استخدام النفايات الصناعية الناتجة عن معمل سماد قطينة (الفسفوجبسم) في صناعة الإسمنت

د. أيمن لفلوف ، د. سوزان شعبان

(الإيداع: 1 تشرين الثاني 2022، القبول: 19 كانون الثاني 2023)

الملخص:

يدرس البحث واقع مادة الفوسفوجبسم الناتجة عن العملية الإنتاجية في معمل سماد قطينة وما يشكله من عبء على الشركة من حيث المساحة الكبيرة التي يشغلها وما يسببه من اذى وضرر من خلال ما يحتويه من مركبات كيميائية ضارة وإمكانية وصول هذه المركبات الى بحيرة قطينة القريبة جداً من المكان . في بحثنا هذا سنعمل على استخدام الفوسفوجبسم الناتج عن معمل سماد قطينة (وهو نفايات صناعية تحتاج الى المعالجة) كمادة إضافية الى الكلينكر للحصول على الاسمنت وتجدر الإشارة الى ان هذا الحل المقدم في استخدام نفايات معمل السماد ليس بالجديد تاريخيا حيث يتم استخدام الفوسفوجبسم الناتج عن عملية انتاج السماد ولكن الجديد في بحثنا هو استخدام معمل سماد قطينة. ومن هنا تأتي أهمية البحث بتسليط الضوء على فكرة جديدة تركز على إيجاد طرق مناسبة بيئياً للتخلص من هذا النوع من النفايات الصناعية مما يسهم في حماية البيئة، كما سيلقي البحث الضوء على نماذج لتجارب عالمية تستخدم الفوسفوجبسم لنقوم بعدها بدراسة تجريبية لاستخدام هذا المخلف في صناعة الاسمنت كإضافة رديفة لمادة البوزلانا بحيث نضمن تحقيق المنتج للمواصفة القياسية للإسمنت البورتلاندي العادي رقم 3411 لعام 2008. يحقق هذا الحل المقترح منافع بيئية واقتصادية كثيرة أهمها:

1- التخلص من الكميات الهائلة من الفوسفوجبسم الملقاة في العراء والتي تجاوزت كمياتها 200 ton في عام 2018. 2- واعتبار الفوسفوجبسم مادة إضافة جيدة حيث سيقلل تكاليف الاسمنت من جهة ويمنع انبعاث ملوثات من خلال إنتاج الكلنكر من جهة ثانية. 3- المحافظة على الموارد الطبيعية المتمثلة بمقالع البوزلانا في محافظة السويداء. 4- مكاسب اقتصادية أهمها خفض تكلفة انتاج الاسمنت من خلال تخفيض أجور النقل.

كلمات مفتاحية: : الإسمنت البورتلاندي، الفسفوجبسوم، المواد المضافة إلى الإسمنت

عضو هيئة تدريسية في جامعة حماة/كلية الهندسة المدنية/ اختصاص مواد البناء

عضو هيئة تدريسية في جامعة حماة/كلية الهندسة المدنية/ اختصاص هندسة بيئية

The use of Industrial Waste frome the Qatina Fertilizer Plant (Phosphogypsum) in the Cement Indutry

D.R Ayman Laflouf, D.R: Suzan Shabaan

(Received: 1 November 2022, Accepted: 19 January 2023)

Abstract:

The cement industry is like the fertilizer industry and for long periods it is classified among the intentionally polluted industries through its gaseous pollutants, dust, solid waste and polluted water. However, scientific progress has successively created solutions to control these pollutants so that these industries achieve the global standards necessary for mourning in them and ensuring the achievement of development. The compost plant is not new historically, as the phosphogym produced by the compost production process is used, but what is new in our research is the use of a fermented compost plant. Hence the importance of the research by highlighting a new idea that focuses on finding environmentally appropriate ways to get rid of this type of industrial waste, which contributes to protecting the environment.

An adjunct to pozzolana, to ensure that the product meets the standard specification for Ordinary Portland Cement No. 3411 for the year 2008.This proposed solution achieves many environmental and economic benefits, the most important of which are: 1- the disposal of huge quantities of phosphodiester in the open barefoot, 2-considerng phosphogypsum as a good addition material, as it will reduce cement costs on the one hand, 3- preserving the natural resources represented by the pozzolan quarries in the As-Suwayda Governorate. 4- economic gains, the most important of which is reducing the cost of cement production by reducing transport wages.

Key Words:. Portland Cement, Phosphogypsum, Additives to Cement.

*Lecturer at the Faculty of Civil Engineering, Hama University, Department of Building materials

**Lecturer at the Faculty of Civil Engineering, Hama University, Department of Environmental Engineering

1–المقدمة:

باتت الان حماية البيئة من التلوث أحد المؤشرات الهامة لمدى تحضر وتقدم أي أمة فالدولة التي تحقق التوازن بين رفع معدلات التنمية الصناعية التي تفرز العديد من الملوثات وبين حماية البيئة من هذا التلوث في آن واحد تعتبر قد نجحت في تطبيق الشعار الذي تدعو إليه الأمم المتحدة وهو (تكنولوجيا الإنتاج النظيف). وحالياً يتزايد الاهتمام العالمي بتجهيزات حماية البيئة المرافقة للعملية الإنتاجية لصناعة الاسمنت وضبط الظروف التشغيلية بما يحفظ العناصر البيئية من نواتج هذه الصناعة وملوثاتها من غبار وغازات أو نفايات صلبة وسائلة فكانت الحاجة ماسة للبحث عن تقنيات وتكنولوجيا الفلترة وحماية البيئة واستخدام الطاقة النظيفة.

تعتبر البوزولانا الإضافة الشائعة والمتبعة في معامل الاسمنت، وإن نقل البوزولانا من المقالع في محافظة السويداء يسبب بالإضافة الى التكاليف العالية – وخصوصا هذه الأيام حيث ارتفاع أسعار المحروقات وأجور اليد العاملة – يسبب أيضا تلوثاً هوائياً بملوثات احتراق الوقود الحاصل اثناء عملية النقل هذه، ناهيك عن التشوه الجمالي للبيئة، من خلال نحت الجبال الطبيعية بدل الاستمتاع بجمالها وتركها وديعة دائمة للأجيال القادمة. إن الحفاظ على الموارد الطبيعية هو أقصى هدف لأي باحث بيئي، وان البحث عن مصادر بديلة للموارد الطبيعية هو أرقى واجب ينبغي للجميع السعي إليه وتكر يسه، كل من موقعه.

2–الهدف من البحث:

يهدف هذا البحث إلى تسليط الضوء على فكرة جديدة تركز على إيجاد طرق مناسبة بيئياً للتخلص من مادة الفسفوجبسوم الناتجة عن معمل سماد قطينة – وهي نفايات صناعية تحتاج إلى معالجة – وذلك باستخدامها كمادة مضافة إلى الكلينكر للحصول على الإسمنت ما يسهم في حماية البيئة من جهة، ومن جهة أخرى محاولة لاستخدام هذا المخلف في صناعة الاسمنت كإضافة رديفة لمادة البوزلانا بحيث نضمن تحقيق المنتج للمواصفة القياسية للإسمنت البورتلاندي العادي رقم 3411 لعام 2008.

3–المواد وطرائق البحث:

3–1 تعريف الاسمنت:

هو المادة الرابطة الناعمة التي تتصلب وتقسى فتمتلك بذلك خواصاً تماسكيه وتلاصقيه بوجود الماء مما يجعله قادراً على ربط مكونات الخرسانة بعضها ببعض. وأهم استخدام للإسمنت هو الملاط والخرسانة حيث يربط المواد الاصطناعية أو الطبيعية لتشكل مواد بناء قوية مقاومة للتأثيرات البيئية العادية.

☒ **التحليل الكيميائي للإسمنت:** يتكون من أربع مركبات أساسية وهي:

سليكات ثلاثي الكالسيوم $3CaOSio_2 = C_3S$

سليكات ثنائي الكالسيوم $2Cao\ Sio_2 = C_2S$

ألومينات ثلاثي الكالسيوم $3Cao\ Al_2o_3 = C_3A$ 4Cao

ألومينات الحديد رباعي الكالسيوم $Al_2o_3Fe_2O_3 = C_4AF$

يوضح التحليل الكيميائي للإسمنت تفاعل سيليكات الكالسيوم مع جزيئات الماء لتكوين سيليكات الكالسيوم المائية C–S–H وماءات الكالسيوم وفق التفاعلات الآتية:

$$2\ C_3S + 6H \rightarrow C_3S_2H_3 + 3CH$$
$$2C_2S + 4H \rightarrow C_3S_2H_3 + CH$$

☒ **الملوثات الناتجة عن صناعة الإسمنت:**

1- الملوثات الصلبة:

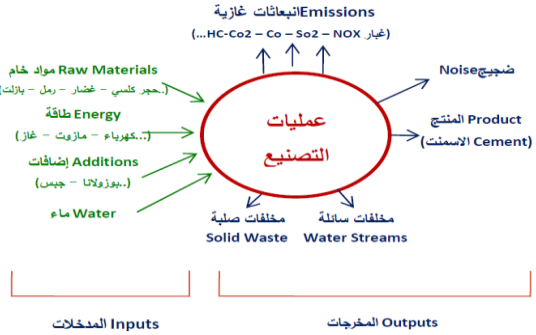
وهي عبارة عن الجزيئات والدقائق الصلبة الناتجة عن مختلف مراحل الإنتاج (التفجير– التعدين – النقل – التكسير - الطحن – الحرق – التبريد والتعبئة) حيث إن كل هذه العمليات يتم من خلالها تنعيم المواد ونقلها مما يؤدي الى انبعاث الغبار.

2- الملوثات الغازية:

تنتج الغازات من عمليات احتراق الوقود في الأفران ويستخدم في صناعة الاسمنت مثل الوقود الصلب (الفحم الجيري) والوقود السائل والغاز الطبيعي، ولهذه الملوثات الغازية آثار ضارة وسلبية على البيئة والصحة. ومن أهم الغازات الناتجة عن احتراق خذه الأنواع من الوقود هي:

غاز ثنائي أكسيد الكربون Co_2، غاز ثنائي أكسيد الكبريت So_2، أكاسيد النتروجين NOx، غاز أول أكسيد الكربون Co.

يمكن تلخيص المدخلات والمخرجات في صناعة الاسمنت كما هو مبين في الشكل (2) حيث تدخل المواد الأولية (الخام) والاضافات مع الطاقة الضرورية للعملية الإنتاجية بأنواعها المختلفة والماء ليخرج المنتج النهائي وهو مادة الاسمنت مع المخرجات الأخرى من ملوثات سائلة صلبة غازية وضجيج.



الشكل رقم (2): المدخلات والمخرجات في صناعة الإسمنت

2-3 الدراسة المرجعية:

1- استخدام المخلفات كمصدر للطاقة في صناعة الإسمنت:

مثل النفايات المنزلية التي تستخدم في بعض دول العالم كمصدر رديف للطاقة المستخدمة في مصانع الاسمنت إلى جانب الفيول أو الفحم أو الغاز أو الكهربائية، وهناك أنواعاً أخرى من النفايات غير المنزلية بدأت تعتمد كمصدر رديف وهام للطاقة كما هو الحال في العديد من المصانع العالمية وعلى رأسها إطارات السيارات المستهلكة الشكل (3) حيث يبين دخول الإطارات للتقطيع تمهيداً لحرقها وهي تدخل بنسب محددة مع الفيول إلى الحراقات الخاصة بالأفران بعد أن تقطع إلى قطع صغيرة جداً.

الشكل رقم (3): استخدام النفايات كوقود رديف في صناعة الإسمنت

2- استخدام المخلفات كمادة أولية في صناعة الإسمنت:

هناك العديد من المخلفات المنزلية أو الصناعية التي يمكن استخدامها كمادة أولية في صناعة السمنت وقد يكون من أبرزها الحمأة الناتجة عن محطات معالجة الصرف الصحي على اعتبار أن كمياتها لا يستهان بها.

الفوائد المنتظرة من هذه النظرية:

1- المكونات القابلة للاحتراق في الحمأة المجففة يمكن التخلص منها.

2- الرماد المحروق الناتج عن الحمأة المحترقة يمكن الاستفادة منه كمادة أولية للإسمنت.

3- نتيجة نترجة الأمونيا في الحمأة المجففة فإن أكاسيد النتروجين المنبعثة من الأفران الدوارة في صناعة الاسمنت سوف تنقص بشكل كبير

3- استخدام المخلفات كمادة إضافية للإسمنت:

قبل البحث في المخلفات التي تستخدم كإضافة في صناعة الإسمنت هناك العديد من المواد (الطبيعية والمخلفات الصناعية) التي يمكن استخدامها كإضافة إلى الكلينكر لإنتاج الإسمنت ومن أبرز هذه المواد هي المواد البوزولانية التي يمكن اعتبارها مواد طبيعية إذا استخدمت بعد تجفيفها عند درجة حرارة حتى $105C^{o}$ والتي تمتاز باحتوائها على كميات كبيرة من ثنائي أكسيد السيليسيوم SiO_2 وكميات قليلة من الأكاسيد الأخرى، أما المواد المعالجة عند درجات حرارة أعلى فتعتبر مواد بوزولانية صناعية ويظهر هذا النوع بشكل أساسي في:

النفايات الصناعية والرماد الناتج عن احتراق الفحم في محطات توليد الطاقة الكهربائية

وخبث الأفران الناتج أثناء تصنيع الحديد الخام في فرن الصهر الذي يتكون من مزيج خام الحديد مع تدفق الحجر الجيري

ورماد قشر الأرز الذي يعتبر ثروة غنية بمحتواها من جزيئات SiO_2 الغير متبلور ولها خصائص البوزولانا

نفايات السيراميك التي تشمل جميع نفايات الطوب والبلاط

جبس الفوسفات الذي يعتبر نتيجة ثانوية للتفاعل الكيميائي بين حمض الكبريت وصخور الفوسفات لإنتاج حمض الفوسفوريك. في الوقت الحاضر يتم إغراق كميات كبيرة من PG ما يسبب خسارة اقتصادية ومخاوف بيئية، وقد استخدمه العديد من الباحثين جنباً إلى جنب مع الإسمنت والجير والرماد المتطاير لتثبيت التربة على الرغم من محتواها العالي من الكبريتات.

4- الفسفوجبسوم:

جبس الفوسفور (PG: CaSo4.H2O) هو نفايات ناتجة عن صناعة الفوسفات حيث يتجاوز الإنتاج العالمي لهذه النفايات 200 مليون طن والذي يتم تصرفه في البحر أو المجاري المائية أو الأراضي البرية. يحتوي PG على عناصر سامة ضارة بالنظم البيئية وصحة الانسان بما في ذلك المعادن الثقيلة والعناصر المشعة وبالتالي هناك قلق بشأن الآثار على البيئة. ويستخدم جبس الـ PG في الزراعة لتعديل التربة أو كسماد وكذلك يستخدم في صناعة الطوب والاسمنت وفي بناء الطرق. يقدر إنتاج الـ PG في أنحاء العالم بين (10^6)* (200–150) طن سنوياً

<u>استخدام الفوسفوجبسم (PG) في مواد البناء</u>:

يمكن استخدام جبس الفوسفات كبديل للجبس الطبيعي في إنتاج الاسمنت البورتلاندي للتحكم في معدل تفاعل ترطيب الاسمنت، ولكن النشاط الإشعاعي الطبيعي لـ PG يمكن أن يكون عيبًا رئيسيًا لاستخدامه كمواد بناء. يمكن تجنب هذا العيب بتقليل نسبته أثناء تحضير الاسمنت.

صادق إسلام درس خصائص معجون الاسمنت والملاط والخرسانة، وخلص إلى أن إضافة (10%–5) من PG في كلينكر الاسمنت، بعد المعالجة بالغسيل والتجفيف اللاحق لعينات الحقل الخام، تعطي نتائج مثيرة وواعدة. يستخدم جبس الفوسفوجبسم أيضًا في صناعة الطوب؛ يوفر دمج 30% PG في الطوب الطيني منتجًا يلبي بنجاح المتطلبات القياسية. حسب؛ **لوبيز**

تم الحصول على مواد البناء بمزيج مثالي من (الكبريت/0.9/ 1 = PG، جرعة PG = (40–10 %) وتتميز المادة الناتجة بأعلى قوة ومسامية كلية منخفضة. يمكن استخدام هذه الاسمنت دون قيود إشعاعية في تصنيع مواد البناء. **فوليك**، أكد ملاءمة خلائط الفوسفوجيبسوم–الرماد–الرابط لبناء الطرق، سواء من حيث المعلمات الجيوتقنية والفيزيائية الكيميائية.
يمكن تحلل PG في محلول مائي إلى منتجات قيمة، كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4 وكربونات الكالسيوم $CaCo_3$ عملي جدًا وقابل للتكرار وغير مكلف. إن K_2SO_4 هو سماد يستخدم في الزراعة و$CaCO_3$، يمكن استخدامه في صناعة الاسمنت. وهذا التفاعل ذو أهمية بيئية.

3–3 الدراسة التجريبية:

☒ **العمل المخبري:**

خطة العمل: اعتمدنا في خطة العمل على الزيادة التدريجية لكمية الفوسفوجبسم، حيث تم العمل على ثلاث عينات بنسب مختلفة مبينة في الجدول (2):

الجدول رقم (2) : عينات المستخدمة في المشروع

رمز العينة	كلنكر	فوسفوجبسم	جص
A1	93%	5%	2%
A2	95%	5%	0%
A3	90%	10%	0%

بحيث نتوافق مع المواصفات القياسية السورية للإسمنت البورتلاندي العادي 3800 المبينة في الجدول (3).

الجدول رقم (3): المواصفة القياسية السورية للإسمنت البورتلاندي

	كيلنكر %	الإضافات		
		جبس	بوزلانا	فوسفوجبسم
المواصفة القياسية السورية للإسمنت البورتلاندي العادي	92%	3%	إضافة أي شيء(بوزلانا، كلس، فوسفوجبسم،.....)	
اسمنت بورتلاندي عادي الحالي	92%	3%	5%	0%
اسمنت التجارب: للحصول على اسمنت الفوسفوجبسم	93% 95% 90%			5% 5% 10%

طحن العينات:

تم طحن كل عينة على حدى في مطحنة الكرات المخبرية لدى قسم المخابر في معمل اسمنت حماه حيث تم إدخال عينات إلى المطحنة المذكورة والتي شحنت سابقاً بمجموعة من الكرات والتي يبلغ وزنها 12650 gr موزعة على الشكل المبين بالجدول (4) بحيث تماثل بنوع شحنتها من الكرات المعدنية محتوى المطاحن الموجودة على الخط الإنتاجي.

الجدول رقم (4): محتويات المطحنة المخبرية المستخدمة

قطر الكرة mm	عددها	وزن الواحدة gr
60	4	1275
40	13	385
30	13	110
20	25	44

تم طحن العينات الثلاثة كل منها على حدى لمدة ساعة واحدة في البداية ولكن حسب النعومة وفق بلين للعينات المتبقية على المنخل 90 احتاجت العينات لساعة طحن إضافية وبلغت النعومة وفق بلين للعينات الثلاثة بعد انتهاء مدة الطحن: 4977 ، 4660 cm^2/gr على التتالي.

☒ **تحضير العينات الإسمنتية:**

أجريت التجارب على العينات في مخبر معمل إسمنت حماه، حيث نحتاج في مخبر النعومة بالمناخل إلى 10gr، واختبار بلين الذي نحتاج للقيام به إلى 3 gr ، أما تجربة زمن الاخذ (فيكات) تحتاج إلى 500 gr ونحتاج في عملية صب القوالب إلى 450 gr لنتمكن من تحديد مقاومتها على الضغط والانعطاف وفق المواصفات والمقاييس المرعية والتي تجرى مراحل صبها على ثلاث مراحل هامة:

نزن 450 gr من العينة المحضرة السالفة الذكر. نزن 125 gr من الماء المقطر. نضع الإسمنت والماء معاً في حوجلة جهاز الخلط ويفضل وضع الماء أولاً. نزود جهاز الخلط الثلاثي بمحتويات كيس من الرمل المخبري المستورد خصيصاً لهذه التجربة والذي يزن 1350 gr ± 5 gr موزعة على ثلاث درجات من النعومة وعند تشغيل الجهاز تتم عملية الخلط وفق ثلاث أطوار.

الطور الأول بطيء: يبدأ عند التشغيل حيث يدور المحور حول نفسه داخل الحوجلة فيختلط الماء بالإسمنت لمدة 30 ثانية ويبدأ الرمل آلياً بالنزول في الحوجلة على مدى 30 ثانية ويخلط الرمل مع مزيج الإسمنت والماء لمدة 30 ثانية.

الطور الثاني: استراحة لمدة 90 ثانية يتوزع الماء وينتشر في أنحاء الخليط.

الطور الثالث: سريع لمدة 60 ثانية حيث يتم في نهايته الخلط الكامل ويصبح الخليط معداً لوضعه في قوالب الصب الموضوع أصلاً ضمن جهاز رجاج مثبت بشكل محكم وتوزع نصف كمية الخليط في حجرات القالب الثلاث بشكل متساو في كل حجرة ويشغل جهاز الرج لمدة 60 ثانية ثم نضع كمية المزيج المتبقي في الحجرات بكميات متساوية أيضاً ويشغل الجهاز لمدة 60 ثانية ثم يفك وينقل إلى طاولة أفقية تماماً ويبدأ التعامل معه بأداة مسطحة ملساء بحيث نستبعد الكمية الزائدة ونجعل من سطحه سطحاً مستوياً كي ينسجم ويناسب سطوح أجهزة الضغط والانعطاف وتوضع بعدها العينات في أحواض رطبة مغطاة ودرجة حرارة مناسبة لمدة 24 ساعة ثم يفك برفق فنحصل على ثلاث مجسمات موشورية الشكل فتقوم بعملية وزنها وتوضع بعد ذلك في أحواض خاصة مغمورة بالماء إلى حين موعد اختبارها في اليوم المحدد سواء بعد يومين أو 7 أيام أو 28 يوماً.

الشكل رقم (5): الطاحونة المخبرية ومكبس كهربائي هيدروليكي لقياس المقاومة على الضغط

☒ **المواصفة القياسية السوري:**

تمت معالجة النتائج الواردة في البحث لعينات الإسمنت المدروسة تبعاً للمواصفة القياسية السورية للإسمنت البورتلاندي العادي 3800 لعام 2015 والتي تنص على المتطلبات التالية:

المتطلبات الميكانيكية: مقاومة لضغط على 7 أيام: ≥ 16 N\mm^2

مقاومة الضغط على 28 يوم: $\geq 52,5$ N\mm^2 وألا تقل عن $32,5$ N/mm^2

المتطلبات الفيزيائية: زمن بداية الآخذ ≤ 75 min ، ثباتية الحجم: ≤ 10 mm

المتطلبات الكيميائية: الفاقد بالحرق: < 5% ، المواد غير المنحلة: < 5% ، الكبريتات: < 3,5% ، شاردة الكلور: < 0,1%

4- النتائج:

4-1 النتائج الكيميائية:

يبين الجدول (5) نتائج تحليل العينات المدروسة متضمناً إضافة النسب الكيميائية للمكونات الكيميائية للعينات المدروسة والفاقد بالحرق والمواد غير المنحلة وشاردة الكبريتات بالإضافة للقرائن.

حيث تم تحديد القرائن للعينات الثلاث تبعاً لمعايير المواد الأولية ومن أهم هذه المعايير:

- **عامل الإشباع الكلسي (L.S.F)** وهو النسبة بين أكسيد الكالسيوم إلى الأكاسيد الأخرى بعد ضربها بأرقام ثابتة وفق العلاقة:

$$\mathbf{L.S.F} = \frac{100(CaO - 0,7\ SO_3)}{2.8SiO_2 + 1.18Al_2O_3} \qquad \textbf{Usual: 90 - 98}$$

- **عامل السيلكا (S.R)** وهو نسبة السيلكا إلى مجموع أكاسيد الحديد والألمنيوم ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\mathbf{S.R} = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} \qquad \textbf{Usual: 2-3}$$

- العامل الألومينى (A.R) وهو النسبة بين أكاسيد الكالسيوم وأكسيد الحديد ويعطى بالعلاقة التالية:

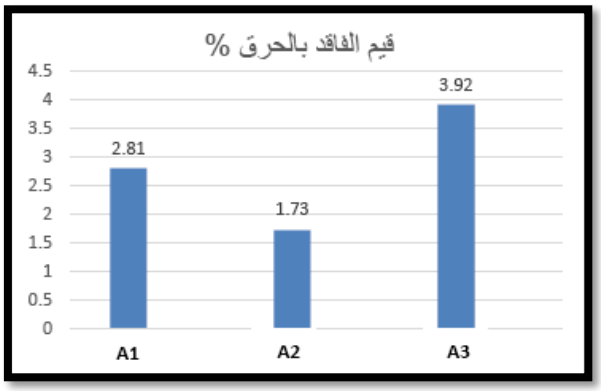
$$A.R = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

يجب ألا يقل عن **0,66**

الجدول رقم (6): النسب المئوية للتركيب الكيميائي والقرائن للعينات المدروسة

		كلينكر	جص ناعم	فوسفوجبسم	A1خلطة	A2خلطة	A3خلطة
الكيميائية%	L.O.I	0.11	21.75	29.92	2.81	1.73	3.92
	I.R	0.06		1.33	0.68	0.85	1.12
	SIO2	22.11	1.52	0.6	18.21	20.89	21.68
	AL2O3	5.13	0.64	0.65	5.16	5.23	4.43
	Fe2O3	4.05	0.3	0.16	3.93	4.29	2.09
	CaO FREE	64.79	32.25	30.42	61.69	60.79	58.72
	MgO	2.41	3.23	0.67	2.68	3.43	4.31
	SO3	0.68	40.13	27.46	4.1	1.88	2.75
	Na2O	0.38			0.45	0.45	0.45
	K2O	0.17			0.21	0.21	0.21
	CaO FREE	1.7			1.7	1.1	1.5
	TOTAL	99.89	99.88	91.21	99.92	99.75	99.68
القرائن	L.S.F	91.78	619.45	1192.47	98.64	90.12	87.26
	S.M	2.41	1.62	0.74	2	2.19	3.33
	A.M	1.27	2.13	4.06	1.31	1.22	2.12

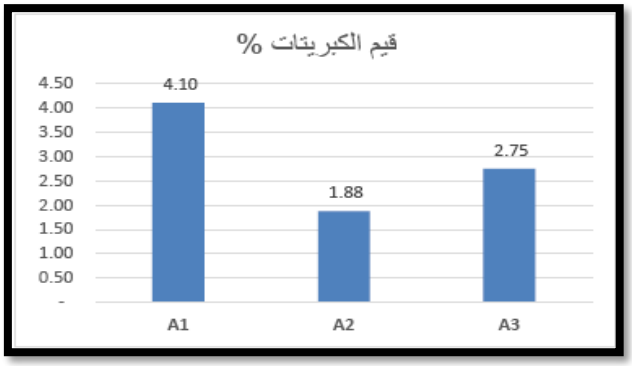
كما يبين الشكل (6) مواصفة الفاقد بالحرق تبعاً لنسبة الفوسفوجبسم في العينات المدروسة



الشكل رقم (6): تغير قيم الفاقد بالحرق تبعاً لنسبة الفوسفوجبسم بالعينات المدروسة

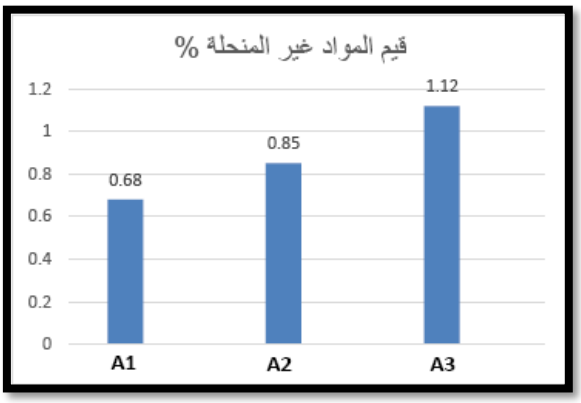
نستنتج أن كل العينات المدروسة تحقق المواصفة السورية للإسمنت البورتلاندي بالنسبة للفاقد بالحرق بفارق ضئيل بالنسبة للعينة A3 ومتوسط للعينة A1 وكبير بالنسبة للعينة A2.

أما مواصفة الكبريتات للعينات المدروسة فتظهر في الشكل (7) حيث يظهر أن كل العينات المدروسة تحقق المواصفة القياسية السورية للإسمنت البورتلاندي بفارق ضئيل للعينة A1 وكبير للعينة A2 ومتوسط للعينة A3.



الشكل رقم (7): تغير قيم الكبريتات تبعاً لنسبة الفوسفوجبسم في العينات المدروسة

تظهر في الشكل (8) تغير قيم المواد غير المنحلة في العينات المدروسة تبعاً لنسبة الفوسفوجبسم المضاف وهي محققة للمواصفة السورية القياسية.



الشكل رقم (8) تغير قيم المواد غير المنحلة في العينات المدروسة تبعاً لنسبة الفوسفوجبسم المضاف

من النتائج الواردة في الأشكال (7,8) نلاحظ أن الاختبارات الكيميائية للعينات قد حققت المواصفات القياسية السورية للإسمنت البورتلاندي 2015/3800 وبنتائج جيدة.

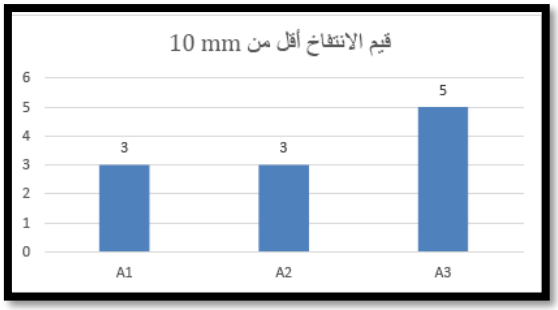
4-2-2 النتائج الفيزيائية:

يبين الجدول (7) النتائج الفيزيائية للعينات المدروسة من النعومة حسب المنخل وحسب بلين كما يبين زمن الأخذ البدائي والنهائي والانتفاخ ونسبة الماء والتمدد الحجمي.

الجدول رقم (7): النتائج الفيزيائية للعينات المدروسة

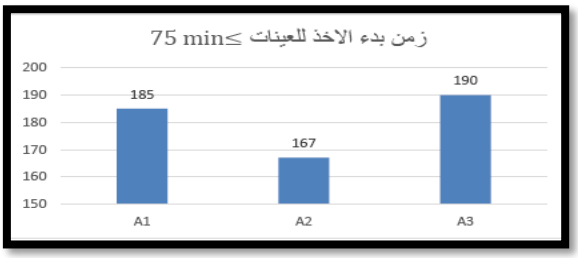
رمز العينة	متبقي النخل على 200ميكرون	متبقي النخل على 90ميكرون	متبقي النخل على 63ميكرون	متبقي النخل على 45ميكرون	بداية الأخذ	البلين cm^2/g	نسبة الماء %	التمدد الحجميmm
A1	0.6	3.6	8.7	19.7	185	4977	30	3
A2	2.7	13.1	27.3	41.5	167	4068	35	3
A3	1	14.6	24.4	40.5	190	4660	30	5

يبين الشكل (9) تغير قيم الانتفاخ الحاصل على العينات المدروسة مع نسبة الفوسفوجبسم المضافة وكيفية الخلطة والتي أظهرت موافقتها للمواصفة السورية بفارق جيد مع ملاحظة تحسن قيم الانتفاخ مع تزايد نسبة الفوسفوجبسم حيث لم يؤثر غياب الجص في العينات A1,A2 على النتيجة.



الشكل رقم (9): تغير قيم الانتفاخ في العينات المدروسة تبعاً لنسبة الفوسفوجبسم المضافة

إن الشكل(10) يبين تغير قيم زمن بداية الأخذ للعينات المدروسة التي تظهر نتائجها أنها محققة للمواصفة القياسية السورية لإنتاج الإسمنت البورتلاندي العادي.



الشكل رقم (10): تغير قيم زمن بداية الأخذ للعينات المدروسة تبعاً لنسبة الفوسفوجبسم المضافة

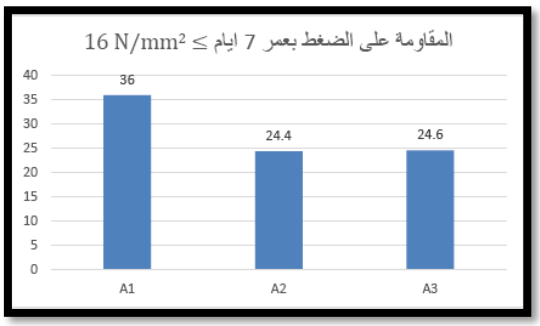
من النتائج الواردة في الأشكال (10,9) نلاحظ أن الاختبارات الفيزيائية للعينات قد حققت المواصفات القياسية السورية للاسمنت البورتلاندي 2015/3800 وبنتائج جيدة.

4-2-3 النتائج الميكانيكية:

يُظهر الجدول (8) النتائج الميكانيكية للعينات المدروسة حيث يتضمن مقاومة العينات على الكسر والضغط على الأعمار 7 و 28 يوم.

رمز العينة	7الكسر بعمر يوم	7الضغط بعمر يوم	28الكسر بعمر يوم	الضغط بعمر يوم28
A1	6.9	36	7.7	**45.2**
A2	5.1	24.4	6.2	**36.8**
A3	5.1	24.6	6.1	**30.7**

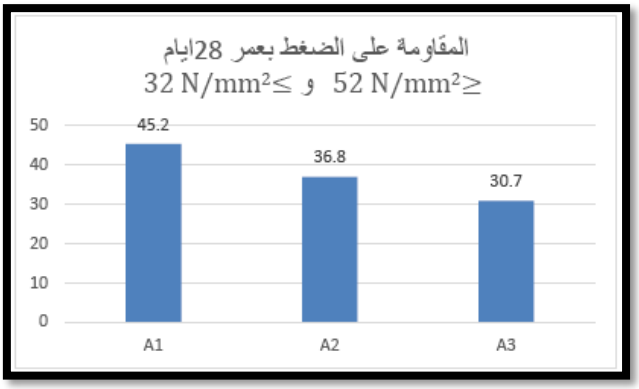
يوضح الشكل (11) نتائج العينات المدروسة فيما يخص المقاومة على الضغط بعد 7 أيام.



الشكل رقم (11): مقاومة العينات على الضغط بعد 7 أيام تبعاً لنسبة الفوسفوجبسوم المضافة

نلاحظ: أن كل نتائج العينات المدروسة أعطت مقاومة على الضغط بعد 7 أيام أعلى من تلك المطلوبة وفق المواصفة السورية والمحددة ب 16 N/mm^2 وبهامش جيد ولكن مع غياب الجص في العينات A2,A3 وتزايد نسبة الفوسفوجبسم لاحظنا تناقص المقاومة على الضغط عند هذا العمر **مما يدل على أن للفوسفوجبسم دوراً سلبياً في الحصول على المقاومة المطلوبة للعينات عند العمر المبكر.**

تظهر نتائج المقاومة للعينات المدروسة بعد 28 يوم في الشكل (12) حيث أن كل العينات أعطت مقاومة على الضغط بعد 28 يوم ضمن المجال الذي حددته المواصفة السورية القياسية وهي ألا تقل عم 32,5 N/mm^2 لكنها تتراجع في غياب الجص وتزايد نسبة الفوسفوجبسم، أي أن **زيادة نسبة الفوسفوجبسم أكثر من 5% وغياب الجص يؤدي إلى تراجع المقاومة على الضغط في عمر 28 يوم بشكل تدريجي رغم بقائها محققة للمواصفة القياسية السورية .**



الشكل رقم(12): تغير المقاومة على الضغط للعينات المدروسة بعد 28 يوم تبعاً لنسبة الفوسفوجبسم المضافة

5- النتائج و التوصيات:

بعد الاطلاع على نتائج الاختبارات الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية للعينات الثلاث المدروسة نبين ما يلي:

1- إن أفضل عينة بين العينات الثلاث هي العينة **A1** ذات التركيب **(93% كلنكر + 5% فوسفوجبسم + 2% جص)** وذلك نظراً للنتائج الجيدة التي حققتها على مستوى الاختبارات الثلاث بالنسبة للمواصفة القياسية السورية مقارنةً بباقي العينات.

2- إن العينة **A1** ذات قوام جيد مقارنة بقوام العينة A2 الجاف الذي يحتاج إلى نسبة ماء زائدة أثناء القيام بالجبل وهذا أمر غير مستحب، أما قوام العينة A3 فهو مماثل لقوام العينة A1 ولكن غير مستحب نظراً لمقاومته القليلة مقارنة مع العينة A1.

3- لوحظ أثناء إجراء تجربة فيكات ارتفاع زمن بدء التجمد الذي يؤدي إلى زيادة مدة بقاء العينة في القالب ويمكن تحسين زمن بدء التجمد باستخدام مسرعات التصلب.

4- بينت الأبحاث المطروحة عالمياً أنه عند غسل العينات بالماء جيداً سنحصل على نتائج واعدة ومثيرة.

5- متابعة الدراسة في السنوات القادمة بإضافة نسب مختلفة من الفوسفوجبسم والجص.

6- المراجع العلمية:

1- تركيز العناصر النذرة الفلور في مواد صناعة السماد الفوسفاتي وفي مكونات النظام البيئي المحيط بأكوام الفوسفوجبسوم، د. محمد العودات، د. لينا العطار، د. كمال الشمالي، باسم عبد الغني، سلوى كناكري، تقرير عن بحث علمي قسم الوقاية والأمان، هيئة الطاقة الذرية، 2010

2- مواد البناء واختباراتها، د. بسام حنا، منشورات جامعة البعث كلية الهندسة المعمارية 1992

3- كتاب كيمياء وتكنولوجيا الإسمنت، د. حمدي الديداموني أحمد – د. أحمد صالح محمد طه، المركز القومي للبحوث، القاهرة، 1997

4- تركيز العناصر النذرة الفلور في مواد صناعة السماد الفوسفاتي وفي مكونات النظام البيئي المحيط بأكوام الفوسفوجبسم، د. محمد العودات، د. لينا العطار، هيئة الطاقة الذرية، 2010

5- أرشيف الأرض والبيئة والفضاء – التلوث الناتج عن صناعة الإسمنت

6- Type of Waste for the Production of Pozzolanic Materials – A review Public University of Navarre, Spain 2019

7- Sadiqul Islam, G.M, Chowdhury, F.H,Raihan, M,T,Amit, S.K.S and Islam, M.R 2017, Effect of Phosphogypsum on the Properties of Portland Cement. Procedia Engineering, 171, 744-751.

8- Folek,S.Walawskab, Wilczek,B. and Mioeliewiczmj. Use of phosphogypsum in road construction. Polish journal of chemical technology B(2),18-22