غير مرغوب فيها وهي الحبيبات والحصوات الصخرية ذات متوسط قطر يتراوح بين ٤,٧٥ ميكرون وتقسم الي رمال غليظة تمر من منخل ٤,٧٥ وتحجز علي منخل ٢ مللي ورمال متوسطة بين ٢ مم : ٤,٢٦ ميكرون ورمال ناعمة بين ٤,٢٥ : ٧٥ ميكرون ويمكن الزجاج المطحون الاصغر من ٢مم كبديل للرمل خاصة انه يتكون بشكل اساسي من السليكا ويعمل علي تماسك الخلطة الاسفلتية

شكل رقم (٧) الرمال المستخدمة في الخلطة الأسفلتية

د- بودرة حجر جيري :

وهي ناتج كسر الأحجار ويجب أن تكون عديمة اللدونة خالية من المواد الضاره والشوائب

شكل رقم (٨) الحجر الجيري

ه- الرابط الاسفلتي (اسفلت صلب ٦٠ – ٧٠):

هو مادة طبيعية من كربون مائي صلب أو لين يتم تسخينه عند استخدامه وهو يحتوي علي نسبة بسيطة من المواد المتطايرة وتم اختيار هذا النوع من الأسفلت لانه يتميز بان له خاصية تماسك عظيمة بمكونات الخلطة الأسفلتية

الأجهزة المستخدمة في فحص الخامات قبل الاستخدام :

جهاز التدرج للمواد الصلبة ويستخدم لعمل التحليل المنخلي لعينات الركام – البودرة – الرمل المستخدمة في عمل العينات موضوع البحث

شكل رقم (٩) جهاز التحليل المنخلي

جهاز لوس انجلوس:

يستخدم لاختبار الصلابة لعينات الركام المستخدمة ، يعتبر اختبار التآكل طريقة اختبار شائعة يتم استخدامها للأشارة الي خصائص الصلابة والتآكل الاجمالية للركام الخشن ومؤشر جيد لتغيير خصائص الركام من نفس المصدر كجزء من عملية مراقبة جودة الركام المستخدم ،تعتبر خصائص التاكل مهمه لان الركام المستخدم في مشاريع الطرق والمشاريع الانشائية لابد أن يكون مقاوما لعمليات التهشيم والتفكك لانتاج خلطات أسفلتية عالية الجودة .

شكل رقم (١٠) جهاز لوس انجلوس

- الاجهزه المستخدمة في عمل التجارب :

فرن كهربائي: يستخدم لتسخين الأسفلت الصلب الي درجة حراره ١٥٠ درجة مئوية وتجفيف مكونات الخلطة الأسفلتية

جهاز دمك قوالب الخلطة الاسفلتية: يستخدم لدمك القوالب بعد خروج مكونات الخلطة الاسفلتية من الفرن لتتماسك مع بعضها البعض ثم يقوم الجهاز بدكها ٧٥ لفة لتأخذ شكل القالب الحديدي

- التجارب المعملية لدراسة تقييم الخلطات الاسفلتية المستخدم فيها كسر الزجاج بنسب مختلفة لتحديد أنسبها لتصميم خلطات أسفلتية ساخنة للطبقة السطحية من النوع ٤ ج:

بعد فحص الخامات المستخدمة في الخلطة الأسفلتية واجراء الأختبارات القياسية عليها طبقا لمواصفات الكودالمصري للتاكد من صلاحيتها للاستخدام في رصف الطرق تم عمل (٧) تجارب باستبدال جزء من الركام بنسبة من الزجاج المعاد تدويره المستخدم في الخلطة الأسفلتية وتحديد نوع الكسر المستخدم في كل تجربة

مكونات الخلطة	التجربة١	التجربة(٢)	التجربة(٣)	التجربة(٤)	التجربة(٥)	التجربة(٦)	التجربة (٧)
نوع الزجاج المستخدم	كسر زجاج مسطح	كسر عبوات زجاجية	كسر عبوات زجاجية	كسر زجاج مسطح	كسر زجاج مسطح	كسر زجاج مسطح	كسر عبوات زجاجية
زجاج (سن١)	٥٥%	٥٠	٤٥	٣٥	٣٠	٢٥	٢٠
سن٢	١٨,٥%	٢٣,٥	٢٧,٥	٢٧	٢٧,٥	٣٠	٣٣
رمل	١٤,٩%	١٤,٩	١٠,٩	٢١,٤	٢٥,٩	٢٤,٨	٣٠,٤
بودرة	١١%	١١	١١	١١	١١	١١	١١
اسفلت	٥,٦%	٥,٦	٥,٦	٥,٦	٥,٦	٥,٦	٥,٦
اختبار الثبات ٧٠٠-٩٠٠	٣٧١	٣٧٨	٥٥٠	٨٠٠	٨٥٠	٩٤٠	٩٧٠
الانسياب ٨-١٦	٢٤	٢٢	٢٠	١٦	١٠	٩	٩
مناقشة النتائج	فشلت هذه التجربة نظرا لزيادة كسر الزجاج	فشلت التجربة نظرا لزيادة كمية الكسر المستخدم	ممكن استخدامها في رصف الاحمال المرورية الخفيفة	تم الحصول علي زجاج اسفلتي يصلح للاستخدم في رصف الطرق	تم الحصول علي زجاج اسفلتي يصلح للاستخدم في رصف الطرق	تم الحصول علي زجاج اسفلتي يصلح للاستخدام في رصف الطرق	تم الحصول علي زجاج اسفلتي يصلح للاستخام في رصف الطرق

جدول رقم (٢) التجارب موضوع البحث

خطوات التجربة الاولي : تم استبدال كسر الزجاج بدلا من سن ١

١-يتم وزن مكونات الخلطة الاسفلتية (زجاج ٥٥ % -سن ١ ١٨,٥ %-بودرة ١١%– رمل ١٤,٩ %) في طبق حديدي موضوع علي ميزان حساس ليصبح وزن القالب ١٢٠٠ جم

شكل رقم (١١) وزن مكونات الخلطة الاسفلتية

٢- يوضع مكونات الخلطة الاسفلتية (الطبق الحديدي) في الفرن الكهربائي في درجة حرارة من ١٣٥ الي ١٥٠ م لتسخين محتوياته وتجفيف مكونات الخلطة الاسفلتية لضمان التصاقها مع البيتومين.

٣-يتم وضع الاسفلت الصلب (البيتومين) في الفرن الكهربائي عند درجة حرارة ١٥٠ م

٤-اخراج الطبق الحديدي من الفرن الكهربائي ثم وضـــعه في جهاز التقليب الميكانيكي حتي تتجانس مكونات الخلطة الاسفلتية مع بعضها البعض

٥- تفرغ محتويات الخلطة الاسفلتية في قالب من الحديد

٦- يتم وضعه علي جهاز دمك قوالب الخلطة الاسفلتية

٧- اخراج قالب التجربة من القالب الحديد بعد ٢٤ ساعه من جهاز الدمك

٨-بعد تجهيز قوالب الخلطة الاسـفلتية يتم اختبارها بجهاز مارشـال للتأكد من صـلاحية الخلطة الاسـفلتية للاسـتخدام في رصف الطرق .

مناقشة نتائج التجربة الاولي :

تبين من النتائج فشل التجربة نظرا لزيادة كمية كسر الزجاج بالخلطة الاسفلتية مما ادي الي عدم تماسك مكونات القالب وتفكك مكونات الخلطة وكانت قيمة الثبات هي ٣٧٠ رطل وحدود المواصـــفة في الكود المصـــري من(٧٠٠ -٩٠٠) ومعدل الانسياب (٢٤) وتم تكرار خطوات التجربة وتغيير نوع الزجاج الكسر المعاد تدويره وايضا تغيير نسب الزجاج كما هو موضح بالجدول رقم (٢) وعمل اختبار مارشال علي القوالب الناتجة للتاكد من صلاحيتها للاستخدام في رصف الطرق.

التجربة رقم (٢) :

تم اسـتخدام كسـر عبوات زجاجية وكانت الخلطة الاسـفلتية كالاتي ٥٠ % زجاج -٢٣,٥ سـن ٢ -١٤,٩ رمل -١١ % بودرة وعمل نفس الخطوات في التجربة الاولي وكانت النتائج كآتي :عدم تماسـك مكونات الخلطة الاسـفتية وتفكك القالب مما أدي الي تخفيض نسبة الزجاج في الخلطة الاسفتية .

التجربة رقم (٣):

تم استخدام ناتج تكسير عبوات زجاجية وتقليل نسبة كسر الزجاج الي ٤٥ % من وزن الخلطة الاسفلتية واستخدام ٢٧,٥ % من ســـن ٢ ورمل ١٠,٩ وبودرة ١١ % من البودرة الزجاجية ناتج طحن الزجاج وكانت النتائج تماســـك مكونات الخلطة الأسـفلتية بشـكل افضـل من التجارب السـابقه ويمكن اسـتخدام هذه الخلطة في رصـف الطرق للاحمال المرورية الخفيفة

التجربة رقم (٤)

تم استخدام كسر زجاج مسطح بنسبة ٣٥% من وزن الخلطة الأسفلتية وسن١ ٢٧ % ورمل ٢١,٤ % وبودرة ١١ % واجراء التجربة بنفس خطوات التجربة الاولي وعمل اختبار الثبات علي القالب الناتج اتضح ان هذه النسبة ٣٥ % زجاج بديلا عن الركام سـن١ من وزن الخلطة الاسـفلتية حققت نتائج جيدة في قوة تماسـك الخلطة الاسـفلتية الناتجة حيث كانت نتيجة مارشـــال ٨٠٠ وهذا يعني امكانية اســـتخدام هذه الخلطة في رصـــف الطرق لانها تقع في حدود مواصـــفات الكود المصري

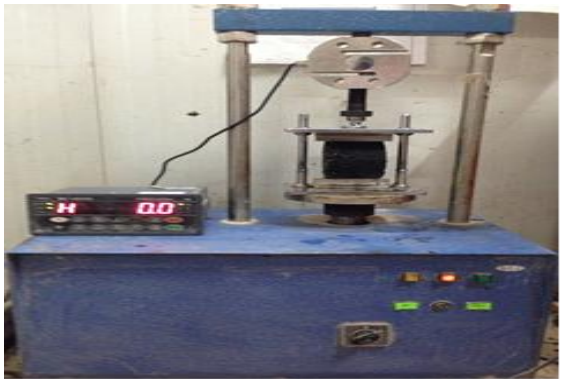
التجربه رقم (٥) و(٦) و(٧):

تم اسـتخدام كسـر زجاج مسـطح لاجراء التجارب رقم ٥ و٦ من وزن القالب واسـتخدام ناتج كسـر العبوات الزجاجية في التجربة رقم ٧ وتكرار لمســـتويات الاحلال لحبيبات الزجاج بنســـبة ٣٠ % و٢٥ % و٢٠ % واجراء التجارب بنفس الخطوات السـابقة واجراء اختبار مارشـال علي القوالب الناتجة كانت (٨٥٠ و٩٤٠ و٩٧٠) اي تقع في حدود مواصـفات الكود المصـري لرصـف الطرق ،ومن خلال هذه التجارب تبين ان اسـتبدال الركام (سـن١- سـن ٢) بحبيبات من كسـر الزجاج الناتج من كسر الزجاج المسطح والعبوات الزجاجية بنسب ٣٠ % و٢٥ % و٢٠ % تكون أفضل النسب وتعمل علي تماسك الخلطة الأسفتية وجعلها اكثر صلابة ومقاومة للاحتكاك والبري.

وبعد ان تم دراسـة المواد الداخلة في صـناعة الزجاج الاسـفلتي ومكوناته وتحديد افضـل النسـب لكسـر الزجاج المسـتخدم وهي ٣٠ % - ٢٥ % - ٢٠ % نكون حصلنا علي زجاج اسفلتي.

<u>اختبار مارشال</u>

-يتم اجراء فحص مارشـال للأسـفلت لتحديد خواص الثبات stability والانسـيابflow للخلطة االأسـفلتية السـاخنة حيث ان الثبات يمثل أعلي قوة يتحملها نموذج الخلطة الأســـفلتية والذي يتم تحميله قطريا بمعدل ٥٠,٨ ملم/دقيقة ويتم زيادة الحمل لحين وصول تحمل النموذج لأعلي قيمه والتي يتم تسجيلها كقيمة ثبات الخلطة الأسفلتية



شكل رقم (١٢) جهاز مارشال

- حساب كسر مارشال للخلطة الأسفلتية:

- نضع قوالب الخلطة الأسفلتية في حمام مائي درجة حرارته ٦٠ م لمده نصف ساعة

شكل رقم (١٣) القوالب الأسفلتية داخل الحمام المائي

-نخرج كل قالب من الماء ونضـــعه علي فك جهاز مارشـــال والفك له بروزان يصـــغر علي أحداهما عداد لقياس معدل الانسياب والأخر به حلقة كسر مارشال

-يتم تشغيل الجهاز وقراءة العدادان مرة واحدة

-تسـجيل القراءة من حلقة الكسـر لقياس معدل الثبات وتحويل الرقم الناتج من جدول معايرة احمال مارشـال للحلقة القديمة حسب معهد القياس والمعايرة لتسجيل معدل الانسياب flow

شكل رقم (١٤) القوالب الأسفلتية بعد خروجها من الحمام المائئ

مراحل تجهيز الطريق استعدادا للرصف باستخدام خلطة أسفلتية زجاجية :

بعد تجهيز المواد السـابقة طبقآ لمواصـفات الكود المصـري للخلطات الأسـفلتية واجراء الأختبارات اللازمة للتأكد من صلاحية هذه المواد للاستخدام تبدأ عملية الخلط لهذه الخامات مع البيتومين داخل خلاطات لتقليبها جيدآ والتاكد من تجانس مكونات الخلطة الاسفلتية الزجاجية مع بعضها البعض ،تبدا عملية الرصف باستخدام

الخلطات الأسفلتية الساخنة(Hot Mix Asphaltic Concretee) تُستخدم الخلطات الأسفلتية الساخنة في رصف الطبقات السـطحية للطرق الهامة السـريعة سـواء كانت داخل المدن أو الطرق الخلوية وهذه الخلطات أثبتت أنها تتحمل أثقل أنواع المرور في حالة تصميمها وتجهيزها جيداً ثم وضعها على طبقة أساس مناسبة.

شكل رقم (١٥) يبين صورة للخلاطة

مراحل تنفيذ رصف الطريق :

هي أعمال الأسفلت وتبدأ برش طبقة التشريب والمعروفة m c فائدة هذه الطبقة منع تسرب المياه من الطبقات في الاسفل ووصولها لطبقات الاسفلت بالاضافة الي لصق طبقة الاسفلت بطبقة الاساس او طبقة Sub grade لمنع انزلاق طبقة الاسفلت.

الهدف من تصميم الزجاج الأسفلتي :

هو الحصول علي خليط من من الزجاج والركام واالأسفلت يكون اقتصادياً ويحقق الأمان المطلوب طبقآ للمواصفات القياسية بالاضافة الي امكانية انتاجه بجودة عالية ولتحقيق ذلك الهدف يجب ان يراعي في هذا التصميم :

- أن يحتوي مخلوط الزجاج الأسفلتي علي نسبة كافية من الأسفلت بحيث يكون لديه القدرة علي مقاومة العوامل الجوية .
- يحتوي مخلوط الزجاج الأسفلتي علي نسبة فراغات مناسبة لاتمام بقية الدمك بواسطة الأحمال المرورية لتفادي حدوث نقص الثبات .
- ثبات كافي لمخلوط الزجاج الأسفلتي بحيث يكون سطح الرصف قادر علي تحمل الأحمال المرورية الواقعة عليه بدون حدوث اي تشكل او ازاحة للطريق
- قابلية تشغيل كافية للمخلوط بحيث تسمح بآتمام عمليتي الفرش والدمك بكفاءة عالية

شكل رقم(16) سطح الطريق اثناء فرش الاسفلت الزجاجي

شكل رقم (17) شكل الطريق بعد تسوية الاسفلت الزجاجي

شكل رقم (18) الاسفلت الزجاجي

الاختبارات التي تمت علي العينة موضوع البحث

تم عمل الاختبارات علي الأسفلت الزجاجي موضوع البحث بالمركز القومي لبحوث الاسكان والبناء (معهد بحوث مواد البناء وضبط الجودة) علي عينة أسفلت طبقة رابطة وتم اجراء اختبار الثبات والانسياب طبقا للمواصفات الامريكية AASHTO T245-15 وتم اجراء اختبار تحديد نسبة البيتومين بالاستخلاص طبقا للمواصفات الامريكية AASHTO T164-15 وتم عمل النسبة المئوية للفراغات بالمخلوط والنسبة المئوية للفراغات بالمواد الصلبة طبقا للمواصفات الامريكية AASHTO T166-15 ووزن وحدة الحجوم طبقا للمواصفات الامريكية AASHTO T 269-15 وكانت النتائج كالاتي جدول رقم (٣) :

الإختبار	النتائج	حدود الكود المصري رقم ١٠٤ /٤ لسنة ٢٠٠٨ للطبقة الرابطة		
		خفيفة المرور	متوسطةالمرور	كثيفة المرور
الثبات (١) كجم	747	لا يقل عن ٥٠٠	لا يقل عن ٦٠٠	لا يقل عن ٧٠٠

الانسياب (١) مم	2,41	٢-٤	٢-٤	٢-٤
اختبار تحديد نسبة البيتومين بالاستخلاص (٢) %	1,47	.....	.....	.....
النسبة المئوية للفراغات بالمخلوط (٣) %	3.91	٣-٥	٣-٥	٣-٥
النسبة المئوية للفراغات بالمواد الصلبة (٣) %	12.98	لا تقل عن ١٥	لا تقل عن ١٥	لا تقل عن ١٥
وزن وحدة الحجوم (٤) طن / م٣	2,26	.....	.....	.....

جدول رقم (٣) نتائج اختبار الثبات والانسياب لعينة من الأسفلت الزجاجي

ومن خلال الجدول السابق (٣) تم الحصول علي زجاج أسفلتي يصلح للاستخدام في رصف الطرق طبقاً لمواصفات الكود المصري وأثبتت نتائج اختبار مارشال أن ثبات وقوة تحمل الزجاج االأسفلتي يفوق الأسفلت العادي عند استبدال الركام سن١ وسن ٢ بالزجاج المصري وكانت نتيجة الثبات ٧٤٧ ومعدل الانسياب ٢,٤١ مما يجعله أكثر صلابة ومقاوم للاحتكاك والبري ،كما أوضح اختبار استخلاص البيتومين ان أستخدام نسبة من الزجاج في الخلطة الاسفلتية يقلل من استخدام نسبه البيتومين الي ثلث النسبة المستخدمة في الأسفلت العادي نتيجة لان الزجاج ليس له معامل امتصاص مقارنة بالسن والركام

تقرير نتائج اختبار التدرج علي عينة الركام ناتج استخلاص خلطة اسفلتية جدول رقم (٤)

سعة /رقم المهزة	نسب المار %	حدود التدرج طبقا للكود المصري رقم١٠٤ /٤ لسنة ٢٠٠٨	
١ ١/٢ "(37.5مم)	100	100	100
١"(٢٥ مم)	100	100	100
¾ "(١٩ مم)	95.7	75	100
٨/٣ "(9.5مم)	53.2	45	70
رقم ٤ (4.75مم)	31.1	30	50
رقم ٨ (2.36مم)	25	20	35
رقم ٣٠(0.6مم)	14.1	5	20
رقم ٥٠(0.3مم)	2.6	3	12
رقم ١٠٠ (0.15 مم)	0.7	2	8
رقم ٢٠٠ (0.057مم	0	0	4

جدول رقم (٤) نتائج اختبار التدرج علي عينة الركام ناتج استخلاص خلطة أسفلتية

الحدود الموضحة هي حدود التدرج لمخلوط الطبقة الرابطة علي الساخن طبقا للكود المصري رقم ١٠٤ /٤ لسنة ٢٠٠٨ وتم اجراء الاختبار طبقا للمواصفات الامريكية AASHTO T 27-06

النتائج :

١ - اســتخدام الزجاج كبديل للســن والحجر في الخلطة الأســفلتية يزيد من قوة تحمله ومقاومته للاحتكاك والبري وبريقه اللامع ودرجات الوانه المتعددة.

٢-لا يحتاج الأسفلت الزجاجي الي صيانه الي بعد سنوات من الرصف تفوق الأسفلت العادي وذلك طبقا لاختبار مارشال والذي يحدد الثبات والانسياب والوزن النوعي للخلطة المستخدمة والتي تتفق مع الكود المصري

٣-عمل اختبار اســتخلاص البيتومين وأظهر الاختبار ان اســتخدام الزجاج في الخلطة الاســفلتية يقلل من اســتخدام نســبه البيتومين الي ثلث النســبة المســتخدمة في الأســفلت العادي نتيجة لان الزجاج ليس له معامل امتصــاص مقارنة بالســن والركام

استخدام كسر الزجاج في الخلطة الاسفلتية تزيد الرؤية الليلية بسبب سطح الزجاج الامع عند سقوط الضوء من المصابيح الامامية لحركة المرور

٥- اضــافه اللون الي الخلطة الأســفلتية يعمل علي تقليل الاحتباس الحراري داخل البلاد نتيجة عدم اختزان اللون الأســود لاشعة الشمس نهارا وايضاً يعمل اللون علي اضافه اللمسة الجمالية اذا استخدم في تخطيط المدن الجديدة وقد تم عمل عدة خلطات ملونة وإجراء التجارب عليها في معامل كليه الهندسة جامعة القاهرة ومركز بحوث الإسكان والبناء

التوصيات

1. ضـرورة الاهتمام بتفعيل ما توصـل اليه من نتائج لتنمية اسـتخدام الأسـفلت الزجاجي في رصـف الطرق لما يحققه من قيمة فنية وجمالية وقوة تحمل تفوق الاسفلت العادي .
2. توصي الدراسة بضرورة اجراء التجارب والابحاث العلمية في الحصول علي المزيد من الوان الزجاج الأسفلتي التي يمكن الاســتفادة منها في توحيد رصــف المناطق الســكينة بالوان خاصــة لكل منطقة وكذا التحكم في عمق لون الاســفلت الزجاجي الناتج ليعطي الوان متعددة تساعد علي ايجاد قيمة تصميمة جمالية للطرق.
3. اعادة تدوير مخلفات الزجاج حيث ان مخلفات الزجاج المكسور تمثل نسبة كبيرة يلزم التفكير في اعادة استخدامها مرة اخري كمنتج صالح للاستخدام كما ان هذه المخلفات تعتبر مادة اساسية في اعادة تصنيع الزجاج وتعطي انتاجا ممتازا
4. انشاء مصانع متخصصة لتدوير مخلفات الزجاج مما يساعد من التخلص من هذه المخلفات والأماكن التي تشغلها في مصانع الزجاج والتلوث البصري الذي تحدثه نتيجة تراكمها .

المراجع :

1. اكاديمية البحث العلمي (٢٠٠٤)"النفايات الجميلة اعادة تصنيعها ضرورة بيئية واقتصادية "مجلة العلم العدد ٣٢٩
kadimiat albahth aleilmii (2004)"alnufayat aljamilat aeadat tasnieuha darurat biyiyat waqtisadia "majalat aleilam aleadad 329
2. الطائي "حاتم عبد الرحمن البطل(١٩٩٩)" تكنولوجيا الزجاج"المعهد العالي لتكنولوجيا البصريات

altaayiy "hatim eabd alrahman albatalu(1999)" tiknulujya alzajaji"almaehad aleali litiknulujya albasariaat

3. محمد،رمضان علي (٢٠٠٣) "مقدمة في الركام لمهنسي الطرق "ادارة بحوث الطرق والكباري
muhamadu,rmadan ealii (2003) "muqadimat fi alrukam limahnasi alturuq "adarat buhuth alturuq walkabarii

4. محمد،رمضان علي ""مقدمة في الاسفلت" بحث مقدم الي الهيئة العامة للطرق والكباري
muhamadu,rmadan eali ""muqadimat fi aliasfalt" bahath muqadam ali alhayyat aleamat lilturuq walkabarii

5. الصـــفتي ،ماهر ابراهيم (٢٠١٨).تقنيات الملونات الحرارية ودورها في ترميم الزجاج الاثري المؤلف بالرصـــاص ،مجلة العلوم والفنون التطبيقية
alsafati ,mahir abarahim (2018).tiqniaat almulawinat alhararyiat wadawruha fi tarmim alzujaj alatharii almualaf bialrasas ,majalat aleulum walfunun altatbiqia

6. زينهم ،محمد علي حسن .(١٩٩٥)." تكنولوجيا فن الزجاج " الهيئة المصرية العامة للكتاب ،القاهرة
zinuhum ,muhamad eali hasan .(1995)." tiknulujia fanu alzujaj " alhayyat almisriat aleamat lilkitab ,alqahira

7. زينهم،محمد علي حســن.(٢٠٠٧)."اعادة تدوير مخلفات الزجاج لاســتغلالها في بعض المجالات الصــناعية والفنية" ،بحث منشور مقدم الي المؤتمر الدولي للزجاج .
zinihum,muhamad eali hasan.(2007)."aeadat tadwir mukhalafat alzujaj liaistighlaliha fi baed almajalat alsinaeiat walfaniyati" ,bhath manshur muqadam aly almutamar alduwalii lilzujaj .

8.8-Airey, G.D.; Collop, a.C Thom, N.H. (٢٠٠٤)“ Mechanical performance of asphalt mixtures incorporating slag and glass secondary aggregates. In Proceedings of the 8th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa (CAPSA’04), Sun City, South Africa, Volume 12, p. 16

9.Chiu, C.T.; Hsu, T.H.; Yang, W.F. (٢٠٠٨). Life cycle assessment on using recycled materials for rehabilitating asphalt pavements. Resource. Conserv. Recycle. 52, 545–556.

10. Disfani, M.; Arulrajah, A.; Ali, M.; Bo, M. Fine recycled glass:” (2011) “A sustainable alternative to natural aggregates”. Int. J. Geotech. Eng..٢٦٦–٢٥٥ ,٥ ,

11. Emersleben, A.; Meyer, M.” (2014) Sustainable pavement construction by the use of recycled glass. Int. J. Geotech.

12. Hamid 1, Naveed Ahmad 2, Bilal Zaidi 2, Raja Abu-Bakr Khalid 3, Imran Hafez 2, Jawad Hussain 2,” A Borosilicate Based Sustainable Engineering Material for Asphalt Pavements Ahsen”,2023 Anwar Ki tab 1 and Mehmet Serkin Kirgiz

13. T.H.; Yang, W.F. (2008) Life cycle assessment on using recycled materials for rehabilitating asphalt pavements. Resource. Conserve. Recycle.

14. Tobi, G.A.; Abidemi, O.R.; Felix, O.M.” (2021). The use of Crushed Waste Glass as a Partial Replacement of Fine Aggregates in Asphalt Concrete Mixtures (Glass phalt).

15. Varma, V.A.; Lakshmayya, M.T.S. A review on different types of wastes used as fillers in bituminous mix. Int. J. Civ. Eng. Technol.2018