

دراسة استخدام نفايات الزجاج كبديل جزئي للأسمنت

1. Introduction

As of 2005, the total global waste glass production estimate was 130 Mt, in which the European Union, China and USA produced approximately 33 Mt, 32 Mt and 20 Mt, respectively. Being non-biodegradable in nature, glass disposal as landfill has environmental impacts and also could be expensive.

Sustainable construction practice means creation and responsible management of a healthy built environment considering resource efficiency and ecology. Being versatile and economical, concrete became prime construction material over the world, however, it has impacts on the environment. Manufacturing of cement (key ingredient used for the production of concrete) is a major source of greenhouse gas emissions. The use of supplementary cementitious materials (SCMs) to offset a portion of the cement in concrete is a promising method for reducing the environmental impact from the industry. Several industrial by-products have been used successfully as SCMs, including silica fume (SF), ground granulated blast furnace slag (GGBS) and fly ash. These materials are used to create blended cements which can improve concrete durability, early and long term strength, workability and economy. Another material which has potential as a SCM, however, has not yet achieved the same commercial success is waste glass. Researches indicated that glass has a chemical composition and phase comparable to traditional SCMs (). It is abundant, can be of low economic value and is often land filled. Milling of glass to micro-meter scale particle size, for enhancing the reactions between glass and cement hydrates, can bring major energy, environmental and economic benefits when cement is partially replaced with milled waste glass for production of concrete. Studies also focused on used of waste glass as aggregate in concrete production. Study on durability of concrete with waste glass pointed better performance against chloride permeability in long term but there is concern about alkali-silica reaction. Deleterious chemical constituents include sulfides, sulfates, and alkalis (which add more alkali to concrete) creates higher risk of ASR over the life of the concrete. A good pozzolan functions both to mitigate ASR and to consume the lime to greatly reduce efflorescence. Utilization of waste glass in ceramic and brick manufacturing process is discussed in a recent study.

The properties influence the pozzolanic behavior of waste glass and most pozzolans in concrete, are fineness, chemical composition, and the solution present for reaction. The pozzolanic properties of glass were first notable at particle sizes below approximately 300 μm , and below 100 μm , glass can have a pozzolanic reactivity at low cement levels after 90 days of curing (Shi et al., 2005). This size can be achieved by using a grinding operation with the help of "Ball Mill" which is generally used in cement industry to grind cement clinker. Several researches show that, at the higher age recycled glass concrete (15% to 20% of cement replaced) with milled waste glass powder provides compressive strengths exceeding those of control concrete.

2. CHEMICAL COMPOSITION OF CEMENT AND GLASS POWDER

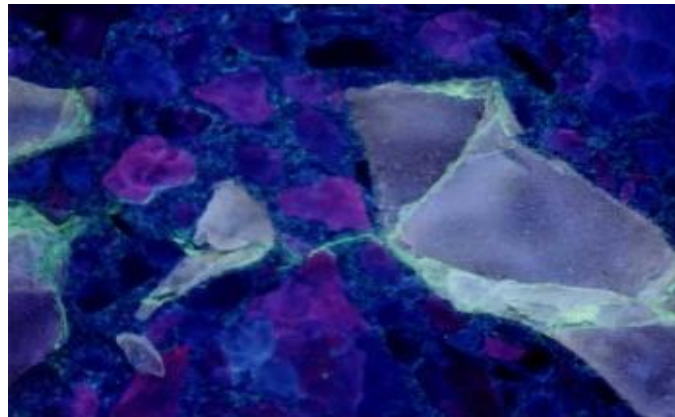
After reviewing the literature based on chemical properties of glass powder and cement the chemical composition is given in Table 1.

Table 1: Chemical Composition

Composition (% by mass)	Cement	Glass powder
Silica (SiO_2)	17 - 25%	50 - 80%
Alumina (Al_2O_3)	3 - 8%	1 - 10%
Iron oxide (Fe_2O_3)	0.5 - 6%	< 1%
Calcium oxide (CaO)	60 - 67%	5 - 15%
Magnesium oxide (MgO)	0.1 - 4%	< 1.5%
Sodium oxide (Na_2O)	0.5 - 1.3%	1 - 15%
Potassium oxide (K_2O)	0.5 - 1.3%	< 1%
Potassium oxide (K_2O)	1 - 3%	Nil

3.1 Glass Concrete

The recycling of waste glass poses a major problem for municipalities nationwide. New York City alone collects more than 100,000 tons annually and pays Material Recycling Facilities (MRF's) up to \$45 per ton for the disposal of the glass, commingled with metals and plastics. While the MRF's have little difficulty with profitably disposing of the metals and plastics, markets for recycled glass are limited to nonexistent. The use of crushed waste glass as aggregate in concrete is problematic because of the chemical reaction between the alkali in the cement and the silica in the glass. This alkali-silica reaction (ASR) creates a gel, which swells in the presence of moisture, causing cracks and unacceptable damage of the concrete. It can also occur in regular concrete, if the natural aggregate contains certain reactive (typically amorphous) silica.

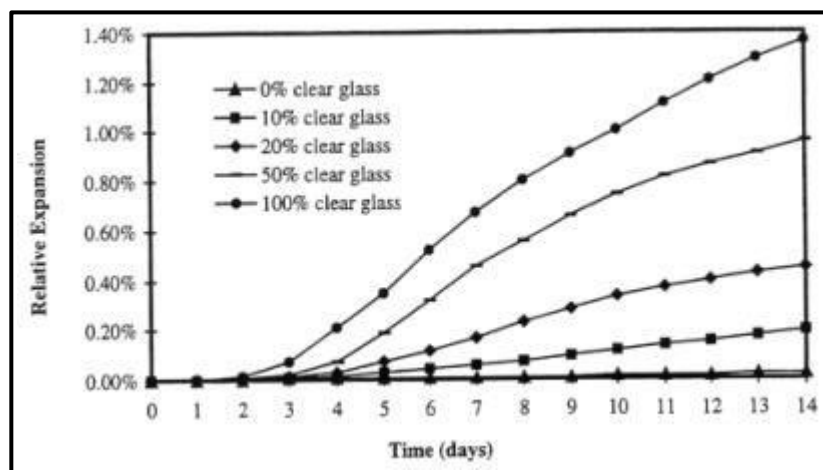


ASR in uranyl acetate treated concrete, visualized under UV-light

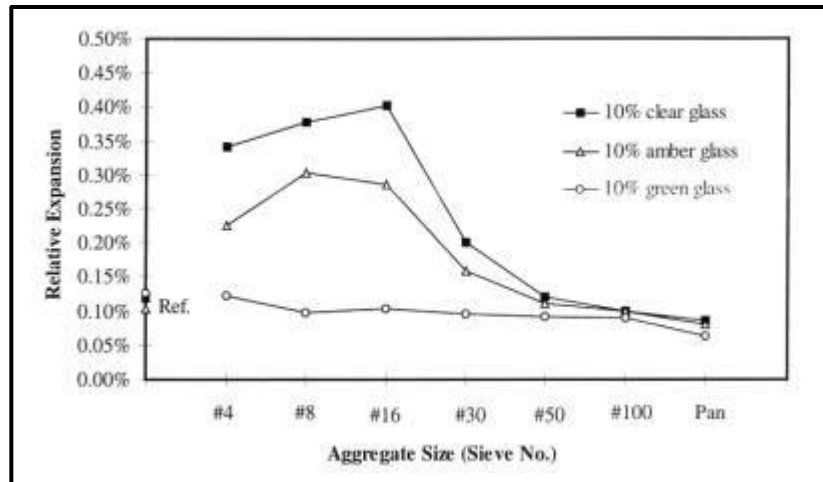
This phenomenon is particularly vexing, because it is a long-term problem, and the detrimental consequences may not show for years. Predictions of the susceptibility of naturally occurring aggregates are uncertain, as they require accelerated laboratory tests, which are of limited reliability.

There is not much uncertainty with regard to ASR if waste glass is used as aggregate in concrete. Research at Columbia has focussed on a basic understanding of the ASR phenomenon and on searching for ways to avoid it or to mitigate its detrimental consequences. Some of the techniques developed so far or under investigation are:

- Grinding the glass fine enough. Mortar bars containing glass particles, which pass US standard sieve #100 show no measurable expansion in the ASTM C 1260 Test.
- Replacing part of the cement by metakaolin. This solution is well known in the concrete industry and utilizes the fact that the metakaolin absorbs the alkali ions responsible for the reaction.
- Since metakaolin is relatively expensive, costing about three times as much as cement, we are now searching for other, low-cost ASR-suppressing admixtures.
- Applying protective coatings to the glass particles. The efforts of expanding this solution into a viable and economical alternative are still at the conceptual stage.
- Modifying the chemical formulas for the glass. Our research has shown that small amounts of additives added to the glass melt have the potential of suppressing the ASR expansion. Columbia University has obtained a patent for discovering that green glass (e.g. Heineken and Beck's beer bottles), which owes its color to chromium oxide, causes little or no reaction according to the ASTM C 1260 Test.



Expansion of mortar bars vs. time with variable amounts of clear glass aggregate (ASTM C 1260 Test)



Expansion of mortar bars vs. aggregate size of clear, amber, and green glass aggregate (ASTM C 1260 Test)

3.2 Using Waste Glass Powder in Concrete Mix

Basically waste glass powders are made from the waste glass material that cannot be reused due to the high cost of manufacturing. Therefore the manufacture will be disposed in the waste landfill. Due to environmental problem, researcher tries to use the waste glass in to concrete, to create a new material to use in construction field. Researcher found that, the main material composition of glass is silica that also contain in cement production and other compound that also similarly contain in cement production.

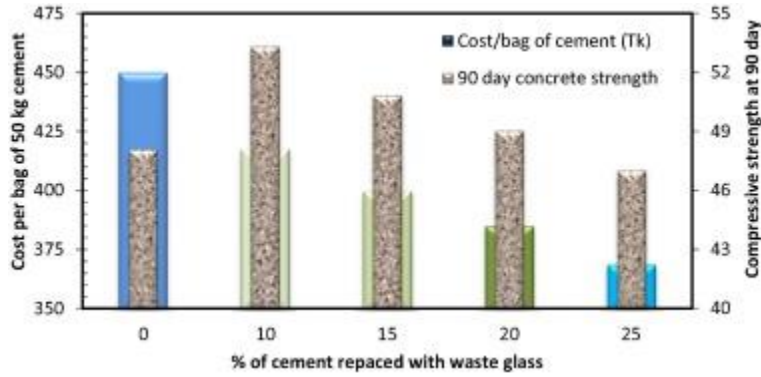
The chemical composition of these products is similar for a given type of glass, and typical chemical compositions of the various color glass have been presented in Table 2.

Composition	Clear Glass	Brown Glass	Green Glass
SiO ₂	72.42	72.21	72.38
Al ₂ O ₃	1.44	1.37	1.49
TiO ₂	0.035	0.041	0.04
Cr ₂ O ₃	0.002	0.026	0.130
Fe ₂ O ₃	0.07	0.26	0.29
CaO	11.50	11.57	11.26
MgO	0.32	0.46	0.54
Na ₂ O	13.64	13.75	13.52
K ₂ O	0.35	0.20	0.27
SO ₃	0.21	0.10	0.07

Table 2.0: Chemical composition of various coloured glass

4. Environmental and financial considerations

There is an impetus to use industrial by-products/waste material in construction industry to achieve sustainability in this sector. One ton cement manufacturing results in emission of 0.9 ton of carbon dioxide (CO₂) to the atmosphere. Cement production also involves emission of moderate quantities of NO_x, SO_x, and particulates. Recycling of each ton of glass saves over one ton of natural resources. Waste glass is not bio-degradable and therefore, rational consideration for alternative utilization dictates a diversion of the material away from landfill disposal sites. Utilization of waste glass in concrete production not only provides significant environmental benefits but also enhances performance of the concrete (both mechanical and durability performance) when used at optimum quantity. From the test results and decision it was concluded that up to 20% glass powder addition could be beneficial considering compressive strength..



Cost of glass blended cement and compressive strength.

From the compressive strength test results in mortar and concrete at 90 days, the optimum glass content was found to be 20% for which compressive strength was 2% higher than the control concrete. At the same time replacing 20% cement will reduce production and release of 18% CO₂ in the environment. Considerable amount of NO_x, SO_x, and particulates will also be reduced with this CO₂ emission reduction.

5- العمل المختبري

5-1 إنتاج خرسانة الزجاج:

5-1-1 الأجهزة المستخدمة

أ: خلاطة قدرية

تم استخدام خلاطة قدرية بسعة (0.075)م³ تعمل بالطاقة الكهربائية لخلط المواد الأولية الداخلة في إنتاج خرسانة الزجاج .

ب: القوالب

القوالب يجب أن تكون من مادة غير قابلة للامتصاص ولا تسمح بمرور الماء وغير قابلة للتفاعل مع محتويات الخرسانة .

تم في هذا البحث استخدام مكعبات (10× 10× 10) سم لعمل نماذج فحص مقاومة الانضغاط) .

ج- طاحونة

تم استخدام طاحونة كهربائية لغرض طحن فضلات الزجاج الى المقاسات المطلوبة، الشكل رقم (1) يوضح جهاز الطحن المستخدم .



شكل رقم (1) جهاز الطحن المستخدم .

2-1-5 المواد الأولية المستخدمة

أ: الاسمنت

تم في هذا البحث استخدام الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي المصنوع في معمل سمنت كيبسة.

ب: الركام

أعطت المواصفة الامريكية (ASTM: C-294-69) والتي اعتمدت ثانياً عام (1981م) وصفاً للمعادن الموجودة في الركام ومنها معادن السليكا (الكوارتز، اوبال، حجر عين الشمس)، معادن اكاسيد الحديد، معادن الطين، معادن الكبريتات، معادن الكربونات وغيرها.
تم استخدام الركام بنوعيه الخشن بمقياس لا يزيد عن (1) سم والناعم وحسب النسب التي ستذكر لاحقاً.
الجدولان رقم (3) ورقم (4) يوضح ان التحليل المنخلي للركام الخشن و الناعم وحسب المواصفة الأمريكية ASTM-C33-87 .

جدول رقم (3) متطلبات التدرج ونتائج التحليل المنخلي للركام الخشن المستخدم .

قياس المنخل	متطلبات التدرج حسب المواصفة	النسبة المئوية المارة
75 ملم	----	100
63 ملم	----	100
50 ملم	----	100
37.5 ملم	----	100
25 ملم	----	100
19 ملم	100	100
12.5 ملم	100-90	100
9.5 ملم	70-40	64
4.75 ملم	15-0	12
2.36 ملم	5-0	2

جدول رقم (4) متطلبات التدرج ونتائج التحليل المنخلي للركام الناعم المستخدم

النسبة المئوية المارة	متطلبات التدرج حسب المواصفة	قياس المنخل
100	100-95	4.75 ملم
96.3	100-80	2.36 ملم
77	85-50	1.18 ملم
50	60-25	600 مايكرون
22.5	30-10	300 مايكرون
9.5	10-2	150 مايكرون
----	----	0.075 ملم

ج: الماء

تم استخدام ماء صالح للشرب في إنتاج الخلطة المرجعية وخلطات خرسانة الزجاج.

د: الزجاج

تم استخدام فضلات الزجاج المطحون طحنا ناعما وبمقاسات معينة فالزجاج المستخدم بدلا عن جزء من الاسمنت كان أقصى مقاس له هو (300) مايكرون أما الزجاج المستخدم بدلا من جزء الركام الناعم فكان أقصى مقاس له هو (1.18) ملم.

3-1-5 نسب الخلط

تم في خلطة خرسانة الزجاج اعتماد نفس نسب الخلطة المستخدمة في صناعة كتل البناء الخرسانية ا لمحملة (البلوك) وهي 1:2:3، ونسبة ماء إلى اسمنت (0.4) مع ملاحظة بانه في الخلطة رقم (1) تم استبدال 15% من الرمل بزجاج مطحون بمقاس أقصى (1.18) ملم وتم في الخلطة رقم (2) استبدال

10% من الاسمنت بزجاج مطحون بمقاس أقصى (300) مايكرون أما الخلطة رقم (3) فتم فيها استبدال كل من الرمل والاسمنت وبنفس النسب اعلاه.

2-5 إعداد النماذج

إعداد النماذج في هذا البحث تم اعتمادا على المواصفة الأمريكية-ASTM-C-192-1980.

1-2-5 القولية

بعد اكتمال عملية الخلط تم وضع الخرسانة بالقوالب بطبقتين متساويتين كل طبقة ترص باستخدام الهزاز الكهربائي لوقت مناسب لحين استواء الخرسانة داخل القالب مع التأكد من جوانب القوالب بعد كل عملية رص.

2-2-5 إنهاء السطح

بعد ملء القوالب تم تعديل سطح النماذج باستخدام المالج trowel. كل النماذج تم تغطيتها بمادة النايلون السميك لمنع تبخر الماء وللحصول على سطح مناسب للفحص .

3-2-5 الإزالة من القوالب

تم رفع جميع النماذج من القوالب بعد مرور (24) ساعة من وقت الصب .

4-2-5 المعالجة

بعد رفع النماذج من القوالب غمرت بالماء لمدة (7) أيام .

6 - الفحوصات

تم إجراء فحصي الكثافة ومقاومة الانضغاط على الخلطة المرجعية وخلطات خرسانة الزجاج المختارة وكانت أعمار الفحص (28,14,7) يوم.

1-6 فحص الكثافة

تم إيجاد الكثافة لكل نموذج بقسمة وزن النموذج قبل الفحص على الحجم المقاس لذلك النموذج.

2-6 فحص مقاومة الانضغاط

تم إجراء الفحص لجميع الخلطات بأعمار (28,14,7) يوم حيث تم فحص ثلاث نماذج مكعبة بأبعاد (10× 10× 10) سم لكل عمر وأخذ معدلها ليمثل مقاومة

الانضغاط للخرسانة بذلك العمر ، وتم في هذا الفحص اعتماد المواصفة البريطانية (B.S. 1981. Part (5):1983).

الجدول رقم (3) يوضح معدل النتائج المستحصلة من العمل المختبري لجميع الخلطات ولكل عمر.

جدول رقم (3) نتائج فحصي الكثافة ومقاومة الانضغاط للخلطات المختارة

مقاومة الانضغاط (ميكا باسكال)			الكثافة (كغم/م ³)			
28 يوم	14 يوم	7 يوم	28 يوم	14 يوم	7 يوم	
42.3	34.6	28.4	2420	2403	2359	الخلطة المرجعية
39.2	32.2	26.1	2395	2370	2345	خلطة رقم (1)
40.9	33.1	27.9	2405	2380	2356	خلطة رقم (2)
39.1	32.1	26.2	2391	2368	2342	خلطة رقم (3)

7- تحليل النتائج ومناقشتها

بعد إتمام العمل المختبري والحصول على نتائج الفحوصات تأتي الآن فقرة تحليل هذه النتائج ومناقشتها وكما يلي:

7-1 الكثافة

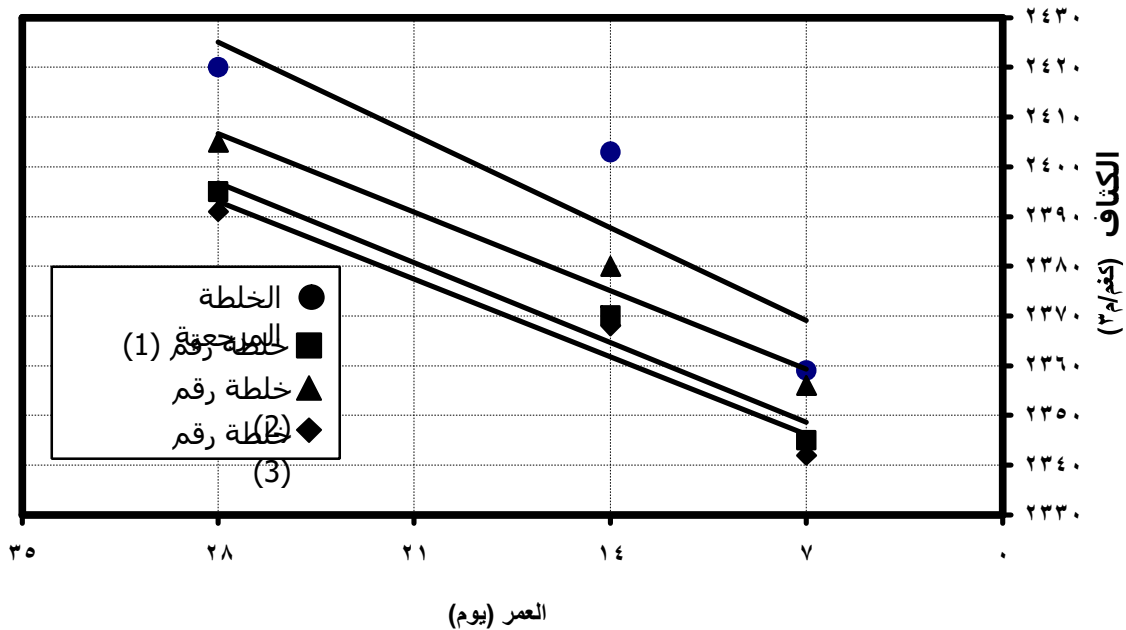
تزداد الكثافة مع العمر والسبب في ذلك هو استمرار عملية امهارة الاسمنت مع العمر مما يؤدي إلى تكوين نواتج الامهارة التي ستأخذ بدورها حجماً أكبر من حجم العناصر المكونة لها وبالتالي تسد الفراغات الدقيقة الموجودة ومن ثم يزداد وزن العينة وبثبات الحجم فان الكثافة تزداد مع العمر وهذا واضح من خلال الشكل رقم (2). كما ويوضح الشكل رقم (3) علاقة الكثافة مع مقاومة الانضغاط للخلطات المختارة ويتبين بأنه ومع تقدم عمر الخرسانة فان مقاومة الانضغاط تزداد بزيادة الكثافة.

7-2 مقاومة الانضغاط

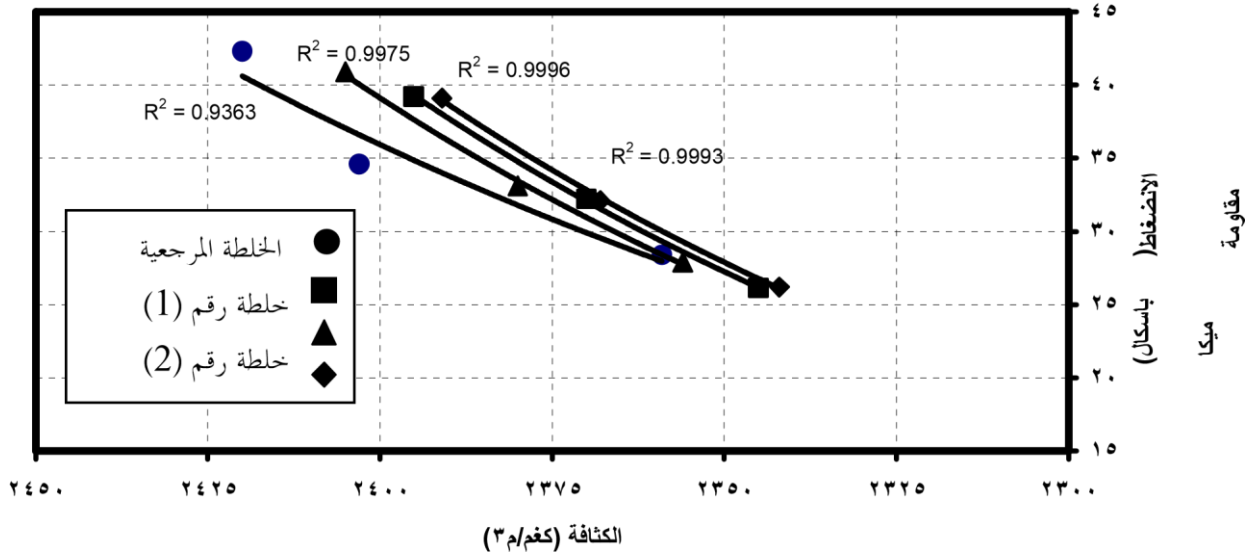
تعتمد مقاومة انضغاط الخرسانة على عدة عوامل منها الكثافة، العمر، محتوى الاسمنت، نسبة الماء/الاسمنت، نسبة الرمل/الاسمنت، المعالجة، المضافات والخ... .

شكل رقم (4) يوضح العلاقة بين مقاومة الانضغاط والعمر للخلطات المختارة، حيث يظهر من خلال الشكل بان مقاومة الانضغاط تزداد مع العمر لجميع الخلطات.

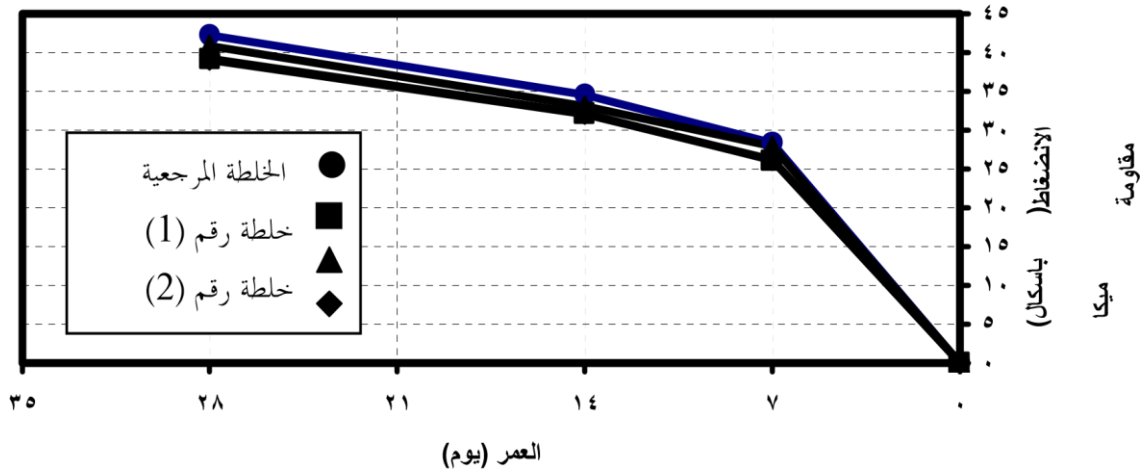
اما الشكل رقم (5) فيوضح انه بثبوت عمر الفحص فان مقاومة الانضغاط لخلطات خرسانة الزجاج تكون اقل بقليل من مقاومة انضغاط الخلطة المرجعية، سبب نقصان مقاومة الانضغاط و ان كان قليل يعود إلى عملية اماهة الاسمنت حيث ان نواتج تفاعل الاسمنت مع الماء (عجينة الاسمنت المتصلبة) لخلطات خرسانة الزجاج تكون اقل من مثيلتها بالنسبة للخلطة المرجعية مما يؤدي إلى النقصان في مقاومة الانضغاط وسبب ذلك هو بإضافة مسحوق الزجاج بدلا عن جزء من الاسمنت أو الرمل أو كليهما سوف يقلل نسبة عناصر معينة من مكونات المواد الخام الأولية واستبدالها بعناصر أخرى (العناصر المكونة للزجاج) قد لا تكون مفيدة لعملية الاماهة وبالتالي ضعف في عجينة الاسمنت المتصلبة مما يؤدي إلى نقصان المقاومة.



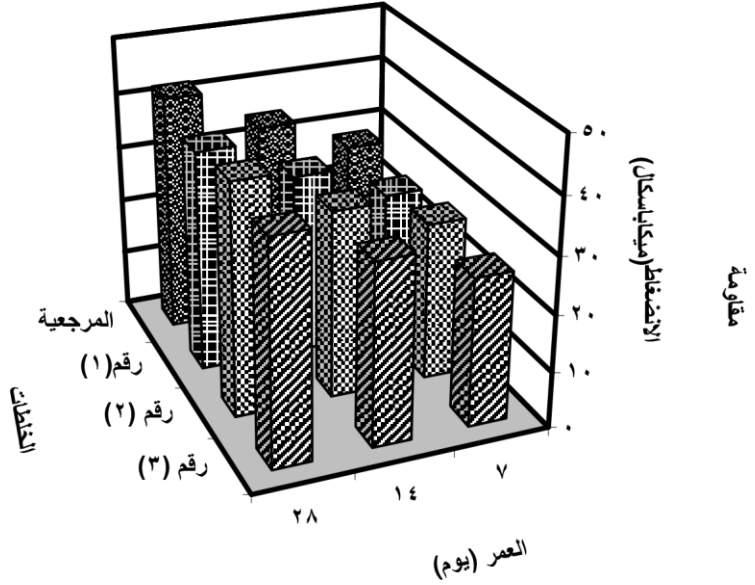
شكل رقم (2) علاقة الكثافة مع العمر للخلطات المختارة.



شكل رقم (3) علاقة الكثافة مع مقاومة الانضغاط للخلطات المختارة



شكل رقم (4) العلاقة بين مقاومة الانضغاط والعمر للخلطات المختارة



شكل رقم (5) علاقة كل من مقاومة الانضغاط وعمر الفحص للخلطات المختارة

8- الاستنتاجات

اعتماداً على نتائج العمل المختبري والذي شمل إنتاج خرسانة الزجاج ودراسة بعض خواصها وبالمقارنة مع نتائج الخلطة المرجعية يمكن استنتاج ما يلي:

1- بالامكان إنتاج خرسانة بإبدال جزء من الركام الناعم او جزء من الاسمنت أو أجزاء من كليهما بمسحوق فضلات الزجاج بعد طحنها إلى مقاسات معينة.

2- كثافة خلطات خرسانة الزجاج اقل مقارنة بكثافة الخلطة المرجعية.

3- مقاومة الانضغاط لخلطات خرسانة الزجاج تقل بمقدار بسيط عنها للخلطة المرجعية حيث ظهر بان نسبة نقصان المقاومة مقارنة بالخلطة المرجعية هي (7.32 %) بالنسبة للخلطة رقم (1) و (3.47 %) بالنسبة للخلطة رقم (2) اما للخلطة رقم (3) فكانت (7.56 %)

4- أظهرت النتائج بان استبدال جزء من الاسمنت بمسحوق الزجاج يعطي مقاومة انضغاط اقرب إلى مقاومة الخلطة المرجعية مقارنة مع خلطات خرسانة الزجاج الأخرى.

5- أظهرت النتائج بانه بالامكان الاستغناء عن كميات من الاسمنت أو الرمل او من كليهما معاً بإبدالها بمسحوق فضلات الزجاج مع عدم ظهور فروقات كبيرة وملحوظة في مقاومة الانضغاط بين الخلطة المرجعية وخلطات

خرسانة الزجاج فعليه ومن الناحية الاقتصادية يفضل الاستفادة من فضلات الزجاج بإعادة استخدامها في إنتاج خرسانة مرضية من ناحية التحمل.

Reference

1. Waste glass powder as partial replacement of cement for sustainable concrete practice G.M. Sadiqul Islam, M.H. Rahman, Nayem Kazi .
2. Concrete materials research at Columbia University.
3. Effect of particle size recycled glass on concrete properties – A review (Aniket S. Aphale, Sheetal, A. Sahare) .
4. Performance of using waste glass powder in concrete as replacement of cement. (Lecturer Tunku Abdul Rahman, university of Malaysia structural department).

دراسة إنتاج خرسانة الزجاج ومقاومة انضغاطها (امير

5.عبدالرحمان هلال الدليمي /

مدرس مساعد / كلية الهندسة / جامعة الانبار) و (سعدي

شرتوح شرقي المحمدي /

مدرس مساعد / كلية الهندسة / جامعة الانبار) .