JOURNAL OF PETROLEUM AND MINING
مجلة النفط والتعدين

الخواص الكيميائية و المعدنية للاسمنت الاعتيادي و المقاوم من معامل مختارة من شمال العراق

محمد حامد ابراهيم محمد [1*]، محمد اسود جاسم الجبوري [2]

[1] قسم علوم الارض، كلية العلوم، جامعة الموصل، نينوى، العراق

[2] قسم هندسة النفط و التكرير، كلية هندسة النفط و التعدين، جامعة الموصل، نينوى، العراق

معلومات الارشفة

تاريخ الارشفة:

تاريخ الاستلام :فبراير 1، 2025

تاريخ المراجعة :يونيو 18، 2025

تاريخ القبول :يونيو 24، 2025

تاريخ النشر الإلكتروني :يوليو 1، 2025

الكلمات المفتاحية:

الحجر الجيري

المواد المصححة

الاطوار المعدنية

معادلة بوغ

المراسلة:

الاسم: **محمد حامد ابراهيم محمد**

Mohammed.scp109@student.uomosul.edu.iq

الملخص

يتناول هذا البحث دراسة مجموعة من نماذج الأسمنت المحلي، شملت كلًّا من: أسمنت معامل حمام العليل الجديد، بادوش الجديد، بادوش التوسيع، سنجار، ماس، بالإضافة إلى الأسمنت المقاوم للكبريتات من معمل الحدباء. تم تحليل العينات كيميائيًا ومعدنيًا بهدف رصد التغيرات في التركيب الكيميائي وتقييم أثر تذبذب نسب المكونات الرئيسية والثانوية على جودة وكفاءة الأسمنت، ومن ثم على أداء الخرسانة. كما تم إجراء مقارنة بين الأسمنت البورتلاندي الاعتيادي والأسمنت المقاوم للكبريتات، مع التأكيد على مطابقة المنتجات للمواصفات القياسية العراقية. أظهرت نتائج التحليل تقاربًا ملحوظًا بين النوعين من حيث التراكيب الكيميائية والمعدنية، مع وجود اختلاف في نسبة الفقدان عند الحرق ، إضافة إلى انخفاض محتوى طور سليكات ثلاثي الكالسيوم، مقابل ارتفاع نسبة طور سليكات ثنائي الكالسيوم، ويُعزى ذلك إلى عدم اكتمال عملية الحرق أو عدم تعرض المادة لتبريد سريع. كما لوحظ ارتفاع نسبة طور ألومينات الحديد رباعي الكالسيوم في الأسمنت المقاوم، مما يؤدي إلى صعوبة في الطحن وزيادة استهلاك الوقود. من جهة أخرى، فإن وجود طور ألومينات ثلاثي الكالسيوم في التركيب قد يتفاعل مع الكبريتات الموجودة في التربة أو المياه الجوفية، مما يؤدي إلى زيادة في الحجم وحدوث تشققات في الخرسانة.

DOI: **********, ©Authors, 2025, College of Petroleum and Mining Engineering, University of Mosul.
This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Chemical and mineralogical properties of conventional and resistant cement from selected laboratories in northern Iraq

Mohammed Hamed Ibrahim [1*], Mohammed Aswad Jassim Al-Jubouri [2]

[1] Department of Geology, College of Science, University of Mosul, Iraq
[2] Department of Petroleum and Refining Engineering, College of Petroleum and Mining Engineering, University of Mosul, Iraq

Article information

Article history:
Received: Feb 01, 2025
Revised: Jun 18, 2025
Accepted: Jun 24, 2025
Available Online: Jul 01, 2025

Keywords:
Limestone
Amendments
Mineral Phases
Bogue Equation

Correspondence:
Name: **Mohammed Hamed Ibrahim**
Mohammed.scp109@student.uomosul.edu.iq

ABSTRACT

The present study investigates several local cement types, including Ordinary Portland Cement from Hammam Al-Alil New, Badoush New, Badoush Expansion, Sinjar, and MAS plants, as well as sulfate-resistant cement from the Hadbaa plant. The samples were analyzed chemically and mineralogically to assess the variations resulting from fluctuations in the proportions of major and minor chemical components, and to evaluate their impact on cement quality and performance, as well as their influence on concrete properties. A comparison was made between ordinary and sulfate-resistant cement, with an emphasis on ensuring conformity with Iraqi standard specifications. The results revealed a close similarity in chemical and mineralogical compositions between sulfate-resistant Portland cement and ordinary Portland cement. However, notable differences were observed in the loss on ignition (LOI), a decrease in tricalcium silicate content, and an increase in dicalcium silicate, likely due to incomplete burning or insufficient rapid cooling. Additionally, a higher proportion of calcium tetracalcium aluminoferrite (C_4AF) was found in the sulfate-resistant cement, making it more difficult to grind and increasing fuel consumption. The presence of tricalcium aluminate (C_3A) poses a risk of reacting with sulfates in soil or groundwater, potentially leading to expansion and cracking in concrete structures.

DOI: **********, ©Authors, 2025, College of Petroleum and Mining Engineering, University of Mosul.
This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

المقدمة

الأسمنت هو مادة ناعمة ، رمادية اللون تمتلك خواص تماسكية و تلاصقية بوجود الماء مما يجعلها قادرة على ربط مكونات الخرسانة بعضها ببعض و تماسكها مع حديد التسليح . ويتكون الأسمنت من ثلاث مواد خام أساسية هي كربونات الكالسيوم الموجودة في الحجر الجيري، والسيليكا الموجودة في الطين والرمل، والألومنيا (Kosmatka et al ، 2008). الهدف في إنتاج الأسمنت هو الحصول على سليكات الكالسيوم بشكل أساسي و الذي يتفاعل مع الماء لإنتاج هيدرات سليكات الكالسيوم التي تربط حبيبات الأسمنت ببعضها البعض في عجينة صلبة (Liska and Hewlett، 2019). درست (المعاضيدي ، 2000) الخواص المعدنية و البتروغرافية و الكيميائية للأسمنت البورتلاندي العراقي ، و ناقش (Elahi، 2018) اداء الأسمنت الجيري في بيئة الكبريتات.

منطقة الدراسة

تشمل الدراسة ايجاد الخصائص الكيميائية و المعدنية لمسحوق الأسمنت. إذ اجريت زيارة لمعمل اسمنت المقاوم (الحدباء)، اجريت زيارة ميدانية لعدد من معامل الاسمنت التي تنتج اسمنت اعتيادي و هي 1- معمل اسمنت حمام العليل الجديد، إذ يقع معملي اسمنت الحدباء و حمام العليل الجديد في منطقة حمام العليل جنوب محافظ نينوى و تنحصر بين خط طول (″22 ′92 °33) شرقا ودائرة عرض (″67 ′07 °40) شمالاً و 2- معملي بادوش الجديد و بادوش التوسيع يقعان شمال محافظة نينوى و تنحصر بين خط طول (″31 ′46 °31) شرقا ودائرة عرض (″91 ′34 °40) شمالاً و 3- معمل اسمنت سنجار غرب يقع شمال غرب محافظة نينوى و تنحصر بين خط طول (″45 ′78 °23) شرقا ودائرة عرض (″78

′26 °40) شمالاً و 4− معمل اسمنت ماس في محافظة السليمانية تنحصر بين خط طول (″10 ′43 °39) شرقا ودائرة عرض (″06 ′86 °50) جنوباً. و تم ذلك بالتعاون مع الشركة العامة للأسمنت الشمالية..شكل (1) يوضح منطقة الدراسة.

شكل 1. مواقع أخذ مسحوق الأسمنت من مصانع الاسمنت خلال الدراسة الحالية.

جيولوجية التكاوين المستغلة في معامل الأسمنت

التكاوين الجيولوجية للمواد الاولية المستخدمة في صناعة الاسمنت و تشمل:

1. تكوين الفتحة (Fatha Formation): (Middle Miocene) ثلاث سحنات رئيسية (الصخور الكاربوناتية و الفتاتية السليكاتية و المتبخرات) ، توجد الأحجار الجيرية الدولوماتية في الغالب في الجزء السفلي من العضو السفلي. وجود الحجر الجيري مع فتاتات حياتية خاصة في الجزء العلوي من العضو السفلي من التكوين ، الجبسوم العقدي و هو السائد من بين انواع الجبسوم (Al-Juboury and McCann ، 2008).
2. تكوين سنجار (Sinjar Formation): يتكون من حجر جيري بسمك 176 مترًا (Mallick and AL- ، 1985 Qayem).
3. تكوين سريكاكني (Sarikagni Formation) : يتالف من طبقات طباشيرية مع طبقات جيرية، يحتوي على مستحاثات الفورامنيفرا الصغيرة القعرية و الطافية بعمر (Middle Miocene) الى (Early Miocene) (العمري و اخرون ، 1982).
4. تكوين الذبانDhiban Formation): (يتكون من الأنهيدريت والحجر الجيري الطباشيري + و يتراوح سمكه من 100− 150 متراً (Kharajiany،2014).
5. تكوين جريبي (Jeribe Formation): يتكون من الحجر الجيري المتدلمت وذو مسامية من 10−24 يبلغ سمك التكوين حوالي (70) مترًا (Al-Ameri et al،2011).

جدول 1. انواع الأسمنت المنتج وطرق صناعته والتكاوين الجيولوجية المستغلة.

معمل السمنت	نوع السمنت	طريقة التصنيع	التكاوين المستغلة	موقع المعمل عن مدينة الموصل
حمام العليل الجديد	اعتيادي	الرطبة (الحجمية)	فتحة	20 كم جنوب
الحدباء	مقاوم للكبريتات	الرطبة (الحجمية)	فتحة	20 كم جنوب
بادوش الجديد	اعتيادي	الجافة (الوزنية)	فتحة	25 كم شمال
بادوش التوسيع	اعتيادي	الجافة (الوزنية)	فتحة	25 كم شمال
سنجار	اعتيادي	الجافة (الوزنية)	سريكاكني، جريبي ، ذبان	100 كم غرب
ماس	اعتيادي	الجافة (الوزنية)	سنجار، فتحة	254 كم جنوب شرق

اهداف البحث

يهدف هذا البحث إلى إجراء مقارنة كيميائية بين الأسمنت البورتلاندي الاعتيادي والأسمنت المقاوم للكبريتات، وذلك من خلال تحليل محتوى الأكاسيد والعناصر الكيميائية الرئيسة في عدد من نماذج الأسمنت المنتجة في معامل تقع ضمن محافظتي نينوى والسليمانية شمالي العراق. وقد تم اعتماد تقنية التحليل الطيفي بالأشعة السينية للفلورة (XRF) في فحص العينات وتحديد تركيبها الكيميائي.

المواد و طرق العمل

المواد الأولية الداخلة في صناعة الأسمنت

1- كاربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) ومصدرها هو الحجر الجيري (Limestone) او الطباشير (Chalk) او الرخام (Marble) ، وتشكل حوالي 75% من مزيج الخام وهي المصدر الرئيس لأوكسيد الكالسيوم (CaO) الحجر الجيري يحتوي على مسامية عالية "بحيث يسحق بسهولة"(Hewlett and Liska،2019).

2- الترسبات الطينية وعادة تكون بشكل حجر طيني (Claystone) او طفل (Shale) وتشكل حوالي 25% وهي المصدر الرئيس للأكاسيد (SiO_2 & Al_2O_3 ، Fe_2O_3) (Livesey and Struble ، 2011)

3- الحجر الجيري الطيني او المارل (Argillaceous limestone or Marl) وتحتوي على الاكاسيد الأربعة الرئيسة ، ويطلق عليها احياناً بصخرة الأسمنت الطبيعية لاحتوائها على كاربونات الكالسيوم والطين (Chatterjee،2018).

4- صخور الجبسوم (Gypsum): وهي من المواد الأولية الداخلة في صناعة الأسمنت الا انها لا تضاف للمزيج الخام قبل الحرق لكن في اثناء طحن الكلنكر الناتج من حرق المزيج الخام لتأخير زمن التصلب للأسمنت (2011 ، Livesey and Struble).

5- اكسيد المغنيسيوم (MgO): و يدخل بنسبة لا تتجاوز 2% في اطوار الأسمنت اما المتبقي فيكون بشكل مغنيسيا حرة (Periclase) اذا زاد عن حد المطلوب فسيسبب تشققات في الأسمنت بعد التصلب بسبب التمدد الحجمي له (2010 ، Salah).

قد يحتاج المزيج الخام لبعض الإضافات و التي تسمى بمواد مصححة (Corrective Ingredients) مثل البوكسايت لتصحيح محتوى الالومينا (Al_2O_3) أو خام الحديد أو الرمل لتعديل محتوى السليكا لتعديل التركيب الكيميائي للخليط الخام لمتطلبات العملية و مواصفات المنتج (Cembureau ، 1999) . تحتوي المواد الأولية على بعض المركبات الثانوية ذات التأثير السلبي على الانتاج ونوعية و خواص الأسمنت مثل القلويات (Na_2O و K_2O) فإن كانت نسبتها عالية فإنها ستؤثر على الوقت اللازم لتجمد الأسمنت (جبر ومحمد ، 2009).

Methodology طرق العمل

أجريت جميع التجارب في مختبرات قسم علوم الأرض، كلية العلوم، جامعة الموصل.

الجير الحر Free Lime

يمكن استخلاص الجير الحر المتمثل في أكسيد الكالسيوم CaO وهيدروكسيد الكالسيوم ($Ca(OH)_2$) من الكلنكر المطحون أو الأسمنت وفقًا للمواصفات العراقية رقم 5 لعام 1984، والدليل الاسترشادي المرجعي رقم (472) لعام 1993. تم وزن عينة مقدارها 0.75 غرام توضع في دورق سعته 200 مل، ثم أُضيف إليها حوالي 40 مل من الإيثانديول الساخن (الإيثيلين جليكول)، وهو المذيب الأكثر استخدامًا في هذه الطريقة، حيث يعمل على استخلاص الكالسيوم في صورة محلول الكالسيوم جليكولات (Calcium Glycollate). بعد ذلك، يُرشح المحلول تحت ضغط لإزالة الشوائب، ثم يُعاد تحييد المحلول القاعدي بواسطة إضافة محلول حمضي قياسي من حمض الهيدروكلوريك (HCl) تدريجيًا، حتى يكتمل التفاعل بينهما. أخيرًا، يُضاف مركب كاشف من خليط الميثيل الأحمر والبروموكريسول الأخضر (methyl red-bromocresol green) لتحديد نقطة النهاية في التفاعل.

Free Lime% = (0.028 x Acid Normalitr x Acid Volume/ Wt. of Sample) x 100

نسبة الفقدان بالحرق Loss On Ignition (L.O.I):

لغرض حساب نسب المواد المفقودة خلال حرق العينات الاسمنت في الدراسة الحالية عند درجة حرارة "950–1000°م" في فرن كهربائي (Muffle Furnace) - لازالة المواد التي تحتوي على عناصر طيارة مثل (CO_2, H_2O^+, H_2O-, SO_3, Cl and F) والمواد العضوية (Organic matter) .إذ يفقد غاز(CO_2) عند الحرق يجب ان لا تتجاوز العناصر الطيارة 5% من وزن الاسمنت عادة يتواجد (CO_2) في تركيبة الجير الحر و كذلك كاربونات المغنيسيوم (الموجودة في صخور الدولومايت) (Kumar,2007) . طريقة العمل حسب (Hutchinson, 1974):

يؤخذ غرام واحد من مسحوق الاسمنت ويمثل (W1) ثم يوضع في جفنة معلومة الوزن و تمثل (W2) ثم توضع في فرن لتجفيف العينة عند درجة حرارة "105°م" لمدة ساعة قبل الحرق ثم توضع الجفنة مع العينة في فرن كهربائي (Muffle Furnace) و تحرق عند درجة حرارة "950–1000°م" لمدة ساعة ثم توضع الجفنة في وعاء مانع الرطوبة لمدة ساعة واحدة لتبرد وبعدها توزن مع محتوياتها وتمثل (W3). و تحسب كالاتي:

Weight of Loss = (W1 + W2) – W3

(L.O.I) = (Weight of Loss / W1) x %100

البقايا غير الذائبة Insoluble Residual

أجريت الخطوات حسب دليل الاسترشادي المرجعي رقم 1993/472 للمواصفة القياسية العراقية:

يوزن غرام واحد من العينة و يعبر (W1) ثم يضاف اليه حامض قياسي (هيدروكلوريك) (HCl) ثم يعامل المتبقي (الراسب) بمحلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) لتكوين معقدات مع المواد غير الذائبة إذ تترسب ثم يرشح بورقة ترشيح و يغسل المتبقي بمحلول (NH_4ON_3) و يحرق المتبقي بدرجة حرارة بين "900– 1000°م" و يمثل (W2). و تحسب كالاتي:

Weight of IR = (W1 + W2) – W3

(IR) = (Weight of IR / W1) x % 100

جدول 2. المتطلبات الكيميائية لانواع الاسمنت البورتلاندي حسب المواصفات القياسية العراقية رقم 5 لعام 2019

الخاصية	المتطلبات		
	الاسمنت الاعتيادي	الاسمنت المقاوم	الاسمنت الابيض
الفقدان بالحرق	≤ 4.0 %	≤ 4.0 %	≤ 4.0 %
البقايا غير الذائبة	≤ 1.5 %	≤ 1.5 %	≤ 1.5 %
محتوى الكبريتات (SO_3) عندما تكون الومينات ثلاثي الكالسيوم			
أ- اقل من 3.5 %	≤ 2.5 %	≤ 2.5 %	≤ 2.5 %
ب- اكثر من 3.5 %	≤ 2.8 %	≤ 2.5 %	≤ 3.0 %
محتوى الكلورايدات	≤ 0.1 %	≤ 0.1 %	_____
محتوى الومينات ثلاثي الكالسيوم (C_3A)	_____	≤ 3.5 %	_____
اكسيد المغنيسيوم	≤ 5 %	≤ 5 %	≤ 5 %

الأكسيد/ لمحتوى الكيميائي	الحد المسموح به حسب المواصفات	العينات					
		المقاوم	بادوش الجديد	حمام العليل الجديد	بادوش التوسيع	سنجار	ماس
CaO		60.86	60.14	60.99	61.09	61.1	61.93
SiO2		19.93	21.09	20.09	20.61	20.87	20.83
Al2O3		4.8	6.08	5.48	6.09	5.24	4.79
Fe2O3		5.11	2.43	3.62	2.43	3.77	3.18
MgO	< 5%	2.37	4.25	2.47	3.26	3.33	2.2
SO3	كحد أقصى 2.5%	1.82	2.23	2.11	2.41	1.56	2.55
Na2O		1.27	1.34	1.39	1.23	1.75	1.54
K2O		0.27	0.94	0.47	0.99	0.76	0.62
MnO		0.28	0.04	0.13	0.04	0.05	0.12
TiO2		0.31	0.31	0.35	0.33	0.35	0.32
P2O5		0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Cl		0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02
الفقدان بالحرق	كحد أقصى 4%	2.92	1.09	2.82	1.45	1.14	1.83
المجموع		100	100	100	100	100	100
البقايا غير الذائبة	< 1.5%	0.62	1.09	0.62	0.7	0.74	0.85
الجير الحر		1.81	1.2	1.31	1.62	0.93	1.36

جدول 3. نتائج المعاملات الكيميائية لنماذج مسحوق الأسمنت

كيمياء الاسمنت

صناعة الأسمنت هي في الأساس عملية كيميائية لها الكثير من القواسم المشتركة مع تصنيع ما يسمى بالمواد الكيميائية الثقيلة مثل هيدروكسيد الصوديوم و كلوريد الكالسيوم . يعد التحكم الدقيق في كيمياء المنتج أمرًا ضروريًا إذ لا ينطبق هذا التحكم فقط على الأكاسيد الرئيسية الموجودة ولكن أيضًا للشوائب ، والتي يمكن أن يكون لها تأثير ملحوظ على عملية التصنيع وخصائص الأسمنت (Choo and Newman، 2003). يستند تحديد المركبات الرئيسة إلى حد كبير على عمل (Bogue) كما في الجدول (4) و التي تسمى بمركبات بوج المركبات الأربعة التي تعد عادة مركبات رئيسة.

جدول 4. مركبات بوغ.

المركب	Name of Compound	الصيغة	الاصطلاح	المحتوى %
ثلاثي سليكات الكالسيوم	Tricalcium silicate	$3\ CaO.SiO_2$	C_3S	% 50−40
ثنائي سليكات الكالسيوم	Dicalcium silicate	$2\ CaO.SiO_2$	C_2S	%35−20
ثلاثي ألومينات الكالسيوم	Tricalcium aluminate	$3\ CaO.Al_2O_3$	C_3A	%11−9
رباعي ألومينات حديد الكالسيوم	Tetracalcium aluminoferrite	$4\ CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF	%11−5

المعاملات الكيميائية

لتحقيق استقرار مواصفات الأسمنت المنتج يتطلب التحكم بنسب مكوناته الكيميائية، يجرى التحليل الكيميائي المتكرر للأسمنت للسيطرة على نسب المكونات ضمن الحدود المطلوبة ، و التي يجب أن تقع ضمن قيم محددة وفق معايير أو معاملات محددة و التي هي نفسها المستخدمة التحكم في المزيج الخام للمواد الأولية الا معاملي السليكا والالومينا ، باختلاف واحد وهو صيغة معامل الاشباع الجيري (LSF) يكون بدلالة الكبريت (SO_3) وحسب المتطلبات الكيميائية والمعدنية للمواصفة القياسية العراقية رقم 5 لعام 2019 و كما ياتي:

1- Lime Saturation Factor (LSF) = $\frac{\mathbf{100(CaO\% - o.7\ SO3\%)}}{\mathbf{2.8SiO2\% + 1.2Al2O3\% + 0.65Fe2O3\%}}$

تتراوح قيمة عامل الاشباع الجيري بين 66-102% (Neville ، 2011). إن التغييرات في القيمة تلحق الضرر ببطانة الفرن المقاومة للصهر اذ قد تلقى قطع كبيرة من الطلاء مما يضعف أداء مبرد الكلنكر و العوائق المحتملة في كسارة الكلنكر . تم يصمم مبرد الكلنكر لتحقيق التبريد السريع للكلنكر إلى درجة حرارة أقل من حوالي 1200°م إذ يمنع تقليل (C_3S) وزيادة الكلس الحر (Hewlett and Liska ، 2019) . انخفاض عامل تشبع الجير ممكن أن يصعب الاحتراق في الفرن يصعب.

2- Silica Ratio (SR) = $\frac{\mathbf{SiO2}\ \%}{\mathbf{Al2O3}\ \% + \mathbf{Fe2O3}\ \%}$

تتراوح نسب السليكا بين 1.5– 4%.تمثل كمية الأكاسيد التي يحددها التحليل الكيميائي للكلنكر معبرا عنه بالنسبة الوزنية. تشير القيمة العالية لمعامل السليكا إلى صعوبة تجانس الكلنكر بشكل مناسب عن طريق المعالجة الحرارية (1992 ، Popovics) .

3- Alumina Ratio (AR) = $\frac{\mathbf{Al2O3}\ \%}{\mathbf{Fe2O3}\ \%}$

تتراوح نسبة الالومينا بين 1.4–3.5% . يؤثر هذا المعامل كمية السائل المتكون في درجات حرارة منخفضة. ان ارتفاع (AR) يزيد من لزوجة التركيبة السائلة أكثر صعوبة (Hewlett and Liska ، 2019). فضلًا عن ذلك أجري التحليل المعدني للأسمنت للتعرف على نسب الأطوار المعدنية الرئيسة باستعمال جهاز حيود الأشعة السينية (XRD)، أو تحسب نسب الأطوار المعدنية بتطبيق معادلات (Bogue) باستعمال التحليل الكيميائي للأسمنت ، وهذه الطريقة سهلة وسريعة ومعتمدة من قبل معظم معامل الاسمنت العراقية والعالمية وهي كالآتي:

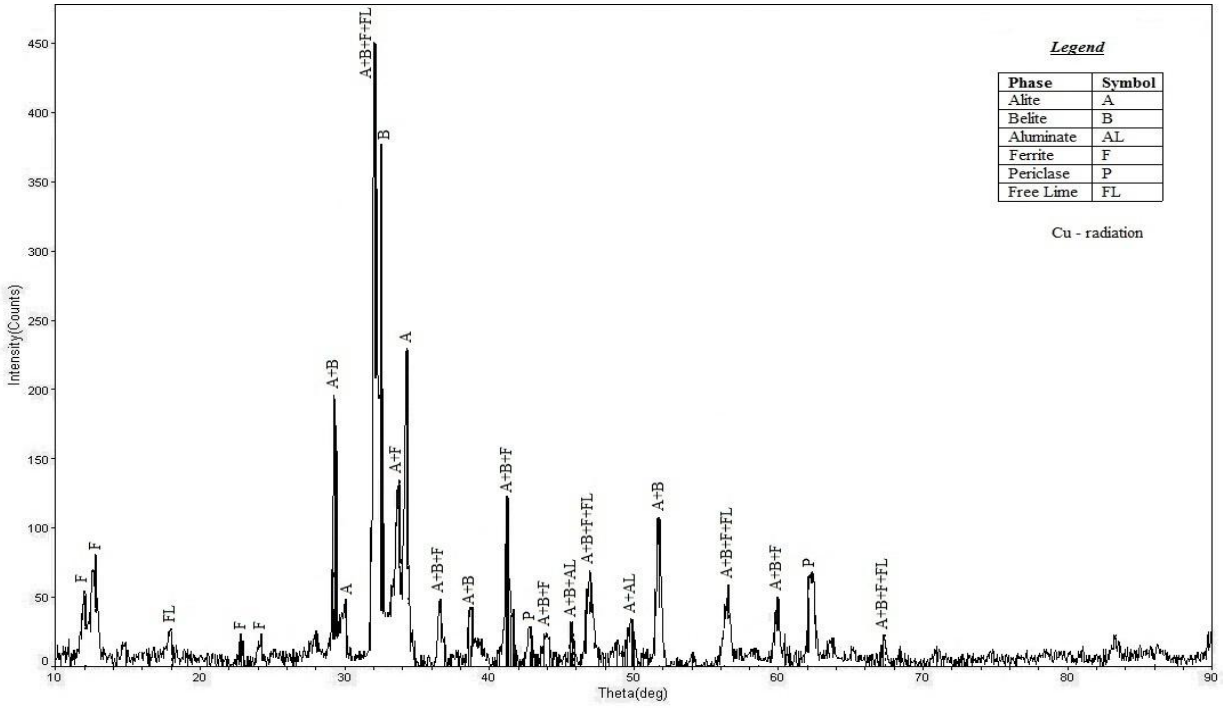
معادلات بوغ (Hewlett and Liska، 2019)

$C_3S = 4.07\ (CaO) - 7.60\ (SiO_2) - 6.72\ (Al_2O_3) - 1.43\ (Fe_2O_3) - 2.85(SO_3)$

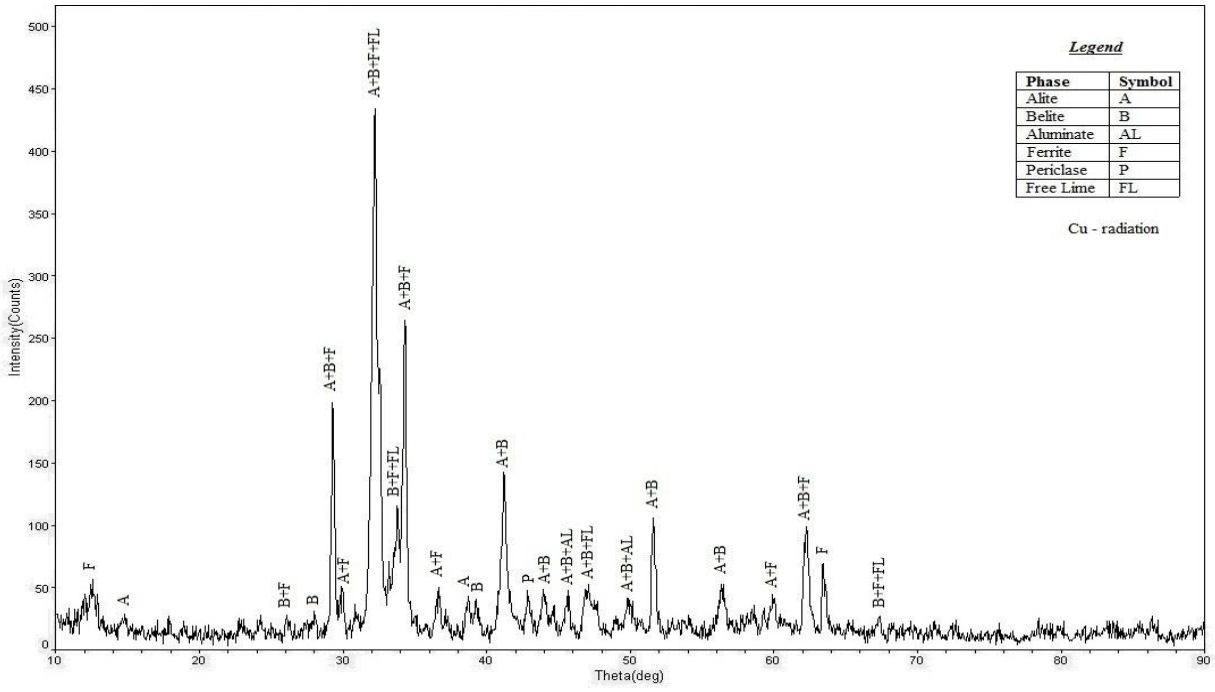
$C_2S = 2.87\ (SiO_2) - 0.754\ (3CaO.SiO_2)$

$C_3A = 2.65\ (Al_2O_3) - 1.69\ (Fe_2O_3)$

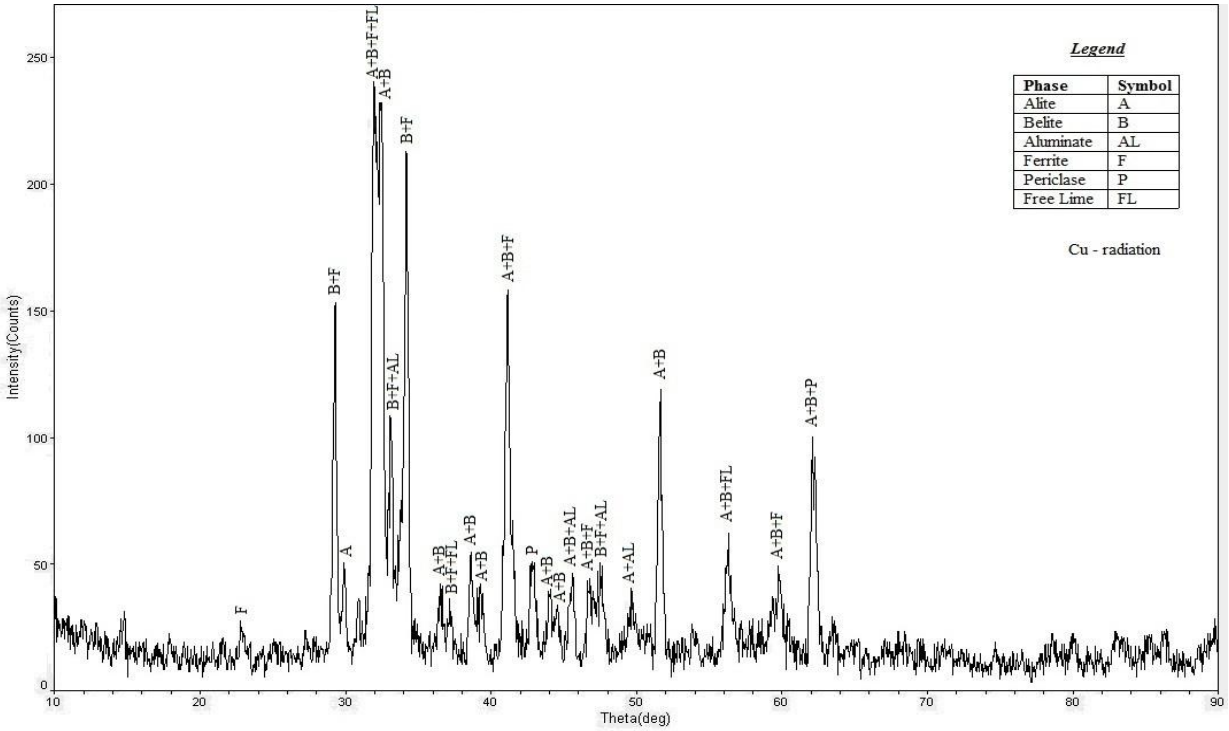
$C_4AF = 3.04(\ Fe2O3)$



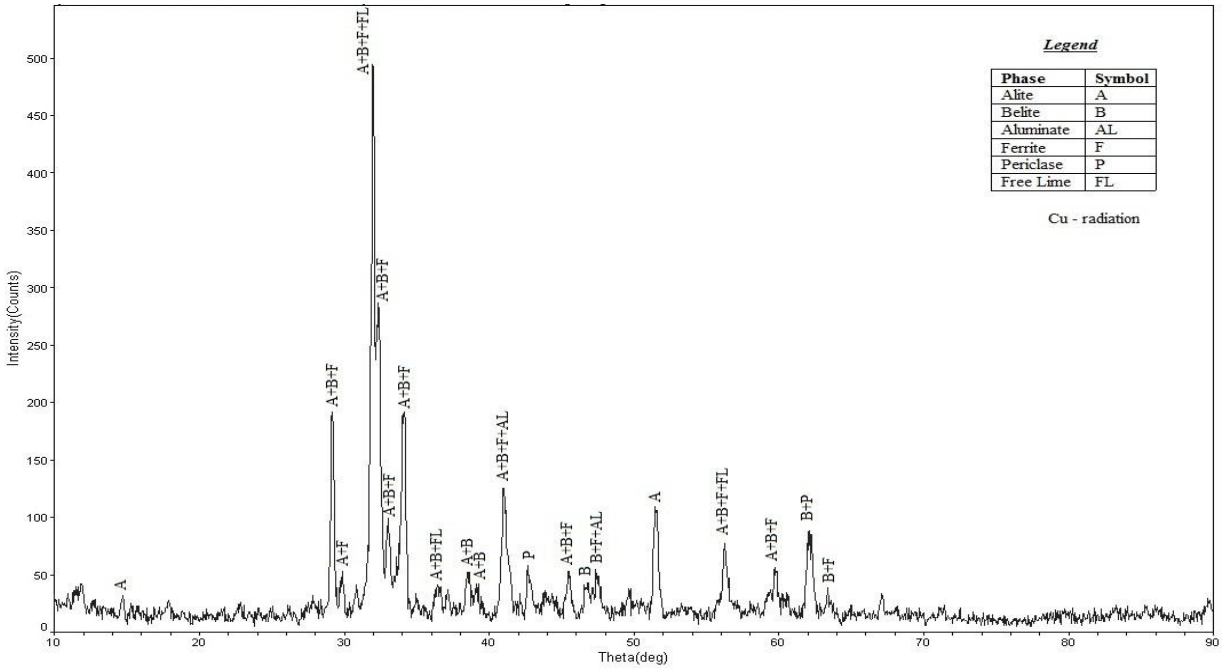
شكل 2. نمط حيود الاشعة السينية للأسمنت المقاوم (الحدباء)



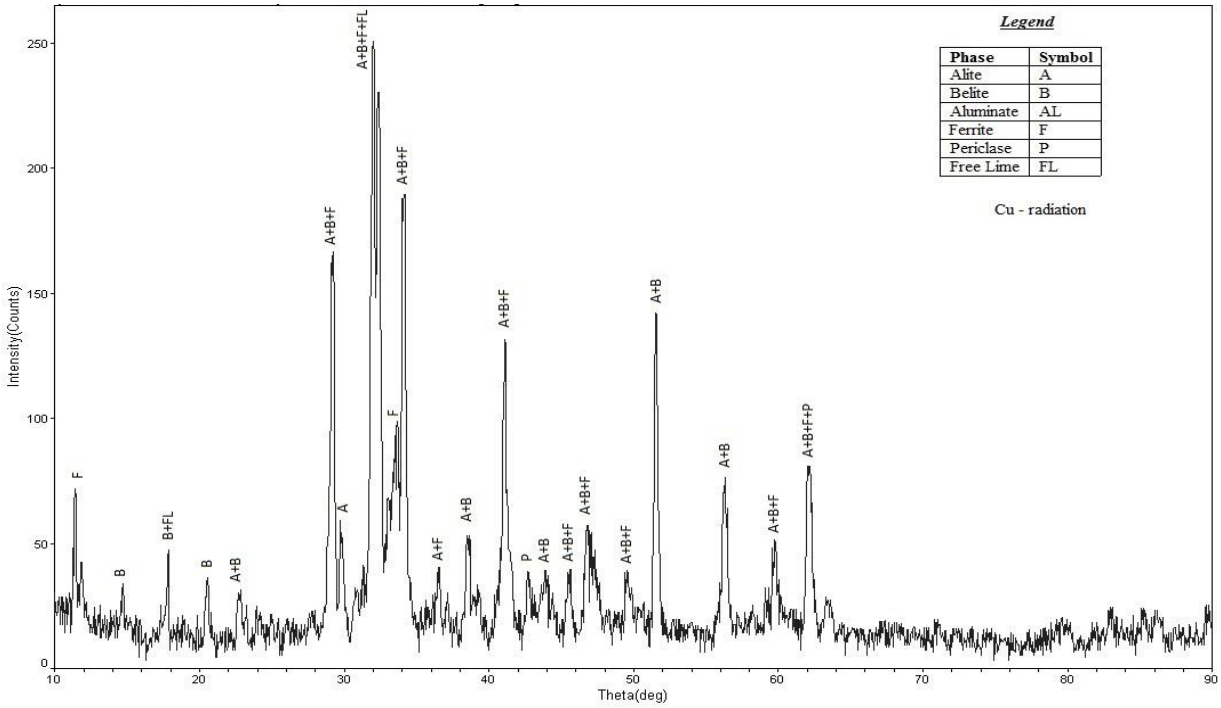
شكل 3. نمط حيود الاشعة السينية للاسمنت الاعتيادي (حمام العليل الجديد)



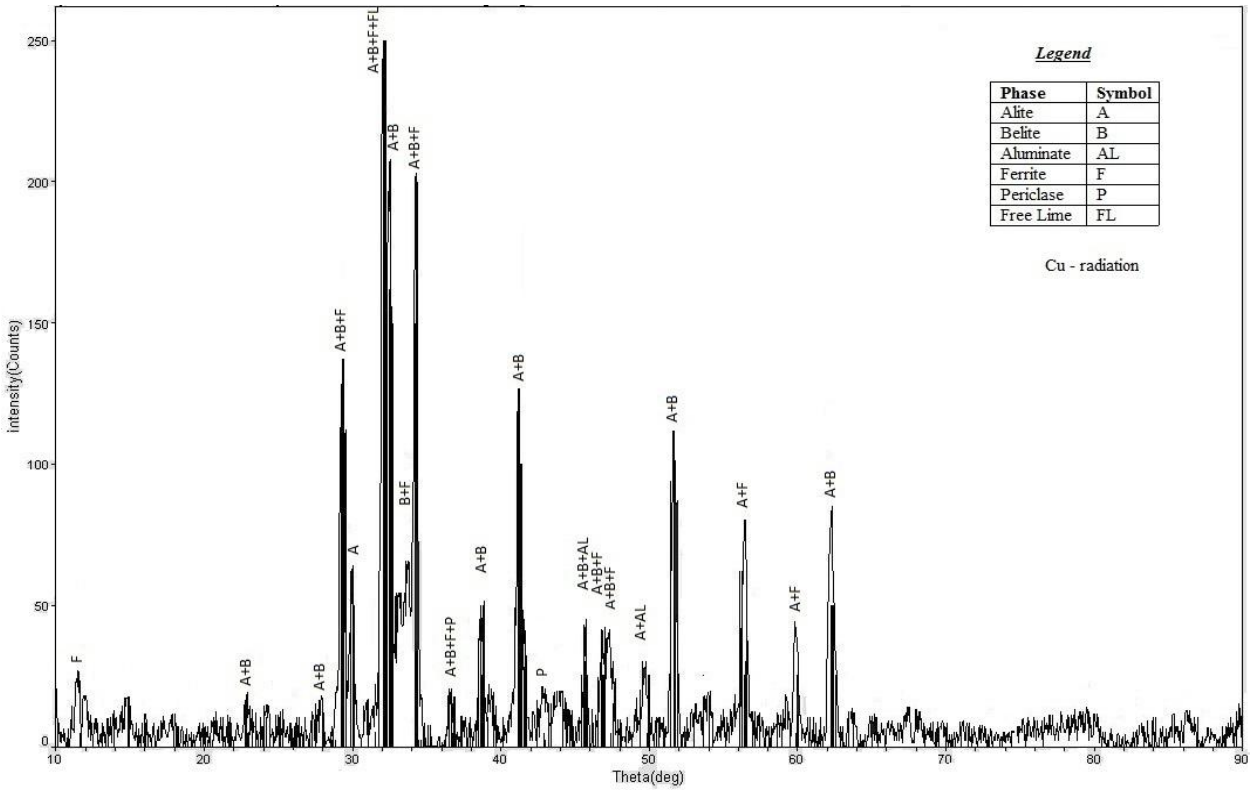
الشكل 4. نمط حيود الاشعة السينية للاسمنت الاعتيادي (بادوش الجديد)



الشكل 5. نمط حيود الاشعة السينية للاسمنت الاعتيادي (بادوش التوسيع)



شكل 6. نمط حيود الاشعة السينية للاسمنت الاعتيادي (سنجار)



شكل 7. نمط حيود الاشعة السينية للاسمنت الاعتيادي (ماس)

النتائج والمناقشة

بعد أخذ العينات من موقع معمل الأسمنت حفظت مباشرة في كيس نايلون بحيث تكون معزولة عن الهواء و التلوث و الرطوبة و الحرارة العالية الى حين اجراء التحاليل الكيميائية و المعدنية . وبعد ذلك يؤخذ 100 غرام من العينة، لغرض اجراء التحاليل بجهاز الاشعة السينية الوميضية (XRF) و جهاز حيود الاشعة السينية (XRD). نتائج التحاليل موضحة في الجدول (5)

(الجدول 5) نتائج التحليل الكيميائي لعينات الأسمنت

العينات							
المعاملات الكيميائية	المدى الأنموذجي	المقاوم	بادوش الجديد	العليل حمام الجديد	بادوش التوسيع	سنجار	ماس
معامل الإشباع الجيري	102 – 66	91.83	86.23	91.3	89.2	89.33	90.29
معامل الألومينا	3.5 – 1.4	0.94	2.5	1.51	2.5	1.39	1.5
معامل السليكا	4 – 1.5	2.01	2.48	2.21	2.42	2.31	2.61

الأطوار المعدنية

1–سليكات ثلاثي الكالسيوم (Tricalcium silicate) (Alite) (C_3S) ترطب وتتصلب بسرعة وهو مسؤول إلى حد كبير عن المجموعة الأولية والقوة المبكرة بشكل عام ، تزداد قوة المبكرة للاسمنت البورتلاندي في الخرسانة مع زيادة نسبة (C_3S).

2–سليكات ثنائي الكالسيوم (Dicalcium silicate) (Belite) (C_2S) ترطب وتتصلب ببطء ويساهم إلى حد كبير في زيادة القوة في الأعمار بعد اسبوع واحد.

3–الومينات ثلاثي الكالسيوم (Tricalcium Aluminate) (Celite) (C_3A) يحرر كمية كبيرة من الحرارة خلال الأيام الأولى من الترطيب . كما أنه يساهم بشكل طفيف في تطوير القوة المبكرة . ان الاسمنت الذي تحتوي على نسب منخفضة من (C_3A) تكون أكثر مقاومة للتربة والمياه المحتوية على الكبريتات.

4–الومينات الحديد رباعي الكالسيوم (Tetracalcium Aluminoferrite) (Ferrite) (C_4AF) هو ناتج من استخدام مواد خام الحديد والألمنيوم لتقليل درجة حرارة الكلنكر و يساهم قليلا في القوة . معظم تأثيرات الألوان التي تجعل الاسمنت رماديًا ترجع إلى (C_4AF) (Kosmatka et al ، 2008).

جدول 6. محتوى الأطوار المعدنية لنماذج مسحوق الأسمنت

Samples							
الاطوار المعدنية	المحتوى%	المقاوم للاملاح الكبريتية	بادوش الجديد	حمام العيل الجديد	بادوش التوسيع	سنجار	ماس
سليكات ثلاثي الكالسيوم	40-50%	44.11	28.91	42.19	34.13	41.23	44.2
سليكات ثنائي الكالسيوم	20-35%	23.94	38.73	25.84	33.41	28.81	26.45
الومينات ثلاثي الكالسيوم	9-11%	4.08	12	8.4	12.03	7.51	7.32
الومينات الحديد رباعي الكالسيوم	5-11%	15.53	7.38	11	7.38	11.46	9.66

1- السليكا

نسبة السليكا في الاسمنت الاعتيادي و المقاوم للدراسة الحالية هي ضمن حدود المواصفات الأوربية يبين للسليكا أهمية في تركيب الأسمنت إذ يتطلب ارتفاعها زيادة درجة حرارة الحرق من أجل دخولها في التفاعلات الكيميائية المكونة لعجينة الكلنكر، ان زيادة نسبة السيلكا في المزيج الخام مما يتلف بطانة الفرن يؤثر في المكونات الاخرى الداخلة في التفاعلات الكيميائية للعجينة و قد يؤدي الى فقدان الخواص الكيميائية.

2- الالومينا

نسبة الالومينا في الأسمنت الاعتيادي و المقاوم هي ضمن حدود المواصفات الأوربية يجب ان تكون نسبة الالومينا منخفضة . فعندما يتميأ الاسمنت بالماء و ينتج عنه حرارة الترطيب عالية يؤدي ذلك الى تبخر الماء اللازم لعملية التصلب مما يسبب التشقق و التصدع في البناء، و الأسمنت ذو نسبة الألومينا المنخفضة يكون ذا قوة نهائية عالية و مقاومة عالية للكبريتات . و صيغة الطور السائل هي الأكثر استخدامًا في المقارنة و التي تنتج كمية ولزوجة في الطور السائل و هي مفتاح تكوين الكلنكر ، "يلاحظ من الجدول (5) ارتفاع محتوى طور Aluminate في أسمنت بادوش الجديد والتوسيع وينتج عن ذلك سرعة تصلب مبكر و حدوث التجمد الخاطف (Flash Setting) و بينما نسبة طور (Aluminate) في الاسمنت المقاوم تكون منخفضة و ذلك لزيادة طور (Ferrite) إذ يكون فعالًا جدًا ضد هجوم الكبريتات .

3- الحديد

نسبة الحديد في الأسمنت الاعتيادي و المقاوم هي ضمن حدود المواصفات الأوربية . الأسمنت الاعتيادي لمعامل حمام العليل الجديد و سنجار وماس هو ذو قيم متوسطة ، بينما ينخفض محتوى الحديد في أسمنت معملي بادوش الجديد والتوسيع.

4- المغنيسيوم

المغنيسيا في الأسمنت الاعتيادي و المقاوم هي ضمن المواصفات الأوربية ماعدا أسمنت بادوش الجديد إذ تكون نسبة المغنيسيا عالية و خارج حدود المواصفة ، بينما تكون عالية في معملي بادوش التوسيع وسنجار لكن ضمن حدود المواصفات . و إن نسبة المغنيسيا في معامل حمام العليل الجديد و ماس و الحدباء تكون متوسطة . يتميأ المغنيسيوم ببطء مع الماء و يكون ($Mg(OH)_2$) إذ يسبب تمددًا حجميًا و يؤدي الى تلفها . عند وجود (CO_2) فإنه سيتفاعل مع (MgO) و يؤدي الى تكوين كاربونات المغنيسيوم و تسبب تمددًا للكتلة الاسمنتية و تشققها و تلفها.

5- الصوديوم (Na_2O)

يلاحظ تباين في معدل هذا الأكسيد بين الاسمنت الاعتيادي و المقاوم و الذي يشير الى محتوى الصوديوم ذي التطاير الواطئ خلال الحرق و المعاد توزيعه في اطوار الاسمنت خاصة البينية مثل طور (Aluminate) القلوي و الكلوريدات الاكثر من الاطوار السليكات.

6- الفقدان عند الحرق (LOI)

نلاحظ زيادة نسبة (LOI) للاسمنت الاعتيادي لمعمل حمام العليل الجديد و الاسمنت المقاوم للكبريتات لمعمل الحدباء و قد يُعزى السبب الى عدم اكتمال الحرق او زيادة في اكسيد الكالسيوم في اسمنت معملي (الحدباء و حمام العليل الجديد) او زيادة تركيز (SO_3) للاسمنت الاعتيادي لمعمل حمام العليل الجديد.

7- عامل الاشباع الجيري

قيمة (LSF) في الجدول (5) تكون ضمن المواصفة القياسية العراقية إذ تتراوح القيم بين 86.23- 91.83%. عندما يكون الحرق جيد للمزيج الخام تكون نسبة عامل الاشباع الجيري للاسمنت تتراوح بين 92- 96% مع وجود الكلس الحر في الاسمنت بشكل اقل.

8- معامل السليكا

نسبة معامل السليكا لكل عينات الاسمنت تقع ضمن حدود المواصفة القياسية العراقية إذ تتراوح بين 2.01-2.61%. يسبب ارتفاع معامل السليكا صعوبة في حرق المزيج الخام و بالتالي يحتاج الى رفع درجات الحرارة لاكمال التلبيد (تفاعل الاكاسيد بشكل كامل) و تكوين طور (C_3S) المسؤول عن تطور القوة المبكرة.

9- معامل الالومينا

نسبة (AR) للاسمنت الاعتيادي تقع ضمن حدود المواصفة القياسية العراقية و تتراوح بين 1.39- 2.5% بينما قيمة معامل الالومينا للاسمنت المقاوم (0.94%) تكون اقل من حدود المواصفة و بالتالي تسهل الحرق. إذ ان زيادة معامل الالومينا يؤدي الى صعوبة الحرق.

10- الاطوار المعدنية

يؤثر تباين نسب المكونات في توزيع العناصر في الاطوار المعدنية لانواع الاسمنت . يلاحظ ارتفاع ان زيادة في نسبة الاطوار السليكاتية (Alite و Belite) في الاسمنت الاعتيادي بينما يرتفع طور (Ferrite) في الاسمنت المقاوم للكبريتات.

Conclusions الاستنتاجات

من خلال دراسة الخواص الكيميائية والمعدنية والفيزيائية لعينات الأسمنت البورتلاندي الاعتيادي المنتجة في معامل حمام العليل الجديد، بادوش الجديد، بادوش التوسيع، سنجار، وماس، بالإضافة إلى الأسمنت المقاوم للكبريتات من معمل الحدباء، يمكن استخلاص الاستنتاجات التالية:

1. لوحظ تباين في محتوى أكسيد المغنيسيوم (MgO) بين العينات، ويُعزى ذلك إلى احتواء المواد الأولية على نسب مرتفعة منه. قد يحل أكسيد المغنيسيوم محل أكسيد الكالسيوم في بعض التراكيب البلورية، مما يؤدي إلى تمدد حجمي غير مرغوب فيه قد يتسبب في تلف الخرسانة بمرور الوقت.
2. ظهر تفاوت في نسب الفقد عند الحرق (LOI) بين النماذج المدروسة، ويعود السبب في ذلك إلى عدم اكتمال عمليات الحرق، أو إلى ارتفاع محتوى أكسيد الكالسيوم، وقد يرتبط أيضًا بزيادة تركيز ثالث أكسيد الكبريت(SO_3) ، مما يشير إلى الإفراط في إضافة الجبس أثناء طحن الكلنكر أو إلى نوعية الوقود المستخدم.
3. لوحظ انخفاض في نسبة طور أليت (C_3S) مقابل زيادة في طور بيليت(C_2S) ، ويعزى ذلك إلى عدم اكتمال الحرق أو عدم التبريد السريع للكلنكر، أو حتى بسبب سوء التخزين، مما يؤدي إلى تحول الطور النشط (C_3S) إلى طور أقل نشاطًا (C_2S) نتيجة امتصاص الرطوبة.
4. يتميز الأسمنت المقاوم للكبريتات بارتفاع نسبة أكسيد الحديد، نتيجة لزيادة طور الفيرّيت(C_4AF) ، الأمر الذي يؤدي إلى صعوبة في الطحن وزيادة استهلاك الوقود أثناء الإنتاج.
5. لوحظ ارتفاع نسبة طور الألومينات (C_3A) في بعض العينات، مما يؤدي إلى زيادة زمن الشك للأسمنت. كما أن هذا الطور قد يتفاعل مع الكبريتات الموجودة في التربة أو المياه الجوفية، مما يؤدي إلى زيادة الحجم وحدوث تشققات في الخرسانة على المدى الطويل.

المصادر العربية

جبر، سجى محمد و محمد، اسامة إبراهيم (2009): التقييم البيئي لمواقع الأسمنت في العراق . وزارة البيئة / تقييم المواقع الملوثة ، 102ص.

الدليل الإسترشادي المرجعي 1993/472" ،طرق التحاليل الكيميائية للاسمنت البورتلاندي"، الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية، جمهورية العراق.

العمري, فاروق صنع الله و الشيح, زهير و السياب, عبدالله و الانصاري, نضير و الراوي, ضياء و الجاسم, جاسم علي (1982). كتاب جيولوجيا العراق , المكتبة الوطنية ، بغداد ، رقم الايداع (1342) لسنة (1982) , 280ص.

المعاضيدي , ساهرة محمد عثمان (2000). الضوابط المعدنية و البتروغرافية و الكيميائية للخواص الفيزيائية لالسمنت البورتلندي العراقي , أطروحة دكتوراه غير منشورة , جامعة الموصل, كلية علوم الارض , ص201.

المواصفة القياسية العراقية رقم (5) لسنة (1984): الأسمنت البورتلندي. مجلس التخطيط/ الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية ، جمهورية العراق.

المواصفة القياسية العراقية رقم (5) لسنة (2019): الأسمنت البورتلندي. مجلس التخطيط/ الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية ، جمهورية العراق.

المصادر الاجنبية

Al-Ameri, T. K., Zumberge, J., and Markarian, Z. M. (2011). Hydrocarbons in the Middle Miocene Jeribe Formation, Dyala Region, NE Iraq. Journal of Petroleum Geology, 34(2), 199-216.

Al-Juboury , A. I. and McCann ,T. (2008). The Middle Miocene Fatha (Lower Fars) Formation, Iraq , GeoArabia, Vol. 13, No. 3,Gulf PetroLink, Bahrain, 174p

Bogue, R. H. (1929). Calculation of the compounds in Portland cement. Industrial and Engineering Chemistry Analytical Edition, 1(4), 192-197.

Chatterjee , A. K (2018). Cement Production Technology ,Principles and Practice, CRC Press Taylor and Francis Group, 419P

Elahi, M. M. A. (2018). Performance Studies on Portland-Limestone Cement in Sulfate Environments (Doctoral dissertation, South Dakota School of Mines and Technology, Rapid City).

Hewlett, P. C. and Liska, M. (2019). Lea's Chemistry of Cement and Concrete ,Fifth Edition, United States, 858P

Hutchison, C.S. (1974): Laboratory Handbook of petrographic techniques. John Wiley and Sons, New York, 527p.

Kharajiany, S. O. (2014). The occurrence of Early and Middle Miocene rocks (Euphrates, Dhiban and Jeribe formations) In Ashdagh Mountain, Sangaw Area, Sulaimaniyah Vicinity, NE Iraq. Iraqi Bulletin of Geology and Mining, 10(1), 21-39.

Kosmatka, S. H.; Kerkhoff, B.; and Panarese, W. C.(2008). Design and Control of Concrete Mixtures, EB001, 14th edition, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA, 358P.

Kumar, s. (2007). Concrete Technology, Edited and Published by Indian Railway Institute of Civil Engineering , Pune. 109P.

Livesey ,P. and Struble, L. (2011). Portland Cement, Third edition, Published by ICE Publishing, 40 Marsh Wall, London E14 9TP. 208PCEMBUREAU, B. (1999). Best available techniques for the cement industry. The European Cement Association, CEMBUREAU. 240P

Neville, A. M. (2011). Properties of concrete fifth edition. Green technology an A-to-Z guide. SAGE Publication, California. 954P.

Newman, J., and Choo, B. S. (Eds.). (2003). Advanced concrete technology 4: Testing and Quality. Elsevier.. 280P.

Mallick ,K. A and AL-Qayem ,B. J (1985). Sedimentology of Sinjar limestone formation, sulaimanian area , north eastern Iraq, Acta Mineralogica-Petrographica, Szeged, XXVII, 101-116P

Popovics ,S. (1992). Concrete Materials, Properties, Specifications and Testing ,Second Edition, Published in the United States of America by Noyes Publications. 661P

Salah, D. B. (2010). Concrete Technology, Chapter One . Available: http//: www. uotechnology. edu. Iq. 28P