تأثير إضافة تراكيز مختلفة من زجاج النفايات على بعض خصائص الخرسانة

أروى غازي ناجي* حسن جمعه عبد** نعمه حافظ ثابت** صفا عبد الفتاح رحيم*

*وزارة العلوم والتكنولوجيا / دائرة بحوث المواد

**وزارة العلوم والتكنولوجيا/ مديرية البحوث والتطبيقات النووية

بغداد– العراق

الخلاصة

دُرس تأثير إضافة تراكيز مختلفة من زجاج النفايات الى الخلطة الخرسانية بنسب 10، 20، 30، 40 و 50% وذلك بإستبدالها جزئياً مع الرمل لمعرفة مدى تأثير ذلك على بعض الخصائص الميكانيكية للخرسانة بعد 14 و 21 يوم غمر بالماء. إذ تبين أن أعلى قيمة لمقاومة الإنضغاط ومقاومة الإنثناء والكثافة كانت عند النسبة 30% من زجاج النفايات المضاف بدل الرمل لفترة 21 يوم، كما تبين إنخفاض تدريجي لقيم إمتصاصية الماء بزيادة نسب إضافة زجاج النفايات لتصل الى أقل قيمة عند النسبة 50% من زجاج النفايات لفترة 21 يوم غمر بالماء.

الكلمات المفتاحية: زجاج النفايات، الخرسانة، مقاومة الإنضغاط ومقاومة الإنثناء.

Effect of Adding Different Concentrations of Waste Glass on Some Properties of Concrete.

Arwa Gazi Naje* Hassan Juma Abd Neamah Hafed Thabit****

Safa Abdalfatah Rahem*

*Ministry of Science and Technology / Directorate of Materials Science

**Ministry of Science and Technology / Directorate of Research and Nuclear Applications

Baghdad-Iraq

E_mail: arargha zie@yahoo.com, Baghdad-Iraq

Abstract

This study dealt with the effect of adding different concentrations of waste glass in different percentages 10, 20, 30, 40 and 50% to concrete mix by partially replacing it with sand to illustrate the effect on some mechanical properties of the concrete after 14 and 21 days of immersion in water. It was found that the maximum value of Compressive Strength, Flexural Strength and Density were at the rate of 30% of the waste glass instead of sand after the period of 21 days. The study also showed that a gradual decrease in the values of water absorption by increasing the addition of waste glass, and the minimum value is at 50% of the waste glass added at the period of 21 days of immersion in water.

Key Words: Waste Glass, Concrete, Compressive Strength and Flexural Strength.

المقدمة

الخلطة الخرسانية هي عبارة عن خليط غير متجانس من الركام والأسمنت والماء ويمكن إضافة بعض المواد الأخرى للحصول على خواص معينة، ونتيجة خلط هذه المواد يتم الحصول على الخرسانة التي تبدأ بالتصلب التدريجي مع الوقت حتى تصبح صلبة وقوية، وتتفاوت قوتها حسب المكونات الأساسية وكذلك حسب طريقة الرج أثناء الصب ونوعية المعالجة. إن لنوعية وخواص الركام تأثيراً كبيراً على خواص الخرسانة ونوعيتها لكونه يشغل حوالي (70%–75%) من الحجم الكلي للكتلة الخرسانية، ويتكون الركام بصورة عامة من حبيبات صخرية متدرجة في الحجم منها حبيبات صغيرة كالرمل وأخرى حبيبات كبيرة كالحصى. ويقسم الركام من حيث المصدر الى قسمين ركام المصادر الطبيعية Natural Mineral Aggregates ويشمل صخور نارية Igneous Rocks وصخور رسوبية Sedimentary Rocks وصخور متحولة Metamorphic Rocks وركام المصادر الصناعية Synthetic Aggregates ويشمل أنواع كثيرة منها ركام خبث الأفران وركام نواتج الهدم وركام الرماد المتطاير Aggregate from Fly Ash. ويمكن تصنيف الركام من حيث حجم حبيباته الى ثلاث أقسام وهي ركام صغير Fine Aggregate وهو الركام الذي تقل مقاس حبيباته عن 5 ملم (الذي يمر معظمه من منخل 4.75 ملم) وركام كبير Coarse Aggregate وهو الركام الذي يزيد مقاس حبيباته عن 5 ملم (الذي يحتجز معظمه على منخل 4.75 ملم) وركام شامل (ركام خليط) وهو ركام خليط من الركام الكبير والصغير بنسب معينة تحددها متطلبات التدرج الحبيبي للركام. (Park, *et al.*, 2004) أما الأسمنت فهو تلك المادة الناعمة الداكنة اللون التي تمتلك خواص تماسكية وتلاصقية بوجود الماء مما يجعله قادراً على ربط مكونات الخرسانة بعضها ببعض وتماسكها مع حديد التسليح (Topcu and Canbaz, 2004) ، ويتكون الأسمنت من ثلاث مواد خام أساسية هي كربونات الكالسيوم الموجودة في الحجر الكلسي، والسيليكا الموجودة في الطين والرمل، والألومنيا (أوكسيد الألمنيوم). إن الماء ضروري لكي يتم التفاعل الكيمياوي بين الأسمنت والمواد الأخرى، ويعطي الماء الخليط المؤلف من الركام الخشن والناعم والأسمنت درجة مناسبة من الليونة تساعده على التشغيل والتشكيل. لقد دَرس الكثير من الباحثين تأثير إستخدام الزجاج على الخصائص المختلفة للخرسانة، حيث أستخدم (Júnior, *et al.*, 2014) مسحوق الزجاج بدلاً من الرمل بنسبة (5، 10 و 20%)، عند نسب مختلفة (w/c ماء/أسمنت) (0.58, 0.55, 0.50)، وتبين إنتاج خرسانة مناسبة بيئياً وبنيوياً لمختلف التطبيقات، كما أشار (Srivastava, *et al.*, 2014) الى أنه يمكن إستخدام زجاج النفايات بشكل فعال بدل الركام الخشن (الحصى) حتى (50%) دون تغيير جوهري في القوة الإنضغاطية للخرسانة، وقام (Yao, *et al.*, 2018) بإعادة إستخدام أنابيب الأشعة الكاثودية Cathode Ray (CRT) Tubes للحواسيب وشاشات التلفزيون القديمة لتصنيع السيراميك الزجاجي حيث وجد أن CRT غنية بالسيليكا وتمتاز بإمتصاص منخفض للماء، مما يجعله مناسباً للإستخدام مثل الرمل في مواد البناء ، كما أثبت (Dahmardeh, *et al.*, 2014) أن زجاج النفايات يمكن إستخدامه محل الركام الخشن (الحصى) بنسب (0 ، 5، 10، 15 و 20 %) وأظهرت النتائج التجريبية أن قابلية التشغيل تحسنت مع زيادة محتوى زجاج النفايات، بالإضافة إلى ذلك ، أظهرت النتائج أن الزجاج مثل الركام قد عزز الخصائص الميكانيكية وإمتصاص الماء للخرسانة،

لقد أستخدم (Rajitha, *et al.*, 2017) زجاج النفايات بشكل ناعم وخشن في الخرسانة، وأظهرت الفحوصات أنه يمكن إستخدام (5%) من زجاج النفايات بدل الركام الناعم (الرمل) والركام الخشن (الحصى) دون تغيير كبير في الجودة، كما أستخدم (Keryou and Ibrahim, 2014) زجاج نفايات النوافذ كبديل جزئي للركام الخشن (الحصى) بالنسب (0%، 20%، 25% و 30%)، وقد لوحظ أعلى تأثير على الخصائص الميكانيكية بنسبة (25%) waste glass (WG)، وكانت أعلى قيم في مقاومة الإنضغاط ومقاومة الشد عند (28) يوماً، بالإضافة الى ذلك (Mohajerani, *et al.*, 2017) خلصوا إلى أن زجاج النفايات المهشم crushed waste glass (CWG) يمكن إستخدامهُ في مواد البناء كبديل عن الركام في الخرسانة وكحشوة Filler in Asphalt في الأسفلت. إن الهدف من هذا البحث هو إستخدام زجاج النفايات بطريقة صديقة للبيئة وذلك من خلال إستخدامه في الخرسانة وبيان مدى تأثير إضافة نسب مختلفة منهُ على بعض خصائص الخرسانة مثل مقاومة الإنضغاطية ومقاومة الإنثناء وإمتصاص الرطوبة والكثافة.

المواد وطرائق العمل

الجزء العملي

المواد الأولية في هذا البحث هي الأسمنت البورتلاندي الأعتيادي العراقي (نوع الجسر) طبقاً للمواصفة القياسية العراقية رقم (5) لسنة (1984) (Iraqi Standards) بشرط أن يمر من خلال مناخل مختلفة القياسات لإزالة جميع الكتل، أُختير كل من الحجم الحبيبي للحصى المكسر (الركام الخشن) ضمن المدى (50mm-12.5mm) والحجم الحبيبي للرمل (الركام الناعم) ضمن المدى (4.75mm-150µm) طبقاً للمواصفة الاميركية (ASTM International) ASTM-C33-11

أما زجاج النفايات الذي تم جمعه وأُجريت عليه عمليات الغسل والتكسير والطحن والنخل بحيث يكون الحجم الحبيبي له ضمن المدى (4.75mm-150µm) ليتم إستبداله جزئياً بدل الرمل، والشكل (1) يبين عملية جمع زجاج النفايات واعداده للتجارب اللاحقة.

شكل (1) عملية جمع زجاج النفايات

يبين الجدول (1) أدناه التحليل الكيميائي لمكونات الخلطة الخرسانية بعد تحليلها في مركز بحوث البناء وهي الأسمنت والرمل وزجاج النفايات. حيث تختلف تراكيز الأكاسيد في الرمل حسب نوع المنطقة ونوع الرمل المستخدم وكذلك بالنسبة لزجاج النفايات.

جدول (1) التحليل الكيميائي للمواد المستخدمة

No.	Oxides (%) الأكاسيد	Waste glass زجاج النفايات	Cement سمنت	Sand رمل
1	Silica (SiO_2)	70.64	24.5	68.53
2	Calcium Oxide (CaO)	12.05	56.33	3.8
3	Magnesium Oxide (MgO)	0.42	3.90	1.97
4	Alumina (Al_2O_3)	2.11	4.72	14.6
5	Iron Oxide (Fe_2O_3)	0.12	4.92	5.4
6	Sulfur Trioxide (SO_3)	0.05	2.66	--
7	Sodium Oxide (Na_2O)	18.76	--	4.7
8	Potassium Oxide (K_2O)	0.19	0.81	4.5
9	Loss on Ignition (LOI)	0.70	6.87	--

مُزجت مكونات الخرسانة بنسب (4:2:1) وزناً حيث [(1) اسمنت :(2) رمل :(4) حصى].

أما الجدول (2) فيوضح النسب الوزنية للخلطات المستخدمة حيث نلاحظ أنه في الخلطة (Mix-1) أستبدل (10%) من الرمل بالزجاج، وفي الخلطة (Mix-2) أستبدل (20%) من الرمل بالزجاج، وهكذا لبقية الخلطات، حيث أستبدل مسحوق الزجاج بالرمل بالنسب (10، 20، 30، 40 و 50%) وكانت نسبة الماء الى الأسمنت (0.5) لجميع النماذج.

جدول (2) النسب الوزنية للخلطة الخرسانية

No. of group	Waste glass (%)	Glass (gm)	Coarse aggregate (gm)	Sand (gm)	Cement (gm)
mix-0	0	0	1200	600	300
mix-1	10	60	1200	540	300
mix-2	20	120	1200	480	300
mix-3	30	180	1200	420	300
mix-4	40	240	1200	360	300
mix-5	50	300	1200	300	300

أُعتمدت المواصفة الأمريكية (ASTM 2000) في إعداد النماذج لهذا البحث وفيها القوالب المُستخدمة تكون من مادة غير قابلة للإمتصاص ولا تسمح بمرور الماء وغير قابلة للتفاعل مع محتويات الخرسانة، درجة حرارة المختبر to 20) (30°Cوقت تنفيذ التجارب وقد أُستخدمت قوالب مكعبة بأبعاد (10x10x10) سم لعمل النماذج لغرض فحص مقاومة الإنضغاط (Compressive Strength) بإستخدم جهاز ELE International (2000 KN) وباستخدام قوالب بقياس (2x2x10) سم لعمل نماذج لفحص مقاومة الإنثناء (Flexural Strength) بإستخدام جهاز (Tinus Olsen Model H50KT). حيث أُجري هذين الفحصين في مركز بحوث البناء التابع لوزارة الإعمار والإسكان في موقع الجادرية. بعد إكتمال عملية الخلط وضعت خرسانة الأسمنت بالقوالب ورصت لحين أستواءها داخل القالب مع التأكد من جوانب القوالب بعد كل عملية رص، ثم عدل سطح النماذج وغطيت كل النماذج بالنايلون السميك لمنع تبخر الماء وللحصول على سطح مناسب للفحص، وبعد مرور (24) ساعة من وقت الصب رفعت جميع النماذج من القوالب وكما مبين بالشكل (2) وغمرت بالماء لمدة (14 و 21) يوم.

شكل (2) (a) نموذج لفحص مقاومة الإنثناء (2x2x10) سم.(b) نموذج لفحص مقاومة الإنضغاط (10x10x10) سم.

أُجريت الفحوصات لجميع الخلطات بعد الغمر بالماء لمدتي (14 و21) يوم، حيث فحصت ثلاث نماذج مكعبة لكل عمر ولكافة النماذج ومعدلها يمثل مقاومة الإنضغاط لذلك العمر، وبنفس الطريقة فحصت مقاومة الإنثناء، وأوجدت الكثافة لكل نموذج بقسمة كتلة النموذج على الحجم المقاس لذلك النموذج وفق المعادلة (1) أدناه

$$\rho = m/v \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث (ρ) هي الكثافة و (m) هي الكتلة بالغرام و (v) هو الحجم بالسنتمتر المكعب

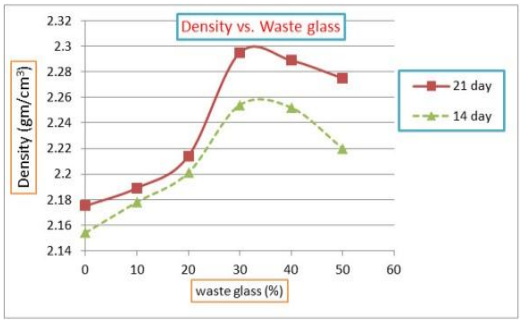
كما أجري فحص الإمتصاصية للنماذج بقياس (10x10x10) سم، حيث تمثل النتائج النهائية معدل ثلاث قياسات لكل عمر، وحسبت نسبة الإمتصاص بموجب المعادلة (2) أدناه

$$Wa(\%) = \left(\frac{W_2 - W_1}{W_1}\right) X100 \quad \ldots\ldots (2)$$

حيث (W_a) هي الإمتصاصية للماء وأن (W_1) الوزن قبل الغمر بالماء، وأن (W_2) الوزن بعد الغمر بالماء. (Liang, *et al.*, 2007).

النتائج والمناقشة

بينت فحوصات التحليل الكيميائي لمكونات الخلطة الخرسانية المشار اليها في الجدول (1) أعلاه، أن تركيز أكاسيد السليكون SiO_2 هو الأعلى في زجاج النفايات وكذلك في الرمل حيث يكون تركيز أكاسيد السليكون هو الأعلى ولكن بنسبة أقل مما هو عليه في زجاج النفايات، بينما يكون تركيز أكاسيد الكالسيوم CaO هو الأعلى في الأسمنت. الشكل(3) يبين علاقة الكثافة للكتلة الخرسانية مع نسب إضافة الزجاج وعمر التغطيس حيث تزداد الكثافة مع زيادة نسبة الزجاج وصولاً الى نسبة (30%) التي تكون أعلى قيمة مقارنة بالخلطة المرجعية (Mix-0) التي لا تحتوي على نسبة زجاج، ويحدث تفاعل ضعيف ما بين السيليكا الموجودة بالزجاج والأسمنت الذي يحتوي أكاسيد قلوية بسبب قلة نسبة السيليكا بالزجاج، و بإستمرار زيادة نسب الزجاج للنسبتين (40 و50%) كما في الخلطتين (Mix-4)، (Mix-5) على التوالي لوحظ أنخفاض الكثافة وذلك بسبب زيادة نشاط تفاعل مسحوق الزجاج المحتوي على السيليكا مع الألكيل والذي يؤدي الى تكون مادة عجينية منتفخة (Swamy, 2003)، كذلك تزداد الكثافة بزيادة مدة التغطيس بالماء للمكعبات الخرسانية بسبب إستمرار عملية إماهة الأسمنت زيادة مدة الغمر مما يؤدي إلى تكوين نواتج الإماهة التي ستأخذ بدورها حجما أكبر من حجم العناصر المكونة لها وبالتالي تسد الفراغات الدقيقة الموجودة ومن ثم يزداد وزن العينة وبثبوت الحجم فأن الكثافة تزداد مع زيادة مدة الغمر.



شكل (3) العلاقة بين الكثافة ونسب إضافة زجاج النفايات لفترتي الغمر بالماء (14 و 21) يوم.

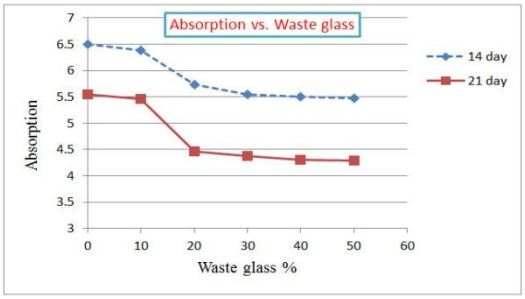
الجدول رقم (3) يبين قيم كل من مقاومة الإنضغاط Compressive Strength ومقاومة الإنثناء Flexural Strength والإمتصاصية للماء Absorption of Water لخلطات خرسانية بنسب مختلفة من زجاج النفايات تم إستبدالها بالرمل ولفترتي التغطيس (14 و 21) يوم. حيث تعتبر هذه القيم قليلة مقارنةً بالبحوث التي أعطت نتائج أعلى لفترة غمر بالماء لمدة (28) يوم أو اكثر.

جدول (3) قيم مقاومة الإنضغاطية ومقاومة الإنثناء والإمتصاصية للخرسانة.

Name of group	Waste glass (%)	Compressive (N/mm^2)		Flexural (N/mm^2)		Absorption	
		14 day	21 day	14 day	21 day	14 day	21 day
mix-0	0	9.1	10.3	3.45	3.75	6.493	5.546
mix-1	10	11.3	12.5	4.00	4.12	6.386	5.458
mix-2	20	11.8	13.6	4.34	5.50	5.733	4.46
mix-3	30	13.7	15.2	7.20	7.60	5.5516	4.38
mix-4	40	13.1	14.5	5.12	5.32	5.507	4.31
mix-5	50	11.2	12.3	4.15	4.50	5.467	4.289

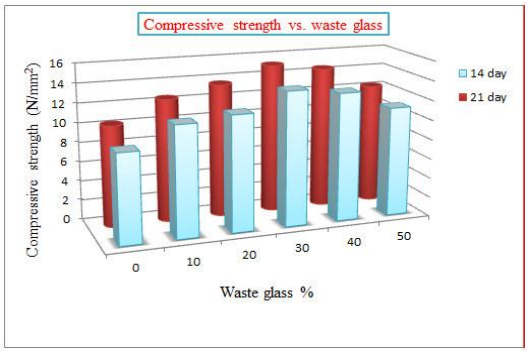
الشكل (4) يبين علاقة الإمتصاصية للكتلة الخرسانية مع إضافة نسب الزجاج بدل الرمل حيث تقل الإمتصاصية مع زيادة نسبة الزجاج وتبدأ بالأستقرار تدريجياً بقيم متقاربة بخلطتين (Mix-4) و (Mix-5) حتى تصل أقل قيمة بخلطة (Mix-5) لفترة غمر (21) يوم التي تكون فيها نسبة الزجاج (50%) وكذلك يبين الشكل أن قيم

الإمتصاصية للخلطات لمدة غمر بالماء (21) يوم تكون أقل من قيمها لمدة (14) يوم.

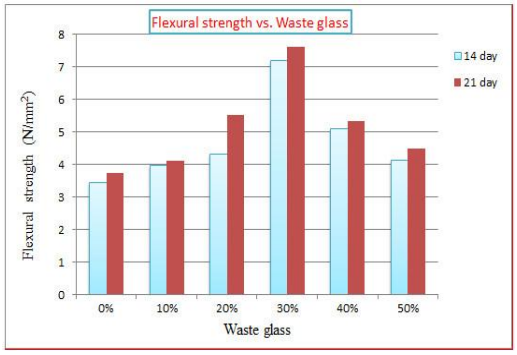


شكل (4) العلاقة بين الإمتصاصية ونسب إضافة زجاج النفايات لفترتي الغمر بالماء (14 و 21) يوم.

الشكلين (5 و 6) يبينان زيادة مقاومة الإنضغاط ومقاومة الإنثناء بزيادة نسب إضافة زجاج النفايات بدل الرمل حتى تصل أعلى قيمة بنسبة (30%) من الزجاج المضاف، حيث يبدأ بعدها الإنخفاض بسبب زيادة تفاعل الألكيل مع السيليكا Alkali–silica Reaction (ASR) الذي يؤدي الى ضعف تماسك الخلطة الخرسانية وبالتالي ضعف الخصائص الميكانيكية مثل مقاومة الإنضغاط ومقاومة الإنثناء.



شكل (5) العلاقة بين مقاومة الإنضغاط ونسب إضافة زجاج النفايات لفترتي الغمر بالماء (14 و 21) يوم.



شكل (6) العلاقة بين مقاومة الإنثناء ونسب إضافة زجاج النفايات لفترتي الغمر بالماء (14 و 21) يوم.

إن التفاعل غير المرغوب فيه الذي يظهر بزيادة محتوى الخلطة الخرسانية من زجاج النفايات والذي يحدث مابين الزجاج الذي يحتوي السيليكا وبين الأسمنت البورتلاندي الذي يحتوي على كميات كبيرة من الأكاسيد القلوية والذي يدعى تفاعل الألكيل– سيليكا Alkali–silica Reaction (ASR) يؤدي الى تكوين هلام يمتص الماء ويتوسع وبالتالي يمارس ضغطاً داخلياً قد يكون في بعض الأحيان أكبر من أن تتحمله الخرسانة، مما يتسبب في تكوين تشققات دقيقة (cracks) وبالتالي يُضعف الخرسانة ويُقصر حياتها، Marzouk) and Langdon, 2003) وهناك عدة دراسات للتخفيف من شدة هذا التفاعل منها ماقام به (Li, *et al.*, 2018) حيث لاحظ أن الركام الخفيف الناعم Fine Lightweight (FLWAs) Aggregate قد يكون حلاً محتملاً للتخفيف من حدة تفاعل (ASR)، حيث بحثت هذه الدراسة في كيفية إستخدام (FlWAs) في الخرسانة، وأستخدمت أجهزة حديثة للفحص مثل Scanning Electron Microscope (SEM)

الأستنتاجات والتوصيات

تُعد عملية إضافة زجاج النفايات بشكل جزئي بدل أحد مكونات الخلطة الخرسانية إحدى الطرق الناجحة لإنتاج مواد صديقة للبيئة، وفي هذا البحث تبين أن إضافة نسبة (30%) من زجاج النفايات بدل الرمل يؤدي الى تحسن بعض الخصائص الميكانيكية للخرسانة مثل مقاومة الإنضغاط ومقاومة الإنثناء حيث يبدأ بعد هذه النسبة إنخفاض القيم بسبب تفاعل سيليكا- الألكيل Alkali– (ASR) Silica Reaction ، كما تبين زيادة الكثافة عند هذه النسبة، وبإستمرار الإضافة للزجاج يؤدي الى الإنخفاض التدريجي لقيم الإمتصاصية للماء حتى تصل أقل قيمة لإمتصاصية الماء عند النسبة (50%) من زجاج النفايات المضاف بدل الرمل. وعليه نوصي بان يتم إضافة زجاج النفايات الى الخلطة الخرسانية بنسب جزئية بدل أحد مكونات الخلطة مثل الركام الناعم (الرمل) أو الركام الخشن (الحصى) أو الأسمنت لتقليل تأثير تفاعل السيلكا- الألكيل الذي يتكون بزيادة نسبة زجاج النفايات المضاف مقارنةً بنسب مكونات الخرسانة الأصلية.

References

ASTM (2000) C109/109M, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Cube Specimens). American Society for Testing and Materials, Philadelphia June. Sec.4, Vol. 04.01.

ASTM (2001) C33-11 Standard Specifications for Concrete Aggregates, Annual book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, 04.02.

Dahmardeh, S. R. ; Moghaddam, M. H. and Moghaddam, M. S., (2014) Investigate Fresh and Hardened Properties of Self-compacting Concrete Containing Waste Glass, American Journal of Civil and Structural Engineering (AJCSE), 1(3), 81-87.

Iraqi Standards and Metrology Organization, 1984

Júnior, E. J. ; Bezerra, H. C. ; Politi, F. S. and Paiva A. E., (2014) Increasing the Compressive Strength of Portland Cement Concrete Using Flat Glass Powder, Materials Research, 17(1), 45-50.

Keryou, A. B. and Ibrahim, G. J., (2014) Effect of Using Windows Waste Glass as Coarse Aggregate on Some Properties of Concrete, Eng. and Tech. Journal, 32 (Part A) (6), 1519-1529.

Li, C. ; Thomas, M. D. A. and Ideker, J. H., (2018) A Mechanistic Study on Mitigation of Alkali-silica Reaction by Fine Lightweight Aggregates, Cement and Concrete Research, 104, 13-24.

Liang, H. ; Zhu, H. and Byars, E. A, (2007) Use of Waste Glass as Aggregate in Concrete, 7th UK CARE Annual General Meeting, UK Chinese Association of Resources and Environment, Greenwich, 1-7.

Marzouk, H. and Langdon, S., (2003) The Effect of Alkali-aggregate Reactivity on the Mechanical Properties of High and Normal Strength Concrete, Cement and Concrete Composites, 25, 549–556.

Mohajerani, A. ; Vajna, J.; Cheung, T. H. H. ; Kurmus, H. ; Arulrajah, A. and Horpibulsuk, S., (2017) Practical Recycling Applications of Crushed Waste Glass in Construction Materials: A Review Construction and Building Materials, 156 (15), 443-467.

Park, S. B. ; Lee, B. C. and Kim, J. H., (2004) Studies on Mechanical Properties of Concrete Containing Waste Glass Aggregate, Cement and Concrete Research, 34, 2181–2189.

Rajitha, D. ; Srinivas, V. and Zoheb, M. N., (2017) Experimental Study on Partial Replacement of Fine and Coarse Aggregate with Waste Glass, International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), 8(10), 1521–1525.

Srivastava, V. ; Gautam, S. P. ; Agarwal, V. C. and Mehta, P. K., (2014) Glass Wastes as Coarse Aggregate in Concrete, J. Environ. Standard Specification for Cement No.5,.

Swamy, R. N., (2003) The Alkali-silica Reaction in Concrete, 2nd ed., USA, Taylor and Francis. 335.

Topcu, I. B. and Canbaz, M., (2004) Properties of Concrete Containing Waste Glass, Cement and Concrete Research, 34, 267–274.

Yao, Z. ; Ling, T. C. ; Sarker, P. K. ; Su, W. ; Liu, J. ; Wu, W. and Tang, J., (2018) Recycling Difficult to Treat E-waste Cathode-ray-tube Glass as Construction and Building Materials: A Critical Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 81, 595–604.Nanotechnol, 3(1), 67-71.