

البيتون عالي المقاومة بالمواد المحلية، تحضيره، ودراسة خواصه وسلوكه.

* الدكتور أحمد عبود

** الدكتور نزيه منصور

*** الشريفة بهيجة آل الفضل

تاريخ الإيداع 11 / 5 / 2015. قُبل للنشر في 12 / 8 / 2015

□ ملخص □

برزت أهمية البيتون عالي المقاومة في الآونة الأخيرة لدخوله في تصنيع أغلب عناصر وأجزاء المنشآت البيتونية، وكذلك في تنفيذ المنشآت المدنية الخاصة، كقواعد الجسور والأبراج العالية و الأعمدة والمنصات التي تحمل المنشآت النفطية، في البحار والمحيطات. يهدف البحث إلى تصميم خلطات بيتونية ذات مقاومات أسطوانية (55-65-75)MPa وفق الكود الأمريكي ACI-211-4R-93، وذلك باستخدام إحضارات محلية وإضافات مناسبة، مع شرح لطريقة التصميم المستخدمة. ومن ثم دراسة تغيير مخطط (الإجهاد - التشوه) تجريبياً على الضغط البسيط للعينات السابقة، وذلك من خلال الأجهزة المتوفرة، وتمت مقارنتها مع المخططات التي تم الحصول عليها حسابياً. تم تقييم قانون السلوك لمخطط (الإجهاد - التشوه) ومعامل المرونة المأخوذ من المخطط. استنتجت مجموعة من النتائج والتوصيات الخاصة بالموضوع والتي تمكن من تطبيق نتائج البحث على أرض الواقع.

الكلمات المفتاحية: البيتون عالي المقاومة؛ مخطط إجهاد- تشوه؛ إجهاد الضغط..

* أستاذ - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية-سورية.

** مدرس- قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية-سورية.

*** طالبة دراسات عليا (دكتوراه) - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

High Strength Concrete in Local Materials Preparing & Studying its Qualities and Behaviour

Dr. Ahmed Aboud*
Dr. Nazez Mansour**
Al Sharifa Bahege Al Fadel***

(Received 11 / 5 / 2015. Accepted 12 / 8 / 2015)

□ ABSTRACT □

Recently, the importance of high Strength concrete has appeared due to its application in manufacturing most of the concrete structures and members, as well as to its importance in the implementation of civilian facilities like bridge bases, skyscrapers and in implementing the columns and platforms which carry oil installations carried out in the oceans and seas. The research aims to design concrete mixtures with cylindrical resistors (55- 65- 75 Mpa) according to the American code AcI-211-4R-93 by using local and appropriate additions as well as explaining the method used in designing. Then, studying the transformation in stress strain curve – deformation

(σ - ζ) undergoing a simple pressure on the previous samples throughout the available devices. Then, it was compared to the charts obtained mathematically. Law behaviour of stress strain and deformation curve was rated, in addition to modulus of elasticity taken from the chart.

Couple of results and recommendations related to the issue were concluded, those which were applied in praxis .

Key word: High strength concrete ;stress – strain curve ; compressive strength.

* Professor – Construction Engineering Department – Civil Engineering college- Tishreen University- Lattakia – Syria.

** Assistant Professor- Construction Engineering Department – Civil Engineering college- Tishreen University- Lattakia – Syria.

*** Postgraduate Student -Construction Engineering Department – Civil Engineering college- Tishreen University- Lattakia – Syria.

مقدمة :

يعتبر البيتون مادة البناء الأساسية في المنشآت الهندسية، وهو يدخل في تصنيع أغلب عناصر وأجزاء هذه المنشآت ولقد ازداد الاهتمام بشكل ملحوظ في الآونة الأخيرة بالبيتون عالي المقاومة، نظراً لأهميته في تنفيذ المنشآت المدنية الخاصة، لضرورات إنشائية واقتصادية، ما يتطلب نوعية أفضل وأحدث لمواد البناء.

في مدينة شيكاغو استطاع مصمم water tower place تصغير مقاطع العناصر البيتونية الحاملة في جميع الطوابق باستخدامه البيتون عالي المقاومة، وبالتالي تمكن من تخفيض الحمل الميت للبرج وتوفير كمية كبيرة من مواد البناء وزيادة مساحة السكن، وزيادة عمر المنشأة عن طريق رفع كفاءة مواد البناء المستخدمة.

بني في فرنسا جسر Normoundie عام 1993 الذي يبلغ طوله الكلي 2141 m وعرضه 21m، وقد تطلب بناء الجسر حوالي 7000 m^3 من البيتون المسلح. لم يكن بالإمكان تنفيذ المنشأة لولا أن تمكنا من الحصول على بيتون بمقاومة عالية لا تقل عن 80 MPa .^[1]

مكن اكتشاف البيتون عالي المقاومة من خلق قفزة نوعية في مجال تصميم وتنفيذ المنشآت البيتونية المسلحة المخصصة لمختلف أنواع الاستثمارات المدنية والسكنية وغيرها.

لابد من تصميم مقاطع العناصر البيتونية لمقاومة مختلف أنواع الحمولات وأشكال توزع الإجهادات الداخلية كالانحناف والقص والفتل وغيرها. وهذا يتطلب معرفة سلوك البيتون عالي المقاومة وسلوكه تحت تأثير الحمولات التي يخضع لها في تلك المنشآت ومعرفة سلوك تلك المادة أثناء دراسة هذه المنشآت وتصميمها.

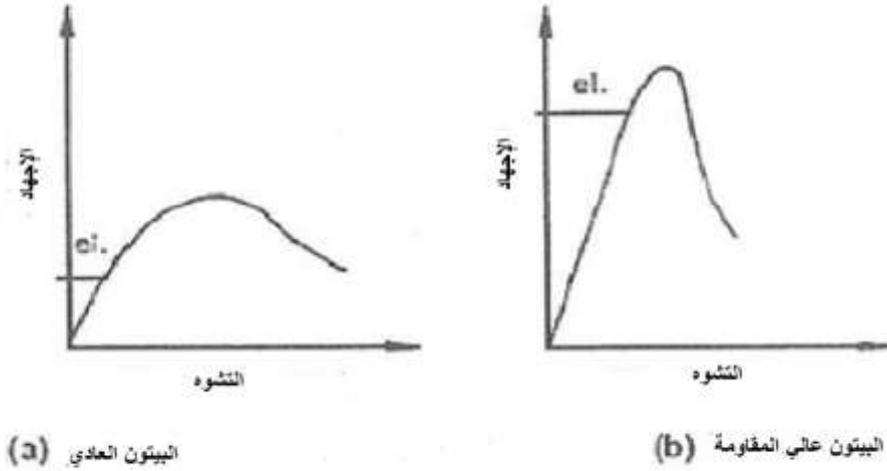
أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى تصميم خلطات بيتونية ذات مقاومة اسطوانية (55-65-75) ميغا باسكال وفق الكود الأمريكي ACI-211-4R-93^[2] وذلك باستخدام إحضارات محلية وإضافات مناسبة ومن ثم دراسة تغيير مخطط الإجهاد - التشوه ($\sigma - \epsilon$) على الضغط البسيط للخلطات السابقة وتقييم قانون السلوك (مخطط الإجهاد - التشوه) ومعامل المرونة.

الدراسة المرجعية (النظرية):

1- قانون سلوك البيتون عالي المقاومة :

يعتمد تصميم العناصر البيتونية بشكل أساسي على مخطط الإجهاد - التشوه المبين في الشكل (1)، والنتائج عن التحميل المستمر للبيتون على الضغط من الصفر وحتى الانهيار، حيث تكون العلاقة خطية بين الإجهاد والتشوه حتى حوالي 30% من مقاومة الضغط الأعظمية. ومع تزايد الإجهادات حتى 50% من قيمتها القصوى، تظهر شقوق صغيرة جداً على الأوجه الداخلية بين الحصى والملاط الأسمنتي، ومع استمرار التحميل إلى (50-70 %) تزداد شقوق التلاحم، وتظهر شقوق جديدة، مما يسبب انحناء تدريجي في مخطط الإجهاد والتشوه، حيث يزداد هذا الانحناء بشكل أكبر مع ازدياد الإجهادات إلى (75-90 %) من قيمتها الأعظمية، بسبب تزايد الشقوق في الملاط بشكل ملحوظ، وعندما يصل الإجهاد إلى $0.9 f'_c$ تزداد التشققات والتشوهات اللدنة بسرعة وتصبح الكتلة البيتونية غير مستقرة مما يؤدي إلى الانهيار^[3].



ومن ملاحظة قانون السلوك للبيتون العادي والعالي المقاومة ننتبين الفروق الأتية:

- 1 كلما قلت مقاومة البيتون، كلما زاد التشوه النسبي لحظة الانهيار .
- 2 مخطط الإجهاد التشوه يكون مستقيماً حتى 40% تقريباً من المقاومة للبيتون العادي، ولكن هذه الاستقامة تكون في البيتون عالي المقاومة حتى 70% من المقاومة تقريباً.
- 3 يلاحظ أن الانهيار يكون فجائياً وسريعاً مع زيادة المقاومة ، وهذا يدل أن البيتون عالي المقاومة أقل مطاوعة عند الانهيار من البيتون العادي ، ويأخذ مخطط الإجهاد - التشوه شكلاً مثلثياً^[4].

2- المواد الإسمنتية:

2-1- الاسمنت البورتلاندي:

يعتبر الاسمنت البورتلاندي من أهم أنواع الروابط انتشاراً في أعمال البيتون ، ويتم اختيار الاسمنت البورتلاندي من اجل البيتون عالي المقاومة، لأنه يمتلك صفات فيزيائية وكيميائية مناسبة لذلك. يجب أن يعتمد اختيار الاسمنت على اعتبارات خاصة لدواعي الاستخدام وليس فقط من اجل المقاومة ، وذلك لتجنب التفاعلات غير المرغوبة وكذلك يجب دراسة انسجام الإسمنت مع الإضافات الكيميائية الأخرى. ويمكن استخدام أي اسمنت بورتلاندي للحصول على بيتون ذي قابلية تشغيل مناسبة ومقاومة على الضغط تصل حوالي 600MPa وفق الكودات العالمية [5.6.7] .

2-2- المواد المضافة المساعدة (المواد البوزلانية):

المواد المضافة المساعدة (SCMs) لها دور رئيسي لا يمكن تجاهله للحصول على البيتون عالي المقاومة

ومنها:

2-2-1- الرماد المتطاير (Fly ash):

الرماد المتطاير (pulverized fuel ash) حبيباته ذات شكل كروي غير متبلور، زجاجي ينتج عن احتراق مسحوق الفحم . هو الأكثر استخداماً في البيتون ، ويلعب دوراً هاماً للحصول على البيتون عالي المقاومة. ومواصفاته

متضمنة في [8] ASTM C 618, BS EN 450 [9]. ويتشكل الفحم نتيجة تحلل المواد النباتية لاهوائياً بمساعدة الرطوبة و الحرارة العالية والضغط العالي [10].

-2-2-2- الرماد المتطاير عالي النعومة (Ultra fine flay ash (UFFA):

الرماد المتطاير فائق النعومة فعال جدا في التصميم من أجل زيادة المقاومة وتقليل النفاذية عن طريق إنقاص نسبة الماء المطلوبة، حيث تزيد نعومة الجزيئات من قابلية التشغيل للخلطة البيتونية.

-3-2-2- خبث الأفران الحبيبي [11] Granulated graded blast furnace slag

خبث الأفران الحبيبي المطفأ عبارة عن بودرة بيضاء مشابهة في الحجم للإسمنت البورتلاندي، و يحسن من قابلية التشغيل للبيتون عندما يتم استخدامه بكميات فعالة وفق الـ [12] ASTM C 989 .

-4-2-2- رماد السيلكا Silica Fume:

رماد السيلكا هو ميزرال فائق النعومة و لحبيباته شكل زجاجي كروي غير متبلور من أكسيد السيلكون (SiO₂). المواصفات الفيزيائية والكيميائية لرماد السيلكا مبينة في [13]. رماد السيلكا بشكل عام ذو لون رمادي غامق إلى أسود. معظم رماد السيلكا المستخدم في البيتون يحتوي على 85-95% من أكسيد السيلكون (SiO₂) غير المتبلور. إن متوسط حجم الحبيبة 0.1-0.3 ميكرون، بشكل تقريبي أصغر بـ 100 مرة من حبيبات الأسمنت البورتلاندي. إن السطح النوعي لرماد السيلكا حوالي 15-30 م²/غ.

ويعتبر رماد السيلكا فعال جدا في تحقيق مقاومة عالية مبكرة أو متأخرة [14]، مواصفاته موضحة بشكل كامل في [15] ASTM C 1240 and BS EN 1326-2. [16]

-3- الحصويات:

تشغل الحصويات الحجم الأكبر من أي مكون في البيتون، ولها تأثير كبير على أداء البيتون في حالتيه الطرية والمتصلبة. يعتبر اختيار الحصويات المناسبة أمر هام لجميع المنشآت بغض النظر عن المقاومة؛ وإن كثافة الحصويات وتدرجها الحبي من أهم المتغيرات المؤثرة على أداء البيتون [1].

-1-3-3- الحصويات الناعمة:

التدرج الحبي الأمثل للحصويات الناعمة من أجل البيتون عالي المقاومة يحدد بشكل أكبر من خلال تأثيرها على كمية الماء المطلوبة أكثر منها على ترانس الجزيئات. يحتوي البيتون عالي المقاومة غالباً على حجم كبير من المواد الإسمنتية. وبذلك سيكون الرمل الخشن هو الأفضل من أجل البيتون عالي المقاومة وذلك للإقلال من السطح النوعي لمجموع الحصويات.

-2-3- الحصويات الخشنة:

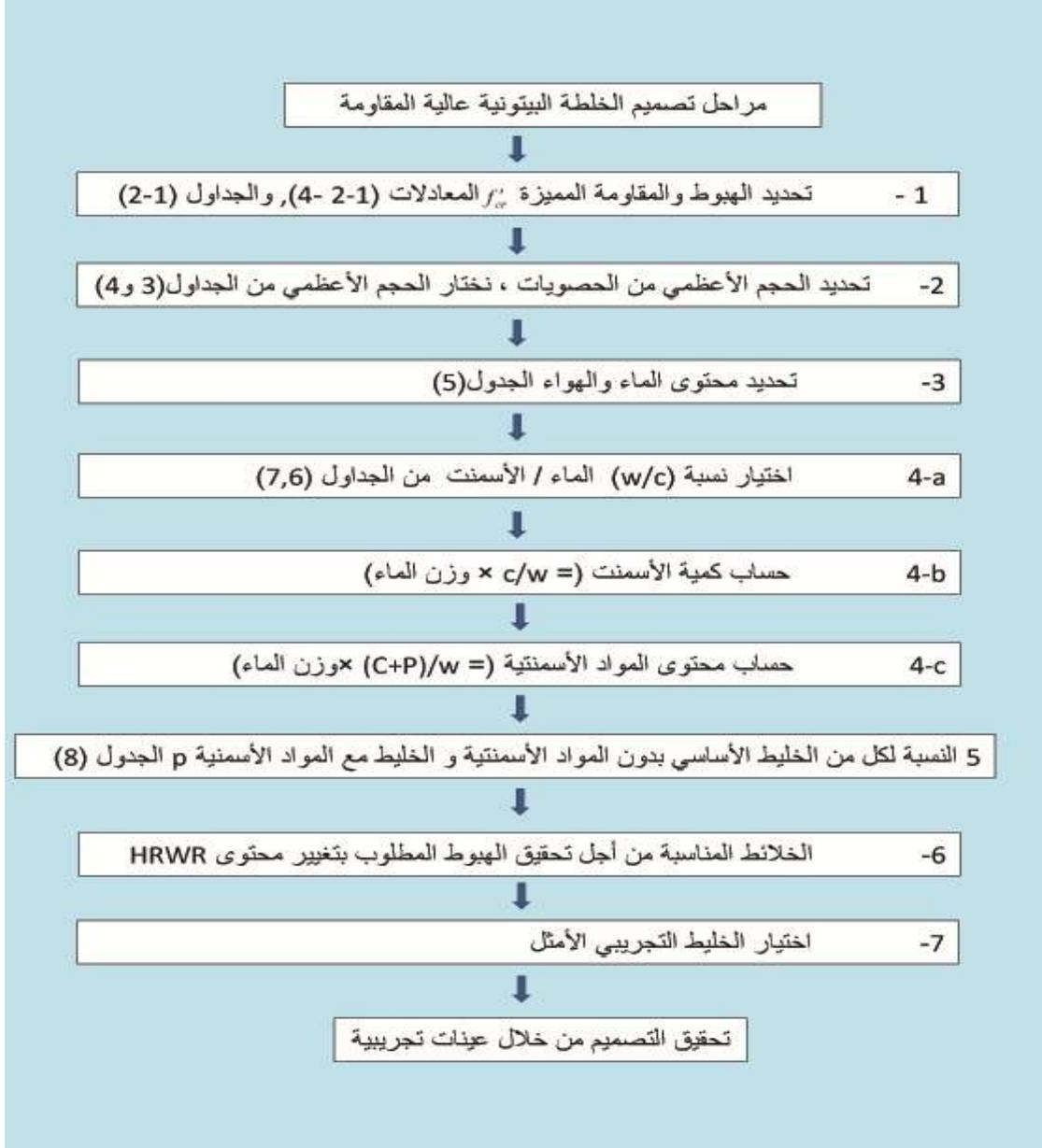
إن الخواص الميكانيكية للحصويات الخشنة لها تأثير واضح على البيتون عالي المقاومة أكثر منه على البيتون العادي، عندما يكون الهدف زيادة المقاومة فإن خواص الحصويات المتعلقة بكمية الماء اللازمة تصبح أقل أهمية، وتزداد أهمية الخواص المتعلقة بسطح التلاحم.

-4- الماء Water

المتطلبات من أجل ماء الخلط للبيتون عالي المقاومة هي نفسها للبيتون العادي. وهو نفسه الماء الصالح للشرب فق تصنيف الـ [17] ASTM C1602.

4- تصميم الخلطة للبيتون العالي المقاومة وفق الكود الأمريكي ACI 211-4R-93^[2]:

هناك اعتبارات أخرى قد تؤثر على اختيار مواد ونسب الخليط للبيتون عالي المقاومة غير مقاومة الضغط، منها معامل المرونة، ومقاومة الشد على الانعطاف، وحرارة التمييه، والزحف والانكماش، والديمومة والنفذية، وقابلية التشغيل وغيرها.



الشكل (2) مخطط نهجي يوضح خطوات التصميم للبيتون عالي المقاومة وفق الكود الأمريكي ACI 211-4R-93

عندما يتم اختيار بيتون بالاستناد على التجارب الحقلية^[2]:

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34S \quad (1)$$

$$f'_{cr} = 0.9f'_c + 2.33S \quad (2)$$

$$S = \left[\frac{(n_1 - 1)(S_1)^2 + (n_2 - 1)(S_2)^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

عندما يختار المنتج البيتوني عالي المقاومة على أساس دفعات مراقبة في المختبر (عينات تجريبية) فإن:

$$f'_{cr} = (f'_c + 1400) / 0.9 \quad (4)$$

f'_{cr} : هي المقاومة المميزة للبيتون على الضغط.

f'_c : هي المقاومة الوسطية للبيتون على الضغط.

الجدول (1): متوسط مقاومة الضغط عندما تكون المعطيات غير متوافرة من أجل انحراف قياسي

المقاومة المطلوبة (MPa)	الانحراف المعياري (MPa)
أقل من 20.7	(6.9)
(20.7-34.5)	(8.82)
أكبر من (34.5)	(9.7)

الجدول (2): الهبوط المطلوب من أجل البيتون عالي المقاومة

هبوط البيتون المنتج باستخدام المواد المخفضة (mm)	هبوط البيتون المنتج باستخدام مخفضات الماء " (mm)
50-100	25-50
	قبل إضافة المواد المخفضة للماء

" الهبوط المعدل المطلوب باستخدام المواد المخفضة للماء للبيتون المستخدم في موقع العمل "

الجدول (3): اختيار القطر الأعظمي للحصويات

القطر الأعظمي للحصويات الخشنة mm	المقاومة المطلوبة MPa
19-25	<62
9.5 -12.5	≥62

الجدول (4): نسبة حجم الحصويات الخشنة في الحجم الجزئي للبيتون (مع معامل نعومة رملي يتراوح من 2.5-3.2)

القطر الأعظمي للأسمي للحصويات mm	معامل الحجم الجزئي للحصويات الخشنة
25	0.75
19	0.72
12.7	0.68
9.5	0.65

x أي أن وزن الحصويات الخشنة = (معامل الحجم الجزئي للحصويات الخشنة المذكور في الجدول أعلاه

وحدة الوزن المجففة) x 27

الجدول (5): تقدير حجم ماء الخلط والهواء في البيتون الطري

الهبوط mm	المقاس الأعظمي للحصويات بال mm			
	9.5	12.7	19	25
25-50	183	174	168	165
50-75	189	183	174	171
75-100	195	189	180	177
تقريب (%)	2.5	2	1.5	1

ويتم حساب حجم الفراغات وفق التالي :

$$V = \left(1 - \frac{\text{الوزن الحبيبي}}{\text{الوزن لترعي} \times 0.982} \right) \times 100 \quad (5)$$

ويتم حساب ماء الخلط المعدل با kg/m^3 (6) $A=4.7*(V-35)$

الجدول(6): تحديد نسبة (W/(C+p) بدون استخدام المواد المخفضة لنسبة الماء المطلوبة

المقاومة الحقلية MPa	العمر بالأيام	القطر الأعظمي الحصويات الخشنة مقدرة بال mm			
		9.5	12.7	19	25
48	28	0.42	0.41	0.4	0.39
	56	0.46	0.45	0.44	0.43
55	28	0.35	0.34	0.33	0.33
	56	0.38	0.37	0.36	0.35
62	28	0.3	0.29	0.29	0.28
	56	0.33	0.32	0.31	0.3
69	28	0.26	0.26	0.25	0.25
	56	0.29	0.28	0.27	0.26

الجدول(7) : تحديد نسبة (W/(C+p) مع استخدام المواد المخفضة لنسبة الماء المطلوبة

المقاومة الحقلية MPa	العمر بالأيام	القطر الأعظمي الحصويات الخشنة مقدرة بال mm			
		9.5	12.7	19	25
48	28	0.5	0.48	0.45	0.43
	56	0.55	0.52	0.48	0.46
55	28	0.44	0.42	0.4	0.38
	56	0.48	0.45	0.42	0.4
62	28	0.38	0.36	0.35	0.34
	56	0.42	0.39	0.37	0.36
69	28	0.33	0.32	0.31	0.3

	56	0.37	0.35	0.33	0.32
76	28	0.3	0.29	0.27	0.27
	56	0.37	0.31	0.29	0.29
83	28	0.27	0.26	0.25	0.25
	56	0.3	0.28	0.27	0.26

ونعين صنف رماد السيلكا وفق الجدول (8) :

الجدول(8): حجم الجزء المستبدل من الإسمنت برماد السيلكا

الوزن النوعي لرماد السيلكا	نسبة وزن رماد السيلكا من وزن الإسمنت %
2.2-2.25	5-15

وزن رماد السيلكا:

عندما نختار النسبة المئوية للبدل يمكن أن نحسب وزن رماد السيلكا بالعلاقة التالية :

وزن رماد السيلكا + وزن الإسمنت = وزن المادة الإسمنتية

حجم رماد السيلكا

حجم المواد الإسمنتية = حجم الإسمنت + حجم رماد السيلكا.

حجم الرمل المحتوى:

بعد أن تم حساب حجم المواد الإسمنتية لكل 0.77 m^3 بيتون ، حجم الحصويات الخشنة والماء والفراغات ،

يتم حساب محتوى الرمل للخليط باستخدام طريقة الحجم المطلق أي :

حجم البيتون + حجم الرمل + حجم رماد السيلكا لكل 0.77 m^3 يبقى ثابتاً بينما تتغير كميات مواد أخرى مثل

الماء المطلوب والإضافات الأخرى .

1- تعديل نسب الخلط التجريبي:

الهبوط الأولي: إذا لم يكون الهبوط الأولي للخليط التجريبي ضمن المجال المقبول يجب أن نعدل ماء الخلط ونسب المواد الأسمنتية بحيث تبقى النسبة $W/(C+P)$ ثابتة، وكذلك يجب أن نعدل محتوى الرمل بما يتناسب مع ذلك.

تم تعديل المواد المخفضة لنسبة الماء المطلوبة .

محتوى الحصويات الخشنة:

عندما يعدل الخليط البيتوني وفقاً للهبوط المطلوب فإن محتوى الحصويات الخشنة قد يتغير ، ويعدل محتوى

الرمل وفقاً لذلك لتأمين المنتج الصحيح ، هذا قد يزيد كمية الماء المطلوبة للخليط ، وبذلك يزيد المحتوى المطلوب من

المواد الأسمنتية من أجل المحافظة على النسبة $W/(C+P)$ ثابتة .

محتوى الفراغات:

إذا اختلف محتوى الفراغات المدروس بشكل ملحوظ عن حسابات النسبة المصححة ، يجب أن تخفض كمية

الرمل لإبقاء المحتوى صحيح.

: النسبة $W/(C+P)$

إذا لم نحصل على مقاومة الضغط المطلوبة والموصى بها للبيتون في الجداول في الفقرة 5 يجب أن تختبر الخلطات الإضافية المعدلة وفق النسبة المخفضة من $W/(C+P)$. وإذا لم يؤدي هذا إلى زيادة مقاومة الضغط يجب مراجعة عملية تصميم الخلطة من جديد .

5- الدراسة التجريبية :

من أجل تصميم خلطة بيتونية عالية المقاومة بعمر 28 يوم هي 65 MPa مع إضافة المواد المخفضة لنسبة الماء المطلوبة باستخدام مخفضات عالية لنسبة الماء للحصول على هبوط 228.6mm مع العلم أن القطر الأعظمي للحصويات 12.5 ملم نقوم بما يلي :

باختبار الحصويات مخبرياً تبين

* خصائص الرمل هي التالية :

معامل النعومة 2.59 ، الوزن النوعي الجاف 2.68 ،

الوزن الحجمي $1.683 \text{ t/m}^3 = 1683 \text{ kg/m}^3$

عامل الامتصاص : 8.7% ، المحتوى من الرطوبة : 6%

* خصائص البحص المستخدم :

الوزن النوعي الظاهري الجاف للحصويات : 2.81 ، عامل الامتصاص للحصويات : 5.69%

الوزن الحجمي للبحص : $1.59 \text{ t/m}^3 = 1590 \text{ kg/m}^3$ ، محتوى الرطوبة : 0.13%.

الحل:

الجدول (9) طريقة تصميم خلطة بيتونية عالية المقاومة وفق الكود الأمريكي ACI 211-4R-93

الهبوط	نختار هبوط البيتون المنتج قبل إضافة المواد المخفضة لنسبة الماء المطلوبة بين (25-50 mm) ، نختار ملدن من نوع سوبر هيدرا فلو بنسبة 1% من وزن الإسمنت .	
1	تحديد المقاومة التصميمية $F_{cr} = (F'_c + 9.66) / 0.9 = 82.95 \text{ Mpa}$	نختار مقاومة البيتون التصميمية وفق التالي باعتبار 65 MPa ،
2	الحجم الأعظمي للحصويات	نحدد الحجم الأعظمي للحصويات من الجدول الخاص بذلك في المرحلة 2 أي نختار 12.5 mm
وزن الحصويات الخشنة المثالي	$W_{dry} = (\text{معامل الحجم الجزئي للحصويات الخشنة}) * (\text{الوزن الحجمي}) * 0.77 = 0.678 * 1590 * 0.77 = 839 \text{ kg}$	
3	تحديد محتوى الخليط من الماء والفراغات (الهواء)	'نطبق العلاقة رقم (5) 175.3 kg/m^3 من الجدول رقم (5) نختار القيمة $V = \left(1 - \frac{1.683}{2.68} \right) \times 100 = 36\%$: $A = 4.7(V - 35) = 4.7 \text{ kg/m}^3$ نطبق العلاقة (6) $175.3 + 4.7 = 180 \text{ kg}$
4	اختيار النسبة $W/(C+P)$	$F'_{cr} = 0.9 * 82.95 = 74.65 \text{ MPa}$ ومن الجدول رقم (6) تكون النسبة $W/(C+P) = 0.4$

<p>وبالتالي تكون: $C+P=180/0.4=450 \text{ kg}$</p> <p>الأسمنت $C= 450/3.15*10^3 =0.14 \text{ m}^3$</p> <p>الحصويات: $S= 839/2.81*10^3 =0.3 \text{ m}^3$</p> <p>الماء: $w= 180*0.77 =0.14 \text{ m}^3$</p> <p>من الجدول رقم (5) نأخذ نسبة الهواء المحبوس $A=2.53*0.77=0.02\text{m}^3$</p> <p>فيكون حجم الرمل: $0.77-0.6 =0.17\text{m}^3$</p> <p>$0.17*2.68*10^3=455.6 \text{ kg}$ وزن الرمل لإنتاج 0.77متر مكعب</p> <p>وبالنتيجة يكون كما في الجدول (10)</p>	<p>باستخدام HRWR</p> <p>تحديد نسبة الخليط</p>	5
<p>نختار من الجدول 8 حيث نفرض نسبة 15%</p> <p>فيكون وزن رماد السيلكا $0.15*450=67.5 \text{ kg}$</p> <p>وتكون النتيجة كما في الجدول (11)</p>	<p>تحديد مستوى رماد السيلكا</p>	

الجدول(10): يبين كميات المواد الداخلة في الخلطة البيتونية دون استخدام المواد المضافة

الوزن kg/m^3	
584	الأسمنت
591	الرمل
1098	الحصويات الخشنة
180	الماء
2453	الكلي

الجدول(11): يبين كميات المواد الداخلة في الخلطة البيتونية مع استخدام المواد المضافة

الوزن kg/m^3	
496	الأسمنت
88	رماد السيلكا
1092	الحصويات الخشنة
542	الرمل
179	الماء
2400	الكلي

طرائق البحث ومواده:

تم تحضير عينات اسطوانية (15*30) سم واختبارها في المخبر باستخدام:

1 جهاز الضغط ماركة (AMsler) Wolpet Werkstoffprufmschinen G.m.b.H CH-8232

Merishausen: وهو جهاز رقمي استعمل من أجل كسر المكعبات كما هو موضح بالشكل(3).

2 جهاز قياس التشوه C E 11 MATEST S.p.A TREVIolo 24048 ITALY : مبين الشكل (4).



الشكل (3) يوضح جهاز الضغط



الشكل (4) يوضح جهاز اختبار العينات المحوسب لرسم مخطط إجهاد - تشوه

إجراء الاختبارات:

وقد تم تصنيع ثلاث خلطات ذات المقاومات الاسطوانية MPa (55-65-75) حسب الكود الأمريكي

ACI-211-4R-93 وقد أخذت من كل مقاومة ثلاث عينات ، ونورد في الجدول (12) تركيب الخلطة البيتونية لكل من المقاومات السابقة .

الجدول(12): يوضح الخلطات البيتونية لكل مقاومة

المقاومة الأسطوانية MPa	الإسمنت Kg/m ³	silicafum Kg/m ³	الرمل Kg/m ³	البحص Kg/m ³	الماء Kg/m ³	w/c+p	نسبة الملمدن للأسمنت %
55	362	64	658	1166	180	0.43	5.43
65	496	88	542	1092	180	0.31	7.304
75	590	104	453	1098	180	0.26	8.84

النتائج والمناقشة:

من مخطط ($\sigma-\epsilon$) الذي يعطيه الجهاز نستنتج قيم عامل مرونة البيتون عند نسبة إجهاد 40% من المقاومة .

الجدول (13): يبين قيم عامل المرونة

قيم معامل المرونة EC للعينات على عمر 28 يوم			
الخلطة	رقم العينة	معامل المرونة MPa	
		لكل عينة	الوسطي
55 MPa	1	36772	40074
	2	42751	
	3	40698	
65 MPa	1	49670	44822
	2	38980	
	3	45817	
75 MPa	1	58888	49932
	2	40977	
	3	49933	

ونبين في الأشكال (5....13) مخطط الإجهاد التشوه لكل عينة من الخلطات الثلاث عند عمر 28 يوم.

رسم المخططات حسابياً: تم تطبيق العلاقة (7) المعتمدة من هيئة الاتحاد الأوربي للبيتون المسلح عالي

المقاومة من أجل الحصول على المخطط الحسابي للإجهاد التشوه: [18]

$$\frac{\sigma_{bl}}{\sigma_{cl}} = \frac{[k(\epsilon_{bl} / \epsilon_{cl})] - (\epsilon_{bl} / \epsilon_{cl})^2}{1 + [(k - 2)(\epsilon_{bl} / \epsilon_{cl})]} \quad (7)$$

حيث σ_{bl} : الإجهاد في كل نقطة من نقاط المخطط من القيم التجريبية للتشوه النسبي ϵ_{bl}

K:معامل يأخذ بعين الاعتبار القيم التجريبية لكل من عامل المرونة الأولي للبيتون EC .

σ_{cl} : الإجهاد عند ذروة المخطط والنتائج عن اختبار العينات البيتونية على الضغط

ϵ_{c1} : هو التشوه المرافق للإجهاد σ_{c1} .

ويتم حساب المعامل K بالعلاقة التالية:

$$K = E_c \cdot \epsilon_{c1} / \sigma_{c1} \quad (8)$$

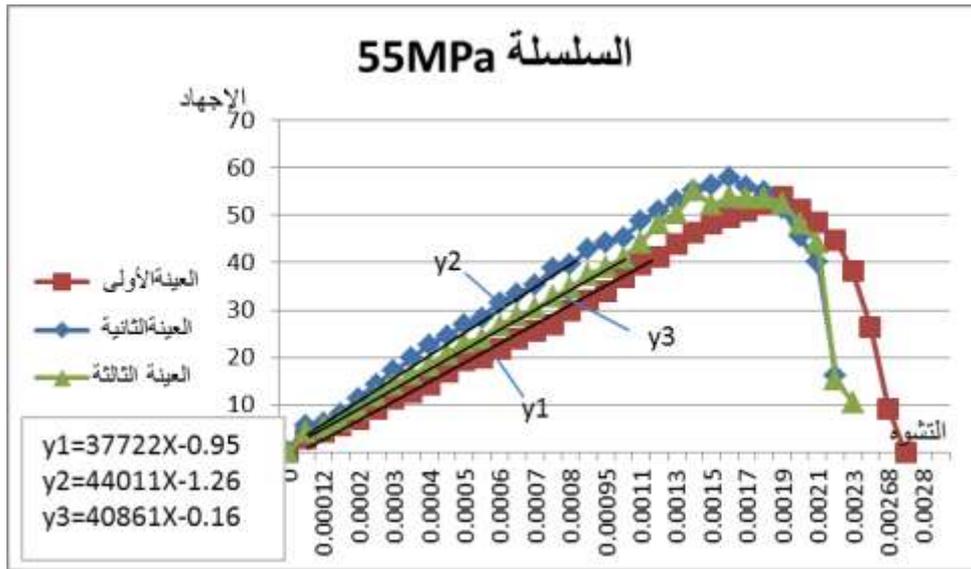
يبين الجدول التالي قيم المعامل k الناتج عن تطبيق المعادلة رقم (8) بالاعتماد على القيم التجريبية ل

$\sigma_{c1}, \epsilon_{c1}, E_c$ التي تم الحصول عليها نتيجة اختبار العينات البيتونية تحت تأثير التحميل .

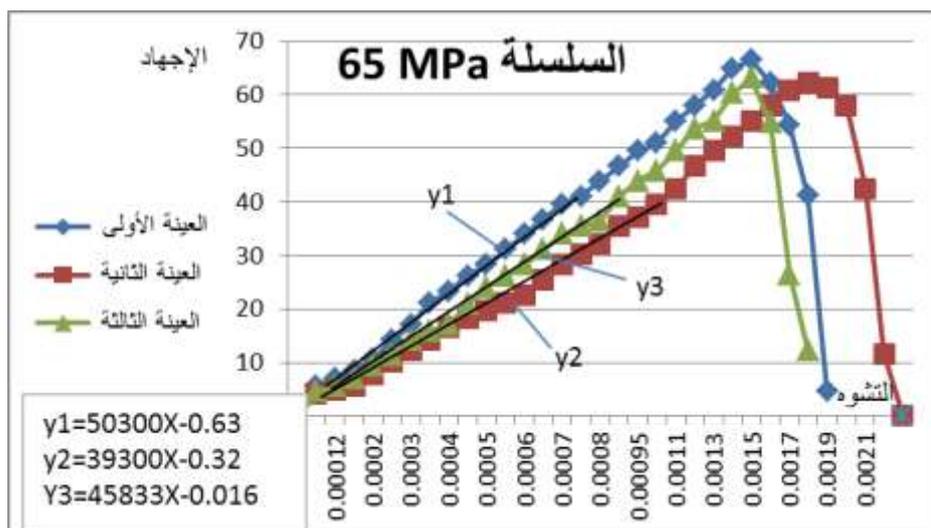
الجدول (14): يبين قيم المعامل k ومعامل المرونة الوسطي

معامل المرونة الوسطي MPa	المعامل K	الإجهاد عند الذروة MPa	التشوه عند الذروة 10^{-3}	معامل المرونة EC MPa	العينة	السلاسل
40074	1.31	53.76	1.91	36772	1	55 MPa
	1.19	58.00	1.62	42751	2	
	1.04	55.17	1.41	40698	3	
44822	1.14	66.49	1.53	49670	1	65 MPa
	1.13	68.25	1.81	38980	2	
	1.10	63.10	1.51	45817	3	
49932	1.46	73.50	1.82	58888	1	75 MPa
	1.29	69.32	2.19	40977	2	
	1.28	69.62	1.79	49933	3	

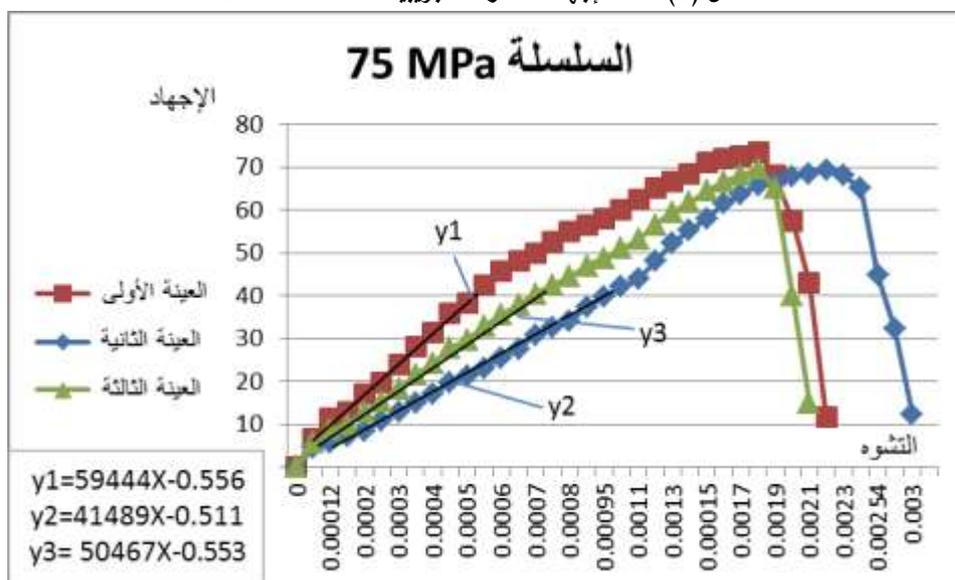
المخططات التجريبية:



الشكل (5) مخطط إجهاد - تشوه التجريبية للسلسلة 55 MPa



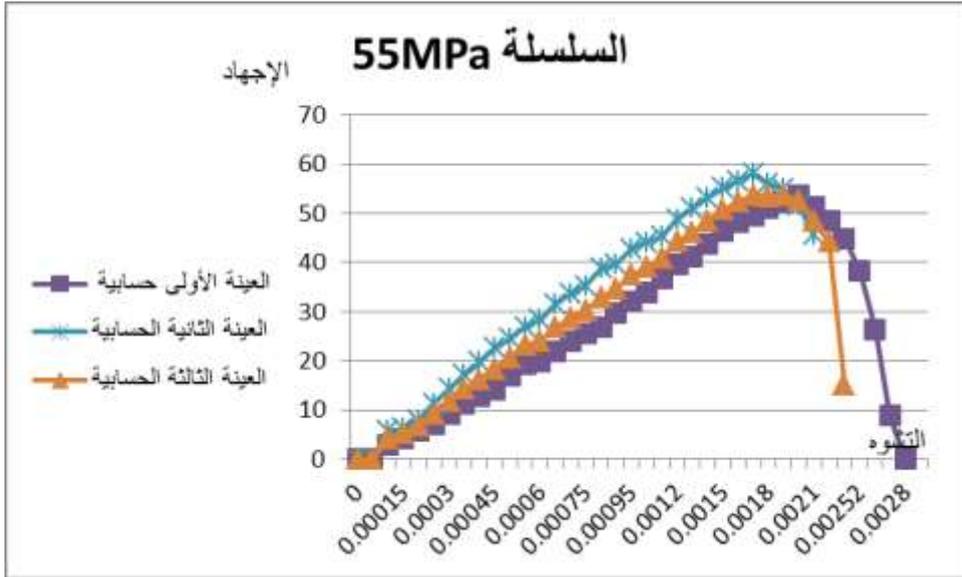
الشكل (6) مخطط إجهاد - تشوه التجريبية للسلسلة 65MPa



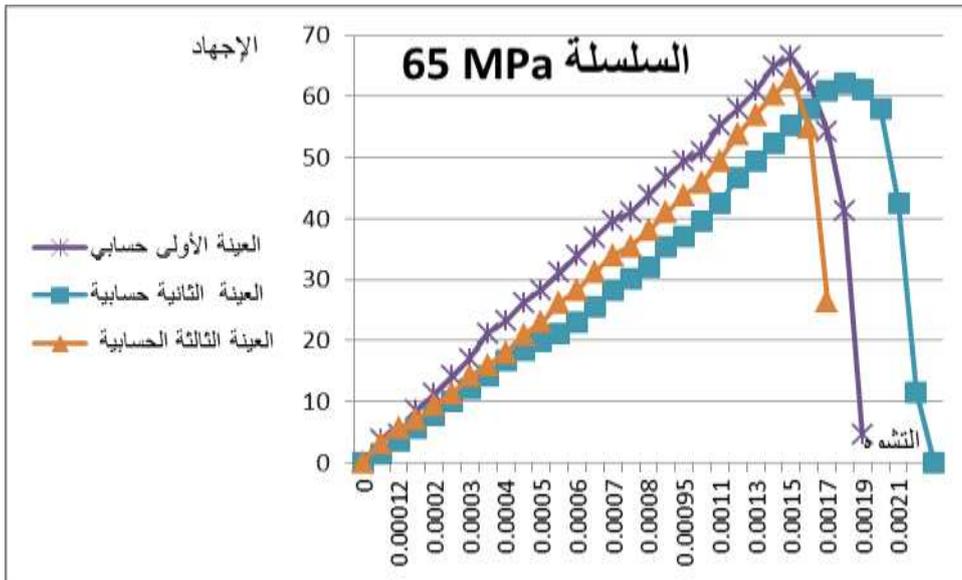
الشكل (7) مخطط إجهاد - تشوه التجريبية للسلسلة 75MPa

المخططات الحسابية:

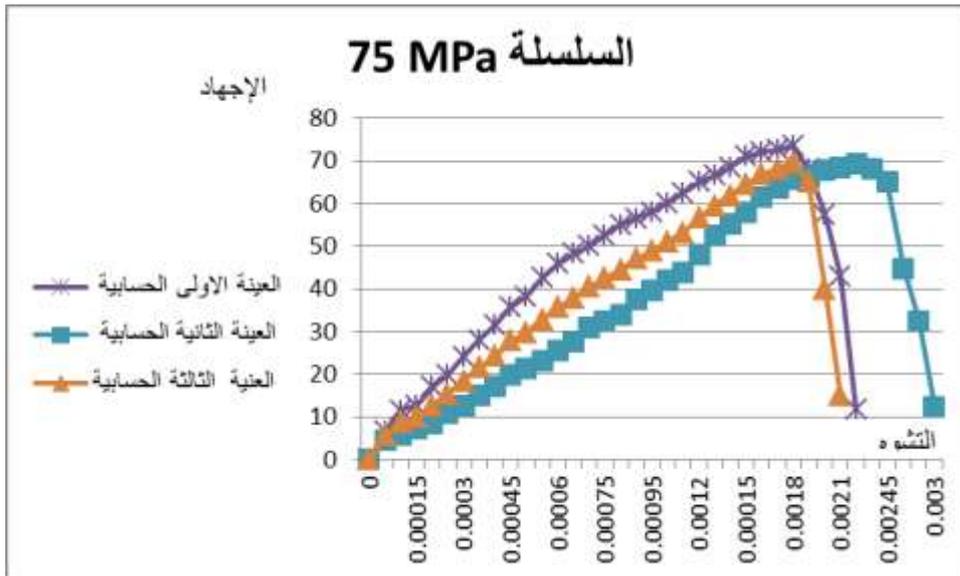
تم رسم المخططات السابقة بالعلاقة (1) علاقة الاتحاد الأوربي وحصلنا على مايلي:



الشكل (8) مخطط إجهاد - تشوه الحسابية للسلسلة 55 MPa

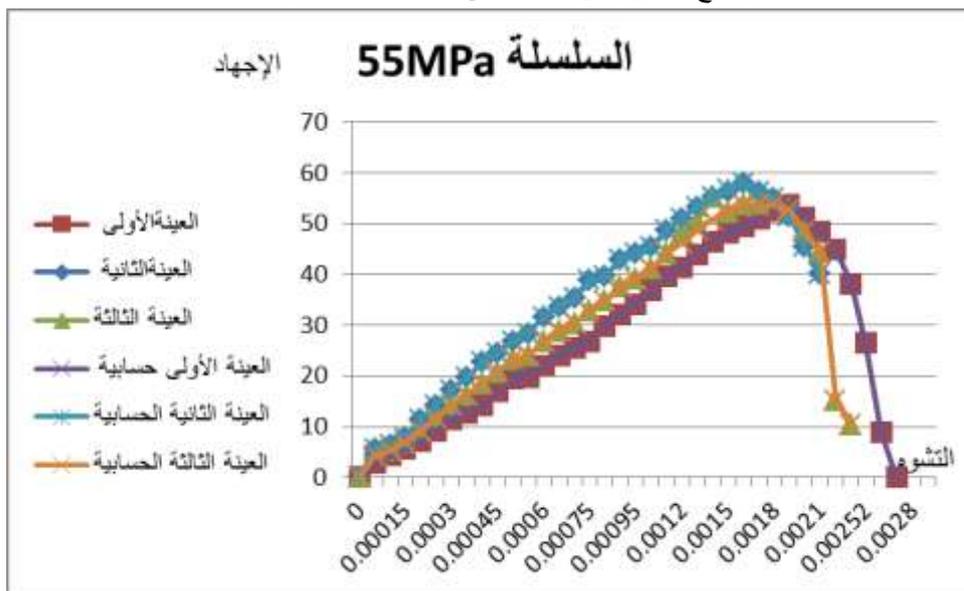


الشكل (9) مخطط إجهاد - تشوه الحسابية للسلسلة 65 MPa

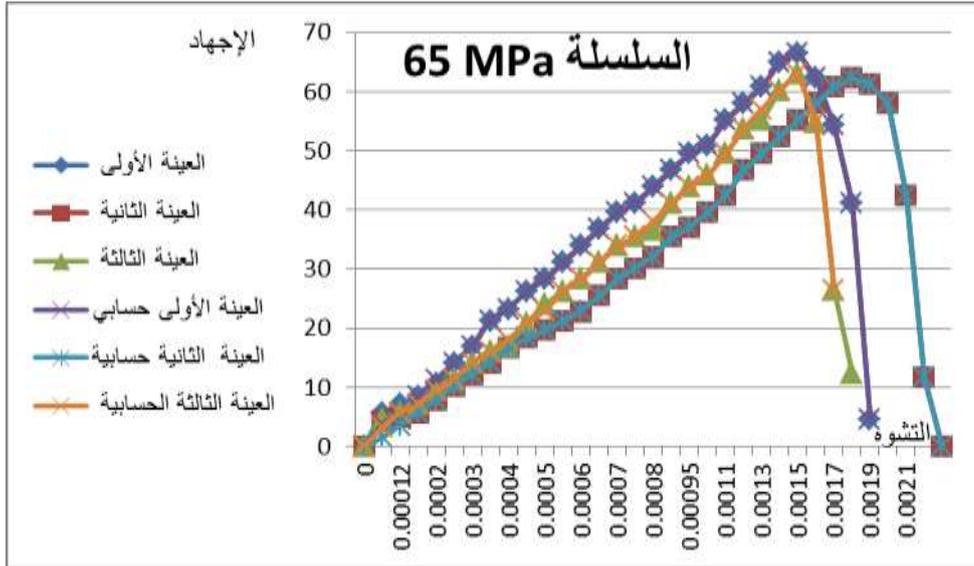


الشكل (10) مخطط إجهاد - تشوه الحسابية للسلسلة 75 MPa

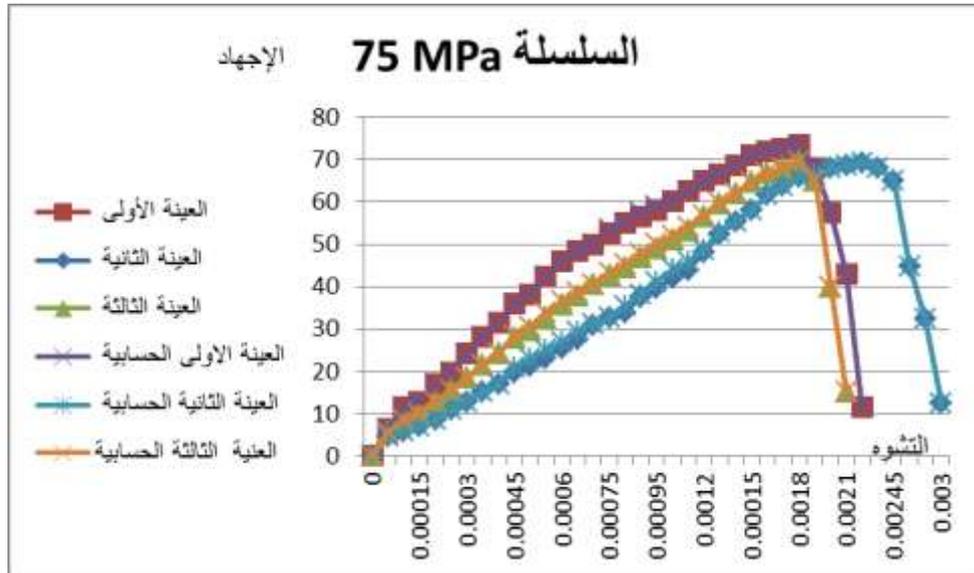
تم مطابقة المخططات الحسابية مع التجريبية وحصلنا على المخططات التالية:



الشكل (11) مخططات إجهاد - تشوه الحسابية والتجريبية لسلسلة 55MPa



الشكل (12) مخططات إجهاد - تشوه الحسابية والتجريبية لسلسلة 65MPa



الشكل (13) مخططات إجهاد - تشوه الحسابية والتجريبية لسلسلة 75MPa

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1 - كلما زادت كمية الإسمنت و رماد السيلكا المستخدمة في الخلطة، تزداد مقاومة البيتون وتتناقص كمية الرمل والنسبة $W/(C+P)$
- 2 - نلاحظ أن هناك تزايد لعامل المرونة المماسي في التجارب بزيادة المقاومة.
- 3 - نلاحظ من تحليل نتائج التجارب وجود تطابق مع النتائج الحسابية للخلطات التجريبية المعتمدة في هيئة الاتحاد الأوربي على عمر 28 يوم ، مما يدل على صلاحية العلاقة التي تعطيها هيئة الاتحاد الأوربي للبيتون المسلح والمسبق الإجهاد CEB-FIP من أجل البيتون المحلي عالي المقاومة.

- 4 حدث انهيار العينات بشكل فجائي وأخذ شكل مخطط الإجهاد - التشوه شكلاً مثلثياً تقريباً للخلطات (65-75)، ويشكل أقل للخلطة 55. وهو شكل الانهيار النموذجي للبيتون العادي.
- 5 يبقى السلوك عالي المقاومة المصنع بالظروف المحلية مرناً حتى 70% من المقاومة، وذلك من أجل الخلطات (65-75)، وحوالي 40% للعينات للخلطة 55.
- 6 لا تتخطى التشوهات النسبية للبيتون عالي المقاومة المختبر النسبة 0.003.

المراجع:

- 1- E.G.Nawy, "Fundamentals of high performance concrete "، Second edition –John wiley of sens;Lmc-USC(2001).
- 2- ACI 211-4R-93 :Guide for selecting proportions for high –strength the concrete with Portland cement and fly ash.
- 3-Gaijun Shi & YLMO."high –performance concrete .Materials –science and application ". Engineering material for Technological needs –Vol.1 World scientific &publishing,(2005).
- 4-F.de LARRARD “Mechanical Material properties” 4th international symposium on utilization of high strength / high performance co,F. de LA ncrete ,Paris ,1996.(29-38)
- 5-Astm c 150- Standard Specification for Portland Cement.
- 6- Canadian Standards for design of concrete structures ,CSAA-233-94 ,Rexdale Ontario Canada Dec 1994 ,pp199.
- 7- European committee for standardization Euro Code 2:Design of concrete structures ,part 1:General rules and rules for building .Final draft,July2002,pp226.
- 8-Astm C618: Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete
- 9-BsEn450-1 Fly Ash for concrete –part1.Difinitions specification , and conformity criteria.
- 10- Vorres, K. (1979) Coal, Kirk-Othmer .Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd edn, Vol. 6, John Wiley and Sons, New York, pp. 224–82.
- 11-Bquzoboa ,N,and Fournier,Si;use of fly ash and slag in concrete "; a best practice guide :report MTL 2004(TR-R)- natural resources Canada ,January 2005,Npage46.
- 12- Astm C989: Standard Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortars.
- 13- Malhotra, V.M., Ramachandran, V.S., Feldman, R.F., Aitcin, P.C. (1987)‘ Condensed Silica Fume in Concrete. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- 14- Mazloom, M., Ramezaniapour, F., and Brooks, J.J. (2004) Effect of Silica Fume on Mechanical Properties of High-Strength Concrete, Cement and Concrete Composites, Vol. 26, Issue 4, May, Elsevier Publishing, pp. 347–57.
- 15- AStm C1240: Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures
- 16 -BSEN1326-2: Silica Fume for Concrete. Conformity Evaluation.
- 17- Astm C1602: Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete.
- 18-CEP-FIP.Comite Euro International du Beton , Model code 1990.