إعادة استخدام غبار الإسمنت في الخلطات البيتونية ودراسة تأثيره في مقاومة البيتون الناتج*

م. سها نصار** أ.د.م. أندراوس سعود*** أ.د.م. هند وهبة****

الملخص

تعاني مصانع الإسمنت في سورية من مشكلة التلوث بغبار الإسمنت الناتج عن المطاحن والأفران. وعلى الرغم من أن تركيب الفلاتر والمرسبات الكهربائية يمنع تلوث البيئة المجاورة لتلك المصانع. إلا أنه لا يحل المشكلة بشكل جذري، حيث تنشأ مشكلة أخرى وهي كيفية التخلص من الكميات الكبيرة لغبار الإسمنت التي تتراكم داخل المصانع وتعادل ما نسبته (15-20%) وزناً من الإنتاج اليومي للإسمنت مما يعني فاقداً اقتصادياً مهماً وعبئاً على البيئة.

دُرِسَتْ إمكانية إعادة استخدام غبار الإسمنت الناتج بإضافته إلى الخلطات البيتونية بالنسبة الآتية (0-5-10-15-20%) وزناً وإعداد الخلطات والعينات النظامية لكسرها على 28 و56 يوماً لاختبار مدى تأثير هذه الإضافات في مقاومة البيتون للانضغاط وذلك باستخدام نوعين من الإسمنت (الإسمنت السوري ماركة 32.5، والإسمنت اللبناني ماركة 42.5). بيّنت النتائج أن مقاومة الضغط للبيتون الناتج لم تتأثر سلباً بإضافة غبار المطاحن وغبار الأفران (الكلنكر) حتى النسبة 15%، بل زادت قليلاً عند إضافة غبار الأفران ولاسيَّما المقاومة المتأخرة لعينات بعمر 56 يوماً، ويمكن تعليل ذلك باحتواء غبار الكلنكر على نسبة عالية من أوكسيد السيليسيوم الفعال (SiO_2) التي تسهم في تشكل ثاني أوكسيد السيليت (C_2S) الذي يسهم في رفع المقاومة المتأخرة للبيتون بسبب تفاعله مع ماءات الكالسيوم في مراحل الإماهة المتأخرة.

إن هذه الدراسة تسمح بإضافة نسبة 15% من غبار المطاحن والكلنكر إلى الإسمنت دون أن تتأثر مقاومة الضغط للبيتون الناتج سلباً؛ مما يعني الاستفادة من هذا الغبار ومنع الهدر الاقتصادي فضلاً عن الانعكاسات البيئية المطلوبة في التخلص الآمن من الغبار.

الكلمات المفتاحية:

الإسمنت، كيمياء الإسمنت، الكلنكر، غبار الإسمنت، البيتون، مقاومة الانضغاط.

* أعد البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندسة سها نصار بإشراف الدكتورة المهندسة هند وهبة والدكتور المهندس أندراوس سعود.

** قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق.
*** قسم هندسة النقل والمواصلات - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق.
**** قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق.

مقدمة:

تعدّ صناعة الإسمنت من الصناعات الإستراتيجية في سورية نظراً إلى أهمية مادة الإسمنت في عمليات بناء مختلف منشآت البنى التحتية الضرورية لتحقيق التنمية الاقتصادية والاجتماعية والتطور العمراني.

تعاني مصانع الإسمنت من مشكلة التلوث من غبار الإسمنت الناتج عن هذه الصناعة سواءً كانت الطريقة المتبعة في التصنيع الطريقة الجافة أم الطريقة الرطبة. وعلى الرغم من أن تركيب الفلاتر والمرسبات الكهربائية ربما يمنع تلوث البيئة المجاورة للمصانع المنتجة للإسمنت، إلا أنه لا يحلّ المشكلة حلاً جذرياً حيث تنشأ مشكلة أخرى وهي كيفية التخلص من الكميات الكبيرة لغبار الإسمنت التي تتراكم داخل المصانع وتشكل ما نسبته 15-20% من كمية الإسمنت المنتج النهائي[12] وهو يعدّ فاقداً اقتصادياً مهماً فضلاً عن أنه يشكل عبئاً على البيئة. حيث قمنا بقياس كميات غبار الإسمنت المتراكم داخل مصنع إسمنت عدرا على أحد خطوط الإنتاج في الأقسام المختلفة وعلى مدى 15 يوماً فكانت القيمة الوسطية لكميات الغبار يومياً بحدود 146.4 طناً، وهي تشكل نسبة 18.3% من الإنتاج اليومي الوسطي للإسمنت لخط الإنتاج البالغ 800 طن. موزعة كما يأتي: 18% في المطاحن و48% قرب الأفران و28% في أقسام التعبئة و6% في الأقسام الأخرى.

1- الهدف من البحث وأهميته:

هدف هذا البحث إلى التخلص السليم والآمن من غبار الإسمنت المتراكم داخل مصانع الإسمنت من خلال إعادة استخدامه كإضافة إلى الإسمنت عالي الجودة ودراسة تأثير ذلك في مقاومة البيتون للانضغاط وذلك بهدف تحقيق منافع اقتصادية وبيئية.

2- طرائق البحث:

أُجريَ في هذا البحث إعداد خلطات من البيتون باستخدام نوعين من الإسمنت (النوع الأول: إسمنت سوري عيار 32.5 والنوع الثاني: إسمنت لبناني عيار 42.5) وإضافة غبار الإسمنت الناتج عن مطاحن الإسمنت في مصنع عدرا (غبار المطاحن) وغبار الإسمنت الناتج عن أفران الإسمنت في مصانع عدرا (غبار الكلينكر) وذلك حسب النسب المئوية الآتية: (0-5-10-15-20)% من وزن مزيج الإسمنت مع غبار الإسمنت ودراسة تأثير إضافة غبار الإسمنت في الخواص الميكانيكية للخلطة البيتونية ولاسيَّما تأثير ذلك في مقاومة البيتون للانضغاط.

قبل البدء بالدراسة التجريبية المخبرية كان لا بدَّ من فهم كيمياء الإسمنت وتركيب فلزّاته الأساسية وأهم خصائصها العملية.

3- كيمياء الإسمنت[2,5,7]: Cement Chemistry

الإسمنت وبشكل مبسط مادة رابطة تستخدم في الخلطات البيتونية في أعمال البناء المختلفة. وإنتاج هذه المادة يمرّ بمراحل عديدة بدءاً من اختيار المواد الأولية المناسبة لتشكيل خلطات المواد الخام المغذية للفرن وانتهاء بعملية طحن الكلينكر الناتج إلى النعومات المطلوبة ومن ثم إجراء الاختبارات الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية للإسمنت الناتج للتحقق من ملاءمته لأعمال الخرسانة الإسمنتية.

تعدّ كيمياء الكلينكر ذات أهمية خاصة في صناعة الإسمنت، والتي هي بحد ذاتها من أهم الصناعات الكيميائية اللاعضوية ذلك لأن عملية تصنيع الكلينكر تتم نتيجة عمليات كيميائية تحدث في درجات حرارة عالية وشروط خاصة فيها. ومن ثمَّ فإن ما يحدث في الأفران الدوّارة التي تنتج الكلينكر خاضع لقوانين الكيمياء ومبادئها.

كما هو معلوم أن أحد مبادئ الكيمياء الأساسية ينص على «أن المادة لا تفنى ولا تخلق من العدم بل تتحول من شكل إلى آخر» وهذا ينطبق تماماً على العمليات التي تحدث في الأفران الدوارة إذْ إنَّ فلزات المواد الأولية (غضار بازلت وحجر كلسي) تتحول بعد خضوعها إلى العمليات الكيميائية إلى كلينكر بفعل

الحرارة العالية داخل الأفران التي تعمل على تحطيم فلزات المواد الأولية وإعادة ترتيب روابطها لتشكل فلزات جديدة تدعى فلزات الكلينكر.

3-1- التركيب الكيميائي للمواد الأولية:

إن الأكاسيد الأساسية الموجودة في المواد الأولية (الغضار، البازلت، الكلس) هي أوكسيد الكالسيوم (CaO) وأوكسيد السيليس (SiO_2) وأكسيد الألمنيوم (Al_2O_3) وأوكسيد الحديد (Fe_2O_3). ويبيّن الجدول رقم (1) التركيب الكيميائي للمواد الأولية المستخدمة في مصنع إسمنت عدرا (حجر كلسي 71%، غضار 18%، بازلت 11%).

الجدول (1): وسطي التحاليل الكيميائية للمواد الأولية المستخدمة في مصنع إسمنت عدرا

العينة	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	LOSS	$CaCO_3$	TOT
كلس	1.75	0.5	0.39	54.39	0.2	0	42.61	93.25	99.84
غضار	18.65	3.56	2.79	35.05	4.63	0.1	33.33	64.25	98.11
بازلت	42.5	10.83	11.37	14.58	3.62	0.03	12.26	14.25	95.19

إن الاختيار الصحيح للمواد الخام التي ستشكل الكلينكر هي الخطوة الأكثر أهمية في صناعة الإسمنت وذلك لأن المواد الخام الأساسية يجب أن تتمتع بمواصفات معينة لتشكيل خلطة ذات مواصفات معيارية مطلوبة وفق المواصفة السورية 1997/1887.

3-2- مركبات الكلينكر الأساسية[2]:

عند مزج المواد الأولية مع بعضها بعضاً بنسب مختلفة وتعريضها لدرجات حرارة عالية ($1450^{\circ}C$) مدة زمنية محدّدة فإنها تشكل فلزات الكلينكر الأساسية وهي: الآليت (C_3S)، البيليت (C_2S)، السيليت (C_3A) وبراون ميليريت (C_4AF) أمَّا المركبات الأخرى مثل (Na_1O, MgO, SO_3) فتدعى بالأكاسيد الثانوية. ويبيّن الجدول (2) مركبات الكلينكر الأساسية وتركيبها الكيميائي، ومعيارها الطبيعي وخصائصها العملية.

الجدول (2): مركبات الكلينكر الأساسية

مركبات الكلينكر الأساسية	تركيبها الكيميائي	معيارها الطبيعي	خصائصها العملية
سيليكات ثلاثية الكالسيوم (C_3S) (الآليت)	(SiO_2) و (3CaO) يبدأ تشكيله بدءاً من الدرجة ($1300^{\circ}C$) وفق المعادلة الآتية: $C_2S + CaO \rightarrow C_3S$	50-60% نسبة مئوية وزنية	يعطي مقاومة ضغط عالية مبكرة (لعمر 2 و7 أيام) وضعفاً في مراحل الإماهة المتأخرة (28) يوماً. تزداد نسبته مع ارتفاع قيمة عامل الإشباع الكلسي L.S.F وانخفاضه يؤدي إلى إطالة زمن بداية الأخذ (التجمد).
سيليكات ثنائية الكالسيوم (C_2S) (البيليت)	(SiO_2) و (2CaO) يبدأ تشكله من الدرجة $1250^{\circ}C$- 800 وفق المعادلة الآتية: $2CaO + SiO_2 \rightarrow C_2S$	20-25% نسبة مئوية وزنية	يمتاز بمقاومة نهائية جيدة (لعمر 28 يوماً) وزيادة نسبته تؤدي إلى إعطاء مقاومة عالية نهائية للإسمنت مع انخفاض المقاومة المبكرة بسبب انخفاض نسبة C_3S.
ألومينات ثلاثية الكالسيوم C_3A (السيليت - الألومينات)	(Al_2O_3) و (3CaO) يبدأ تشكله من الدرجة $1380^{\circ}C$- 1200 وفق المعادلة الآتية: $3CaO + Al_2O_3 \rightarrow C_3A$	9-15% نسبة مئوية وزنية	تميه سريع، وارتفاع في المقاومة الأولية، كما يتفاعل مع الكبريتات مما يؤدي إلى زيادة في التمدد الحجمي ومن ثمَّ تشقق الخرسانة الإسمنتية. زيادة نسبته تؤدي إلى تجمد سريع للإسمنت كما تؤدي زيادة قيمته عن المعيار إلى ضعف مقاومة الإسمنت للكبريتات، في حين انخفاض نسبته تؤدي إلى إطالة زمن بداية التجمد مع انخفاض درجة حرارة التميه للإسمنت المنتج
ألومينات الحديد رباعية الكالسيوم (C_AAF) (براون ميليريت)	(Fe_2O_3) و (Al_2O_3) و (4CaO) يبدأ تشكله بدءاً من الدرجة (1250-$1350^{\circ}C$) وفق المعادلة الآتية: $3CaO.Al_2O_3 + CaO.Fe_2O_3 \rightarrow C_4AF$	8-15% نسبة مئوية وزنية	تميّه بطيء، وليس له دور في منح الإسمنت مقاومته البدائية ولا النهائية، وهو الذي يعطي الإسمنت لونه الطبيعي (الرمادي المائل للسواد)، وفي حال زيادة نسبته عن المعيار ينتج كلينكر ذو قساوة عالية، وفي حال انخفاض نسبته يؤدي ذلك إلى نقص في كمية الطور السائل وصعوبة في الحرق، ومن ثمَّ استهلاك زائد من الوقود (الفيول)

هذا ويبيّن الجدول (3) الخواص الفيزيائيـــة للكلينكـــر المنتج في خطوط مصنع إسمنت عدرا الثلاثة.

الجدول (3): المواصفات الفيزيائية للكلينكر الناتج في الخطوط الثلاثة لمصنع إسمنت عدرا

رقم الخط	الانعطاف MPa	الضغط (عمر 2 يوم) MPa	النعومة cm^2/g	ثبات الحجم mm	التجمد البدائي - النهائي min
خط رقم (1)	3.96	17.14	6.27	0.87	258-158
خط رقم (2)	3.89	16.76	6.47	1.08	243-144
خط رقم (3)	3.73	16.11	6.45	2.01	237-135

كما يبيّن الجدول (4) التركيب الكيميائي للكلينكر الناتج في خطوط المصنع الثلاثة.

الجدول (4): نتائج التحليل الكيميائي للكلينكر في خطوط مصنع إسمنت عدرا

العينة	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	SM	AM	LSF	LOSS	CaO	TOT
كلينكر أول	21.71	5.22	4.19	63.65	3.22	0.2	2.31	1.25	91.36	-	1.12	98.19
ثانٍ	21.63	5.22	4.19	63.93	3.02	0.24	2.30	1.25	92.06	-	1.06	98.23
ثالثٌ	21.01	5.09	3.99	65.05	2.82	0.14	2.31	1.28	96.47	-	1.14	98.1
تعبئة	22.35	4.97	4.79	58.6	3.02	2.12	2.29	1.04	83.19	1.36	2.10	97.21
				فلزات الكلينكر الأساسية	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF				
				K_1	51.90	23.17	6.75	12.74	29.05			
				K_2	53.53	21.71	6.75	12.74	28.85			
				K_3	64.23	11.92	6.75	12.13	27.82			

4- الدراسة التجريبية: Experimental Study

4-1- الخواص الكيميائية لغبار الإسمنت[8]:

تبيّن الجداول (5) و(6) نتائج اختبار التحليل الكيميائي بواسطة أشعة (X-Ray) لغبار الإسمنت من المطـــاحن (غبار المطاحن) ومـــن الأفـــران (غبـــار الكلينكـــر) بالترتيب وقد حُسِبَتِ المركبات الكيميائية الأساسية وفق علاقات (Bogue).

الجدول (5): الخواص الكيميائية لغبار الإسمنت من المطاحن (غبار المطاحن)

Amount	Fraction
12.72%	SiO_2
3.49%	Al_2O_3
2.44%	Fe_2O_3
52.72%	CaO
1.64%	MgO
1.88%	Na_2O
4.93%	K_2O
6.03%	Cl
5.43%	SO_3
8.70%	LOl

الجدول (6): الخواص الكيميائية لغبار الكلينكر (من الأفران)

الفاقد بالحرق	1.41%
SiO_2	20.43%
CaO	65.89%
MgO	2.57%
Al_2O_3	6.625%
Fe_2O_3	3.35%
SO_3	0.73%
K_2O	1.65%

4-2- الخواص الكيميائية للإسمنت المستخدم[9]:

تبيّن الجداول (7) و(8) التحاليل الكيميائية للنوع الأول من الإسمنت صنف 32.5 (إسمنت سوري) والنوع الثاني من الإسمنت صنف 42.5 (إسمنت لبناني).

الجدول (7)

أكسيد الكالسيوم الفعال	CaO	59.35
أكسيد الحديد	Fe_2O_3	6.50
أكسيد الألمنيوم	Al_2O_3	5.01
أكسيد السيليسيوم الفعال	SiO_2	21.80
أكسيد المغنزيوم	MgO	2.43
ثالث أكسيد الكبريت	SO_3	1.92
شاردة الكلور	CL-	0.00
الكلس الحر	Ca free	2.23
أكسيد الصوديوم	Na_2O	
أكسيد البوتاسيوم	K_2O	
سيليكات ثلاثية الكالسيوم	C_3S	18.43
سيليكات ثنائية الكالسيوم	C_2S	48.60
ألومينات ثلاثية الكالسيوم	C_3A	2.28
ألومينات الحديد رباعية الكالسيوم	C_4AF	19.78

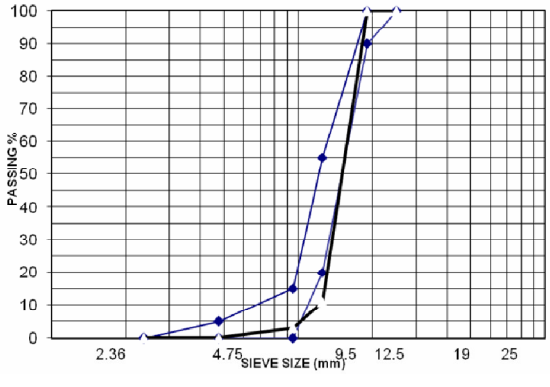
الجدول (8): مواصفات الإسمنت اللبناني الكيميائية

أكسيد الكالسيوم الفعال	CaO	60.45
أكسيد الحديد	Fe_2O_3	4.56
أكسيد الألمنيوم	Al_2O_3	5.44
أكسيد السيليسيوم الفعال	SiO_2	21.13
أكسيد المغنزيوم	MgO	2.63
ثالث أكسيد الكبريت	SO_3	1.56
شاردة الكلور	CL-	0.00
الكلس الحر	Ca free	1.05
أكسيد الصوديوم	Na_2O	
أكسيد البوتاسيوم	K_2O	
سيليكات ثلاثية الكالسيوم	C_3S	31.63
سيليكات ثنائية الكالسيوم	C_2S	36.72
ألومينات ثلاثية الكالسيوم	C_3A	6.69
ألومينات الحديد رباعية الكالسيوم	C_4AF	13.86
عامل الإشباع الكلسي	L.S.F	87.54
الموديل السيليسي	MS	2.11
الموديل الألومينى	MA	1.19
الفاقد بالحرق	PF	-
المواد غير الذاوبة	IR	-

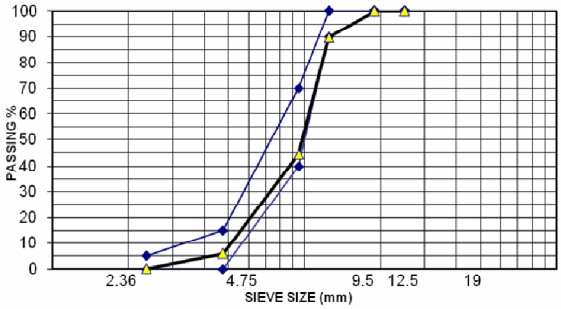
ويمتاز الإسمنت اللبناني عيار 42.5 بمقاومة قياسية بعد 28 يوماً تتراوح بين MPa (42.5 - 62.5)، وزمن بداية الأخذ ≥ 60 دقيقة وثبات الحجم ≥ 10 مم، أمَّا الإسمنت السوري عيار 32.5 فيمتاز بمقاومة قياسية بعد 28 يوم تتراوح بين MPa (32.5 - 52.5)، وزمن بداية الأخذ ≥ 75 دقيقة وثبات الحجم ≥ 10 مم. وذلك حسب المواصفة القياسية السورية رقم 3411 لعام 2008 والمطابقة للمواصفة الأوربية EN 197-1: 2004.

3-4- الخواص الفيزيائية للمواد الحصوية[10]:

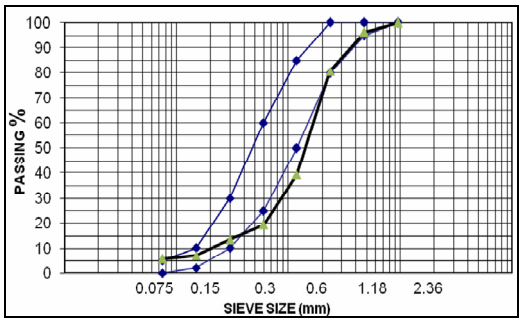
المواد التي استخدمناها في الخلطات البيتونية مكونة من حصويات خشنة (بحص نهري طبيعي قطره الأعظمي 20 mm، وحصويات ناعمة (رمل نهري طبيعي سيليس معادل نعومته MF=2.85). وتبيّن الأشكال رقم (1) و(2) و(3) و(4) التركيب الحبي لكل من البحص والرمل.



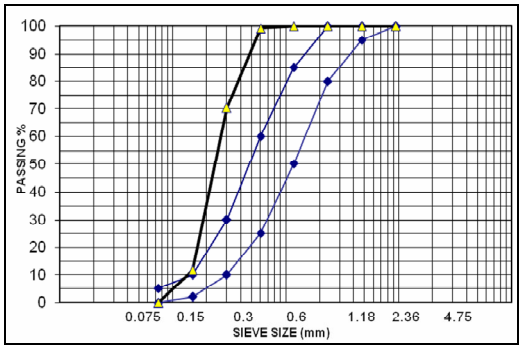
الشكل (1): منحنى التدرج للبحص الخشن قطر (20 مم)



الشكل (2): منحنى التدرج للبحص المتوسط قطر (12.5 مم)



الشكل (3): منحنى التدرج لرمل الكسر



الشكل (4): منحنى التدرج لرمل المازار

اختبارات الامتصاص والوزن النوعي[1](ASTM C127-C128)

الحصويات الخشنة

Requirements	M/Agg.	C/Agg.	
	B	A	Sample Reference
وزن العينة المشبعة الجافة السطح	4978	4978	Weight (SSD) (g)-B
وزن العينة المجففة في الفرن	4900	4900	Weight oven dry (g)-A
وزن العينة في الماء	3168.9	3168.9	Weight in water (g)-C
الوزن النوعي الكلي	2.71	2.71	Bulk Specific Gravity A/(B-C)
الوزن النوعي الكلي المشبع الجاف السطح	2.75	2.75	Bulk Specific Gravity (SSD) B/(B-C)
الوزن النوعي الظاهري	2.88	2.88	Apparent Specific Gravity B/(A-C)
الامتصاص	**1.6** %	**1.6** %	Absorption % [(B-A)/A] x100

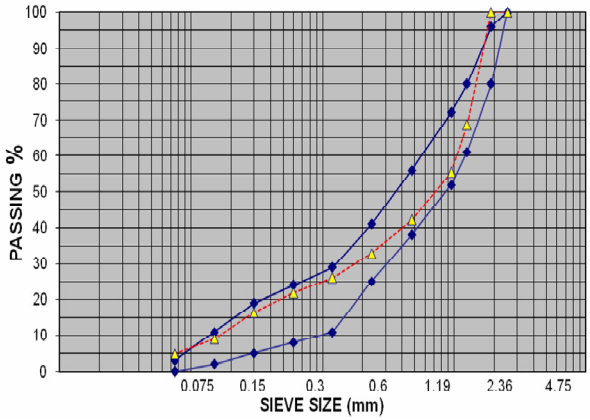
الحصويات الناعمة

Requirements	N/Sand	C/Sand	
	B	A	Sample Reference
وزن العينة 500 ± 10 g	500	500	Weight (SSD) (g)-S*
الدورق والعينة والماء	967.41	978.02	Pycno+Sample+Water (g)-C
الدورق و الماء	658.81	658.81	Pycno+Water (g)-B
وزن العينة المجففة في الفرن	498.37	479.37	Sample weight (oven dry) (g)-A
الوزن النوعي الكلي	2.60	2.65	Bulk Specific Gravity A/(S-C+B)
الوزن النوعي الكلي المشبع الجاف	2.61	2.73	Bulk Specific Gravity (SSD) S/(S-C+B)
الوزن النوعي الظاهري	2.63	2.99	Apparent Specific Gravity A/(B+A-C)
الامتصاص	**0.3** %	**.32** %	Absorption % [(S-A)/A] x100

كما يبيّن الشكل (5) منحنى التدرج النهائي للخلطة البيتونية**4-4-**

تحضير الخلطات البيتونية[1]:

حُضِّرَتْ خمس خلطات بيتونية وذلك وفق المواصفة الأميركية (ASTM) باستخدام مزيج من نوعي الإسمنت صنف 32.5 وصنف 42.5 مع غبار المطاحن ومع غبار الكلينكر حيث تم استبدال كمية من الإسمنت بنسب مختلفة من غبار المطاحن وغبار الكلينكر من وزن خليط الإسمنت وإضافة الماء والحصويات الناعمة والخشنة وفق النسب المبينة فيما يأتي:



الشكل (5): مجال التدرج النهائي للخلطة البيتونية

الجدول (8): تركيب الخلطات البيتونية

نسبة الإضافة من الغبار	0	5%	10%	15%	20%
الإسمنت C (Kg)	400	380	360	340	320
غبار الإسمنت CD (Kg)	0	20	40	60	80
نسبة الماء إلى الإسمنت والغبار W/C+CD	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
الحصويات الخشنة (بحص)	958	958	958	958	958
الحصويات الناعمة (رمل)	850	850	850	850	850
كثافة البيتون Kg/m^2	2420	2420	2420	2420	2420
الهبوط (mm)	170	160	150	140	130

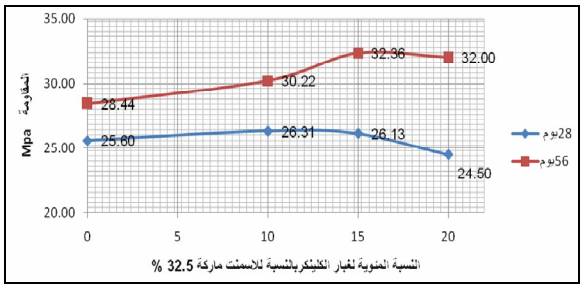
ثُبِّتَتْ نسب المواد المستخدمة في الخلطة بحيث نحصل على الكثافة نفسها، ولكن كما يتبيّن من الجدول فإن قابلية التشغيل للخلطات قد انخفضت مع زيادة نسبة الغبار المستخدمة إذْ إنَّ هبوط مخروط أبرامز عند نسبة غبار صفر وإسمنت بورتلاندي 100% تساوي 170 مم أمَّا عندما استخدم إسمنت بنسبة 80% وغبار بنسبة 20% فإنَّ الهبوط انخفض إلى 130 مم.

4-5- تحضير العينات[10]:

حُضِّرَتْ عينات نظامية من الخلطات البيتونية مكعبية الشكل ذات ضلع (150 mm) لاختبارها على الضغط (مقاومة الانضغاط) ثم حفظت العينات بالماء بدرجة حرارة (20°C) إلى حين اختبارها.

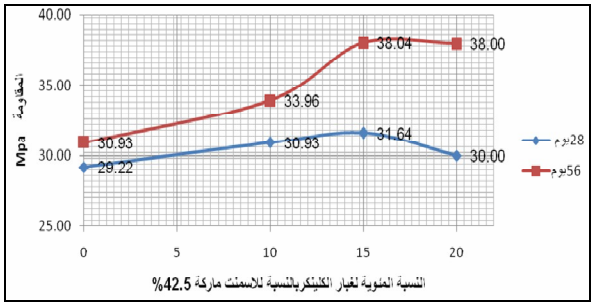
كُسِرَت العينات في عمر 28 يوماً وفي عمر 56 يوماً وتبيّن الأشكال الآتية (6, 7, 8, 9) النتائج التي حصلنا عليها وذلك حسب نوع الإسمنت (صنف42.5 وصنف 32.5) وحسب نوع الغبار (غبار المطاحن أو غبار الكلينكر "الأفران").

يبيّن الشكل (6) نتائج اختبار مقاومة الضغط لعينات نظامية من الخلطات البيتونية باستخدام نوع من الإسمنت السوري ماركة 32.5 مع غبار الكلينكر وفق النسب (0-5-10-15-20)% وذلك لعينات بعمر (28 و56) يوماً.



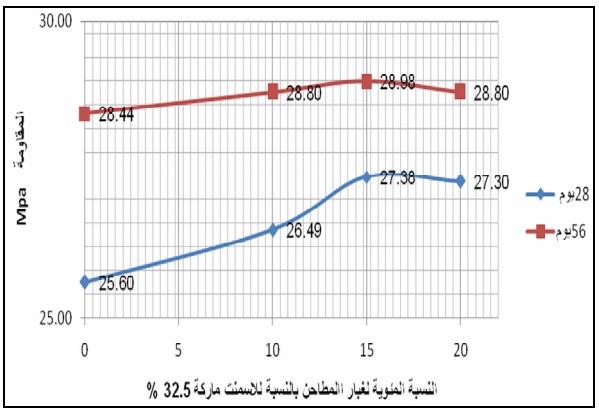
الشكل (6): تأثير غبار الكلينكر في مقاومة الضغط للبيتون (إسمنت 32.5)

يبيّن الشكل (7) نتائج اختبار مقاومة الضغط لعينات نظامية من الخلطات البيتونية باستخدام نوع الإسمنت اللبناني ماركة 42.5 مع غبار الكلينكر وفق النسب (0-5-10-15-20)% وذلك لعينات بعمر (28 و56) يوماً.



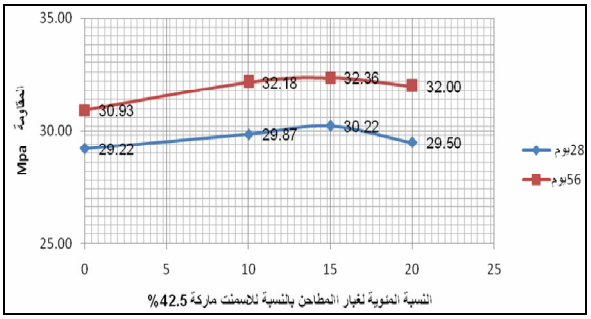
الشكل (7): تأثير غبار الكلينكر في مقاومة الضغط للبيتون (إسمنت 42.5)

يبيّن الشكل (8) نتائج اختبار مقاومة الضغط لعينات نظامية من الخلطات البيتونية المحضرة باستخدام نوع من الإسمنت السوري ماركة 32.5 مع غبار المطاحن وفق النسب (0-5-10-15-20)% وذلك لعينات بعمر (28 و56) يوماً.



الشكل (8): تأثير غبار المطاحن في مقاومة الضغط للبيتون (إسمنت 32.5)

يبيّن الشكل (9) نتائج اختبار مقاومة الضغط لعينات نظامية من الخلطات البيتونية باستخدام مزيج من النوع الثاني إسمنت لبناني ماركة 42.5 مع غبار المطاحن وفق النسب (0-5-10-15-20)% وذلك لعينات بعمر (28 و56) يوماً.



الشكل (9): تأثير غبار المطاحن في مقاومة الضغط للبيتون (إسمنت 42.5)

5- النتائج والمناقشة:

1- إن إضافة غبار الكلينكر حتى النسبة 15% لم يكن له تأثير كبير في مقاومة الضغط للبيتون المحضّر بل زادت هذه المقاومة قليلاً من 25.00 Mpa عند النسبة 0% إلى 26.13 Mpa عند النسبة 15%. في حين انخفضت المقاومة عندما تجاوزت النسبة 15% لتصبح 24.50 Mpa عند النسبة 20%.

كما نلاحظ أن مقاومة الضغط المتأخرة للعينات بعمر (56) يوماً زادت بشكل ملحوظ من 28.44 Mpa بالنسبة 0% إلى 32.36 Mpa عند النسبة 15% ثم بدأت تنخفض قليلاً عندما وصلت إلى النسبة 20% لتصبح 32.00 Mpa.

2- إن إضافة غبار الكلينكر حتى النسبة 15% لم يكن له تأثير سلبي في مقاومة الضغط للبيتون المحضر للعينات بعمر (28) يوماً، بل زادت هذه المقاومة قليلاً من 29.22 Mpa عندما كانت النسبة 0% إلى 31.64 Mpa عندما أصبحت النسبة 15%. وبدأت المقاومة بالانخفاض إلى 30 Mpa عندما زادت النسبة إلى 20%.

بينما مقاومة الضغط للعينات بعمر (56) يوماً زادت بشكل ملحوظ عند زيادة نسبة غبار الكلينكر من 30.93 Mpa عند النسبة 0% إلى 38.04 Mpa عند النسبة 15% ثم بدأت تنخفض قليلاً حتى وصلت إلى 38.00 Mpa عند النسبة 20%.

3- إن مقاومة الضغط للبيتون المحضر قد زادت بشكل ملحوظ للعينة بعمر 28 يوماً من القيمة 25.60 Mpa عند النسبة 0% إلى القيمة 27.38 Mpa عند النسبة 15%. وبدأت المقاومة تنخفض قليلاً لتصل إلى 27.30 عند النسبة 20%. وبالنسبة إلى العينات في عمر 56 يوماً تبيّن أن إضافة غبار المطاحن لم يكن له تأثير سلبي في مقاومة الضغط للبيتون بل زادت قليلاً من 28.44 Mpa عند النسبة 0% إلى 28.98Mpa عند النسبة 15% ثم انخفضت إلى 28.80Mpa عند النسبة 20%.

4- إن إضافة غبار المطاحن لم يكن له تأثير سلبي في مقاومة الضغط للبيتون المحضر بل زادت المقاومة من 29.22 Mpa عند النسبة 0% إلى 30.22 Mpaعند النسبة 15% وذلك للعينات بعمر 28 يوماً. كذلك الأمر بالنسبة إلى مقاومة الضغط للعينات بعمر 56 يوماً زادت المقاومة من 30.93 Mpa عند النسبة 0% لتصل إلى 32.36عند النسبة 15%. ثم بدأت هذه المقاومة بالانخفاض قليلاً لتصل إلى 29.50 Mpa بالنسبة إلى العينات بعمر 28 يوماً وإلى 32.00 Mpa للعينات بعمر 56 يوماً وذلك عند النسبة 20%.

5- من الشكلين (6) و(8) نستنتج أن إضافة غبار الكلينكر وغبار المطاحن إلى الإسمنت السوري ماركة 32.5 لم يكن له تأثير سلبي في مقاومة الضغط للبيتون وذلك حتى النسبة 15%. بل إن إضافة غبار المطاحن أدى إلى زيادة مقاومة الضغط المبكرة للعينات في عمر 28 يوماً، وغبار الكلينكر أدى إلى زيادة مقاومة الضغط المتأخرة للعينات على عمر 56 يوماً.

6- كذلك من الشكلين (7) و(9) نستنتج أن إضافة غبار الكلينكر وغبار المطاحن إلى الإسمنت اللبناني ماركة 42.5 لم يكن له أيضاً تأثير سلبي في مقاومة الضغط للبيتون وذلك حتى النسبة 15% بل إن إضافة غبار الكلينكر أدى إلى زيادة مقاومة الضغط المتأخر للعينات على عمر 56 يوماً.

يمكن تعليل ذلك بسبب احتواء غبار الكلينكر نسبة جيدة من أوكسيد السيليسيوم الفعال (SiO_2) 20.43% مقارنة بغبار المطاحن الذي يحتوي على 12.72% فقط (كما بيّنت التحاليل الكيميائية لغبار المطاحن وغبار الكلنكر في الجداول رقم 5 و6 بالترتيب).

وذلك لأن أوكسيد السيليسيوم الفعال يسهم في زيادة نسبة فلز سيليكات ثنائية الكالسيوم (C_2S) البيليت التي تؤدي إلى إعطاء مقاومة عالية نهائية للإسمنت بسبب تفاعله مع ماءات الكالسيوم الناتجة عن عملية إماهة الإسمنت (وهي نتائج متوافقة مع تجارب سابقة في معمل إسمنت عدرا حول تأثير غبار السيليكا في مقاومة المونة الإسمنتية)[4] فضلاً عن أن النعومة التي يتمتع بها غبار الإسمنت تساعد على تحسين قدرة الترابط بين الجزيئات في الخلطات البيتونية مما يؤدي إلى زيادة مقاومة البيتون.

التوصيات والمقترحات:

بيّنت التجارب التي أجريت على الخلطات البيتونية لتعيين مقاومة الانضغاط فقط[11] أن إضافة غبار المطاحن وغبار الكلنكر إلى الإسمنت في الخلطات البيتونية حتى نسبة 15% لا يؤثر سلباً في مقاومة الضغط للبيتون المحضر، بل يزيد هذه المقاومة وفي عمر متأخر ولاسيَّما إضافة غبار الكلنكر.

نوصي بأن تتم الاستفادة من غبار المطاحن وغبار الكلنكر (الأفران) المتراكم في مصانع الإسمنت بإضافته إلى الإسمنت في الخلطات البيتونية وبنسبة لا تزيد على 15% لما لذلك من منعكسات بيئية جيدة من حيث التخلص الآمن من الغبار ومنعكسات اقتصادية مهمة لمنع الهدر.

كذلك نوصي بأن يُدرَسُ تأثير إضافة الغبار وبنسب أعلى من 15% لتحضير خلطات بيتونية للاستخدام في الأعمال التي لا تتطلب مقاومات عالية مثل أنابيب الصرف الصحي وأطاريف وبلاط الأرصفة وواجهات المباني ورصف الشوارع.

المختصرات:

أكسيد الكالسيوم الفعال	CaO
أكسيد الحديد	Fe_2O_3
أكسيد الألمنيوم	Al_2O_3
أكسيد السيليسيوم الفعال	SiO_2
أكسيد المغنزيوم	MgO
ثالث أكسيد الكبريت	SO_3
شاردة الكلور	CL-
الكلس الحر	Ca free
أكسيد الصوديوم	Na_2O
أكسيد البوتاسيوم	K_2O
سيليكات ثلاثية الكالسيوم	C_3S
سيليكات ثنائية الكالسيوم	C_2S
ألومينات ثلاثية الكالسيوم	C_3A
ألومينات الحديد رباعية الكالسيوم	C_4AF
عامل الإشباع الكلسي	LSF
الموديل السيليسي	SM
الموديل الألوميني	AM
معامل قابلية الاحتراق	BF
الفاقد بالحرق	Loi-PF
المواد غير الذوابة	IR

المراجع:

1- American Society for Testing and Materials [ASTM].
2- Portland Cement Association (www.PCA.org)
3- European Pre-Standard, 2000, Cement Specifications and Conformity Criteria, EN 197-1.
4- Sobolev, K., 1990, High Performance Cement for High Strength and Extreme Durability, Greece: 70-96.
5 - أيمن، العلاوين، 2000، كيمياء الصناعات الإسمنتية، 95-60، رسالة ماجستير، جامعة دمشق.
6 - حسام، بلوط، م.ن، 2004، نحو تصميم خلطات بيتونية مثلى باستعمال المواد المحلية في مدينة دمشق وريفها، رسالة ماجستير، جامعة دمشق.
7 - روعة، سمعان، 1999، تعمق في مادة الإسمنت من حيث التركيب والصناعة والمواصفات، رسالة دبلوم، جامعة دمشق.
8 - أيمن، الأحمد، 2010، دراسة تحسين مواصفات الإسمنت المحلي لإنتاج بيتون بمقاومة عالية، رسالة ماجستير، جامعة دمشق.
9 - المواصفة القياسية السورية، م.ق.س: 1997/1887 «الإسمنت: التركيب والمواصفات».
10 - المواصفة القياسية السورية، م.ق.س:1674 «طرائق اختبار الإسمنت - طريقة تحديد المقاومة».
11 - المواصفة القياسية السورية رقم 3411 لعام 2008 والمطابقة للمواصفة الأوربية EN 197-1: 2004.
12 - www.cement.com

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2010/10/25.