



جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

الدراسات العليا

قسم الهندسة الإنشائية

**رفع كفاءة الخلطة البيتونية باستخدام مطحون الزجاج**

**Increasing the efficiency of concrete  
mixture by using glass powder**

أعدت هذه الرسالة لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية

قسم الهندسة الإنشائية

إعداد: المهندس شيرزاد عيسى اسماعيل

إشراف : الأستاذ الدكتور المهندس عفيف رحمة

2015 - 2014

## المدخل

### رفع كفاءة الخلطة البيتونية باستخدام مطحون الزجاج

مايزال البحث عن مواد بناء جديدة من أبرز الأبحاث الهندسية التي تدعمها شركات البناء في العالم، ضمن منظور الإستجابة للتشريعات و القوانين المتعلقة بالاستدامة و حماية البيئة وسعيًا لتحقيق الوفر الإقتصادي على الصعيد العام والخاص.

ضمن هذا المسار ظهرت عدة أبحاث في مختلف بلدان العالم لإضافة الزجاج على تركيب الخلطة البيتونية، لكن نتائجها كانت متباينة حيناً و متفقة حيناً آخر مما ترك المجال مفتوحاً لمزيد من الدراسات والأبحاث.

ضمن هذا الإطار العلمي سيسعى هذا البحث لوضع منهجية جديدة في التحري عن تأثير مطحون الزجاج على خصائص الخلطة البيتونية، المقاومة والتشغيل، وإمكانية استثمار نفايات هذه المادة في الصناعات الخرسانية باستخدام هذه المادة كمادة مضافة إلى الخلطة البيتونية بقطر أقل من 0.600 مم كبديل عن الفراغات لدراسة تأثيرها على كفاءة الخلطة البيتونية .

سمحت منهجية البحث بالتوصل إلى نتائج مرضية علمياً في بعض الجوانب وهامة في جوانب أخرى. كما قدم البحث نتائج مبنية على فهم علمي وتحليل رياضي يمكن أن يؤسس لخطوات بحث جديدة تنطلق مما توصل إليه الباحثون.

## شكر و تقدير

أود أن أوجه رسالة شكر و تقدير للمشرف على رسالة الماجستير الاستاذ الدكتور المهندس عفيف رحمة لجهده المبذول و الدعم الكبير و التشجيع المستمر لإنجاز هذا البحث بصورة متكاملة .

كما أود أن أتشكر جميع المشرفين في قسم الهندسة الإنشائية و قسم النقل و المواصلات لنصائحهم القيمة و اهتمامهم المستمر في سبيل إنجاز العمل بشكل متكامل و خاصة د.م. مروان البشير و د.م. ماجد أسعد .

## الفهرس

2	المدخل رفع كفاءة الخلطة البيتونية باستخدام مطحون الزجاج
3	شكر و تقدير
4	الفهرس
7	قائمة الأشكال
10	قائمة الجداول
12	الفصل الأول : الزجاج
12	1.1 مقدمة
14	1.2 الخلاصة
15	1.3 مراجع الفصل الأول
16	الفصل الثاني : الدراسات المرجعية
16	2.1 مقدمة
16	2.2 تأثير استبدال الإسمنت بمطحون الزجاج
19	2.3 تأثير استخدام مطحون الزجاج كبديل عن الرمل
19	2.4 تأثير مطحون الزجاج على كثافة البيتون
20	2.5 الخلاصة
21	2.6 مراجع الفصل الثاني

23	الفصل الثالث : التجارب والإختبارات .....
23	3.1 مقدمة .....
23	3.2 الهدف من الإختبارات .....
24	3.3 شروط ومواصفات الإختبار .....
24	3.4 منهجية الإختبار .....
25	3.5 تجارب الإختبار .....
25	3.6 مصادر المواد .....
25	3.7 الخصائص الميكانيكية للحصويات .....
26	3.8 مواصفات الإسمنت .....
26	3.9 مواصفات مطحون الزجاج .....
27	3.10 التدرج الحبي للحصويات والخلطة البيتونية .....
27	3.11 تصميم الخلطة البيتونية .....
29	3.12 تحضير العينات .....
30	3.13 الأسس الأولية لتركيب الخلطات البيتونية .....
32	3.14 مراجع الفصل الثالث .....
34	الفصل الرابع : الإختبارات و نتائجها .....
34	4.1 المرحلة الأولى : مطحون الزجاج بديل عن الفراغات دون إضافات .....
34	4.1.1 مطحون الزجاج و حجم الهواء .....
35	4.1.2 النسب الفعلية لتوزين المواد الصلبة في الخلطة البيتونية .....
37	4.1.3 مطحون الزجاج و الهبوط .....

39	4.1.4 الكثافات .....
45	4.1.5 مقاومة البيتون على الكسر .....
52	4.1.6 آلية عمل مطحون الزجاج .....
54	4.2 المرحلة الثانية : مطحون الزجاج بوجود الإضافات و كبديل عن الرمل .....
54	4.2.1 مطحون الزجاج مع إستخدام الإضافات الكيميائية .....
57	4.2.2 استبدال رمل المزار بمطحون الزجاج .....
59	الخلاصة .....
61	التوصيات .....
62	المراجع العامة .....
65	الملاحق .....

## قائمة الأشكال

رقم الشكل	عنوان الشكل	رقم الصفحة
الفصل الأول :		
الشكل 1-1:	أنواع الزجاج و التركيب الكيميائي و مجالات الإستخدام [1]	12
الشكل 1-2:	المواد الخام الداخلة في تركيب الزجاج [4]	13
الفصل الثاني :		
الشكل 1-2:	قيمة الهبوط مع تغير نسبة استبدال الإسمنت بمطحون الزجاج في الخلطة	16
الشكل 2-2:	الإنخفاض النسبي لمقاومة البيتون مع نسبة استبدال الإسمنت بمطحون الزجاج في الخلطة	17
الشكل 2-3:	تحسن المقاومة على الضغط مع نسبة استبدال الإسمنت بمطحون الزجاج	17
الشكل 2-4:	ارتباط تحسن خصائص البيتون مع نسبة الإستبدال	18
الشكل 2-5:	تناقص كثافة البيتون مع زيادة نسبة الإستبدال 28 يوم	18
الشكل 2-6:	تزايد درجة التشغيل مع زيادة نسبة الإستبدال	18
الشكل 2-7:	العلاقة بين مقاومة البيتون على الضغط ونسبة الرمل المستبدل بمطحون الزجاج	19
الشكل 2-9:	تطور الكثافة النوعية مع نسبة مطحون الزجاج في الخلطة	19
الفصل الثالث :		
الشكل 1-3:	الترج الحبي للحصويات والحزم المنصوح بها وفق ACI	27

الشكل 3-2 : التركيب الحبي الأمثل للخلطة البيتونية..... 29

الفصل الرابع :

الشكل 4-1 : تغيير نسبة حجم الهواء في الخلطة البيتونية الطرية حسب عيار الإسمنت ..... 35

الشكل 4-2: تطور الهبوط مع زيادة نسبة المطحون في الخلطة البيتونية..... 38

الشكل 4-3: الهبوط النسبي للبيتون مع زيادة نسبة المطحون في الخلطة البيتونية..... 39

الشكل 4-4أ: تطور كثافة البيتون مع نسبة مطحون الزجاج ( عيار 350 كغ/م<sup>3</sup> ) ..... 41

الشكل 4-4ب : تطور كثافة البيتون مع نسبة مطحون الزجاج ( عيار 400 كغ/م<sup>3</sup> ) ..... 41

الشكل 4-5أ: تطور كثافة البيتون مع الزمن ( عيار الإسمنت 350 كغ / م<sup>3</sup> ) ..... 42

الشكل 4-5ب: تطور كثافة البيتون مع الزمن ( عيار الإسمنت 400 كغ / م<sup>3</sup> ) ..... 42

الشكل 4-6: تطور كثافة الخلطة البيتونية الرطبة حسب عيار الإسمنت ..... 44

الشكل 4-7: التغير النسبي للكثافة الخلطة البيتونية الطرية حسب عيار الإسمنت ..... 44

الشكل 4-8أ: تطور المقاومة الإسطوانية للبيتون، حسب عمر العينة ( عيار 350 كغ / م<sup>3</sup> ) ..... 46

الشكل 4-8ب: تطور المقاومة الإسطوانية للبيتون، حسب عمر العينة ( عيار 400 كغ / م<sup>3</sup> ) ..... 46

الشكل 4-10أ: تطور المقاومة الإسطوانية حسب نسبة مطحون الزجاج ( عيار الإسمنت 350 كغ/م<sup>3</sup> ) ..... 49

الشكل 4-10ب: تطور المقاومة الإسطوانية حسب نسبة مطحون الزجاج ( عيار الإسمنت 400 كغ/م<sup>3</sup> ) ..... 49

الشكل 4-11: تطور قيمة المقاومة الإسطوانية المرجعية مع عمر الكسر حسب عيار الإسمنت..... 50

الشكل 4-12: المعدل النسبي زمني لتطور قيمة المقاومة الإسطوانية المرجعية (مطحون الزجاج 90 يوم)..... 51



الشكل 4-13-أ: تأثير مطحون الزجاج على ثابت مقاومة البيتون ( عيار 350 كغ / م<sup>3</sup> ) ..... 51

الشكل 4-13-ب: تأثير مطحون الزجاج على ثابت مقاومة البيتون ( عيار 400 كغ / م<sup>3</sup> ) ..... 52

الشكل 4-14-أ: تأثير مطحون الزجاج على درجة التشغيل و المقاومة الإسطوانية بوجود الإضافات الكيميائية (عيار 350) ..... 56

الشكل 4-14-ب: تأثير مطحون الزجاج على درجة التشغيل و المقاومة الإسطوانية باستخدام الإضافات الكيميائية (عيار 400) ..... 56

الشكل 4-15: إستبدال رمل المزار بمطحون الزجاج ( عيار 350 كغ / م<sup>3</sup> ) ..... 58

## قائمة الجداول

رقم الجدول	عنوان الجدول	رقم الصفحة
الفصل الثالث :		
الجدول 3-1 :	نسب أوزان مطحون الزجاج في الخلطة البيتونية.....	24
الجدول 3-2 :	خصائص ومواصفات الحصىيات.....	26
الجدول 3-3 :	التدرج الحبي للحصىيات والخلطة البيتونية.....	28
الجدول 3-4 :	التوزيع الوزني المبدئي لمركبات الخلطة البيتونية.....	31
الفصل الرابع :		
الجدول 4-1 :	نسبة حجم الهواء في البيتون الطري .....	34
الجدول 4-2-أ :	الأوزن الفعلية للمواد في الخلطة البيتونية الرطبة ( عيار اسمنت 350 كغ/م <sup>3</sup> ) .....	36
الجدول 4-2-ب :	الأوزن الفعلية للمواد في الخلطة البيتونية الرطبة ( عيار اسمنت 400 كغ/م <sup>3</sup> ) .....	36
الجدول 4-3 :	هبوط مخروط ABRAMS .....	37
الجدول 4-4-أ :	تغير كثافات البيتون مع عمر العينات ( عيار الإسمنت 350 كغ/م <sup>3</sup> ) .....	40
الجدول 4-4-ب :	تغير كثافات البيتون مع عمر العينات ( عيار الإسمنت 400 كغ/م <sup>3</sup> ) .....	40
الجدول 4-5-أ :	متوسط المقاومة الإسطوانية للبيتون على الضغط، حسب عمر البيتون ( عيار 350 كغ/م <sup>3</sup> ) ..	45
الجدول 4-5-ب :	متوسط المقاومة الإسطوانية للبيتون على الضغط، حسب عمر البيتون ( عيار 400 كغ/م <sup>3</sup> ) .	45

الجدول 4-6-أ: اختبار دور مطحون الزجاج بوجود الإضافات الكيميائية ( عيار 350 ) ..... 55

الجدول 4-6-ب: اختبار دور مطحون الزجاج بوجود الإضافات الكيميائية ( عيار 400 ) ..... 55

## الفصل الأول : الزجاج

### 1.1 مقدمة

دخل الزجاج كمادة أساسية في مجال مواد البناء و قطاع الإنشاء منذ عقود حيث ازدهرت صناعته مع التطور العمراني و ارتفاع مستوى المعيشة. كنتيجة لذلك ظهرت عدة أنواع من الزجاج تبعاً للمواد الداخلة في تركيبه و الغاية من صناعته، إذ يمكن تلخيص أنواعه كما هو موضح في الشكل (1-1)

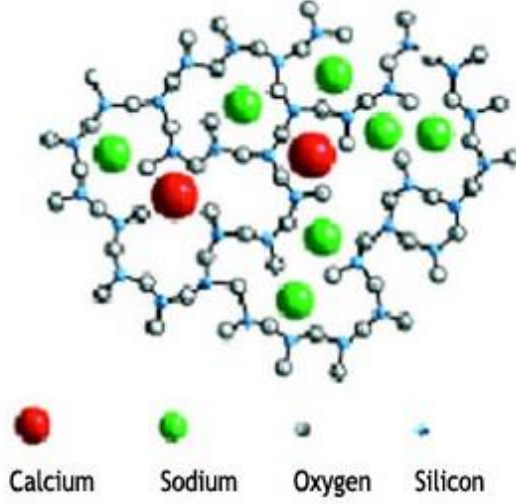
Type of Glass	Composition (by weight)
Soda-Lime-Silica	73% Silica – 14% Soda – 9% Lime – 3.7% Magnesia – 0.3% Alumina
Boro-Silicate	81% Silica – 12% Boron Oxide – 4% Soda – 3% Alumina
Lead (Crystal)	57% Silica – 31% Lead Oxide – 12% Potassium Oxide
Alumino-Silicate	64.5% Silica – 24.5% Alumina – 10.5% Magnesia – 0.5% Soda

الشكل 1-1: أنواع الزجاج و التركيب الكيميائي و مجالات الإستخدام [1]

أما المركبات الداخلة في تركيب الزجاج فهي وحسب نسبة مساهمتها: رمل السيليكا أو ثاني أكسيد السيليكون  $SiO_2$ ، كربونات الصوديوم أو رماد الصودا  $Na_2CO_3$ ، كربونات الكالسيوم أو الحجر الكلسي  $CaCO_3$ ، إضافة إلى بعض الأكاسيد المعدنية للحصول على ألوان معينة مثل أكسيد الكروم للون الأخضر و أكسيد الكبريت للون البني [2].

يتم تصنيع الزجاج بصهر مجموعة من مواد الخام لتشكل مادة شفافة أو ملونة ذات خصائص ميكانيكية محددة

عندما تتحول السيليكا المصهورة إلى شكل لزج فإنها تحتاج إلى درجة حرارة عالية (1700C ) للتخلص من فقاعات الهواء الموجودة فيها، يضاف إليها كربونات الصوديوم لتحسين قابلية التشغيل وخفض درجة حرارة الانصهار و توفير الطاقة ، كما تضاف كربونات الكالسيوم للتقليل من اللزوجة العالية و لمنع الذوبان في الماء الساخن و إكسابها المتانة الكافية [3].



الشكل 1-2: المواد الخام الداخلة في تركيب الزجاج [4]

يستخدم الزجاج المصنوع عادة في مجال الإنشاءات ، مما جعله الأكثر إنتاجاً للنفايات حيث ترسل معظم الكمية التالفة إما لإعادة التصنيع بعد إجراء بعض المعالجات الفيزيائية و الكيميائية للتخلص من ما يرافقها من شوائب، أو إلى المكبات العامة لتشغل مساحات شاسعة تساهم بدورها في زيادة تلوث البيئة، خاصة و إنها غير قابلة للتحلل مع الزمن لثبات خواصها الكيميائية [4].

من هنا ظهرت عدة محاولات لإعادة تدوير الزجاج والإستفادة منه في بعض التطبيقات الهندسية، منها الخلطات البيتونية، سعياً للتقليل من حجم هذه النفايات من ناحية و لتحسين مواصفاتها الميكانيكية في المرحلة الرطبة والمرحلة المتصلبة من ناحية أخرى .

## 1.2 الخلاصة

تعتبر خصائص الزجاج من الخصائص المميزة لمادة يمكن استخدامها في عملية البناء والإنشاء، حيث يعتبر الزجاج من المواد غير الماصة للماء مما يجعله من أكثر المواد ديمومة ومقاومة لتأثير الطبيعة، هذه الخاصية يقاربها صلابته العالية التي تعطيه مقاومة عالية ضد التآكل و الحرارة. هذه الخصائص المميزة للزجاج إضافة لطبيعته السيليكاتية، شجعت تناول موضوع استخدام الزجاج في الخلطة البيتونية لدراسة تأثيره على خصائص البيتون الطري في مرحلة التشغيل والمتصلب على المدى القريب و البعيد .

### 1.3 مراجع الفصل الأول

1. J.M. Khatib, E.M. Negim, H.S. Sohl and N. Chileshe, "Glass Powder Utilisation in Concrete Production", European Journal of Applied Sciences 4 (4): 173–176, 2012
2. Shi, C. and Zheng, K., "A review on the use of waste glasses in the production of cement and concrete", Resources, Conservation, and Recycling, Vol. 52, pp. 234–247, 2007
3. G.Vijayakumar , H.Vishaliny , D. Govindarajulu , "Studies on Glass Powder as Partial Replacement of Cement in Concrete Production", International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Volume 3, Issue 2, February 2013 .
4. I.A.Kassem , H.I.Al-khatib , I.S.Fathi , "SOME PROPERTIES OF MORTAR WITH CRUSHED GLASS AS FINE AGGREGATE", Journal for Engineering Sciences , 2011.

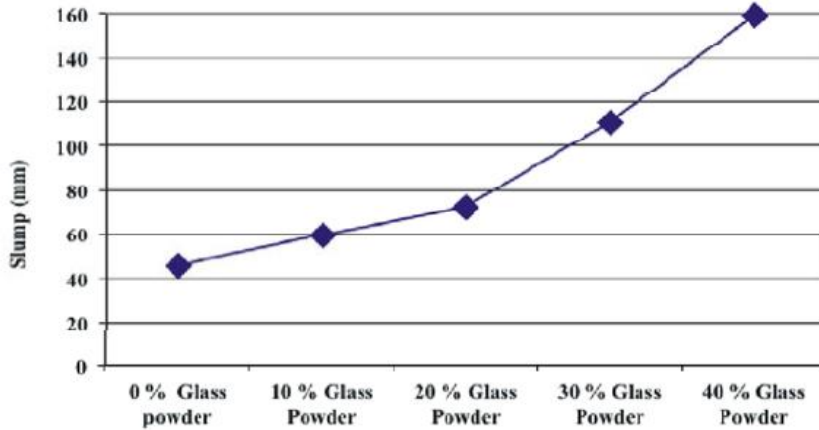
## الفصل الثاني : الدراسات المرجعية

### 2.1 مقدمة

تم اختبار تأثير مطحون الزجاج على خصائص الخلطة البيتونية وفق معايير عدة ، تباينت من حيث المواصفات الفيزيائية ونسب الاستخدام كما استخدم كبديل عن الإسمنت والحصىات.

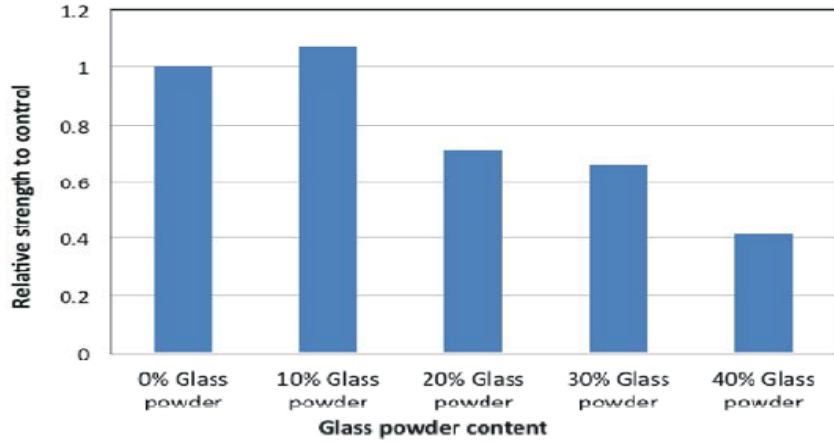
### 2.2 تأثير استبدال الإسمنت بمطحون الزجاج

Khatib & al. (2012) استبدلوا الإسمنت بمطحون الزجاج بنسب 10، 20، 30 و 40%، وبينوا دور مطحون الزجاج في زيادة تشغيل البيتون الطري مع زيادة نسبته في الخلطة الشكل ( 1-2 ) ، إلا أنهم بينوا أن مقاومة البيتون تتخضع طردياً مع تصاعد نسبته في الخلطة كما هو مبين بالشكل ( 2-2)



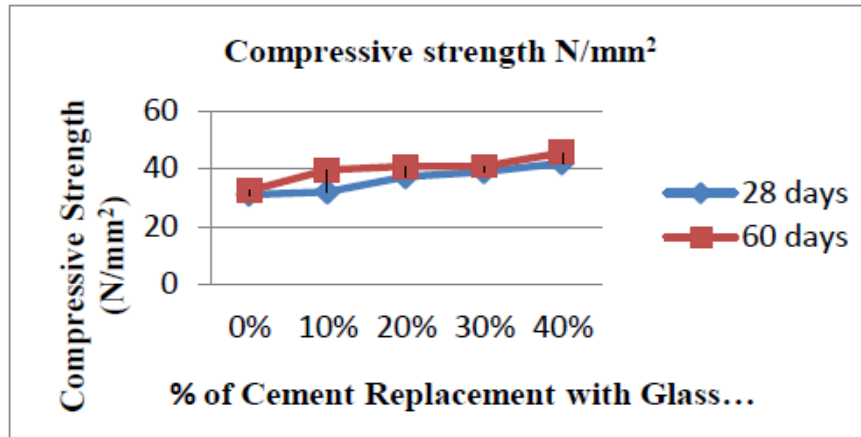
الشكل 1-2 : قيمة الهبوط مع تغير نسبة استبدال الإسمنت بمطحون الزجاج في الخلطة





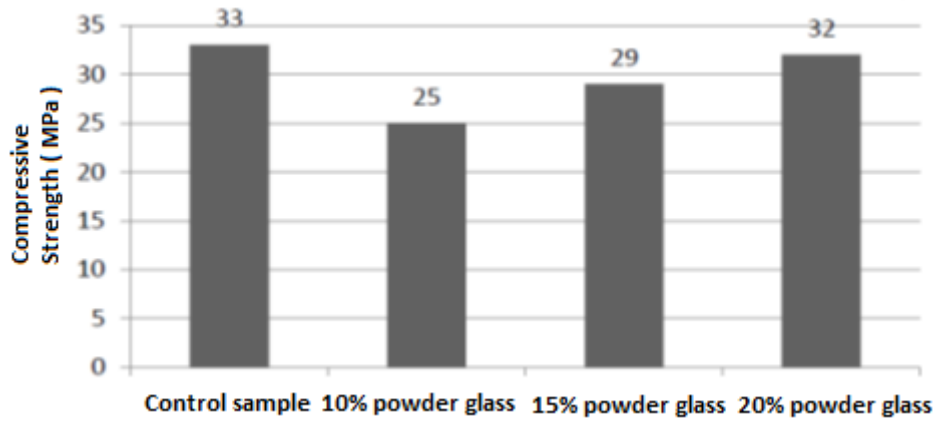
الشكل 2-2 : الإنخفاض النسبي لمقاومة الببتون مع نسبة استبدال الإسمنت بمطحون الزجاج في الخلطة

على خلاف الدراسة التي أعدها Vijayakumar & al. (2013) حيث أظهرت الدراسة تحسناً ملحوظاً في المقاومة على الضغط ( الشكل 2-3 ) .

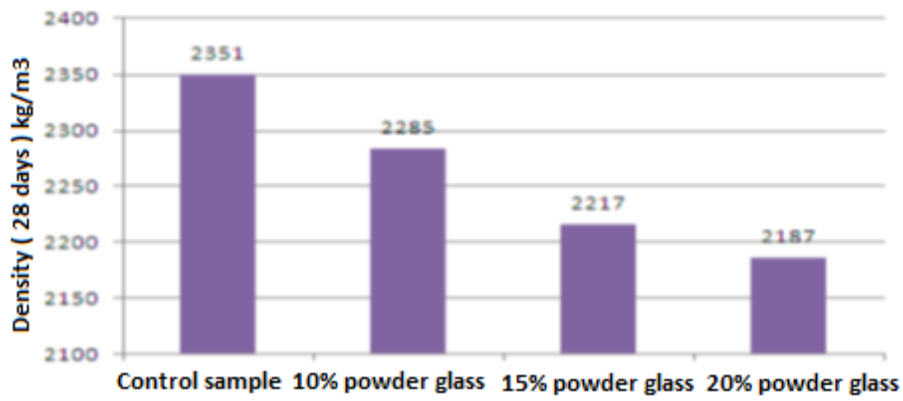


الشكل 2-3 : تحسن المقاومة على الضغط مع نسبة استبدال الإسمنت بمطحون الزجاج

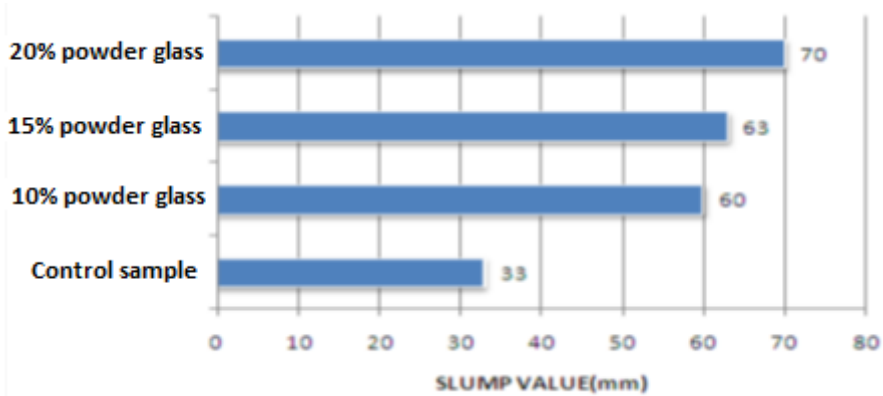
نتيجة توكدها نتائج البحث الذي انجزه Dhanaraj & al. (2013) حيث تؤكد الدراسة حصول تحسن في مقاومة الببتون عند استبدال الإسمنت بما يعادلها من مطحون الزجاج ، أما الدراسة المقدمة من Vasudevan & al (2013) فتظهر أن تأثير مطحون الزجاج على مقاومة الببتون مرتبط بنسبة الإستبدال الشكل (2-4) ، لكنها تؤكد أن نسبة الإستبدال تؤثر طردياً على درجة التشغيل ( 2-6 ) وعكساً على الكثافة النوعية للببتون كما هو موضح بالشكل (2-5).



الشكل 2-4: ارتباط تحسن خصائص الببتون مع نسبة الإستبدال



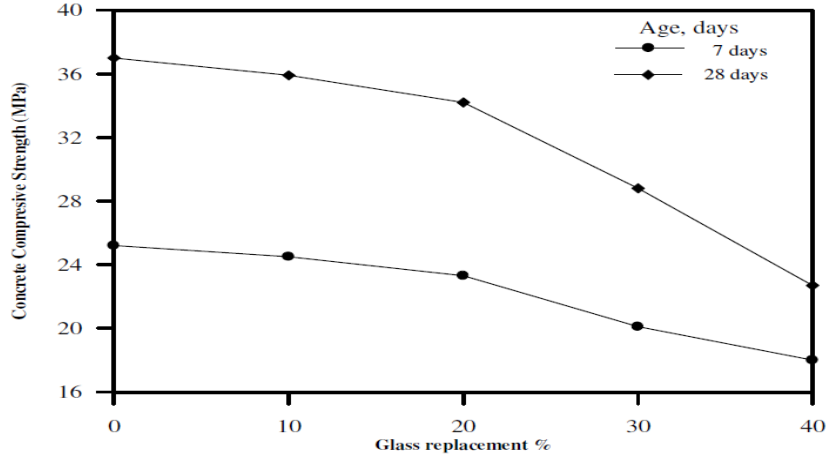
الشكل 2-5: تناقص كثافة الببتون مع زيادة نسبة الإستبدال 28 يوم



الشكل 2-6: تزايد درجة التشغيل مع زيادة نسبة الإستبدال

### 2.3 تأثير استخدام مطحون الزجاج كبديل عن الرمل

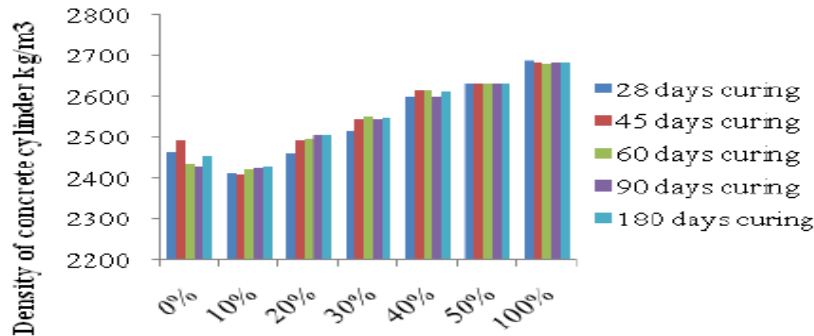
Ammash & al. (2009)، توصلوا إلى أن الزيادة في نسبة الزجاج يؤدي إلى نقصان في المقاومة على الشد و على الضغط كما هو مبين الشكل (2-7) بينما أظهرت الدراسة المعدة من Mageswari & Vidivelli (2010) إلى أن الإحتياج المائي للخلطة البيتونية يتناقص ليقابله تحسن في المقاومة على الضغط والشد طردياً مع ازدياد نسبة مطحون الزجاج في الخلطة



الشكل 2-7: العلاقة بين مقاومة الببتون على الضغط ونسبة الرمل المستبدل بمطحون الزجاج

### 2.4 تأثير مطحون الزجاج على كثافة الببتون

وضمن ذات السياق أظهر Mageswari & Vidivelli (2010) ، مقدار التناسب الطردي للزيادة في الكثافة النوعية للببتون مع إزدياد نسبة مطحون الزجاج المستخدمة كبديل عن الرمل الشكل (2-9)



الشكل 2-9: تطور الكثافة النوعية مع نسبة مطحون الزجاج في الخلطة

## 2.5 الخلاصة

من مجمل هذه الدراسات المرجعية يمكن أن نستنتج النقاط التالية:

1. اعتمدت مجمل هذه الدراسات على منهجية إستبدال أحد مركبات البيتون بما يعادلها من مطحون الزجاج ، مما يجعل تحليل النتائج موجهاً نحو تحليل الظواهر لا النتائج دون القدرة على إيجاد معايير قيمية واضحة لتحديد تأثير إدخال هذه المادة ، بأشكالها الفيزيائية المختلفة، في تركيب الخلطة البيتونية.
2. ما زالت دراسة تأثير الزجاج بأشكاله الحبية المختلفة إلى الخلطة البيتونية من الموضوعات البحثية التي لم تشبع بحثاً بعد.
3. إستخدام مطحون الزجاج على الخلطة البيتونية ذات آثار ميكانيكية وكيميائية بحاجة للبحث والدراسة

من هذا المنظور يأتي هذا البحث للتحري عن تأثير إضافة مطحون الزجاج بقطر اصغر من 0.600 ملم إلى الخلطة البيتونية وفق منهجية جديدة، سعياً لإغناء هذا الموضوع بنتائج علمية جديدة.

## 2.6 مراجع الفصل الثاني

1. Vasudevan, G., Kanapathy pillay, S. G. Performance of Using Waste Glass Powder In Concrete As Replacement Of Cement.
2. American Journal of Engineering Research (AJER) Vol.02, Issue-12, pp-175-181, 2013.
3. Dhanaraj, M.P. & SANGLE, K.K. Experimental investigation of waste glass powder as replacement of cement in concrete. International Journal of Advanced Technology in Civil Engineering, ISSN: 2231 – 5721, Volume-2, Issue-1, 2013.
4. Vijayakumar, G., Vishaliny, H., Govindarajulu, D. Studies on Glass Powder as Partial Replacement of Cement in Concrete Production. IJETAE, Volume 3, Issue 2, February 2013.
5. Mageswari, M., and B.Vidivelli , "The Use of Sheet Glass Powder as Fine Aggregate Replacement in Concrete" , The open Civil Engineering Journal , Vol.4 , P65-71, 2010.
6. Khatib, J.M., E.M. Negim, H.S. Sohl and N. Chileshe, "Glass Powder Utilisation in Concrete Production", European Journal of Applied Sciences 4 (4): 173-176, 2012
7. Degirmenci, N., Yilaz, A., & Cakir, O.A., Utilization of waste glass as sand replecment in cement mortar. Indian J. of Eng. & Materials sciences, Vol. 18, August 2011, pp 303-308, 2011.
8. Shayan, A. and Xu, A., "Value-added utilization of waste glass in concrete", Vermont South, Victoria, 3133, Australia, 11 July 2003

9. Idir, R., Cyr, M., and Tagnit-Hamou, A., "Use of fine glass as ASR inhibitor in glass-aggregate mortars" *Construction and Building Materials*, Vol. 24, pp. 1309–1312, July 2010.
10. Sunny, O.N. & Konstantinos I.P. The Influence of Waste Glass Powder Fineness on the Properties of Cement Mortars. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEEM)* Vol. 2, Issue 2, February 2013.

## الفصل الثالث : التجارب والإختبارات

### 3.1 مقدمة

يأتي إهتمام مخابر البحث بإستخدام الزجاج كمادة مضافة في إطار تحسين خصائص الخلطة البيتونية من حيث المقاومة والتشغيل، لما يحمله من تراكيب كيميائية ثابتة وخصائص ميكانيكية مميزة من حيث المقاومة وعدم امتصاص الماء [1].

لم تقتصر الأبحاث على دراسة تأثير الزجاج على مقاومة البيتون على الضغط، بل تناولت مقاومة البيتون على الشد والإنعطاف [2] [3] وأثره على ظاهرة الإنتفاخ ودرجة التشغيل، إضافة لدراسة تأثير القلوبات الملونة للزجاج على بنية الخرسانة وديمومتها [4] [5] [6] [7].

إن ما يثير أهمية البحث في هذا الموضوع التباين في أهداف و نتائج الدراسات والأبحاث ، حيث أظهرت دراسات عدة دوراً سلبياً يمكن أن يلعبه عند إضافته للخلطة البيتونية [8] [9] بينما أيدت دراسات أخرى أهميته وجدوى استخدامه [10] [11].

ولأن أفاق البحث في هذا الموضوع ما زالت واسعة من حيث إنتاج مواد بناء جديدة ووضع حلول إقتصادية ناجعة في الإنشاء والتعمير، إضافة لما يعنيه إستخدام نفايات هذه المادة من معالجة للتلوث البيئي بإعادة التدوير ، تسعى هذه الدراسة للمساهمة في الكشف عن خصائص يمكن أن يدخله الزجاج في تحسن في خصائص الخرسانة على المقاومة ودرجة التشغيل.

ضمن هذا الإطار يركز هذا البحث على دراسة تأثير إضافة مطحون الزجاج، المنتج من النفايات الزجاجية الشفافة، على درجة تشغيل الخرسانة الطرية بهدف تحسين خصائصها ومقاومتها على الكسر بعد التصلب للمدى القريب و البعيد، حيث تعتمد الدراسة على منهجية جديدة في الإختبار والتحليل.

### 3.2 الهدف من الإختبارات

الهدف الأساسي هو محاولة استثمار مطحون الزجاج كمادة مضافة إلى الخلطة البيتونية لتحسين مواصفاتها الميكانيكية، بإستخدامه كمادة ناعمة بقطر أقل من 0.600 مم ، و دراسة تأثيره على كفاءة البيتون سواء بالمقاومة ( مقاومة على الضغط ) أو قابلية التشغيل ( الكثافة و الهبوط )

### 3.3 شروط ومواصفات الإختبار

تم إختبار المواد الداخلة في الخلطة البيتونية وفق إشتراطات الجمعية الأميركية لإختبار المواد:

ASTM American Society for Testing and Materials

أما تصميم الخلطة البيتونية فتمت بمراعاة توصيات المعهد الأميركي للخرسانة:

ACI American Concrete Institute

### 3.4 منهجية الإختبار

خلافًا لعدد من الدراسات التي اعتمدت الأخذ بمطحون الزجاج كجزء بديل عن الإسمنت، تم في هذه الدراسة تثبيت قيمة جميع المواد الداخلة في الخلطة البيتونية واعتبار مطحون الزجاج المتغير الوحيد، بحيث نضمن الفصل بين تأثير الإسمنت وتأثير الزجاج على سلوك البيتون الطري، معتمدين في عملية التحليل على خلطة مرجعية حيث نسبة الزجاج تساوي الصفر.

حرصاً على تحديد دور مطحون الزجاج على تراص وإكتناز المادة (الخلطة البيتونية) وأثر هذا الإكتناز على ميكانيكية التشغيل (الهبوط) وميكانيكية مقاومة المادة على الإنهيار، روعي بدايةً بالآلا يستخدم في الخلطة البيتونية أي نوع من الإضافات الكيميائية المستخدمة عادة في إنتاج المجبول البيتوني مثل مؤخرة التصلب أو خافضات للماء (ASTM C494-99).

الجدول 1-3 : نسب أوزان مطحون الزجاج في الخلطة البيتونية

تصنيف التجربة							وزن الإسمنت في 1م <sup>3</sup>
نسبة وزن مطحون الزجاج المضاف، كنسبة من كمية الإسمنت							
15 %	12.5 %	10 %	7.5 %	5 %	2.5 %	صفر %	350 و 400
وزن مطحون الزجاج (كغ) في 1م <sup>3</sup> من الخلطة البيتونية							
52.5	43.75	35.0	26.25	17.5	8.75	صفر	350
60.0	50.0	40.0	30.0	20.0	10.0	صفر	400
نسبة حجم مطحون الزجاج (2500 كغ/م <sup>3</sup> ) في الخلطة البيتونية							
2.15 %	1.79 %	1.43 %	1.08 %	0.72 %	0.36 %	صفر	350
2.46 %	2.05 %	1.64 %	1.23 %	0.82 %	0.41 %	صفر	400



لدراسة ومعايرة تأثير مطحون الزجاج تم تنفيذ التجارب بإضافة نسب مختلفة من هذه المادة وفق ما هو مبين في الجدول (3-1)، كما روعي في تحديد هذه النسب أن لا يتجاوز حجم هذه المادة حجم الفراغات المحتملة في البيتونية المحضر دون إضافات والمقدرة بـ 2% من حجم الخلطة حسب المواصفة ACI 211.1-9 (جدول آ)، وذلك لمعرفة تأثير مطحون الزجاج على حجم الهواء في الخلطة البيتونية .

### 3.5 تجارب الإختبار

تناولت الإختبارات التجارب التالية:

1. التدرج الحبي، القساوة Los Angeles، المكافئ الرملي للمواد الداخلة في تركيب الخلطة البيتونية
2. الأوزان النوعية الطبيعية والجافة (SSD) والظاهرية، الرطوبة، الإمتصاص للمواد الداخلة في تركيب الخلطة البيتونية .
3. حجم الهواء ، و درجة التشغيل ( الهبوط ) للخلطة البيتونية الطرية.
4. الكثافة للخلطة البيتونية الطرية و الجافة
5. المقاومة المكعبية على الضغط المحورية لمكعبات الخلطة البيتونية

### 3.6 مصادر المواد

استخدم في الخلطة البيتونية مواد حصوية مجربة وذات مصداقية في سوق البناء في سوريا، حيث استخدم الحصىات الخشنة (فولي، عدسي، رمل صب (كسر) ) من مكسرة السليمة في محافظة ريف دمشق؛ ورمل المزار البحري (مزار الساحل السوري) ؛ كما استخدم إسمنت بورتلاند عادي OPC من معمل إسمنت طرطوس.

روعي عند تأمين الإحضارات جز كميات كافية و لازمة لجميع الإختبارات لضمان التجانس والتوافق بالمواصفات الفنية الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية لجميع المواد المستخدمة.

### 3.7 الخصائص الميكانيكية للحصىات

سجل في الجدول (3-2) نتائج تجارب إختبار الحصىات وفق الطرق القياسية ASTM:

C29, C40, C117, C127, C128, C131, C138, C142.

الجدول 2-3 : خصائص ومواصفات الحصىات

المادة	القياس الاسمي D <sub>max</sub>	الكثافة النوعية الإجمالية كغ/م <sup>3</sup>	وجافة السطح SSD والكثافة النوعية مشبعة كغ/م <sup>3</sup>	الكثافة النوعية الظاهرية كغ/م <sup>3</sup>	الإمتصاص	المكافئ الرملي	الإهتراء L.A.
	ملم	كغ/م <sup>3</sup>	كغ/م <sup>3</sup>	كغ/م <sup>3</sup>	%	%	%
حصىات فولي	19	2787	2790	2810	0.45	-	18
حصىات عدسي	12	2751	2764	2787	0.47	-	18.1
رمل صب	4.75	2723	2763	2835	1.46	75.3%	-
رمل مزار بحري	1	2615	2675	2782	2.29	82.8%	-
مطحون الزجاج	0.6	2500	-	-	0.03	100%	-

### 3.8 مواصفات الإسمنت

بالتحليل الكيميائي يصنف الإسمنت المستخدم من نوع OPC (Type I 32.5)، أما تركيبه الكيميائي فكان كما هو مبين في الملحق الجدول (ج).

### 3.9 مواصفات مطحون الزجاج

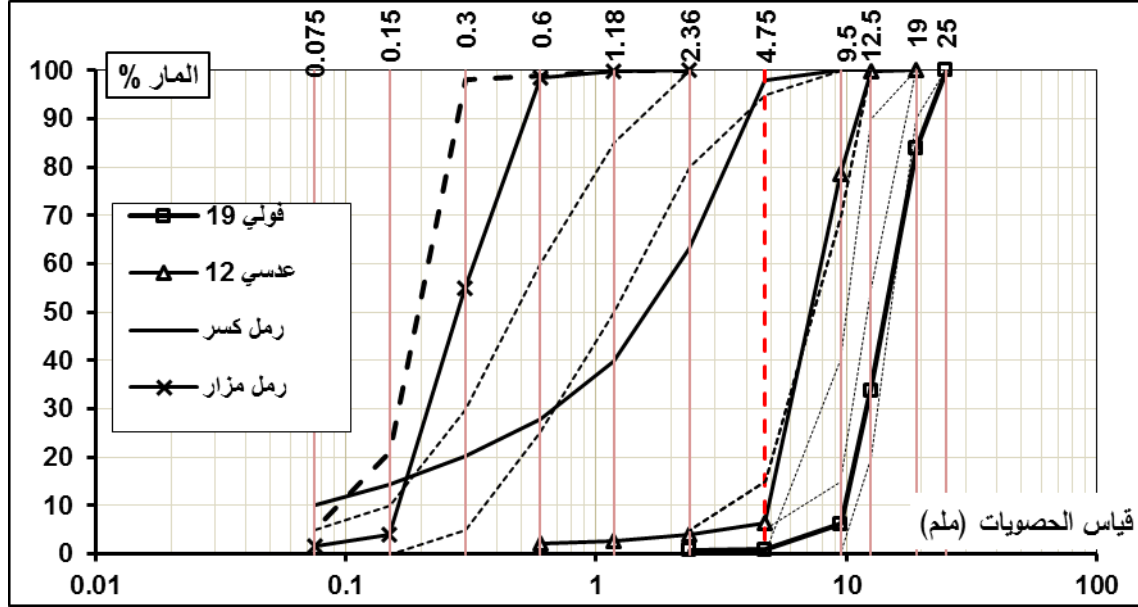
الزجاج من النوع الشفاف الخال من الأكاسيد الملونة، تم تكسيه وطحنه من نفايات زجاج شفاف غير ملون حتى قطر يسمح بمرورها من المهز 0.6 ملم. أعطت القياسات المنفذة على مطحون الزجاج في معمل اسمنت طرطوس، القيمة 2500 كغ/م<sup>3</sup> للكثافة النوعية، وتراوحت زاوية الإحتكاك الداخلي بين 24 و 26 درجة مئوية وزاوية إحتكاكها الداخلي المشبع بين 20 و 21 درجة مئوية. أما نسبة إمتصاصه فكادت تكون معدومة بينما أظهر المطحون طاقة عالية من التوتر السطحي التي أثرت بشكل واضح على درجة تشغيل الخرسانة.

بعد عملية الطحن أخذت من مطحون الزجاج الحبيبات المارة من المهز #30 أقل من 0.600 مم ، حيث بلغ سطحها النوعي 2850 سم<sup>2</sup>/غرام.

أما تركيبه الكيميائي فكان وفق النسب المئوية التالية:

SiO<sub>2</sub> (72.4%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1.45%), F<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.48%), CaO (11.5%), MgO (0.65%),  
Na<sub>2</sub>O (13%), K<sub>2</sub>O (0.43%), SO<sub>3</sub> (0.09%).

### 3.10 التدرج الحبي للحصويات والخلطة البيتونية



الشكل 3-1: التدرج الحبي للحصويات والحزم المنصوح بها وفق ACI

تم تنفيذ التحليل الحبي للحصويات الداخلة في الخلطة البيتونية وفق المواصفة ASTM C136. حيث يبين الشكل (1-3) والجدول (3-3) النسب الوزنية التراكمية للحصويات، كما يتضح من الشكل (1-3) حزم الحصويات المنصوح بها (بالخط المنقط) وفق المواصفة ACI 211.1-91 (جدول ب من الملحق).

### 3.11 تصميم الخلطة البيتونية

تم تصميم الخلطة البيتونية من أجل عيار إسمنت 350 و 400 كغ/م<sup>3</sup> بدايةً دون استخدام أي نوع من الملدنات، كما روعي أن تكون نسبة أوزان المواد الناعمة إلى الخشنة قريبة من الواحد.

لتحديد نسب التوزين الأمثلي لحصويات الخلطة البيتونية تم استخدام برنامج التصميم [12] Ready Mix Concrete Design عملية Aggregates Optimization، حيث يتم تحديد التوزيع الأمثلي للتركيب الحبي (الشكل 2-3) إنطلاقاً من منحنى مرجعي تابعه الرياضي من الصيغة:

$$P\% = b \cdot D^a \quad (1-3)$$

مع:

P% النسبة الوزنية التراكمية للحصويات قياس D

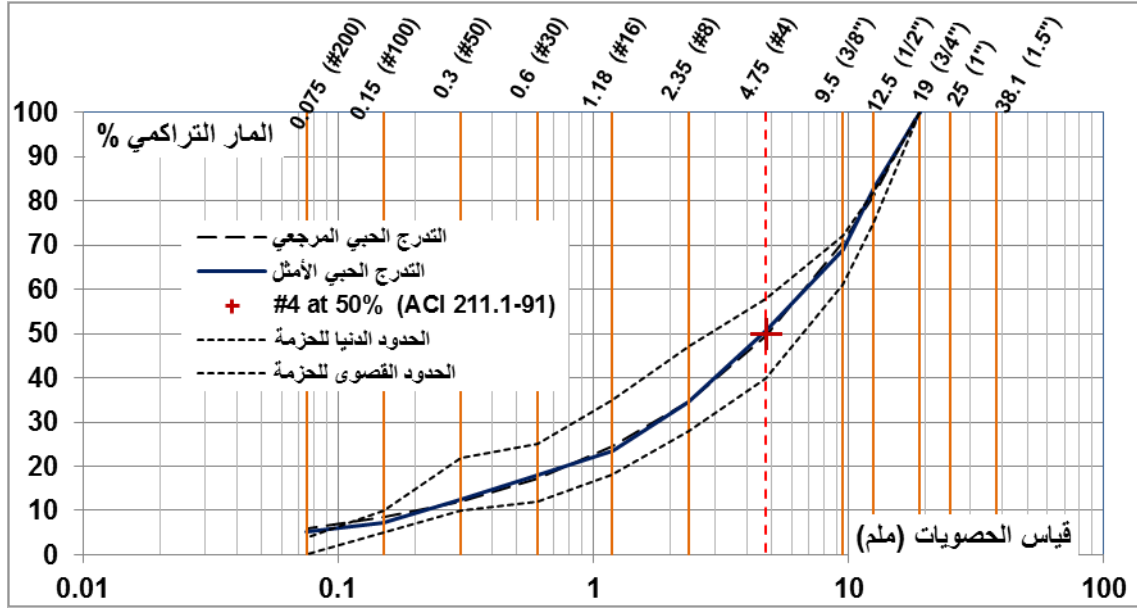
a و b ثابتان تتعلق بقيمة القطر الإسمي الأعظمي للحصويات  $D_{max}$  و النسبة التصميمية للمواد الناعمة المطلوبة في التركيب الحبي والمقابلة للمهز #200. في هذه الدراسة تأخذ المعادلة (3-1) القيمة:

$$P\% = 26.1.D^{0.457} \quad (2-3)$$

$$P\% (\#200) = 6\% \quad \text{حيث}$$

الجدول 3-3: التدرج الحبي للحصويات والخلطة البيتونية

التركيب الحبي التراكمي للخلطة البيتونية	التدرج الحبي التراكمي للحصويات					قياس المنخل (mm)	رقم المنخل.
	مطحون الزجاج	رمل مزار	رمل صب	عدسي	فولي		
100	-	-	-	-	100.0	25.000	1 "
100	-	-	-	100	83.96	19.000	3/4 "
83.08	-	-	-	99.75	33.81	12.500	1/2 "
69.17	-	-	100	78.65	6.13	9.500	3/8 "
50.74	-	100	98.0	6.46	0.83	4.750	# 4
34.37	-	99.97	63.17	3.9	0.76	2.360	# 8
23.52	-	99.87	39.84	2.72	0.74	1.180	# 16
17.92	100	99.44	27.88	2.23	0.72	0.600	# 30
12.39	98	54.84	20.29	1.92	0.70	0.300	# 50
7.23	21	3.97	14.24	1.76	0.68	0.150	# 100
5.18	5	1.72	10.09	1.44	0.62	0.075	# 200
%100		% 4.2	% 42.7	% 20.8	% 32.3		نسبة المادة



الشكل 2-3 : التركيب الحبي الأمثل للخلطة البيتونية

## 3.12 تحضير العينات

### المرحلة الأولى

تم تنفيذ الخلطات المخبرية بوجبات وحجم كاف لتحضير ما يلزم من عينات الإختبار. حضرت الخلطات من أجل عيار اسمنت 350 و 400 كغ/م<sup>3</sup>، وذلك للخلطة المرجعية وللخلطات المضاف إليها مطحون الزجاج بالنسب الموضحة في الجدول (3-3)، حيث شمل الحجم الإجمالي للخلطة ما يحتاج الإختبار من عينات وفق ما يلي:

- 15 مكعب قياس (15\*15\*15 سم) في كل تجربة لقياس المقاومة على الضغط من أجل الأعمار 3، 7، 28، 56، 90 يوم،، لدراسة الخصائص الميكانيكية للبيتون

### المرحلة الثانية

تم اختيار نسبة 7.5% مطحون الزجاج كنسبة وسطية مثلى و بحث :

- دراسة تأثير مطحون الزجاج على أداء الإضافات الكيميائية الخافضة للماء تم تكرار التجارب بعيار اسمنت 350 و 400 كغ/م<sup>3</sup> و نسبة 7.5% من مطحون الزجاج و 4 أنواع من الخلطات وفق ما يلي:

- خلطة مرجعية
- خلطة مع تخفيض كمية الماء بنسبة 25%

- خلطة مع تخفيض كمية الماء بنسبة 25% وإضافة نسبة 7.5% يودرة زجاج
- خلطة مع تخفيض كمية الماء بنسبة 30% وإضافة نسبة 7.5% يودرة زجاج

ونفذ لهذا الغرض 15 مكعب قياس (15\*15\*15 سم) لكل تجربة بالأعمار 3،28،56 يوم .

- تم تكرار التجارب بعيار اسمنت 350 و 400 كغ/م<sup>3</sup>، مع إستبدال وزن عشوائي من رمل المزار بوزن معادل من مطحون الزجاج المكافئ لنسبة 7.5% لدراسة دور نعومة مطحون الزجاج مقارنة مع نعومة رمل المزار، ونفذ لهذا الغرض: 15 مكعب قياس (15\*15\*15 سم) لكل تجربة بالأعمار 3،28،56 يوم .

#### د- إجراءات تحضير العينات

بعد تجهيز الخلطة البيتونية وقياس الهبوط (مكرراً) تم وضع البيتون في القوالب المعدنية وفق الطرق القياسية ASTM C172. تركت العينات لتجف خلال 24 ساعة ضمن شروط حفظ نظامية. بعد فك القوالب المعدنية تم وزن العينات البيتونية التي حفظت بعدها في أحواض نظامية للماء المدفء حتى درجة حرارة  $23 \pm 2$  درجة مئوية وفق المواصفة (ASTM 192). قبل تنفيذ تجارب الإختبار تم إخراج العينات لتجفيفها بالشروط النظامية ووزنها لدراسة تطور التغيرات في الكثافة النوعية للبيتون.

### 3.13 الأسس الأولية لتركيب الخلطات البيتونية

#### **1.3.13 الكثافة النوعية وحجم الهواء المبدئي للبيتون**

عند بدء تصميم الخلطة البيتونية تم تنفيذ خلطة تجريبية حيث حسبت أوزان مركبات الخلطة البيتونية بناء على الكثافة التقديرية 2345 كغ/م<sup>3</sup> بحسب المواصفة ACI 211.1-98 مع إعتبار نسبة هواء الخلطة لا تتجاوز 2.0% حجماً وفق توصيات ACI 211.1-91.

بإنتهاء إعداد الخلطة تم قياس الكثافة الحقيقية للخلطة البيتونية الطرية التجريبية بالطرق القياسية المعتمدة في ASTM C138، وحجم الهواء الفعلي في الخلطة بطريقة الضغط وفق ASTM C231-97، وبناء على هذا الإختبار تم معايرة الكثافة التصميمية البدئية للبيتون حيث إعتمدت القيمة 2440 كغ/م<sup>3</sup> بخطأ  $2 \pm$  كغ، و 1.5% حجماً للهواء.

### 2.3.13 التوزيع الوزني لمركبات الخلطات البيتونية

بناء على تصميم الخلطة البيتونية وبنية الخلطة التجريبية تم تحديد النسبة المبدئية لأوزان الحصىات وفق ما هو مبين في الجدول (3-4).

الجدول 3-4: التوزيع الوزني المبدئي لمركبات الخلطة البيتونية

الخلطة		المادة
400 كغ/م <sup>3</sup>	350 كغ/م <sup>3</sup>	إسمنت
579.2	598.2	حصىات فولي 19
372.3	384.6	حصىات عدسي 12
766.3	791.3	رمل صب 5
74.9	77.6	رمل مزار
220	210	الماء (لتر)
%1.5	%1.5	الهواء
2440 كغ/م <sup>3</sup>	2440 كغ/م <sup>3</sup>	الكثافة التصميمية للخلطة البيتونية

روعي عند تحضير الخلطة البيتونية مزج مطحون الزجاج مع الماء وتحريكه بشكل مستمر لتحويله إلى معلق لضمان توزيعه بشكل منتظم ومنعاً من تكثفه بشكل جيوب مواد ناعمة (آلية إضافة مطحون الزجاج إلى الخلطة البيتونية )

### 3.14 مراجع الفصل الثالث

1. Meena A. Comparative Study of Waste Glass Powder as Pozzolanic Material in Concrete. Department of Civil Engineering National Institute of Technology Rourkela, Thesis 2012.
2. Shayan, A., Xu. A. Performance of glass powder as a pozzolanic material in concrete – A field trial on concrete slabs. Cement and Concrete Research 36 (2006) 457–468.
3. Degirmenci N., Yilmaz A. & Cakir O.A. Utilization of waste glass as sand replacement in concrete mortar. Indian Journal of Engineering & Material Sciences, Vol. 18, August 2011, pp. 303–308.
4. Wu C.d. Investigate the best percentage by weight of glass powder, as fillers in phenolic resins by using tensile tests. University of Southern Queensland Student Research Project (2009).
5. ABBASPOUR A. Behaviors of Fine Glass Powders and Coarse Glass Aggregates on Concrete. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) Vol. 1 Issue 6, August – 2012
6. .Ammash H.K., Muhammed S.M., Nahhab A.H. USING OF WASTE GLASS AS FINE AGGREGATE IN CONCRETE. Al-Qadisiya Journal For Engineering Sciences, Vol. 2 No.2, (2009).
7. R. Idir R., M. Cyr M., A. Tagnit–Hamou A.T. USE OF WASTE GLASS AS POWDER AND AGGREGATE IN CEMENT–BASED MATERIALS. SBEIDCO – 1st International Conference on Sustainable Built Environement Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran



(Algeria) – October 12–14, 2009.

8. Mageswari M., Vidivelli, Dr. B., The use of sheet glass powder as fine aggregate replacement in concrete. *The Open Civil Engineering Journal*, 2010, 4, 65–71.
9. Malik M.I., Muzafar Bashir, Sajad Ahmad, Tabish Tariq, Umar Chowdhary. Study of Concrete Involving Use of Waste Glass as Partial Replacement of Fine Aggregates. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)* Issue 7 (July. 2013), ||V6 || PP 08–13.
10. Nwaubani<sup>1</sup> S.O. and Konstantinos I. Poutos. The Influence of Waste Glass Powder Fineness on the Properties of Cement Mortars. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAEM)* . Volume 2, Issue 2, February 2013
11. Khatib, J.M., Negim, E.M., Sohl, H.S., and Chileshe, N. Glass Powder Utilisation in Concrete Production. *European Journal of Applied Sciences* 4 (4): 173–176, 2012
12. Rahma, A. Concrete mix design method, according to a referential structure and the aggregates specific surface area. *Journal of Engineering Science, Damascus University*, Vol 29, N 2. 2013.

## الفصل الرابع : الإختبارات و نتائجها

### 4.1 المرحلة الأولى : مطحون الزجاج بديل عن الفراغات دون إضافات

#### 4.1.1 مطحون الزجاج و حجم الهواء

بالتوازي مع إختبار كثافة البيتون الطري تم قياس حجم الهواء (الجدول 4-1) باستخدام جهاز الضغط المحوري وفق طريقة الإختبار القياسية Pressure Method بحسب المواصفة -ASTM C231 .97

نسبة الفراغات (%)		نسبة مطحون الزجاج
عيار الإسمنت		
400 كغ/م <sup>3</sup>	350 كغ/م <sup>3</sup>	
%1.4	%1.4	صفر % (مرجعية)
%1.6	%1.55	% 2.5
%1.7	%1.6	% 5.0
%1.6	%1.5	% 7.5
%1.5	%1.4	% 10.0
%1.5	%1.45	% 12.5
%1.5	%1.45	% 15.0
%1.57	%1.49	الوسطي العام
%0.08	%0.07	الإنحراف المعياري

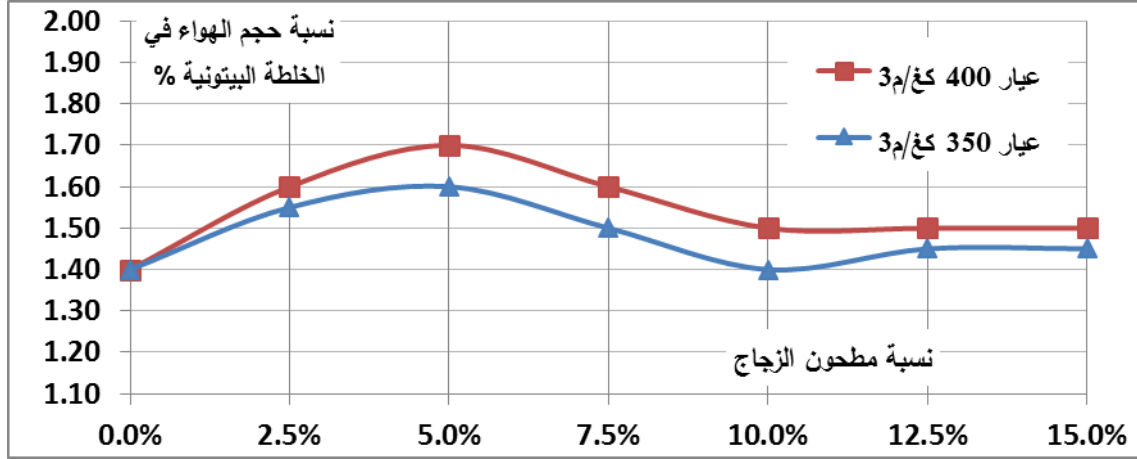
الجدول 4-1 : نسبة حجم الهواء في البيتون الطري

من خلال هذه النتائج و بمقارنة العينات الحاوية على مطحون الزجاج مع العينة المرجعية (صفر %)، يلاحظ أن مطحون الزجاج لم يعمل على خفض كمية الهواء في الخلطة البيتونية، بل حل كمادة صلبة في الخلطة.

يعطى في الجدول الوسطي العام والإنحراف المعياري لنسبة حجم الهواء في مجمل الخلطات الحاوية على مطحون الزجاج قياساً على العينة المرجعية، ويبين أن التصميم مع اعتبار 1.5% حجم الهواء

في الخلطة كان تصميمياً مناسباً.

يلاحظ من الجدول (1-4) والشكل (1-4) التغير الطفيف في قيم نسبة حجم الهواء في خلطة البيتون الطري نسبة للخلطة المرجعية من أجل عيار إسمنت 350 و 400 كغ/م<sup>3</sup>.



الشكل 1-4 : تغيير نسبة حجم الهواء في الخلطة البيتونية الطرية حسب عيار الإسمنت

لوحظ تزايد حجم الهواء حتى (1.6% و 1.7%) عند نسبة مطحون الزجاج تساوي 5%، ثم التناقص ليقترب حجم الهواء القيمة 1.5% القريبة من نسبة حجم الهواء المرجعي. هذه الظاهرة يمكن إرجاعها للآلية المزدوجة لعمل مطحون الزجاج.

#### 4.1.2 النسب الفعلية لتوزيع المواد الصلبة في الخلطة البيتونية

كنتيجة لعدم إشغال مطحون الزجاج للفراغ في الخلطة (حجم الهواء) تم التحقق من نسب التوزيع الوزنية حيث تبين تغير طفيف في كميات المواد الداخلة في الخلطة البيتونية الجدول (4-2-أ) (4-2-ب).

الجدول 4-2-آ : الأوزن الفعلية للمواد في الخلطة البيتونية الرطبة ( عيار اسمنت 350 كغ/م<sup>3</sup> )

الأوزان الفعلية للمواد في الخلطة البيتونية الرطبة عيار 350 كغ/م <sup>3</sup> ، حسب نسبة مطحون الزجاج ( كغ / م <sup>3</sup> )							المادة
%15.0	%12.5	%10.0	%7.5	%5.0	%2.5	%0.0	نسبة مطحون الزجاج
349.0	349.0	349.0	348.5	348.7	348.7	351.4	إسمنت
209.4	209.4	209.4	209.1	209.2	209.2	210.8	الماء (لتر)
52.4	43.6	34.9	26.1	17.4	8.7	0.0	مطحون
588.7	591.4	594.3	596.3	599.4	602.2	609.7	حصىات فولي 19
378.6	380.3	382.1	383.4	385.4	387.2	392.1	حصىات عدسي 12
778.8	782.4	786.2	788.8	793.0	796.7	806.6	رمل كسر 5
76.4	76.7	77.1	77.4	77.8	78.1	79.1	رمل مزار
14.5	1.45	1.40	1.50	1.60	1.55	1.40	الهواء %
2433.4	2432.9	2432.9	2429.6	2431.0	2430.9	2449.8	كثافة نوعية للبيتون الرطب

الجدول 4-2-ب : الأوزن الفعلية للمواد في الخلطة البيتونية الرطبة ( عيار اسمنت 400 كغ/م<sup>3</sup> )

الأوزان الفعلية للمواد في الخلطة البيتونية الرطبة عيار 400 كغ/م <sup>3</sup> ، حسب نسبة مطحون الزجاج ( كغ / م <sup>3</sup> )							المادة
%15.0	%12.5	%10.0	%7.5	%5.0	%2.5	%0.0	نسبة مطحون الزجاج
400.3	399.6	399.2	399.2	399.2	399.1	402.3	إسمنت
220.2	219.8	219.6	219.6	219.6	219.5	221.3	الماء (لتر)
60.1	50.0	39.9	29.9	20.0	10.0	0.0	مطحون
569.1	571.3	573.9	577.2	580.4	583.4	591.4	حصىات فولي 19
365.9	367.3	369.0	371.1	373.1	375.1	380.2	حصىات عدسي 12
753.0	755.9	759.4	763.7	767.9	771.9	782.5	رمل كسر 5
73.6	73.8	74.2	74.6	75.0	75.4	76.4	رمل مزار
1.50	1.50	1.50	1.60	1.70	1.60	1.40	الهواء %
2442.1	2437.6	2435.2	2435.3	2435.1	2434.3	2454.2	كثافة نوعية للبيتون الرطب

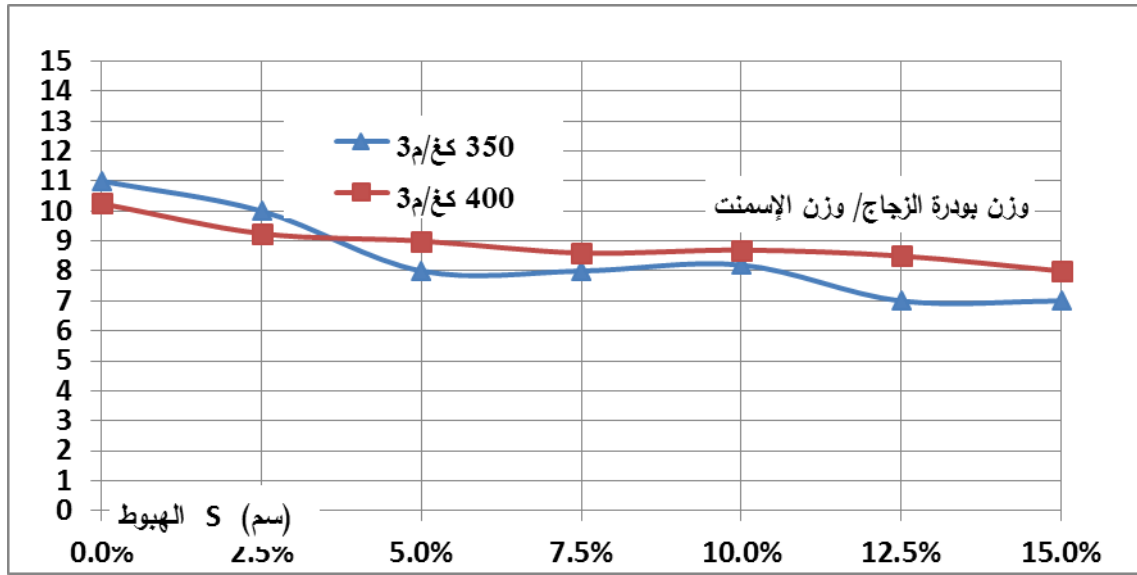
من مراجعة الجدول (4-2-أ) ( 4-2-ب ) يلاحظ ان تأثير مطحون الزجاج بمختلف نسبه وما سببه من تغير في حجم الهواء في الخلطة البيتونية لم يؤثر إلا بشكل طفيف جداً من نسب توزيع مركبات الخلطة البيتونية، هذا التغيير في نسب التوزيع لا يمكن أن يكون له إلا تأثير مهم على النتائج

### 4.1.3 مطحون الزجاج و الهبوط

لتحديد درجة التشغيل تم قياس هبوط الخلطة البيتونية على عدد الوجبات المحضرة باستخدام مخروط Abrams وفق المواصفة ASTM C143. قيس الهبوط خلال التنفيذ بعد إراحة الخلطة البيتونية لمدة 5 دقائق. يوضح كلا من الجدول (4-3) والشكل (4-2) وسطي قياس هبوط مخروط Abrams حسب كمية الإسمنت ونسبة مطحون الزجاج.

الجدول 4-3 : هبوط مخروط Abrams

وسطي هبوط المخروط (سم) عيار الإسمنت 400 كغ/م <sup>3</sup> 350 كغ/م <sup>3</sup>		تصنيف التجربة ( إراحة الخلطة 5 د )
10.25	11	صفر % (مرجعية)
9.25	10	2.5 %
9	7.5	5.0 %
8.6	8	7.5 %
8.7	8.2	10.0 %
8.5	7	12.5 %
8	7	15.0 %

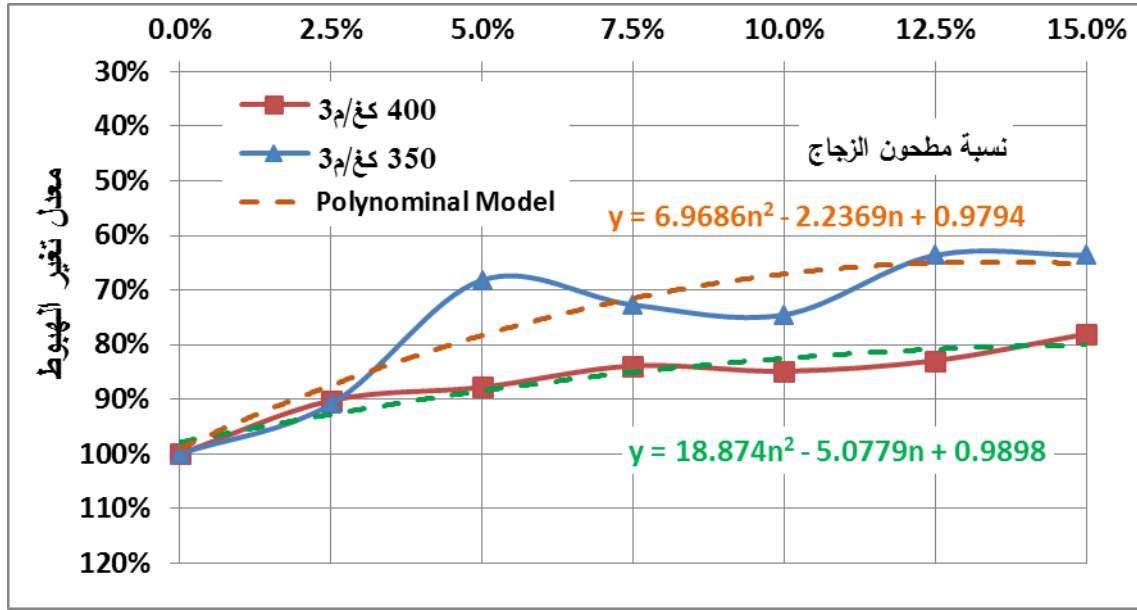


الشكل 4-2: تطور الهبوط مع زيادة نسبة المطحون في الخلطة البيتونية

حيث يُظهر الشكل (4-2) تطور الهبوط بالنسبة للخلطات عيار 350 و 400 كغ/م<sup>3</sup>. من مقارنة هذه النتائج يمكن ملاحظة أن الخلطة المرجعية عيار 400 كغ/م<sup>3</sup> كانت بحاجة لكمية ماء إضافية (بين 5 و 10 لتر/م<sup>3</sup>) للوصول إلى القيمة الأولية لهبوط الخلطة المرجعية عيار 350 كغ/م<sup>3</sup> كما هو موضح بالجدول (4-2 أ ، 4-2 ب).

بإرجاع الهبوط نسبة لهبوط الخلطة المرجعية (الشكل 4-3) يمكن التأكيد على أن معدل تغير الهبوط تابع لنسبة مطحون الزجاج n في الخلطة من ناحية، ومن كمية الإسمنت في الخلطة من ناحية ثانية، حيث نرى أن معدل تغير الهبوط في الخلطة عيار 350 كغ/م<sup>3</sup> أعلى منه في الخلطة عيار 400 كغ/م<sup>3</sup>، وهذا يبرز دور السطح النوعي والتوتر السطحي لمطحون الزجاج في تحديد سلوك البيتون الطري ودرجة تشغيله.

من الشكل (4-3) أيضاً نجد أنه يمكن مقارنة معدل تغير هبوط البيتون بمعادلة متعددة الحدود من الدرجة الثانية تابعة للنسبة n من مطحون الزجاج في الخلطة البيتونية، حيث يسعى الهبوط نحو التناقص ليتجه نحو عتبة ثابتة بدءاً من نسبة مطحون زجاج 10% تقريباً، و يثبت عند النسبة 15%، ظاهرة ترتبط بما سبق شرحه من آلية عمل مطحون الزجاج.



الشكل 4-3: الهبوط النسبي للبيتون مع زيادة نسبة المطحون في الخلطة البيتونية

#### 4.1.4 الكثافات

لدراسة آلية عمل مطحون الزجاج كان لابد من دراسة مختلف مراحل الكثافة :

- كثافة البيتون الطري :

تم قياس الكثافة على عدد وجبات تنفيذ الخلطة البيتونية بالطرق القياسية المعتمدة في ASTM C138، حيث سجلت القيمة الوسطية لنتائج كل إختبار، الجدول (4-4 أ) ، الجدول (4-4 ب) يبينان نتائج القياس حسب كمية الإسمنت ونسبة مطحون الزجاج.

- كثافة البيتون بعد التصلب

حفظت العينات بعد وضعها في القوالب المعدنية لمدة 24 ساعة ضمن شروط الحرارة والرطوبة النظامية، وبعد فك القوالب وقبل غمرها في الماء تم وزن العينات وأخذ قياس أبعادها.

- كثافة البيتون الجاف المغمور بالماء

بعد غمر العينات في أحواض الماء لأعمار الكسر المحددة، تم إخراج العينات وتجفيفها وفق المواصفات حتى جفاف سطحها، وقبل تنفيذ عملية الكسر تم حساب وزنها وقياس أبعادها لحساب كثافتها (الجدول 4-4 أ) و (الجدول 4-4 ب)

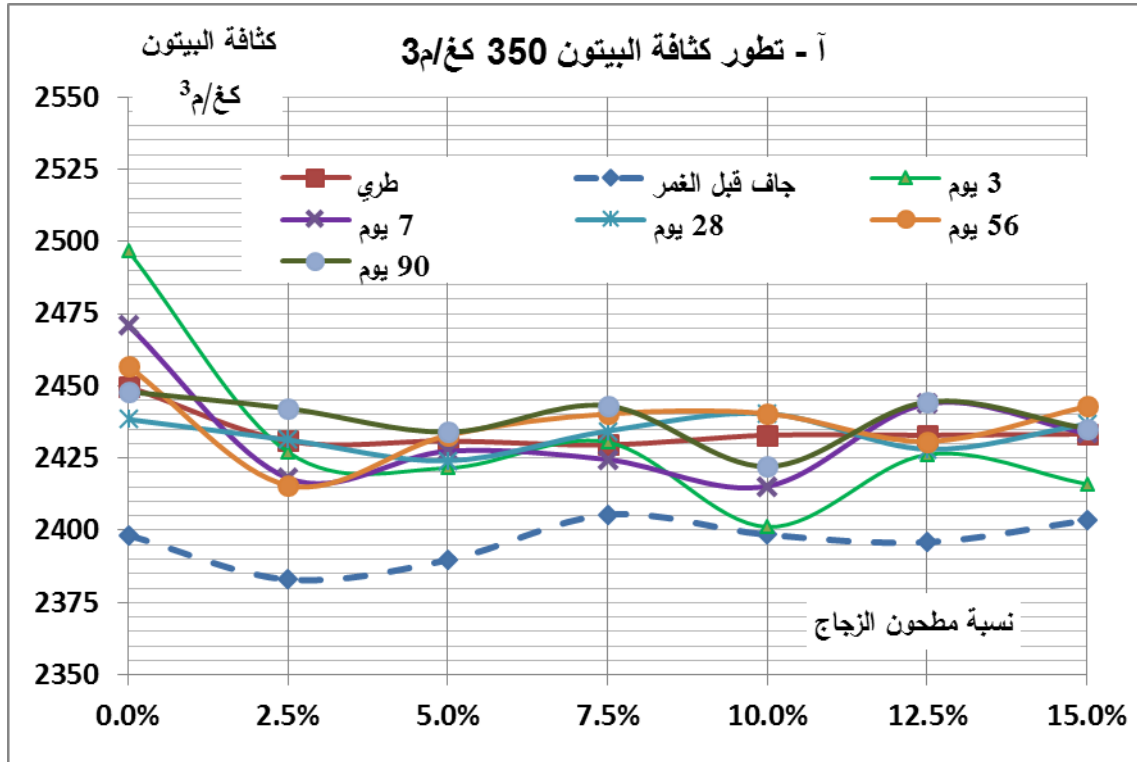
الجدول 4-4-أ: تغير كثافات الببتون مع عمر العينات ( عيار الإسمنت 350 كغ/م<sup>3</sup> )

أ- كثافة الببتون عيار 350 كغ/م <sup>3</sup> ( كغ/م <sup>3</sup> )							
%15.0	%12.5	%10.0	%7.5	%5.0	%2.5	%0.0	عمر الببتون (يوم)
2433.4	2432.9	2432.9	2429.6	2431.0	2430.9	2449.8	رطب تصميمي
2405.3	2395.1	2397.7	2404.6	2388.9	2386	2397.9	بعد 24 ساعة
2416	2426.2	2401.2	2430.5	2421.6	2427.1	2496.7	3
2433.6	2443.8	2415.3	2424.5	2427.4	2418.1	2470.9	7
2436.8	2428.1	2440.4	2434.4	2424.1	2431.3	2438.4	28
2442.9	2430.8	2440.4	2440.3	2432.9	2415.6	2456.8	56
2435.2	2444.4	2422.1	2443.1	2434	2442.2	2448.0	90
الكثافة الوسطية للببتون المتصلب هي وسطي الكثافة لكل ثلاثة مكعبات							

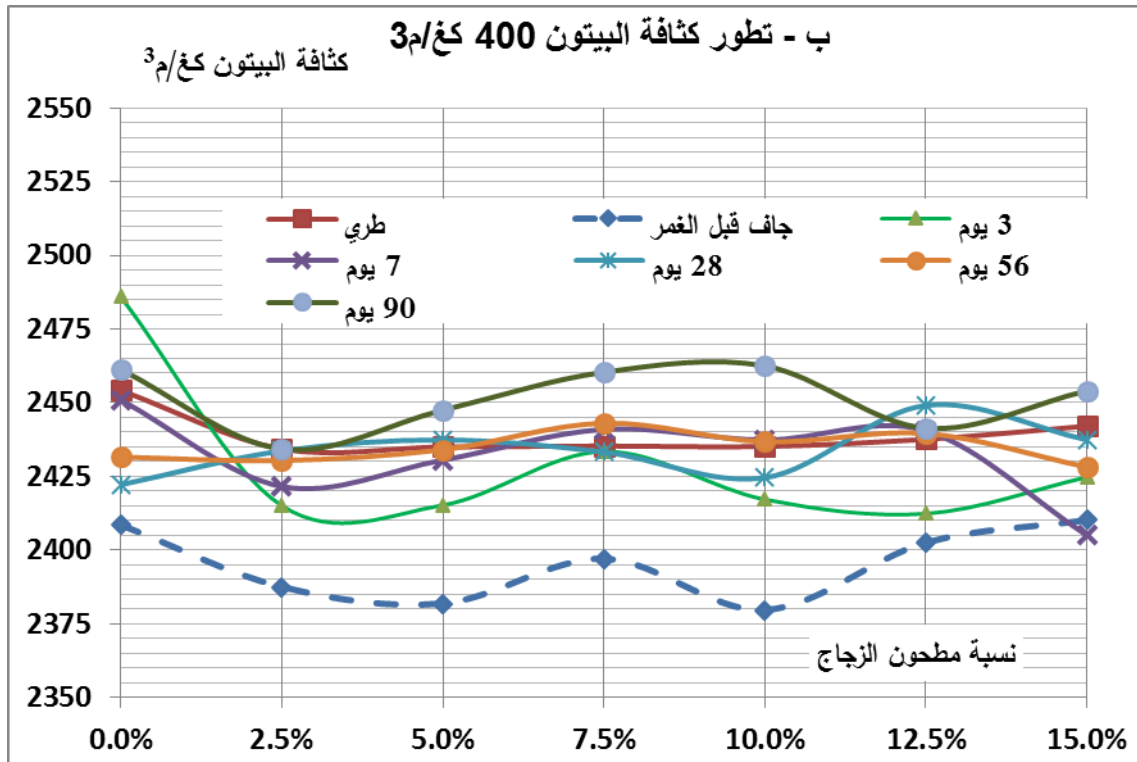
الجدول 4-4-ب : تغير كثافات الببتون مع عمر العينات ( عيار الإسمنت 400 كغ/م<sup>3</sup> )

ب- كثافة الببتون عيار 400 كغ/م <sup>3</sup> ( كغ/م <sup>3</sup> )							
%15.0	%12.5	%10.0	%7.5	%5.0	%2.5	%0.0	يوم
2442.1	2437.6	2435.2	2435.3	2435.1	2434.3	2454.2	رطب تصميمي
2410.9	2401.7	2378.7	2397.1	2380.9	2386.2	2407.8	جاف بعد 24 ساعة
2424.8	2412.4	2417.2	2433.5	2415.3	2415.1	2485.9	3
2405	2440.5	2437.4	2441	2430.6	2421.6	2451	7
2437.4	2449.1	2424.6	2433.3	2437.4	2433.7	2422.2	28
2428.2	2439.6	2436.8	2443.1	2434.1	2430.4	2431.6	56
2454.1	2441.4	2462.5	2460.4	2447.5	2434.3	2461.3	90
الكثافة الوسطية للببتون المتصلب هي وسطي الكثافة لكل ثلاث مكعبات							

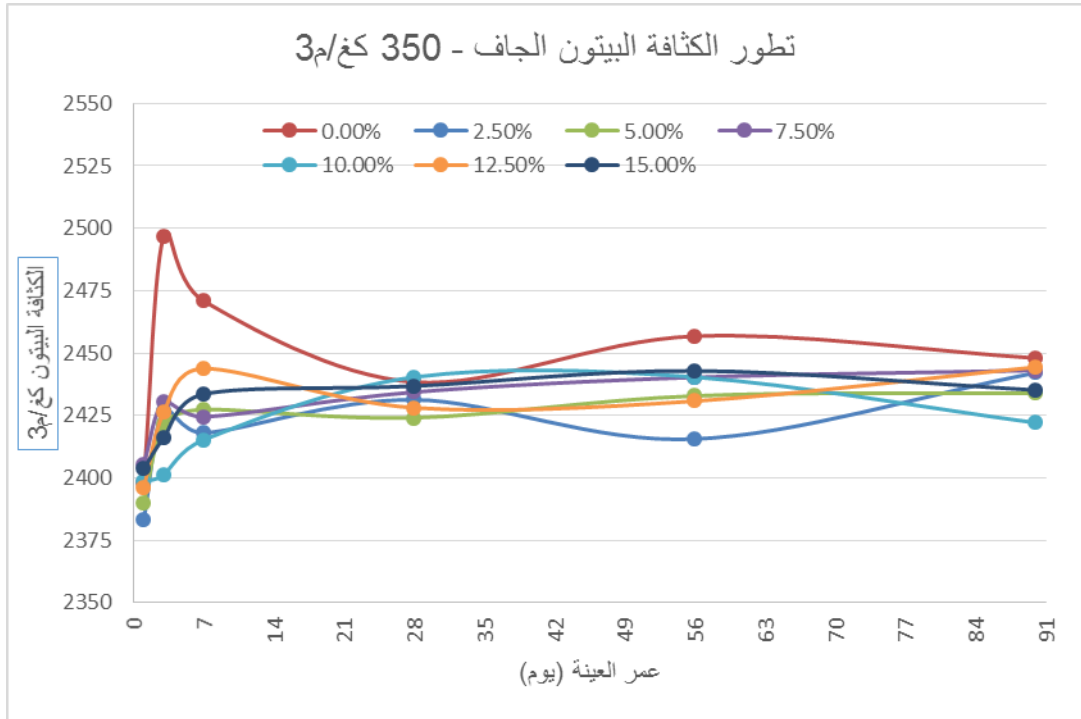




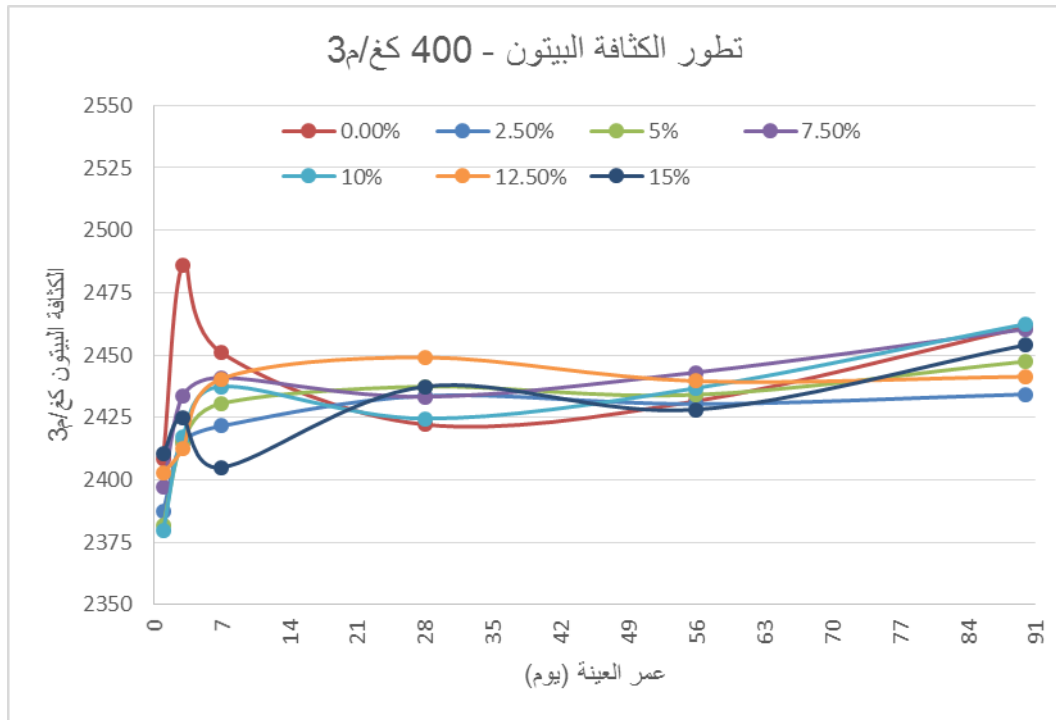
الشكل 4-4-أ: تطور كثافة البيتون مع نسبة مطحون الزجاج ( عيار 350 كغ/م<sup>3</sup> )



الشكل 4-4-ب : تطور كثافة البيتون مع نسبة مطحون الزجاج ( عيار 400 كغ/م<sup>3</sup> )



الشكل 4-5-أ: تطور كثافة البيتون مع الزمن ( عيار الإسمنت 350 كغ / م<sup>3</sup> )



الشكل 4-5-ب: تطور كثافة البيتون مع الزمن ( عيار الإسمنت 400 كغ / م<sup>3</sup> )

- يلاحظ من دراسة الشكل (4-4-أ) و الشكل (4-4-ب) و الشكل (4-5-أ) و الشكل (4-4-ب) و الشكل (4-5-ب) تطور كثافة البيتون الجاف ما يلي :

1. يظهر الشكل (4-4-أ) و الشكل (4-4-ب) تباينات في قيمة الكثافة تعود لعيوب في تنفيذ الخلطات، منها ما هو بشري ومنها ما يعود لإحتمالات العشوائية في شكل الحصىات و للشروط الخارجية اثناء تنفيذ الخلطة.

2. تتناقص الكثافة الجافة بعد ترك العينات 24 ساعة تصلب، وهذا يعود لتبخر الماء من الخلطة ونتج كمية من الماء من القوالب المعدنية الشكل (4-4-أ) و الشكل (4-4-ب) و الشكل (4-5-أ) و الشكل (4-5-ب) ، هذه الكمية من الفاقد في الماء يستعيده البيتون المتصلب بعد الغمر بالماء حيث تعود الكثافة في اليوم السابع لتقارب الكثافة التصميمية.

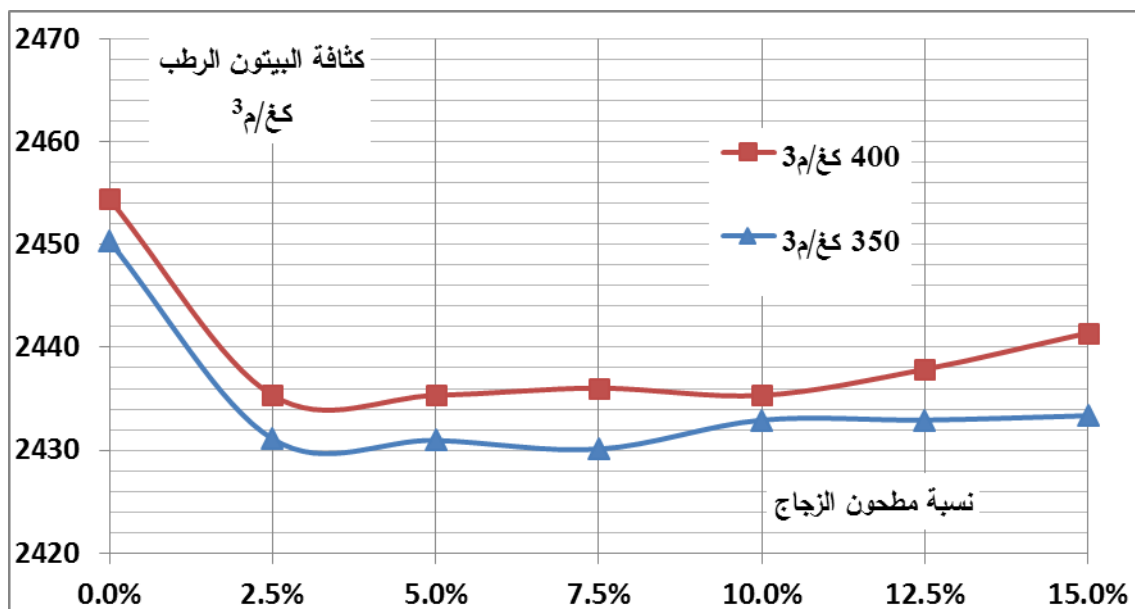
3. يلاحظ من الشكل (4-5-أ) و الشكل (4-5-ب) تزايد في الكثافة للعينات المرجعية فقط بعد الغمر لمدة ثلاثة ايام، يعود لإمتصاص العينات المرجعية لكمية إضافية من الماء خلال هذه الفترة لتعود فتستقر في اليوم 7، في حين تعود الكثافة النوعية للعينات الحاوية على بودرة الزجاج بعد 3 يوم لتجاوز الكثافة الأولية ، هذه الظاهرة تفسر بدور التوتر السطحي الذي يسيطر على التوازن المائي للخلطة المتصلبة والذي يساهم في استقرار الخلطة.

4. يلاحظ من (4-5-أ) و الشكل (4-5-ب) نوع من استقرار الكثافة بدء من عمر 7 أيام من أجل مختلف نسب بودرة الزجاج.

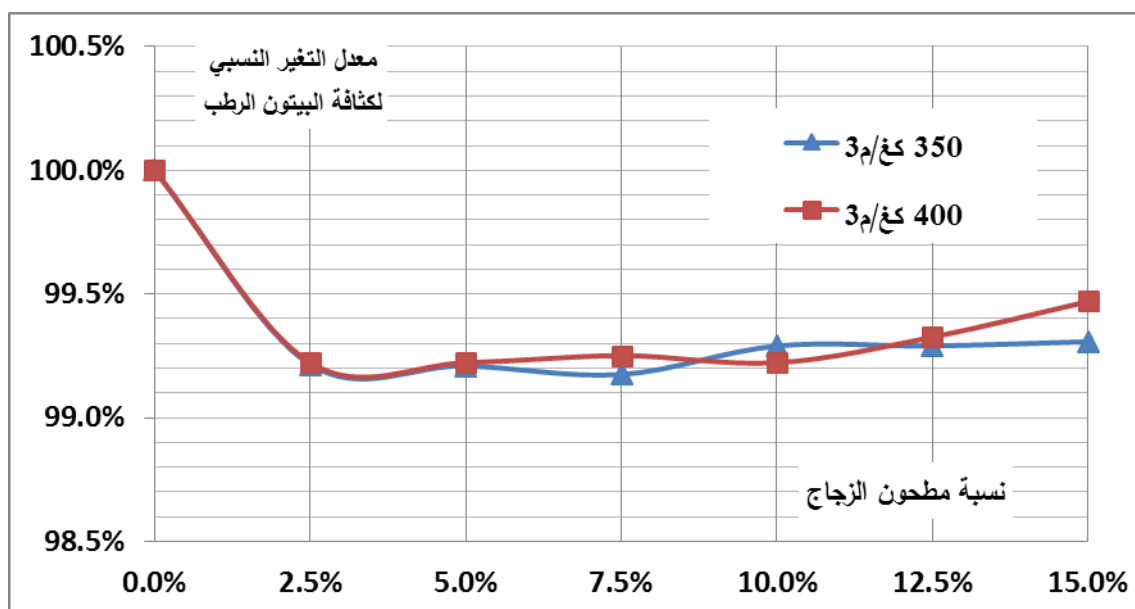
- من معطيات الجدول (4-4-أ) و الجدول (4-4-أ) و الشكل (4-3) و الشكل (7-7) ، وبمقارنة كثافة البيتون الطري لعيار إسمنت 350 و 400 كغ/م<sup>3</sup> ، تسجل الملاحظات التالية بالنسبة لكثافة البيتون الطرية:

1. تجاوزت قيمة الكثافة للعينات المرجعية للبيتون الطري عيار 350 و 400 كغ إسمنت عن القيمة 2440 كغ/م<sup>3</sup> التصميمية الشكل (4-7) و الشكل (4-6) .
2. قيمة كثافة البيتون الطري عيار 400 كغ إسمنت، للعينة المرجعية والعيينات الحاوية على مطحون الزجاج، أكبر من تلك الخاصة بالبيتون عيار 350 كغ (الشكل 4-6)، يعزى ذلك بشكل رئيس للزيادة في كمية الإسمنت ذات الكثافة 3150 كغ/م<sup>3</sup>.

3. انخفاض واضح في كثافة الببتون الطرية، لا يتجاوز 1% عن قيمته المرجعية، عند بدء إضافة مطحون الزجاج (الشكل 4-7)، يعود ذلك إلى أن كثافة الزجاج (2500 كغ/م<sup>3</sup>) أقل نسبياً من قيمة الوزن النوعي للحصويات والإسمنت.



الشكل 4-6: تطور كثافة الخلطة الببتونية الرطبة حسب عيار الإسمنت



الشكل 4-7: التغير النسبي لكثافة الخلطة الببتونية الطرية حسب عيار الإسمنت

#### 4.1.5 مقاومة البيتون على الكسر

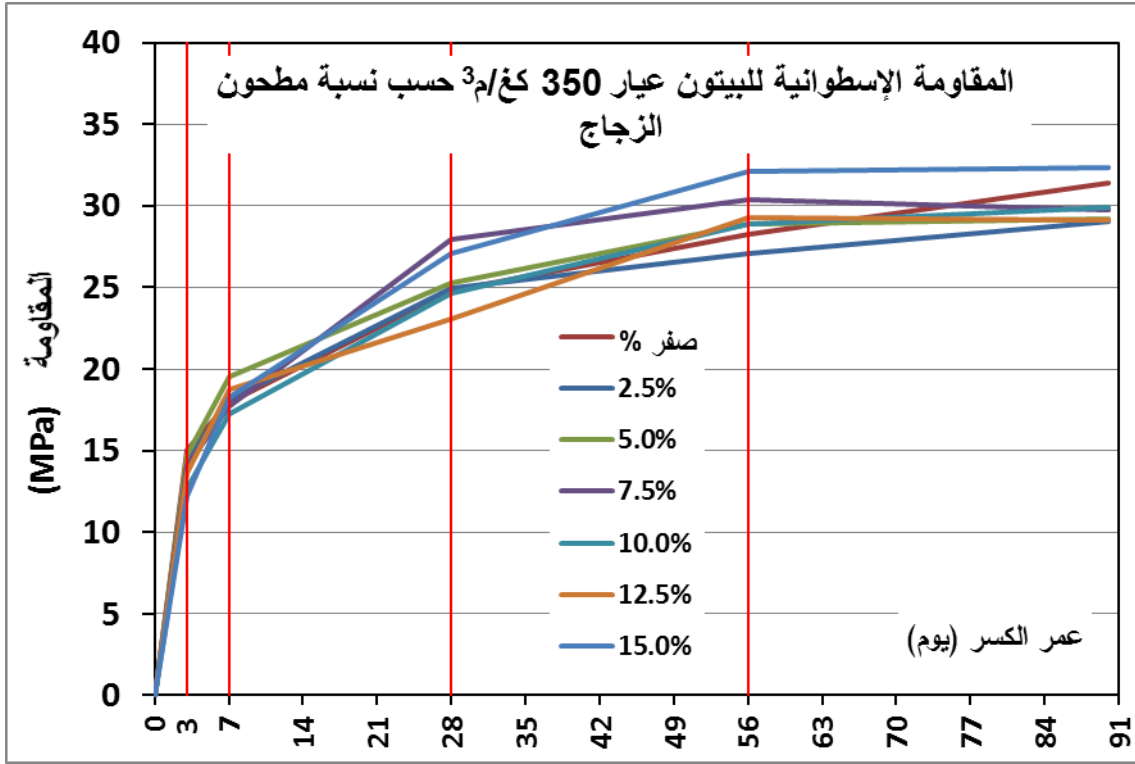
نفذت عملية الكسر على الضغط حسب عمر الكسر لكل ثلاث عينات، أخذ بعدها وسطي المقاومة،  
الجدول ( 4-5-أ ) و الجدول (4-5-ب ) و الشكل (4-8-آ) و الشكل (4-8-ب)

الجدول 4-5-أ: متوسط المقاومة الإسطوانية للبيتون على الضغط، حسب عمر البيتون ( عيار 350 كغ/م<sup>3</sup> )

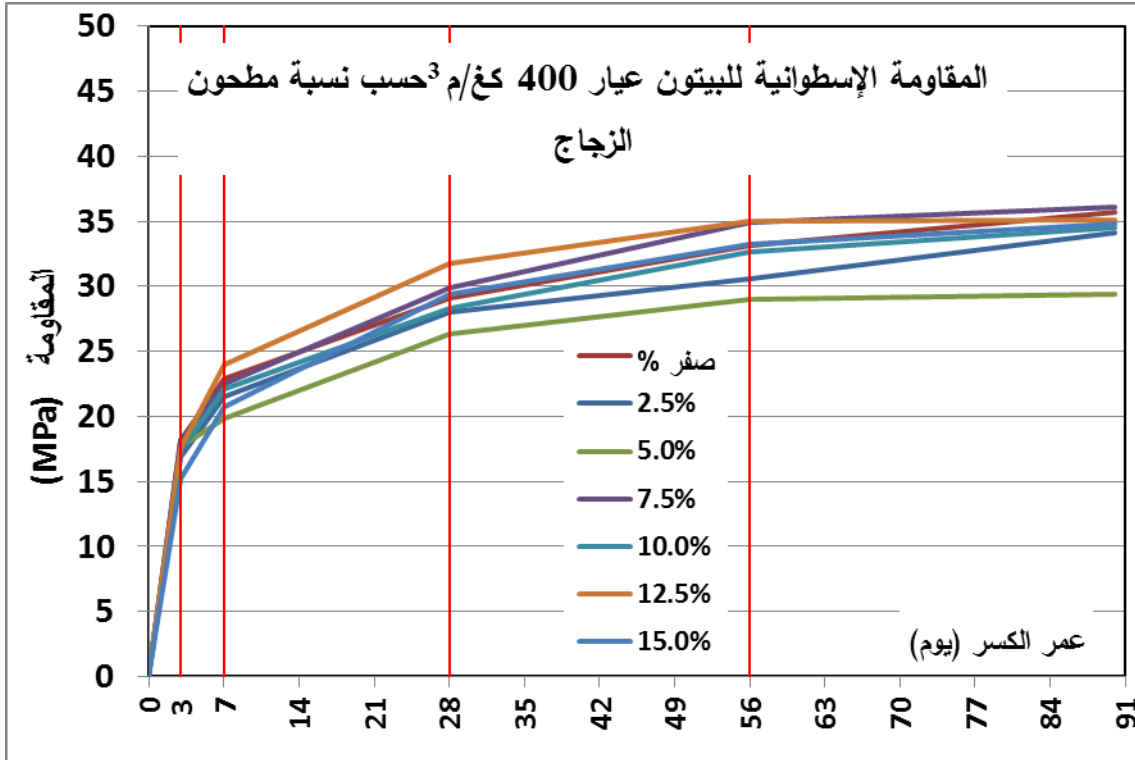
آ- تطور المقاومة الإسطوانية للبيتون ( MPa ) عيار 350 كغ/م <sup>3</sup> نسبة مطحون الزجاج							عمر الكسر (يوم)
%15.0	%12.5	%10.0	%7.5	%5.0	%2.5	%0.0	
12.22	13.60	12.67	14.13	14.72	14.43	15.08	3
18.27	18.72	17.28	17.76	19.49	18.13	17.93	7
27.04	23.07	24.61	27.97	25.31	24.96	24.80	28
32.08	29.28	28.85	30.35	28.85	27.07	28.24	56
32.32	29.09	29.89	29.79	29.20	29.04	31.42	90

الجدول 4-5-ب: متوسط المقاومة الإسطوانية للبيتون على الضغط، حسب عمر البيتون ( عيار 400 كغ/م<sup>3</sup> )

ب- تطور المقاومة الإسطوانية للبيتون ( MPa ) عيار 400 كغ/م <sup>3</sup> نسبة مطحون الزجاج							عمر الكسر (يوم)
%15.0	%12.5	%10.0	%7.5	%5.0	%2.5	%0.0	
15.25	17.60	17.41	18.16	17.68	16.91	18.13	3
20.75	23.97	22.13	22.48	19.81	21.52	22.91	7
29.44	31.79	28.32	29.89	26.37	28.00	29.07	28
33.20	35.04	32.64	34.91	28.99	30.56	33.09	56
34.80	35.07	34.48	36.11	29.44	34.11	35.70	90



الشكل 4-8-أ تطور المقاومة الإسطوانية للبيتون، حسب عمر العينة ( عيار 350 كغ / م<sup>3</sup> )



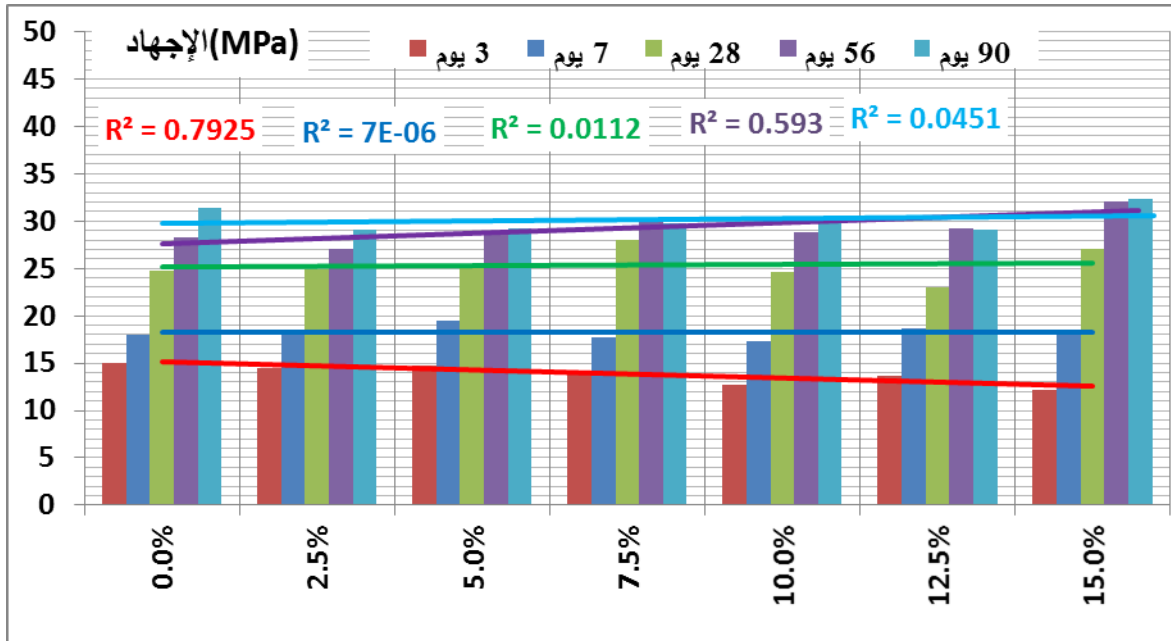
الشكل 4-8-ب تطور المقاومة الإسطوانية للبيتون، حسب عمر العينة ( عيار 400 كغ / م<sup>3</sup> )

خلافاً لعدد من الدراسات التي أظهرت إنخفاض في مقاومة البيتون نتيجة إضافة مطحون الزجاج إلى الخلطة البيتونية، يظهر في هذه الدراسة أن مطحون الزجاج يمكن أن يلعب دوراً مهماً في تحسين خصائص الخلطة البيتونية من حيث المقاومة والتشغيل.

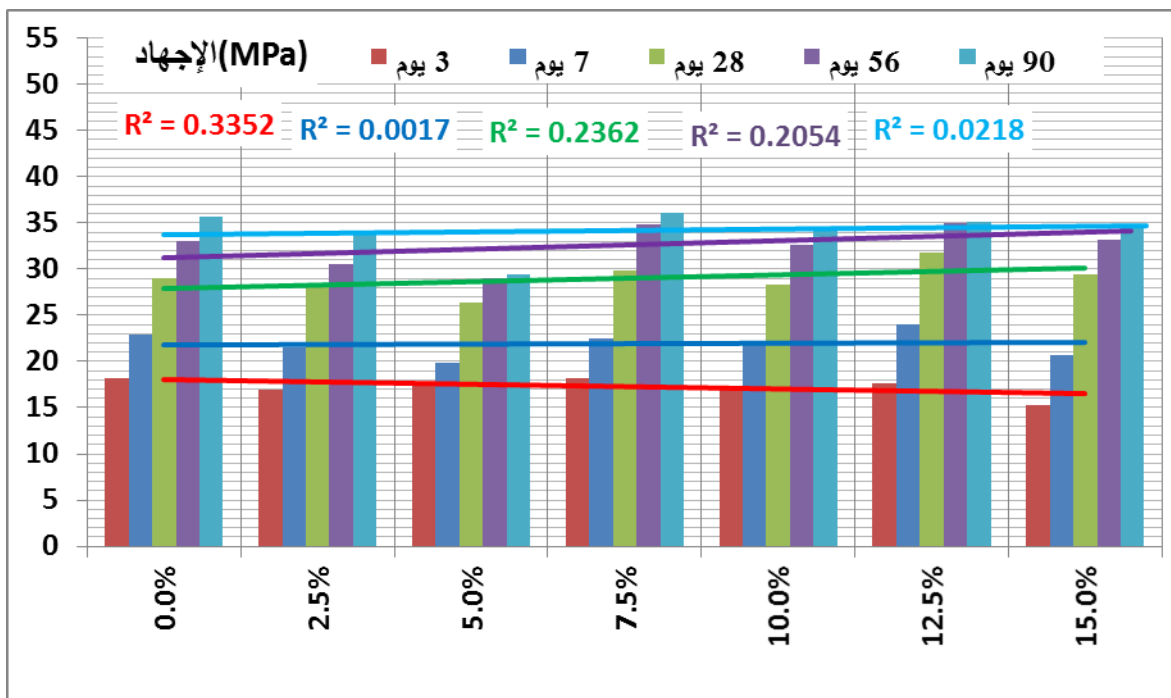
من الشكل (4-8-أ) والشكل (4-8-ب) و الشكل (4-10-أ) و الشكل (4-10-ب ) نلاحظ إنخفاضاً في المقاومة للأعمار المبكرة من التصلب طرداً مع إزدياد نسبة مطحون الزجاج، يمكن تفسير هذه الظاهرة بالدور الذي تلعبه مطحون الزجاج في زيادة السطح النوعي للمواد الناعمة الذي يستقطب حول الحبيبات قدر من ماء الخلطة، عملية تؤثر على العلاقة بين الماء والإسمنت وبالتالي على حجم وسرعة تفاعلات الإماهة الجارية.

إلا أن هذا الإنخفاض يأخذ بالتناقص مع الزمن ويتحول إلى عكسه حيث تشير معادلات التراجع الخطي وثابت المتحول  $n$  المبينة في الشكل (4-10-أ) و الشكل (4-10-ب ) إلى تزايد طفيف في مقاومة البيتون بشكل طردي مع كمية مطحون الزجاج. تفسر هذه الظاهرة بتحرر الماء عن سطح حبيبات مطحون الزجاج ( كمادة ذات إمتصاص شبه معدوم ) ودخوله مجدداً في عملية تفاعلات إماهة الإسمنت.

هذه العملية تؤازرها الخصائص الميكانيكية لمطحون الزجاج ودوره في إكتناز الخلطة البيتونية التي تساهم بدورها في زيادة مقاومة البيتون، هذ العملية تؤكدنا كمية الماء التصميمية الثابتة مع تغير نسبة مطحون الزجاج في الخلطة البيتونية.

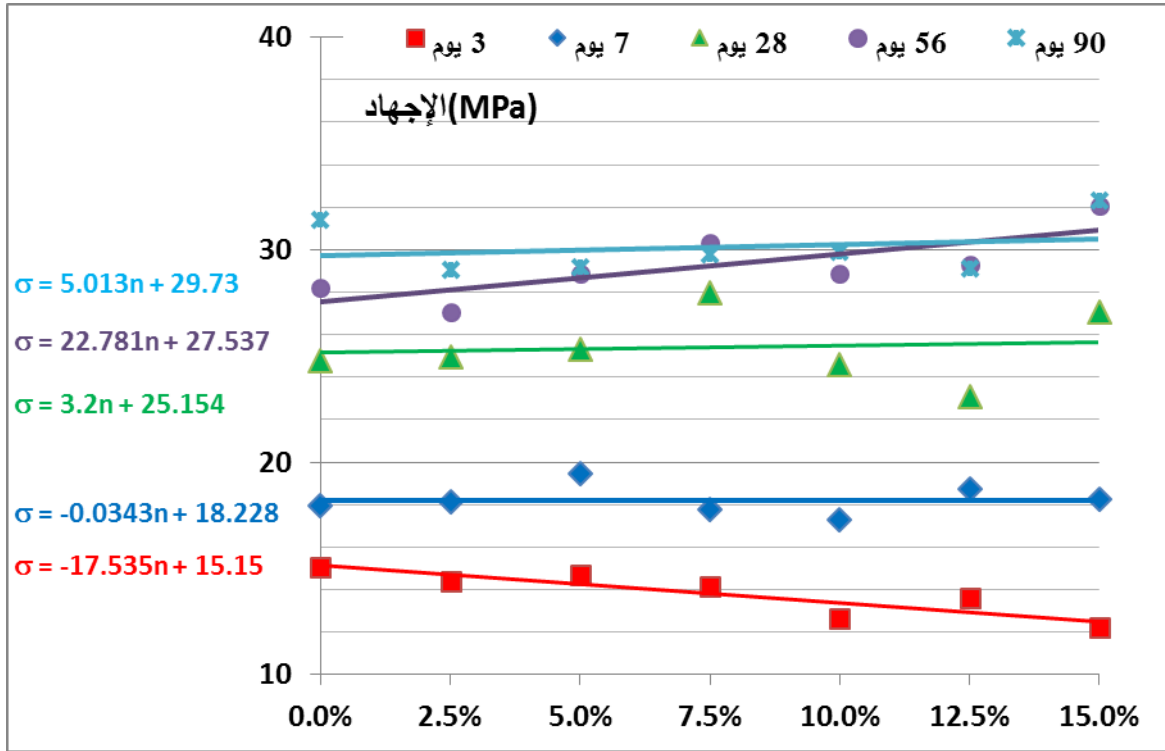


الشكل 4-9-أ: تطور المقاومة الإسطوانية حسب نسبة مطحون الزجاج ( عيار الإسمنت 350 كغ/م<sup>3</sup> )

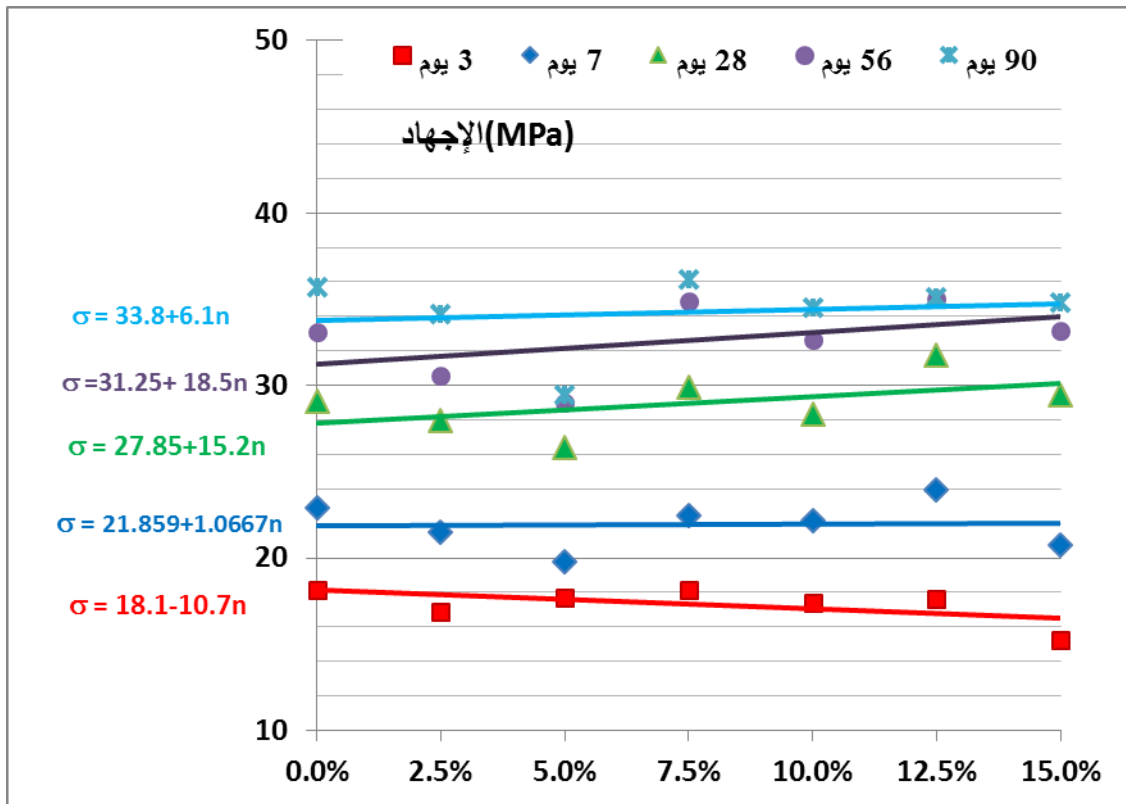


الشكل 4-9-ب: تطور المقاومة الإسطوانية حسب نسبة مطحون الزجاج ( عيار الإسمنت 400 كغ/م<sup>3</sup> )





الشكل 4-10-آ: تطور المقاومة الإسطوانية حسب نسبة مطحون الزجاج ( عيار الإسمنت 350 كغ/م<sup>3</sup> )



الشكل 4-10-ب: تطور المقاومة الإسطوانية حسب نسبة مطحون الزجاج ( عيار الإسمنت 400 كغ/م<sup>3</sup> )

من الشكل (4-10-أ) و الشكل (4-10-ب) يلاحظ أنه يمكن تمثيل معدل تزايد المقاومة كتابع للزمن ولنسبة مطحون الزجاج بعلاقة خطية من الشكل :

$$\sigma = \sigma_0(t) + n \cdot \eta(t) \quad (1-5)$$

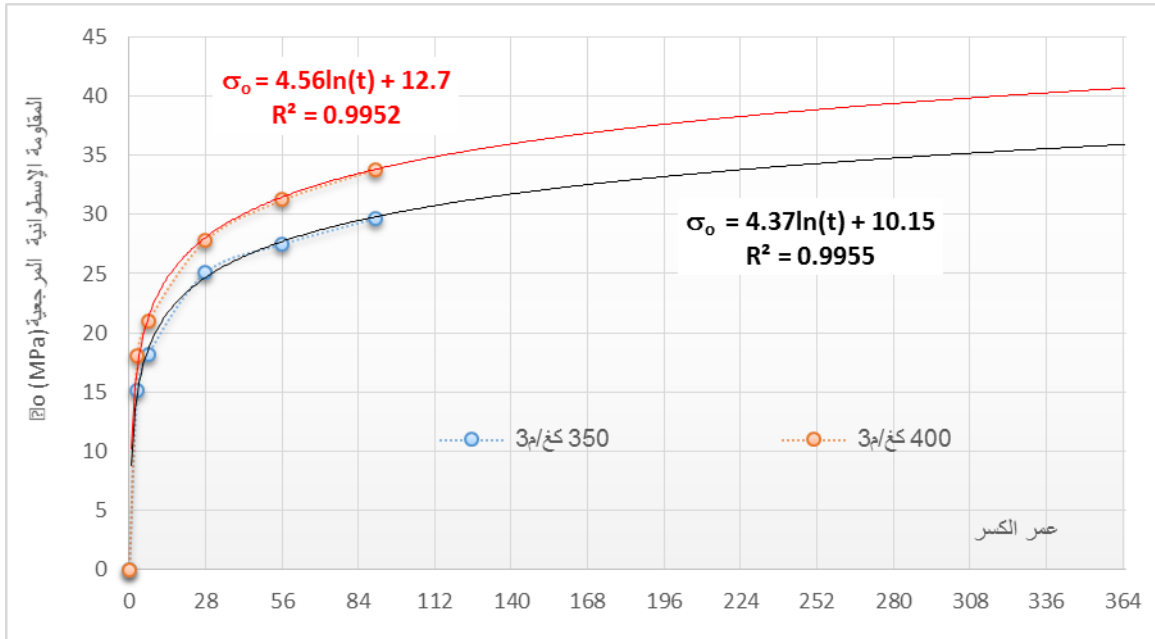
في هذه العلاقة يمثل الحد الأول  $\sigma_0(t)$  قيمة مقاومة الخرسانة (المرجعية) المتطورة مع الزمن، أما الحد الثاني  $\eta(t)$  فيمثل ثابت تزايد المقاومة مستقلاً عن نسبة مطحون الزجاج، في حين تعبر  $n$  عن نسبة مطحون الزجاج في الخلطة البيتونية.

يمكن التعبير عن قيمة  $\sigma_0(t)$  التابعة للزمن بالعلاقة اللوغاريتمية:

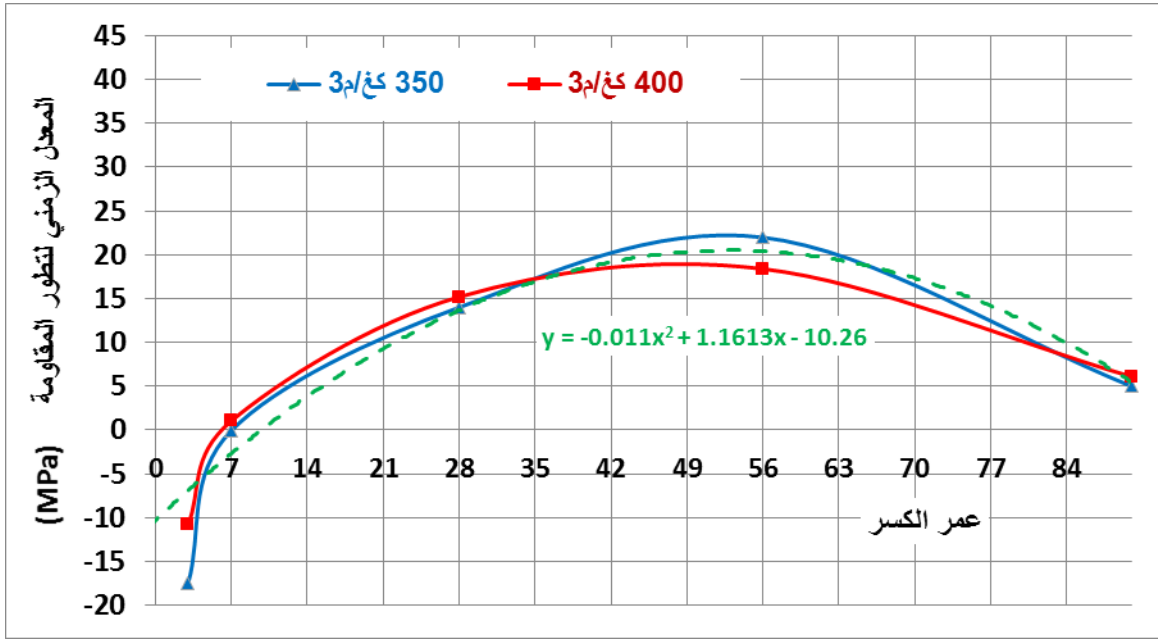
$$\sigma_0 = A \ln t + B \quad (2-5)$$

بحيث تسعى  $\sigma_0(t)$  نحو قيمة ثابتة في الأعمار المتقدمة، ويلاحظ أن المنحني يقترب من قيمته الحدية بعد 365 يوم، حيث  $A, B$  ثوابت تابعة لقيمة الإسمنت في الخلطة البيتونية، الشكل (4-11) أما الحد الثاني وهو يمثل ثابت تزايد قيمة المقاومة  $\eta = F(t)$  مع الزمن ويتعلق بخصائص التوتر السطحي لمطحون الزجاج، يمكن التعبير عنه كما هو مبين في الشكل (4-12) وفق علاقة متعددة الحدود تابع للزمن.

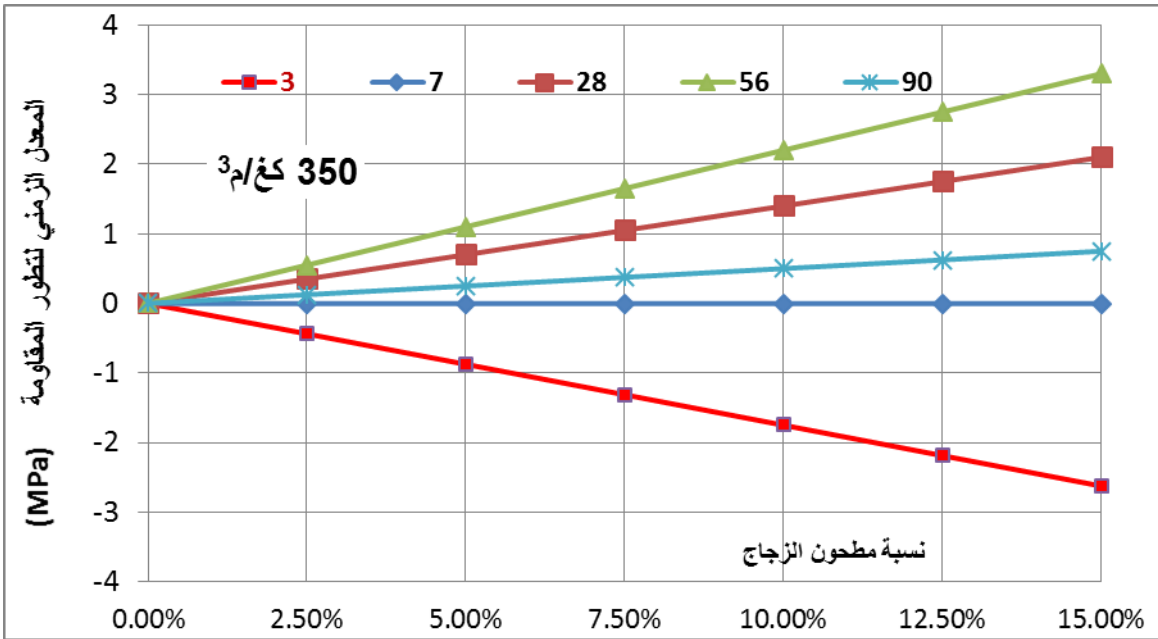
يلاحظ من الشكل أن قيمة  $\eta(t)$  متقاربة جداً في حالتي البيتون 350 و 400 كغ/م<sup>3</sup>، مما يؤكد أن دور مطحون الزجاج ينحصر في تحرير الماء المستقطب مع زمن تطور المقاومة دون أن يكون لمطحون الزجاج اي تأثير مباشر على التفاعلات الكيميائية للإسمنت.



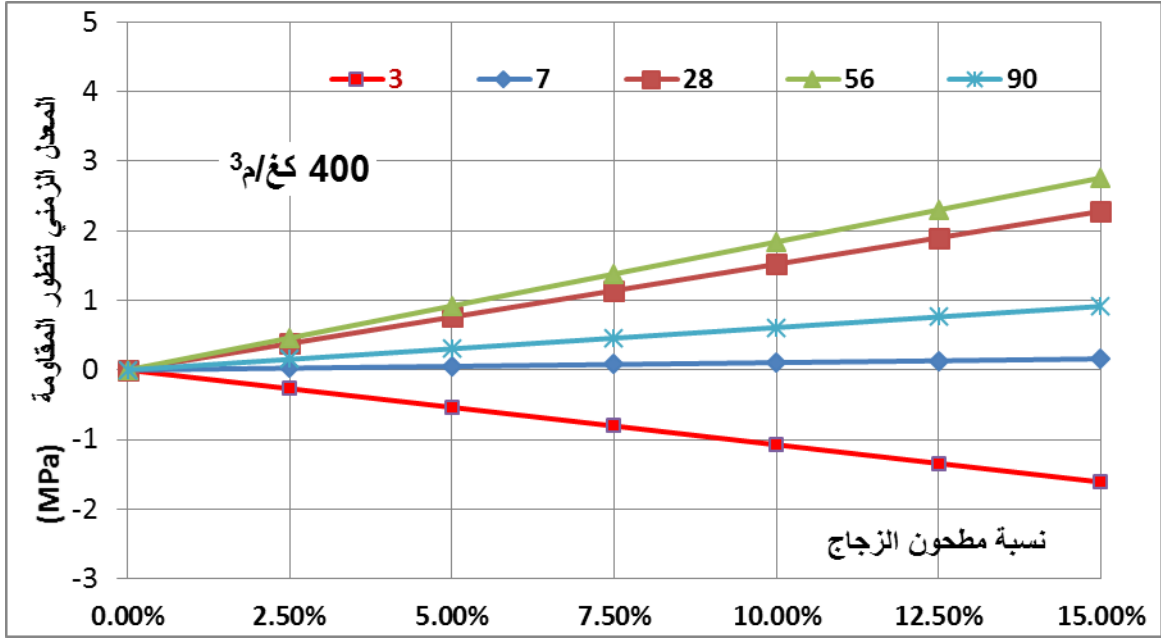
الشكل 4-11: تطور قيمة المقاومة الإسطوانية المرجعية مع عمر الكسر حسب عيار الإسمنت



الشكل 4- 12: المعدل النسبي زمني لتطور قيمة المقاومة الإسطوانية المرجعية (مطحون الزجاج 90 يوم)



الشكل 4-13-أ: تأثير مطحون الزجاج على ثابت مقاومة البيتون ( عيار 350 كغ / م 3 )



الشكل 4-13-ب: تأثير مطحون الزجاج على ثابت مقاومة البيتون ( عيار 400 كغ / م<sup>3</sup> )

يلاحظ من الشكل الشكل (4-13-أ) و الشكل (4-13-ب) أن مطحون الزجاج يخفض من مقاومة البيتون بشكل واضح عند بدء تصلبه من أجل عيار الإسمنت المنخفض، ثم يعود الإسمنت ليستعيد نشاطه الكيميائي بشكل تدريجي مع الزمن حتى عمر 90 يوم ويكون أشده على عمر 56 يوم هذا التأثير أكثر وضوحاً من أجل عيار الإسمنت المنخفض ويتناقص كلما زادت كمية الإسمنت في الخلطة البيتونية.

#### 4.1.6 آلية عمل مطحون الزجاج

من تحليل المعطيات البيانية التي تناولت تطور حجم الهواء والهبوط والكثافة و المقاومة على الضغط لوحظ أن مطحون الزجاج تعمل وفق آليتين متوازيتين:

- الآلية الأولى ترتبط بكبر السطح النوعي لمطحون الزجاج (2850 سم<sup>2</sup>/غ) وما يسببه هذا السطح من زيادة كبيرة في التوتر السطحي للماء والذي يساهم في احتجاز كمية من الماء المغلفة لمطحون الزجاج في الخلطة البيتونية
- الآلية الثانية وترتبط بالطبيعة الفلزية لمطحون الزجاج وخاصة عدم إمتصاصه للماء والإنخفاض النسبي لزواية إحتكاكه الداخلية في الخلطة البيتونية .

بفعل الآلية الأولى ( ظاهرة التوتر السطحي ) يتم استقطاب وحجز كمية من الماء، التي تغلف سطح مطحون الزجاج ، مما يسبب نقصاً في الهبوط وزيادة في حجم الهواء.

أما الآلية الثانية ويفعل طبيعة مطحون الزجاج وزاوية إحتكاكه الداخلية المنخفضة نسبياً، يحدث زيادة في إنزلاق حبيبات الخلطة وبالتالي زيادة في الهبوط وتراص بين مطحون الزجاج ونقص في حجم الهواء.

تعمل الآليتين بشكل متوازي حيث تسيطر الآلية الأولى حتى نسبة مطحون تتراوح بين 5 و 7.5% لتعود فنتغلب الآلية الثانية بدء من النسبة 7.5% حتى 15%، أما سيطرة آلية على أخرى فتؤثر بشكل مباشر في تحديد قيمة نتائج الإختبارات المنجزة .

بناء على نتائج المرحلة الأولى ، يمكن اقتراح نسبة 7.5% كنسبة مثلى و وسطية لآلية عمل مطحون الزجاج ، كما لوحظ إن تطور نتائج مقاومة الضغط لم تكن عند المستوى المطلوب ، لإغناء و توسيع آفاق دراسة تأثير مطحون الزجاج على الخلطة البيتونية تم الانتقال إلى المرحلة الثانية .

## 4.2 المرحلة الثانية : مطحون الزجاج بوجود الإضافات و كبديل عن الرمل

### 4.2.1 مطحون الزجاج مع إستخدام الإضافات الكيميائية

من التحليل المبدئي لتأثير مطحون الزجاج على هبوط الخرسانة (الشكل 4-2) لوحظ أنه يمكن يؤثر التوتر السطحي لمطحون الزجاج إيجابياً رغم طبيعته غير الماصة للماء، من ناحية ثانية التحسن البسيط للمقاومة على الضغط على الأعمار المتقدمة للخرسانة الذي يمكن اعتباره مؤشراً عن إمكانية تحسين الأداء الكيميائي للإسمنت، تم تنفيذ تجارب على الخلطة البيتونية بإستخدام خافضات للماء Type F عالية الأداء حسب تصنيف ASTM C494/C494M.

استخدم في هذه التجارب مطحون زجاج بنسبة 7.5% من وزن الإسمنت، كحالة وسطية بالنسبة لمجمل الاختبارات ولما تمثله هذه النسبة من حالة خاصة بالنسبة لحجم الهواء في البيتون .

لإدارة التجربة تم معايرة الماء أثناء إعداد الخلطة بالكم الذي يحقق هبوط S تصميمي مرجعي يتراوح بين 14 و 15 سم. إستخدم في هذه التجربة 80% من الوزن المنصوح به من الإضافات الكيميائية (1200 غ/كغ إسمنت) لخفض الماء التصميمي بحيث لا تسيطر هذه الإضافات على سلوك الخلطة البيتونية ودرجة تشغيلها وبحيث يسمح الإختبار إظهار الدور الميكانيكي الكامن الذي يمكن أن يؤديه مطحون الزجاج على درجة تشغيل الخلطة. ضمن هذا المنظور تم إعداد الخلطات A, B, C, D الجدول (4-6-أ) و الجدول (4-6-ب).

- الخلطة المرجعية (A) لعيار إسمنت 350 و 400 كغ/م<sup>3</sup> الموصفة في الجدول (4-6) بعد إعادة معايرة الماء.
- الخلطة (B) مماثلة في التركيب للخلطة المرجعية (A) مع خفض كمية الماء بمعدل 25%.
- الخلطة (C) مماثلة في التركيب للخلطة (B) مع إضافات كمية من مطحون الزجاج بنسبة 7.5% من كمية الإسمنت
- الخلطة (D) مماثلة في التركيب للخلطة (C) مع زيادة في كمية الماء المخفض للوصول إلى 30% من الخلطة المرجعية

تم الكسر على عمر 3 و 28 و 56 يوم، حيث أظهرت التجارب بالشكل (4-14-أ) و الشكل (4-14-ب) تحسناً ملحوظاً في مقاومة البيتون مترافق مع زيادة في الهبوط S ورفع في درجة تشغيل

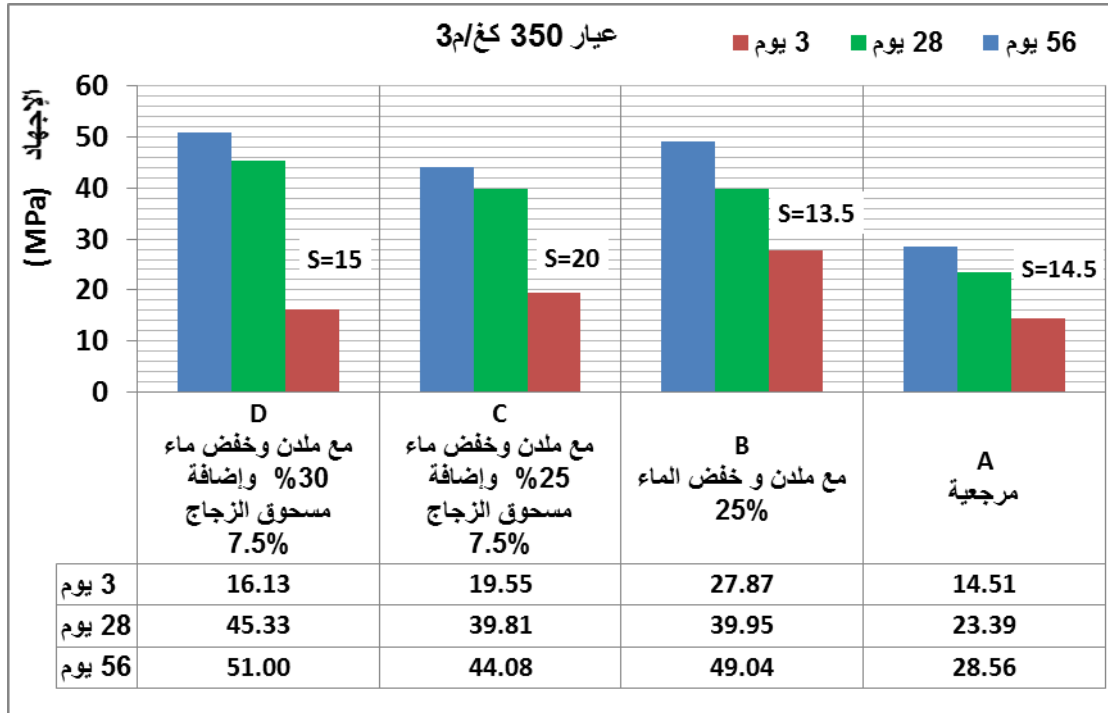
البيتون، مما يؤكد الدور المميز لمطحون الزجاج في تحسين خصائص الخلطة البيتونية بوجود الإضافات الكيميائية.

الجدول 4-6-أ: اختبار دور مطحون الزجاج بوجود الإضافات الكيميائية ( عيار 350 )

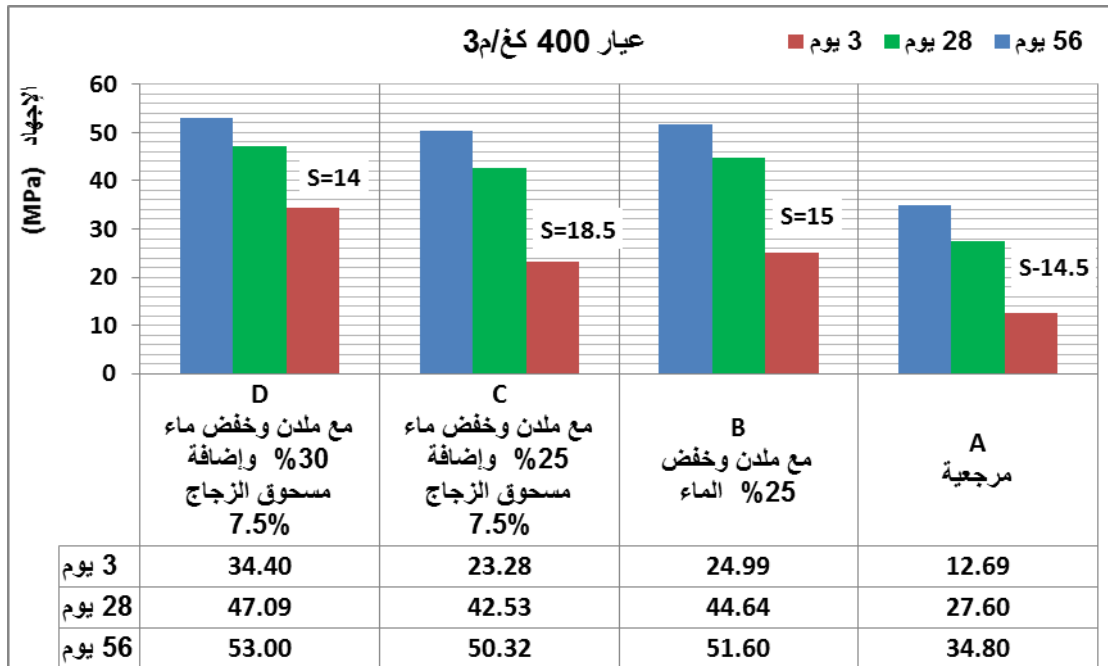
المادة ( كغ/م <sup>3</sup> )	الخلطة A	الخلطة B	الخلطة C	الخلطة D
إسمنت	350			
حصويات فولي 19	598.2			
حصويات عدسي 12	384.6			
رمل صب 5	791.3			
رمل مزار	77.6			
الماء ( لتر )	210	157.5		147
مطحون الزجاج	0.0		26.25	
الإضافات الكيميائية Type F	0.00		3.36	

الجدول 4-6-ب: اختبار دور مطحون الزجاج بوجود الإضافات الكيميائية ( عيار 400 )

المادة ( كغ/م <sup>3</sup> )	الخلطة A	الخلطة B	الخلطة C	الخلطة D
إسمنت	400			
حصويات فولي 19	579.2			
حصويات عدسي 12	372.3			
رمل صب 5	766.3			
رمل مزار	74.9			
الماء ( لتر )	220	175		154
مطحون الزجاج	0.0		30.0	
الإضافات الكيميائية Type F	0.00		3.84	



الشكل 4-14-أ: تأثير مطحون الزجاج على درجة التشغيل و المقاومة الإسطوانية بوجود الإضافات الكيميائية (عيار 350)



الشكل 4-14-ب: تأثير مطحون الزجاج على درجة التشغيل و المقاومة الإسطوانية باستخدام الإضافات الكيميائية (عيار 400)



في الخلطات (A، B، C و D) ومن أجل عيار اسمنت 350 و 400 كغ/م<sup>3</sup>، استخدم 80% من الجرعة المنصوح بها بحيث لا تسيطر هذه الإضافات على سلوك الخلطة البيتونية ودرجة تشغيلها، والقادرة على خفض الماء بمعدل 20% من أجل هبوط 18-19 سم.

بمقارنة النتائج الموضحة في الجدول (4-6-أ) و الجدول (4-6-ب) و الشكل (4-14-أ) و الشكل (4-14-ب) ، يمكن أن نستخلص الدور الذي تلعبه مطحون الزجاج بوجود الإضافات الكيميائية، مبينين ما يلي:

1- من الخلطة (A، B) تظهر وظيفة الإضافات الكيميائية في تحديد درجة تشغيل والمقاومة الممكنة، حيث اظهرت نتائج الخلطة B، بإستخدام نسبة 80% من الجرعة المنصوح بها، إمكانية الوصول إلى تخفيض 25% من كمية الماء مع هبوط لا يتجاوز بالترتيب (15 و 13.5 سم) في حين كان يفترض وصولها مع الجرعة النظامية إلى 19-20 سم. كما أظهرت تحسناً ملحوظاً في المقاومة على الأعمار 3 و 28 و 56 يوم.

2- من مقارنة نتائج الخلطة (A، B و C) يلاحظ الدور الذي لعبته مطحون الزجاج في تحسين أداء الإضافات الكيميائية (المواد الملدنة) بشكل ملحوظ حيث حافظ مطحون الزجاج على نسبة 25% من تخفيض الماء وارتفع معدل الهبوط بالترتيب من (15، 13.5 سم) إلى (18.5، 20 سم)؛ هذه الزيادة في الهبوط تبرر زيادة جديدة في خفض الماء كما تفسر الإنخفاض البسيط في المقاومة على الأعمار 3 و 28 و 56 يوم.

3- في الخلطة (D) رفع في معدل إنقاص الماء من 25% إلى 30% من الكمية التصميمية، يلاحظ أن الخلطة حافظت تقريباً على درجة تشغيل الخلطة B مع الأخذ بالإعتبار دور كمية الإسمنت، مما يفيد بدور مطحون الزجاج في رفع معدل خفض الماء، ليقابلها زيادة ملحوظة في المقاومة من أجل البيتون عيار 350 و 400 كغ/م<sup>3</sup>.

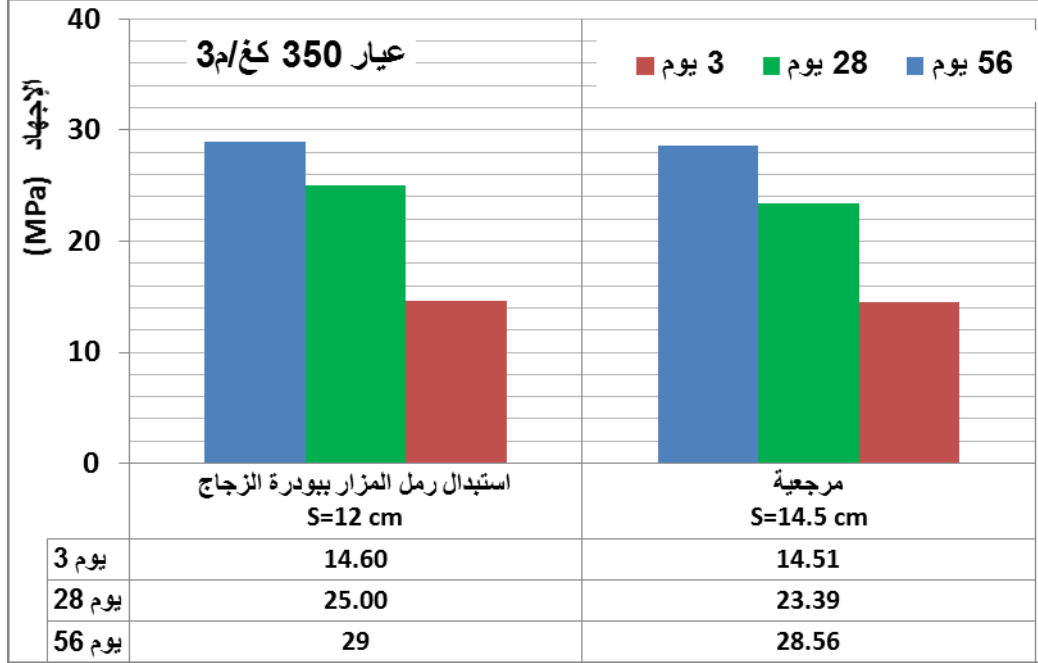
## 4.2.2 استبدال رمل المزار بمطحون الزجاج

بهدف إختبار الآلية المزدوجة لعمل مطحون الزجاج، تم إنجاز الخلطة E المشابهة في تركيبها للخلطة A مع الفارق في كمية رمل المزار:

5. الخلطة A عيار 350 كغ/م<sup>3</sup> دون مطحون زجاج.

6. الخلطة E حيث تم استخدام مطحون الزجاج بنسبة 7.5% كمواد ناعمة مكان ما يعادلها وزناً من رمل المزار.

تم الكسر على عمر 3 و 28 و 56 يوم (الشكل 4-15).



الشكل 4-15: إستبدال رمل المزار بمطحون الزجاج ( عيار 350 كغ /م<sup>3</sup> )

بعملية استبدال رمل المزار بمطحون الزجاج ومن نتائج قياس الهبوط والكسر على الضغط (الشكل 4-15)، يلاحظ ما سبق وسجل من سيطرت الدور المزدوج لمطحون الزجاج حيث يلعب دوراً في تخفيض درجة التشغيل نتيجة التوتر السطحي لمطحون الزجاج وانخفاض في المقاومة على الأيام الأولى من عمر الببتون المتصلب، ثم تحسن نسبي في مقاومة الببتون للألية الأولى لعمل مطحون الزجاج ( التوتر السطحي ) .

## الخلاصة

تظهر نتائج الإختبارات :

- سمحت منهجية العمل بالفصل بين دور الإسمنت ودور مطحون الزجاج المضاف إلى الخلطة الخرسانية ودراسة تأثير هذه المادة في حقل واسع من التغيرات، عيار الأسمت، نسبة مطحون الزجاج، إستبدال رمل المزار، تأثيرها على الملدنات.
- تتصرف مطحون الزجاج وفق آليتين متوازيتين:
  - الآلية الأولى ترتبط بالسطح النوعي لمطحون الزجاج وما يسببه هذا السطح من زيادة في التوتر السطحي للماء الذي يساهم في المرحلة الرطبة باحتجاز كمية من الماء قبل دخوله في عملية إماهة الإسمنت.
  - الآلية الثانية وترتبط بالخصائص الميكانيكية والطبيعة الفلزية لهذه الحبيبات وخاصة عدم إمتصاصها للماء والإنخفاض النسبي لزواوية الإحتكاك الداخلي في الخلطة البيتونية، سمة تساعد في زيادة الهبوط ونقص في حجم الهواء وزيادة في تراص البيتون وتحسين مقاومته.
- تعمل الآليتين بشكل متلازم حيث تسيطر الآلية الأولى حتى نسبة مطحون تتراوح بين 5 و 7.5% لتعود فتتغلب الآلية الثانية بدء من النسبة 7.5% حتى 15%، أما سيطرة الآلية على أخرى فتؤثر بشكل مباشر في تحديد قيمة نتائج الإختبارات المنجزة.
- وفق هذه الآليات يساهم مطحون الزجاج في خفض مقاومة البيتون في أيامه الأولى (3 يوم) بفعل خاصة التوتر السطحي، غير أنه مع مرور الزمن يأخذ مطحون الزجاج بتحسين خصائص البيتون ورفع مقاومته، هذا التحسن يزداد نسبيا مع إزدياد كمية مطحون الزجاج وإزدياد كمية الإسمنت.
- يمكن أن يساهم مطحون الزجاج بشكل ملحوظ في رفع أداء الإضافات الكيميائية وزيادة التشغيل من ناحية وزيادة إكتناز الخلطة ومقاومتها على الضغط من ناحية ثانية، وهذا بفضل الطبيعة غير الماصة للزجاج وزواوية إحتكاكه الداخلي.
- عدم إمكانية تخفيض حجم الهواء في البيتون، وعدم إرتباط وجود الهواء بنعومة الحصىيات بل بطريقة وشروط تحضير الخلطة البيتونية، ونسبة المواد الناعمة وتأثيرها الميكانيكي.

- عملية استبدال رمل المزار بمطحون الزجاج لا تساهم إلا بقدر ضئيل في تحسين خصائص الخلطة البيتونية.

## التوصيات

بينت نتائج الإختبار الخصائص الكامنة لحبيبات مطحون الزجاج، أصغر من 0.6 ملم، مثل انخفاض زاوية الاحتكاك الداخلي وعدم الإمتصاص والتوتر السطحي، صائص تحتاج لدراسات موسعة ومعمقة يمكن أن تساعد في إنتاج خلطات بيتونية نوعية ذات كفاءة عالية. إن ما أظهرته التجارب من دور فعال في زيادة فعالية المواد الملدنة يسمح بتوجه الأنظار إلى إستخدام مطحون الزجاج لدراسة تأثير مطحون الزجاج على البيتون ذاتي التراص.

## المراجع العامة

### Standard References

#### **ASTM American Society for Testing and Materials**

C29 Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Void Aggregate

C33 Standard Specification for concrete Aggregates

C39 Standard Test Method for compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

C40 Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete

C94 Standard specification for Ready-Mixed Concrete

C117 Standard Test of Method for Materials Finer than 75 $\mu$ m (N°200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing

C127 Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse aggregate

C128 Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate

C131 Standard Test Method for Resistance and Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and impact in the Los Angeles Machine

C136 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates

C138 Standard Test Method for Density (Unit weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete.

C142 Standard Test method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates.

C143 Standard Test Method for Slump of hydraulic–Cement Concrete.

C172 Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete.

C173 Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by Volumetric Method.

C192 Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.

C231–97 Standard Test method for Air Content of Freshly Mixed concrete by the Pressure Method.

C494/C494 M–99 Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.

C566 Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying.

ASTM C496 / C496M – 11 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

ASTM C642 – 13 Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete.

C702 Standard Method of Test for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size

D2419 Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate

D75 Standard Practice for Sampling Aggregates

**ACI American Concrete Institute**

ACI 211.1 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.

ACI 214.3 : Simplified Version of the Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Results of Concrete.

ACI 214R Evaluation of Strength Test Results of Concrete

الكود العربي السوري الصادر وتنفيذ المنشآت بالهرسانة المسلحة الصادر عن نقابة المهندسين في  
الجمهورية العربية السورية عام 2004.



## الملاحق

جدول (أ): مواصفات ACI 211.1-91

### Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91)

<b>Recommended slumps for various types of construction</b>		
<b>Types of construction</b>	<b>Maximum Slump (mm)</b>	<b>Minimum Slump (mm)</b>
Reinforced foundation walls and footings	75	25
Plain footings, caissons, and substructure walls	75	25
Beams and reinforced walls	100	25
Building columns	100	25
Pavements and slabs	75	25
Mass concrete	75	25

<b>First estimate of concrete weight (kg/m<sup>3</sup>)</b>		
<b>Nominal maximum size of aggregate (mm)</b>	<b>Non-air-entrained concrete</b>	<b>Air-entrained concrete</b>
<b>9.5</b>	2280	2200
<b>12.5</b>	2310	2230
<b>19</b>	2345	2275

<b>25</b>	2380	2290
<b>37.5</b>	2410	2350
<b>50</b>	2445	2345
<b>75</b>	2490	2405
<b>150</b>	2530	2435

<b>Relationship between water–cement or water–cementations materials ratio and compressive strength of concrete</b>	
<b>Compressive strength at 28 days (MPa)</b>	<b>Water–cement ratio by weight (Non–air–entrained concrete)</b>
40	0.42
35	0.47
30	0.54
25	0.61
20	0.69
15	0.79

<b>NON-AIR-ENTRAINED CONCRETE</b>								
<b>Approximate mixing water (kg/m<sup>3</sup>) for indicated nominal maximum sizes of aggregate</b>								
<b>Slump (mm)</b>	<b>9.5 mm</b>	<b>12.5 mm</b>	<b>19 mm</b>	<b>25 mm</b>	<b>37.5 mm</b>	<b>50 mm</b>	<b>75 mm</b>	<b>150 mm</b>
25 to 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 to 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 to 175	243	228	216	202	190	178	160	-
More than 175	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Approximate amount of entrapped air in non-air-entrained concrete (%)</b>								
<b>Slump (mm)</b>	<b>9.5 mm</b>	<b>12.5 mm</b>	<b>19 mm</b>	<b>25 mm</b>	<b>37.5 mm</b>	<b>50 mm</b>	<b>75 mm</b>	<b>150 mm</b>
All	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

<b>AIR-ENTRAINED CONCRETE</b>								
<b>Approximate mixing water (kg/m<sup>3</sup>) for indicated nominal maximum sizes of aggregate</b>								
<b>Slump (mm)</b>	<b>9.5 mm</b>	<b>12.5 mm</b>	<b>19 mm</b>	<b>25 mm</b>	<b>37.5 mm</b>	<b>50 mm</b>	<b>75 mm</b>	<b>150 mm</b>
25 to 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 to 100	202	193	184	175	165	157	133	119

150 to 175	216	205	197	184	174	166	154	-
More than 175	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Recommended averages of total air content (%) for level of exposure</b>								
<b>Level of Exposure</b>	<b>9.5 mm</b>	<b>12.5 mm</b>	<b>19 mm</b>	<b>25 mm</b>	<b>37.5 mm</b>	<b>50 mm</b>	<b>75 mm</b>	<b>150 mm</b>
Mild Exposure	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Moderate Exposure	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Severe Exposure	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

جدول (ب): تدرج حزم الحصىيات وفق توصيات ASTM C33

Grading Requirements for Coarse and fine Aggregates according to ASTM

C33 – 03

Category		56		57		6	
Sieve size		25.0 – 9.5 mm		25.0 – 4.75 mm		19.0 – 9.5 mm	
Inch, N°	mm	Fine	Coarse	Fine	Coarse	Fine	Coarse
2"	50.0						
1 1/2"	37.5		100		100		
1"	25.0	100	90	100	95		100
3/4"	19.0	85	40			100	90
1/2"	12.5	40	10	60	25	55	20
3/8"	9.5	15	0			15	0
# 4	4.75	5	0	10	0	5	0
# 8	2.36			5	0		
# 16	1.18						
# 30	0.60						
# 50	0.30						
# 100	0.15						
# 200	0.075						

Category		<b>67</b>		<b>7</b>		<b>8</b>	
Sieve size		<b>19.0 – 4.75</b>		<b>12.5 – 4.75</b>		<b>9.5 – 2.36</b>	
		<b>mm</b>		<b>mm</b>		<b>mm</b>	
Inch, N°	mm	Fine	Coarse	Fine	Coarse	Fine	Coarse
<b>2"</b>	50.0						
<b>1 1/2"</b>	37.5						
<b>1"</b>	25.0	<b>100</b>					
<b>3/4"</b>	19.0	<b>100</b>	<b>90</b>		<b>100</b>		
<b>1/2"</b>	12.5			<b>100</b>	<b>90</b>		<b>100</b>
<b>3/8"</b>	9.5	<b>55</b>	<b>20</b>	<b>70</b>	<b>40</b>	<b>100</b>	<b>85</b>
<b># 4</b>	4.75	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>30</b>	<b>10</b>
<b># 8</b>	2.36	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>0</b>
<b># 16</b>	1.18					<b>5</b>	<b>0</b>
<b># 30</b>	0.60						
<b># 50</b>	0.30						
<b># 100</b>	0.15						
<b># 200</b>	0.075						

Category		<b>89</b>		<b>9*</b>		<b>10</b>	
Sieve size		<b>9.5 – 1.18</b>		<b>4.75 – 1.18</b>		<b>9.5 – 0.15</b>	
		<b>mm</b>		<b>mm</b>		<b>mm</b>	
Inch, N°	mm	Fine	Coarse	Fine	Coarse	Fine	Coarse
<b>2"</b>	50.0						
<b>1 1/2"</b>	37.5						
<b>1"</b>	25.0						
<b>3/4"</b>	19.0						
<b>1/2"</b>	12.5	<b>100</b>					
<b>3/8"</b>	9.5	<b>100</b>	<b>90</b>		<b>100</b>		<b>100</b>
<b># 4</b>	4.75	<b>55</b>	<b>20</b>	<b>100</b>	<b>85</b>		<b>95</b>
<b># 8</b>	2.36	<b>30</b>	<b>5</b>	<b>40</b>	<b>10</b>	<b>100</b>	<b>80</b>
<b># 16</b>	1.18	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>85</b>	<b>50</b>
<b># 30</b>	0.60	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>60</b>	<b>25</b>
<b># 50</b>	0.30					<b>30</b>	<b>5</b>
<b># 100</b>	0.15					<b>10</b>	<b>0</b>
<b># 200</b>	0.075					<b>5</b>	

\* Size number 9 aggregate is defined in Terminology C 125 as a fine aggregate. It is included as a coarse aggregate when it is combined with a size number 8 material to create a size number 89, which is a coarse aggregate as defined by Terminology C 125.

\*\* Size number 10 aggregate is defined as fine aggregate



جدول (ج) مواصفات الإسمنت

<b>Syria Specification No.3411 – 2008</b>				
<b>CEM II/B–P Strength Class: 32.5N</b>				
<b>Composition</b>		Results	Standard Requirements	
Silicon Dioxide	SiO <sub>2</sub>	22.04%		
Aluminium Trioxide	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.16%		
Ferric Oxide	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.69%		
Calcium Oxide	CaO	59.22%		
Magnesium Oxide	MgO	2.74%		
Sulphate	SO <sub>3</sub>	2.52%	3.5%	Max
Potassium Oxide	K <sub>2</sub> O	0.62%		
Sodium Oxide	Na <sub>2</sub> O	1.04%		
Chloride	Cl	0.031%	0.1%	Max
Loss On Ignition	LOI	1.64%		
Tricalcium Aluminates	C3A	1.29%		
Compressive Strength		Results	Standard Requirements	
Test Method BS EN 196–3–2005				
2 days (N/mm <sup>2</sup> )		17.10		
7 days (N/mm <sup>2</sup> )		30.20	16N/mm <sup>2</sup>	Min
28 (N/mm <sup>2</sup> )		41.50	32.5N/m <sup>2</sup>	Min
Setting Time		Results	Standard	

Test Methode BS EN 196-3:2005			Requirements	
Initial Time (minutes)		135-140 min		
Final Time (minutes)		250	75 min	Min
Standard Consistency (%)		29.0%		
Soudness Test method BS EN 196-3:2005		Results	Standard Requirements	
Expansion		0.01	10.0 mm	Max
Fineness by Blain Test method BS EN 196-6:1992		Results		
Specific Surface Area (cm <sup>2</sup> /g)		3145		



قبول نشر بحث  
طالب دراسات عليا

الرقم: ٨٢

التاريخ ١ / ٦ / 2015م

إلى طالب الدراسات العليا شيرزاد عيسى إسماعيل

جامعة: دمشق

كلية: الهندسة المدنية

نود إعلامكم بقبول بحثكم الموسوم:

استخدام مطحون الزجاج لتحسين مقاومة وتشغيل الخرسانة

لنشر في مجلة جامعة البعث بالمجلد 37 لعام 2015م

بالمشاركة مع السيد الدكتور: عفيف رحمة

بعد أن تم تحكيمه من قبل مختصين.

نشكر لكم هذه المساهمة الطيبة ونتطلع إلى استمرار تواصلكم مع مجلتنا ومدّها بما لديكم من جديد والاطلاع على الأبحاث المنشورة في المجلة على موقع المجلة والرابط المدونين في أسفل الصفحة.

والرابط [magazine@albaath-univ.edu.sy](mailto:magazine@albaath-univ.edu.sy)

موقع الجامعة [www.albaath-univ.edu.sy](http://www.albaath-univ.edu.sy)

عيسى محمد رحمة  
كلية الهندسة والاساسية والتطبيقية



د. محمود حداد

الجمهورية العربية السورية  
جامعة دمشق

قرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا رقم / ١٣١٢ / المتخذ  
بالجلسة رقم / ١٢ / تاريخ ٢٠١٥/٢/٢٢

اطلع مجلس البحث العلمي والدراسات العليا على قرار مجلس كلية الهندسة المدنية رقم / ٢٤٠ /  
تاريخ ٢٠١٥/٢/١٢  
وبعد الرجوع إلى اللائحة التنفيذية لقانون تنظيم الجامعات الصادرة بالمرسوم / ٢٥٠ / لعام ٢٠٠٦ .  
قرار مجلس جامعة دمشق رقم / ٦٢٠٥ / ص.م تاريخ ٢٠١٣/١٢/٣٠ بشأن الموافقة على تسجيل  
رسالة الطالب

وبنتيجة المناقشة قرر مجلس البحث العلمي والدراسات العليا :

الموافقة على تأليف لجنة الحكم على رسالة الماجستير في قسم الهندسة الإنشائية التي أعدها الطالب  
شيرزاد إسماعيل بعنوان : (( رفع كفاءة الخلطة البيتوتية باستخدام مطحون الزجاج )) بكلية الهندسة  
المدنية من السادة الأساتذة :

د. عفيف رحمة	الأستاذ في قسم الهندسة الإنشائية	كلية الهندسة المدنية
جامعة دمشق	الاختصاص: حساب الإنشاءات	عضواً مشرفاً
د. مروان البشير	الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الإنشائية	كلية الهندسة المدنية
جامعة دمشق	الاختصاص: حساب الإنشاءات	عضواً
د. ماجد اسعد	الأستاذ المساعد في قسم هندسة النقل والمواصلات	كلية الهندسة المدنية
جامعة دمشق	الاختصاص: مواد بناء	عضواً

وذلك وفق ما هو وارد في قرار مجلس الكلية آنف الذكر،،،

ملاحظة: يرجى إرسال نسخة عن الإعلان الخاص بتحديد موعد المناقشة فور صدوره إلى مكتب  
نائب رئيس الجامعة لشؤون البحث العلمي والدراسات العليا.

قرار مجلس كلية الهندسة المدنية رقم / ٢٤٠ / المتخذ  
بالجلسة رقم / ١٩ / تاريخ / ١٢ / ٢ / ٢٠١٥

تلي في مجلس الكلية قرار مجلس قسم الهندسة الإنشائية رقم / ٥٢ / تاريخ / ١٠ / ٢ / ٢٠١٥  
التالي نصه:

اطلع مجلس القسم على محضر -السيمنار النهائي لرسالة الماجستير للطالب شيرزاد اسماعيل بعنوان : ( رفع كفاءة الخلطة البيتونية باستخدام مطحون الزجاج ) بإشراف الدكتور عفيف رحمة والذي قرر فيه القسم باعتباره سيمينار نهائي وبناء على كتب الدكتور عفيف رحمة المشرف على الرسالة والذي يبين فيه بان الأطروحة جاهزة للتحكيم .  
وبالنتيجة لا يرى المجلس مانعا من تشكيل لجنة حكم مؤلفة من السادة:  
د . عفيف رحمة مشرفا  
د . مروان البشير عضوا  
د . م ماجد اسعد عضوا  
وتسمية : الدكتور شاهين غلابيني والدكتور بشار سلهب كردفاء .

رئيس القسم

ونتيجة المذاكرة قرر مجلس الكلية اقتراح ما يلي :

- ١- الموافقة على قرار قسم الهندسة الإنشائية بشأن تشكيل لجنة حكم على رسالة الماجستير التي أعدها الطالب شيرزاد اسماعيل وهي بعنوان : ( رفع كفاءة الخلطة البيتونية باستخدام مطحون الزجاج ) بإشراف الدكتور عفيف رحمة مؤلفة من السادة :
- |                   |   |                      |
|-------------------|---|----------------------|
| د . م عفيف رحمة   | الأستاذ في قسم الهندسة الإنشائية              | كلية الهندسة المدنية |
| بجامعة دمشق       | اختصاص : حساب الإنشاءات                       | عضوا ومشرفا          |
| د . مروان البشير  | الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الإنشائية      | كلية الهندسة المدنية |
| بجامعة دمشق       | اختصاص : حساب الإنشاءات                       | عضوا                 |
| د . م ماجد اسعد   | الأستاذ المساعد في قسم هندسة النقل والمواصلات | كلية الهندسة المدنية |
| بجامعة دمشق       | اختصاص : مواد بناء                            | عضوا                 |
| د . شاهين غلابيني | الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الإنشائية      | كلية الهندسة المدنية |
| بجامعة دمشق       | اختصاص : حساب الإنشاءات                       | عضوا رديفا           |
| د . بشار سلهب     | المدرس في قسم الهندسة الإنشائية               | كلية الهندسة المدنية |
| بجامعة دمشق       | اختصاص : إنشاءات معدنية                       | عضوا رديفا           |

٢- يرفع هذا القرار إلى المجالس الجامعية المختصة لاستكمال أسباب صدوره .

عميد كلية الهندسة المدنية

الأستاذ الدكتور محمد غريب

ف / س