



دراسة جيوكيميائية بتروغرافية بتروفيزيائية لتقييم صلاحية الصخور الجيرية لغرض صناعة الاسمنت في بعض مكاشف تكوين الفتحة، في منطقة السكرية_ غرب بيجي

صفوك عاصي حسين

قسم علوم الأرض التطبيقية، كلية العلوم، جامعة تكريت، تكريت - العراق.

الخلاصة

تم في هذه الدراسة اجراء الفحوصات الجيوكيميائية والبتروغرافية والبتروفيزيائية وبعض الخواص الميكانيكية لمادة الخام الرئيسية التي تمثلها نماذج الحجر الجيري الماخوذة من خمسة مقالع من مكاشف تكوين الفتحة غرب قرية السكرية لغرض تقييم صلاحيتها كاحد المواد الخام لصناعة الاسمنت. بينت النتائج ارتفاع نسب تراكيز اوكسيد الكالسيوم والفقدان عند الحرق وانخفاض نسب تراكيز اكاسيد السيليكا والالومينا والحديد والكبريتات والفلويات والفضالة غير الذائبة مما يجعلها ملائمة من ناحية تركيبها الكيميائي وتمثل المكون الكربوناتي في خلطة صناعة الاسمنت. بينت دراسة الشرائح المجهرية ان المكون الاساسي للنماذج المدروسة هو Allochems ممثلة بالسرنيات (Ooids) والحمصيات (Pesolites) كما لوحظ تاثير العمليات التحويرية الإذابة والمكرته وإعادة التبلور المحدود، وبهذا فان الدراسة البتروغرافية جاءت لتعزز القناعة بنتائج التحليلات الجيوكيميائية والفحوصات البتروفيزيائية والميكانيكية. بينت الفحوصات البتروفيزيائية انخفاض قيم الكثافة الكلية والوزن النوعي ومحتوى الرطوبة وارتفاع مسامية النماذج قيد الدراسة مما يعزز امكانية استخدامها ضمن خلطة الاسمنت، وهذا ما عززه أيضا انخفاض قيم المقاومة الانضغاطية حيث ان هذه الخواص البتروفيزيائية والميكانيكية تسهل عمليات القلع والتكسير والسحق والطن.

GEOCHEMICAL, PETROGRAPHIC AND PETROPHYSICAL STUDIES TO EVALUATE THE SUITABILITY OF LIMESTONE FOR CEMENT INDUSTRY IN THE OUTCROPS OF FATH'A FORMATION, SUKKARIA AREA, WEST OF BAIJI.

Sfoog Assi Hussein Al-Obaidy

Department of Applied Geology, College of Science, University of Tikrit. Tikrit- IRAQ

Abstract

The geochemical, petrography, petrophysical, and some mechanical tests were done on the limestone samples of five quarries of Fath'a formation, west of Al-Sukkaria village, to evaluate the Suitability of the limestone as carbonate component in the mixture of cement industry.

The results reflect the rising the concentrations of CaO and loss on ignition, and the decrease of the concentrations of SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, SO₃, Na₂O, K₂O, and insoluble residue, According to these geochemical properties, the tested samples are reliable as carbonate component for cement industry.

The study of petrography reflect that the main component of the samples is Allochems which represented by Ooids and Pesolites. Digenesis processes, dissolution, micritization and limited recrystallization, were observed in the studied samples. The results of this study were confirmed the results of geochemical, petrophysical and mechanical studies.

The petrophysical tests reflect the decrease of total density, specific gravity, and moisture content, and the rising of porosity of the samples. The mechanical tests reflect low compressive strength of the studied samples. These results confirm the suitability of the samples for cement industry.

المقدمة

تهدف هذه الدراسة الى تقييم الخواص الجيوكيميائية والبتروغرافية والبتروفيزيائية والميكانيكية للحجر الجيري لتكوين الفتحة في مكاشفه الموجوده غرب وادي الثرثار ضمن حدود محافظة صلاح الدين، لبيان صلاحيتها لصناعة الاسمنت من خلال مقارنتها مع المواصفات العالمية للحجر الجيري المستخدم في صناعة الاسمنت.

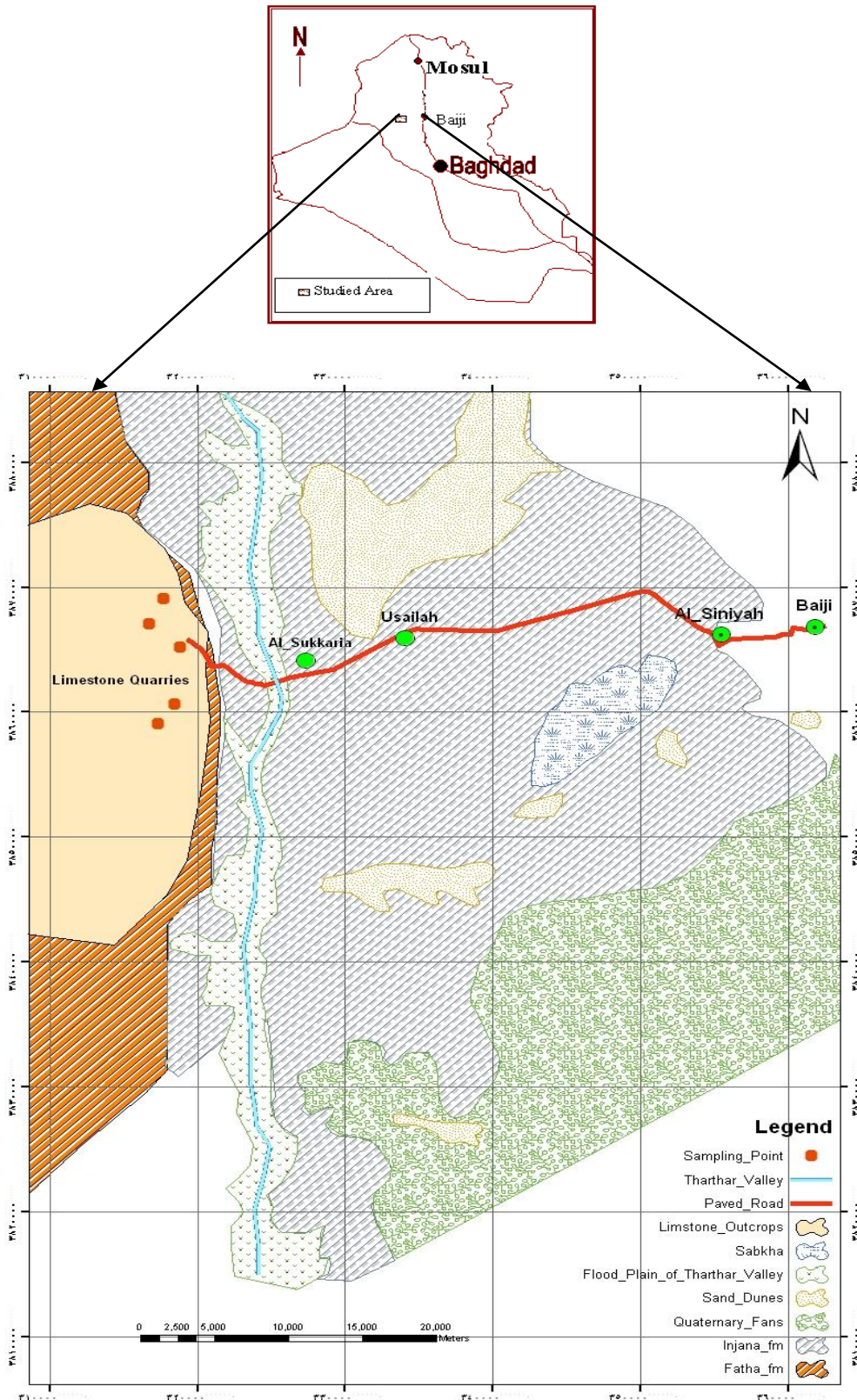
تقع منطقة الدراسة غرب قرية السكرية حوالي ٥٠ كم غرب بيجي، عند الاحداثيات التريبعية UTM، ٣٨٥٠٠٠٠ - ٣٨٧٠٠٠٠ شمالا و ٣١٠٠٠٠٠ - ٣٢٠٠٠٠٠ شرقا، بين دائرتي عرض $34^{\circ} 47' N - 34^{\circ} 58' N$ شمالا وخطي طول $42^{\circ} E - 43^{\circ} 02' E$ شرقا، (شكل رقم ١).

للوضع الطبوغرافي للمنطقة علاقة وطيدة بظروف قلع الحجر الجيري الخام، لعلاقة ذلك بحركة اليات القلع والنقل وكذلك متابعة انكشافات طبقات المادة الخام وسمك الغطاء الذي يغطي الطبقات المعنية. من الناحية الطبوغرافية، فان منطقة الدراسة تمثل منخفض نسبي بارتفاع ٨٠ متر تقريبا فوق مستوى سطح البحر تتخلله بعض التلال الصغيرة وترتفع المنطقة تدريجيا وبانحدار قليل باتجاه الشرق والغرب لتصل الى حوالي ١٠٠ متر عند حافات مقالع الحجر الجيري.

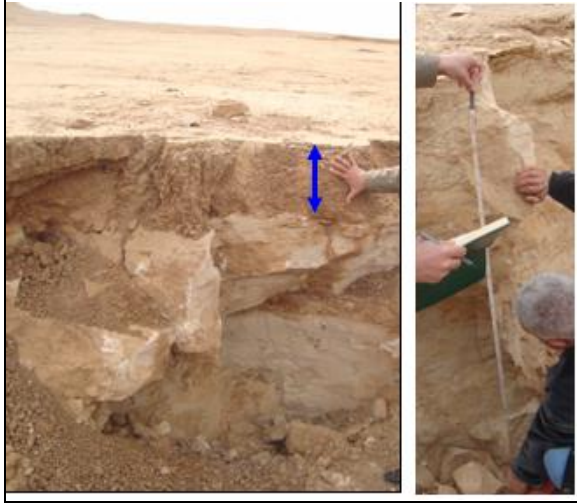
استخدم الجير (lime-cao) كمادة رابطة في البناء بعد مزجه مع الرماد البركاني من قبل الرومان. واستخدم الحجر الجيري من قبل العراقيين منذ القدم في بناء البيوت البسيطة والقصور والزقورات والاديرة والكنائس والجوامع والقلاع العسكرية خلال الحضارات المتعاقبة في العراق، واستخدمه البابليين والاشوريين كمادة رابطة بعد حرقه كما استخدمه المصريين القدماء والاعريق لنفس الغرض ولكن بطرق بدائية وبكفاءة اقل بكثير من الاسمنت الحالي، وفي عام ١٧٥٦ قام John Smeaton بتجارب لانتاج الاسمنت من مزج الحجر الجيري والطين، ثم سجلت براءة اختراع عام ١٨٣٤ باسم الانكليزي John Aspdin الذي وجد ان الاسمنت المنتج مشابه لرواسب البورتلاند الجوراسي في منطقة Dorset ولذلك سمي بالاسمنت البورتلندي والذي بقي اسمه شائعا الى يومنا هذا.

واليوم يعد الحجر الجيري من مواد البناء التي تستخدم بشكل واسع في العراق اذ يستخدم الحجر الخام في بناء الدور والوحدات السكنية وأبنية المؤسسات والفنادق والاسيجة، وتبليط الممرات الجانبية side-walks، والسقوف وواجهات الأبنية facades والديكورات decoration، إضافة إلى استخدامه كمادة أولية أساسية في صناعة الاسمنت.

تعد صناعة الاسمنت من الصناعات العريقة في العراق وتزايد الطلب على الاسمنت في المرحلة الحالية بسبب التطور العمراني الذي يشهده البلد في جميع الميادين وخصوصا بعد حملات إعادة اعمار البنية التحتية والتوسع في بناء الوحدات السكنية والمؤسسات الخدمية والإنتاجية كالطرق والمطارات والسدود والجسور والمصانع، اذ ان الإنتاج المحلي لا يكفي لسد الا نسبة ضئيلة من الحاجة الفعلية وتستورد الكميات المتبقية من دول الجوار، ان التوجه الجديد للاستثمار في قطاع صناعة الاسمنت يعد من اهم مبررات هذه الدراسة.



شكل ١: خارطة موقعية وجيولوجية لمنطقة الدراسة (مستخلصة من الخارطة الجيولوجية الاقتصادية لمحافظة صلاح الدين الصادرة عن (٢)، والخرائط الطبوغرافية الصادرة عن (٣)).



صورة ٢: طبقة رقيقة من التربة المحلية الهشة لايتجاوز سمكها ٢٥ سم تغطي الطبقة المنتجة، ويبدو سطح الارض منبسطة خلف المقلع مما يعكس ظروف القلع المناسبة.



صورة ٣: تبدو طبقات الحجر الطيني المتطبق الاحمر Red claystone ذات سمك حوالي ٣٠ سم، واحيانا تحتها طبقة من المارل الاخضر green marl وبنفس السمك تقريبا، حيث تاتي هذه الطبقات تحت طبقة الحجر الجيري مباشرة.

اما تكوين انجانة (المايوسين الاعلى)، فينكشف الى الغرب من المنطقة الى القرب من بيحي وتغطي مكاشفه احيانا بالكثبان الرملية والسبخات العائدة للعصر الرباعي (٢)، ويغطي التكوين قرب مجرى وادي الثرثار بالترسبات الفيضية للوادي.

وصف جاسم وكوف (١) تكوين الفتحة بأنه حجر جيري سرئي حاوي على المتحجرات معاد التبلور Oolitic recrystallized shelly Limestone، كما ذكر كلي (٤)، بان تكوين الفتحة يعد المصدر الاساسي للمواد الخام الجيرية والطينية والجبسوية لصناعة الاسمنت في بعض معامل الاسمنت في العراق مثل معمل حمام العليل، حيث قيم تاثير نسبة السيليكا على هذه المواد الخام. كذلك تم دراسة الخواص الجيوتكنيكية لصخور

تكتونيا فان المنطقة تقع على الحدود الشرقية للرصيف المستقر Stable Shelf وتمثل الجزء الشمالي لنطاق دجلة الثانوي Tigris subzone الذي يمثل جزء من نطاق ما بين النهرين Mesopotamian Zone (١).

ينكشف تكوين الفتحة (المايوسين الاوسط)، في وسط المنخفض المذكور غرب الثرثار، (شكل رقم ١)، وتمثل طبقة الحجر الجيري موضوع البحث اولى الطبقات المكشوفة من الاعلى ويتراوح سمكها بين ٩٥-١٤٠ سم (صورة رقم ١) وتغطي بطبقة رقيقة من التربة المحلية لايتجاوز سمكها ٢٥ سم (صورة رقم ٢)، علما ان سطح التطبيق contact بينهما حاد sharp وهذا يسهل استغلال واستثمار طبقة الحجر الجيري. ان قلة ميل طبقة الحجر الجيري الذي يتراوح بين ٠-٥ درجة يجعلها تغطي معظم مساحة المنطقة، ولاتنكشف الطبقات الاقدم لتكوين الفتحة الا في بعض الوديان، حيث تظهر طبقات من الحجر الطيني المتطبق الاحمر Red claystone ذات سمك حوالي ٣٠ سم، وتحتها طبقة من المارل الاخضر green marl وبنفس السمك تقريبا (صورة رقم ٣).

لوحظ في معظم مكاشف الطبقة في منطقة الدراسة ان الحجر الجيري يكون كتلي ونادرا ما يوجد على شكل متطبق، وتحتوي على نسبة عالية من الحجر الجيري السري الحاوي على المتحجرات، واحيانا تتواجد رقائق من الجبس الثانوي المترسب لاحقا على أسطح الفواصل والكسور.



صورة ٤: قلع الحجر الجيري من الطبقة المنتجة في منطقة الدراسة التي يزيد سمكها عن متر، ولايزيد ميلها عن ٥ درجات ويتم القلع بواسطة (النقار)، حيث يستخدم الحجر لاغراض البناء او تقطيعه على شكل (حلان).

وتتركز الدراسة الحالية على المكون الاول، وتمثل صخور الحجر الجيري اكثر انواع الصخور استخداما في صناعة الاسمنت لاحتوائها على نسبة عالية من كاربونات الكالسيوم، كما تستخدم احيانا صخور الطباشير لانتاج الاسمنت الابيض وذلك لنقاوتها العالية، وقد يستخدم المارل لاحتوائه على نسب من مكونات كلسية وطينية مقاربة لنسبتها في الاسمنت (١١). ان من المحددات الاساسية في اختيار هذه المادة الخام هي نسبة السيليكا والسيليكا الحرة والمغنيسا فيه حيث يصنف الى حجر جيري (عال النقاوة وواطئ السيليكا) (واطئ النقاوة و عال السيليكا) و (عال المغنيسا و عال السيليكا) (١٢)، اما الحجر الجيري الطباشيري فيتميز بنقاوته وحتوائه على نسبة عالية من اوكسيد الكالسيوم وسهولة تكسيره (٩، ١٠).

اما المكون الطيني الذي يقع خارج اهتمام البحث الحالي فاهم مكوناته الشائعة هي الطين، الغرين، السجيل، الصلصال والحجر الطيني وترسبات الانهار (١٠، ١٣)، وأشار (١٤) ان كلا من الكاولينايت والابلايت من الاطيان الملائمة لصناعة الاسمنت على عكس اطيان الكلورايت والباليجورسكايت التي تحتوي على نسبة عليية من MgO، والتي تعد من الشوائب الخطرة الشائعة في المواد الاولية، ان الدولومايت الذي يتواجد في الحجر الجيري يعد مصدرا اخر من مصادر MgO والتي تؤدي زيادة نسبته الى زيادة الطور السائل وبالتالي انسياب المواد المغذية للفرن بسرعة وبالتالي حدوث مشاكل تشغيلية، ان المغنيسا الذائبة تميل للتفاعل مع طور C3S عند درجات الحرارة المرتفعة وتحوله الى طور C2S (وكلس حر) وبالتالي تقل مقاومة الخرسانة في الايام الاولى لانخفاض نسبة C3S وارتفاع نسبة الكلس الحر التي تسبب التمدد الحجمي الناتج من تحولها الى هيدروكسيد الكالسيوم، كما ان تفاعل MgO مع الماء يؤدي الى تكون معدن البروسايت Mg(OH)2 Brucite الذي يؤدي الى تمدد وتشقق الملاط والخرسانة وقتلها (١٥).

لذا فان المواصفة العراقية رقم ٥ لسنة ١٩٨٤ (١٦) وكذلك المواصفات العالمية الاخرى حددت نسبة MgO في الاسمنت بان لا تزيد عن ٥% (١٧). تعد الأطيان وبعض الأملاح مصدرا أساسيا للقلويات (أكاسيد الصوديوم والبوتاسيوم) في المواد الأولية لصناعة الاسمنت، (٩). ان حوالي ٥٠% من القلويات تتطاير أثناء الحرق عند درجة (٨٠٠-١٠٠٠)م° على شكل كبريتات أو كلوريدات أو كاربونات والتي قد تترسب على جدران الفرن في المناطق الباردة منه نتيجة تكاثفها مما يؤدي الى تكوين حلقات داخل الفرن وبالتالي يعرقل سير المزيج الخام

الحجر الجيري في التكوين في بعض المناطق المجاورة لحمام العليل لمعرفة ملائمتها للاستخدام كحجر بناء (5). يعرف الاسمنت بأنه مسحوق ناعم داكن من مادة هيدروليكية تمتلك خواص تماسكية cohesive والتصاقية adhesive تشكل عجينة بلاستيكية القوام عند مزجها بالماء ولها القابلية على التجمد (setting) والتصلب (Hardening) نتيجة التفاعلات الكيميائية بين بين الماء ومركبات الاسمنت (٦) وعند خلطها بالرمال تكون ملاط أو مونة (mortar) وعند مزج المونة مع ركام مناسب تشكل الخرسانة (concrete) (7). تتأثر نوعية الاسمنت ومزايها كثيرا بالخواص الكيميائية والمعدنية للمواد الخام ومنها الحجر الجيري، يتكون الاسمنت من اتحاد اوكسيد الكالسيوم (CaO) من جهة وكل من اكاسيد السليكون (SiO2) والالمنيوم (Al2O3) والحديد (Fe2O3) من جهة اخرى. وذلك من خلال سلسلة من التفاعلات الكيميائية في درجات حرارة عالية تتراوح بين (1300-1500)م° تتكون اثناء هذه التفاعلات مركبات لامائية بعدة اطوار تشكل سيليكات الكالسيوم حوالي ٨٥% من مجموع هذه المركبات ممثلة بسيليكات ثلاثي الكالسيوم (Tricalcium Silicate) C3S وسيليكات ثنائي الكالسيوم (Dicalcium Silicate) S٢C وتشكل الومينات الكالسيوم حوالي (٨-١٠%) من مجموع مكونات الاسمنت ممثلة بالومينات ثلاثي الكالسيوم C3A (Tricalcium Aluminate) والومينات حديد رباي الكالسيوم Tetracalcium alumino ferrite، (8).

وينتج الاسمنت من خلط ثم حرق بعض المواد الخام ذات محتوى عالي من اوكسيد الكالسيوم (مكون جيري) وبشكل اساسي الحجر الجيري او الطباشيري بنسبة حوالي ٧٠%، ومواد اخرى ذات محتوى عالي من اكاسيد السليكون والالمنيوم والحديد (مكون طيني) بحدود ٣٠% لانتاج الكلنكر، احيانا يتم اضافة مادة او اكثر (correcting materials) لتعديل نسب المكونات في الكلنكر، ثم اضافة مواد خام او مخلفات صناعية اخرى لضبط وتصحيح مواصفات الاسمنت كاضافة الرمل الكوارتزي لانتاج الاسمنت الابيض، او بعض خامات الحديد او الخبث الناتج من صناعة الحديد لضبط نسبة الحديد، او خامات الالمنيوم كالبوكسايت او خبث الالمنيوم لضبط نسبة الالمنيوم كما يضاف الجبس بنسبة ٣-٥% للتحكم بوقت تصلب الاسمنت، ان نوعية الاسمنت تعتمد بشكل اساسي على نوع ونسب الخلطة للمادة الخام التي تفحص في جميع مراحل الانتاج بشكل دوري ومستمر (10.9.6)

تم عمل شرائح رقيقة للنماذج الخمسة لغرض إجراء الدراسة البتروغرافية، وانجز العمل في الورشة الفنية لقسم علوم الأرض في جامعة الموصل، وتم استخدام صبغة الإلزارين الحمراء Alizarin red S الملونة وبتركيز ٠.٢% لغرض تمييز معدن الكالسايت عن الدولومايت وأجريت هذه العملية في مختبرات قسم علوم الأرض التطبيقية في جامعة تكريت. أجريت قياسات الكثافة الكلية والوزن النوعي والمسامية ومحتوى الرطوبة في مختبرات قسم علوم الأرض التطبيقية في جامعة تكريت اعتماداً على المواصفة القياسية العراقية رقم (٣١) لسنة ١٩٨١ (٢١)، أما فحوصات المقاومة الانضغاطية فقد أجريت في مختبرات الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين.

النتائج المناقشة

الخواص الجيوكيميائية

يعرض الجدول رقم (١) نتائج التحاليل الكيماوية لخمس نماذج اخذت من خمس مقالع في منطقة الدراسة وقيم فقدان عند الحرق، والجزء الغير ذائب من العينات وكذلك المعاملات والمحددات الكيماوية. ومن خلال هذا الجدول يتضح انخفاض تراكيز Fe_2O_3 ، Al_2O_3 ، SiO_2 مقارنة بتراكيزها في الجدول (٢) الذي يحدد تراكيز هذه المكونات وفق المواصفات القياسية العالمية للصخور الجيرية المستخدمة لصناعة الاسمنت، وهذا يفسر انخفاض الجزء غير الذائب في النماذج المدروسة والتي يبلغ معدله ٢٠.٢٩% وكذلك يؤكد سبب عدم وجود السيليكا الحرة في النماذج والتي لم يثبت ملاحظة الكوارتز في الفحص المجهرى لشرائح هذه النماذج. ويبين الجدول (١) والشكل رقم ٢- الانخفاض الكبير لمحتوى اوكسيد المغنيسيوم عن حدود النسبة المسموح بها للمواد الأولية المطلوبة في صناعة الاسمنت وبالبالغة كحد اقصى ٥% حسب المواصفة العراقية رقم ٥ لسنة ١٩٨٤ (١٦). وهذا يعتبر عامل مشجع وأساسي لاستغلال هذه الصخور في صناعة الاسمنت شكل رقم ٢-.

(١٠). ان وجود القلويات في الاسمنت وبنسبة عالية اكثر من ١.٦% يكون مضراً نتيجة لتفاعلها مع بعض أشكال السيليكا الحرة في الخرسانة مثل الاوبال والفلتت مسببة اجهادات وقوى تمددية تؤدي الى حدوث تشققات ومن ثم انهيار في المنشآت الخرسانية (١٨، ١٠).

ولهذا السبب فقد حددت المواصفة القياسية العالمية نسبة القلويات في الكلنكر بما يعرف بمكافئ الصوديوم. $Na\text{-equivalent} = Na_2O\% + 0.659 k_2O\%$ و حددت المواصفة القياسية العراقية رقم ٥ لسنة ١٩٨٤ (١٦) النسبة (٠.٦%) كحد أقصى للقلويات في الاسمنت البورتلاندي واطئ القلويات. ويشير (١٠) إلى ان هذه النسبة ممكن ان تصل إلى (١-١.٢%).

يظهر الكبريت في المواد الأولية اما على شكل كبريتات أو كبريتيدات بشكل معدن الجبس أو الانهيدرايت والبارايت، ويعبر عن محتوى الكبريتات في المواد الأولية اللازمة لصناعة الاسمنت ب (SO₃) وعادة ما تتراوح نسبته بين (٠.١-٠.٥%) (١٨).

اما في الاسمنت فان المواصفات القياسية جميعها حددت محتوى الكبريت بين (٢.٥-٤%) لمنع حدوث ظاهرة تمدد الكبريتات والتحكم بزمان تجمد الاسمنت (٩). بشكل عام فان مصدر الكبريت في الاسمنت هو الجبس المضاف أثناء طحن الكلنكر والمياه المستعملة في تحضير خلطة المزيج والوقود المستعمل (في حالة النفط الأسود) (٩، ١٠). في (١٩).

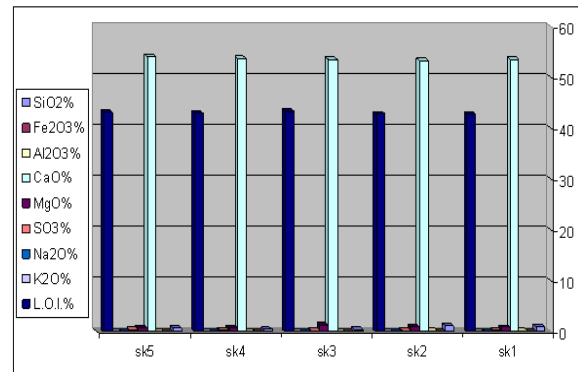
المواد وطرائق العمل

اجريت التحليلات الكيماوية لخمس عينات من الحجر الجيري المأخوذ من خمس مواقع من مقالع السكرية، في مختبرات الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين وحسب المواصفات الامريكية (٢٠) السياق C0021 وشملت الدراسة كلا من الاكاسيد SiO_2 ، Al_2O_3 ، Fe_2O_3 ، CaO ، MgO ، SO_3 ، Na_2O ، K_2O إضافة إلى حساب نسبة فقدان عند لحرق (Loss on Ignition (L.O.I.) كما تم حساب نسبة الجزء المتبقي غير الذائب Insoluble residue وذلك بأذابته في حامض الهيدروكلوريك المخفف بنسبة (١٠%) والغسل بالماء المقطر عدة مرات ثم عزله وقد تم اجراء هذه العملية في مختبر الجيوكيمياء في قسم علوم الأرض التطبيقية- جامعة تكريت.

كما يوضح الجدول (١) والشكل رقم ٢، ارتفاع محتوى اوكسيد الكالسيوم (CaO) وقربها من الحدود القصوى للصخور الجيرية، وكذلك ارتفاع نسبة الفقدان عند الحرق (L.O.I)، وهذا يفسر النقاوة العالية للصخور الجيرية قيد الدراسة. كما تم استخدام بعض المعالجات الاحصائية لنتائج التحاليل الكيماوية حيث تم حساب المدى والمعدل والانحراف المعياري كما في الجدول رقم (٣).

وبصورة عامة يلاحظ ان تراكيز العناصر والمكونات ذات انحراف قليل جدا دلالة على قلة التغير في تراكيزها، وبالتالي فهذه الصخور هي مواد اولية ملائمة لصناعة الاسمنت.

اما الانخفاض الكبير في نسبة الكبريتات (SO3) والقلويات (Na2O, K2O) عن الحدود القصوى لها في التركيب الكيماوي العالمي للصخور الجيرية جدول رقم (٢) يجعلها بعيدة تماما عن تأثير ارتفاع كميتها في المواد الاولية والتي تم الاشارة الى مضارها سابقا.



شكل ٢: ارتفاع نسب تراكيز اوكسيد الكالسيوم والفقدان عند الحرق وانخفاض نسب تراكيز بقية الاكاسيد، في النماذج قيد الدراسة.

جدول ٣: الانحراف المعياري ومديات ومعاملات تراكيز الاكاسيد والفقدان عند الحرق والجزء المتبقي غير الذائب والمعاملات الكيماوية للنماذج قيد الدراسة.

Factor Oxide	Minimum	Maximum	Average	Standard Deviation
SiO2%	0.49	1.24	0.814	0.3119
Fe2O3%	0.08	0.2	0.126	0.0456
Al2O3%	0.07	0.29	0.168	0.0960
CaO%	53.43	54.19	53.728	0.299

الحرق ونسبة الجزء المتبقي غير الذائب في الحجر الجيري قيد الدراسة مع قيم المعاملات الكيماوية.

Sample	Factor	SiO2%	Fe2O3%	Al2O3%	CaO%	MgO%	SO3%	Na2O%	K2O%	L.O.I%
sk1		1.02	0.13	0.29	53.54	0.94	0.37	0.18	0.06	42.87
sk2		1.24	0.2	0.25	53.43	1.01	0.33	0.16	0.05	42.97
sk3		0.49	0.08	0.07	53.64	1.44	0.32	0.12	0.05	43.42
sk4		0.58	0.1	0.11	53.84	0.89	0.38	0.13	0.04	43.03
sk5		0.74	0.12	0.12	54.19	0.81	0.42	0.19	0.04	43.24

ومن خلال استعراض نتائج التحاليل الكيميائية ومناقشة المعاملات الاحصائية نستنتج بان صخور الحجر الجيري المدروسة ذات نقاوة عالية وواطئة السيليكا والمغنسيوم. وذات تركيب كيميائي قليل التغير وثابت تقريبا في منطقة الدراسة. وعليه تعتبر هذه الصخور مواد خام اولية مناسبة ونموذجية في صناعة الاسمنت، خصوصا اذا ما خلطت مع اطيان مناسبة لتعديل نسب تراكيز بعض الاكاسيد بما يتناسب مع متطلبات الخلطة.

هناك العديد من المعاملات الكيمياوية تستخدم لتقييم التركيب الكيميائي لخلطة الخام اللازم لصناعة الاسمنت وهي معامل الاشباع الجيري، (LSF)، معامل السيليكا (SR)، ونسبة الالومينا (AR)، وفي سياق الدراسة الحالية لم تتم دراسة سوى مكون واحد من مكونات الخلطة وهو الحجر الجيري ولكن تم احتساب هذه المعاملات لكي تؤخذ بنظر الاعتبار مواصفات الاطيان المكمل للخلطة لكي تساهم في تعديل قيم هذه المعاملات ضمن الحدود المسموح بها في مواصفات خلطة الاسمنت. ولهذا فان هذه المعاملات يجب إعادة حسابها لتقييم صلاحية مكونات الخلطة بعد دراسة المكون الرئيسي الثاني ممثلا بالأطيان، تم حساب هذه المعاملات للنماذج قيد الدراسة اعتمادا على نسب تراكيز الاكاسيد المذكورة في الجدول رقم -١٠، وكما يأتي:

MgO%	0.81	1.44	1.018	0.2469
SO3%	0.32	0.42	0.364	0.0404
Na2O%	0.12	0.19	0.156	0.0305
K2O%	0.04	0.06	0.048	0.008
L.O.I.%	42.87	43.42	43.106	0.2216
I.R.%	1.07	3.37	2.0274	1.0815
LSF	1388.71	3628.64	2409.78	928.32
SR	2.48	3.26	2.868	0.305
AR	0.875	2.23	1.291	0.5426

اما معاملات الارتباط الثنائية correlation coefficient المذكورة في الجدول (٤) فتوضح العلاقات بين ازواج العناصر والمكونات في النماذج. وتم اختيار معاملات الارتباط ذات القيم الاكبر من +0.279 والاقبل من -0.279 للدلالة على وجود علاقات موجبة وسالبة مهمة اما القيم هذين الحدين فقد اهملت كونها لاتمثل قيمة معنوية عند مستوى الثقة ٩٧.٥ % (٤). ومن الجدول (٤) يلاحظ بان هناك علاقات ارتباطية سالبة بين CaO وكل من الاكاسيد SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ وهذا يعني عدم اشتراكها في معدن واحد، اما العلاقة الموجبة القوية بين كل من SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ فيمكن تعيلها على دخول هذه الاكاسيد في تكوين المعادن الطينية بنسب قليلة جدا ضمن الجزء غير الذائب في النماذج غير المدروسة. وتشير العلاقة السالبة بين MgO, CaO الى عدم وجود MgO في تركيب الكربونات وعدم وجود الدولومايت في الصخور الجيرية موضوع البحث. وقد اهملت العلاقة السالبة بين SO₃ وكل من SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ حيث انها لاتمثل قيمة معنوية ذات مدلول مهم.

اما العلاقة الموجبة القوية بين K₂O وكل من SiO₂ و Al₂O₃ فيمكن تفسيره بدخول البوتاسيوم في تركيب بعض المعادن الطينية مثل الالابيت أو معدن المسكوفابت أو الفلدسبار التي يحتمل وجودها بنسب قليلة جدا. وتشير العلاقة الموجبة بين CaO والفقدان عند الحرق L.O.I الى اشتراكها في تكوين معدن الكالسابت في الحجر الجيري وهو المعدن السائد في صخور البحث. ويحتمل ان تمثل العلاقة الموجبة بين SO₃ و CaO الى وجود كميات قليلة جدا من كبريتات الكالسيوم على شكل معدن الجبسوم أو الانهايدرايت، حيث لم يشاهد أي تواجد لمعدن الجبسوم اثناء دراسة الشرائح الرقيقة للنماذج.

ومن الجدير بالذكر ان معاملات الارتباط الثنائية بين العناصر والمكونات في النماذج المدروسة لاتعبر عن علاقات مهمة وذات مدلولات واضحة وذلك لعدم وجود تغيرات واضحة في تركيز هذه العناصر في النماذج.

١- معامل الاشباع الجيري Lime saturation factor LSF

ويعبر عنه بالمعادلة التالية:

$$LSF = \frac{100(CaO\% + 0.75MgO\%)}{2.8SiO_2\% + 1.2Al_2O_3\% + 0.65Fe_2O_3\%}$$

عندما تكون نسبة MgO اقل من ٢%.

ويوضح هذا المعامل توازن الاكاسيد الرئيسية في المزيج ويستعمل للتعبير عن المستوى الامثل للكلس الحر (free lime) واللازم للتفاعل مع الاكاسيد SiO_2 ، Al_2O_3 ، Fe_2O_3 بدون تكون كلس حر في الاسمنت المنتج (١٧)، وان ارتفاع قيمة هذا المعامل يعني زيادة نسبة الجير الحر في الكلنكر الذي يؤثر سلبا على نوعية الاسمنت بفعل قابليته العالية للتميو (تكوين هيدروكسيد الكالسيوم) وبالتالي التمدد والانتفاخ مما يؤدي الى حدوث اجهادات ينتج عنها شقوق وكسور في الخرسانة (٢٣).

وامتازت نماذج الحجر الجيري قيد الدراسة بقيمة عالية للمعامل، جدول (١) وذلك لارتفاع محتوى CaO في النماذج والتي تقترب من الحدود القصوى والانخفاض الكبير في قيم الاكاسيد (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3).

٢- معامل السيليكا Silica ratio (SR)

ويعبر عنه بالمعادلة التالية:

$$SR = \frac{SiO_2\%}{Al_2O_3\% + Fe_2O_3\%}$$

وهي مقياس لكمية الطور السائل في الكلنكر وكما تشير المعادلة التي وضعها (24).

$$\frac{71}{0.53 + SR} = \text{الطور السائل} \%$$

ان ارتفاع هذا المعامل غير مرغوب فيه ويجب تفاديه لانه يسبب مشاكل عديدة منها انخفاض قابلية حرق المزيج الخام بفعل اختزال الطور السائل ويؤدي الى احتواء الكلنكر على كمية عالية من CaO الحر. اما انخفاض هذا المعامل عن (٢) فانه يؤدي الى تحسين قابلية الحرق وذلك لتكوين كميات اكبر من الطور السائل وبالتالي تقليل الطاقة اللازمة للحرق وهذا يؤدي الى تكوين سمنت سريع التصلب ذي مقاومة عالية مبكرة ولاترداد مع مرور الوقت (٢٣).

ان المعدل المفضل ل SR في الاسمنت هو (2.2-2.6) (٩). واذا تجاوزت نسبة السيليكا الحرة الخشنة (7-8%) من المزيج الخام فانه يصبح غير مرغوب فيها وعندئذ يوصى بزيادة الطحن ورفع درجة حرارة الحرق لتعويض الزيادة في السيليكا وتكوين كامل للاطوار اثناء تكون الكلنكر (١٠).

ولوحظ من نتائج تحليل النماذج (جدول رقم ١) ارتفاع قيم هذا المعامل ليتجاوز الحدود المسموح بها والتي اقترحها (٩). وهي تمثل نسبة غير حقيقية ل SR حيث ان SiO_2 قليل جدا ولكن تركيز الاكاسيد Al_2O_3 ، Fe_2O_3 اقل بكثير من قيم SiO_2 ولهذا تبدو قيمة معامل السيليكا عالية (يمكن تعديل هذه النسب من خلال الطين المضاف حيث ان النسب تحسب للخلطة).

٣- نسبة الالومينا Alumina ratio (AR)

ويعبر عنها بالمعادلة التالية:

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

ان افضل قيمة لهذا المعامل هي (1.38) اذ تتكون اكبر كمية من الطور السائل عند درجات حرارة اقل (9) وبينت نتائج تحليل الحجر الجيري المختارة (الجدول رقم - ١) ان قيم AR ضمن الحدود المقبولة.

الخواص البتروغرافية

تم إجراء الدراسة البتروغرافية على نفس العينات في المواقع الخمسة التي أجريت عليها التحاليل الكيميائية والفحوصات البتروفيزيائية والميكانيكية، حيث تم عمل شرائح رقيقة لدراستها تحت المجهر. واستخدمت صبغة الإلزارين الحمراء لتمييز الحجر الجيري الدولوميتي، ولم يلاحظ وجود معدن الدولومايت في النماذج قيد الدراسة وهذا يعزز انخفاض نسبة MgO فيها. بينت دراسة الشرائح المجهرية ان المكون الاساسي للنماذج المدروسة هو الحبيبات الهيكلية Allochems ممثلة بالسرثيات (Ooids) والحمصيات

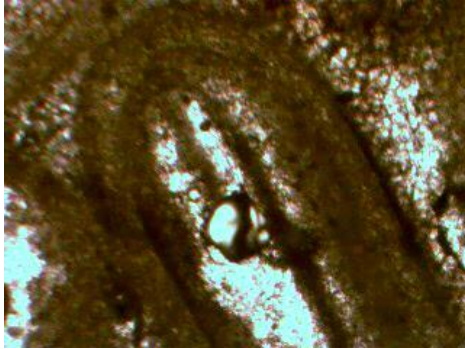
تراكيز اكاسيد العناصر الرئيسية وكذلك فقدان عند الحرق في نماذج الحجر الجيري

Oxides	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	CaO%	MgO%	SO ₃ %
SiO ₂ %	1					
Fe ₂ O ₃ %	0.945186	1				
Al ₂ O ₃ %	0.90939	0.734148	1			
CaO%	-0.52941	-0.44789	-0.58685	1		
MgO%	-0.35987	-0.34943	-0.35977	-0.44179	1	
SO ₃ %	-0.13659	-0.16564	-0.0877	0.83925	-0.81402	1
Na ₂ O%	0.575088	0.452968	0.568601	0.281195	-0.69189	0.
K ₂ O%	0.492428	0.235864	0.709513	-0.76121	0.312214	-0.
L.O.I.%	-0.72476	-0.60046	-0.85443	0.417271	0.611448	-0.

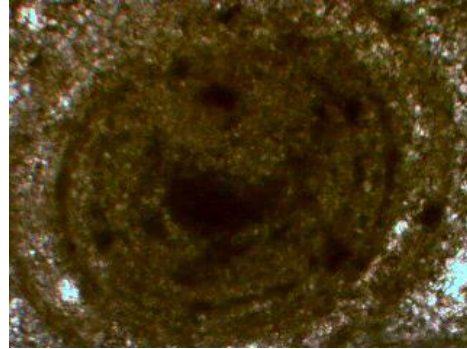
الملاط الننتوي النقي clear drusy sparite يملا الفراغات بين حبيبات ال Allochems، لوحة (1-B). حدثت عمليات تحويلية بسيطة وضمن حدود ضيقة وخصوصا الإذابة والمكرته واعادة التبلور الجزئي وكما ذكر سابقا، وأدت الى تطور المكسبرايت لوحة (1-A, 1-H) وال Drusy Sparite (1-B). بعض التراكيب السريئية او الحمصية وجدت متغيرة نتيجة للمكرته Micritization لوحة (1-I). واعادة التبلور المحدود لوحة (1-J)

(Pisolites). وفي الغالب نجد هذه المكونات متراسة إلى بعضها البعض، لوحة رقم (1-A). وفي بعض النماذج الاخرى نجد السريئات او الحمصيات عائمة في الارضية (Matrix) الميكروسبريتي (microsparite) او المكرايت (micrite) لوحة (1-B). وجد شكل التراكيب السريئية والحمصية كرويا في الغالب وبنسبة تصل الى ٧٠% (1-C, 1-D, and 1-E)، بينما النسبة المتبقية تميل الى الاشكال البيضوية والطولية، لوحة (1-F).

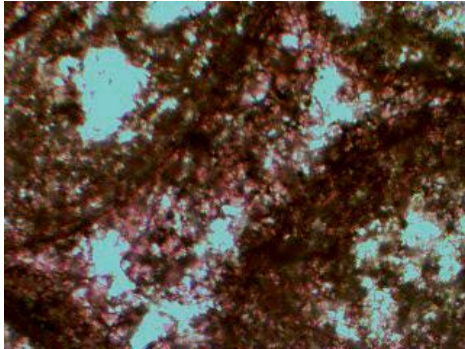
تمثل الحلقات الرقيقة المركزية (concentric Lamellae) A: الحمصيات التي يظهر التراكيب الشائعة للسريئات والحمصيات لوحة (1-G). فيها اثار الاذابة وتشكيل التراكيب الشعاعية كانت نادرة واقتصرت على بعض العينات السمنت الننتوي. بعض السريئات تضمنت شوائب من الاطيان. ولوحظ في B: السمنت الننتوي بين العينات وجود إذابة Dissolution بتأثير المحاليل البيئية. الحمصيات، لوحظ وجود فجوات ناتجة عن الاذابة. ما يفسر ارتفاع نسبة المسامية، لوحة (1-B, 1-D, 1-F) تتكون الأرضية من المكرايت وأحيانا تحدث مك Micritization واعادة تبلور جزئية الى الميكروسبر والمادة الرابطة كانت في الغالب من السبار ال (microsparite) لوحة (1-H)، وفي بعض العينات لوحظ وجود فجوات ناتجة عن الإذابة. H: السمنت السباري النقي. I: المكرته المؤثرة على الحمصيات. I: اعادة التبلور المحدود



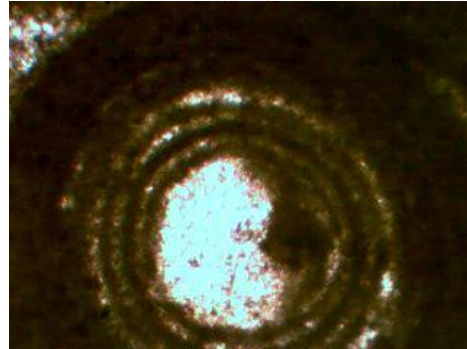
لوحة رقم F-١



لوحة رقم E-١



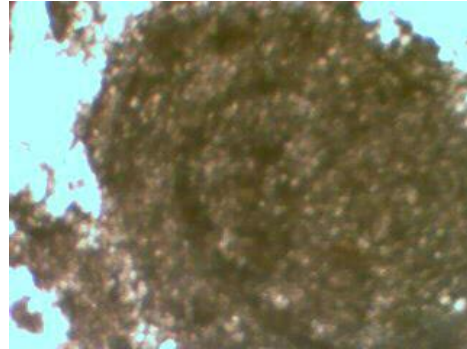
لوحة رقم H-١



لوحة رقم G-١



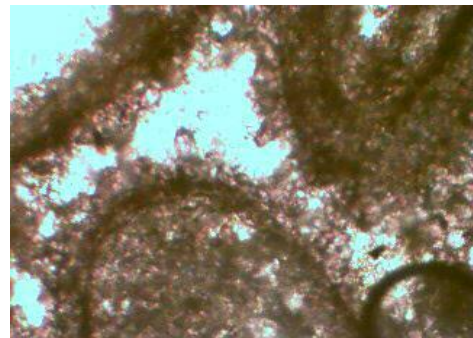
لوحة رقم J-١



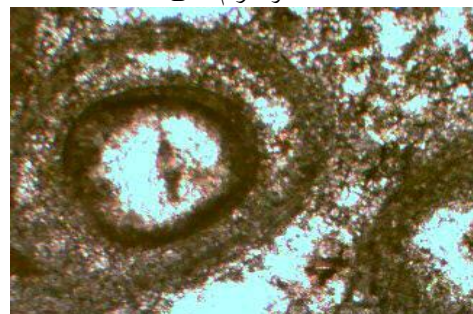
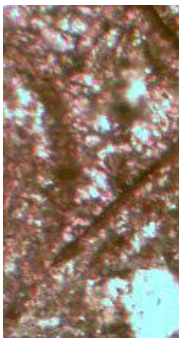
لوحة رقم I-١

(Pi) والسرييات Ooids في النماذج قيد الدراسة X40

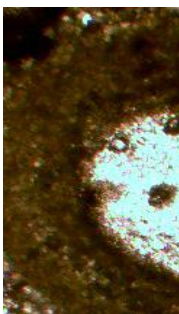
المكونات الأساسية فان النماذج المدروسة تصنف على انها oosparite و .pisosparite تتكون التراكيب السريية والحمصية في مياه البحر فوق مشبعة بكاربونات الكالسيوم في المناطق المدارية ذات المياه الضحلة المتميزة بالامواج الفعالة حيث ان ارتفاع درجات الحرارة يكون كافيا لترسب الكاربونات على النويات، وتتكون هذه التراكيب نتيجة تكرار حركة تيارات المد (26,27)، وكذلك تتكون في الخلجان المغلقة (Lagoons) والبحيرات والمسطحات المدية (Tidal flat) (26) .



لوحة رقم B-١



لوحة رقم -١



ويوضح الجدول (5) الكثافة الكلية لنماذج الدراسة التي تتراوح بين (1.487-1.615) g/cm³ وهي مقاربة لمعدلاتها في المواصفات العالمية للحجر الجيري جدول (6).

جدول 5: الخواص البتروفيزيائية والميكانيكية لصخور الحجر الجيري لمنطقة الدراسة.

no.	Bulk density g/cm ³	Specific Gravity	Porosity %	Moisture Content%	Compressive strength Kg/cm ²
1	1.568	2.552	14.73	1.7	35.6
2	1.556	2.596	29.6	1.25	16
3	1.544	2.473	22.25	0.64	60.5
4	1.487	2.503	22.78	1.46	71.2
5	1.615	2.628	13.8	0.7	106.8

جدول 6: معدل المواصفات العالمية (الخواص البتروفيزيائية والميكانيكية) لبعض الاحجار الجيرية عن (٢٢) من اطروحة (٤).

العينة الخاصة	١	٢	٣	٤	٥
المسامية (%)	٤.٠٣	٦.١٦	٢.٥١	٣.٧٣	٤.٤٥
الكثافة الإجمالية (غم/سم ^٣)	١.٦٣	١.٦٧	١.٤١	١.٤٤	١.٦٥
الوزن النوعي الظاهري	٢.٧٣	٢.٧٢	٢.٦٣	٢.٦٦	٢.٧
المقاومة الانضغاطية (كغم/سم ^٢)	٨٥٢.٤٤	٤٥٨.٨١	١٢٤٢.٣	١٤١٤.٠	٤٨٤.٨

مما تقدم في الدراسة البتروغرافية فان الصخور الكربوناتيية المدروسة والتي تعود الى تكوين الفتحة ترسبت على الارجح في بيئة لاغونية ضحلة تاثرت بالتيارات الفعالة او الهائجة. ان الخواص البتروغرافية التي نوقشت في اعلاه جاءت لتنسجم مع ما خلصت اليه نتائج الدراسة الجيوكيميائية وعززت القناعة في التحاليل الكيميائية، وخصوصا قلة نسبة تركيز اوكسيد المغنسيوم وقلة السيليكا الحرة حيث لم يشخص كل من معدن الدولومايت ولا الكوارتز.

الخواص البتروفيزيائية والميكانيكية

تم اجراء الفحوصات البتروغرافية والميكانيكية للعينات قيد الدراسة لتقييم امكانية قلعها من المكاشف الصخرية ومدى مقاومتها للتكسير والسحق والطحن اثناء اعداد وتجهيز الخلطة وكذلك ظروف تسخينها وحرقتها في المراحل اللاحقة لصناعة الاسمنت. وتختلف الخواص الفيزيائية والميكانيكية للصخور باختلاف مكوناتها المعدنية وقوة التحام الحبيبات ونوع المواد اللاصقة ومدى تبلورها. ومن الخصائص المؤثرة على هذه العوامل هو نسيج (Texture) الصخرة الذي يشمل شكل وحجم الحبيبات ونوع المكونات وطبيعة المواد اللاصقة والعمليات التحويرية التي طرأت على الصخرة (22). ومن الخواص البتروفيزيائية والميكانيكية التي تم فحصها في هذه الدراسة هي: 1. الكثافة الكلية 2. الوزن النوعي 3. المسامية 4. محتوى الرطوبة 5. المقاومة الانضغاطية

الخواص البتروفيزيائية

١. الكثافة الكلية Bulk Density

وهي كثافة الصخور في الموقع وتعرف بانها وزن في وحدة حجم معينة من المادة الصخرية وتمثل نسبة وزن كتلة الى الحجم الكلي (حجم المادة الصلبة مضافا اليه حجم كل من الفراغات المفتوحة والمغلقة) (28).

$$P=W/V$$

حيث p = الكثافة الكلية g/cm³

w هي الوزن Weight

V الحجم الكلي Volume

٢. الوزن النوعي الظاهري Apparent specific Gravity

وهي النسبة بين وزن النموذج الى وزن نفس الحجم من الماء: $G_b = w_s / y_w V_T$

حيث:

W_s = وزن المادة الصلبة

G_b = الوزن النوعي

y_w = كثافة الماء

V_T = الحجم الكلي للنموذج الصخري

ولغرض معرفة قابلية السحق التي تمثل سلوك الصخرة عند اجراء عملية الاختزال الحجمي لها. فانه تم التعبير عنها بالمقاومة الانضغاطية. وتتغير مقاومة الحجر الجيري للسحق اعتمادا على نفاوتها ودرجة تبلورها وطبيعة المادة اللاصقة والمسامية ومحتوى الرطوبة ودرجة التجوية التي تعرضت لها الصخرة (٣١). وتبدي الصخور الجيرية معادة التبلور مقاومة انضغاطية عالية، فقد اشار (Chatterjee, 1979) في (بازدين ١٩٩٠) ان الحجر الجيري المتبلور اكثر مقاومة للسحق من الحجر الجيري ناعم التبلور حيث ينبغي ان لا تزيد المقاومة الانضغاطية للحاجار الجيرية اللازمة لصناعة الاسمنت عن (٩٥٠-١٠٠٠) كغم/سم^٢ (٣٢) في (١٧).

تم قياس المقاومة الانضغاطية احادية المحور للعينات المدروسة في مختبرات الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين حيث اخذت ثلاث عينات لكل نموذج وسلط ضغط عمودي محوري على لباب اسطوانتي النسبة بين ارتفاعه الى قطره = ٢، وعند نقطة الانهيار تم تطبيق المعادلة في ادناه لحساب المقاومة الانضغاطية احادية المحور المصححة.

$$Cc = Cp / (0.778 + 0.222 d/h)$$

حيث:

Cc = المقاومة الانضغاطية لعينات الفحص القياسية المصححة
 Cp = المقاومة الانضغاطية للينة التي يكون ارتفاعها اكبر من قطرها.

وفي العينات المدروسة تبين ان زيادة المسامية وضعف اعادة التبلور ادت الى انخفاض قيم المقاومة الانضغاطية والتي تراوحت بين (١٠٦ - ١٠٦) kg/cm^2 كما في الجدول (٥) وهي تعد منخفضة جدا مقارنة بقيمتها العالمية للحجر الجيري كما في الجدول (٦). ومما سبق نستنتج ان الصخور موضوع البحث ذات مقاومة قليلة جدا لعمليات التكسير والسحق والطن اللازمة في صناعة الاسمنت فضلا عن سهولة استخراجها او قلعها من المكاشف الصخرية والمقالع.

الاستنتاجات

١. أثبتت الدراسة الجيوكيميائية ان نسب الاكاسيد الرئيسية في الصخور قيد البحث ملائمة لصناعة الاسمنت، حيث ان ارتفاع نسبة اوكسيد الكالسيوم CaO الى الحدود القصوى المقبولة تجعل هذه الصخور صالحة لصناعة الاسمنت، حيث يمثل المكون الأساسي لمزيج خلطة الاسمنت، كما ان الانخفاض الشديد في نسبة السيليكا SiO_2 واوكسيد الالمنيوم Al_2O_3 واوكسيد الحديد Fe_2O_3 وعدم وجود

وتتراوح قيم الوزن النوعي للنماذج المدروسة (٢.٤٧ - ٢.٦٢) ويبين الجدول (٦) زيادة الفرق بين قيم الكثافة الكلية والوزن النوعي وهذا يدل على زيادة الفجوات في النماذج المدروسة.

٣. المسامية Porosity

تعرف بانها النسبة بين حجم الفجوات او الفراغات الى الحجم الكلي لنموذج الصخرة،

$$n = (V_v / V_T) * 100$$

حيث n المسامية

V_v حجم الفجوات

V_T حجم الصخر الكلي

تعتمد المسامية بصورة مباشرة على حجم وشكل حبيبات او بلورات المعادن المكونة للصخرة وعلى درجة تدرجها (Grading) وعلى ترتيب هذه الحبيبات وطبيعة تحشيتها مع بعضها (Packing) وكذلك المادة الرابطة (٢٩).

ومن الجدول (٦) نلاحظ ارتفاع درجة المسامية للنماذج المدروسة حيث تتراوح ما بين ١٣.٨ - ٢٩.٦ مما يقلل من مقاومتها الانضغاطية وبالتالي تسهيل عملية قلع الصخور ثم تكسيرها وسحقها وطحنها في مراحل تهيئة خلطة المزيج.

٤. محتوى الرطوبة moisture content

وتمثل النسبة بين وزن الماء الموجود في فراغات الصخرة

الى وزن المادة الصلبة W_s .

$$W\% = (W_w / W_s) * 100$$

بالنسبة للصخور الجيرية الملائمة لصناعة الاسمنت يجب ان لا يزيد محتوى الرطوبة ٥% كما جاء في (30). ويوضح الجدول (6) انخفاض محتوى الرطوبة والذي يتراوح بين (1.7 - 0.64) ويعد عامل مشجع لاستعمال الصخور المدروسة كمادة اولية في صناعة الاسمنت حيث لا يحتاج الى صرفيات طاقة اضافية لغرض تجفيف الخلطة قبل حرقها.

الخواص الميكانيكية

تم في هذه الدراسة اجراء فحص المقاومة الانضغاطية فقط من ضمن الفحوصات الميكانيكية.

المقاومة الانضغاطية Compressive strength

وهي تمثل مقاومة الصخرة للضغط العمودي المسلط عليها عند نقطة الانهيار. وتعرف بأنها مجموعة القوى الممثلة باصرة التحام الحبيبات او البلورات المكونة لمادة الصخرة والمقاومة للقوى الخارجية المسلطة عموديا عليها (29).

- وبيان إمكانية تطوير المقال بالاتجاهات العمودية والأفقية، وبيان حجم وكفاية الاحتياطي لإنشاء مصنع للأسمنت.
٢. ضرورة دراسة المكون الطيني المكمل لخلطة الاسمنت في المقال القريبة من منطقة الدراسة وبيان مدى ملائمتها لإنتاج الخلطة المناسبة، من خلال دراسة الخواص الجيوكيميائية والمعدنية لهذه الأطنان وخصوصاً التي تعود الى مكاشف تكويني الفتحة وانجاعة التي تتكشف قرب منطقة الدراسة، ومن ثم إعادة حساب المعاملات الكيمياءوية (معامل الإشباع الجيري و معامل السيليكا ونسبة الالومينا) لخلطة الحجر الجيري قيد الدراسة والطين المقترح.
٣. دراسة امكانية استخدام التربة في منطقة البحث كمواد مصححة في خلطة الاسمنت.

المصادر

1. Jassim, S. Z. and Goff, J. C., 2006. *Geology of Iraq*, Dolin, Prague and Moravian Museum, Brno, Czech Republic, 341p.
٢. المسح الجيولوجي والتعدين. ٢٠٠٨. الخارطة الجيولوجية الاقتصادية لمحافظة صلاح الدين، مقياس ١:٢٥٠٠٠٠، بغداد، العراق.
٣. مديرية المساحة العسكرية. ١٩٨٩. الخريط الطوبوغرافية لغرب ببجي وام الفطور، مقياس ١:١٠٠٠٠٠.
٤. كلي، امير حيدر خالد. ٢٠٠٦. طبيعة انتشار السيليكا في المواد الخام الأولية لمقالع معمل اسمنت حمام العليل وتقييم المواد الخام الاولية في المواقع البديلة، جامعة الموصل، كلية العلوم، قسم علوم الارض، رسالة ماجستير ، ١٣٦ص.
٥. دنون، دنون عبدالرحمن، والجبوري، علي عبدالله. ١٩٩٧. الخواص الجيوتكنيكية للصخور الجيرية المستغلة لاغراض البناء في محافظة نينوى، *المجلة الجيولوجية العراقية*، ٣٠(٢): ٢٨-٣٣.
6. Knill, J. L., 1978. *Industrial Geology*, Oxford University, London. Pp. 196-223.
7. Jefferson, D.P., 1978. *Geology and the cement industry*. Pp. 196-223 in Knill, J.L. (ed). *Industrial geology*, Oxford university press, London, 344p.
8. Jefferson, D.P. 1983. *Determination and providing of cement raw materials, prospecting and evaluation of non-metallic*

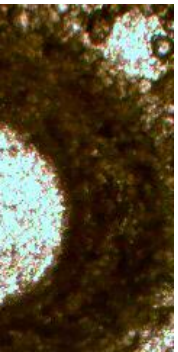
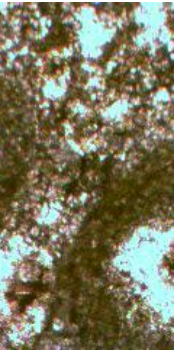
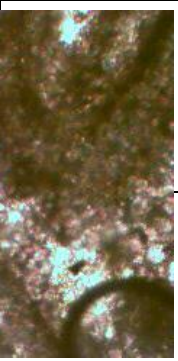
السيليكا الحرة أيضا يعد عامل مشجع اخر لاستغلال هذه الصخور لصناعة الاسمنت، اما الانخفاض الكبير في نسبة اوكسيد المغنيسيوم MgO عن الحدود غير المرغوب فيها يعزز صلاحية هذه الصخور للصناعة المذكورة خصوصا ان ارتفاع نسبة هذا الاوكسيد له أضرار تشغيلية اثناء تصنيع الاسمنت، وحدث تمدد في الخرسانة وتشققات وانهيارات وانخفاض نسبة SO₃ والقلويات يؤكد ملائمة هذه الصخور لهذه الصناعة. مما تقدم نستنتج ان الصخور قيد الدراسة يمكن ان تستخدم كمكون كاربوناتى مناسب لخلطة الاسمنت شريطة اختيار اطنان مناسبة للخلطة.

٢. أثبتت الدراسة البتروغرافية ان المكون الأساس للصخور قيد البحث هي حبيبات السريئات والحمصيات مع نسبة من أرضية المكرايت وقليل من المادة اللاصقة او الرابطة. وان عملية الإذابة أدت إلى ارتفاع نسبة المسامية في الصخور، كما أدت العمليات التحويرية الى حدوث المكروته وإعادة التبلور الجزئي.
٣. ان ارتفاع نسبة المسامية وانخفاض المقاومة الانضغاطية الشديد للصخور يجعلها سهلة القلع والتكسير والسحق والطحن وهذا عامل مشجع اخر لإمكانية استخدام هذه الصخور لصناعة الاسمنت.
٤. ان سمك طبقة الحجر الجيري في منطقة الدراسة والذي يتراوح بين 0.95-١.٤ متر قد لا يكون مشجعا لاستغلال هذه الصخور لصناعة الاسمنت، لكن الامتداد الجغرافي الواسع للطبقة وقلّة سمك التربة التي تغطيها ووجود سطح فاصل حاد وواضح بين الطبقة وتربة الغطاء، وقلّة ميل الطبقة بحيث يمكن متابعة امتداداتها دون ان تغطس مع العمق كل هذه تعد عوامل مشجعة لاستغلالها لهذه الصناعة.

التوصيات

١. إجراء دراسة لتقييم حجم احتياطي الحجر الجيري في المنطقة من خلال تحديد امتدادات الطبقة المستثمرة والتغيرات في سمكها وأعماقها وميلها من خلال حفر مجموعة من الآبار الاستكشافية وعمل الخرائط والمقاطع اللازمة للامتدادات والاستفادة من الآبار المحفورة للتأكد من وجود طبقات أخرى من الحجر الجيري تحت الطبقة المستثمرة حاليا

20. ASTM. **2008**. American Society for Testing and Materials, Cement; Lime; Gypsum, Volume 04.01.
٢١. الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية، الجمهورية العراقية. ١٩٨١. المواصفة القياسية العراقية رقم (٣١) لسنة ١٩٨١، تعيين الكثافة والكثافة النسبية وامتصاص الماء والفجوات والتضخم للركام.
22. Chatterjee, A.K., **2004**. Raw materials selection. Pp. 37-63 in: Bhattay, J.I.,(ed), *innovation in Portland cement manufacturing portland cement association Illinois, USA*.
23. Gouda, G.R. **1979**. Raw mix: the key for successful and profitable cement plant operation. (*World cement technology*) jour., **10**(10):337-346.
24. Fundal, E., **1980**. Microscopy of cement raw mix and clinker, F.L. Smidth, review- 25, F.L. smidth laboratories, Copenhagen, Denmark, 15p.
25. Folk, R. L., **1962**. *Spectral subdivisions of limestone types*. In: Ham (ed) Classification of Carbonate Rocks. Memoir 1, American Association of Petroleum Geologists, p. 62-85.
26. Tucker, M.E., **1985**. *Sedimentary petrology, an introduction*, Black well, London, 252p.
27. Scholle, P.A., James, N.P. and Read, J.F., **1989**. *Carbonate Sedimentology and petrology*. Am. Geo. Union. Washington.
٢٨. علي، مقداد حسين، وحجاب، باسم رشدي، والجسار، سنان هاشم. ١٩٩١. الجيولوجيا الهندسية، دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل، ٥٧٦ص.
٢٩. فتوح، زهير، وثابت، كنانة محمد، والجسار، سنان هاشم، ومشكور، مصطفى. ١٩٨٩. الجيولوجيا الهندسية والتحري الموقعي، دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل، ٣٥٢ص.
30. Ghosh, S.P. and Chatterjee, A.K. **1977**. Norms of exploration opening up and quarrying, cement-grade limestone deposits. Pp. 272-275, trans. Of (Zement-Talc-Gips), magazine, No.10,12, New Delhi, India.
- rocks and minerals*, Institute of geologists, pp 189-208.
9. Duda, W.H. **1977**. Cement-Data-Book. International processing engineering in the cement industry (2nd ed.), Bauverlag, GmbH. Wiesbaden, Berlin Macdonald and Evans, London, 539p.
10. Schafer, H.U. **1987**. Assessment of raw materials for the cement industry. Reprint from the Journal (World Cement). Cement and concrete association, London Vol.7, pp273-283.
١١. المعاضيدي، ساهرة محمد عثمان. ٢٠٠٠. الضوابط المعدنية والبتروغرافية والكيمياوية للخواص الفيزياوية للاسمنت البورتلندي العراقي، قسم علوم الارض التطبيقية، كلية العلوم، جامعة الموصل، اطروحة دكتوراه، ٢٠١ص.
12. Bhattay, J.I., and Gayda, J. **2004**. Use of alternative materials in cement manufacturing, pp. 137-166 in: Bhattay, J.I. (ed), *innovation in Portland cement manufacturing Portland cement association, Illinois, USA*.
13. Pollitt, H.W.W., **1964**. Raw materials and processes for Portland cement manufacture, In: Tayler, H. F. W., (1964), the chemistry of cements, Vol.1, Academic press, London and New York, pp.27-48.
14. Grim, R.E., **1962**. Applied clay mineralogy, McGraw-Hill Book Co. Inc. New York, 422p.
15. Duda, W.H. **1984**. Cement- data_Book. Vol. 2, Bauverlag, GmbH, Wiesbaden and Berlin, 456p.
١٦. الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية، الجمهورية العراقية. ١٩٨٤. المواصفة القياسية العراقية رقم (٥) لسنة ١٩٨٤، الاسمنت البورتلندي.
١٧. يزدن، ميرزا عيدو، ١٩٩٠. تقييم صلاحية بعض صخور العصر الثلاثي في وادي خان - منطقة سنجار لصناعة الاسمنت البورتلندي الاعتيادي، رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة الموصل، ١٧٠ص.
18. Soroka, I., **1979**. portland cement past and concrete, Macmillan press LTD., 338p.
١٩. العلي، صفاء حسين علي، ٢٠٠٤. دراسة تقنية للاسمنت المنتج من معامل اسمنت الكوفة والمواد الخام الداخلة في صناعته، اطروحة ماجستير، جامعة البصرة، ١٠٠ص.



31. Neville, A. M., **1981**. *Properties of concrete*. John Wiley and Sons, Inc, New York, 779p.
32. Chatterjee, A. K., **1979**. Phase composition, microstructure, quality and curing of Portland cement-are view phenomenological interrelations-part2, *World Cement Technology*, **10**(5):165-172.