# "دراسة انتاج خرسانة الزجاج ومقاومة انضغاطها"

أمير عبد الرحمن هلال الدليمي
مدرس مساعد/كلية الهندسة/جامعة الانبار

سعدي شرتوح شرقي المحمدي
مدرس مساعد/كلية الهندسة/جامعة الانبار

## Abstract:

This research includes study of production of glass concrete and comparison its compressive strength with reference mix's strength (mix of load-bearing concrete masonry units or concrete block mix).

The aim of this research is replacing part of fine aggregate or part of cement or parts of both them by crushed waste glass grinded to appropriate sizes and study of compressive strength of the final product.

The results showed that the compressive strength at (28) day of the reference mix and glass concrete mixes (1,2,3) were (42.3,39.2,40.9,39.1)MPa respectively ,and strength results showed no significant differences between the four mixes .production of glass concrete is more economical comparison with normal concrete of the same strength.

## الخلاصة:

تضمن هذا البحث دراسة انتاج خرسانة الزجاج ومقارنة مقاومتها مع خلطة مرجعية تمثل خلطة كتل البناء الخرسانية المحملة (البلوك).

ان الهدف من البحث هو إعادة استعمال فضلات الزجاج وذلك بإبدال جزء من الركام الناعم او جزء من الاسمنت أو أجزاء من كليهما بفضلات الزجاج المطحونة الى مقاسات معينة ومن ثم دراسة مقاومة انضغاط الناتج النهائي.

بينت النتائج بان مقاومة الانضغاط بعمر (28)يوم للخلطة المرجعية هي (42.3) ميكاباسكال ولخلطات خرسانة الزجاج (3,2,1) هي على التوالي (39.1,40.9,39.2،) ميكاباسكال ويلاحظ عدم ظهور فروقات كبيرة وملحوظة في مقاومة الانضغاط بين الخلطات الأربع.

بسبب امكانية ابدال كميات من الاسمنت او الرمل او كليهما معاً بمسحوق فضلات الزجاج مع عدم ظهور فروقات كبيرة في المقاومة فإن إنتاج خرسانة الزجاج يكون اقتصاديا مقارنة بالخرسانة الاعتيادية التي تمتلك نفس المقاومة.

## 1- مقدمة

تعتمد خطط التنمية وتنفيذ المشاريع المختلفة على مدى توفر مواد البناء وعلى الرغم من تطور مواد البناء المستعملة بمرور الزمن فلا تزال الخرسانة تحتل مكانة الصدارة إذ تطورت وتحسنت طرق إنتاجها وصناعتهـــا بصورة هائلة كما وتعددت أنواع الخرسانة المنتجة تبعا لمتطلبات الإغراض المستعملة لأجلها وفي المجالات المختلفة .وتم ذلك عن طريق تنوع مكوناتها أو باستعمال الإضافات أو تنوع طرق الإنتاج من هذا تظهر أهمية الخرسانة بصفتها مادة إنشائية اعتمدت عليها وتعتمد عليها مستقبلا النهضة العمرانية في القطر[1] . إن الهدف من البحث هو استغلال فضلات الزجاج بأنواعه المختلفة وإضافتها إلى الخرسانة كبديل عن جزء من المواد الأساسية الداخلة في تكوين الخرسانة أي إنتاج خرسانة بإبدال جزء من الاسمنت أو الركام الناعم أو كليهما بفضلات زجاج مطحونة لحد مقاسات معينه ومن ثم فحص بعض خواص الخرسانة المنتجة.

إن لهذا الموضوع اثر كبير من الناحية الاقتصادية بسبب إعادة استعمال مواد كانت لتكون فضلات مهملة واستعمالها في مادة إنشائية.

## 2- الخرسانة

الخرسانة بمعنى عام هي أي منتج أو كتلة مصنوعة باستخدام الوسط الأسمنتي وعموما فان هذا الوسط ناتج من التفاعل بين الاسمنت الهيدروليكي والماء[2].

مكونات الخرسانة على الأعم هي الاسمنت والركام بنوعيه الناعم والخشن والماء بالإضافة إلى المضافات .

الخرسانة الجيدة يجب إن تكون مرضية في حالتها الصلبة وكذلك في حالتها الطرية عندما تنقل من الخلاطة إلى القالب .

يطلق تعبيرالخرسانة الطرية ( Fresh concrete) على الخرسانة المخلوطة حديثا والتي لم تتماسك بعد وهذه الخرسانة تفقد لدونتها بصورة تدريجية وعندما تتماسك تماما تعرف بالخرسانة الخضراء ( green concrete) ولكن عند تجاوزها هذه المرحلة ودخولها في مرحلة التصلب أي اكتساب المقاومة بحيث تستطيع تحمل الأثقال المؤثرة على المنشأ تعرف عندئذ بالخرسانة المتصلبة (hardened concrete) .

يعتبر الاسمنت المكون الرئيسي والأهم للخرسانة وهو على انواع عديدة ولكل نوع استخداماته ، ان المواد الخام المستخدمة في صناعة الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي تتكون بشكل رئيسي من الكلس، السليكا، الالومينا واوكسيد الحديد.

هناك اربع مركبات تعتبر مكونات رئيسية للاسمنت وهي سليكات ثلاثي الكالسيوم (C3S) وسليكات ثنائي الكالسيوم (C2S) والومينات ثلاثي الكالسيوم (C3F) وسليكات رباعي الكالسيوم الحديد (C4AF)، ان السليكات (C3S,C2S) هي اكثر المركبات أهمية وتكون مسؤولة عن مقاومة عجينة الاسمنت.

بالاضافة الى المركبات الرئيسية توجد هناك مركبات ثانوية مثل $MgO$, $TiO_2$, $Mn_2O_3$, $K_2O$, $Na_2O$ ، اثنين من هذة المركبات الثانوية لها اهمية وهما اكاسيد الصوديوم والبوتاسيوم ($K_2O$, $Na_2O$) وتعرف بالقلويات فقد وجد بان هذين المركبين الثانويين يتفاعلان مع بعض الركام وان ناتج تفاعل الركام- القلويات يسبب تفتت الخرسانة ولوحظ انهما يؤثران على معدل سرعة اكتساب مقاومة الاسمنت لذلك يشكلان نسبة ضئيلة من كتلة الاسمنت.

## 3- الزجاج

عندما تصهر السيليكا النقية يتكون الزجاج المستعمل للأغراض المختلفة ، إن درجة انصهار السيليكا هي عالية والناتج من الانصهار لزج ومليء بفقاعات الهواء لذا يجب إن يمر بعمليات خاصة للحصول على زجاج صاف صالح للاستعمال للأغراض المختلفة ،كما إن من الضروري معالجة السيليكا لجعل درجة انصهارها واطئة وغير لزجة عندما تكون منصهرة بدرجة تكفي للانشغال بها.ان من أهم العوامل المساعدة لخفض درجة الحرارة هي كاربونات الصوديوم أو البوتاسيوم.ومن المعلوم إن إضافة كميات كبيرة من كاربونات الصوديوم أو البوتاسيوم تجعل الزجاج الناتج أكثر ذوبان بالماء من الزجاج الاعتيادي واضعف مقاومة للتغيرات الجوية ولأجل تفادي هذا النقص يضاف الكلس وعندما يضاف كمية كبيرة من الكلس يصبح الزجاج المنصهر أكثر سيولة ويتبلور بدل من أن يبقى في حالة سائل صلب.

إن التركيب الجزيئي للزجاج متباين حسب نوعيات الزجاج المختلفة فهنالك صفائح وألواح الزجاج وزجاج مقاوم للنار وزجاج غير قابل للكسر والزجاج المستعمل للآلات البصرية والعوينات وزجاج بمعدل تمدد واطيء...الخ، وكل هذه الأنواع لا تبتعد في تركيبها كثيراً عن التركيب الآتي ($Na_2OCaO5SiO_2$) والممثلة بالنسب المئوية الآتية $SiO_2$, (71.5) CaO, (13) Na2O, (10) .

## 4- خرسانة الزجاج

إن عملية إعادة استخدام الزجاج من المسائل الرئيسة المركز عليها في بلدان كثيرة.حاليا مدينة نيويورك (New York City) تقوم بإعادة استخدام (100.000) طن من فضلات الزجاج يوميا في مجالات مختلفة[3] .

تعتبر خرسانة الزجاج احد الأنواع الخاصة من الخرسانة وتنتج باستبدال جزء من الاسمنت أو الرمل أو أجزاء من كليهما بمادة الزجاج المطحون إلى مقاسات معينة .

إن استخدام فضلات الزجاج المسحوقة في الخرسانة كركام فيه بعض المشاكل بسبب التفاعل الكيميائي الحاصل بين القلويات في الاسمنت والسليكا في الزجاج ، تفاعل القلويات ـــ السليكا يكون جل والذي بدوره سوف ينتفخ بوجود الرطوبة مسبب التشققات وتلف الخرسانة ، هذا التفاعل من الممكن أن يحدث في الخرسانة الاعتيادية إذا كان الركام الطبيعي حاوي على السليكا بشكل كبير . اظهر بحث في المواد الخرسانية مقدم من قبل قسم الهندسة المدنية في جامعة كولومبيا عدد من الحلول لظاهرة تفاعل القلويات ـــــ السليكا وأكد بأنها مشكلة تظهر سلبياتها في الأمد الطويل ، من هذه الحلول[4].

1- طحن الزجاج بصورة أكثر نعومة ، لم يظهر تمدد ملحوظ اعتمادا على المواصفة الأمريكية 0(ASTM -C 1260) [5] .

2- استبدال جزء من الاسمنت ب(Meta Kaolin) بسبب كون الأخير له القابلية على امتصاص ايونات القلويات وبالتالي تقليل التفاعل.

3- عملية طلاء جزيئات الزجاج بطلاء فعال يمنع تفاعل سليكا الزجاج مع قلويات الاسمنت.

4- تعديل التركيب الكيميائي للزجاج ، حيث حصلت جامعة كولومبيا على إن استخدام الزجاج الأخضر والذي يحتوي في تركيبه على اوكسيد الكروم الذي يعطيه اللون الأخضر لا يسبب تفاعل بين القلويات والسليكا .

## 5- العمل المختبري

تضمن هذا البحث ثلاث مراحل مختبرية رئيسة

المرحلة الأولى : تضمنت إنتاج خرسانة الزجاج .

المرحلة الثانية : تضمنت إعداد النماذج وشملت القولبة Molding ،إنهاء السطح finishing Surface ، الرفع من القوالب moved from molds وأخيرا المعالجة Curing .

المرحلة الثالثة : تضمنت فحص مقاومة الانضغاط للخلطة المرجعية وخلطات خرسانة الزجاج.

جميع الفحوصات تمت في مختبر الخرسانة في كلية الهندسة /جامعة الانبار.

### 5-1 إنتاج خرسانة الزجاج:

### 5-1-1 الأجهزة المستخدمة

#### أ: خلاطة قدرية

تم استخدام خلاطة قدرية بسعة (0.075)م$^3$ 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 المـــاء وغيـــر قابلـــة 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 .

## 5-1-2 المواد الأولية المستخدمة

أ:الاسمنت

تم في هذا البحث استخدام الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي (I) المصنوع في معمل ســـمنت كبيســـة .الجدولان رقم (1) ورقم (2) يوضحان التركيب الكيمياوي والعناصر الفيزياوية للاســـمنت المســـتخدم في هذا البحث علما بان قيم الجدولين اعلاه قد تم الحصول عليها من معمل سمنت كبيسة.

جدول رقم (1) التركيب الكيمياوي للاسمنت المستخدم.

| Oxide Chemical Composition | Content % |
|---|---|
| $SiO_2$ | 21.5 ± 0.5 |
| $Al_2O_3$ | 5.70 ± 0.3 |
| $Fe_2O_3$ | 3.25 ± 0.1 |
| CaO | 62.5 ± 1.0 |
| MgO | 2.70 ± 0.3 |
| $So_3$ | 2.50 ± 0.2 |
| $Na_2O$ | 0.20 |
| $K_2O$ | 0.42 |
| Insoluble Residue | 0.5 |
| Free Lime | 1.5 |
| Loss on Ignition | 0.78 |

جدول رقم (2) العناصر الفيزياوية للاسمنت المستخدم.

| Test Name | Result |
|---|---|
| Blaine | 3300 $cm^2/g$ |
| Density of Cement | 3.15 g/ $cm^3$ |
| Soundness | 0.22 % |
| Setting Time<br>Initial<br>Final | <br>120 min.<br>240 min. |
| Compressive Strength<br>3 days<br>7 days | <br>26 MPa<br>33 MPa |

ب: الركام

أعطت المواصفة الامريكية (ASTM: C-294-69)[6] والتي اعتمدت ثانية عام (1981م) وصفاً للمعادن الموجودة في الركام ومنها معادن السليكا (الكوارتز، اوبال، حجر عين الشمس)، معادن اكاسيد الحديد، معادن الطين، معادن الكبريتات، معادن الكاربونات وغيرها.

تم استخدام الركام بنوعيه الخشن بمقياس لا يزيد عن (1) سم والناعم وحسب النسب التي ستذكر لاحقا.

الجدولان رقم (3) ورقم (4) يوضحان التحليل المنخلي للركام الخشن والناعم وحسب المواصفة الأمريكية ASTM-C33-87 [7].

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 .

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

جـــ: 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.

### 5-1-3 نسب الخلط

تم في خلطة خرسانة الزجاج اعتماد نفس نسب الخلطة المستخدمة في صناعة كتل البناء الخرسانية المحملة (البلوك) وهي3:2:1، 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.

### 5-2 إعداد النماذج

إعداد النماذج في هذا البحث تم اعتمادا على المواصفة الأمريكية ASTM-C-192-1980[8].

### 5-2-1 القولبة

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.

### 5-2-2 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 .

### 5-2-3 الإزالة من القوالب

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

### 5-2-4 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.

## 6-1 فحص الكثافة

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

## 6-2 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 ) [9].

الجدول رقم ( 2 ) يوضح معدل النتائج المستحصلة من العمل المختبري لجميع الخلطات ولكل عمر.

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

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

## 7- تحليل النتائج ومناقشتها

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

## 7-1 الكثافة

تزداد الكثافة مع العمر والسبب في ذلك هو استمرار عملية اماهة الاسمنت مع العمر مما يؤدي إلى تكوين نواتج الاماهة التي ستأخذ بدورها حجماً اكبر من حجم العناصر المكونة لها وبالتالي تسد الفراغات الدقيقة الموجودة ومن ثم يزداد وزن العينة وبثبوت الحجم فان الكثافة تزداد مع العمر وهذا واضح من خلال الشكل رقم ( 2 ). كما ويوضح الشكل رقم ( 3 ) علاقة الكثافة مع مقاومة

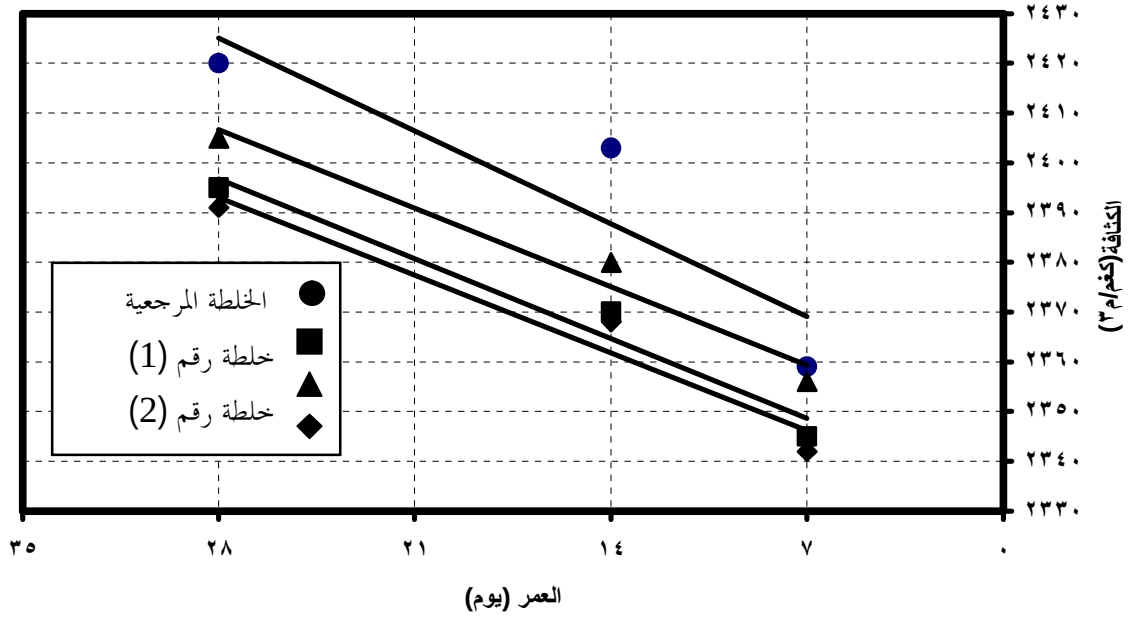
الانضغاط للخلطات المختارة ويتبين بأنه ومع تقدم عمر الخرسانة فان مقاومة الانضغاط تزداد بزيادة الكثافة.

## 7-2 مقاومة الانضغاط

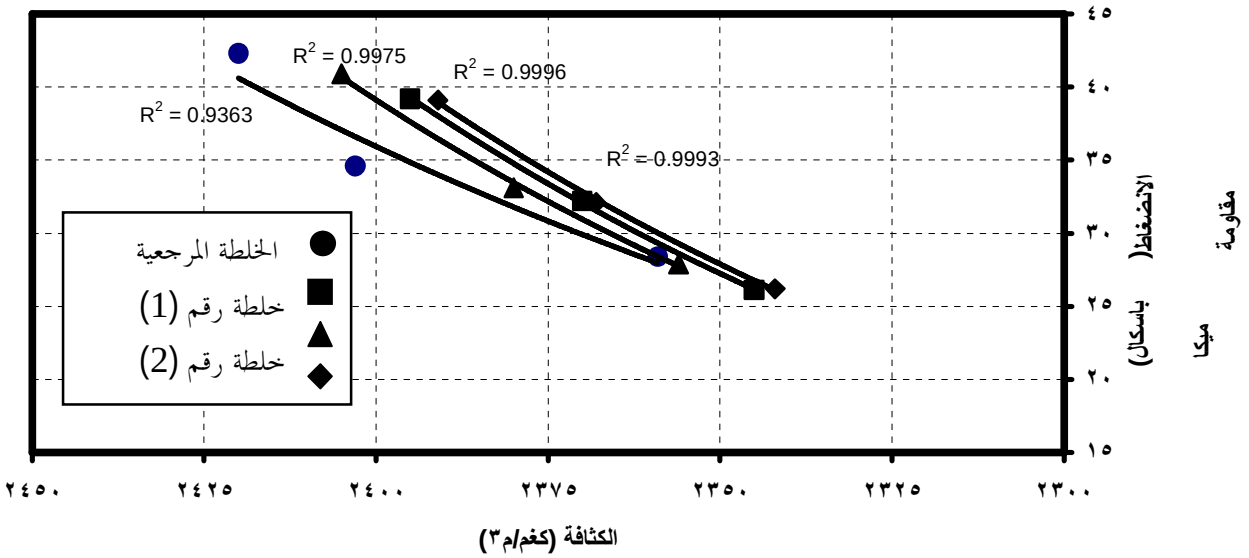
تعتمد مقاومة انضغاط الخرسانة على عدة عوامل منها الكثافة ،العمر ، محتوى الاسمنت ،نسبة الماء/الاسمنت ،نسبة الرمل/الاسمنت، المعالجة، المضافات والخ... .

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

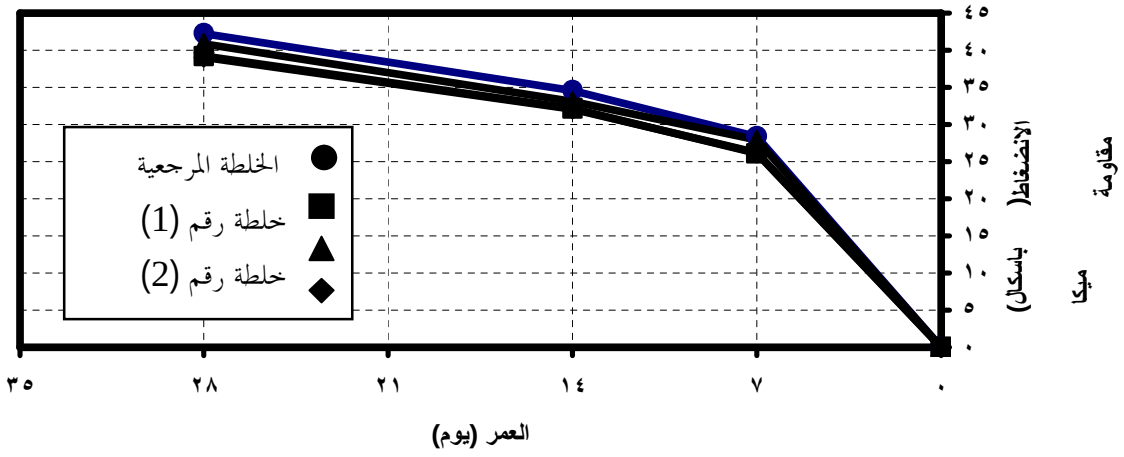
اما الشكل رقم ( 5 ) فيوضح انه بثبوت عمر الفحص فان مقاومة الانضغاط لخلطات خرسانة الزجاج تكون اقل بقليل من مقاومة انضغاط الخلطة المرجعية، سبب نقصان مقاومة الانضغاط وان كان قليل يعود إلى عملية اماهة الاسمنت حيث ان نواتج تفاعل الاسمنت مع الماء (عجينة الاسمنت المتصلبة) لخلطات خرسانة الزجاج تكون اقل من مثيلتها 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.



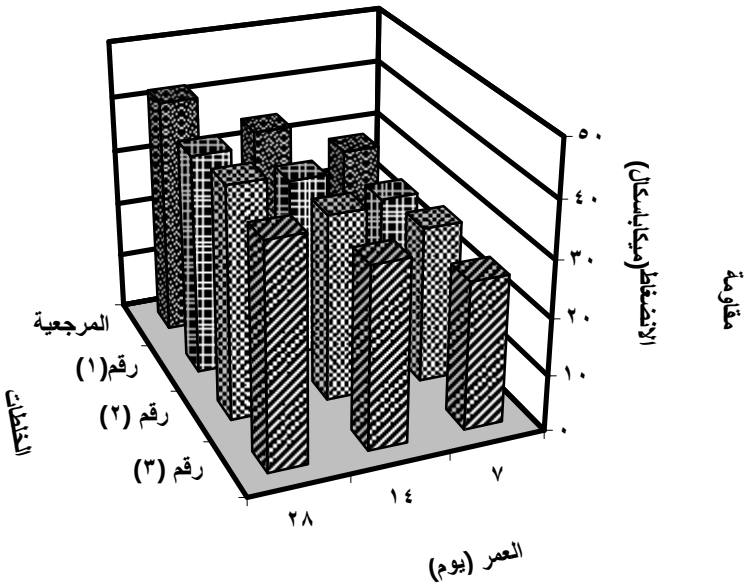

شكل رقم ( 2 ) علاقة الكثافة مع العمر للخلطات المختارة.




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 أوالرمل او من كليهما معاً بابدالها 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.

## المصادر


1. الخلف، مؤيد نوري ويوسف، هناء عبد ،" تكنولوجيا الخرسانة"، مركز التعريب والنشر، الجامعة التكنولوجية ، 1984م.
2. Neville, A.M. "Properties of Concrete", Pitman Publishing Limited, London, 3ed, 1981.
3. Meyer .C. and Research staff,<Internet> ," Glass Concrete" ,Concrete Materials Research at Columbia University ,New York, August 2000.
4. Meyer .C. and others, ,<Internet>," Concrete With Waste Glass As Aggregate", Columbia University, 2001.
5. ASTM:C 1260-87: Standard Test Metho9d For Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method).
6. ASTM: C 294-81: Standard Descriptive Nonmenclature for Constituents of Concrete Aggregates.
7. ASTM: c 33-87: Standard Specification For concrete Aggregate.
8. ASTM: C 192-87: Standard Practice For Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.
9. British Standard Institution, B.S. 1881. Part(5): 1983, " Method For Determination of Compressive Strength of Cubes".