

## تحليل نتائج التجارب المخبرية المستخدمة لتحديد الخواص الميكانيكية لنوعين من الصخور في سورية

أيهم سلامي<sup>1</sup> أ.د. إبراهيم حمود<sup>2</sup>

<sup>1</sup>طالب دكتوراه في قسم الهندسة الجيوتكنيكية/ كلية الهندسة المدنية/ جامعة دمشق

<sup>2</sup>أستاذ في قسم الهندسة الجيوتكنيكية/ كلية الهندسة المدنية/ جامعة دمشق

### الملخص:

تتواجد الصخور في أغلب المشاريع الهندسية لذلك يعتبر تحديد الخواص الميكانيكية لها أمراً ضرورياً، وبالرغم من ذلك يمكن ملاحظة ندرة الأبحاث التي تعنى بتحديد مواصفات الصخور مقارنة مع الدراسات والأبحاث المتعلقة بخواص التربة في سورية.

يقدم هذا البحث نتائج التجارب المخبرية التي تم تنفيذها على نوعين من الصخور الموجودة في الجمهورية العربية السورية وهما: الدولوميت من محافظة اللاذقية، والبازلت من محافظة درعا، حيث تم إجراء ثلاثة أنواع من التجارب وهي تجربة الضغط أحادي المحور، تجربة الشد البرازيلية وتجربة التحميل النقطي، على عينات سليمة، وذلك من أجل تحديد مقاومة نوعي الصخر المذكورين لإجهادات الضغط وإجهادات الشد، كما تم تحديد مواصفات المرونة لنوعي الصخر من خلال مقارنة النتائج مع دراسات مرجعية.

الكلمات المفتاحية: صخور، تجارب مخبرية، خواص ميكانيكية، دولوميت، بازلت.

تاريخ الإيداع: 2022/2/16

تاريخ القبول: 2022/4/19



حقوق النشر: جامعة دمشق - سورية،

يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

## Analysis of the results of the laboratory tests that used to determine the mechanical properties of two types of rocks in Syria

Ayham Ali Salamy<sup>1</sup> Dr. Ibrahim Hammoud<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Civil engineering/Damascus university.

<sup>2</sup>Faculty of Civil engineering/Damascus university.

### Abstract:

Rocks are present in most engineering projects, so it is necessary to determine their mechanical properties. Despite this, it can be noted that there is a dearth of research concerned with determining the specifications of rocks compared to studies and research related to the properties of soils in Syria.

This research presents the results of laboratory tests that were carried out on two types of rocks found in Syrian Arab Republic, namely: dolomite from Lattakia city, and basalt from Daraa city. Three types of experiments were conducted on intact specimens, namely, uniaxial compression test, Brazilian test and point load test. The compressive and the tensile strength of the two mentioned rock were determined from these tests. The elastic properties for the two types of rock were also determined by comparing the results with reference studies.

**Keywords:** Rocks, Laboratory Tests, Mechanical Properties, Dolomite, Basalt.

Received: 16/2/2022

Accepted: 19/4/2022



**Copyright:** Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

## 1 المقدمة:

الصخر (Rock) هو مادة طبيعية صلبة تتكون من فلز واحد أو أكثر، وتختلف الصخور فيما بينها في تركيبها الكيميائي والفيزيائي، مما يسبب اختلافاً في خواصها الميكانيكية.

تصنف الصخور جيولوجياً من حيث المنشأ إلى ثلاثة أنواع وهي: الصخور النارية (igneous rock)، الصخور الرسوبية (sedimentary rock) والصخور المتحولة (metamorphic rock).

تتواجد الصخور في الطبيعة على شكل كتل صخرية (rock mass)، حيث تتكون الكتلة الصخرية من صخر سليم أو مادة صخرية (intact rock) تفصل بينها مجموعة من البنى الجيولوجية التي تسمى بالانقطاعات (discontinuities) والتي تسبب عدم استمرارية الصخر السليم، ومن أمثلتها الفوالق ومستويات التطبق والصدوع والشقوق.

تعتمد خواص الكتلة الصخرية على خواص الصخر السليم وعلى مواصفات الانقطاعات الموجودة فيها، وبينما يكون من الممكن تحديد المواصفات الميكانيكية للصخر السليم، من خلال التجارب المخبرية على العينات السليمة، فإن تحديد المواصفات الميكانيكية للكتل الصخرية يعتبر صعباً، بسبب صعوبة تحديد تأثير الانقطاعات فيها على مقاومتها لأنواع الحمولات المختلفة، لذلك لجأ الباحثون إلى استخدام ما يعرف بتصنيف الكتل الصخرية.

صاغ Terzaghi (1946) أول طريقة مقبولة لتصنيف الكتل الصخرية من أجل تقدير الحمولة المنقولة من الصخر إلى التدعيم الفولاذي للأنفاق، (Bieniawski, 1989). كذلك صنف Deere et al. (1967) الكتل الصخرية باستخدام مفهوم دليل تعيين جودة الصخر (Rock Quality Designation) RQD (index) وذلك بهدف تحديد ملاءمة كتلة الصخر لحفر

الأنفاق فيها، (Deere, 1988). لاحقاً ومع تقدم الأبحاث لم تعد طريقة RQD مستخدمة لتصنيف الكتل الصخرية بل أصبحت تستخدم كعامل في أنظمة التصنيف الأحدث ومنها نظام التصنيف الجيوميكانيكي الذي وضعه (1973) Bieniawski والذي يستخدم مفهوم معدل كتلة الصخر RMR (Rock Mass Rating) لتصنيف الكتل الصخرية، حيث يتضمن هذا المفهوم ستة معاملات منها RQD ومقاومة الصخر السليم لإجهادات الضغط، وأربعة معاملات تصف حالة الشقوق في كتلة الصخر (Bieniawski, 1989). كذلك وضع Barton et al. (1974) نظام جودة كتلة الصخر (Rock Mass Quality) والذي يتضمن ستة معاملات منها RQD وحالة الإجهادات في الوسط وأربعة معاملات لتقييم تأثير الشقوق. إن الهدف الرئيسي لأنظمة التصنيف السابقة لم يكن تحديد المواصفات الميكانيكية لكتلة الصخر، وإنما تقسيم الكتل الصخرية ضمن فئات من أجل تقدير جودتها لحفر الأنفاق فيها، ولاحقاً من أجل تصميم التدعيم اللازم لهذه الأنفاق.

وبسبب عدم ارتباط أنظمة التصنيف السابقة بمعايير انهيار، واقتصار اهتمامها على تصميم الأنفاق وتدعيمها فقد أعاد Hoek and Brown تحليل البيانات التجريبية المتوفرة، ونتج عن عملهما تطوير نظام لتصنيف الصخور والكتل الصخرية يرتبط مع معيار انهيار تجريبي عام يعرف بمعيار هوك- براون (Hoek and Brown criterion)، والذي يستخدم دليل المقاومة الجيولوجية (Geological Strength Index) GSI لتحديد خواص الكتلة الصخرية عن طريق تخفيض مواصفات الصخر السليم وفقاً لحالة الشقوق، (Hoek and Brown, 2002) (Hoek et al., 1980, 1997).

وأياً تكن ظروف الكتلة الصخرية فإنه يجب تحديد الخواص الميكانيكية لمادتها، ويتم ذلك عن طريق

إجراؤه في الموقع والمخبر، وأصبح يستخدم لتحديد المواصفات الميكانيكية للمواد الصخرية. انطلاقاً من ذلك فقد وضع العديد من الباحثين معادلات تربط بين سرعة انتشار الموجات في الصخر ومختلف خواصه الميكانيكية، بهدف تقليل الحاجة لإجراء التجارب المخبرية الميكانيكية، حيث يتم تقدير مواصفات الصخور والكتل الصخرية بطريقة غير مباشرة بالاعتماد على سرعة انتشار الموجات فيها، وتوجد العديد من هذه المعادلات في الدراسة التي أجراها Garia et al. (2020)، حيث قاموا بمراجعة الدراسات الموجودة عن العلاقات بين مواصفات الصخور الرسوبية وسرعة انتشار الموجات فيها. كما قام Zhang. Z.X et al. (2020) بمراجعة عدد كبير من التجارب المنشورة، ووضعوا، بناءً على نتائجها، علاقات تربط بين الخواص الميكانيكية للصخور والممانعة المميزة لها (حاصل ضرب كثافة الصخر بسرعة انتشار الموجات فيه)، ويبين الجدول (1) بعض هذه المعادلات.

الجدول (1) مجموعة من العلاقات التي تربط بعض الخواص الميكانيكية للصخور بسرعة انتشار الموجات فيها (Zhang. Z.X et al., 2020)

#	المعاملات	/
1	UCS(MPa) $\rho(\text{kg/m}^3)$ $V_p(\text{m/s})$	$UCS = 6.14 * \rho * V_p$
2	$\sigma_t$ (MPa) $\rho(\text{kg/m}^3)$ $V_p(\text{m/s})$	$\sigma_t = 0.6 * \rho * V_p$
3	E(GPa) $\rho(\text{kg/m}^3)$ $V_p(\text{m/s})$	$E = 0.17 * (\rho * V_p)^2 + 0.8 * \rho * V_p$
4	$\nu(-)$ $\rho(\text{kg/m}^3)$ $V_p(\text{m/s})$	$\nu = 0.021 * \rho * V_p$

حيث (UCS) هي مقاومة الصخر لإجهادات الضغط المحوري، ( $\sigma_t$ ) مقاومة الصخر لإجهادات الشد، (E) معامل المرونة، ( $\nu$ ) معامل بواسون، ( $\rho$ )

إجراء التجارب المخبرية على العينات السليمة، ومن أهم هذه التجارب تجربة ثلاثي المحاور، تجربة الضغط أحادي المحور، تجربة التحميل النقطي، تجربة الشد المباشر، تجربة الشد غير المباشر والتي تعرف بتجربة الشد البرازيلية وتجربة القص، حيث تستخدم نتائج هذه التجارب كمدخلات في معايير الانهيار التي تصف سلوك الصخر تحت حالات التحميل المختلفة. تصنف معايير انهيار الصخور إلى ثلاثة فئات، (Lakirouhani et al., 2011):

(a) معايير نظرية مثل (Griffith criterion) و(Rankine criterion)، اللذان يستخدمان مقاومة الصخر لإجهادات الشد (الناجمة من تجربة الشد المباشر أو غير المباشر) في علاقاتها الرياضية.

(b) معايير تجريبية مثل معيار هوك براون (Hoek and Brown failure criterion)، الذي يستخدم مقاومة الصخر لإجهادات الضغط (الناجمة من تجربة ثلاثي المحاور أو تجربة الضغط المحوري) في علاقاته الرياضية.

(c) معايير نظرية تجريبية مثل معيار مور-كولومب (Mohr-Coulomb strength criterion)، الذي يستخدم مقاومة الصخر لإجهادات القص (الناجمة من تجربة القص أو تجربة ثلاثي المحاور) في علاقاته الرياضية.

وبالرغم من أهمية إجراء التجارب المخبرية الميكانيكية لتحديد مواصفات الصخور، إلا أن تحضير العينات وخاصة للصخور الضعيفة يكون صعباً ومكلفاً ومستهلكاً للوقت، (Moradian and Behnia, 2009)، لذلك فقد ظهر اتجاه حديث لدى الكثير من الباحثين إلى استخدام التجارب غير المخبرية لتحديد هذه المواصفات، ومن أهمها تجربة سرعة انتشار الموجات، حيث ذكر Yagiz (2011) أن اختبار تحديد سرعة الموجات P هو اختبار سهل وغير مخرب ويمكن

(1966)، وتصنيف (1973) Bieniawski، وبين الجدول (2) هذين التصنيفين، ويتضح فيه تقارب القيم بينهما، مع الإشارة إلى أن Bieniawski اعتبر أن الصخور يجب أن تعامل كتراب عندما تقل مقاومتها لإجهادات الضغط عن (1 MPa).

الجدول (2) تصنيف الصخر السليم بدلالة مقاومته لإجهادات الضغط (Bieniawski, 1989) و (Deere and Miller, 1966)

Bieniawski	Deere and Miller	الوصف	class
UCS (MPa)	UCS (MPa)		
>200	>220	Very high strength	A
100-200	110-220	high strength	B
50-100	55-110	medium strength	C
25-50	28-55	low strength	D
1-25	<28	very low strength	E

الشكل أن قابلية تشوه الصخور تم تعريفها بدلالة نسبة معامل المرونة إلى معامل بواسون.

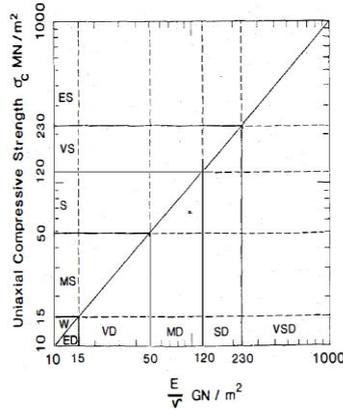


Fig. 2: Proposed method of classifying rocks on a plot of rock strength versus  $(E/\mu)$ . (W: weak; MS: moderately strong; S: strong; VS: very strong; ES: extremely strong; ED: extremely deformable; VD: very deformable; MD: moderately deformable; SD: slightly deformable; VSD: very slightly deformable).

الشكل (1) تصنيف الصخور من حيث مقاومتها لإجهادات الضغط وقابليتها للتشوه (Turk and Derman, 1983)

سيتم في هذا البحث عرض نتائج التجارب التي تم القيام بها على نوعين من الصخور، وهما الدولوميت لعينات من مدينة صلنفة والبازلت لعينات من مدينة درعا، حيث تم إجراء (56) تجربة وهي: (13) تجربة ضغط أحادي المحور على (8) عينات دولوميت و(5) عينات بازلت، (22) تجربة تحميل نقطي على

كثافة الصخر و( $V_p$ ) سرعة انتشار الموجات الطولية في الصخر.

يمكن تصنيف الصخر السليم بدلالة مقاومته لإجهادات الضغط باستخدام عدة تصنيفات موجودة في المراجع، ولعل أشهرها تصنيف Deere and Miller

كذلك يمكن تصنيف الصخر السليم بدلالة نسبة معامل مرونته إلى مقاومته لإجهادات الضغط باستخدام تصنيف (1966) Deere and Miller، وبين الجدول (3) هذا التصنيف. حيث تدل زيادة النسبة المذكورة على أن قابلية الصخر للتشوه الطولي منخفضة.

الجدول (3) تصنيف الصخر السليم بدلالة نسبة معامل مرونته إلى مقاومته لإجهادات الضغط (Deere and Miller, 1966)

modulus ratio (E/UCS)	description	class
>500	high modulus ratio	H
200-500	average modulus ratio	-
<200	low modulus ratio	L

كذلك وضع (1983) Turk and Derman مخططاً لتصنيف الصخور من حيث مقاومتها لإجهادات الضغط وقابليتها للتشوه.

يبين الشكل (1) هذا التصنيف، ويتضح منه اختلاف توصيف مقاومة الصخر مقارنة بالتصنيفين السابقين بالرغم من تقارب قيم الحدود، كما يظهر في

(6) عينات بقطر (9.27 cm) وعينتين بقطر (4.81 cm)، ويبين الجدول (4) نتائج هذه التجارب، ويظهر فيه أن كثافة العينات متقاربة مع قيمة وسطية (2750 kg/m<sup>3</sup>)، ويظهر كذلك تشتتاً في نتائج مقاومة إجهادات الضغط مع قيمة وسطية تساوي (39.26MPa)، ويمكن تفسير هذا التشتت بأن الصخر هو مادة طبيعية معقدة تتغير مواصفاتها بشكل كبير حيث يمكن أن يوجد أكثر من نوع واحد من الصخر في موقع واحد، (Bieniawski, 1989)، كذلك فإن مقاومة الصخور تعتمد على تركيبها الفلزي، وعلى حجم حبيباتها وتوزعها وعلى الشقوق الميكروية بينها، وبالتالي فإن هذه المقاومة لا تختلف فقط من نوع لآخر وإنما تختلف أيضاً من عينة لأخرى من نفس النوع، (Jaeger *et al.*, 2007). يبين الشكل (2) نتيجة اختبار العينات (1 و 2 و 5)، ويظهر فيه أن نمط انهيار العينات مختلف، ولكنه يتوافق مع النمط axial splitting في العينة (1)، ومع نمط multiple fracture في العينة (2)، ومع النمط shearing في العينة (5)، وهذه الأنماط هي أكثر أنماط الانهيار الممكنة للصخر تحت تأثير الضغط المحوري، (Basu *et al.*, 2013).

(11) عينة دولوميت و(11) عينة بازلت، و(21) تجربة شد غير مباشر على (11) عينة دولوميت و(10) عينات بازلت. ثم سيتم مقارنة نتائج التجارب مع دراسات مرجعية من أجل تحديد قيم معاملات المرونة لنوعي الصخر المدروسين.

## 2 مواصفات الصخور الدولوميتية:

الصخور الدولوميتية هي صخور رسوبية كربوناتية تحتوي فلز ال (CaMg(Co3)2) dolomite بنسب كبيرة، (Bijay *etal*, 2019). تنتشر هذه الصخور في مناطق مختلفة من الجمهورية العربية السورية، ومنها محافظة اللاذقية، حيث تم الحصول على مجموعة من الكتل الصخرية من أحد المواقع في مدينة صلنفة، ثم تم استخراج مجموعة من العينات باستخدام جهاز أخذ العينات، ولتحقيق الأبعاد والقياسات المطلوبة للعينات في كل تجربة وفق توصيات نظام ASTM تم استخدام منشار الصخر لتقطيع هذه العينات وتسوية سطوحها.

### 2.1 تجربة الضغط أحادي المحور:

تم إجراء تجربة الضغط المحوري وفق اشتراطات نظام (ASTM D7012-14)، على (8) عينات، منها

الجدول (4) نتائج تجارب الضغط أحادي المحور للعينات الدولوميتية

العينة	Dimensions (cm)		Area (cm <sup>2</sup> )	weight (gr)	V(cm <sup>3</sup> )	الكثافة (gr/cm <sup>3</sup> )	Failure load (KN)	uniaxial compressive strength (MPa)
	L	D						
1	10.2	4.81	18.17	508	185.34	2.74	44.89	24.70
2	10.3	4.81	18.17	513	187.53	2.74	45.1	24.82
3	23.6	9.27	67.49	4379	1592.80	2.75	239	35.41
4	19.1	9.27	67.49	3543	1289.09	2.75	272.3	40.35
5	19.7	9.27	67.49	3677	1329.58	2.77	331.8	49.16
6	19.5	9.27	67.49	3667	1316.09	2.79	310.1	45.95
7	18.5	9.27	67.49	3414	1248.59	2.73	294.4	43.62
8	20.6	9.27	67.49	3765	1390.33	2.71	338.1	50.10



الشكل (2) شكل الانهيار في تجربة الضغط أحادي المحور للعينات الدولوميتية 1 و 2 و 5

توصل (Chakraborty et al. (2019) إلى أن الصخور التي تنهار وفق نمط axial splitting تعطي المقاومة الأقل لإجهادات الضغط، كذلك فإن الانهيار وفق نمط shearing يعطي المقاومة الأكبر لإجهادات الضغط، وهذا يتوافق مع النتائج المبينة في الجدول (4).  
 2.2 تجربة التحميل النقطي:  
 تم إجراء تجربة التحميل النقطي وفق اشتراطات نظام (ASTM D5731-16)، على (9) عينات بقطر (4.77 cm) وعينتين بقطر (6.27 cm)، حيث تم تحميل العينة عمودياً على محورها (diametral).  
 يبين الجدول (5) نتائج التجارب مع قيمة وسطية لدليل مقاومة التحميل النقطي تساوي (2.54 MPa)، حيث يتم حساب القيمة الوسطية بعد حذف أعلى وأدنى قيمتين.

الجدول (5) نتائج تجارب التحميل النقطي للعينات الدولوميتية

العينة	Test type	Diameter (mm)	Load (KN)	P	De <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	De (mm)	Is (MPa)	F	Is(50) (MPa)
1	d	47.7	2.01		2275.3	47.7	0.883	0.979	0.865
2	d	47.7	8.4		2275.3	47.7	3.692	0.979	3.614
3	d	47.7	2.74		2275.3	47.7	1.204	0.979	1.179
4	d	47.7	12.26		2275.3	47.7	5.388	0.979	5.275
5	d	47.7	9.05		2275.3	47.7	3.978	0.979	3.894
6	d	47.7	2.96		2275.3	47.7	1.301	0.979	1.274
7	d	47.7	2.1		2275.3	47.7	0.923	0.979	0.904
8	d	47.7	4.74		2275.3	47.7	2.083	0.979	2.040
9	d	62.7	12.1		3931.3	62.7	3.078	1.107	3.408
10	d	47.7	6.26		2275.3	47.7	2.751	0.979	2.694
11	d	62.7	12.5		3931.3	62.7	3.180	1.107	3.521

2.3 تجربة الشد البرازيلية:  
 تم إجراء تجربة الشد البرازيلية وفق اشتراطات نظام (ASTM D3967-95a)، على (11) عينة بقطر (4.81 cm). ويبين الجدول (6) نتائج التجارب، مع قيمة وسطية لمقاومة إجهادات الشد تساوي ( 8.54 MPa). كما يبين الشكل (3) أنماط الانهيار لجميع العينات المدروسة، وبالمقارنة مع الأنماط الممكنة للانهيار في تجربة الشد البرازيلية وفق Basu et al. (2013)، فإن العينات (1، 2، 3، 5، 7) قد انهارت وفق النمط (central)، والعينات (6، 8، 9) انهارت وفق النمط (non-central) بينما انهارت العينتان (4 و 10) وفق النمط (central multiple) والعينة (11) وفق نمط (central+layer activation).

الجدول (6) نتائج تجارب الشد البرازيلي للعينات الدولوميتية

العينة	Dimensions (cm)		Failure load (KN)	tensile strength (MPa)
	t	D		
1	2.00	4.81	10.24	6.78
2	1.66	4.81	12.36	9.86
3	2.15	4.81	15.64	9.63
4	2.15	4.81	18.71	11.55

5	2.01	4.81	12.28	8.09
6	2.09	4.81	8.25	5.22
7	2.05	4.81	20.63	13.32
8	2.17	4.81	11.3	6.89
9	2.11	4.81	12.96	8.13
10	2.41	4.81	19.4	10.65
11	2	4.81	5.76	3.81

يُحصل الانهيار وفق النمط ( central+layer activation) عندما تحوي العينة على مستوى ضعف (foliation)، حيث تقوم إجهادات الشد الناتجة عن الضغط باستغلال هذا الضعف عن طريق تحرير طاقة التشوه خلال وقت أقصر من الوقت اللازم لتكوين الشقوق المركزية أو غير المركزية، (Basu et al., 2013)، وهذا ما يفسر كون مقاومة إجهادات الشد في النمط (central+layer activation) أقل من مقاومة إجهادات الشد في الأنماط الأخرى.



الشكل (3) أنماط انهيار العينات الدولوميتية في تجربة الشد البرازيلية

#### 2.4 استنتاج معاملات مرونة الصخور

الدولوميتية المدروسة:

درس (Lakirouhani et al. (2020) تأثير قياس الحبيبات على مقاومة الصخور الدولوميتية في إيران،

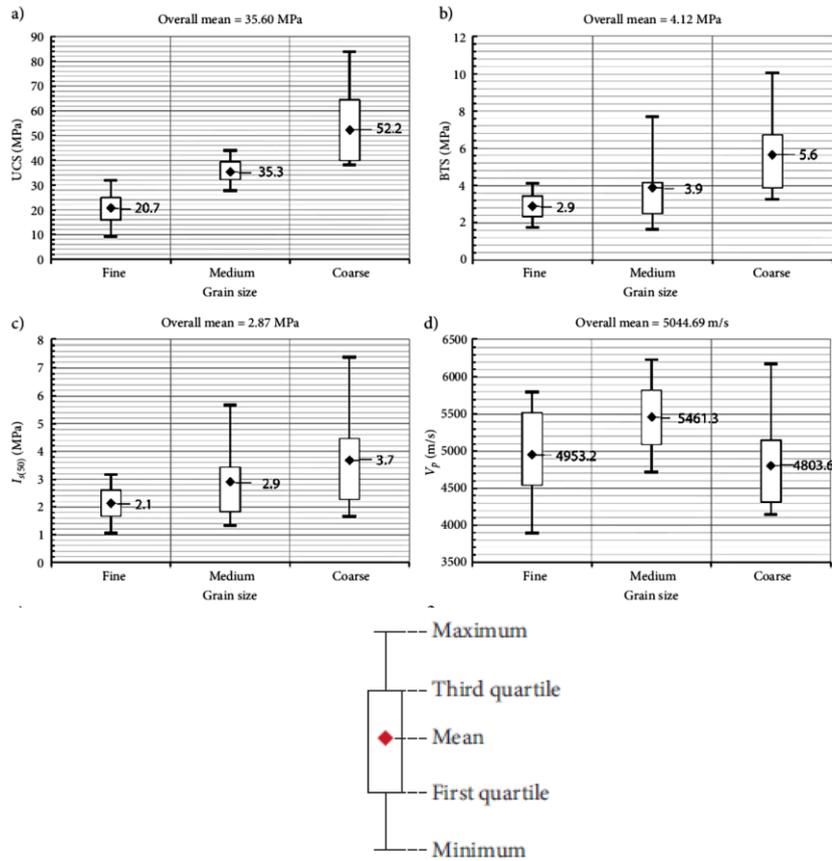
حيث قسموا الصخور تبعاً للقياس الوسطي لحبيباتها إلى ثلاثة فئات: ناعمة الحبيبات مع قياس وسطي يساوي (9 μm)، متوسطة الحبيبات مع قياس وسطي (42 μm) وخشنة الحبيبات مع قياس وسطي (120 μm). ثم قاموا بإجراء تجارب مخبرية على عينات من الفئات الثلاثة وتوصلوا إلى النتائج المبينة في الشكل (4).

بمقارنة نتائج دراستنا مع النتائج المبينة في الشكل (4) نلاحظ توافقاً كبيراً في القيمة الوسطية لمقاومة إجهادات الضغط المحوري وللدليل مقاومة التحميل النقطي، بينما يوجد اختلاف كبير في القيمة الوسطية لمقاومة إجهادات الشد، وبالرغم من هذا الاختلاف فإن القيمة (8.54 MPa) تقع ضمن مجال مقاومات الشد الظاهرة في الشكل (4b). انطلاقاً من هذا التوافق يمكننا استخدام قيم معاملات المرونة في الدراسة المرجعية لتمثيل الصخور في الدراسة الحالية، حيث قدم (Lakirouhani et al. (2020)، معادلة لحساب مقاومة إجهادات الضغط المحوري للصخور الدولوميتية بدلالة معامل المرونة الوسطي وتعطى بالعلاقة التالية:

$$UCS = 0.742 E_{ave} + 4.247 \quad (5)$$

باستخدام (UCS = 39.26 MPa) نحصل على (E = 47.19 MPa).

ولحساب قيمة معامل بواسون سيتم أخذ القيمة الوسطية لجميع قيم التجارب في الدراسة السابقة فنحصل على (ν = 0.27).



الشكل (4) مواصفات الصخور الدولوميتية بدلالة قياس حبيباتها: (a) مقاومة الضغط المحوري، (b) مقاومة الشد بتجربة الشد البرازيلية، (c) دليل مقاومة التحميل النقطي و (d) سرعة انتشار الموجات الطولية (Lakirouhani et al., 2020)

### 3 مواصفات الصخور البازلتية:

الصخور البازلتية هي صخور بركانية اندفاعية تنتشر بكثرة في الجمهورية العربية السورية، حيث أن أكثر من (30000 km<sup>2</sup>) من مساحة القطر مغطاة بالصخور البركانية ومنها البازلت، (al-Swaidani et al., 2015). تم الحصول على مجموعة من الكتل الصخرية البازلتية من أحد المواقع في محافظة درعا، ثم تم استخراج مجموعة من العينات منها باستخدام جهاز أخذ العينات، ولتحقيق الأبعاد والقياسات المطلوبة للعينات في كل تجربة وفق توصيات نظام ASTM تم استخدام منشار الصخر لتقطيع هذه العينات وتسوية سطوحها.

#### 3.1 تجربة الضغط أحادي المحور:

تم إجراء تجربة الضغط المحوري وفق اشتراطات نظام (ASTM D7012-14)، على (5) عينات بقطر

(4.81 cm)، ويبين الجدول (7) نتائج هذه التجارب، ويظهر فيه أن قيمة كثافة العينات الوسطية تساوي (2730 kg/m<sup>3</sup>)، كما أن القيمة الوسطية لمقاومة إجهادات الضغط تساوي (84.42 MPa). يبين الشكل (5) شكل الانهيار الناتج لجميع العينات، ويظهر فيه أن نمط انهيار العينات متشابه ويتوافق مع النمط axial splitting، مع تشكل عدد أكبر من الشقوق في العينتين الثالثة والخامسة، وحصول تشظي لأجزاء من العينة الخامسة، وهذا ما يفسر حصول أكبر مقاومة لإجهادات الضغط في هاتين العينتين.

#### 3.2 تجربة التحميل النقطي:

تم إجراء تجربة التحميل النقطي وفق اشتراطات نظام (ASTM D5731-16)، على (11) عينة بقطر

حيث يتم حساب القيمة الوسطية بعد حذف أعلى (4.81 cm)، حيث تم تحميل العينة بشكل مواز لمحورها (axial). وأدنى قيمتين.

يبين الجدول (8) نتائج التجربة مع قيمة وسطية

لدليل مقاومة التحميل النقطي تساوي (6.46 MPa)،

الجدول (7) نتائج تجارب الضغط أحادي المحور للعينات البازلتية

العينة	Dimensions (cm)		Area (cm <sup>2</sup> )	weight (gr)	V(cm <sup>3</sup> )	الكثافة (gr/cm <sup>3</sup> )	Failure load (KN)	uniaxial compressive strength (MPa)
	L	D						
1	10.3	4.81	18.17	504	187.53	2.69	98.2	54.04
2	10.4	4.81	18.17	509	189.16	2.69	126.1	69.40
3	10.5	4.81	18.17	530	190.25	2.79	222.8	122.61
4	10.2	4.81	18.17	500	185.53	2.70	106.2	58.44
5	10.3	4.81	18.17	522	187.89	2.78	213.7	117.60



الشكل (5) شكل الانهيار في تجربة الضغط أحادي المحور للعينات البازلتية

الجدول (8) نتائج تجارب التحميل النقطي للعينات البازلتية

العينية	Test type	W(cm)	D(cm)	Load (KN)	P De <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )	De (cm)	Is (MPa)	F	Is(50) (MPa)
1	axial	4.81	1.80	8.41	11.024	3.320	7.629	0.832	6.345
2	axial	4.81	1.76	9.05	10.779	3.283	8.396	0.828	6.948
3	axial	4.81	1.80	7.9	11.024	3.320	7.166	0.832	5.961
4	axial	4.81	1.70	8.5	10.411	3.227	8.164	0.821	6.704
5	axial	4.81	1.83	8.41	11.207	3.348	7.504	0.835	6.265
6	axial	4.81	1.73	5.29	10.595	3.255	4.993	0.824	4.116
7	axial	4.81	2.00	9.24	12.249	3.500	7.544	0.852	6.425
8	axial	4.81	1.79	5.71	10.962	3.311	5.209	0.831	4.327
9	axial	4.81	1.78	11.06	10.901	3.302	10.146	0.830	8.417
10	axial	4.81	1.83	10.19	11.207	3.348	9.092	0.835	7.590
11	axial	4.81	1.66	8.14	10.166	3.188	8.007	0.817	6.539



الشكل (6) عينات البازلت بعد إجراء تجربة التحميل النقطي

### 3.3 تجربة الشد البرازيلية:

يبين الشكل (6) الانهيارات في جميع العينات المختبرة، ويظهر فيه أن الانهيارات تحصل في مستويات تمر من نقطتي التحميل مما يعني أن جميع الاختبارات مقبولة، كما يبين الشكل أن الانهيارات تحصل وفق نمطين وهما (triple junction) للعينات (3، 4، 7)، و (single plane) لبقية العينات، (Basu et al., 2013).

تم إجراء تجربة الشد البرازيلية وفق اشتراطات نظام (ASTM D3967-95a)، على (10) عينات بقطر (4.81 cm). ويبين الجدول (9) نتائج التجارب، مع قيمة وسطية لمقاومة إجهادات الشد تساوي ( 9.55 MPa).

يبين الشكل (7) أنماط الانهيار لجميع العينات المدروسة، وبالمقارنة مع الأنماط الممكنة للانهيار في

تجربة الشد البرازيلية وفق (Basu et al. (2013، فإن العينتين (14، 17) انهارتا وفق النمط (non-central) بينما انهارت العينة (13) وفق النمط (central) (multiple) وبقيت العينات وفق النمط (central).

الجدول (9) نتائج تجارب الشد البرازيلي للعينات البازلتية

العينه	Dimensions (cm)		Failure load (KN)	tensile strength (MPa)
	t	D		
11	1.85	4.81	18.03	12.90
12	1.82	4.81	14.68	10.68
13	1.77	4.81	14.62	10.93
14	1.75	4.81	7.5	5.67
15	1.75	4.81	11.75	8.91
16	1.75	4.81	14.83	11.25
17	1.81	4.81	12.35	9.03
18	1.78	4.81	10.47	7.79
19	1.78	4.81	13.36	9.96
20	1.77	4.81	11.22	8.41



الشكل (7) أنماط انهيار العينات البازلتية في تجربة الشد البرازيلية

### 3.4 استنتاج معاملات مرونة الصخور البازلتية

المدرسة:

قام (Taqieddin and Humidi (2017، بدراسة الخواص الفيزيائية والهندسية للصخور البازلتية في خمسة مواقع تقع في شمال الأردن على الحدود مع الجمهورية العربية السورية، وبين الجدول (10) نتائج دراستهما.

بالمقارنة بين نتائج الدراسة الحالية والنتائج في الجدول (10) نلاحظ تقارباً كبيراً بين مواصفات الصخور البازلتية في مدينة درعا ومواصفات الصخور البازلتية في مدينة المفرق الأردنية، التي تبعد حوالي (30 Km) عن مدينة درعا، مما يسمح لنا باعتبار العينات الصخرية في الدراسة الحالية تملك نفس مواصفات المرونة للعينات في مدينة المفرق.

الجدول (10) مواصفات الصخور البازلتية في شمال الأردن (Taqieddin and Humidi, 2017)

الموقع	uniaxial compressive strength (MPa)	tensile strength (MPa)	E (GPa)	$\nu$	$V_p$ (m/s)
Irbid	105.89	10.02	149.8	0.353	5480
Ramtha	90.9	10.39	109.8	0.357	5302
Al-Mafraq	87.92	10.01	102.9	0.252	5465
Al-Azraq	92.58	10	104.5	0.338	5496
Um-Qais	97.97	8.46	91.4	0.335	5306

## 4 النتائج:

(1966) بأنها منخفضة المقاومة وذات نسبة مرونة مرتفعة، بينما توصف وفق (1983) Turk and Derman بأنها متوسطة القوة وذات قابلية تشوه قليلة. أما الصخور البازلتية فتوصف وفق (1966) Deere and Miler بأنها متوسطة المقاومة وذات نسبة مرونة مرتفعة، ووفق Turk and Derman (1983) بأنها قوية وذات قابلية تشوه قليلة جداً.

يبين الجدول (11) القيم التجريبية الوسطية لمواصفات الصخور الدولوميتية والبازلتية المدروسة في البحث الحالي. باستخدام هذه القيم الوسطية تم تصنيف العينات السليمة لكلا النوعين وفق (1966) Deere and Miler و(1983) Turk and Derman، كما هو مبين في الجدول (12). توصف الصخور الدولوميتية وفق Deere and Miler

الجدول (11) مواصفات الصخور الدولوميتية والبازلتية المدروسة

نوع الصخر	الكثافة (kg/m <sup>3</sup> )	uniaxial compressive strength (MPa)	tensile strength (MPa)	Is50 (MPa)	E (GPa)	$\nu$	Vp (m/s)
دولوميت	2750	39.26	8.54	2.54	47.19	0.27	5045
بازلت	2730	84.42	9.55	6.46	102.9	0.252	5465

الجدول (12) تصنيف الصخور الدولوميتية والبازلتية المدروسة

نوع الصخر	Turk and Derman (1983)	Deere and Miller (1966)
دولوميت	MS-SD	DH
بازلت	S-VSD	CH

## Reference

1. ASTM D3967-95a. Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens. ASTM International, West Conshohocken, PA.
2. ASTM D5731-16. (2016). Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications. ASTM International, West Conshohocken, PA.
3. ASTM D7012-14. (2014). Standard Test Methods for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures. ASTM International, West Conshohocken, PA.
4. Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock mechanics, 6(4), 189-236.

5. Basu, A., Mishra, D. A., & Roychowdhury, K. (2013). Rock failure modes under uniaxial compression, Brazilian, and point load tests. Bulletin of Engineering Geology and the environment, 72(3), 457-475.
6. Bieniawski, Z. T. (1989). Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. John Wiley & Sons.
7. Bijay, K. C., Foroutan, M., & Ghazanfari, E. (2019, March). Analysis and Comparison of Measured Static and Dynamic Moduli of a Dolostone Specimen. In Geo-Congress 2019: Geotechnical Materials, Modeling, and Testing (pp. 484-493). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
8. Chakraborty, S., Bisai, R., Palaniappan, S. K., & Pal, S. K. (2019). Failure modes of rocks under uniaxial compression tests: An experimental approach. Journal of Advances in Geotechnical Engineering, 2(3).
9. Deere, D. U., & Miller, R. P. (1966). Engineering classification and index properties for intact rock. Illinois Univ at Urbana Dept of Civil Engineering.
10. Deere, D. (1988). The rock quality designation (RQD) index in practice. In Rock classification systems for engineering purposes. ASTM International.
11. Garia, S., Pal, A. K., Nair, A. M., & Ravi, K. (2020). Elastic wave velocities as indicators of lithology-based geomechanical behaviour of sedimentary rocks: an overview. SN Applied Sciences, 2(9), 1-21.
12. Hoek, E., & Brown, E. T. (1980). Empirical strength criterion for rock masses. Journal of the geotechnical engineering division, 106(9), 1013-1035.
13. Hoek, E., & Brown, E. T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. International journal of rock mechanics and mining sciences, 34(8), 1165-1186.
14. Hoek, E., Carranza-Torres, C., & Corkum, B. (2002). Hoek-Brown failure criterion-2002 edition. Proceedings of NARMS-Tac, 1(1), 267-273.
15. Jaeger, J. C., Cook, N. G., & Zimmerman, R. (2007). Fundamentals of rock mechanics. Blackwell Publishing, Fourth edition.
16. Lakirouhani, A., & Hasanzadehshooili, H. (2011). Review of rock strength criteria. In Proc. of the 22nd World Mining Congress & Expo. Istanbul, Turkey (pp. 473-482).
17. Lakirouhani, A., Asemi, F., Zohdi, A., Medzvieckas, J., & Kliukas, R. (2020). Physical parameters, tensile and compressive strength of dolomite rock samples: influence of grain size. Journal of Civil Engineering and Management, 26(8), 789-799.
18. Moradian, Z. A., & Behnia, M. (2009). Predicting the uniaxial compressive strength and static Young's modulus of intact sedimentary rocks using the ultrasonic test. International Journal of Geomechanics, 9(1), 14-19.
19. al-Swaidani, A. M., Baddoura, M. K., Aliyan, S. D., & Choeb, W. (2015). Assesment of Alkali Resistance of Basalt Used as Concrete Aggregates. Selected Scientific Papers-Journal of Civil Engineering, 10(2), 17-27.
20. Taqieddin, P. S. A., & Humidi, H. M. (2017). Physical and engineering properties of some selected Jordanian basalt. International Journal for Innovation Education and Research, 5(5).
21. Türk, N., & Dearman, W. R. (1983). A practical classification of rocks for engineering purposes. Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur, 28(1), 161-167.
22. Yagiz, S. (2011). P-wave velocity test for assessment of geotechnical properties of some rock materials. Bulletin of Materials Science, 34(4), 947-953.

23. Zhang, Z. X., Hou, D. F., & Aladejare, A. (2020). Empirical equations between characteristic impedance and mechanical properties of rocks. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 12(5), 975-983.