

Comparison of the Physical and Chemical Properties of the Soil in the Rawagha area of Waddan and the Limestone in Sukna, and the Importance of their uses in the Construction Resort

Abdallh A.A. Lhwaint^{1*}, Hassan Mohamad Hassn²

^{1,2} Department of Mining Engineering, Faculty of Natural Resources,
Aljufra University, Libya

دراسة مقارنة الخصائص الفيزيائية والكيميائية بين تربة منطقة الرواغة بؤدان والحجر الجيري
بسوكنة ومدى أهمية استخداماتهما في الاستخدامات الانشائية

عبد الله علي عبد الله الحوينط^{1*}، حسن محمد حسن²
^{1,2} قسم هندسة التعدين، كلية الموارد الطبيعية، جامعة الجفرة، ليبيا

*Corresponding author: abdallhlhwaint@ju.edu.ly

Received: March 14, 2026

Accepted: June 02, 2026

Published: June 14, 2026

Abstract

This study aims to study and analyze the physical and mechanical properties of the soil of the Rawagha Mountains located in the Waddan region, in addition to the limestone in the Sukna region, because these materials are of great importance in engineering applications and the manufacture of building materials.

Samples collected from both of the sites and subjected to standard geotechnical tests following ASTM and AASHTO specifications, including sieve analysis (ASTM D6913), standard Proctor compaction (ASTM D698), California Bearing Ratio (ASTM D1883), and Los Angeles abrasion (ASTM C131).

Results revealed that the Rawagha soil classified as SP-SM (poorly graded sand with silt) according to USCS, with maximum dry density (MDD) of 1.989 g/cm³ at optimum moisture content (OMC) of 10.7%, and CBR value of 29%. The Suknah limestone aggregate classified as SP (poorly graded sand) with MDD of 2.124 g/cm³ at OMC of 8.0%, and CBR value of 38%. Los Angeles abrasion loss within allowable limits ≤ 40%. The study concludes that both materials are suitable for sub base layers in road construction and general civil engineering applications, if proper moisture control and compaction maintained. The Suknah limestone demonstrates superior mechanical properties compared to Rawagha soil.

This study contributes to providing a reliable scientific database for engineering planning and project implementation in the Jufra region, and opens the door for more detailed future studies on soil and rock behavior in arid and semi-arid environments.

Keywords: Limestone, Physical properties, Grain gradation, Dry density, Porosity, California bearing ratio (CBR), Weathering.

المخلص

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل ودراسة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لتربة جبال الرواغة الواقعة في منطقة وادان، بالإضافة إلى الحجر الجيري في منطقة سوكنة، نظرًا لأهمية هذه المواد في التطبيقات الهندسية وصناعة مواد البناء. تم جمع عينات من كلا الموقعين وإخضاعها لاختبارات جيوتقنية قياسية وفقًا لمواصفات ASTM و AASHTO، بما في ذلك التحليل المنخلي (ASTM D6913)، واختبار بروكتور القياسي للدمك (ASTM D698)، ونسبة تحمل كاليفورنيا (ASTM D1883)، واختبار لوس أنجلوس للتآكل (ASTM C131).

أظهرت النتائج أن تربة الرواغة مصنفة كـ SP-SM (رمل ضعيف التدرج مع طمي) وفقًا لنظام تصنيف التربة الموحد (USCS)، بكثافة جافة قصوى (MDD) تبلغ 1.989 جم/سم³ عند محتوى رطوبة مثالي (OMC) بنسبة 10.7%، وقيمة

CBR تبلغ 29%. تم تصنيف ركام الحجر الجيري السخنة كرمل ضعيف التدرج (SP) بكثافة جافة قصوى تبلغ 2.124 غ/سم³ عند محتوى رطوبة مثالي 8.0%، وقيمة تحمل كاليفورنيا (CBR) تبلغ 38%. وكانت نسبة فقدان التآكل وفقاً لمعيار لوس أنجلوس ضمن الحدود المسموح بها $\geq 40\%$. وخلصت الدراسة إلى أن كلا المادتين مناسبتان لطبقات الأساس الفرعية في إنشاء الطرق وتطبيقات الهندسة المدنية العامة، شريطة الحفاظ على التحكم المناسب في الرطوبة والدمك. ويُظهر الحجر الجيري خصائص ميكانيكية فائقة مقارنةً بتربة الرواغة. تساهم هذه الدراسة في توفير قاعدة بيانات علمية موثوقة لتخطيط المشاريع الهندسية وتنفيذها في منطقة الجفرة، وفتح المجال أمام دراسات مستقبلية أكثر تفصيلاً حول سلوك التربة والصخور في البيئات القاحلة وشبه القاحلة.

الكلمات المفتاحية: الحجر الجيري، الخواص الفيزيائية، التدرج الحبيبي، الكثافة الجافة، المسامية، نسبة التحمل لكاليفورنيا، التجوية.

مقدمة

تعتبر دراسة التربة من الركائز الأساسية في علم الهندسة الجيوتقنية، إذ تمثل التربة الأساس الذي تُقام عليه المنشآت الهندسية المختلفة، الأمر الذي يجعل فهم خصائصها الميكانيكية والفيزيائية ضرورة حتمية لضمان استقرار تلك المنشآت وسلامتها. وتشكل دراسة الخواص الميكانيكية للتربة خطوة محورية في تقييم قدرة الأرض على تحمل الأحمال وتحديد مدى ملاءمتها لأغراض البناء والإنشاء، وهو ما يُعدّ من أهم مراحل التصميم والتنفيذ في المشاريع الهندسية. وتُعتبر منطقة جبال الرواغة ومنطقة الحجر الجيري بسوكنة الواقعة ضمن نطاق منطقة الجفرة بوسط ليبيا من المناطق التي تتسم بتنوع جيولوجي واضح، حيث تتكون تربتها من مزيج من المكونات الرملية والطينية، مع وجود طبقات متفاوتة الصلابة، مما يجعلها بيئة مثالية لإجراء دراسة علمية متكاملة لتحديد خصائصها الميكانيكية. كما أن هذه المنطقة لم تحظ سابقاً بدراسات جيوتقنية تفصيلية كافية، وهو ما يُبرز الحاجة إلى بحث علمي متخصص يسعى إلى سد هذا النقص وتوفير بيانات دقيقة يمكن الاعتماد عليها في التصميم الهندسي وتنفيذ المشروعات المستقبلية.

وتهدف هذه الدراسة إلى تحليل وتوصيف الخواص الميكانيكية لتربة جبال الرواغة ومنطقة الحجر الجيري بسوكنة من خلال مجموعة من الاختبارات الميدانية والمخبرية، مثل اختبار القص المباشر، واختبار الانضغاط، واختبارات اللدونة والكثافة، وذلك لتحديد قدرة التربة على مقاومة الأحمال وتقدير مدى استقرارها تحت ظروف بيئية وجيولوجية مختلفة. كما تسعى إلى دراسة تأثير العوامل البيئية والمناخية في سلوك التربة، مثل نسبة الرطوبة، وتركيب الحبيبات، ودرجة التجوية، والعوامل المناخية السائدة في المنطقة.

وتكمن أهمية هذه الدراسة في كونها توفر قاعدة بيانات علمية موثوقة يمكن الاستناد إليها في عمليات التخطيط والتنفيذ للمشروعات الهندسية داخل منطقة الجفرة، وتُساهم في تحسين معايير التصميم الإنشائي للأساسات والحد من المشكلات الجيوتقنية المحتملة مثل الهبوط غير المتكافئ والانزلاقات الأرضية كما تُعدّ هذه الدراسة خطوة مهمة نحو إثراء المعرفة العلمية بطبيعة التربة في البيئات الجافة وشبه الجافة في ليبيا، وتفتح آفاقاً لبحوث مستقبلية أكثر تفصيلاً حول سلوك التربة في المناطق الجبلية وتقع جبال الرواغة في شمال شرق مدينة هون التابعة لمحافظة الجفرة في وسط ليبيا، وتتميز بتضاريسها الصخرية وتكويناتها الجيولوجية القديمة التي تعود إلى العصور الجيولوجية الوسطى، وبالأخص إلى العصر الطباشيري، حيث تشكلت نتيجة للحركات التكتونية التي أثرت في المنطقة على مدى ملايين السنين، مكونة طبقات من الصخور الرسوبية والرملية والطينية المتداخلة، كما تقع منطقة الحجر الجيري سوكنة ضمن نطاق الهضبة الكلسية الوسطى، التي تتميز بانتشار واسع لتكوينات الحجر الجيري الناتجة عن الترسيبات البحرية القديمة، والتي تعود إلى فترات جيولوجية مختلفة وتظهر هذه التكوينات إما على السطح مباشرة أو على أعماق قريبة، مما يسهل عمليات الاستكشاف والاستخراج. وتأتي هذه الدراسة استكمالاً لتلك الجهود الأكاديمية الرامية إلى توصيف التربة الليبية وتحليل خصائصها في مختلف المناطق، بهدف بناء قاعدة معرفية محلية دقيقة حول طبيعة تربة جبال الرواغة وبودان ومنطقة الحجر الجيري بسوكنة يمكن الاعتماد عليها في تصميم وتنفيذ المشاريع الهندسية المستقبلية ووضع الخطط الإنشائية الملائمة لطبيعة المنطقة.

فرضية الدراسة

تفترض أنه ركام الحجر الجيري من منطقة سوكنة سيُظهر كثافة جافة قصوى أعلى، وقيم CBR أعلى، وفقداناً أقل للتآكل مقارنةً بتربة الرواغة، وذلك بسبب تركيبه المعدني الكربوني وخصائصه اللدنة المنخفضة.

الفجوة البحثية

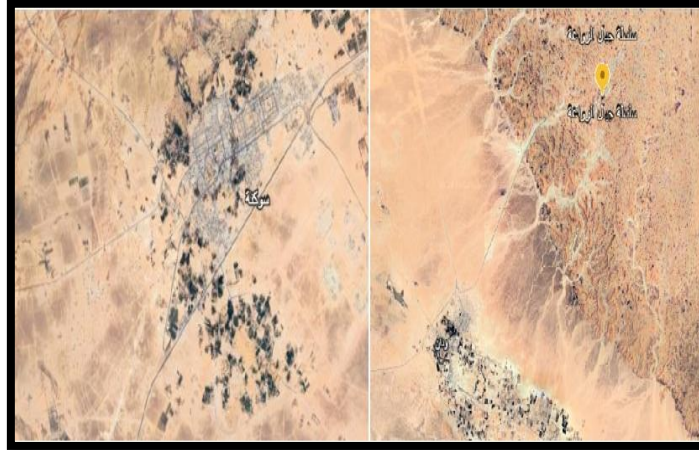
مع زيادة التطوير السريع والمستمر للبنية التحتية بمنطقة الجفرة فإنه لم تقم أي دراسة سابقة للمقارنة بتقييم وتصنيف الخواص الهندسية خصوصاً لتربة الرواغة بودان والتربة الجيرية لمنطقة سوكنة بشكل منهجي وذلك باستخدام الاختبارات بشكل موحد.

طريقة العمل ومنهجية الدراسة

تم اتباع منهج علمي يجمع بين الدراسة الميدانية والتحليل المخبري.

• **العمل الميداني:** يشمل جمع عينات من مواقع مختلفة من جبال الرواغة ومنطقة الحجر الجيري بسوكنة، وتسجيل الملاحظات الجيولوجية والمناخية.

• **العمل المخبري:** يتضمن إجراء اختبارات لتحديد الكثافة، واللدونة، والقص، والانضغاط، وغيرها من الخصائص الميكانيكية للتربة.



شكل 1: مناطق عينات الدراسة (جبال الرواغة بودان - حجر الجيري بسوكنة)

الدراسات السابقة

- ❖ دراسة Özdemir وآخرون (2025)، هدفت إلى تقييم تأثير الامتصاص الشعري للماء على الخواص الميكانيكية والفيزيائية لخمسة أنواع من الصخور الرسوبية من بينها الحجر الجيري. واعتمدت الدراسة على مجموع من التحليلات الكيميائية والبترولوجرافية بالإضافة إلى اختبارات فيزيائية وميكانيكية. حيث أظهرت النتائج أنه الامتصاص الشعري للماء يؤثر بشكل كبير في الخواص الفيزيائية والميكانيكية لوحدات الصخور المختبرة، وأن أكثر المعايير تأثيراً في قيم الامتصاص الشعري هي المسامية، والامتصاص المائي بالوزن، والكثافة الجافة، وسرعة الموجات P. كما تبين أن الحجر الجيري الطيني يتمتع بقيم امتصاص شعري عالية، على العكس من المارل كانت له قيماً منخفضة.
- ❖ دوان وآخرون (2025)، أجري دراسة هدفت الدراسة إلى التحقيق في أنماط تبديد الطاقة للحجر الجيري أثناء نشوه الفشل بالانضغاط الديناميكي تحت تأثير دورات الرطوبة والجفاف. تم استخدام نظام اختبار Split Hopkinson Pressure Bar لإجراء اختبارات الانضغاط الديناميكي على عينات الحجر الجيري تحت ظروف مختلفة من دورات الرطوبة والجفاف، مع استخدام المجهر الإلكتروني الماسح لمراقبة تطور البنية المجهرية. أظهرت النتائج أنه مع زيادة عدد دورات الرطوبة والجفاف، يزداد ذوبان المواد الغروية الداخلية وتلف الجزيئات مما يؤدي إلى تدهور قدرة تحمل الإطار الهيكلي، وانخفاض تدريجي في سرعة الموجات الطولية ومقاومة الانضغاط ومعامل المرونة، مع زيادة في المسامية.
- ❖ مجلة Scientific Reports المرموقة نشرت دراسة لتوصيف السلوك الميكانيكي لثلاثة سحنات حجرية من الحجر الجيري تحت ظروف طبيعية وجافة ومشبعة بالماء. فالنتائج أظهرت أنه تركيب السحنة المعدني والملمس يؤثران بشكل كبير على قوة الصخر ومئاته. ففي الظروف الجافة زادت قيم مقاومة الانضغاط أحادية المحور بنسبة تصل إلى 200% بالنسبة للظروف الطبيعية، بينما أدى التشبع إلى خفض المقاومة بنسبة 30-60% اعتماداً على نوع السحنة.

كما تبين أن المحتوى العالي من السيليكا في الحجر الجيري السيليسي يمنحه أعلى متانة، في حين أن المسامية العالية في الحجر الجيري الأحفوري تجعله الأكثر عرضة للضعف نتيجة التعرض للماء.

- ❖ ركزت دراسة دوان واخرون (2025) على دراسة تأثير الضغط المحصور المتغير أثناء التفجير الدوري على تلف الصخور المحيطة في المناجم تحت الأرض. أظهرت النتائج أن زيادة الضغط المحصور يمكن أن يعزز مقاومة الحجر الجيري للصدمات، لكن الضغط المفرط يمكن أن يؤدي إلى تلف داخلي يقلل من مقاومته للصدمات. كما كشف التحليل المجهرى لشكل الكسر وجود نمطين رئيسيين: الكسر الهش والكسر المطيل.
- ❖ قام الباحثان فتحية النعاس وسميحة عبد الرحمن (2025) دراسة للتقييم المخبري لمخلفات الخرسانة المعاد تدويرها لتحسين التربة الرملية في المناطق القاحلة. عينات التربة جُمعت من مدينة الكفرة بجنوب شرق ليبيا. وأجريت اختبارات شاملة لتحديد الخواص الفيزيائية والميكانيكية. فالنتائج أظهرت ان إعادة استخدام مخلفات البناء كمحسن فعال للتربة يعزز بشكل كبير عوامل مقاومة القص للرمال عند نسب إضافة 3% و6% في كل من الحالتين الجافة والرطبة، مما يدعم ممارسات البناء المستدامة في المناطق القاحلة ويعالج القضايا البيئية ويحسن أداء الأساسات.
- ❖ دراسة بواسطة مريم جابر واخرون (2025)، هدفت إلى تقديم مراجعة شاملة للأدبيات الحديثة حول استخدام مخلفات البناء والهدم في تثبيت التربة، مع التركيز على تقييم درجة تحسين عوامل مقاومة التربة المخلوطة. واستعرضت الدراسة تجارب دول عديدة في إعادة تدوير مخلفات البناء، مبيّنة أن دولاً مثل الدنمارك وإستونيا وألمانيا وهولندا أعادت تدوير أكثر من 80% من كميات مخلفات البناء والهدم. كما ناقشت الدراسة الوضع في ليبيا، مشيرة إلى أن كمية مخلفات البناء والهدم قدرت بنحو 3,050,000 طن عام 2010، وأن التخلص من النفايات لا يزال يمثل مشكلة في جميع المدن الليبية.
- ❖ قدمت دراسة عام 2024 بواسطة فتحي محمد واخرون، لتحليل خصائص انضغاط التربة المتماسكة بعد معالجتها بالجير. الدراسة رصدت زيادة غير متوقعة في معامل الانضغاط (Cv) مع تغير زمن المعالجة، وهو ما يختلف عن السلوك النموذجي للتربة المثبتة بالجير، حيث يُتوقع انخفاض Cv بمرور الوقت. يُعزى هذا الانحراف إلى تأثير التكتل (flocculation effect) الذي يغير بنية التربة، حيث أن البنية المتكتلة المتكونة أثناء التثبيت بالجير قد سمحت بتبدد أسرع لضغط ماء المسام، مما أدى إلى زيادة Cv خلال فترة المعالجة.
- ❖ وفق دراسة أجريت بواسطة صالح قنفيد واخرون عام 2023، حيث هدفت إلى تقييم الخصائص الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية للحجر الجيري المتواجد في منطقة سوكنة، بهدف تحديد مدى ملاءمته للاستخدامات الصناعية المختلفة، لاسيما في صناعة الأسمنت و مواد البناء. تبين من خلال النتائج أن نقاوة الكالسيوم تتجاوز 95% في بعض المواقع، مع مقاومة انضغاط تتراوح بين 450-750 كجم/سم²، مما يؤكد صلاحية هذه المادة للاستخدام في صناعة الأسمنت وأعمال البناء، مع وجود تباين في الجودة يستدعي توصيفاً دقيقاً قبل الاستغلال التجاري.

الجانب العملي

❖ طريقة أخذ العينات

تم أخذ أربع عينات بعد ان تمت زيارة منطقة الرواغة بودان ومنطقة الحجر الجيري بسوكنة، حيث كانت العينات متواجدة على سطح الأرض وتحت سطح الأرض بعمق يقارب 50 سم والمنطقة الجبلية بها 80% من الحجر الجيري، وتم وضع جميع العينات في أكياس بلاستيكية محكمة الإغلاق، ونقلها إلى المختبر، وتجفيفها بالهواء لمدة 48 ساعة قبل إجراء الاختبار.

جدول 1: عينات تمثيلية من مناطق الدراسة

رقم العينة	الموقع	نوع المادة	العمق (سم)	الوصف
N1	جبال الرواغة بودان	تربة	50-30	الطبقة السطحية تربة رملية بنية اللون
N2	جبال الرواغة بودان	تربة	100-50	أعمق لونا مع نسبة اعلى من المواد الناعمة
S1	سوكنة	حجر جيري مكسر	السطح	رمادي فاتح، مكسر إلى ≥ 37.5 مم
S2	سوكنة	حجر جيري مكسر	السطح	أبيض رمادي، مكسر إلى ≥ 37.5 مم

جدول 2: الاختبارات القياسية وفقا للمعايير

الغرض	معايير AASHTO	معايير ASTM	الاختبار
توزيع حجم الحبيبات	AASHTO T27-14	ASTM D6913-17	تحليل المناخل
خصائص الدمك (الكثافة الجافة القصوى والمحتوى الأمثل للرطوبة)	AASHTO T99-15	ASTM D698-12	اختبار بروكتور القياسي
قدرة التحمل	AASHTO T193-13	ASTM D1883-16	نسبة تحمل كاليفورنيا (بعد النقع، 96 ساعة)
مقاومة التآكل	AASHTO T96-14	ASTM C131-14	اختبار لوس أنجلوس للتآكل

مراقبة الجودة: تمت معايرة الأجهزة قبل الاختبار، حيث اجري كل اختبار ثلاث مرات وتم الإبلاغ عن متوسط القيم وكان التباين بين التكرارات اقل من 5% لجميع الاختبارات.

تحليل البيانات

تم تطبيق نظام تصنيف التربة الموحد (USCS) باستخدام المعايير التالية:

$$Cu = D60 / D10$$

$$Cc = (D30)^2 / (D10 \times D60)$$

لتصنيف التربة وفقاً لنظام USCS:

$$Cu \geq 4 \text{ و } Cc \leq 3$$

A. - متدرج بشكل سيئ: لا يستوفي كلا المعيارين

النتائج

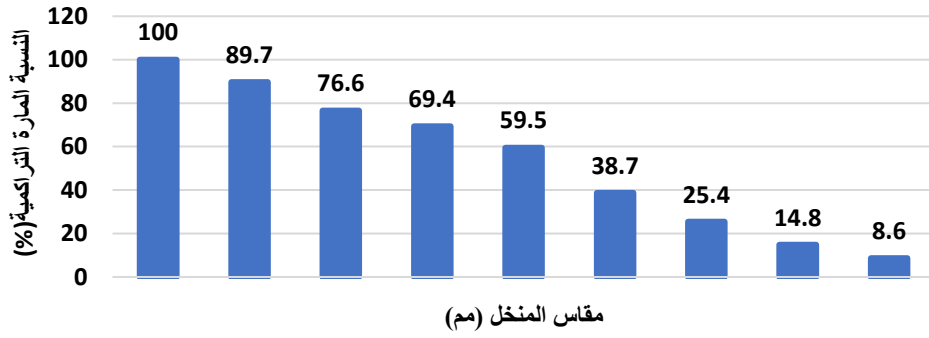
A. اختبار التدرج المنخلي للركام والتربة:

1. العينة الأولى N1:

جدول 3: اختبار التدرج المنخلي على العينة الأولى N1

النسبة المارة التراكمية (%)	الوزن المار التراكمي (جم)	الوزن المحتجز (جم)	مقاس المنخل (مم)	رقم المنخل
100.0	12799	0	50	2"
89.7	11485	1314	37.5	1.5"
76.6	9808	2991	25	1"
69.4	8884	3915	19	3/4"
59.5	7610	5189	12.5	1/2"
38.7	4957	7842	4.75	No.4
25.4	3252	9547	2	No.10
14.8	1894	10905	0.425	No.40

اختبار التدرج المنخلي N1



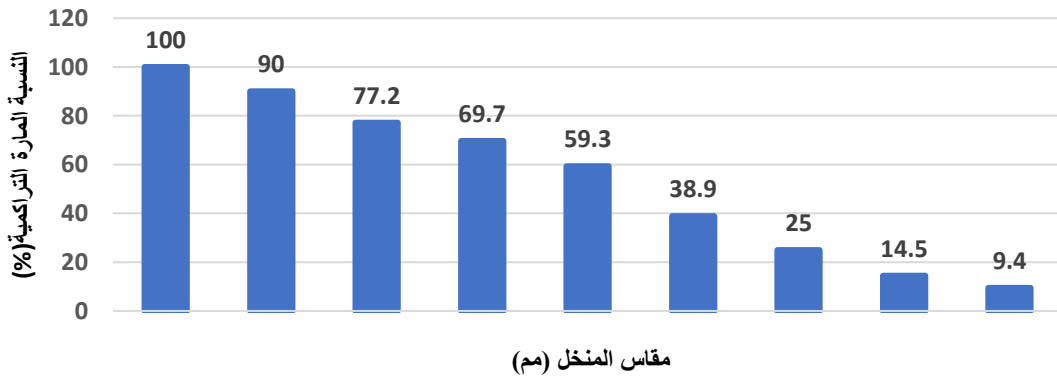
شكل 2: اختبار التدرج المنخلي على العينة الاولى N1

2. العينة الأولى S1:

جدول 4: اختبار التدرج المنخلي على العينة الاولى S1

النسبة المارة التراكمية (%)	الوزن المار التراكمي (جم)	الوزن المحتجز (جم)	مقاس المنخل (مم)	رقم المنخل
100	12799	0	50	2"
90	11521	1278	37.5	1.5"
77.2	9886	2913	25	1"
69.7	8922	3877	19	3/4"
59.3	7586	5213	12.5	1/2"
38.9	4983	7816	4.75	No.4
25	3206	9593	2	No.10
14.5	1863	10936	0.425	No.40
9.4	1201	11598	0.075	No.200

اختبار التدرج المنخلي S1



شكل 3: اختبار التدرج المنخلي على العينة الاولى S1

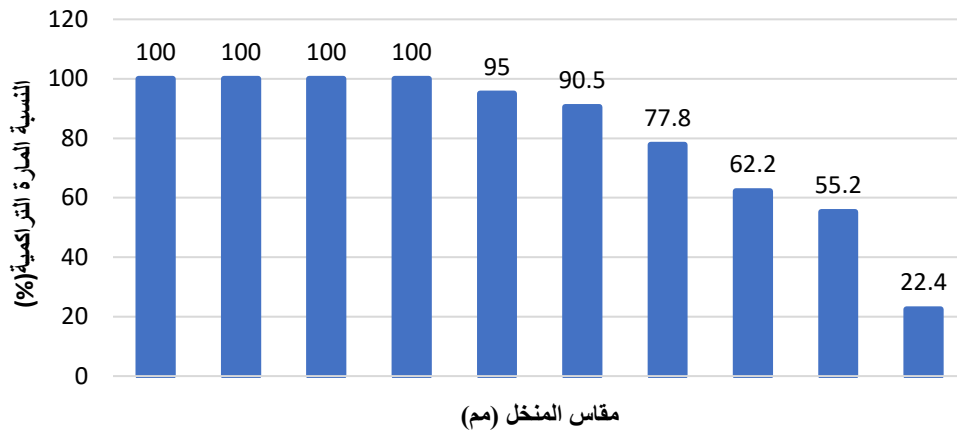
مناقشة نتائج الاختبار: أظهرت نتائج اختبار التدرج المنخلي تقاربًا كبيرًا بين العينتين N1 وS1، حيث سجلت نسب مرور متقاربة عند جميع المناخل القياسية، مما يدل على تشابه الخصائص الحبيبية لهما وانتمائهما إلى نفس البيئة الرسوبية. كما بينت النتائج أن نسبة المواد الناعمة (المارة من منخل رقم 200) لم تتجاوز 10% في كلتا العينتين، وهو ما يشير إلى ملاءمتها للاستخدام في الأعمال الهندسية المختلفة مثل طبقات الأساس والردم. ويلاحظ وجود تفوق طفيف للعينة S1 في نسبة المواد الناعمة، إلا أن هذا الفرق لا يؤثر بشكل جوهري على الخصائص الهندسية العامة للتربة.

3. العينة الثانية N2:

جدول 5: اختبار التدرج المنخلي على العينة الثانية N2

النسبة المارة التراكمية (%)	الوزن المار التراكمي (جم)	الوزن المحتجز (جم)	مقاس المنخل (مم)	رقم المنخل
100.0	1000.0	0	50	2"
100.0	1000.0	0	37.5	1.5"
100.0	1000.0	0	25	1"
100.0	1000.0	0	19	3/4"
95.0	950.0	50	12.5	1/2"
90.5	905.0	95	9.5	3/8"
77.8	778.0	222	4.75	No.4
62.2	621.9	378	2	No.10
55.2	552.4	448	0.425	No.40
22.4	224.1	776	0.075	No.200

اختبار التدرج المنخلي N2

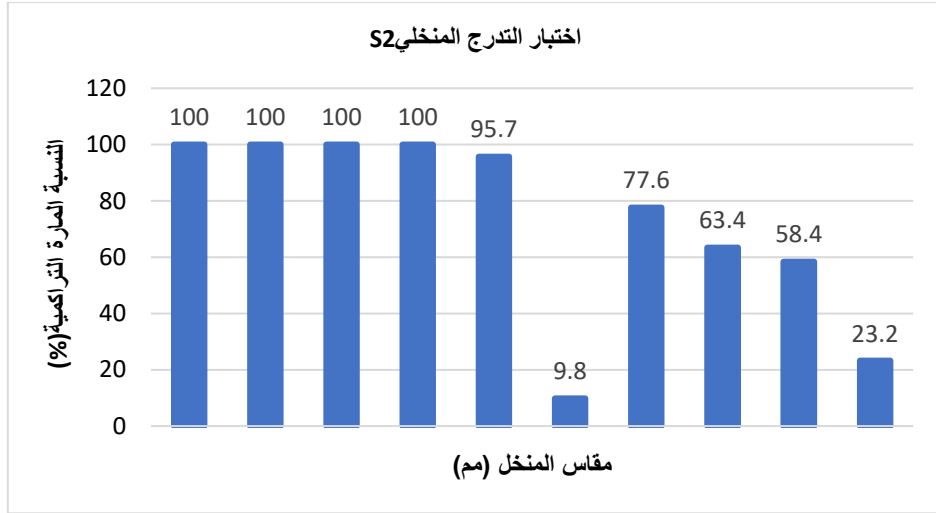


شكل 4: اختبار التدرج المنخلي على العينة الثانية N2

4. العينة الثانية S2:

جدول 6: اختبار التدرج المنخلي على العينة الثانية S2

النسبة المارة التراكمية (%)	الوزن المار التراكمي (جم)	الوزن المحتجز (جم)	مقاس المنخل (مم)	رقم المنخل
100	1000	0	50	2"
100	1000	0	37.5	1.5"
100	1000	0	25	1"
100	1000	0	19	3/4"
95.7	957	43	12.5	1/2"
9.8	908	92	9.5	3/8"
77.6	776	224	4.75	No.4
63.4	634	366	2	No.10
58.4	584	416	0.425	No.40
23.2	232	768	0.075	No.200



شكل 7: اختبار التدرج المنخلي على العينة الثانية S2

مناقشة نتائج الاختبار: أظهرت نتائج اختبار التدرج المنخلي للعينتين N2 و S2 تقاربًا كبيرًا في التوزيع الحبيبي، حيث تشابهت نسب المرور عند معظم المناخل، مما يدل على انتمائهما لنفس البيئة الرسوبية وقد سُجل ارتفاع نسبي في نسبة المواد الناعمة المارة من منخل رقم (200)، حيث بلغت في العينة N2 (22.4%) وفي العينة S2 (23.2%)، وهو ما يشير إلى زيادة محتوى الغرين والطين، الأمر الذي يؤثر سلبيًا على النفاذية ويقلل من كفاءة التربة للأعمال الإنشائية ما لم تُجر لها معالجة مناسبة. وعليه يمكن تصنيف الترتين ضمن فئة الرمال الغرينية أو الطينية وفق تصنيف USCS.

B. اختبار بروكتور القياسي

1. العينة الأولى N1

أوزان العينات

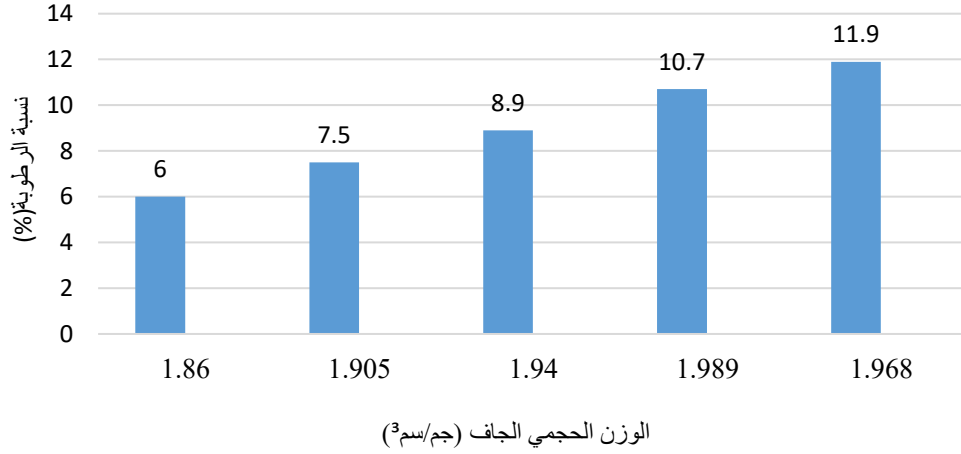
جدول 7: أوزان العينات للعينة الأولى N1

رقم التحديد	1	2	3	4	5
وزن (العينة + القالب) (جم)	10,886	10,783	10,880	11,077	11,178
وزن العينة الرطبة (جم)	4,170	4,334	4,478	4,860	4,680
الوزن الحجمي الرطب (جم/سم ³)	1.972	2.049	2.118	2.202	2.203
الوزن الحجمي الجاف (جم/سم ³)	1.860	1.905	1.940	1.989	1.968

اختبار علبة الرطوبة (Can No)

جدول 8: اختبار علبة الرطوبة N1

رقم العلبة	1	2	3	4	5
وزن التربة الرطبة (جم)	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0
وزن التربة الجافة (جم)	283.0	279.0	275.0	271.0	268.0
وزن الماء (جم)	17.0	21.0	24.5	29.0	32.0
نسبة الرطوبة (%)	6.0	7.5	8.9	10.7	11.9



شكل 8: اختبار بروكتور القياسي العينة الاولى N1

2. العينة الأولى S1 أوزان العينات

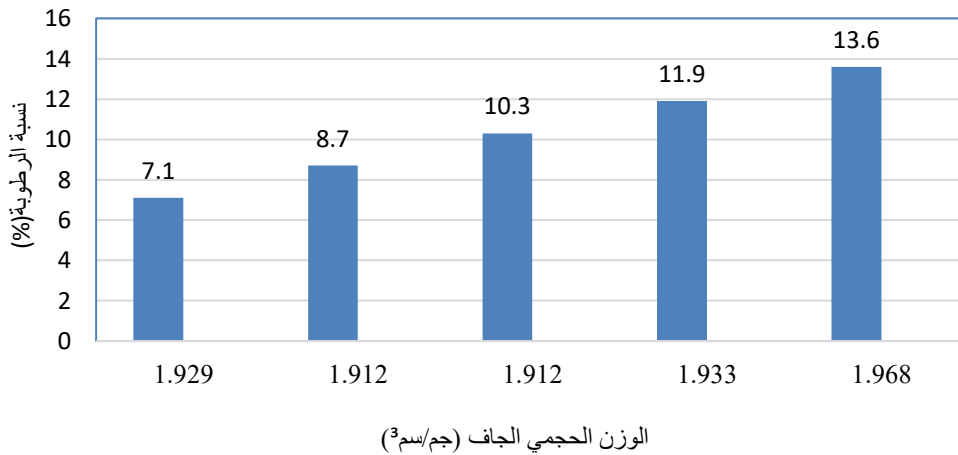
جدول 9: أوزان العينات للعينة الاولى S1

رقم التحديد	1	2	3	4	5
وزن (العينة + القالب) (جم)	10793	10819	10907	10998	11153
وزن العينة الرطبة (جم)	4369.0	4395.0	4483.0	4574.0	4729.0
الوزن الحجمي الرطب (جم/سم ³)	2.066	2.078	2.120	2.163	2.236
الوزن الحجمي الجاف (جم/سم ³)	1.929	1.912	1.912	1.933	1.968

اختبار علبة الرطوبة (Can No)

جدول 10: اختبار علبة الرطوبة

رقم العلبة	1	2	3	4	5
وزن التربة الرطبة (جم)	300	300	300	300	300
وزن التربة الجافة (جم)	280	276	272	268	264
وزن الماء (جم)	20.0	24.0	28.0	32.0	36.0
نسبة الرطوبة (%)	7.1	8.7	10.3	11.9	13.6



شكل 9: اختبار بروكتور القياسي العينة الاولى S1

مناقشة نتائج الاختبار: أظهرت نتائج اختبار بروكتور القياسي للعينات N1 أن الوزن الحجمي الجاف يزداد تدريجيًا مع ارتفاع نسبة الرطوبة حتى يصل إلى قيمته العظمى عند نسبة رطوبة تقارب 10-11%، حيث بلغت أعلى كثافة جافة حوالي 1.989 جم/سم³، ثم يبدأ بالانخفاض بعد ذلك نتيجة زيادة الماء عن الحد الأمثل، وهو ما يعكس سلوكًا طبيعيًا للتربة ذات القابلية الجيدة للدمك. أما العينة S1 فقد بينت نتائجها نمطًا مشابهًا، إذ ارتفع الوزن الحجمي الجاف تدريجيًا ليصل إلى أعلى قيمة بلغت نحو 1.968 جم/سم³ عند نسبة رطوبة تقارب 12-13%، مما يدل على حاجتها إلى محتوى مائي أعلى قليلًا لتحقيق الدمك الأمثل مقارنة بالعينات N1. وبالمقارنة بين العينتين يتضح أن العينة N1 حققت كثافة جافة أكبر، مما يشير إلى تماسك أفضل ومقاومة أعلى للهبوط، في حين تبقى العينة S1 ضمن الحدود المقبولة هندسيًا. وبصفة عامة تؤكد نتائج اختبار بروكتور القياسي صلاحية العينتين للاستخدام في أعمال الردم والطبقات التحتية شريطة الالتزام بنسبة الرطوبة المثلى لتحقيق أفضل أداء إنشائي.

3. العينة الثانية N2 أوزان العينات

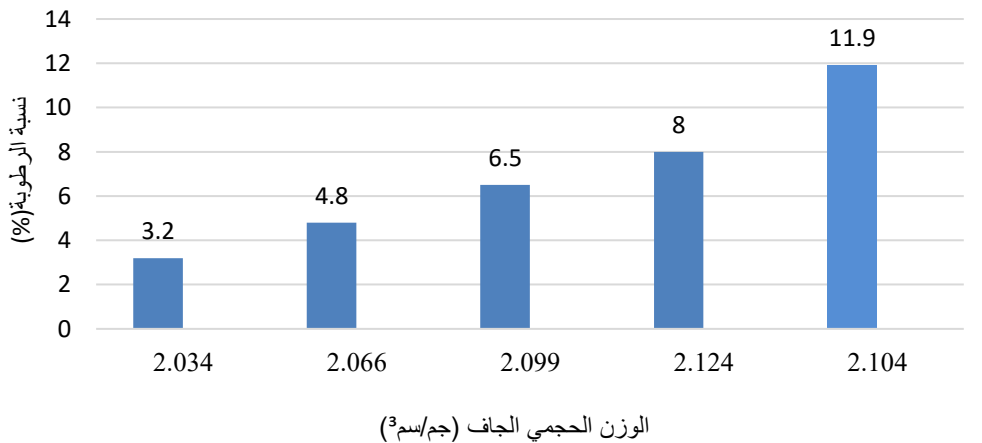
جدول 11: أوزان العينات للعينات الأولى N2

رقم التحديد	1	2	3	4	5
وزن (العينة + القالب) (جم)	10,256	10,406	10,558	10,680	10,710
وزن العينة الرطبة (جم)	4,455	4,595	4,744	4,869	4,899
الوزن الحجمي الرطب (جم/سم ³)	2.099	2.165	2.236	2.294	2.308
الوزن الحجمي الجاف (جم/سم ³)	2.034	2.066	2.099	2.124	2.104

اختبار علبة الرطوبة (Can No.)

جدول 12: اختبار علبة الرطوبة N2

رقم العلبة	1	2	3	4	5
وزن التربة الرطبة (جم)	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0
وزن التربة الجافة (جم)	290.7	286.3	281.7	277.8	273.5
وزن الماء (جم)	9.3	13.7	18.3	22.2	26.5
نسبة الرطوبة (%)	3.2	4.8	6.5	8.0	9.7



شكل 10: اختبار بروكتور القياسي للعينات الأولى N2

4. العينة الثانية S2
اوزان العينات

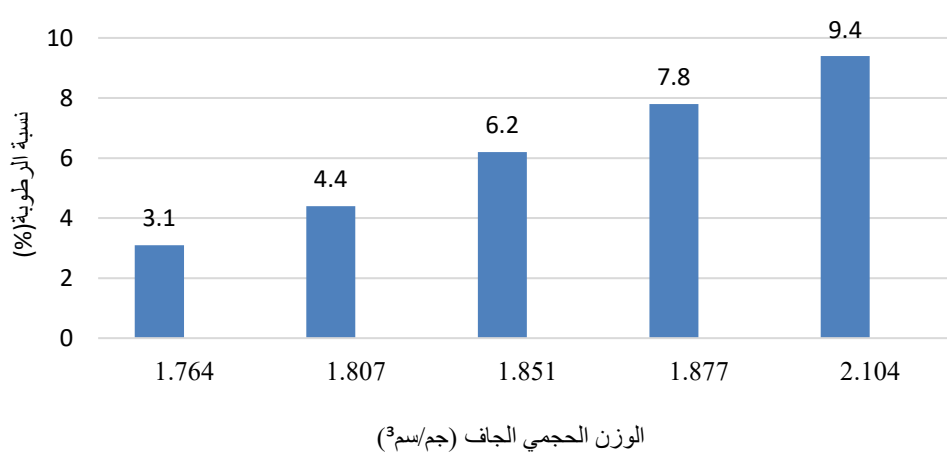
جدول 13: أوزان العينات للعينة الاولى S2

رقم التحديد	1	2	3	4	5
وزن (العينة + ال قالب) (جم)	10271	10412	10583	10703	10711
وزن العينة الرطوبة (جم)	3847.0	3988.0	4159.0	4279.0	4287.0
الوزن الحجمي الرطب (جم/سم ³)	1.819	1.886	1.966	2.023	2.027
الوزن الحجمي الجاف (جم/سم ³)	1.764	1.807	1.851	1.877	1.853

اختبار علبة الرطوبة (Can No)

جدول 14: اختبار علبة الرطوبة S2

رقم العلبة	1	2	3	4	5
وزن التربة الرطوبة (جم)	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0
وزن التربة الجافة (جم)	291.1	287.4	282.5	278.4	275.2
وزن الماء (جم)	8.9	12.6	17.5	21.6	25.8
نسبة الرطوبة (%)	3.1	4.4	6.2	7.8	9.4



شكل 11: اختبار بروكتور القياسي العينة الاولى S2

مناقشة نتائج الاختبار: أظهرت نتائج اختبار بروكتور القياسي للعينة N2 والعينة S2 تقاربًا واضحًا في سلوك الدمك، حيث لوحظ ازدياد الوزن الحجمي الجاف مع زيادة نسبة الرطوبة إلى أن يصل إلى قيمة عظمى ثم يبدأ بالانخفاض، وهو السلوك الطبيعي لمنحنى الدمك. بلغت أعلى كثافة جافة للعينة N2 حوالي 2.124 جم/سم³ عند نسبة رطوبة تقارب 8%، مما يدل على تدرج حبيبي جيد وقابلية عالية للدمك. أما العينة S2 فقد سجلت أعلى كثافة جافة بحدود 1.877 جم/سم³ عند نسبة رطوبة تقارب 7.8%، وهي أقل من العينة N2، مما يشير إلى اختلاف في التركيب الحبيبي أو نسبة المواد الناعمة. وبشكل عام،

تُظهر النتائج أن العينة N2 أكثر كفاءة من حيث الدمك والتحمل، بينما تبقى العينة S2 ضمن الحدود المقبولة هندسيًا للاستخدام في أعمال الردم والطبقات التحتية، مع ضرورة التحكم بنسبة الرطوبة للوصول إلى أفضل أداء إنشائي.

C. اختبار نسبة التحمل كاليفورنية

1. العينة الأولى N1

قراءات الاختراق والحمل

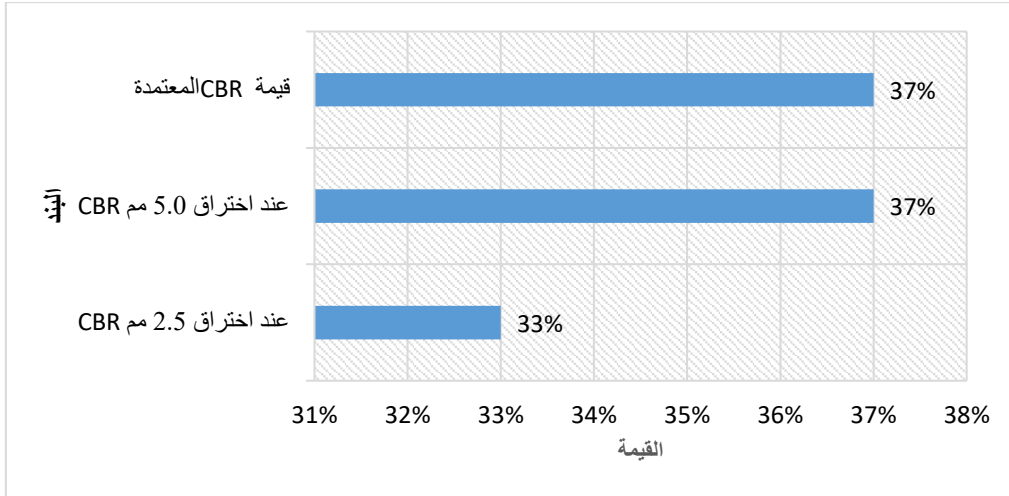
جدول 15: قراءات الاختراق والحمل للعينة الأولى N1

0.3	0.2	0.15	0.1	0.075	0.05	0.025	الاختراق (بوصة)
7.62	5.08	3.81	2.54	1.905	1.27	0.635	الاختراق (مم)
980	764	607	449	330	215	100	الحمل (كجم)

نتائج CBR

جدول 16: نتائج CBR للعينة الأولى N1

القيمة	البند
33 %	CBR عند اختراق 2.5 مم
37 %	CBR عند اختراق 5.0 مم
37 %	قيمة CBR المعتمدة
≥ 30	متطلبات المواصفة



الشكل 12: اختبار CBR للعينة الأولى N1

2. العينة الثانية S2

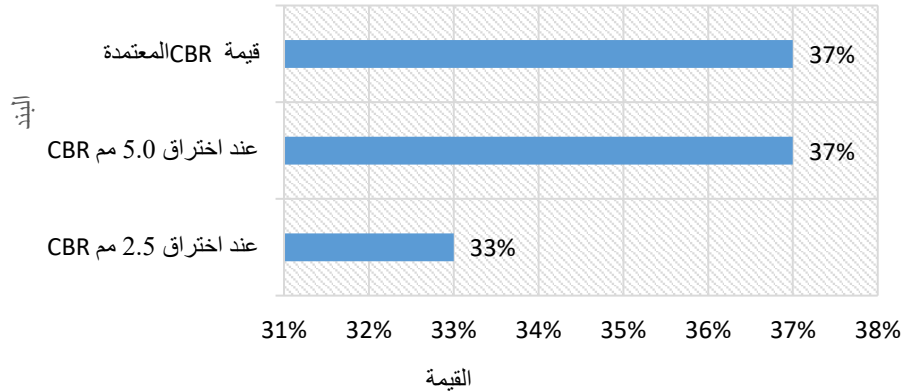
قراءات الاختراق والحمل

جدول 17: قراءات الاختراق والحمل للعينة الثانية S2

0.3	0.2	0.15	0.1	0.075	0.05	0.025	الاختراق (بوصة)
7.62	5.08	3.81	2.54	1.905	1.27	0.635	الاختراق (مم)
980	764	607	449	330	215	100	الحمل (كجم)

جدول 18: نتائج CBR للعينة الثانية S2

القيمة	البند
33 %	CBR عند اختراق 2.5 مم
37 %	CBR عند اختراق 5.0 مم
37 %	قيمة CBR المعتمدة
≥ 30	متطلبات المواصفة



شكل 13: نتائج CBR للعينة الثانية S2

مناقشة النتائج: تُظهر نتائج اختبار بروكتور القياسي للعينتين (N1) و(S2) اختلافًا واضحًا في خصائص الدمك، حيث حققت العينة (N1) أقصى وزن حجمي جاف يقارب 1.99 جم/سم³ عند نسبة رطوبة مثلى بلغت حوالي 10.7%، مما يدل على حاجة هذه العينة إلى محتوى رطوبي أعلى للوصول إلى أفضل حالة دمك، وهو ما يتماشى مع طبيعتها الخشنة وضعف تدرجها الحبيبي. في المقابل، أظهرت العينة (S2) وزنًا حجميًا جافًا أعلى بلغ نحو 2.12 جم/سم³ عند نسبة رطوبة مثلى أقل نسبيًا بحدود 8.0%، مما يعكس كفاءة دمك أفضل وسهولة في إعادة ترتيب الحبيبات تحت تأثير الجهد القياسي. ويُعزى هذا السلوك إلى التدرج الحبيبي الأكثر انتظامًا للعينة (S2) واحتوائها على نسبة أنسب من المواد الناعمة، الأمر الذي ساهم في تقليل الفراغات وزيادة الكثافة الجافة مقارنة بالعينة (N1).

3. اختبار لوس أنجلوس للتآكل

1. العينة الأولى N1

جدول 19: اختبار لوس أنجلوس للتآكل N1

القيمة	الرمز	البيان
5000	A	وزن العينة قبل الاختبار (جم)
3412	B	وزن العينة المحتجزة على منخل 17 مم بعد الاختبار (جم)
31.8 %	$C = ((A - B) / A) \times 100$	نسبة التآكل (لوس أنجلوس) %
40 %	—	الحد الأقصى حسب المواصفة

2. العينة الأولى S1

جدول 20: اختبار لوس أنجلوس للتآكل S1

القيمة	الرمز	البيان
5000	A	وزن العينة قبل الاختبار (جم)
3341	B	وزن العينة المحتجزة على منخل 17 مم بعد الاختبار (جم)
33.2 %	$C = ((A - B) / A) \times 100$	نسبة التآكل (لوس أنجلوس) %
40 %	—	الحد الأقصى حسب المواصفة

مناقشة النتائج

أظهرت نتائج اختبار لوس أنجلوس أن نسبة التآكل للعيينة الأولى (N1) بلغت 31.8%، بينما سجلت العينة الثانية (S1) نسبة 33.2%، وهما قيمتان أقل من الحد الأقصى المسموح به حسب المواصفة القياسية البالغ 40%. ويُشير ذلك إلى أن الركام في كلتا العينتين يتمتع بمقاومة جيدة للتآكل والاحتكاك، مما يجعله صالحًا للاستخدام في الأعمال الإنشائية وطبقات الطرق. كما تُظهر النتائج توفيقًا طفيفًا للعيينة (N1) من حيث المتانة مقارنة بالعيينة (S1)، إلا أن الفارق بينهما محدود ولا يؤثر على صلاحية الاستخدام الهندسي.

الخلاصة

وقد أظهرت نتائج الدراسة أن العينات المدروسة تتشابه إلى حد كبير في خصائصها الحبيبية، حيث بيّنت نتائج اختبار التدرج المنخلي تقاربًا واضحًا بين العينات (N1 – S1) وكذلك (N2 – S2)، مما يدل على انتمائها إلى بيئة رسوبية متقاربة وامتلاكها خصائص متشابهة من حيث التدرج. كما أظهرت النتائج ارتفاع نسبة المواد الناعمة في العينتين N2 و S2، إذ تجاوزت نسبة المار من منخل رقم (200) حاجز 22%، وهو ما قد يؤثر سلبيًا على النفاذية والقدرة التحملية في حال استخدام التربة دون معالجة مناسبة، أما فيما يتعلق باختبار الدمك القياسي، فقد حققت جميع العينات منحنيات دمك طبيعية وقيمًا جيدة للكثافة الجافة العظمى، حيث سجلت العينة N2 أعلى قيمة للكثافة الجافة مقارنة ببقية العينات، ما يدل على ملاءمتها للأعمال الإنشائية عند توفر شروط الدمك المثلى. كما أظهرت النتائج وجود تباين في نسب الرطوبة المثلى بين العينات، إذ احتاجت العينات ذات المحتوى الناعم الأعلى إلى نسب رطوبة أقل لتحقيق الدمك الأمثل، في حين تطلبت العينات الخشنة نسب رطوبة أعلى نسبيًا.

وأثبتت نتائج اختبار نسبة التحمل الكاليفورنية (CBR) أن جميع العينات تجاوزت الحد الأدنى المعتمد (30%)، حيث بلغت القيم نحو 37%، مما يؤكد صلاحية هذه التربة للاستخدام في طبقات الأساس وأعمال الطرق، كما أظهرت نتائج اختبار لوس أنجلوس للتآكل مقاومة جيدة للاهتراء، إذ تراوحت نسب التآكل بين (31.8% – 33.2%)، وهي ضمن الحدود المسموح بها هندسيًا، مما يدل على ملاءمة الركام للأعمال الإنشائية وطبقات الرصف.

خلصت الدراسة إلى أن تربة منطقتي جبال الرواغة ومنطقة الحجر الجيري بسوكنة تتمتع بخصائص هندسية مناسبة للاستخدام في مشاريع الطرق والأعمال الترابية، شريطة الالتزام بالمعايير الجيوتقنية المعتمدة، والتحكم الجيد في المحتوى الرطوبي، وتنفيذ عمليات الدمك وفق القيم المثلى، كما تؤكد النتائج أهمية إجراء الفحوصات المخبرية المسبقة قبل التنفيذ لضمان استقرار المنشآت وتحقيق أعلى كفاءة إنشائية، بما يسهم في دعم التنمية العمرانية والهندسية المستدامة في منطقة الجفرة.

التوصيات

- استنادًا إلى النتائج التي تم التوصل إليها في هذه الدراسة، يوصي الباحث بما يلي:
 1. ضرورة الاعتماد على نتائج الاختبارات الجيوتقنية قبل الشروع في تنفيذ أي مشاريع إنشائية في منطقة جبال الرواغة بودان ومنطقة الحجر الجيري بسوكنة، لتحديد نوعية التربة وخصائصها بدقة.
 2. يُفضّل استخدام التربة ذات التدرج الحبيبي الجيد، مثل العينة (N2)، في أعمال طبقات الأساس والردم، لما تتمتع به من خصائص دمك وتحمل أفضل مقارنة بالتربة ضعيفة التدرج.
 3. في حال استخدام تربة مشابهة للعيينة (N1)، يُوصى بإجراء عمليات تحسين للتربة، مثل الخلط بتربة أدق أو مواد محسنة، للحصول على تدرج حبيبي أفضل وتحسين خصائص الدمك.
 4. ضرورة الالتزام بالمحتوى الرطوبي الأمثل أثناء عمليات الدمك في الموقع، لما له من تأثير مباشر على تحقيق الكثافة الجافة المطلوبة وضمان استقرار المنشآت.
 5. يوصى بإجراء دراسات مستقبلية أكثر تفصيلاً تشمل اختبارات إضافية مثل اختبار القص المباشر أو ثلاثي المحاور، وذلك للحصول على تقييم أدق لمقاومة القص ومعاملات التربة التصميمية.
 6. يُستحسن توسيع نطاق الدراسة ليشمل مواقع أخرى ضمن منطقة الجفرة، بهدف إنشاء قاعدة بيانات جيوتقنية شاملة تُسهم في دعم التخطيط العمراني والهندسي المستقبلي في المنطقة.

Compliance with ethical standards

Disclosure of conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

- [1] Özdemir, M., et al. (2025). Assessment of the relationship between water capillary absorption and physical-mechanical properties of some sedimentary rocks. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*.
- [2] Duan, Y., et al. (2025a). Dynamic compression energy evolution and failure characteristics of limestone under wetting-drying cycles. *Coal Science and Technology*.
- [3] Nature Scientific Reports. (2025). Characterization of limestone facies strength under different moisture conditions. *Scientific Reports*, 15, Article 36822.
- [4] Duan, Y., et al. (2025b). Dynamic mechanical properties of limestone under variable confining pressure during cyclic impact. *Indian Geotechnical Journal*, 55.
- [5] Alnaas, F., & Abdelrahman, S. (2025). Laboratory evaluation of recycled concrete waste for improving sandy soil in arid regions. *AlQalam Journal of Medical and Applied Sciences*.
- [6] Gaber, M., Al-Sharif, J., & Salem, M. (2025b). Environmental sustainability in geotechnical engineering: Enhancing the use of eco-friendly materials. *Journal of Technical Research*, 10.
- [7] Ashmilyah, F. M. (2024). Compressibility characteristics of lime-stabilized cohesive soil. *Proceedings of the Second Scientific Conference on Science and Technology*. Higher Institute of Engineering Technologies, Zliten, Libya.
- [8] Qunaifid, S., et al. (2023). Study of the chemical, physical and mechanical properties of limestone in Sokna and its suitability for industrial uses. *Libyan Journal of Environmental Science and Technology*, 2(1). ISSN 2710-5237.
- [9] *ASTM D6913/D6913M*; Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using SIEVE Analysis. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2017.
- [10] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2018). Standard specifications for transportation materials and methods of sampling and testing. AASHTO.
- [11] ASTM International. (2016). ASTM D1883-16: Standard test method for California Bearing Ratio (CBR) of laboratory-compacted soils. ASTM International.
- [12] ASTM C131/C131M-14, Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2006.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of **AJAPAS** and/or the editor(s). **AJAPAS** and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.