

## تقييم الأسمنت المقاوم للكبريتات وأسمنت آبار النفط المنتجة في معمل أسمنت الحدباء

ساهره محمد عثمان المعاضيدي

صفاء رجب محمد الجبوري

قسم علوم الأرض/ كلية العلوم  
جامعة الموصل

تاريخ الاستلام 2021/10/15 ، تاريخ القبول 2021/12/8

### الملخص

جُمع 23 نموذجاً (9 نماذج أسمنت مقاوم للكبريتات، 7 نماذج لكل من أسمنت آبار النفط صنف B و G) خلال فترة أربعة أشهر، من خط إنتاج معمل أسمنت الحدباء في ناحية حمام العليل جنوبي مدينة الموصل، والذي يعمل بطريقة الإنتاج الرطبة. يهدف البحث الى تقييم الخواص الكيميائية والفيزيائية للأسمنت المقاوم للكبريتات وأسمنت آبار النفط المنتجة في المعمل المدروس وفق المواصفات القياسية المعتمدة.

تم تحليل بعض النماذج تحليلاً معدنياً بجهاز حيود الأشعة السينية XRD وتحليلاً كيميائياً بجهاز الأشعة السينية الوميضية XRF والطرائق الكيميائية الوزنية التسحيحية. وأستحصلت نتائج الفحوصات الفيزيائية (النعومة بطريقتي بلين والمناخل، نسبة الماء الى الأسمنت، وقت التجمد (الأبتدائي والنهائي)، الثبات بطريقة الاوتوكليف وقوة الانضغاط) للأسمنت بأنواعه الثلاثة وحسب متطلبات المواصفة القياسية العراقية (رقم 5، 1984). إضافة الى نتائج الفحوصات الفيزيائية (نسبة ماء الخلط، النعومة، كثافة المعجون، وقت التثخين، محتوى المائع الحر، قوة الانضغاط وكثافة الأسمنت الجافة) لأسمنت آبار النفط وحسب متطلبات مواصفات معهد النفط الأمريكي (API 10A, 2010)، من معمل أسمنت الحدباء والتي تُجرى ضمن متطلبات السيطرة النوعية على الإنتاج.

إستنتجت الدراسة أن نتائج التحليل الكيميائي وحساب بعض المعاملات الكيميائية ونسب الأطوار المعدنية ونتائج الفحوصات الفيزيائية للأسمنت بأنواعه الثلاثة متقاربة في قيمها ومطابقة لحدود المتطلبات الكيميائية والفيزيائية للمواصفة القياسية العراقية (رقم 5، 1984). بإستثناء محتوى طور الألويمينيت  $C_3A$  يكون أكثر من الحد المطلوب. أما نتائج التحليل الكيميائي، حساب نسب الأطوار المعدنية ونتائج الفحوصات الفيزيائية لأسمنت آبار النفط المدروسة فهي مطابقة لحدود المتطلبات الكيميائية والفيزيائية لمواصفات معهد النفط الأمريكي (API 10A, 2010)، ولنوع الأسمنت متوسط المقاومة للكبريتات MSR وللصنف B و G، بإستثناء قيم محتوى طور الألايت  $C_3S$  ومكافئ القلوبات (الصوديوم)  $Na_2O_{EQ}$  لـصنف G تكون غير مطابقة للمواصفات.

**الكلمات الدالة:** أسمنت مقاوم للكبريتات، أسمنت آبار النفط، الأطوار المعدنية للأسمنت، المعاملات الكيميائية للأسمنت، الخواص الفيزيائية للأسمنت.

## Evaluation of Sulphate Resistant Cement and Oil-well Cement Produced in Al-Hadbaa Cement Plant

Safaa Rejeb M. Al-Jubouri

Sahra M. Othman Al-Maadhidee

Department of Geology/College of Science  
University of Mosul

### ABSTRACT

Twenty-three samples are collected (9 samples of sulfate-resistant cement, 7 samples for each of the oil-well cement, class B and G) during four months from the production line of Al-Hadbaa cement plant, which operates in the wet production

method, in Hammam Al-Alil district south of Mosul city. The research aims to evaluate the chemical and physical properties of sulfate-resistant cement and oil-well cement produced in the studied plant according to the approved standard specifications. Some of the samples are analyzed by X-ray diffraction device, and chemically by X-ray fluorescence and gravimetric titrimetric chemical methods. The results of physical tests are obtained (fineness by Blaine method and sieves, water-cement ratio, setting time (initial and final), soundness by autoclave method, and compressive strength) for cement of three types according to the requirements of the Iraqi Standard Specification (no.5, 1984). As well as the results of physical tests (mixing water percent, fineness, slurry density, thickening time, free fluid content, compressive strength, and dry cement density) for oil-well cement are according to the requirements of the American Petroleum Institute specifications for the samples taken from Al-Hadbaa cement plant, which is carried out within the requirements of quality control overproduction.

The study concludes that the results of chemical analysis, calculating some of the chemical moduli, percent of mineral phases, and results of physical tests for three types of cement are close in their values, and conforming to the limits of chemical and physical requirements of the Iraqi Standard Specification (no.5, 1984). Except that the aluminate phase  $C_3A$  content, which is more than the required limit. The results of chemical analysis, calculating the percent of mineral phases, and the results of physical tests for the studied oil-well cement are in conformity to the limits of chemical and physical requirements of the American Petroleum Institute Specifications (API 10A, 2010), for the cement type of moderate resistant for sulfate (class B and G). Except for the values of alite phase  $C_3S$  content, and alkalis (sodium) equivalent  $Na_2O_{EQ}$  for class G, which are not conforming to specifications.

**Key words:** Sulphate resistant cement, Oil well cement, Mineral phases of cement, Chemical moduli of cement, Physical properties of cement.

### المقدمة

تُعد صناعة الأسمنت البورتلندي بأنواعه المتعددة من أهم وأقدم الصناعات في العالم لتوفر متطلبات قيامها خاصة المواد الأولية المستخدمة في إنتاجه والمحتوية عادةً على العناصر الرئيسية (الكالسيوم Ca، السيليكون Si، الألمنيوم Al، الحديد Fe) وبنسب معينة. بعد تحديد صلاحية المواد الأولية لصناعة الأسمنت من حيث نقاوتها وتجانسها ومطابقتها للمتطلبات الكيميائية والفيزيائية، يتم تهيئة المزيج الخام من مزج الصخور الجيرية ذي المحتوى العالي من الكلس مع الصخور الطينية ذي المحتوى العالي من الألومينا والسليكا والحديد وبنسب محددة وفق متطلبات المواصفات القياسية المعتمدة. وبهدف إنتاج أسمنت ذو نوعية جيدة، يتطلب الأمر ضبط وتقييم الأسمنت المنتج بشكل متكرر خلال إنتاجه المستمر من حيث المحتوى الكيميائي للعناصر الرئيسية والثانوية (Ca, Si, Al, Fe, Mg, K, Na, S) وكذلك حساب بعض معاملات السيطرة النوعية (LSF, SM, AM, AEQ, LQP) والمحتوى الكمي للأطوار المعدنية الرئيسية (Kohlhaas, et al., 1983; Taylor, 1997; Hewlett and Liska, 2019).

يتم تصنيع أنواع مختلفة من الأسمنت البورتلندي لتلبية المتطلبات الفيزيائية والكيميائية المختلفة ولأغراض محددة، ومع الاستخدام المكثف للأسمنت بُذلت جهود متواصلة لإنتاج أنواع من الأسمنت عن طريق تغيير محتوى الأكاسيد ودرجة الطحن أو إضافة مواد إلى الكلنكر وقت الطحن، وأدى هذا إلى توفر أنواع متعددة من الأسمنت لتلبية إحتياجات الصناعات الإنشائية ومن هذه الأنواع الأسمنت المقاوم للكبريتات والمحتوي على نسبة قليلة من طور الألومينيت  $C_3A$  لتجنب المخاطر التي يسببها من تشققات بالخرسانة بسبب تفاعل هذا الطور مع الأملاح

الكبريتية الموجودة في التربة أو المياه الجوفية الملامسة للخرسانة ( Kosmatka and Wilson, 2011; ) (Shetty and Jain, 2019).

ونظراً لدخول الأسمنت في مجال الصناعة النفطية خاصة حفر آبار النفط والغاز والمياه الجوفية بسبب ميزاته، فأصبح أسمنت آبار النفط من الأنواع الخاصة المهمة والمطلوبة لتسميت وتدعيم بطانة آبار النفط ولأعماق مختلفة. يتم تصنيع أسمنت آبار النفط بإستعمال نفس المواد الأولية (الصخور الجيرية والطينية وأكاسيد الحديد وصخور الجبس) والعمليات الإنتاجية المستخدمة في إنتاج الأسمنت الاعتيادي والمقاوم للكبريتات. ويتم تهيئته من طحن الكلنكر المنتج طحناً دقيقاً للحصول على مسحوق ذي حبيبات ناعمة وبمقاس 10-150 مايكرون مع إضافة مضاف واحد بشكل جبسوم أثناء الطحن. وقد تضاف مضافات أخرى (مبطئة، مسرعة، مشنتة) عند الحاجة لإنتاج أسمنت بمواصفات خاصة لتلبية متطلبات العمل والمواصفة المعتمدة. يتكون أسمنت آبار النفط من نفس الاطوار المعدنية الرئيسية (الألايت، البيلايت، الألومينيت والفيرايت) التي يتكون منها الأسمنت الاعتيادي والمقاوم لكن بنسب متباينة حسب متطلبات العمل من حيث درجة الحرارة والضغط والعمق في آبار النفط (Barron and Johnson, 2010; Hewlett and Liska, 2019). يستعمل أسمنت آبار النفط لتسميت وتدعيم Cementing بطانة آبار النفط عن طريق ضخ معجون الأسمنت (خليط من الأسمنت والماء والمضافات الكيميائية) في الفراغ الحلقي بين أنابيب التثبيت Casing وصخور جدار البئر وإلى أعماق قد تصل بضع آلاف الامتار، ويتصلب بزمن معين ليكون حلقة من الحجر الاسمنتي. إن الهدف الاساسي من التسميت هو زيادة عمر الآبار ليتوفر الزمن الكافي لإستثمار المخزون الكلي للمكامن النفطية والغازية التي تخترقها الآبار ( Nelson and Guillot, 2006; Hewlett and Liska, 2019). يتم تصنيف أسمنت آبار النفط بموجب مواصفات المنظمة الدولية للتقييس (ISO 10426-1, 2009) ومواصفات معهد النفط الامريكي (API 10A, 2010) والمواصفة القياسية العراقية (رقم 2130، 2013)، الى ثمانية أصناف Classes، والسته الأكثر شيوعاً منها يرمز لها (A, B, C, D, G, H). ويصنف إلى ثلاثة أنواع Grades وهي: الأسمنت العادي O، الأسمنت معتدل المقاومة للكبريتات MSR والأسمنت عالي المقاومة للكبريتات HSR. ويستخدم كل نوع من هذه الأنواع في نطاق معين من أعماق الآبار ودرجات الحرارة والضغط ومحتوى الكبريتات ( Mehta and Monteiro, 2006; Neville, 2011; Kosmatka and Wilson, 2011).

تُعد الخواص الفيزيائية للأسمنت إحدى متطلبات المواصفة القياسية التي يُعتمد عليها في قبول الأسمنت المنتج لإستعماله في مجالات متعددة. ولتجنب المخاطر الناجمة عن عدم إيفاء الأسمنت لمتطلبات المواصفة القياسية المعتمدة يتم إجراء عدد من الفحوصات الفيزيائية لتقييم صلاحية إستعماله. تتضمن المواصفة القياسية العراقية (رقم 5، 1984) عدداً من المتطلبات الفيزيائية المشتملة على إجراء عدد من الفحوصات الفيزيائية للأسمنت بأنواعه المختلفة لإيجاد الخواص الفيزيائية المطلوبة والمتمثلة بالآتي:

النعومة، وتمثل المساحة السطحية الكلية لحبيبات الأسمنت، وتعد هذه الخاصية عاملاً مهماً في عملية إمالة الأسمنت. أما القوام القياسي ووقت التجمد، فيمثل إيجاد النسبة المئوية للماء المضاف إلى الأسمنت للحصول على عجينة ذات قوام قياسي تستعمل لإيجاد وقت التجمد الابتدائي المتمثل بالزمن المحسوب من إضافة الماء الى بداية تجمد العجينة، ووقت التجمد النهائي المتمثل بالزمن المحسوب من إضافة الماء الى إختفاء حالة اللدونة للأسمنت وبداية التصلب. وأما الثبات أو السلامة، فهي خاصية قياس التغيرات الحجمية (تمدد) في عجينة الأسمنت بعد تجمدها وتحت ظروف محددة. وكذلك قوة الانضغاط وتمثل قوة مقاومة الأسمنت (بشكل خرسانة أو ملاط) للضغط المسلط عليه بعد تصلبه وإكتساب القوة الناتجة عن تماسك حبيبات الأسمنت بأواصر قوية فيما بينها ومع حبيبات الركام الممزوج معه، وبعد إنضاجه لفترة زمنية محددة ( Ghosh, 1983; Aitcin, 2008; Barron and Johnson, 2010; Hewlett and Liska, 2019).

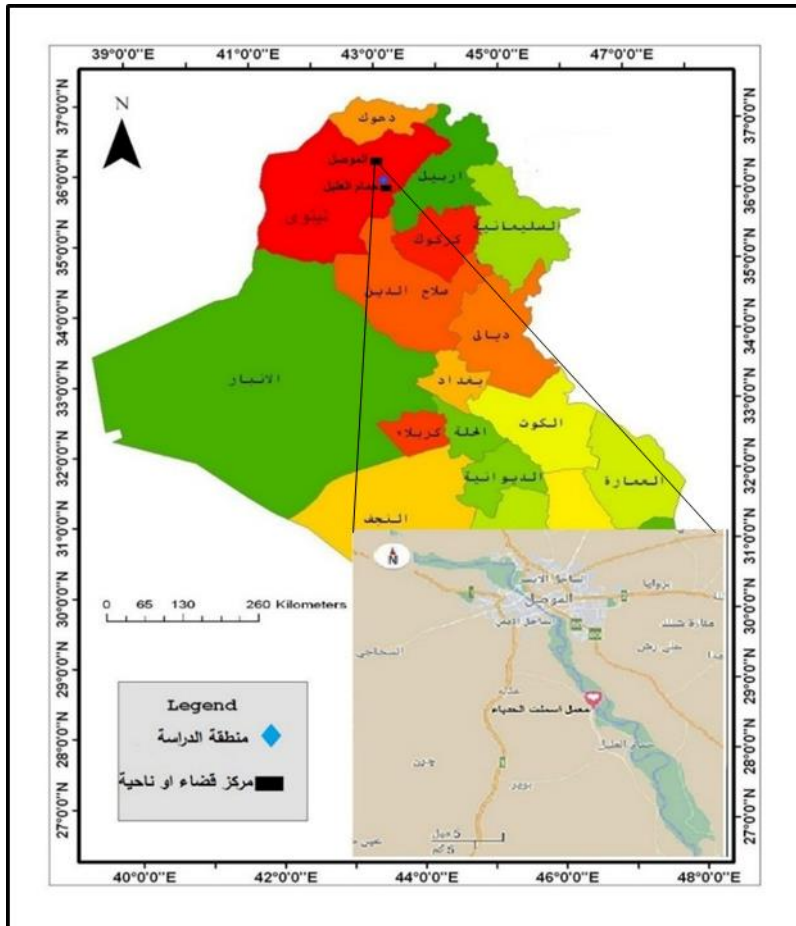
أما أسمنت آبار النفط، فإن مواصفات معهد النفط الامريكي (API 10A, 2010) والمواصفة القياسية العراقية (رقم 2310، 2013) تتضمن عدداً من المتطلبات الفيزيائية المشتملة على إجراء عدد من الفحوصات الفيزيائية لإيجاد الخواص الفيزيائية المتمثلة بالآتي:

النعومة والمذكورة آنفاً، وتعتمد على طبيعة المكونات المعدنية للأسمنت. أما نسبة ماء الخلط، فتمثل نسبة الماء المضاف للأسمنت للحصول على معجون أسمنتي ذي قوام يسمح بالضح داخل الآبار. وأما كثافة المعجون، فتمثل نسبة وزن حجم معين من المعجون (أسمنت+ماء+مضافات) الى حجمه. وأما كثافة الاسمنت الجافة، فتمثل نسبة وزن حجم معين من الأسمنت الجاف الى حجمه المحسوب بدلالة السائل المزاج. وأما وقت التثخين، فيمثل الوقت بين إضافة الماء الى الأسمنت للحصول على معجون قابل للضح الى أن يبدأ الأسمنت بالتجمد ويصبح غير قابل

للصخر. وأما محتوى الماء الحر، فهو لحساب قابلية معجون الأسمنت على فرز أو فصل الماء وهذه الخاصية تزداد بإزدياد عمق البئر والضغط الذي يتعرض له. وكذلك قوة الانضغاط، وتمثل قوة مقاومة الأسمنت للضغط المسلط عليه بعد إنضاجه لفترة زمنية تحت ظروف مختلفة من درجة الحرارة والضغط المشابهة لظروف نطاق التسميت في الآبار (Barron and Johnson, 2010; Oualit, et al., 2018). هدف البحث هو تقييم الخواص الكيميائية والفيزيائية للأسمنت المقاوم للكبريتات وأسمنت آبار النفط المنتجة في معمل أسمنت الحدباء.

### موقع الدراسة والنمذجة

أجريت الدراسة الحالية على معمل أسمنت الحدباء (حمام العليل القديم سابقاً) في محافظة نينوى-شمالى العراق، ويقع على بعد 20 كم جنوبي مدينة الموصل وعلى بعد 6 كم من ناحية حمام العليل والموضح موقعه في الشكل (1). تم تصميم هذا المعمل ليعمل بطريقة الإنتاج الرطبة لإنتاج الأسمنت المقاوم للكبريتات وحالياً ينتج أسمنت آبار النفط صنف B و G وأسمنت تحشية السود (إنجازات، منشور معاونة السمنت الشمالية، 2019).



الشكل 1: خارطة توضح موقع الدراسة (الونداوي، 2011; <https://goo.gl/maps/Ci7VZQkoggbSaLRj8>).

أما المواد الأولية فتستخدم صخور تكوين فتحة (عمر المايوسين الاوسط Middle Miocene) بما فيها الصخور الجيرية والطينية وصخور الجبس لإنتاج الأسمنت. إذ تُستثمر الصخور الجيرية الواقعة في منطقة طقطق التابعة لناحية حمام العليل قرب قرية العريج جنوبي مدينة الموصل، والصخور الطينية من منطقة جهوني الواقعة بين قرية منيرة والخربة في الجنوب الشرقي لمدينة الموصل. أما صخور الجبس، فتقع جنوب مقالع منطقة طقطق، وتُستعمل أكاسيد الحديد المتمثلة بمخلفات راسب حديد الحسينيات (تراب الحديد) (العجيل وحمودي، 1990 ; كلي، 2006).

تم جمع 23 نموذجاً (9 نماذج أسمنت مقاوم للكبريتات، 7 نماذج أسمنت آبار النفط صنف B، 7 نماذج أسمنت آبار النفط صنف G، أُخذت من خزانات الأسمنت) من خط إنتاج معمل الحدباء وعلى مدى 4 أشهر

والموضحة تفصيلها في الجدول (1). جمعت النماذج بمساعدة معاونة السمنت الشمالية وإدارة المعمل المذكور، وكانت الكميات المأخوذة بين 5-7 كغم للنموذج الواحد.

الجدول 1: معلومات عن نماذج الدراسة الحالية المأخوذة من معمل اسمنت الحدباء.

رقم النموذج	تاريخ اخذ النموذج	نوع النموذج
CM7-1	10/7/2019	الأسمنت المقاوم للكبريتات Sulphate resistance cement
CM7-2	22/7/2019	
CM8-1	4/8/2019	
CM8-2	18/8/2019	
CM8-3	25/8/2019	
CM9-1	5/9/2019	
CM9-2	15/9/2019	
CM9-3	22/9/2019	
CM10-1	3/10/2019	
CB7-1	10/7/2019	أسمنت آبار النفط صنف B Oil-well cement class B
CB7-2	22/7/2019	
CB8-1	4/8/2019	
CB8-2	25/8/2019	
CB9-1	5/9/2019	
CB9-2	22/9/2019	
CB10-1	3/10/2019	
CG7-1	10/7/2019	أسمنت آبار النفط صنف G Oil-well cement class G
CG7-2	22/7/2019	
CG8-1	4/8/2019	
CG8-2	25/8/2019	
CG9-1	5/9/2019	
CG9-2	22/9/2019	
CG10-1	3/10/2019	

### تهيئة النماذج وطرائق العمل

بعد جمع النماذج من موقع الإنتاج وبالكميات المطلوبة تم حفظها في أكياس نايلون لعزلها عن الهواء والرطوبة والتلوث ونقلها الى موقع التحليل. إن نماذج الأسمنت المأخوذة هي بشكل مسحوق ناعم ذي حبيبات أقل من 150 مايكرون، لذا لا تحتاج الى طحن. يتم إنتاج أسمنت آبار النفط في معمل الحدباء من الأسمنت المقاوم للكبريتات مع زيادة عملية الطحن للحصول على نعومة عالية أكثر من 300 م<sup>2</sup>/كغم (اتصال شخصي مع مسؤول السيطرة النوعية في معمل الحدباء، 2019). تم أخذ كمية حوالي 100 غم من كل نموذج لغرض إجراء التحاليل المعدنية والكيميائية.

تم إجراء التحليل المعدني للنماذج الكلية Bulk samples لعدد من النماذج المدروسة (الأسمنت المقاوم للكبريتات وأسمنت آبار النفط صنف B و G) باستخدام جهاز حيود الأشعة السينية نوع ADX 2700 الموجود في هيئة البحث والتطوير الصناعي في بغداد/وزارة الصناعة والمعادن. وتم إجراء التحليل الكيميائي للعناصر الرئيسية والثانوية ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $SO_3$ ) لعدد من النماذج المدروسة بإستعمال جهاز الأشعة السينية الوميضية الموجود في معمل أسمنت بادوش التوسيع/معاونة السمنت الشمالية ومن نوع Minipal4، وللعناصر ( $P_2O_5$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $TiO_2$ ,  $MnO$ ,  $Cl$ ) بإستعمال جهاز XRF الموجود في المختبر الألماني/قسم علوم الأرض/كلية العلوم/جامعة بغداد ومن نوع Specro Xepos وحسب ظروف التشغيل المعتمدة في المختبر. وتم إيجاد نسبة المتبقي غير الذائب IR والفقدان بالحرق LOI ونسبة الكلس الحر FL في نماذج الأسمنت بموجب الطرائق المذكورة في الدليل الاسترشادي المرجعي (رقم 472، 1993).

تم إستحصال نتائج الفحوصات الفيزيائية لبعض نماذج الأسمنت بأنواعه الثلاثة المدروسة من المعمل قيد الدراسة والتي تم إجراءها ضمن متطلبات السيطرة النوعية على الإنتاج وبموجب متطلبات المواصفة القياسية العراقية (رقم 5، 1984) وحسب طرائق الفحص المذكورة في الدليل الاسترشادي المرجعي (رقم 198، 1990).

وتم إجراء الفحوصات (النعومة، القوام القياسي، وقت التجمد، الثبات، وقوة الانضغاط) باستخدام أجهزة القياس المتوفرة في معمل أسمنت الحدباء. وتم إستحصال نتائج الفحوصات الفيزيائية لبعض نماذج أسمنت آبار النفط صنف B و G المدروسة من معمل الحدباء والتي تم اجراءها ضمن متطلبات السيطرة النوعية على الإنتاج وبموجب المتطلبات وطرائق الفحص المذكورة في مواصفات معهد النفط الأمريكي (API 10A, 2010). وتم إجراء الفحوصات (نسبة ماء الخلط، كثافة المعجون، وقت التثخين، محتوى المائع الحر، قوة الانضغاط، وكثافة الأسمنت الجافة) باستخدام أجهزة القياس المتوفرة في مختبرات شركة نفط الشمال في مدينة كركوك/وزارة النفط.

### حساب بعض المعاملات الكيميائية والمحتوى الكمي للأطوار المعدنية الرئيسية

تم حساب بعض المعاملات الكيميائية لنماذج الأسمنت بأنواعه الثلاثة المدروسة وهي:

#### 1- عامل الاشباع الكلسي Lime saturation factor:

تم إعتقاد الصيغة المذكورة في المواصفة القياسية العراقية (رقم 5، 1984) وحسب الآتي:

$$LSF = \frac{100(CaO - 0.7 SO_3)}{2.8SiO_2 + 1.2 Al_2O_3 + 0.65Fe_2O_3}$$

#### 2- معامل السليكا Silica Modulus:

تم إعتقاد الصيغة المذكورة من قبل (Kohlhaas et al., 1983; Hewlett and Liska, 2019) والمتمثلة بالآتي:

$$SM = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

#### 3- معامل الالومينا Alumina Modulus:

تم إعتقاد الصيغة المذكورة من قبل (Kohlhaas et al., 1983; Hewlett and Liska, 2019) والمتمثلة بالآتي:

$$AM = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

#### 4- مكافئ القلويات (الصوديوم) Alkalis Equivalent:

تم إعتقاد الصيغة المذكورة من قبل (Schafer, 1987; Barnes and Bensted, 2002) والمتمثلة بالآتي:

$$Alkalis Equivalent (AEQ) = Na_2O + 0.659 K_2O$$

#### 5- نسبة الطور السائل Liquid phase:

تم إعتقاد الصيغة المذكورة من قبل (Lea, 1956; Hewlett and Liska, 2019) والمتمثلة بالآتي:

$$\text{If } AM (Al_2O_3/Fe_2O_3) > 0.64$$

$$\% LQP \text{ at } 1450 \text{ } ^\circ\text{C} = 3 Al_2O_3 + 2.25 Fe_2O_3 + MgO + K_2O + Na_2O + SO_3$$

تم حساب المحتوى الكمي للأطوار المعدنية الرئيسية في نماذج الأسمنت المدروسة وحسب معادلات طريقة Bogue والمذكورة من قبل (Lea, 1956; Aitcin, 2008; Hewlett and Liska, 2019) والمتمثلة بالمعادلات الآتية:

**Bogue's potential composition, If AM (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) > 0.64**

$$C3S (Ca_3SiO_5) = 4.071(CaO\text{-Free lime}) - 7.6 SiO_2 - 6.718Al_2O_3 - 1.43Fe_2O_3 - 2.852 SO_3 \quad (1)$$

$$C2S (Ca_2SiO_4) = 2.867 SiO_2 - 0.754 C3S \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{C3A (Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6) = 2.65 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 1.692 \text{ Fe}_2\text{O}_3 \dots (3)$$

$$\text{C4AF (Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}) = 3.043 \text{ Fe}_2\text{O}_3 \dots (4)$$

$$\text{Gypsum \%} = 2.15 \text{ SO}_3 \dots (5)$$

تم حساب المعاملات الكيميائية والمحتوى الكمي للأطوار المعدنية الرئيسية المذكورة آنفاً بإستعمال نتائج التحليل الكيميائي لنماذج الأسمنت المدروسة والموضحة في الجدول (2). ويوضح الجدول (3) قيم المعاملات الكيميائية ومحتوى الأطوار المعدنية الرئيسية المحسوبة ومعدلاتها لنماذج الأسمنت المدروسة.

الجدول 2: محتوى ومعدلات أكاسيد العناصر الرئيسية والثانوية وبعض المكونات الثانوية (wt%) في عدد من نماذج الأسمنت المقاوم للكبريتات وأسمنت آبار النفط صنف B و G للدراسة الحالية.

Sample No.	Sulfate Resistant cement					Oil-well cement Class B				
	CM 7-1	CM 8-1	CM 9-1	CM 10-1	Average	CB 7-1	CB 8-1	CB 9-1	CB 10-1	Average
SiO <sub>2</sub>	19.73	19.72	19.56	19.73	19.69	19.68	19.62	19.79	19.78	19.72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.52	5.46	5.50	5.46	5.48	5.50	5.49	5.54	5.52	5.51
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.08	6.49	5.41	5.28	5.82	6.29	6.06	6.15	5.80	6.07
CaO	58.86	58.29	58.37	58.67	58.55	58.84	58.59	58.68	58.93	58.76
MgO	3.60	3.60	3.56	3.64	3.60	3.65	3.62	3.58	3.59	3.61
SO <sub>3</sub>	2.25	2.30	2.26	2.28	2.27	2.23	2.19	2.27	2.17	2.22
Na <sub>2</sub> O	1.18	1.58	1.47	1.49	1.43	1.12	1.17	1.54	1.26	1.27
K <sub>2</sub> O	0.21	0.18	0.26	0.29	0.23	0.20	0.18	0.19	0.28	0.21
TiO <sub>2</sub>	0.34	0.34	0.34	0.31	0.33	0.34	0.32	0.33	0.33	0.33
MnO	0.29	0.32	0.23	0.21	0.26	0.30	0.28	0.30	0.19	0.27
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06	0.06
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
LOI	1.87	1.65	2.98	2.58	2.27	1.79	2.41	1.57	2.08	1.96
Total (Recal.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
IR	0.28	0.43	1.06	1.09	0.72	0.72	0.57	0.90	0.44	0.66
FL	0.90	1.01	0.95	0.84	0.93	0.73	0.90	0.78	0.78	0.80

يتبع جدول (2)

Sample No.	Oil-well cement Class G				
	CG 7-1	CG 8-1	CG 9-1	CG 10-1	Average
SiO <sub>2</sub>	19.67	19.86	19.64	19.83	19.75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.51	5.58	5.47	5.53	5.52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.21	6.02	6.31	5.82	6.09
CaO	58.52	59.39	58.45	58.90	58.81
MgO	3.59	3.65	3.60	3.61	3.61
SO <sub>3</sub>	2.29	2.27	2.26	2.28	2.28
Na <sub>2</sub> O	1.43	1.06	1.35	1.51	1.34
K <sub>2</sub> O	0.19	0.09	0.19	0.24	0.18
TiO <sub>2</sub>	0.37	0.36	0.34	0.34	0.35
MnO	0.30	0.27	0.30	0.26	0.28
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
LOI	1.86	1.38	2.02	1.61	1.72
Total (Recal.)	100	100	100	100	100
IR	0.58	0.56	0.74	0.95	0.71
FL	0.78	0.84	0.73	0.78	0.78

الجدول 3: قيم المعاملات الكيميائية ومحتوى الأطوار المعدنية الرئيسية المحسوبة ومعدلاتها لنماذج الأسمنت المقاوم للكبريتات (CM) وأسمنت أبار النفط صنف B و G و (CB و CG) للدراسة الحالية.

Const. or Ratio Sample No.	C3S %	C2S %	C3A %	C4AF %	Gyp %	LQP %	AEQ %	LSF %	SM	AM
CM7-1	33.8	31.1	4.3	18.5	4.8	37.5	1.3	87	1.7	0.9
CM8-1	30.8	33.3	3.5	19.7	5	38.6	1.7	86	1.7	0.8
CM9-1	34	30.5	5.4	16.5	4.9	36.2	1.6	88	1.8	1
CM10-1	34.7	30.4	5.5	16.1	4.9	36	1.7	88	1.8	1
Average	33.3	31.3	4.7	17.7	4.9	37.1	1.6	87	1.8	0.9
CB7-1	34.7	30.3	3.9	19.1	4.8	37.9	1.3	87	1.7	0.9
CB8-1	34	30.7	4.3	18.4	4.7	37.3	1.3	87	1.7	0.9
CB9-1	32.8	32	4.3	18.7	4.9	38	1.7	86	1.7	0.9
CB10-1	34.8	30.4	4.8	17.6	4.7	36.9	1.4	87	1.8	1
Average	34.1	30.9	4.3	18.5	4.8	37.5	1.4	87	1.7	0.9
CG7-1	33.1	31.4	4.1	18.9	4.9	38	1.6	87	1.7	0.9
CG8-1	34.9	30.7	4.6	18.3	4.9	37.4	1.1	87	1.7	0.9
CG9-1	33.5	31.1	3.8	19.2	4.9	38	1.5	87	1.7	0.9
CG10-1	33.9	31.3	4.8	17.7	4.9	37.3	1.7	87	1.8	1
Average	33.9	31.1	4.3	18.5	4.9	37.7	1.5	87	1.7	0.9

## النتائج والمناقشة

### الدراسة المعدنية

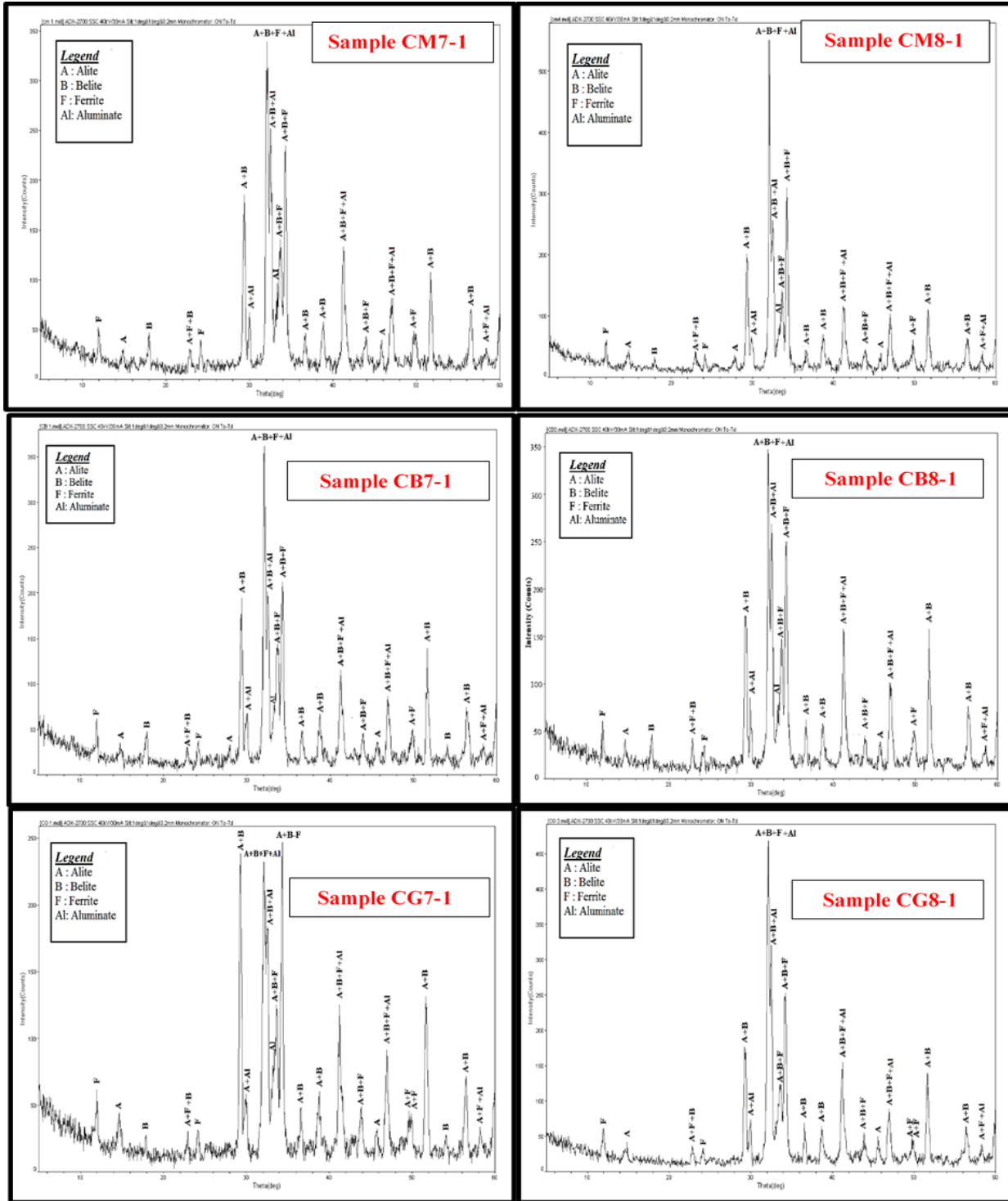
يوضح الشكل (2) مخططات حيود الأشعة السينية لإنعكاسات الأطوار المعدنية الرئيسية لتحليل النموذج الكلي Bulk sample لبعض نماذج الدراسة (الأسمنت المقاوم للكبريتات وأسمنت أبار النفط صنف B و G)، تم تشخيص الأطوار المعدنية الرئيسية للنماذج اعتماداً على بيانات (Lea, 1970). وتبين أن نماذج الأسمنت بأنواعها الثلاثة تتشابه في محتواها المعدني وأن الاختلاف هو في نسبة الأطوار المعدنية لتباين شدة Intensity ذرواتها، وتم تمييز الأطوار المعدنية الرئيسية وهي: طور الألايت C3S النوع غير النقي ذو النظام البلوري الثلاثي والنوع النقي ذو النظام البلوري الأحادي الميل، وطور البيلايت C2S، إذ تم تمييز الأشكال ( $\beta$ ,  $\alpha$  and  $\bar{\alpha}$ )، وطور الألومينيت نوع (C3A and C12A7) ذو النظام البلوري المكعبي والنوع القلوي المحتوي على Na ذي النظام البلوري المعيني القائم، وكذلك طور الفيرايت نوع (C4AF and C2F) ذي النظام البلوري المعيني القائم.

### الدراسة الكيميائية

يوضح الجدول (2) محتوى العناصر الرئيسية والثانوية وبعض المكونات الثانوية ومعدلاتها لنماذج الدراسة الحالية، ويلاحظ أن محتوى معظم العناصر الرئيسية والثانوية متقاربة بين نماذج النوع الواحد المأخوذة خلال فترة النمذجة، علاوة على وجود تقارب بين معدلات محتوى العناصر بين الأنواع الثلاثة من الأسمنت، إذ أوضحت الدراسة المعدنية وجود تشابه في المحتوى المعدني بين نماذج النوع الواحد من الأسمنت والاختلاف هو في نسبة وجود هذه الأطوار. وهذا التقارب يشير إلى وجود استقرار نوعاً ما في المحتوى الكيميائي للأسمنت المنتج في معمل الحدباء وكذلك يؤكد إنتاج أسمنت أبار النفط من الأسمنت المقاوم للكبريتات المنتج في المعمل المذكور.

ومن خلال مقارنة المحتوى الكيميائي للنماذج المدروسة ومعدلاتها الموضحة في الجدول (2) مع مواصفات الأسمنت المقترحة من قبل الباحثين (Kohlhaas et al., 1983; Aitcin, 2008) والموضحة في الجدول (4)، تبين أن المحتوى الكيميائي لنماذج الأسمنت المدروسة يقع ضمن مديات المواصفات المذكورة باستثناء محتوى CaO يكون دون الحد الأدنى المطلوب، وهذا قد يشير إلى عدم إغتناء مزيج المواد الخام بالمحتوى الأمثل المطلوب للكلس. ومن الجدير ذكره أن الأسمنت بأنواعه الثلاثة المدروسة ينتج في معمل الحدباء وفق المتطلبات الكيميائية والمعدنية للمواصفة القياسية العراقية (رقم 5، 1984) والمعدلة لعام (2019) والموضحة في الجدول (5). وعند مقارنة نتائج التحليل الكيميائي لنماذج الأسمنت المدروس بالحدود العليا للمواصفات المطلوبة ولمحتوى (MgO, SO<sub>3</sub>, LOI, IR, Cl) يتبين أن جميع القيم مطابقة لحدود هذه المواصفة المذكورة.





الشكل 2: مخططات حيود الأشعة السينية لإنعكاسات الأطوار المعدنية الرئيسية لبعض نماذج (الأسمنت المقاوم للكبريتات CM، أسمنت آبار النفط صنف B و G) في الدراسة الحالية.

تشير نتائج حساب بعض المعاملات الكيميائية لنماذج الأسمنت المدروسة والمذكورة في الجدول (3) إلى عدم وجود تغير كبير في قيم معظم المعاملات بين نماذج النوع الواحد للنماذج المأخوذة خلال فترة النمذجة وكذلك وجود تقارب بين معدلات هذه المعاملات لأنواع الثلاثة من الأسمنت، وهذا يؤكد وجود إستقرار نسبي في المحتوى الكيميائي للأسمنت المنتج في معمل الحدياء. حددت المواصفة القياسية العراقية (رقم 5، 1984) والموضحة في الجدول (5) قيمة عامل الإشباع الكلي لSF للأسمنت بين 66-102%، ويلاحظ أن قيم هذا العامل للنماذج المدروسة تقع ضمن الحدود المطلوبة للمواصفة المذكورة.

الجدول 4: مواصفات المحتوى الكيميائي للأسمنت البورتلندي المقترحة من قبل بعض الباحثين.

Range Constituent wt%	Portland cement
	Kohlhaas et al., 1983 and Aitcin, 2008
SiO <sub>2</sub>	18 — 24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4 — 8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1 — 8
CaO	60 — 69
MgO	< 5
SO <sub>3</sub>	< 3
Na <sub>2</sub> O	—
K <sub>2</sub> O	—
Na <sub>2</sub> O+ K <sub>2</sub> O	< 2
L.O.I	—

الجدول 5: المتطلبات الكيميائية والمعدنية للأسمنت المقاوم للكبريتات حسب المواصفة القياسية العراقية رقم (5).

المواصفة القياسية العراقية رقم (5) المعدلة لسنة 2019	المواصفة القياسية العراقية رقم (5) لسنة 1984	رقم المواصفة وسنة التعديل الخواص (المتطلبات)
-	1.02-0.66	عامل الإشباع الكلسي
5	5	محتوى أكسيد المغنيسيوم % الحد الأعلى
	2.5	محتوى ثالث أكسيد الكبريت % الحد الأعلى عندما تكون
	2.5	الوميئات ثلاثي الكالسيوم: a- أقل من 5% b- أكثر من 5%
2.5		محتوى ثالث أكسيد الكبريت % الحد الأعلى عندما تكون
2.5		الوميئات ثلاثي الكالسيوم: a- أقل من 3.5% b- أكثر من 3.5%
4	4	الفقدان بالحرق % الحد الأعلى
1.5	1.5	المواد المتبقية غير الذاتية % الحد الأعلى
0.1	-	محتوى الكلوريد % الحد الأعلى
3.5	3.5	محتوى الوميئات ثلاثي الكالسيوم % الحد الأعلى
		(-) تعني غير محدد في المواصفة.

أشار (Duda, 1984) إلى أن معامل السليكا يجب أن تكون قيمته 2.1 كحد أدنى، وأما معامل الألومينا فيجب أن تكون قيمته 0.7 كحد أدنى في حالة إنتاج الأسمنت المقاوم للكبريتات. وبمقارنة نتائج النماذج المدروسة بالحدود المذكورة، فإن قيم معامل السليكا تكون أقل من الحد المطلوب بفارق قليل، أما قيم معامل الألومينا، فتكون مطابقة للحد المذكور آنفاً. أما مكافئ القلويات (الصوديوم) فقد حدد عدد من الباحثين (Schafer, 1987; ASTM C150, 2007; Hewlett and Liska, 2019) بأن لا تتجاوز قيمته عن 0.6%، ويلاحظ أن نتائج هذا المعامل للنماذج المدروسة تكون غير مطابقة للحد المذكور، لإحتواء المواد الخام على القلويات ووجود خلل في تشغيل وحدة المجرى الجانبي للتقليل من القلويات المتطايرة أثناء الحرق، وكذلك احتمالية التلوث من الفرن أو الجبس المضاف. وحدد (Aitcin, 2008) أن تكون نسبة الطور السائل بين 20-28%، لذا فإن نتائج حساب هذا المعامل لنماذج الأسمنت المدروسة تكون أكثر من الحدود المطلوبة، لأن الأسمنت المدروس أسمنت مقاوم للكبريتات ويتطلب إنتاجه إضافة خامات الحديد التي تعمل كمادة مصهره flux، وهذا يؤدي إلى زيادة نسبة الطور السائل أثناء الحرق.

يلاحظ من الجدول (3) وجود تباين قليل في نتائج حساب محتوى الأطوار المعدنية الرئيسية بين نماذج النوع الواحد من الأسمنت وبين معدلات الأنواع الثلاثة من الأسمنت. وحدد العديد من الباحثين مواصفات لمحتوى هذه الأطوار في الأسمنت الأعتيادي وهي لا تتوافق مع نتائج دراستنا الحالية لكون الأسمنت المدروس هو أسمنت مقاوم للكبريتات. وحيث أن هذا الأسمنت ينتج وفق المواصفة القياسية العراقية (رقم 5، 1984) والمعدلة لعام (2019) فقد حددت هذه المواصفة نسبة طور C3A في الأسمنت المقاوم للكبريتات ألا تزيد عن 3.5% ولم تحدد الأطوار الأخرى، لذا فإن نتائج حساب هذا الطور للنماذج المدروسة تكون غير مطابقة للحد المطلوب.

## الخواص الفيزيائية

يعرض الجدول (6) نتائج ومعدلات الفحوصات الفيزيائية لنماذج الأسمنت بأنواعه الثلاثة المدروسة حيث يتضمن الخواص الفيزيائية بموجب المتطلبات الفيزيائية للمواصفة القياسية العراقية (رقم 5، 1984). وتظهر النتائج وجود تقارب بين قيم قوة الإنضغاط بعمر 3 و7 أيام بين نماذج النوع الواحد للأسمنت المدروس. وكذلك وجود تقارب بين معدلات نتائج خواص النعومة بطريقة المناخل ونسبة الماء المضاف والثبات وقوة الإنضغاط لعمر 3 و7 أيام للأنواع الثلاثة من الأسمنت، بينما تزداد معدلات النعومة بطريقة بلين ويقل وقت التجمد الابتدائي والنهائي للأسمنت المقاوم مقارنة بأسمنت الآبار، فالنعومة العالية تقلل من الوقت اللازم للتجمد (Hewlett and Liska, 2019).

الجدول 6: نتائج ومعدلات الفحوصات الفيزيائية لنماذج الأسمنت بأنواعه الثلاثة للدراسة الحالية.

Physical Test Sample No.	Fineness		Water/Cement ratio (%)	Setting time		Soundness by Autoclave (%)	Compressive strength in (MN/m <sup>2</sup> ) of age	
	Blaine (m <sup>2</sup> /Kg)	Passing through sieve No. 200 (75µm) %		Initial (min)	Final (hour)		3day CS3	7day CS7
CM7-1	431	93	28	90	3:00	0.04	30	40
CM8-2	421	92	30	70	2:10	0.08	28	38
CM9-2	360	94	26.5	140	4:30	0.07	29	38
CM10-1	431	89	27.5	150	4:50	0.09	29	40
Average	411	92	28	113	3:38	0.07	29	39
CB7-1	324	93	27.5	150	4:40	0.07	30	38
CB8-1	349	97	27.3	140	4:45	0.03	33	40
CB9-1	325	90	24.5	130	4:30	0.08	30	38
CB10-1	396	91	26.3	120	4:10	0.08	30	40
Average	349	93	26	135	4:31	0.07	31	39
CG7-1	324	88	28	155	4:50	0.03	27	38
CG8-1	313	96	27.5	155	4:50	0.04	30	40
CG9-1	316	92	28	100	3:20	0.09	28	39
CG10-1	298	90	25	130	4:20	0.09	29	40
Average	313	91	27	135	4:20	0.06	29	39

وعند مقارنة نتائج الخواص الفيزيائية في الجدول (6) بحدود المتطلبات الفيزيائية للمواصفة القياسية العراقية (رقم 5، 1984) والموضحة في الجدول (7)، نلاحظ أن النتائج مطابقة للحدود المطلوبة. وحيث أن المواصفة المذكورة لم تتضمن حدوداً لوقت التجمد النهائي، إلا أن نفس المواصفة المعدلة لعام 2019 تضمنت حدوداً له، لذا فالنتائج مطابقة لهذه الحدود. أما نتائج النعومة بطريقة المناخل فقد أشار بعض الباحثين إلى أن النسبة المئوية للمواد المارة من منخل رقم 200 لا تقل عن 95% (Barron and Johnson, 2010; Hewlett and Liska, 2019).

## أسمنت آبار النفط

لغرض تقييم مدى إستيفاء نماذج أسمنت آبار النفط صنف B و G للدراسة الحالية للمتطلبات الكيميائية والفيزيائية لمواصفات معهد النفط الأمريكي (API 10A, 2010)، تتم مقارنة نتائج التحاليل الكيميائية والفحوصات الفيزيائية بالحدود المطلوبة في المواصفة المذكورة.

الجدول 7: المتطلبات الفيزيائية للمواصفة القياسية العراقية رقم (5، 1984) للأسمنت المقاوم للأملاح الكبريتية.

متطلبات الأسمنت المقاوم للأملاح الكبريتية	الخواص الفيزيائية
250	النعومة بطريقة (Blaine) لا تقل عن (م <sup>2</sup> /كغم)
45	وقت التماسك مقياس بجهاز (Vicat)
—	(a) الابتدائي - لا يقل عن (دقيقة) (b) النهائي - لا يزيد على (ساعة)
0.8	السلامة (الثبات) بطريقة المحمم لا تزيد على (%)
15	تحمل الضغط لا يقل عن (ميكا نيوتن/م <sup>2</sup> )
23	1. بعمر ثلاثة ايام 2. بعمر سبعة ايام
—	تحمل الشد (فحص اختياري) بعمر يوم واحد لا يقل عن (ميكا نيوتن/م <sup>2</sup> )

### المتطلبات الكيميائية

يوضح الجدول (8) نتائج ومعدلات التحاليل الكيميائية ومحتوى بعض الأطوار المعدنية الرئيسية لنماذج أسمنت آبار النفط صنف B و G قيد الدراسة وحسب متطلبات مواصفات معهد النفط الأمريكي المذكورة آنفاً. حيث يلاحظ تقارب معدلات نتائج التحليل الكيميائي لأسمنت آبار النفط بين صنف B و G. ومن خلال مقارنة هذه النتائج الموضحة في الجدول (8) بحدود المواصفات المطلوبة للمتطلبات الكيميائية لأسمنت آبار النفط (نوع معتدل المقاومة للكبريتات MSR وعالي المقاومة للكبريتات HSR ولصنف B و G) وبموجب مواصفات معهد النفط الأمريكي (API 10A, 2010) والموضحة في الجدول (9)، نلاحظ أن قيم (MgO, SO<sub>3</sub>, LOI, IR) لنماذج أسمنت آبار النفط صنف B و G المدروسة ومعدلاتها تكون مطابقة للمواصفات المذكورة وللنوعين من الأسمنت MSR و HSR بإستثناء قيم IR للنموذج CB9-1 لأسمنت الآبار صنف B وللنموذج CG10-1 لأسمنت الآبار صنف G تكون غير مطابقة وأكثر من الحدود المطلوبة. أما محتوى طور C3S لنماذج أسمنت الآبار صنف G ومعدلاتها فهي غير مطابقة وأقل من الحدود الدنيا للمواصفات المذكورة وللنوعين MSR و HSR. ويلاحظ أن محتوى طور C3A لنماذج أسمنت الآبار صنف B و G ومعدلاتها تكون مطابقة لمواصفات الأسمنت نوع MSR وغير مطابقة لمواصفات الأسمنت نوع HSR. أما محتوى C4AF+2C3A لنماذج أسمنت الآبار صنف B و G ومعدلاتها فهي غير مطابقة وأكثر من الحدود المطلوبة للأسمنت نوع HSR. وكذلك فإن محتوى Na<sub>2</sub>O<sub>EQ</sub> لنماذج أسمنت آبار صنف G ومعدلاتها تكون غير مطابقة وأكثر من الحدود المطلوبة للأسمنت نوع MSR و HSR.

الجدول 8: نتائج ومعدلات التحاليل الكيميائية لنماذج أسمنت آبار النفط صنف B و G المدروسة وبموجب متطلبات مواصفات معهد النفط الأمريكي (API 10A, 2010).

Oil well cement class No. of sample	Iraqi oil well cement Class B					Iraqi oil well cement Class G				
	CB 7-1	CB 8-1	CB 9-1	CB 10-1	Average	CG 7-1	CG 8-1	CG 9-1	CG 10-1	Average
<b>Chemical Requirements %</b>										
<b>Magnesium oxide (MgO)</b>	3.65	3.62	3.58	3.59	3.61	3.59	3.65	3.60	3.61	3.61
<b>Sulfur trioxide (SO<sub>3</sub>)</b>	2.23	2.19	2.27	2.17	2.22	2.29	2.27	2.26	2.28	2.28
<b>Loss on ignition (LOI)</b>	1.79	2.41	1.57	2.08	1.96	1.86	1.38	2.02	1.61	1.72
<b>The insoluble residue (IR)</b>	0.72	0.57	0.90	0.44	0.66	0.58	0.56	0.74	0.95	0.71
<b>Tricalcium silicate (C3S)</b>	34.7	34	32.8	34.8	34.1	33.1	34.9	33.5	33.9	33.9
<b>Tricalcium aluminate (C3A)</b>	3.9	4.3	4.3	4.8	4.3	4.1	4.6	3.8	4.8	4.3
<b>Tetracalcium aluminoferrite (C4AF) plus twice the Tricalcium aluminate (C3A)</b>	26.9	27	27.3	27.2	27.1	27.1	27.5	26.8	27.3	27.2
<b>Total alkali content expressed as sodium oxide (Na<sub>2</sub>O) equivalent</b>	1.3	1.3	1.7	1.4	1.4	1.6	1.1	1.5	1.7	1.5

أما محتوى طور الألايت لأسمنت الآبار صنف B ولنوع MSR و HSR ومحتوى C4AF+2C3A لأسمنت الآبار صنف B و G نوع MSR وكذلك محتوى Na<sub>2</sub>OEQ لأسمنت الآبار صنف B نوع MSR و HSR، لم تتضمن المواصفات حدوداً مطلوبة لهم. ومما تقدم، تبين أن نتائج النماذج المدروسة لأسمنت آبار النفط صنف B و G مطابقة للمتطلبات الكيميائية لمواصفات معهد النفط الأمريكي وللنوع معتدل المقاومة للكبريتات MSR بإستثناء محتوى C3S و Na<sub>2</sub>OEQ لنماذج أسمنت آبار النفط صنف G غير مطابقة للحدود المطلوبة.

الجدول 9: المواصفات الكيميائية لأسمنت آبار النفط نوع MSR و HSR لصنف B و G بموجب متطلبات مواصفات معهد النفط الأمريكي (API 10A, 2010).

Oil Well Cement Grade and Class	Moderate sulfate- resistant grade (MSR)		High sulfate- resistant grade (HSR)	
	Class B	Class G	Class B	Class G
Chemical Requirements %				
Magnesium oxide (MgO) (max.)	6	6	6	6
Sulfur trioxide (SO <sub>3</sub> ) (max.)	3	3	3	3
Loss on ignition (max.)	3	3	3	3
The insoluble residue (max.)	0.75	0.75	0.75	0.75
Tricalcium silicate (C3S)	maximum	NR	58	NR
	minimum	NR	48	NR
Tricalcium aluminate (C3A), (max.)	8	8	3	3
Tetracalcium aluminoferrite (C4AF) plus twice the Tricalcium aluminate (C3A) (max.)	NR	NR	24	24
Total alkali content expressed as sodium oxide (Na <sub>2</sub> O) equivalent, (max.)	NR	0.75	NR	0.75
• NR indicates "no requirement"				

### المتطلبات الفيزيائية

يوضح الجدول (10) نتائج ومعدلات الفحوصات الفيزيائية لنماذج أسمنت آبار النفط صنف B و G التي قيد الدراسة وحسب متطلبات مواصفات معهد النفط الأمريكي المذكورة آنفاً، حيث تشير هذه النتائج الى وجود تباين بين نتائج نماذج الصنف الواحد لبعض الخواص ووجود تقارب لبعض الخواص الأخرى. وعند مقارنة نتائج الفحوصات الفيزيائية الموضحة في الجدول (10) بحدود المواصفات المطلوبة للمتطلبات الفيزيائية لأسمنت آبار النفط صنف B و G لمواصفات معهد النفط الأمريكي (API 10A, 2010) والموضحة في الجدول (11)، نلاحظ أن قيم معظم الخواص الفيزيائية لنماذج أسمنت آبار النفط صنف B و G للدراسة الحالية مطابقة لحدود المواصفات المطلوبة بإستثناء خاصية وقت التثخين لنموذج 4 من أسمنت الآبار صنف B وكذلك النموذج 3 و 4 من أسمنت الآبار صنف G تكون غير مطابقة وأقل من الحد الأدنى المطلوب بالمواصفة. كما أن مواصفات معهد النفط الأمريكي لم تتضمن حدوداً لمواصفات خاصية النعومة لأسمنت الآبار صنف G، وكثافة المعجون لأسمنت الآبار صنف B و G، ومحتوى المائع الحر لأسمنت الآبار صنف B، وكذلك كثافة الاسمنت الجاف لأسمنت الآبار صنف B و G.

وقد أشار (Lavrov and Torsaeter, 2016; Hewlett and Liska, 2019) الى أن كثافة معجون الأسمنت تتراوح بين 1.38-2.28 غم/سم<sup>3</sup>، أما كثافة الأسمنت الجافة فتبلغ كمعدل 3.15 غم/سم<sup>3</sup> (Barron and Johnson, 2010; Hewlett and Liska, 2019). ومما تقدم، تبين أن نتائج نماذج أسمنت آبار النفط صنف B و G للدراسة الحالية مطابقة للمتطلبات الفيزيائية لمواصفات معهد النفط الأمريكي بإستثناء وقت التثخين لنماذج أسمنت آبار النفط صنف G غير مطابقة للحدود المطلوبة.

الجدول 10: نتائج ومعدلات الفحوصات الفيزيائية لنماذج أسمنت آبار النفط صنف B و G في الدراسة الحالية وبموجب متطلبات مواصفات معهد النفط الأمريكي (API 10A, 2010).

Oil Well Cement Class and No. of Sample	Iraqi oil well cement Class B					Iraqi oil well cement Class G				
	1	2	3	4	Average	1	2	3	4	Average
Physical Requirements %										
Mix Water (W/C) %	46	46	46	46	46	44	44	44	44	44
Fineness (Blaine) (m <sup>2</sup> /kg)	324	349	325	396	349	324	313	316	298	313
Slurry Density, gr/cc	1.87	1.86	1.87	1.86	1.87	1.89	1.89	1.87	1.88	1.88
Thickening time test (at 45 °C, 26.7 MPa) min.	139	114	95	85	108					
Thickening time test (at 52 °C, 35.6 MPa) min.						113	98	63	80	89
Free fluid content, %	1	0	0.9	0	0.5	2.7	1.3	0	0	1
Compressive strength test (Curing in 8 h at 38 °C under atm.) MPa	5	5.7	5	5.2	5.2	3.8	5.6	8.2	5.1	5.7
Compressive strength test (Curing in 8 h at 60 °C under atm.) MPa						10.5	11	14.6	13.2	12.3
Compressive strength test (Curing in 24 h at 38 °C under atm.) MPa	10.7	11.6	11.3	11.9	11.4					
Dry cement density, gr/cc	3.16	3.16	3.20	3.16	3.17	3.15	3.18	3.15	3.17	3.16

الجدول 11: المواصفات الفيزيائية لأسمنت آبار النفط صنف B و G بموجب متطلبات مواصفات معهد النفط الأمريكي (API 10A, 2010).

Oil-Well Cement Class	Oil-well cement Class B		Oil-well cement Class G	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Physical Requirements %				
Mix Water (w/c) %	46		44	
Fineness (Blaine) (m <sup>2</sup> /kg)	280		NR	
Slurry Density, gr/cc	NR		NR	
Thickening time test (at 45 °C, 26.7 MPa) min.	90	NR		
Thickening time test (at 52 °C, 35.6 MPa) min.			90	120
Free fluid content, %	NR	NR	NR	5.9
Compressive strength test (Curing in 8 h at 38 °C under atm.) MPa	1.4		2.1	
Compressive strength test (Curing in 8 h at 60 °C under atm.) MPa	NR		10.3	—
Compressive strength test (Curing in 24 h at 38 °C under atm.) MPa	10.3		NR	
Dry cement density, gr/cc	NR			
NR indicates "no requirement"				

### الإستنتاجات

أظهرت الدراسة المعدنية لنماذج الأسمنت المدروسة عدم وجود تغيير كبير في المحتوى المعدني بين نماذج النوع الواحد وبين الأنواع المختلفة المأخوذة خلال فترة النمذجة، وأن محتوى الأطوار المعدنية الرئيسية متشابهة والإختلاف هو في نسبة وجودها. وأوضحت الدراسة الكيميائية وجود تقارب في محتوى العناصر الرئيسية

والثانوية بين نماذج النوع الواحد للنماذج المدروسة مما يشير إلى وجود إستقرار نوعاً ما (نسبي) في محتوى الاسمنت المنتج. وان محتوى معظم هذه العناصر ومعدلاتها مطابقة لحدود المواصفات المذكورة من قبل بعض الباحثين بإستثناء بعض الاختلافات البسيطة في محتوى CaO. كما أن نتائج التحليل الكيميائي لنماذج الأسمنت المدروسة بأنواعها الثلاثة مطابقة لحدود المتطلبات الكيميائية للمواصفة القياسية العراقية (رقم 5، 1984) والمعدلة لعام (2019). أما نتائج حسابات بعض المعاملات الكيميائية (LQP, AEQ, AM, SM, LSF) للنماذج المدروسة تكون متقاربة بين نماذج النوع الواحد وبين الأنواع المختلفة وهذا يؤكد الإستقرار النسبي في محتوى الأسمنت المنتج خلال فترة النمذجة. كما أن نتائج المحتوى الكمي للأطوار المعدنية الرئيسية المحسوبة حسب معادلات Bogue لنماذج الأسمنت المدروسة تكون متقاربة وبتباين قليل بين نماذج النوع الواحد وبين الأنواع المختلفة، وأن محتوى طور C3A غير مطابق للحدود المطلوبة في المواصفة العراقية رقم (5). أما نتائج الفحوصات الفيزيائية للأسمنت بأنواعه الثلاثة فهي مطابقة لحدود المواصفات المطلوبة في المواصفة القياسية العراقية (رقم 5، 1984). علاوة على ذلك فإن نتائج تحليل نماذج أسمنت آبار النفط صنف B و G مطابقة للمتطلبات الكيميائية والفيزيائية لمواصفات معهد النفط الأمريكي (API 10A, 2010) وللنوع معتدل المقاومة للكبريتات MSR بإستثناء محتوى C3S و Na2O/EQ و وقت التثخين لنماذج أسمنت آبار النفط صنف G.

### المصادر العربية

- إتصال شخصي مع مسؤول السيطرة النوعية في معمل اسمنت الحدباء/معاونيه السمنت الشمالية/ نينوى، 2019. من خلال الزيارات المتعددة خلال فترة البحث والدراسة.
- إنجازات، منشور معاونيه السمنت الشمالية، 2019. الشركة العامة للسمنت العراقية/ وزارة الصناعة والمعادن.
- العجيل، عبد الوهاب عبد الرزاق وحمودي، نوفل عبد الرسول، 1990. دراسة إمكانية تركيز مخلفات خام حديد الحسينيات لاستخدامه في صناعة الاسمنت. دائرة المختبرات الكيميائية والتقييم المعدني/هيئة المسح الجيولوجي العراقية/ وزارة الصناعة والمعادن، 38 ص.
- المواصفة القياسية العراقية رقم 5، 1984. السمنت البورتلندي. الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية/وزارة التخطيط/جمهورية العراق، 10 ص.
- المواصفة القياسية العراقية رقم 5، المعدلة 2019. السمنت البورتلندي. الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية/وزارة التخطيط/جمهورية العراق، 10 ص.
- المواصفة القياسية العراقية رقم 2130، 2013. صناعات النفط والغاز الطبيعي-سمنت ومواد تسميت الآبار. الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية/وزارة التخطيط/جمهورية العراق، 7 ص.
- الوندائي، حسن علي حسن، 2011. تقييم صلاحية الصخور الجيرية لتكوين الفتحة لصناعة الاسمنت في مواقع مختارة من محافظة صلاح الدين. رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة تكريت، 110 ص.
- دليل استرشادي مرجعي رقم 198 لسنة 1990. الفحوص الفيزيائية للإسمنت البورتلندي. الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية/وزارة التخطيط/جمهورية العراق، 41 ص.
- دليل استرشادي مرجعي رقم 472 لسنة 1993. طرق التحاليل الكيميائية للإسمنت البورتلندي. الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية/وزارة التخطيط/جمهورية العراق، 22 ص.
- كلي، أمير حيدر، 2006. طبيعة انتشار السليكا في المواد الخام الأولية لمقالع معمل اسمنت حمام العليل وتقييم المواد الخام الأولية في المواقع البديلة، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة الموصل، 136 ص.

## المصادر الأجنبية

- Aitcin, P. C., 2008. Binders for durable and sustainable concrete. Modern Concrete Technology Series 16, Taylor and Francis Group, 500p.
- API 10A, 2010. Specification for cements and materials for well cementing. 24<sup>th</sup> ed., 48p.
- ASTM C150, 2007. Standard Specification for Portland Cement. ASTM International, 8p.
- Barnes, P. and Bensted, J., 2002. Structure and performance of cements. 2<sup>nd</sup> ed., Spon Press., 565p.
- Barron, A. R., and Johnson, D. H., 2010. Portland cement in the Energy Industry. Connexions, Rice University, Houston, Texas, 30p.
- Ghosh, S. N., 1983. Advances in cement technology: critical reviews and case studies on manufacturing, quality control, optimization, and use. Pergamon Press., 800p.
- Hewlett, P. and Liska, M., 2019. Lea's chemistry of cement and concrete. 5<sup>th</sup> ed., Butterworth-Heinemann, Elsevier Ltd., 858p.
- ISO 10426-1, 2009. Petroleum and natural gas industries cements and materials for well cementing-part 1: Specification, 3<sup>rd</sup> ed., 38p.
- Kohlhaas, B. A., Binder, U., Bomke, E., Funk, G., Klein-Albenhausen, H. K., Knofel, D., Mechtold, F., Opitz, D., Schafer, G., Schafer, H. U., Schmidt, D., Schmiedgen, G., Schneider, A., Schuberth, H., Schwake, P., SteinbiB, E. and Xeller, H., 1983. Cement engineer's handbook. Fourth English edition, originated by Otto Labahn, translated by C. Van Amerongen from the sixth German edition, Bauverlag GmbH, Wiesbaden and Berlin, 800p.
- Kosmatka, S. H. and Wilson, M., 2011. Design and Control of Concrete Mixtures: The Guide to Applications, Methods, and Materials. 15<sup>th</sup> ed., Portland cement Association, 444p.
- Lavrov, A. and Torsaeter, M., 2016. Physics and Mechanics of Primary Well Cementing, Springer Briefs in Petroleum Geoscience and Engineering. Springer International Publishing, 108p.
- Lea, F. M., 1956. The chemistry of cement and concrete. 2<sup>nd</sup> ed., Edward Arnold (Publishers) LTD., 637p.
- Lea, F. M., 1970. The Chemistry of Cement and Concrete. Chemical publishing comp. Inc., 3<sup>rd</sup> ed., New York, 727p.
- Mehta, P. K. and Monteiro, P. J., 2006. Concrete: microstructure, properties, and materials. 3<sup>rd</sup> edition, McGraw-Hill Education, 659p.



Nelson, E. B. and Guillot, D., 2006. Well Cementing. 2<sup>nd</sup> ed., Schlumberger, 773p.

Neville, A. M., 2011. Properties of concrete. 5<sup>th</sup> edition, Pearson Education Limited, 954p.

Oualit, M., Irekti, A. and Hami, B., 2018. Evaluation of performance of local cement for oil well cementing operations in Algeria. Journal of Materials and Engineering Structures, 5, pp. 5-13.

Schafer, H. U., 1987. Assessment of raw materials for the cement industry. Reprint from the journal "World Cement", Cement and Concrete Association, London, No. 7, pp. 273-283.

Shetty, M. S. and Jain, A. K., 2019. Concrete Technology (Theory and Practice). 8<sup>th</sup> ed., S. Chand and Company Limited, 636p.

Taylor, H. F. W., 1997. Cement chemistry. 2<sup>nd</sup> ed., Thomas Telford Services, Ltd., 459p.

Electric sites as References

<https://goo.gl/maps/Ci7VZQkoggbSaLRj8>