

تصنيف الكتل الصخرية لتكوين البلاسبي على الجناح الشمالي الشرقي لطية دهوك المحدبة شمالي العراق

سرى خالد جاسم¹ ، أ.م.د محمد راشد عبود²

1. موظفة في وزارة النفط العراقية.

2. قسم علوم الأرض التطبيقية، كلية العلوم، جامعة تكريت.

مستخلص:

قامت الدراسة على دراسة البنية الصخرية على الجناح الشمالي الشرقي لطية دهوك المحدبة، إذ اشتملت الدراسة على عدة محطات، جميعها تقع ضمن تكوين بيلاسبي (Pilaspi). و تضمنت الدراسة مسحاً ميدانياً للمنطقة وتم إجراء الفحوصات الجيوتكنيكية لصخور منطقة الدراسة، وشملت الفحوصات البتروفيزيائية (المحتوى المائي، الكثافة الجافة، الكثافة المشبعة، نسبة امتصاص، الوزن النوعي الظاهري الجاف والحقيقي، المسامية الكلية، المسامية الجزئية، معامل التشبع)، فحص المقاومة الانضغاطية غير المحصورة، وزاوية الاحتكاك الداخلي للعينات المدروسة، حيث بينت نتائج الفحوصات البتروفيزيائية لصخور الحجر الجيري في تكوين بيلاسبي: قيم المحتوى المائي تتراوح بين (2.256% - 4.167%)؛ قيم الكثافة الجافة تتراوح بين (2.229 - 2.726) غم/سم³؛ قيم الكثافة المشبعة التي تتراوح بين (2.514 - 2.596) غم/سم³، نسبة الامتصاص المتراوحة بين (1.265 - 3.167) %، قيم الوزن النوعي الظاهري الجاف الذي يتراوح بين (2.229 - 2.729)، قيم الوزن النوعي الحقيقي الذي يتراوح بين (2.499 - 3.056)، قيمة المسامية الكلية تتراوح بين (7.147 - 14.469) %، قيم المسامية الجزئية المتراوحة بين (6.046 - 13.302) %، فيما تتراوح قيمة معامل التشبع بين (0.719 - 0.919). أمّا قيم المقاومة الانضغاطية اللاحصورة فتتراوح ما بين (26.76 - 39.93) ميكا باسكال، فيما تقع قيم زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ تقع ما بين (31° - 37°).
كلمات مفتاحية: بنية صخرية، تكوين بيلاسبي، حجر جيري، طية دهوك، الفحوصات الجيوتكنيكية، الفحوصات البتروفيزيائية.

Classification of the rock masses of the Plasby Formation on the northeastern flank of the Dohuk Anticline, northern Iraq

Sura Khalid Jassim¹ and Assistant Professor Dr. Mohammed Rashid Abboud²

1. Employee at the Iraqi Ministry of Oil.

2. Department of Applied Earth Sciences, College of Science, Tikrit University.

Abstract :

the study was based on studying the rock structure on the northeastern limb of the Duhok anticline, as the study included several stations, all of which are located within the Pilaspi Formation. The study included a field survey of the area and geotechnical tests were conducted on the rocks of the study area, and the petrophysical tests included (water content, dry density, saturated density, absorption ratio, apparent dry and true specific gravity, total porosity, partial porosity, saturation coefficient), testing the unconfined compressive strength, and the angle of internal friction of the samples.

The results of petrophysical examinations of limestone rocks in the Belaspi Formation showed that: Water content values range between (2.256% - 4.167%); dry density values range between (2.229 - 2.726) g/cm³; saturated density values range between (2.514 - 2.596) g/cm³, absorption ratio ranges between (1.265 - 3.167)%, apparent dry specific gravity values range between (2.229 - 2.72), The true specific gravity values range between (2.499 - 3.056), the total porosity values range between (7.147 - 14.469) %, the partial porosity values range between (6.046 - 13.302) %, while the saturation coefficient values range between (0.719 - 0.919). The unconfined compressive strength values range between (26.76 - 39.93) MPa, while the internal friction angle values ϕ fall between (31° - 37°).

Key words: rock structure, Pilaspi Formation, Duhok anticline, geotechnical tests, petrophysical tests.

المناطق، ومن الممكن إن تختفي هذه الممتلكات في بعض المناطق الأخرى من التكوين؛ أمّا التماس السفلي لهذا التكوين فيكون مع تكوين جركس بشكل متداخل وتفصل بينهما ممتلكات قاعدية. هدف الدراسة: تهدف الدراسة الحالية الى تصنيف الكتل الصخرية لتكوين البلاسي باستخدام نظام تصنيف الكتل الصخرية (RMR) (Rock Mass Rating system) الذي يعد من العوامل الرئيسة في تقييم جدوى المشاريع الهندسية وأهميته، وإلى دراسة الصفات البتروفيزيائية ذات الأهمية الكبيرة لدراسة التصرف الهندسي لأيّة مادة صخرية وتحديد ملاءمتها لمختلف الأغراض الهندسية. نظام الكتلة الصخرية RMR اقترح من قبل بيناوسكي (Bieniawsky 1973) للاستخدام في الانفاق والأسس والمنحدرات ويعرف بالتصنيف مع الزمن وكما موضح بالجدول التالي.

جدول (1) تطور نظام (RMR)

RMR	1973	1974	1975	1976	1989
compressive strength	10	10	10	15	15
RQD	16	20	20	20	20
Spacing of discontinuities	30	30	30	30	20
Groundwater conditions	10	10	10	10	15
Condition of joints	34	30	30	25	30
Discontinuity strike and dip orientation in tunnels	3-15	0-15	0-12	0-12	0-12

(حسب milne etal 1998)

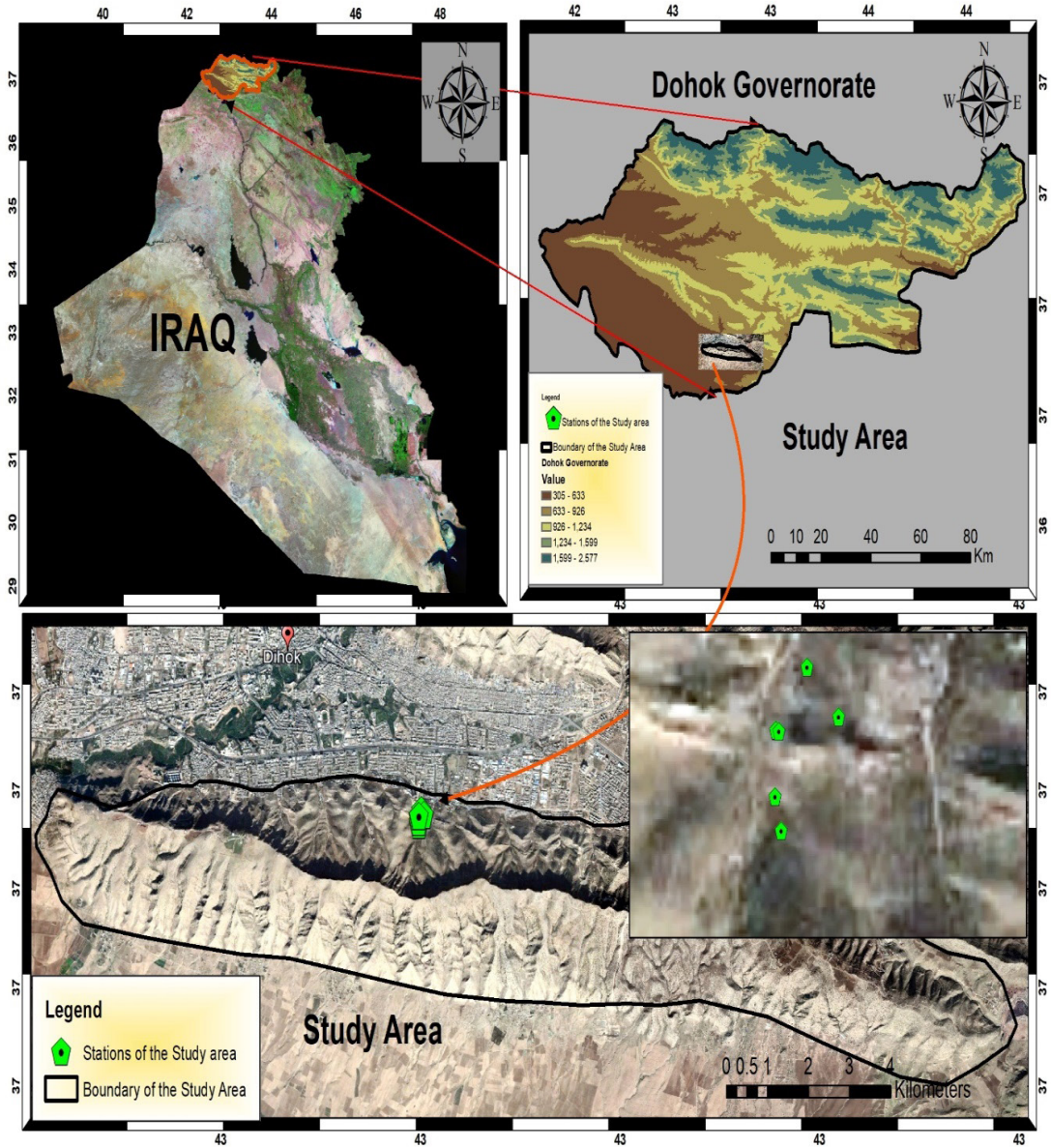
الجناح الشمالي الشرقي لطيبة دهوك . ويبلغ طول الطيبة 15 (Km)، وعرضها حوالي (3-5 Km) وهي عبارة عن منطقة معقدة وشديدة الطي وتعد جزءاً من نطاق الطيات العالية، لوحة شكل (1).

أولاً: مقدمة

يعود عمر تكوين بيلاسي إلى عصر (Middle Upper Eocene) (Bellen et al 1959) ويُعد أحد التكوينات البارزة التي تكون تلالاً في المحافظات الشمالية من العراق، سمك تكوين البيلاسي يتراوح من 15 (متر إلى 110 متر) وهو من التكاوين الذي يشكل أغلب الطيات (Varoujan, et al 2020). ينقسم تكوين بيلاسي على جزئين، الجزء العلوي: يتكون هذا الجزء من حجر كلسي جيد التطبق، أمّا الجزء الأسفل من هذا التكوين فيتكون من حجر كلسي متطبق صلب ذات مظهر مسامي، حيث يتحكم هذا التكوين في بناء جيولوجية وجيومورفولوجية؛ المنطقة، وأشار (Bellan et al 1959)، إلى إن التماس العلوي لتكوين بيلاسي يكون مع تكوين الفتحة في معظم مكاشفه؛ ويتحدد بطبقة من ممتلكات القاعدة ((Basal conglomerate

الحدود المكانية: طيبة دهوك ضمن محافظة دهوك شمال العراق بالقرب من مركز المدينة. من الناحية الجغرافية تقع منطقة الدراسة بين خطي طول (0°43'56") - (1°43'20") شرقاً ودائرتي عرض (50°36'08") - (50°36'30") شمالاً، ضمن

شكل (1) خارطة موقعية لمنطقة الدراسة



الحجم للنماذج غير المنتظمة بطريقة الأوزان الثلاثة وفق المواصفة (ASTM- C, 97-09,2010) باستخدام ميزان الكتروني حساس وبدقة (0.01 غم)، إذ تراوحت قيم الكثافة الجافة لصخور الحجر الجيري في منطقة الدراسة ما بين (2.22-2.47 غم/سم³)، كما في الجدول (1-3). لقياس الكثافة يتم استخدام

ثانياً: الخواص التركيبية:

1-2: الكثافة الجافة (ρ_{dry})

تعرف بأنها كتلة وحدة الحجم ووحداتها (كغم/م³) (ASTM-C,127-90,2004)، وتعتمد على التركيب المعدني، المسامية، كمية الماء الموجودة بالفراغات والكسور، وتم قياس كتلة وحدة

المعادلة التالية:

2-3: نسبة امتصاص الماء

Water absorption (W. ab.)

الامتصاص هي قابلية الصخرة على جذب الماء بين مساماتها وحول سطح الحبيبات إذ تعتمد قابلية الصخور للامتصاص على عوامل عدة منها الشكل؛ والحجم؛ وترتيب الحبيبات وميكانيكية الصخور ومنها الرص، والتشويه والكسور... الخ، حيث تقل الاستقرارية في الصخور ذات الامتصاص العالي.

وتعد هذه الخاصية مهمة لأغراض البناء وفي تقييم صلاحية العزل الحراري؛ لأن الصخرة ذات الامتصاص القليل تكون أكثر تحملاً؛ وأقل تأثراً بالانجماد و الذوبان وتغيرات الجفاف والرطوبة (Griffin, 2008)، حيث إن الصخور المدروسة تمتلك نسبة امتصاص تراوحت ما بين (1.265% - 3.167%)، كما في الجدول (1-3)، إذ تم إيجاد مقدار نسبة الامتصاص للماء بالاعتماد على طريقة الأوزان الثلاثة من المعادلة التالية:

$$W_{ab} \cdot (W_w / W_d) \times 100 \dots\dots (3-3)$$

W. ab % = النسبة المئوية للامتصاص.

Ww = كتلة الماء في الفراغات (غم) الممتص خلال غمر النموذج بالماء لمدة (48) ساعة بعد التفريغ من الهواء.

Wd = كتلة النموذج الجافة (غم).

2-4: الوزن النوعي الظاهري الجاف

Specific gravity

وهو النسبة بين وزن حجم معين من المادة الصخرية إلى وزن الحجم نفسه من الماء عند درجة حرارة 20 مئوية ويكون خالياً من الوحدات، ويُعدُّ

$$\rho_{dry} = \frac{M_{dry}}{M_{sat} - M_{sub}} * \rho_w \dots\dots (1-3)$$

إذ ان:

ρ_{dry} = تمثل الكثافة الجافة ب (غم / سم³).

Md = كتلة العينة الجافة (غم).

M sat = كتلة العينة المشبعة بالماء (غم).

M sub = كتلة العينة المغمورة بالماء (غم).

ρ = كثافة الماء الكتلية (غم / سم³).

2-2: محتوى الرطوبة (M.c) Moisture Content

ويدعى أيضاً بمحتوى الرطوبة المائي للصخور وهو عبارة عن نسبة وزن الماء في الصخرة إلى وزنها الجاف (علي وآخرون، 1991)، وتعد هذه الصفة من الخواص الدالة للمواد الصخرية لما لها من علاقة بالفحوصات الفيزيائية التي تم إجرائها على صخور منطقة الدراسة (Zhang, 2005)، كما بين (Griffin, 2008) بأن هذه الخواص المذكورة تقل بزيادة المحتوى الرطوبي للصخرة، إذ كلما يزداد محتوى الرطوبة تقل استقرارية المنحدرات الصخرية وقد تراوحت قيم المحتوى الرطوبي لصخور الحجر الرملي في منطقة الدراسة ما بين (1.256% - 3.167%)، كما في الجدول (1-3)، وتم إيجاد المحتوى الرطوبي للصخور المدروسة وفق المعادلة التالية:

$$(M.c) = \left\{ \frac{Mn - Md}{Md} \right\} \times 100 \dots\dots (2-3)$$

حيث:

Mn = كتلة العينة الطبيعية (غم).

Md = كتلة العينة الجافة (غم).

قيم المسامية الجزئية لصخور قيد الدراسة ما بين (3.38% - 7.30%)، كما في الجدول (3 - 1).

$$n\% = \frac{W_{sat} - W_{dry}}{W_{sat} - W_{sub}} \times 100 \dots\dots(6-3)$$

إن قابلية التربة أو الصخور على حفظ المياه تعتمد على عدة عوامل مثل الرص (Packing) حجم الحبيبات المخلوطة (Mixture of particles) (sizes) والنسيج (texture) وطريقة ترتيب الحبيبات وكذلك العمليات الجيوكيميائية مثل الترسيب والإحلال وكذلك تتأثر المسامية بزيادة العمق والضغط، وتم إيجاد المسامية الكلية بحسب العلاقة أعلاه بتفريغ نموذج الفحص من الهواء وقيمتها أكبر من المسامية الجزئية، جدول (1).

2-6 معامل التشبع (%Sc) يعرف معامل التشبع على أنه النسبة بين المسامية الجزئية (n%) إلى المسامية الكلية (% n) (Honey-borne, 1982)، حيث يتم إيجاد معامل التشبع من خلال المعادلة الآتية:

$$Sc\% = (n' / n) * 100 \dots\dots(7-3)$$

حيث أن:

Sc% = معامل التشبع

من الجدير بالذكر أن قيمة معامل التشبع تعطي دليلاً على سلوك الصخرة خلال عمليات الانجماد. إذ إن الصخور التي يكون لها معامل تشبع فوق (0.85) فإن الصخرة تكون قابلة للتحطم بالانجماد، أما الصخور التي يكون لها معامل تشبع ما بين (0.8 - 0.85)؛ فإنها تكون صخوراً تقاوم الانجماد Doubtful وعندما تقل قيمة معامل التشبع أقل من (0.8) فهذه تعد صخوراً مقاومة.

الوزن النوعي من الصفات الدالة التي تُستخدم في تقويم الصخور وتصنيفها (Scott, 1974)، وإن الصخور عموماً غير متساوية بالوزن النوعي فالصخور التي تحتوي على معادن أو بلورات ثقيلة تكون عالية الوزن النوعي (فتوحي وآخرون، 1989)، ويمكن إيجاده بطريقة الأوزان الثلاثة وفق المواصفة (ASTM-C,97-09,2010) ويحسب بتطبيق المعادلة (3 - 4)، الجدول (1 - 3) يوضح قيم الوزن النوعي الظاهري والحقيقي لصخور منطقة الدراسة.

$$App. G.s_{(dry)} = \left\{ \frac{W_d}{W_{sat} - W_{sub}} \right\} \dots\dots(4-3)$$

أما الوزن النوعي الحقيقي (True.G.s) Specific True gravity فتم إيجاده من المعادلة التالية:

$$True. G. s = \left\{ \frac{W_d}{W_d - W_{sub}} \right\} \dots\dots(5-3)$$

App.G.s = الوزن النوعي الظاهري.

True.G.S = الوزن النوعي الحقيقي.

2-5 المسامية الجزئية (Partial Porosity (n))

هي نسبة حجم الفراغات إلى الحجم الكلي للعينة، مقاسة بدون تفريغ الهواء الذي يشغل الفراغات (Honey borne, 1982)، حيث يجفف النموذج بدرجة حرارة (105) م° لحين وصوله إلى وزن ثابت ثم يوزن بدقة (W dry). ثم يغمر جزئياً بالماء ولعمق (4) ملم وبعد (24) ساعة من وصول الماء إلى السطح العلوي للنموذج يغمر كلياً بالماء لمدة (48 ساعة)، ثم يرفع ويوزن بعد أن يمسح سطحه الخارجي بقطعة قماش مبللة (Wsat) ومن ثم يوزن وهو معلق في الماء (Wsub) عندئذ تحسب قيمة المسامية الجزئية من العلاقة التالية، وتراوحت

جدول (2) نتائج الخواص البتروفيزيائية لصخور الحجر الجيري في منطقة الدراسة

رقم المحطة	المحتوى المائي %	الكثافة الجافة غم/سم ³	الكثافة المشبعة غم/سم ³	نسبة الامتصاص %	الوزن النوعي الظاهري الجاف	الوزن النوعي الحقيقي	المسامية الكلية %	المسامية الجزئية %	معامل التشيع
1	4.167	2.229	3.596	3.167	2.229	2.499	14.468	10.399	0.719
2	2.307	2.536	3.519	1.307	2.536	2.699	9.357	7.933	0.848
3	3.915	2.381	3.568	2.915	2.393	2.746	14.469	13.302	0.919
4	4.832	2.401	3.553	2.731	2.401	2.722	13.438	11.782	0.887
5	2.256	2.726	3.514	1.265	2.729	3.056	7.147	6.046	0.846
6	3.915	2.473	3.547	2.681	2.473	2.687	9.731	7.832	0.759
7	3.724	2.435	3.523	2.458	2.681	2.924	12.216	10.817	0.885

ثالثاً: الخواص الميكانيكية

Mechanical Properties

تُعدّ الفحوصات الميكانيكية ضرورية لغرض تقييم الصخور في استقرار المنحدرات الصخرية، وكذلك لها أهمية اقتصادية كبيرة في استغلال الكثير من التراكيب الهندسية، وتم دراسة السلوك الهندسي للحجر الجيري في منطقة الدراسة باستخدام عدة فحوصات ميكانيكية طبقاً للمواصفات القياسية الأمريكية (ASTM)، ومنها المقاومة الانضغاطية غير المحصورة).

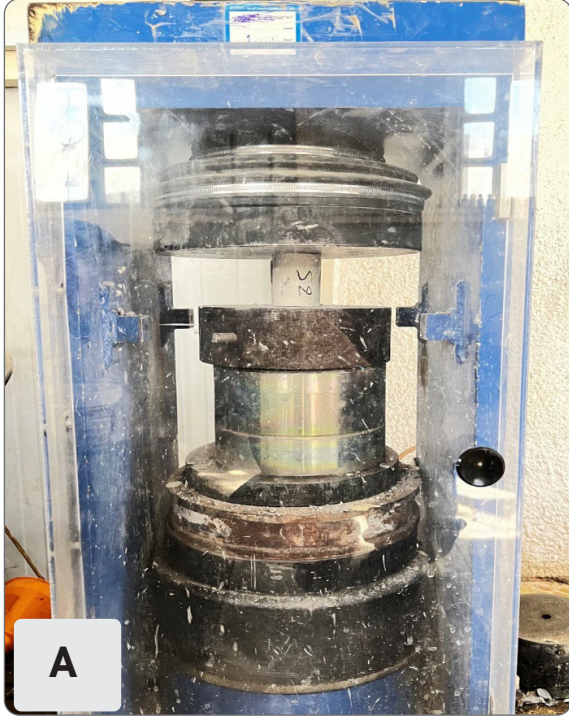
1-3: المقاومة الانضغاطية غير المحصورة

Unconfined Compression Strength

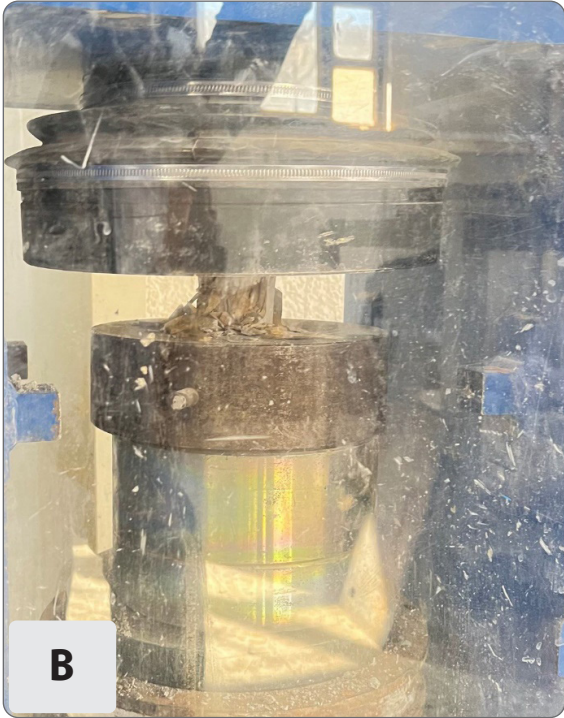
تعرف المقاومة الانضغاطية اللامحصورة للصخرة بأنها مقاومة الصخرة للضغط العمودي عند نقطة الانهيار (علي وآخرون، 1991)، وكذلك تعرف بأنها مجموعة القوى المثلثة بأصرة التحام الحبيبات أو البلورات المكونة لمادة الصخرة والمقاومة للقوى الخارجية المسلطة عليها عمودياً (Potts, 1964)، وقد بين (ASTM-C, 2938, 200) أن هناك كثيراً من العوامل المؤثرة في المقاومة الانضغاطية منها حجم النموذج، شكله، محتوى

الرطوبة، معدل التحمل، درجة نعومة الأوجه، ومن العوامل المؤثرة الأخرى هي نوعية المعادن، حجم الحبيبات والمسامية (علي وآخرون، 1991). تم إعداد النماذج للفحص في ورشة صخور قسم علوم الأرض / كلية العلوم / جامعة تكريت إذ تم تقطيعها بشكل أسطواني عمودي على إتجاه التطبيق بواسطة جهاز قاطع اللباب (Core drills) لوحة (2)، بعدها تم تعديل؛ وتنعيم حوافها إذ تم الحصول على أشكال اسطوانية. وقد تم إجراء الفحص في مختبر الخرسانة / قسم الهندسة المدنية / جامعة تكريت للنماذج في الحالة الطبيعية وفق المواصفة القياسية (ASTM, D-2938-95, 2004) باستخدام جهاز الانضغاط الرأسي الألماني الصنع نوع (CYBER-PLUS EVOLUTION)، حيث يسلط الجهاز بحده الأقصى قوة مقدارها (KN1500 (بدقة 0.1kN))، ويزداد مقدار الحمل بمعدل (N/ 0.75 mm²/sec) بشرط أن يكون انهيار النموذج خلال (5-10) دقيقة (ISRM, 1979)، والجهاز يحتوي على بوابة من الزجاج مقاوم للكسر وفضلاً عن شاشة يتم التحكم بها عن طريق اللمس متصلة بالجهاز ومن خلال هذه الشاشة يتم السيطرة على

لوحة رقم (3):
(A) النموذج قبل الانهيار،
(B) النموذج بعد الانهيار (11\1\2023).



A



B

معدل وسرعة التحميل .
إذ تم وضع النموذج بين صفيحتي مكانة التحميل في الجهاز بعدها يتم تسليط ضغط رأسي على النموذج وعند الوصول إلى مرحلة الإنهيار للإجهاد الناتج يسمى بالمقاومة الانضغاطية غير المحصورة، لوحة (3)؛ ويتم حساب المقاومة الانضغاطية اللامحصورة وفق المعادلة أدناه:

$$\sigma_c = P/A \quad \dots\dots\dots (10-3)$$

$C\sigma$ = المقاومة الانضغاطية للنموذج معبرا عنها
بوحد (MPa).

P = القوة المسلطة على النموذج معبرا عنها
بوحد (MN).

A = مساحة المقطع العمودي للنموذج المراد
فحصه على اتجاه القوة (m^2).

لوحة (2) وضع النموذج في جهاز فحص المقاومة
الانضغاطية



$\sigma_c =$ المقاومة الانضغاطية لنموذج ينطبق عليه

$$\left(2 \geq \frac{L}{D} \geq \frac{1}{3}\right)$$

D = قطر النموذج (ملم).

L = طول النموذج (ملم).

والجدول (2) يوضح تصنيف المقاومة الانضغاطية للنماذج الصخرية وذلك بالاعتماد على تصنيف (Anon, 1977).

تم اقتراح معادلة التصحيح من قبل (ASTM, 1967, in Obert & Duvall, 1942) لإيجاد المقاومة الانضغاطية أحادية المحور حيث يمكن الحصول على القيمة عندما تكون نسبة الطول الى القطر (1:1)، المعادلة هي:

$$C_c = \sigma_c / [(0.778) + (0.222 * D / L)] \dots \dots \dots (11-3)$$

$C_c =$ المقاومة الانضغاطية المصححة لنموذج صخري نسبة الطول الى القطر (L/D=1:1).

جدول (3) تصنيف المقاومة الانضغاطية

نوعية الصخرة	قيمة المقاومة الانضغاطية σ_c (Mpa)
قوية جدا	أكبر من 100
قوية	100-50
قوية باعتدال	50-12.5
ضعيف باعتدال	12.5-5
ضعيف	1.25 - 5
ضعيف جدا	أقل من 1.25

حسب Anon, 1977

وذلك بحسب (Obert and Duvall, 1967)، الجداول (3) الذي يوضح نتائج قيم المقاومة الانضغاطية في الحالة الطبيعية والجافة والمشبعة:

ومن الجدير بالذكر فإن فحص المقاومة الانضغاطية يحتاج إلى نماذج صخرية أسطوانية تكون نهاياتها متوازية إلى حد يصل لـ (+1°)

جدول (4) قيم المقاومة الانضغاطية غير المحصورة لنماذج الحجر الجيري وتصنيفها

رقم المحطة	حالة النموذج	اسم التكوين	طول النموذج L (mm)	قطر النموذج D (mm)	نسبة L/D	القوة عند الانهيار (NK)F	المقاومة الانضغاطية اللامحصورة (aPM)cσ	المقاومة الانضغاطية المصححة (MPa)Cc	التصنيف بحسب (nonA), (7791)
1	طبعي	بيلاسي	64	54	0.84	59.1	25.81	26.76	قوية بأعتدال
2			69	54	0.78	80.6	35.21	37.01	قوية بأعتدال
3			66	54	0.81	60.4	26.38	27.54	قوية بأعتدال
4			72	54	0.75	66.7	29.13	30.84	قوية بأعتدال
5			68	54	0.94	90.2	39.40	39.93	قوية بأعتدال
6			58	54	0.93	70.9	30.97	31.45	قوية بأعتدال
7			67	54	0.80	68.7	30.012	31.40	قوية بأعتدال
رقم المحطة	حالة النموذج	اسم التكوين	طول النموذج L (mm)	قطر النموذج D (mm)	نسبة L/D	القوة عند الانهيار (NK)F	المقاومة الانضغاطية اللامحصورة (aPM)cσ	المقاومة الانضغاطية المصححة (aPM)cC	التصنيف بحسب (nonA), (7791)
1	خاف	بيلاسي	61	54	0.88	45.8	20.0	20.54	قوية بأعتدال
2			60	54	0.9	80.4	35.12	35.91	قوية بأعتدال
3			63	54	0.85	49.7	21.71	22.45	قوية بأعتدال
4			59	54	0.91	53.2	23.24	23.71	قوية بأعتدال
5			58	54	0.93	91.8	40.10	40.73	قوية بأعتدال
6			57	54	0.94	75.9	33.15	33.59	قوية بأعتدال
7			66	54	0.81	60.1	26.25	27.40	قوية بأعتدال
رقم المحطة	حالة النموذج	اسم التكوين	طول النموذج L (mm)	قطر النموذج D (mm)	نسبة L/D	القوة عند الانهيار (NK) F	المقاومة الانضغاطية اللامحصورة (aPM)cσ	المقاومة الانضغاطية المصححة (aPM)cC	التصنيف بحسب (nonA), (7791)
1	مشيع	بيلاسي	63	54	0.85	48.8	21.31	22.04	قوية بأعتدال
2			68	54	0.79	78.5	34.29	35.23	قوية بأعتدال
3			75	54	0.72	50.2	21.93	23.38	قوية بأعتدال
4			60	54	0.9	53.5	23.37	23.90	قوية بأعتدال
5			63	54	0.85	88.9	38.83	40.16	قوية بأعتدال
6			59	54	0.91	73.2	31.97	32.97	قوية بأعتدال
7			67	54	0.80	59.1	25.81	27.00	قوية بأعتدال

(Anon,1977) بحسب

2-3: زاوية الاحتكاك الداخلي

Angle of internal friction (θ)

يمكن تعريف زاوية الاحتكاك الداخلي على أنّها الزاوية الواقعة بين المستوي الأفقي ومستوى تلامس كتلتين صخريتين وذلك عندما تكون الكتلة الصخرية العلوية على وشك الانزلاق على الكتلة الصخرية السفلية (Bruce, et al,1989) ومن الجدير بالذكر فإنّ زاوية الاستقرار (Repose angle) ترتبط بشكل مباشرٍ مع أقصى زاوية انحدار مستقرة، ومن أهم العوامل التي تتأثر بها زاوية الاحتكاك الداخلي هي:

1. ترتيب الحبيبات ورصها، حيث إنّ الزيادة في رص الحبيبات وترتيبها في النموذج الصخري يؤدي

إلى زيادة قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي.

2. التجانس والترتيب الحبيبي حيث إنّ الزيادة في التجانس؛ والترتيب الحبيبي يؤدي إلى زيادة قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي.

3. خشونة الحبيبات وشكلها وسطحها، أن قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي تزداد في النماذج الصخرية ذات السطوح الخشنة والحادة، على العكس من النماذج الصخرية المفلطحة والدائرية.

تمت عملية قياس زاوية الاحتكاك الداخلي من خلال كسر النموذج باتجاه أحد سطوح الانقطاعات الى نصفين متساويين إذ يتم تثبيت إحدى الأجزاء على لوح قياس.



لوحه رقم (4) قياس زاوية الاحتكاك الداخلي

في المختبر بطريقة الإمالة (Bruce, et al,1989(2023\1\16)

وتتم قراءة الزاوية عند لحظة حصول الانزلاق وهذه القراءة تمثل زاوية الاحتكاك الداخلي، كما في لوحه (4).

ويوضع الجزء الآخر فوقه، بعدها يتم رفع اللوح إلى الأعلى ببطيء حتى يحصل الانزلاق للجزء العلوي من النموذج الصخري الذي تم قطعه؛

مناقشة النتائج:

أظهرت نتائج الخواص البتروفيزيائية لصخور الحجر الجيري في منطقة الدراسة (جدول 3) اختلافاً في المحتوى المائي تراوح بين 1.256٪ في المحطة الخامسة، و 3.167٪ في المحطة الأولى. وبينت نتائج الكثافة الجافة اختلافاً في القيم تراوح بين 2.229 غم/سم³ في المحطة الأولى و 2.726 غم/سم³ في المحطة الخامسة وتوافق ذلك الاختلاف عكسياً مع نتائج الكثافة المشبعة التي تراوحت بين 2.514 غم/سم³ في المحطة الخامسة؛ و 2.596 غم/سم³ في المحطة الأولى. فضلاً عن توافقه العكسي مع قيم نسبة الامتصاص التي تراوحت من 1.265٪ في المحطة الخامسة إلى 3.167٪ في المحطة الأولى. وأظهرت المحطات السبعة قيماً متقاربة للوزن النوعي الظاهري الجاف ادناها 2.229 غم/سم³ في المحطة الأولى وأعلىها 2.729 غم/سم³ في المحطة الخامسة. بخلاف قيم الوزن النوعي الحقيقي للمحطات الذي أظهرت أعلى قيمة في المحطة الخامسة (3.056 غم/سم³) وأدنى قيمة في المحطة الأولى (2.499 غم/سم³) وبخصوص المسامية، فقد أظهرت النتائج للمحطات السبعة إن أقل قيمة للمسامية الكلية (7.147٪) كانت في المحطة الخامسة، وإن أعلى قيمة للمسامية الكلية (14.469٪) كانت في المحطة الثالثة والتي كانت قريبة جداً من القيمة التي أظهرتها المحطة الأولى (14.489٪). وتوافق ذلك تقريباً مع نتائج المسامية الجزئية إذ أظهرت المحطة الخامسة أقل قيمة (6.046٪) والمحطة الثالثة أعلى قيمة (13.303٪) والتي لم تكن بعيدة أيضاً عن قيمة المسامية الجزئية للمحطة الأولى (10.399٪). وقد انعكست تلك

تمت إعادة العملية عدة مرات حيث تم أخذ المعدل الحسابي للقراءات، جدول (4). ومقارنة قيمها بحسب قيم زاوية الاحتكاك الداخلي للمواد في الطبيعة عن (Barton & Choubey 1977) جدول (4)، جدول (5).

جدول (5) قيم زاوية الاحتكاك الداخلي
للانقطاعات في منطقة الدراسة

رقم النموذج	زاوية الاحتكاك الداخلي Ø
1	34
2	33
3	37
4	31
5	32
6	35
7	36
8	32

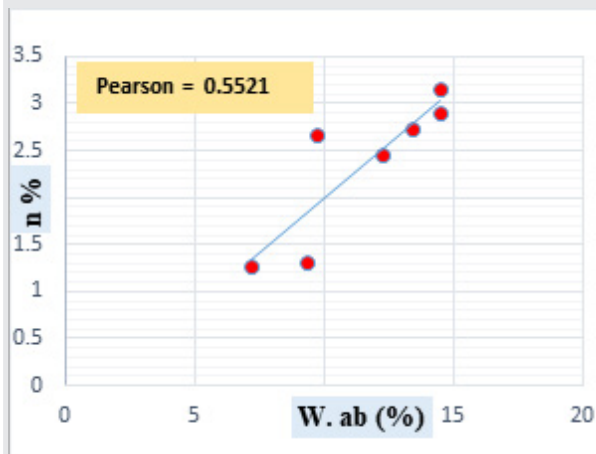
جدول (6) قيم زاوية الاحتكاك الداخلي
للمواد في الطبيعة

نوع المادة	قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي Ø
Sandstone	35° - 25°
Shale	27°
Siltstone	33° - 27°
Conglomerate	35°
Chalk	30°
Limestone	37° - 27°

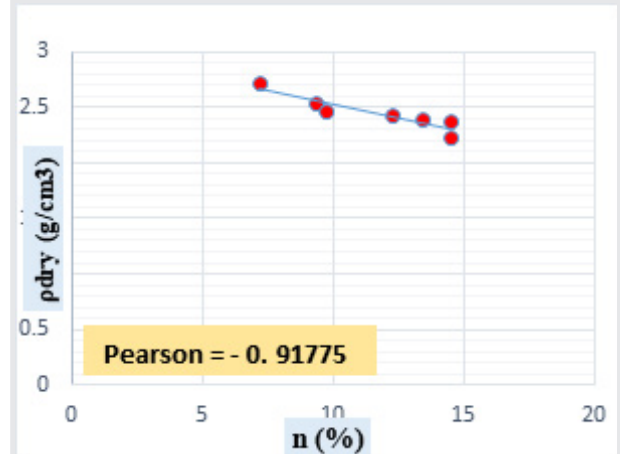
عن (Barton & Choubey, 1977)

القيم بشكل واضح على معامل التشبع إذ أظهرت أعلى قيمة في المحطة الثالثة (0.919) وأقل قيمة للمعامل في المحطة الأولى (0.719).

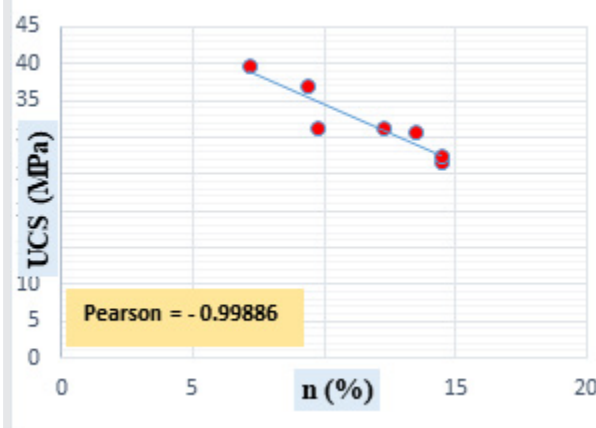
يتضح مما سبق إن الاختلاف الذي أظهرته قيم الخواص البتروفيزيائية تركز في المحطتين الأولى والخامسة، مما يدل على اختلاف الصخور في تلك المحطتين عن المحطات الأخرى السائدة في منطقة الدراسة. وإذا تم الرجوع للصخرية التي تمثلها المحطات السبعة التي شملت بها هذه الدراسة، يلاحظ صخور المحطة الأولى تتألف من صخور الحجر الجيري وصخور المحطة الخامسة تتألف من صخور الحجر الجيري والمارل. وبخصوص ما أظهرته المحطة الثالثة من قيم عالية للمسامية الكلية والمسامية الجزئية متوافقة مع معامل تشبع عالٍ مقارنة بقيم المحطات الأخرى فيمكن أن يعزى إلى حدوث إذابة تسببت في زيادة عدد الفراغات وحجمها.



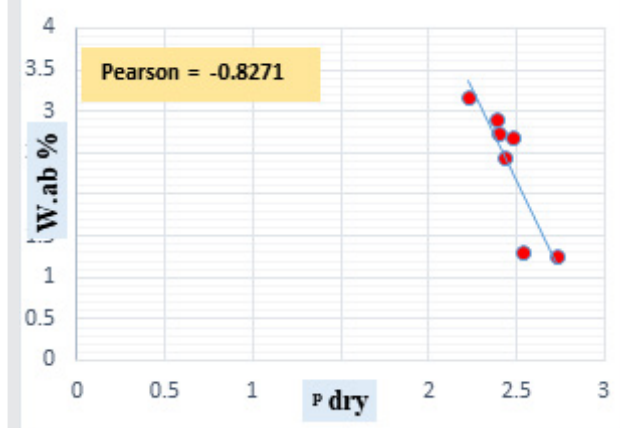
شكل (2) يوضح العلاقة ما بين نسبة الامتصاص المسامية



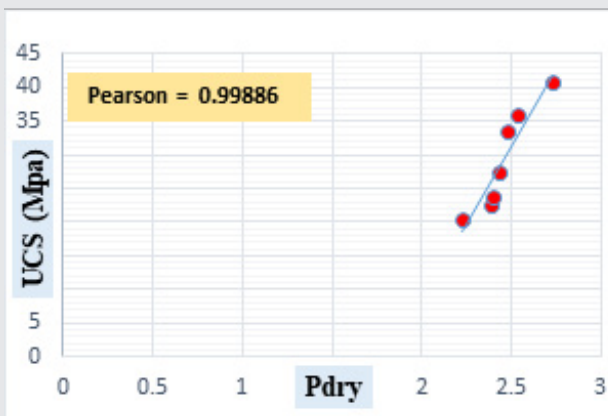
شكل (1) يوضح العلاقة ما بين الكثافة الجافة المسامية



شكل (4) يوضح العلاقة ما بين المسامية والمقاومة الانضغاطية



شكل (3) يوضح العلاقة ما بين نسبة الامتصاص والكثافة الجافة



شكل (5) يوضح العلاقة ما بين المقاومة الانضغاطية والكثافة الجافة

of intact rock core specimens, 3p.

- **ASTM-C, 127- 01., 2004:** Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate, 6p.

- **ASTM-C 1528-02., 2004:** Standard Guide for Selection of Dimension Stone for Exterior Use .13P.

- **ASTM-C, 97-09., 2010:** Standard test methods for absorption and Bulk specific gravity of Dimension stone, 3p.

- **Barton N. and Choubey V., 1977:** The shear strength of rock joints in theory and practice. Rock Mech; 10: 1–54.

- **Bellen, R.C., Dunnington, H.W., Wetzel, R., Morton,D.m., 1959:** Lexique stratigraphique International, V.3, Iraq, Asie, Paris, Internat. Geol. Cong. Comm. Strat. Pt., P.333.

- **Buday, T. and Jassim, S. Z., 1987:** The regional geology of Iraq (Tectonism, Magmatism and Metamorphism). Vol.2, Edited by Kassab, I.I. and Abbas,M. J., Geol. Surv. Min. Invest., Baghdad, Iraq, 352p.

- **Griffin, J. A., 2008:** development of a rating classification for rock to be used as toe-bench material, Master thesis, Kent state university, 131p.

- **Obert,L.&Duvall,W.I.,1967:**Rock Mechanics and the Desing of Stricture in Rock ,Wiley.Newyork. ofcretaceous synorogenic sandstones in the Eastern Alps : Constraints from frame work petrography , heavy mineral analysis and mineral chemistry . sed. Geol. Vol. 124 , PP. 81-111.

- **Zhang, L., 2005:** Engineering Properties of Rocks, Elsevier Geo- Engineering Book Series, Lexington, MA, vol. 4, pp. 36-223.

المصادر:

- حسن، علي إسماعيل، 2019 : دراسة جيولوجية هندسية لمواقع مختارة للغاطس الجنوبي الشرقي لطية بيخير المحدبة/ شمال العراق، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية العلوم - جامعة تكريت، قسم علوم الأرض التطبيقية، 104 ص.

- علي، مقداد حسين وحجاب، باسم رشدي والجسار، سنان هاشم، 1991 : الجيولوجيا الهندسية، دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة بغداد د 576 ص.

- فتوحى، زهير رمو وثابت،كتان محمد والجسار، سنان ومشكور، مصطفى، 1989 الجيولوجية الهندسية والتحري الموقعي، دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل، 352 ص.

- كاظم، لفته سلمان وحسين، صفوك عاصي وعجيل ، محمد وكاع، 2009 : دراسة سحنية و بتروغرافية لتكوين انجانة في طية حميرين، شمال شرق تكريت - محافظة صلاح الدين ، مجلة تكريت للعلوم الصرفة ، مجلد- 14 ، عدد - (3) 2009 .

- محطة الانواء الجوية في محافظة دهوك ، التابعة للانواء الجوية في اقليم كردستان العراق، -2012 .2022

- نصيف، سجي قحطان، 2018 : تقييم صلاحية صخور تكوين البلاسي الجيرية لبعض الاغراض الهندسية في مناطق مختارة من نطاق الطيات العالية / شمال العراق، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية العلوم جامعة تكريت، - 91 ص .

المصادر الأجنبية:

- **ASTM-D, 2938-95., 2004:** Standard test methods for unconfined compressive strength