

دراسة تقييم التركيب الكيميائي لبعض أنواع الإسمنت الموجود داخل السوق الليبي

ناصر محمد أبودربالة^{1*}، أبوبكر أحمد النقاصة²، عبدالمعطي الطاهر الهماي³،
محمد أبو عجيبة علي راشد⁴

1,2,3,4 قسم الهندسة المدنية / كلية الهندسة / جامعة الزنتان / الزنتان - ليبيا

E-mail: Naser.abuderbalah@uoz.edu.ly

الملخص:

تتوزع مصانع الإسمنت في مناطق مختلفة من ليبيا ، بالإضافة إلى وجود أنواع مختلفة من الإسمنت المستورد كالإسمنت التونسي وغيره في السوق المحلي، ويعتمد التركيب الكيميائي للإسمنت البورتلاندي بالدرجة الأساس على التركيب الكيميائي للمواد الأولية الداخلة في إنتاجه، هذا وإن معرفة التركيب الكيميائي لتلك المواد يعطي معلومات أولية عن نوعية هذه المواد ومدى ملاءمتها لصناعة الإسمنت، علاوة على المكونات الأخرى كالمغنيسيوم والكبريتات والقلويات والكلوريدات التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار لما لها من تأثير على نوعية وجودة الإسمنت فضلا عن أنها تسبب بعض المشاكل التشغيلية في الفرن. وقد تم في هذه الدراسة اختيار ثلاث عينات مختلفة من الإسمنت المحلي المعروف في السوق الليبي وهي إسمنت زليتن وإسمنت المرقب وإسمنت سوق الخميس وكلها من الإنتاج المحلي، فيما تم اختيار ثلاث عينات أخرى من السوق الدولي وكلها من الإنتاج التونسي وهي: إسمنت القيروان وإسمنت قابس وإسمنت جبل الوسط. وقد تم إجراء الفحوصات الكيميائية لعينات الإسمنت المختارة والتي تضمنت إيجاد النسب المئوية للمركبات الكيميائية الرئيسية وهي : ثالث ألومينات الكالسيوم C_3A ورابع ألومينات حديد الكالسيوم C_4AF وثنائي سيليكات الكالسيوم C_2S وثلاثي سيليكات الكالسيوم C_3S الموجودة في الإسمنت، وكذلك تحديد النسبة المئوية للأكاسيد الكيميائية وهي : ثنائي أكسيد السيليكون (السيلكا) SiO_2 وثالث أكسيد الألومنيوم Al_2O_3 وثالث أكسيد الحديد FeO_3 وأكسيد الكالسيوم CaO وأكسيد الماغنسيوم MgO والكبريتات SO_3 وكذلك تم إيجاد نسبة الفقدان في الحرق $L.O.I$ وأكسيد الكالسيوم الحر $CaOF$ ، كما تم

حساب نسب كل من معامل الألومينا AM ومعامل السيلكا MS ومعامل التشبع الكلسي L.S.F . ومن خلال النتائج المتحصل عليها من هذه الدراسة تبين أن أفضل أنواع الإسمنت هو إسمنت زلتن بمقارنته بالموصفات القياسية الليبية. الكلمات الرئيسية: الإسمنت، التركيب الكيميائي للإسمنت، معاملات الإسمنت، الفحوصات الكيميائية.

Abstract:

Cement is produced in Libya in different regions, in addition to the presence of different types of imported cement, such as Tunisian cement and others. The chemical composition of Portland cement depends mainly on the chemical composition of the raw materials used in its production, and knowing the chemical composition of these materials gives preliminary information about the quality of these materials and their suitability for the cement industry, in addition to other components such as magnesia, sulfates, alkali and chlorides, which must be taken into consideration because their impact on the quality of cement as well as causing operational problems in the kiln. In this study, four different samples of cement were selected, two different samples of local cement offered in the Libyan market, which are ZLITEN cement (Libyan) and SUK ELKHAMIS cement (Libyan), and two different samples of imported cement offered in the Libyan market, namely KAIROUAN Cement (Tunisian) and JBEL OUST Cement (Tunisian). Then, chemical tests were conducted for the selected cement samples, which included finding the percentages of the main chemical compounds, which are: tri- calcium aluminate C_3A , tetra calcium luminometries C_4AF , Dicalcium silicate C_2S and tricalcium silicate C_3S , As well as the percentage of chemical oxides , (Silica) SiO_2 , alumina Al_2O_3 , iron oxide Fe_2O_3 , Lime CaO , magnesia MgO and sulfate SO_3 , as well as finding the percentage of loss of ignition LOI and free calcium oxide $CaOF$, as well as calculating the ratios each of the alumina modulus AM, the silica modulus Ms and the Lime saturation factor LSF .

المقدمة

إن الازدهار المطرد في الحضارة، والانتشار الواسع في العمران، والتزايد المستمر في السكان قد جعل من الإسمنت مادة البناء الأولى وصورة التقدم الإنشائي في العصر الحديث ورمزا لتطور العلم وتسخيره في خدمة الأغراض البشرية (المعاضيدي 2000). والإسمنت من المواد الإنشائية الأساسية اللازمة للبناء كونه يساهم مساهمة فعالة في دعم خطط التنمية وتطوير مشاريع الإعمار المختلفة كأبنية المدارس والدور السكنية والمصانع والسدود ومشاريع الطرق والجسور والخزانات مما يتطلب الاهتمام بإنتاج إسمنت ذي مواصفات عالية الجودة والذي يتطلب مواد أولية وظروف إنتاج ملائمة لصناعته تتوافق مع المواصفات القياسية الخاصة بالإسمنت (محمد وعانوس 1987) و (النوواوي 2001) . وينتج الإسمنت في ليبيا بمناطق مختلفة بالإضافة إلى وجود أنواع مختلفة من الإسمنت المستورد كالإسمنت التونسي وغيره ، ولاستمرار الجودة العالية للإسمنت من الضروري إجراء التحاليل الكيميائية والمعدنية للمواد الأولية وبشكل دوري لتحديد تركيبها الكيميائي والمعدني وبالتالي تحديد نسب الخلط لتشكيل المزيج الخام ، كذلك تحديد نوع المعادن المكونة لها لأن بعضها غير مرغوب بها كالدولومايت والكلورايت والباليكورسكايت التي تشكل مصدرا مهما لأوكسيد المغنسيوم الذي يعد مضرًا في حالة وجوده بنسبة عالية في الخلطة المغذية للفرن (عيود ومحصر 2010) . وتكمن مشكلة الدراسة البحثية في كون الإسمنت مادة انشائية أساسية ولاستمرار الجودة العالية لها من الضروري إجراء التحاليل الكيميائية وتحديد نسب المواد الكيميائية الداخلة في صناعة الإسمنت ومدى تأثير زيادة أو نقصان المكونات الأساسية على الخواص الكيميائية وحدود تغير هذه المكونات التي تحوله من نوع إلى آخر .

الاهداف

- 1- معرفة اسباب ظاهرتي التشقق والاحتراق التي تحدث للإسمنت.
- 2- دراسة التركيب الكيميائي لبعض أنواع الإسمنت المحلي والمستورد والمقارنة بينها.
- 3- التعرف على نسب المركبات الكيميائية في الإسمنت المحلي والمستورد ومقارنتها بالمواصفات القياسية الليبية.

4- التعرف على معاملات السيطرة النوعية والتي تتضمن العديد من المعاملات والتي تسمى عوامل الربط بين الأكاسيد الموجودة في مكونات الإسمنت ومعامل التشبع الكلسي .

المنهجية

استخدمنا في هذه الدراسة المنهج التجريبي، والذي يقوم على استخدام التجربة في إثبات الفروض وقد تم في هذه الدراسة اختيار ثلاث عينات مختلفة من الإسمنت المحلي المعروف في السوق الليبي وهي إسمنت زليتن وإسمنت المرطب وإسمنت سوق الخميس، فيما تم اختيار ثلاث عينات أخرى من السوق الدولي وأخص بالذكر الإسمنت التونسي وكان من أنواع الإسمنت التونسي: إسمنت القيروان وإسمنت قابس وإسمنت جبل الوسط ومن أهم فروض الدراسة:

1. تأثير بعض المواد على صفات الكلنكر قد تسبب فشل في الإسمنت الناتج.
2. ارتفاع نسب بعض المواد الكيميائية يكون تأثيره على الخرسانة مما يسبب تشقق وانهارات في الأبنية.
3. زيادة بعض المواد الكيميائية عن المسموح به تؤثر بصورة مباشرة على صفات الأطوار المعدنية حيث أن زيادتها تقلل قوة تحمل الإسمنت.

وقد تم إجراء الفحوصات الكيميائية لعينات الإسمنت المختارة والتي تضمنت إيجاد النسب المئوية للمركبات الكيميائية الرئيسية وهي : ثالث ألومينات الكالسيوم C3A ورابع ألومينات حديد الكالسيوم C4AF وثنائي سيليكات الكالسيوم C2S وثلاثي سيليكات الكالسيوم C3S الموجودة في الإسمنت ، وكذلك تحديد النسبة المئوية للأكاسيد الكيميائية وهي : تنائي أكسيد السيلكون (السيلكا) SiO2 وثالث أكسيد الألومنيوم Al2O3 وثالث أكسيد الحديد FeO3 وأكسيد الكالسيوم CaO وأكسيد المغنسيوم MgO والكبريتات SO3 وكذلك تم إيجاد نسبة فقدان في الحرق L.O.I وأكسيد الكالسيوم الحر CaO.F ، كما تم حساب نسب كل من معامل الألومينا AM ومعامل السيلكا Ms ومعامل التشبع الكلسي L.S.F .

الأجهزة والأدوات المستخدمة

فرن كهربائي، ميزان حساس، هزاز ميكانيكي، جفنة من البلاستيك

المواد الكيميائية المستخدمة

- ماء مقطر والايثيلين جلايكول

- SnCl₂- K₂Cr₂O₇- NH₄OH- NH₄Cl - H₂SO₄- NH₄NO₃-NaOH -
NH₄C₂O₄ - BaCl₂ -HCl .HgCl₂
معاملات الإسمنت

تسمى عوامل الربط بين الأكاسيد الموجودة في مكونات الإسمنت بالمعاملات (زكي 1995)
وتشمل

- معامل الألومينا M.A المواصفة : (2.5 – 1.5)
- معامل السليكا M.S المواصفة : (3.2 – 1.9)
- معامل الإشباع الجيري L.S.F المواصفة : (102 – 66)

النتائج

تم إجراء الفحوصات الكيميائية على عينات الإسمنت المحلي والمستورد وكانت النتائج
كما يلي:

جدول 1. يبين النسب المئوية المركبات الكيميائية الرئيسية في عينات أنواع الإسمنت غرض
الدراسة

C ₃ S	C ₂ S	C ₄ AF	C ₃ A	المركب الإسمنت
63.43	21.21	12.11	14.13	إسمنت زليتن
59.81	18.74	11.78	10.22	إسمنت سوق الخميس
48.92	19.35	11.91	13.99	إسمنت المرقب
47.45	22.12	9.77	9.14	إسمنت قابس
39.20	14.01	8.28	9.68	إسمنت القيروان
51.37	16.72	11.90	6.24	إسمنت جبل الوسط

جدول 2. يبين النسب المئوية معاملات الإسمنت

معامل التشبع الكلسي L.S.F	معامل السليكا Ms	معامل الألومينا AM	نوع الإسمنت
78.14	2.10	2.80	إسمنت زليتن
71.23	2.65	2.12	إسمنت سوق الخميس
82.11	2.64	2.93	إسمنت المرقب
98.83	4.18	3.11	إسمنت قابس
84.51	2.81	2.76	إسمنت القيروان
81.26	2.76	2.82	إسمنت جبل الوسط

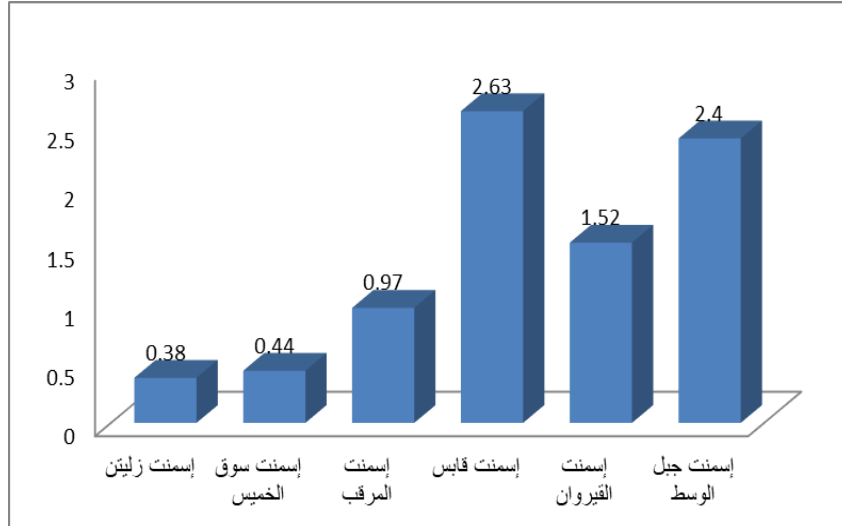
جدول 3. النسب المئوية لنتائج الفحوصات الكيميائية على أنواع الإسمنت

CaOF	L.O.i	SO3	Mg O	CaO	Fe2 O3	Al2O 3	SiO2	الإسمنت
0.82	0.38	1.8	2.82	64.04	2.76	5.41	19.5	إسمنت زلتن
0.67	0.44	0.94	2.71	63.93	3.11	4.91	20.01	إسمنت سوق الخميس
1.12	0.97	2.92	2.40	64.76	3.36	5.21	20.32	إسمنت المرقب
1.30	2.63	2.06	1.61	63.02	5.22	5.14	26.11	إسمنت قابس
0.96	1.52	2.12	1.80	66.20	3.61	6.07	18.98	إسمنت القيروان
1.56	2.4	1.96	1.23	64.66	3.56	9.72	20.73	إسمنت جبل الوسط

مناقشة النتائج

- الفقدان بالحرق:

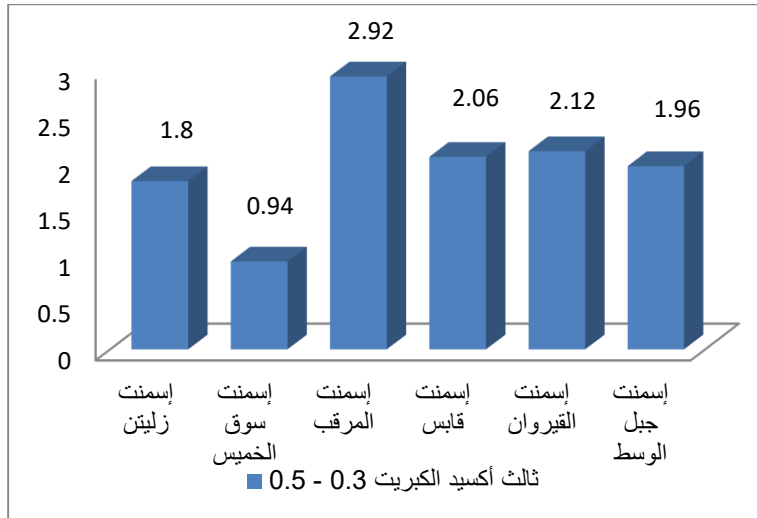
من خلال النتائج المبينة في الجدول 3 وشكل 1 تبين أن نسبة الفقدان عند الحرق في إسمنت زلتن وإسمنت سوق الخميس كانت ضمن حدود المواصفة القياسية اللببية ، أما في بقية الأنواع الأخرى وهي إسمنت المرقب وإسمنت قابس وإسمنت جبل الوسط وإسمنت القيروان فقد كانت نسبة الفقدان في الحرق مرتفعة عن الحدود المحددة في المواصفة القياسية اللببية ، و هذا راجع إلى زيادة تميؤ الكنكر الاسمنتي مما أدى إلى ارتفاع في نسبة الفقدان عند الحرق مما أدى إلى الفقدان بالحرق .



شكل 1. نسب الفقدان عند الحرق لأنواع الإسمنت غرض الدراسة

-ثالث أكسيد الكبريت SO_3 :

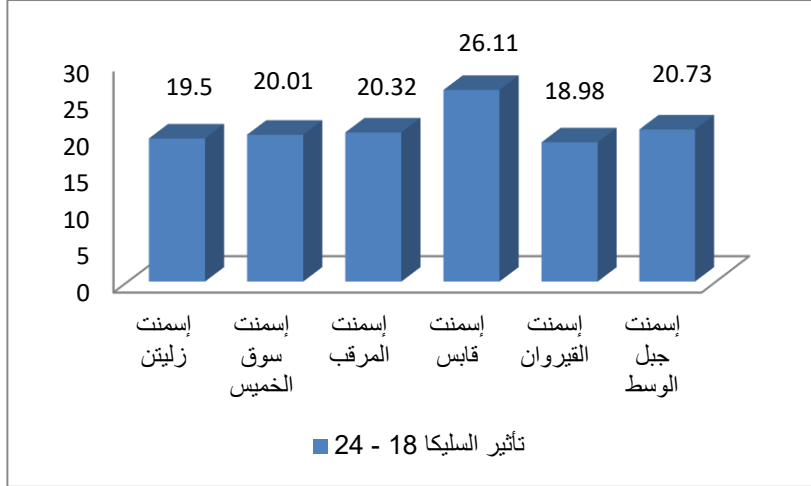
من خلال النتائج المبينة في الجدول 3 وشكل 2 تبين أن نسبة ثالث أكسيد الكبريت في جميع عينات الإسمنت كانت ضمن الحدود المحددة في المواصفة القياسية الليبية ما عدا إسمنت المرقب فقد كانت نسبته أعلى من النسب المحددة في المواصفة ، مع العلم أن الكبريتات تتفاعل مع مركبات الإسمنت وتولد مركبات حجمها البلوري أكبر من حجم المواد المتفاعلة مما يسبب زيادة في التمدد وبالتالي حدوث التشقق حيث تتخضع مقاومة الخرسانة للإبضاغاط وتسمى هذه الظاهرة بمهاجمة الأملاح الكبريتية.



شكل 2. نسب ثالث أكسيد الكبريت في عينات الإسمنت غرض الدراسة

-تأثير السيلكا SiO_2 :

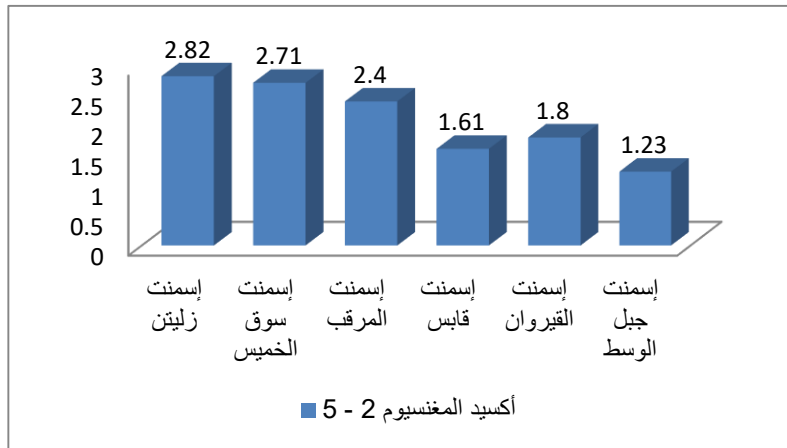
من خلال النتائج المبينة في الجدول 3 وشكل 3 المتحصل عليها تبين أن نسبة السيلكا في جميع عينات الإسمنت تراوحت ضمن الحدود المحددة في المواصفة القياسية الليبية فيما عدا إسمنت قابس فقد كانت نسبة السيلكا منخفضة قليلا عن حدود المواصفة القياسية الليبية وللسيلكا أهمية في تركيب الإسمنت فإن الزيادة منها تحتاج إلى درجة حرارة عالية جدا لكي تدخل السيلكا تفاعلات كيميائية لتكوين عجينة الإسمنت (الكلنكر) ولكن زيادة درجة الحرارة تؤدي إلى أضرار منها تآكل بطانة الفرن وتلفها وكذلك تؤثر على المركبات الأخرى الداخلة في تركيب عجينة الإسمنت وتفقد خواصها .



شكل 3. نسب السيلكا في عينات الإسمنت غرض الدراسة

- أكسيد المغنسيوم MgO

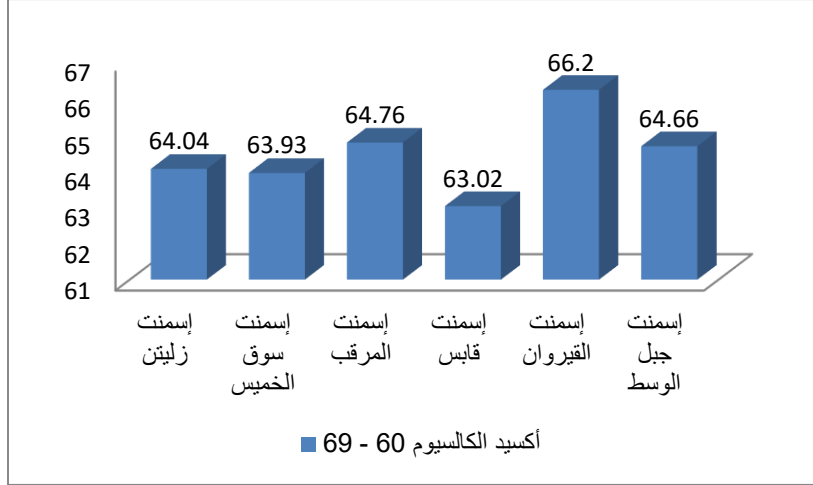
من خلال الجدول 3 وشكل 4 نجد أن نسبة أكسيد المغنسيوم في كل من إسمنت القيروان وإسمنت قابس وإسمنت جبل الوسط قد انخفضت عن الحدود المحددة في المواصفة القياسية بينما تطابقت في باقي عينات الإسمنت مع المواصفة ، مع العلم أن الإنخفاض في نسبة MgO يؤثر على عملية الحرق حيث يؤدي إلى انخفاض قابلية الحرق وهذه بدورها تؤدي إلى انخفاض فعالية سيلكات الكالسيوم .



شكل 4. نسب أكسيد المغنسيوم في عينات الإسمنت غرض الدراسة

- أكسيد الكالسيوم CaO

من خلال الجدول (3) وشكل (5) نلاحظ في جميع أنواع الإسمنت كانت نسبة أكسيد الكالسيوم ضمن الحدود المحددة في المواصفة القياسية الليبية .



شكل 5. نسب أكسيد الكالسيوم في عينات الإسمنت غرض الدراسة

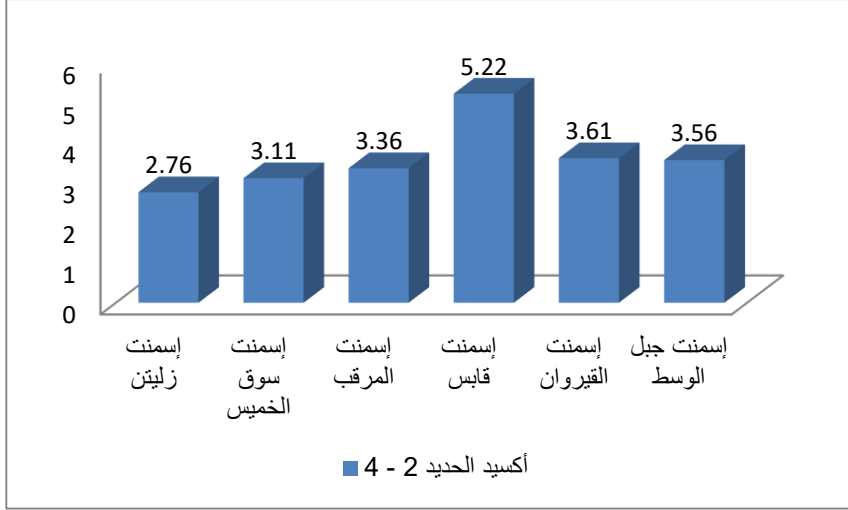
- أكسيد الحديد Fe₂O₃

من خلال الجدول 3 وشكل 6 تبين أن هناك انخفاض في نسبة أكسيد الحديد في إسمنت جبل الوسط ، بينما ارتفعت نسبة أكسيد الحديد في إسمنت قابس ، أما باقي العينات فقد كانت النسب ضمن الحدود المحددة في المواصفة القياسية الليبية ، مع العلم أن الزيادة في نسبة أكسيد الحديد تؤدي إلى تمدد ومن ثم تشقق الإسمنت المنتج بالإضافة إلى خفض حرارته للتميو ، أما انخفاضه فإنه يؤدي إلى زيادة معامل السيلكا وصعوبة في الحرق .

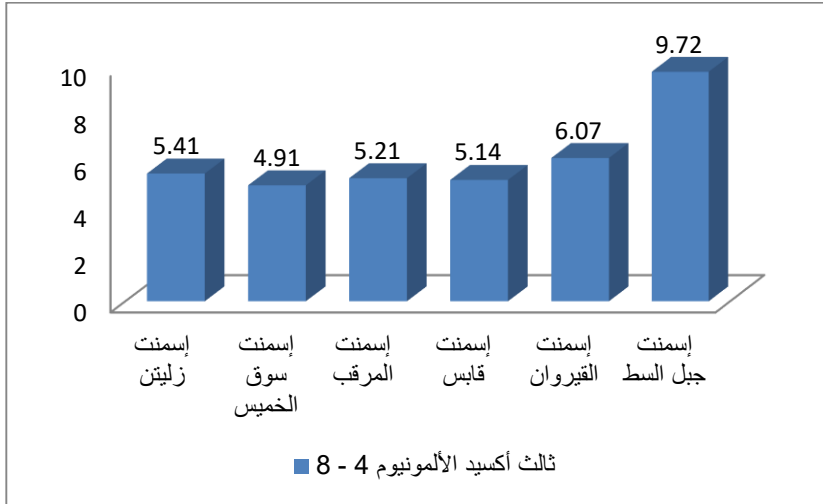
- ثالث أكسيد الألومنيوم Al₂O₃

من خلال الجدول 3 وشكل 7 تبين أن جميع العينات كانت ضمن الحدود المحددة في المواصفة القياسية الليبية ما عدا إسمنت جبل الوسط فقد كانت نسبة أكسيد الألومنيوم مرتفعة ، وبما أن الألومينا تؤثر على C₃A لذلك يجب أن تكون نسبة الألومينا أوطأ ما يمكن لأنه عندما يتمياً بفعل الماء فإنه يحرر كميات كبيرة من الحرارة مؤدياً إلى تبخر

الماء اللازم لعملية التصلب ويسبب في حدوث تشققات وتصدعات في البناء ، لذلك نتوقع أن يكون الإسمنت الذي يحتوي على نسبة منخفضة من الألومينا ذو قوة نهائية عالية ضد التآكل بفعل البكتريا



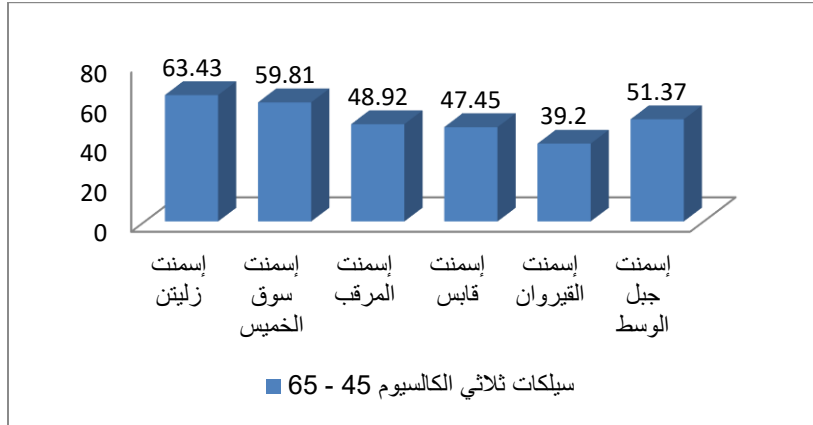
شكل 6. نسب أكسيد الحديد في عينات الإسمنت عرض الدراسة



شكل 7. نسب ثالث أكسيد الألمونيوم في عينات الإسمنت عرض الدراسة

سيلكات ثلاثي الكالسيوم C_3S

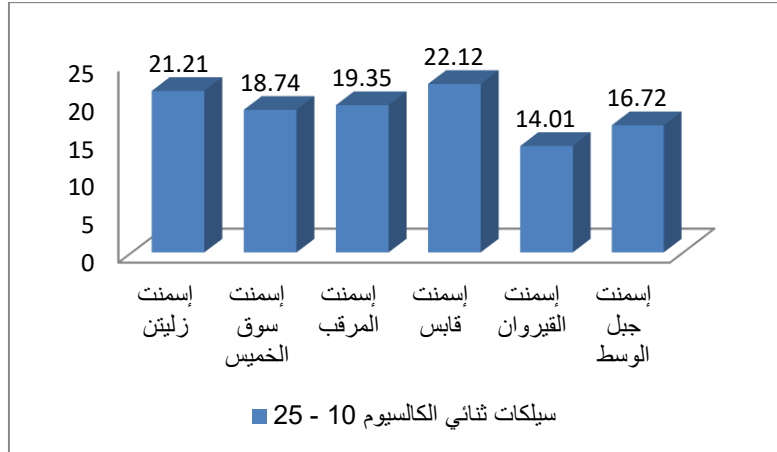
من خلال الجدول 1 وشكل 8 نلاحظ أن نسبة سيلكات ثلاثي الكالسيوم كانت ضمن الحدود المحددة في المواصفة القياسية الليبية في جميع العينات ما عدا إسمنت القيروان فقد كانت منخفضة عن الحدود المحددة .



شكل 8. نسب سيلكات ثلاثي الكالسيوم في عينات الإسمنت غرض الدراسة

- سيلكات ثنائي الكالسيوم C_2S

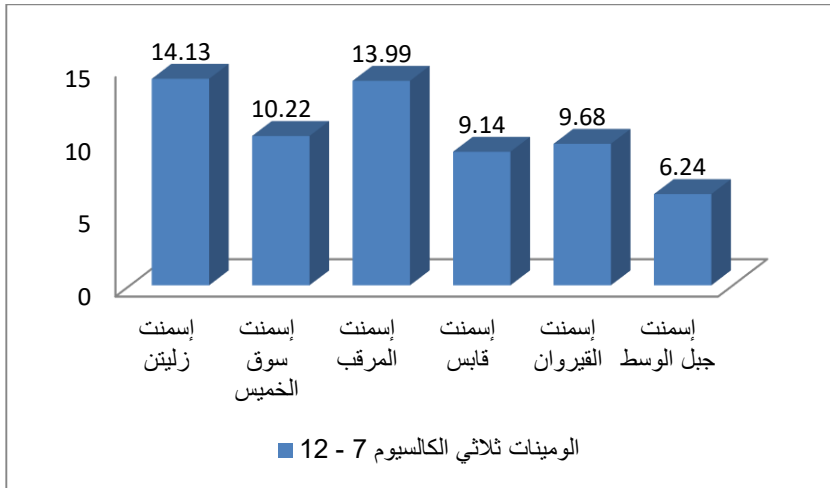
من خلال الجدول (1) وشكل (9) نلاحظ أن نسبة سيلكات ثنائي الكالسيوم كانت ضمن الحدود المحددة في المواصفة القياسية الليبية في جميع العينات.



شكل 9. نسب سيلكات ثنائي الكالسيوم في عينات الإسمنت غرض الدراسة

ألومينات ثلاثي الكالسيوم C_3A

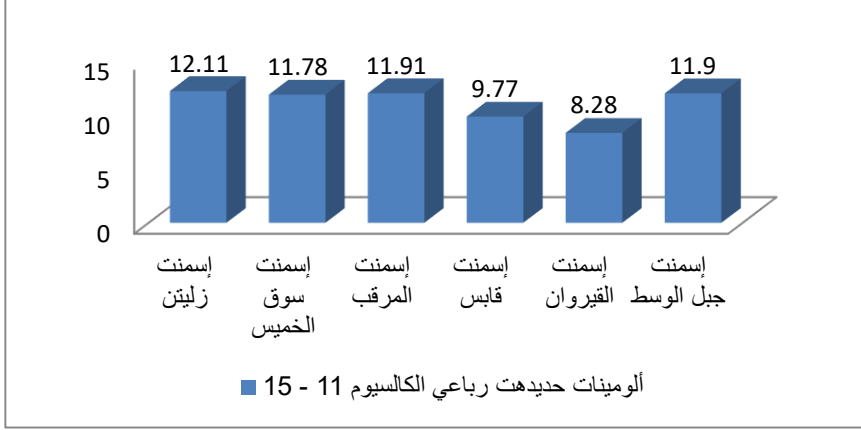
من خلال الجدول 1 وشكل 10 نلاحظ ارتفاع نسبة ألومينات ثلاثي الكالسيوم في عينة إسمنت المرقب وعينة إسمنت زليتن عن الحدود المحددة ، بينما كانت منخفضة في إسمنت جبل الوسط ، أما باقي العينات فقد كانت ضمن الحدود المحددة في المواصفة القياسية الليبية ، مع العلم أن انخفاض نسبة المركب C_3A تؤدي إلى انخفاض معامل الألومينا وهذا يؤدي إلى انخفاض الحرارة المتولدة من التميؤ.



شكل 10. نسب ألومينات ثلاثي الكالسيوم في عينات الإسمنت عرض الدراسة

- ألومينات حديدات رباعي الكالسيوم C_4AF

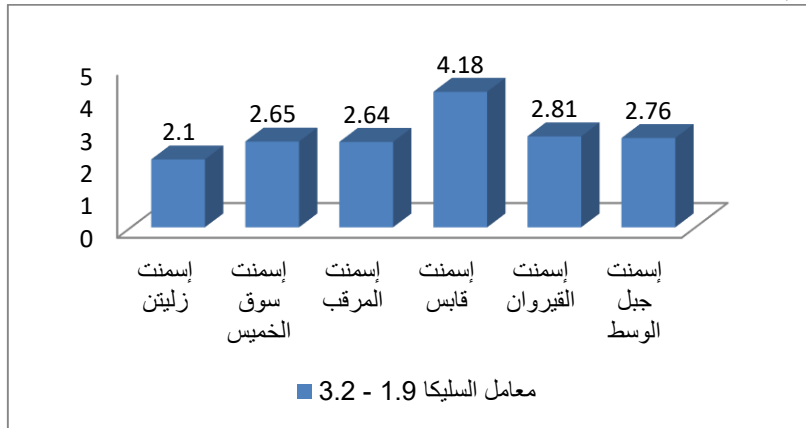
من خلال الجدول 1 وشكل 11 نلاحظ أن النسب في جميع العينات كانت ضمن الحدود المحددة في المواصفة القياسية الليبية ما عدا إسمنت القيروان فقد كانت نسبته منخفضة عن الحدود المحددة في المواصفة القياسية .



شكل 11. نسب ألومينات حديدات رباعي الكالسيوم في عينات الإسمنت غرض الدراسة

- معامل السيلكا Ms

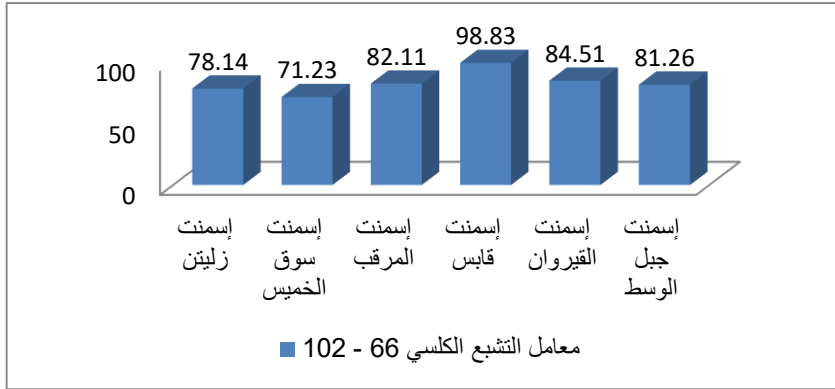
من خلال الجدول (2) وشكل (12) نلاحظ أن النسب في جميع أنواع الإسمنت كانت ضمن الحدود المحددة في المواصفة القياسية الليبية ما عدا عينة إسمنت قابس فقد كانت نسبة معامل السيلكا أعلى من الحدود المحددة في المواصفة القياسية الليبية ، مع العلم أن ارتفاع هذا العامل يؤدي إلى صعوبة في الحرق وارتفاع بنسبة الكلس الحر ، أما انخفاض قيمة هذا العامل فإنه يؤدي إلى تحسين قابلية الاحتراق في الفرن وتكوين سائل بيني بكثرة .



شكل 12. نسب معامل السيلكا في عينات الإسمنت غرض الدراسة

معامل التشيع الكلسي L.S.F

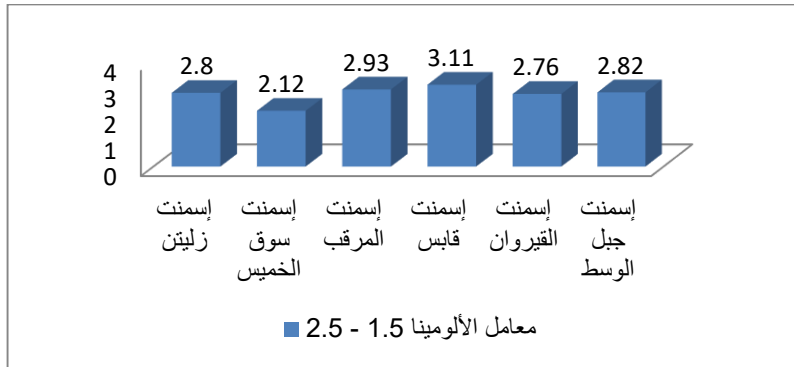
من خلال الجدول 2 وشكل 13 نلاحظ أن قيم معامل التشيع الكلسي لجميع أنواع الإسمنت كانت ضمن الحدود المحددة في المواصفة القياسية الليبية ، وإن الارتفاع في قيمة هذا العامل يؤدي إلى صعوبة في الحرق وبطيء في تصلب الإسمنت المنتج .



شكل (13): نسب معامل التشيع الكلسي في عينات الإسمنت عرض الدراسة

- معامل الألومينا AM

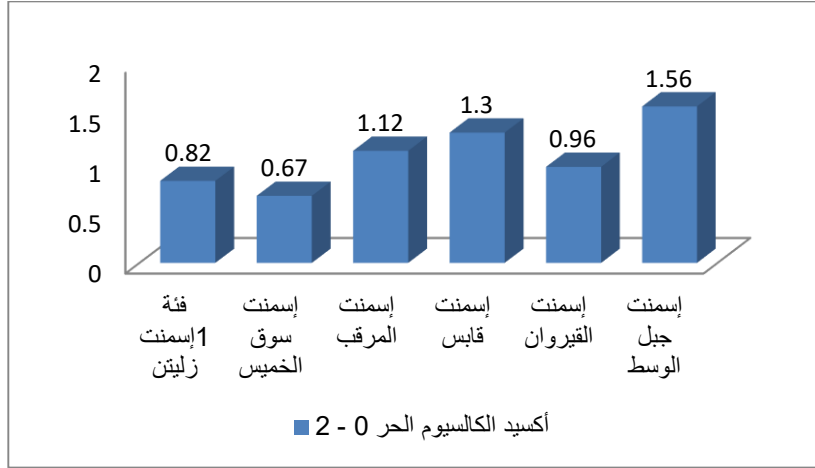
من خلال الجدول 2 وشكل 14 نلاحظ أن نسبة معامل الألومينا كانت مرتفعة في جميع عينات الإسمنت ما عدا إسمنت زليتين فقد كانت ضمن الحدود المحددة في المواصفة القياسية .



شكل 14. نسب معامل الألومينا في عينات الإسمنت عرض الدراسة

- أكسيد الكالسيوم الحر Free Lime

من خلال الجدول (2) وشكل (15) نلاحظ أن قيم أكسيد الكالسيوم الحر في جميع أنواع الإسمنت كانت ضمن الحدود المحددة في المواصفة القياسية الليبية، مع العلم أن أكسيد الكالسيوم يتحول مع الزمن إلى هيدروكسيد الكالسيوم ثم إلى كربوناته فيزداد حجما ويسبب ذلك تمدد أو تشقق المنشأة الكونكريتية.



شكل 15. نسب أكسيد الكالسيوم الحر في عينات الإسمنت غرض الدراسة

الاستنتاجات

- (1) أظهرت النتائج أن نسبة الفقدان عند الحرق $L.O.i$ في عينات إسمنت المرقب وقابس وجبل الوسط والقيروان كانت مرتفعة عن الحدود المحددة في المواصفة القياسية الليبية.
- (2) تبين من خلال النتائج أن نسبة ثالث أكسيد الكبريت SO_3 مرتفعة في إسمنت المرقب عن الحدود المحددة في المواصفة القياسية الليبية.
- (3) أظهرت النتائج أن نسبة ثاني أكسيد السيلكون SiO_2 في إسمنت قابس كانت منخفضة عن الحدود المحددة.

- 4) تبين نتائج الدراسة أن نسبة أكسيد المغنسيوم في جميع عينات الإسمنت الليبي غرض الدراسة كانت ضمن الحدود المحددة بينما انخفضت في أنواع الإسمنت التونسي.
- 5) تبين من خلال الدراسة انخفاض نسبة أكسيد الحديد في إسمنت جبل الوسط وارتفاعه في إسمنت قابس .
- 6) نسبة أكسيد الألمونيوم كانت مرتفعة في إسمنت جبل الوسط .
- 7) من خلال النتائج تبين ارتفاع نسبة ألومينات ثلاثي الكالسيوم في إسمنت المرقب وإسمنت زليتن بينما انخفضت في إسمنت جبل الوسط .
- 8) تبين النتائج ارتفاع نسبة معامل السيلكا في إسمنت قابس .

المراجع والمصادر :

- [1] المعاضيدي ، ساهرة محمد (2000) : الضوابط المعدنية والبتروغرافية والكيميائية للخواص الفيزيائية للإسمنت البورتلاندي العراقي ، أطروحة دكتوراه .
- [2] النواوي ، محمد عبد السميع (2001) : صناعة الإسمنت ، المملكة العربية السعودية ، وزارة المعارف .
- [3] عانوس ، محمد توفيق ومحمد ، محمد يوسف (1987) : مقدمة في علم الكيمياء للمهندسين : دار المعارف الإسكندرية .
- [4] زكي ، أحمد (1995) : أسس الكيمياء الصناعية ، جامعة الأزهر ، مصر .
- [5] عبود ، مثنى عبد الحسن و محصر ، هدى ریحان (2010) : دراسة تأثير إضافة مسحوق الزجاج على خاصية التصلب لخلطة إسمنتية ، مجلة الكوفة .
- [6] المركز الوطني الليبي للمواصفات والمعايير القياسية ، المواصفة الليبية القياسية رقم 340 الإسمنت البورتلاندي العادي 1997 .