https://jsras.rcc.edu.ly/
Vol.3 No.0 (2026), 1-8
Article history:
Received:
Accepted:
Published:18 Nov. 2026

Journal of Sustainable Research in Applied Sciences

Utilization of Recycled Concrete Aggregate for Road Subgrade Stabilization: A Syrian Case Study and Feasibility Assessment for Application in Southern Libya

Dalia Faraj Awlad[1,*], Majd Suliman Al Mahmoud [2]
[1] Department of Transportation Engineering, Faculty of Civil Engineering, Al -Wataniya Private University, Hama, Syria
Dalia-awlad@wpu.edu.sy.
[2] Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Al-Wataniya Private University, Hama, Syria.
Majd.almahmoud@wpu.edu.sy .
* Corresponding author Dalia-awlad@wpu.edu.sy.

Keywords

Recycled Concrete Aggregate (RCA), Expansive soil, Soil stabilization, Earthquake debris, Sustainable development.

Abstract

Infrastructure projects in southern Libya, particularly in Ubari, face significant logistical and economic challenges due to the high cost of transporting construction materials from the coast, alongside the accumulation of demolition debris that poses an environmental burden. This study presents an innovative and sustainable solution by utilizing Recycled Concrete Aggregate (RCA) as a soil stabilizer, based on a field-laboratory experiment conducted in Syria on expansive clay soil, which was blended with RCA ratios of 5%, 10%, and 15% according to ASTM standards. The technical results demonstrated significant improvement at a 15% RCA content, where the California Bearing Ratio (CBR) increased from 8% to 22%, the Unconfined Compressive Strength (UCS) increased from 20.94 to 201.6 kPa, and the free swell index decreased from 11% to 2%, making the mixture suitable for the road subgrade applications according to the AASHTO classification. Economically, the study showed that the stabilization cost using RCA is 50% to 75% lower compared to traditional stabilizers such as cement and lime. The research recommends adopting this technique in Libya as a model for the circular economy, and calls for the establishment of national legislations that encourage the localization of concrete debris recycling. This contributes significantly to reducing project costs, achieving environmental sustainability, and supporting local development in the southern regions.

توظيف الركام الخرساني المعاد تدويره في تثبيت طبقات الأساس في الطرق: دراسة حالة سورية وتقييم جدوى تطبيقه في المناطق الجنوبية الليبية

داليا فرج اولاد[1,*]، مجد سليمان المحمود[2]
[1]الجامعة الوطنية الخاصة، قسم هندسة المواصلات والنقل، حماه، سوريا، Dalia-awlad@wpu.edu.sy
[2]الجامعة الوطنية الخاصة، كلية الهندسة المدنية، قسم الهندسة الجيوتكنيكية، حماه، سوريا Majd.almahmoud@wpu.edu.sy
* المؤلف المراسل Dalia-awlad@wpu.edu.sy

الكلمات المفتاحية

الركام الخرساني المعاد تدويره (RCA), تربة انتفاخية، تثبيت التربة، مخلفات الزلازل، التنمية المستدامة.

الملخص

تواجه مشاريع البنية التحتية في الجنوب الليبي، ولا سيما في أوباري، تحديات لوجستية واقتصادية كبيرة بسبب ارتفاع تكاليف نقل مواد البناء من الساحل، بالإضافة إلى تراكم مخلفات الهدم والتي تشكل عبئاً بيئياً.تقدم هذه الدراسة حلاً مبتكراً ومستداماً عبر توظيف الركام الخرساني المعاد تدويره (RCA) كمادة مثبتة للتربة، مستندة إلى تجربة مخبرية ميدانية نُفذّت في سوريا على تربة طينية انتفاخية، تم خلطها بنسب (5-10-15)% من RCA وفق معايير ASTM. أظهرت النتائج الفنية تحسناً كبيراً عند نسبة 15% من RCA، حيث ارتفع مؤشر نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) من 8% إلى 22%، وازدادت مقاومة الضغط غير المحصور (UCS) من 20.94 إلى 201.6 KPa، وانخفض معامل الانتفاخ الحر من 11% إلى 2%، مما جعل الخلطة مؤهلة للاستعمال في طبقات ما تحت الأساس للطرق حسب تصنيف AASHTO. أما على الصعيد الاقتصادي، فقد أظهرت الدراسة أن تكلفة التثبيت باستخدام RCA أقل بنسبة تتراوح بين 50% و 75% مقارنة بالمثبتات التقليدية مثل الإسمنت والكلس. يوصي البحث بتبني هذه التقنية في ليبيا كنموذج للاقتصاد الدائري، ويدعو إلى وضع تشريعات وطنية تشجع على توطين إعادة تدوير المخلفات الخرسانية، مما يساهم في خفض تكاليف المشاريع بشكل كبير، وتحقيق الاستدامة البيئية، ودعم التنمية المحلية في المناطق الجنوبية.

1.المقدمة

تُعدّ عملية تثبيت التربة منهجاً جيوتكنيكياً أساسياً لتحسين الخواص الهندسية للترب الضعيفة قبل الشروع في أعمال الإنشاء. وتعد التربة الطينية الانتفاخية من أصعب أنواع التربة في التعامل معها، نظراً لتقلباتها الحجمية الكبيرة عند تعرضها لتغيرات المحتوى المائي، مما يؤدي في كثير من الأحيان إلى تشقق طبقات الرصف وعدم استقرار الأساسات السطحية (Ojotisa & Ibrahim, 2024). تعتمد تقنيات التثبيت التقليدية بشكل عام على استخدام

الإسمنت والكلس والركام الطبيعي. ورغم كفاءتها العالية، فإن الاستخدام الواسع النطاق لهذه المواد أدّى إلى مشاكل بيئية جسيمة، من استهلاك كميات هائلة من الطاقة واستنزاف الموارد الطبيعية (Soltani et al., 2020)، (Tabatabaie Shourijeh et al., 2022). وفي الجنوب الليبي (وتحديداً في منطقة أوباري) تتفاقم هذه التحديات بسبب القيود اللوجستية الحادة وقلة مواد البناء المحلية. كما يشكل تراكم مخلفات الهدم و البناء (CDW) تحديات لوجستية و بيئية جسيمة، و هي مشكلة تزداد حدتها في المناطق الحضرية السريعة الإنشاء (Verma & Sharma, 2023)،(Zahrieva et al., 2022) مما يزيد الاعتماد المستمر على الركام البكر من المخاوف البيئية، وبالتالي تبرز الحاجة الملحة إلى مواد بديلة مستدامة قادرة على تقليل توليد النفايات و الحد من استهلاك الموارد الطبيعية (Al-Baidhani & Al-Taie, 2020) و استجابةً لهذه التحديات، برز استخدام المواد المعاد تدويرها، مثل مخلفات السيراميك والركام الخرساني المعاد تدويره (RCA) ، كمادة رئيسية للأبحاث الحديثة. وتُظهر هذه المواد إمكانات كبيرة لتعزيز الخواص الهندسية للتربة مع التخفيف من الأعباء البيئية (Abdul, 2022)، (Shamsi Susahab et al., 2024). في مناطق ما بعد الصراع مثل سوريا، تكتسب هذه الدراسة أهمية استثنائية. فقد أدى زلزال فبراير 2023 إلى توليد ملايين الأطنان من الأنقاض، وتشير التقديرات الحديثة إلى تراكم ما بين 38 إلى 40 مليون طن من الركام في جميع أنحاء البلاد (UNOSAT, 2023). وإلى جانب تحسين الأداء الجيوتكنيكي الهندسي للتربة، تقلل هذه المواد المعاد تدويرها من الاعتماد على مدافن النفايات وتساهم في تطبيق مبادئ الاقتصاد الدائري من خلال إعادة دمج هذه النفايات في السلسلة الإنشائية لمشاريع إعادة الإعمار (Ujile & Abbey, 2022). وقد أظهر الباحثون أن دمج الركام الخرساني المعاد تدويره (RCA) مع التربة الغضارية يؤدي إلى زيادة ملحوظة في قدرة تحمل التربة (Ma et al., 2022). وتظهر الخلطات المحتوية على الركام المعاد تدويره صلابة أعلى وتشوهات أقل تحت ظروف التحميل (Wang et al., 2024). كما أن إضافة حوالي 15% من RCA تؤدي إلى زيادة كبيرة في مقاومة القص وتقليل قابلية التشوه، مما يسمح للترب المثبتة بتلبية معايير طبقات ما تحت الأساس المستخدمة في الرصف (Kianimehr et al., 2019). كما لوحظت نتائج واعدة عند استخدام RCA مع بعض أنواع الألياف، مما يوضح كيف يمكن لنهج التثبيت المختلط أن يساهم في تحسين الأداء الميكانيكي (Soleimani-Fard wt al., 2021). وأكدت دراسات أخرى على خليط الأسفلت المعاد تدويره (RPA) المثبت بالإسمنت أن هذه الخلطات تحسن بشكل كبير الصلابة وقدرة التحمل (Suksan & Horpibulsuk, 2022). علاوة على ذلك، أكد التحليل الميكروي أن المنتجات الثانوية الصناعية مثل الرماد المتطاير والخبث تحسن الترابط بين الحبيبات، مما يؤدي إلى زيادات كبيرة في قدرة التحمل ومقاومة الانضغاط غير المحصور(UCS) (Wang et al., 2024). وتشير دراسات تقييم دورة الحياة إلى أنه يمكن تقليل استهلاك الطاقة وانبعاثات الكربون بشكل كبير من خلال استبدال المثبتات التقليدية بالمواد المعاد تدويرها، مما يتماشى مع أهداف الاستدامة العالمية (Tabassum et al., 2022). وعليه، فإن إعادة استخدام مخلفات الهدم كمواد لتثبيت التربة تمثل فرصة استراتيجية لدعم جهود إعادة البناء المستدامة. وتهدف هذه الدراسة إلى سد الفجوة بين الدراسة المرجعية السورية الناجحة والاحتياجات الملحة للبنية التحتية في جنوب ليبيا. ومن خلال تحليل النتائج الفنية والاقتصادية للتجارب المخبرية السورية (التي استخدمت RCA المستخرج من مخلفات الزلازل لتثبيت التربة الانتفاخية)، يقترح هذا البحث نموذجاً لتوطين تقنية التثبيت باستخدام RCA في منطقة أوباري، ويقدم توصيات محددة لصناع القرار الليبيين لاعتماد تشريعات تشجع الاقتصاد الدائري وتخفض تكاليف النقل الإنشائي.

2. مراجعة الأدبيات والدراسات السابقة

برز استخدام المواد المعاد تدويرها والمشتقة من النفايات كبدائل للمثبتات التقليدية للتربة بشكل متزايد في الهندسة الجيوتكنيكية المستدامة خلال السنوات الأخيرة. وتعود الأسباب الرئيسية لهذا التحول إلى المخاوف البيئية المتعلقة بالاستخدام المفرط للموارد الطبيعية والكميات المتزايدة من النفايات الناتجة عن التطوير والهدم (Ujile & Abbey, 2022). وقد أظهرت الأبحاث أن الركام المعاد تدويره، وبشكل خاص الركام الخرساني المعاد تدويره (RCA)، يمتلك القدرة على تحسين أداء التربة ودعم الاستدامة. على النقيض من الركام الطبيعي، غالباً ما تحتوي جزيئات الركام الخرساني المعاد تدويره (RCA) على بقايا من عجينة الإسمنت ملتصقةً بأسطحها، مما قد يسهم في حدوث تفاعلات إسمنتية ثانوية بعد خلطها مع التربة(Ma et al., 2022). بالإضافة إلى ذلك، يعزز الشكل الزاوي والملمس الخشن لجزيئات RCA الاحتكاك بين المكونات ويساعد على تكوين إطار حبيبي أقوى داخل نسيج التربة المعدلة. لقد حظي RCA باهتمام كبير في السنوات الأخيرة نظراً لقدرته على تحسين سلوك التربة وتقليل نفايات البناء في ذات الوقت.

لقد أظهرت العديد من الأبحاث تحسناً ملحوظاً في الخصائص الهندسية للتربة الطينية المعالجة بالركام المعاد تدويره، فقد وجد (Ma et al., 2022) أن دمج هذا الركام مع تربة عالية اللدونة أدى إلى زيادة ملحوظة في قيم مقاومة الانضغاط غير المحصور (UCS) ونسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) كما أظهرت الخلطات التي استخدم فيها الـ RCA صلابة أعلى وتشوهات أقل تحت ظروف التحميل (Wang et al., 2024). وأكدت النتائج أن إضافة حوالي 15% من RCA تزيد بشكل كبير من مقاومة القص وتقلل قابلية التشوه، مما يسمح للتربة المثبتة مما يسمح للتربة المثبتة بتلبية معايير طبقات الأساس اللازمة للرصف (Kianimehr et al., 2019). كما لوحظت نتائج واعدة عند استخدام RCA مع الألياف المعاد تدويرها، حيث أظهرت الخلطات الحاوية على 0.5% ألياف و10%RCA زيادة كبيرة في قيم UCS، وكان أداؤها ممتازاً عند استخدامها في طبقات ما تحت الأساس (Soleimani-Fard wt al., 2021).

كما أظهرت مواد معاد تدويرها أخرى مثل مخلفات السيراميك والطوب قدرة على تثبيت التربة، هذه المخلفات غنية بالسليكا والألومينا مما يمكنها من إحداث تفاعلات بوزولانية، تؤدي هذه التفاعلات إلى تكوين مركبات إسمنتية مثل سيليكات الكالسيوم المائية (C-S-H) وألومينات الكالسيوم المائية (C-A-H)، مما يقلل من اللدونة والانتفاخ مع تحسين مقاومة التربة (Ujile & Abbey, 2022). كما تم دراسة مخلفات الزجاج كمثبت محتمل نظراً لتركيز السيليكا العالي فيها، وأظهرت زيادة في مقاومة التربة واستقرارها الحجمي، خاصة عندما تطحن هذه الملفات بشكل ناعم. كما يعد الركام الإسفلتي المعاد تدويره (RAP) بديلاً واعداً آخر حيث أظهر (Suksan & Horpibulsuk, 2022) أن خلطات RAP المثبتة بالإسمنت تحسن وبشكل كبير الصلابة وقدرة التحمل.

علاوة على ذلك تم استخدام المنتجات الثانوية الصناعية مثل الرماد المتطاير (Fly Ash) وخبث الأفران العالية (GBFS) على نطاق واسع في تثبيت التربة. تمتلك هذه المواد خصائص هيدروليكية أو بوزولانية تعزز من تكوين نواتج تفاعل الإماهة، مما يؤدي إلى تحسين مقاومة وصلابة التربة. أكد التحليل المجهري أن هذه المواد تحسن الترابط بين الجسيمات وبنية التربة مما يؤدي إلى زيادات كبيرة في قدرة التحمل وقيم UCS (Wang et al., 2024).

كما أظهرت دراسات تقييم دورة الحياة LCA أن استبدال المثبتات التقليدية بالمواد المعاد تدويرها يمكن ان يقلل بشكل كبير من استهلاك الطاقة وانبعاثات الكربون (Tabassum et al., 2022). كما أن هذه الاستراتيجية تقلل من النفايات في مكبات ومدافن النفايات وتحافظ على الموارد الطبيعية، مما يتماشى مع أهداف الاقتصاد الدائري والاستدامة العالمية.

تكتسب أهمية استخدام الركام المعاد تدويره في مناطق ما بعد النزاع أهمية قصوى، حيث أن كميات النفايات الهائلة الناتجة عن تدمير البنى التحتية تقدم تحدياً وفرصة في آن واحد. وفي سوريا، يمكن أن يؤدي استخدام هذا الركام كمورد في تثبيت التربة إلى تخفيض كبير في تكاليف إعادة البناء والاعتماد على المواد المستوردة. أظهرت الأبحاث الحديثة حول الترب السورية أن استراتيجيات التثبيت الحبيبي ممكنة، حيث أثبتت الدراسات أن إضافة المواد الحبيبية يحسن السلوك الفيزيائي للتربة الانتفاخية (Alnur & Ray, 2023).

رغم التقدم الملحوظ، لاتزال هناك فجوات بحثية عديدة حيث تركز معظم الدراسات الحالية على التحاليل المخبرية مع تحقيق ميداني محدود. كما ان التباين في الأداء والتأثيرات البيئية والديمومة لا تزال بحاجة إلى دراسات أكثر شمولاً، كما أنه يوجد نقص في الأبحاث المخصصة لبيئات ما بعد الصراع حيث تتطلب: توافر المواد، القيود الاقتصادية، احتياجات إعادة البناء العاجلة حلولاً مخصصة لكل منها.

المواد، القيود الاقتصادية، احتياجات إعادة البناء العاجلة حلولاً مخصصة لكل منها.

3.المواد والمنهجية

1.3. نظرة عامة على الدراسة

للتحقق من جدوى استخدام الـ RCA كمثبت مستدام لتطبيقات البنية التحتية، تعتمد هذه الدراسة منهجية تجريبية مخبرية نُفذت في سوريا. وتعد هذه الدراسة السورية بمثابة نموذج مرجعي لجنوب ليبيا، حيث تُبرز الجدوى

التقنية والمزايا الاقتصادية لاستخدام مخلفات الهدم المحلية في تثبيت التربة، وتتركز الدراسة على تثبيت تربة طينية انتفاخية باستخدام RCA المستخرج من مخلفات الزلازل.

2.3. منطقة الدراسة وأخذ العينات

أُجريت هذه الدراسة على عينات تربة تم جمعها من منطقة حريصون في محافظة طرطوس، يقع موقع أخذ العينات عند الإحداثيات (53`34° شمالاً، 53`35° شرقاً). وتعد حريصون جزءاً من الحزام الجبلي الساحلي السوري، وهي منطقة معروفة بتركيبتها الجيومورفولوجية والجيولوجية المعقدة حيث تنتشر الترب الطينية الانتفاخية بكثرة (Brew et al., 2001).

الشكل 1 خريطة الموقع الجغرافي

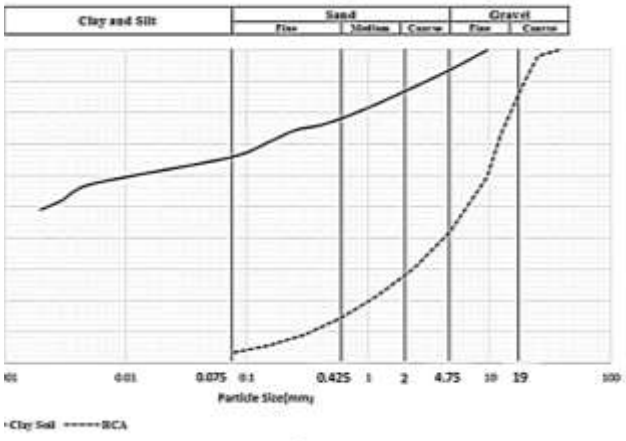


إن مناخ المنطقة طقس متوسطي نموذجي، حيث تكون فصول الشتاء رطبة، في حين تكون فصول الصيف جافة في الغالب. يؤدي هذا التباين الموسمي إلى تغيرات جوهرية في نظام رطوبة التربة على مدار العام، مما يفاقم بشكل كبير إمكانية الانتفاخ والانكماش الموجودة في الترب الانتفاخية. ويعد هذا السلوك عاملاً مهماً في الأضرار المتكررة التي تلاحظ في طبقات الرصف وفي الأساسات السطحية (Mohammed et al., 2020). تم الحصول على عينات التربة من الموقع المحدد من عمق يقارب 1.5 متر تحت سطح الأرض. وذلك لتقليل تأثير المكونات العضوية السطحية والظروف البيئية العابرة. وبعد جمع العينات، تم غلق كل عينة على الفور داخل حاويات غير نفوذه للماء للحفاظ على حالتها الطبيعية ومنع فقدان الرطوبة، تمهيداً لإجراء التحاليل اللاحقة.

3-3- توصيف التربة الانتفاخية وتجهيز الركام المعاد تدويره (RCA):

نفذ بروتوكول تجريبي شامل لتوصيف الخصائص الفيزيائية والميكانيكية الأساسية للتربة. ويعرض التوزيع الحبيبي للتربة وللركام RCA في الشكل 2:

الشكل 2 منحني التدرج الحبي للتربة والركام.



ووفقاً لما هو ملخص في الجدول 1، تصنف التربة على أنها طين عالي اللدونة (CH) وفقاً لنظام التصنيف الموحد للتربة (USCS)، ومن النوع A-7-6 وفقاً لتصنيف AASSHTO. يبلغ حد سيولة التربة 60.9% ومؤشر اللدونة 24.4%، ومؤشر تحمل كاليفورنيا (CBR) 8%.

جدول 1 الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للتربة.

Variable	Value	Standard
Wn	30.24%	ASTM D2216-19
OWC	27%	ASTM D698-12e2
MDD	13.7 KN/m^3	
LL	60.9%	ASTM D4318-17e1
PL	36.46%	
PI	24.4%	
G_s	2.46	-10 ASTM D854
C	45.5 kPa	ASTM D3080/D3080M-11
ϕ	9.35°	
UCS	10.47 kPa	ASTM D2166/D2166M-16
CBR	8%	ASTM D1883-21
C_C	0.36	ASTM D2435/D2435M-04
USCS	CH	ASTM D2487-17
AASHTO	A-7-6	AASHTO M 145-91 (2020)(AASHTO, 2020)

ويشير التحليل المعدني المبين في الجدول 2 إلى وجود 42.4% من المونتموريلونيت، وهو المسؤول عن إمكانية الانتفاخ العالية للتربة.

جدول 2 التحليل المينيرالي للتربة.

Mineral	%
Montmorillonite	42.4
Illite	8.13
Kaolinite	5.8
Quartz	22.23
Calcite	9.7
Feldspar	7.4
Gypsum	1

أما فيما يخص الركام الخرساني المعاد تدويره (RCA)، فقد تم الحصول عليه من مخلفات الهدم الناتجة عن الانهيار الكامل لمبنى "موبيلي توب" في مدينة اللاذقية خلال زلزال فبراير 2023. خضعت المواد لعملية فرز يدوي لإزالة المواد غير المرغوب فيها كالخشب والبلاستيك والمعادن، ثم تم تكسيرها ميكانيكياً. تبلغ الكثافة النوعية للركام المنتج 3.05، وله توزيع حبيبي منتظم، كما هو موضح في الشكل 2. علاوة على ذلك، تعد استراتيجيات التثبيت الحبيبي قابلة للتطبيق، وفقاً للأبحاث التي أجريت على الترب السورية، إذ ثبت أن إضافة المواد الحبيبية يحسن الخواص الفيزيائية للترب الطينية الانتفاخية (Alnur & Ray, 2023).

كما تم إجراء التحليل الكيميائي للتربة الطبيعية والـ RCA المستخدمين في تحضير العينات المختبرة والنتائج موضحة في الجدول 3، كما تم قياس قلوية التربة الطبيعية والعينات المختبرة بمختلف نسب إضافة الـRCA كما في الجدول 4.

الجدول3 التحليل الكيميائي للتربة الطبيعية والركام المستخدم.

Clay Soil	RCA	
4.2	48.5	**CaO**
53.2	28.3	**SiO2**
17.8	7.6	**Al_2O_3**
7.5	4.2	**Fe_2O_3**
3.1	2.8	**MgO**
0.3	1.2	**SO_3**
1.8	1.1	**K_2O**
2.4	0.5	**Na_2O**
8.6	5.4	**LOI**

الجدول 4 درجة الـPH للتربة الطبيعية والخلطات المعتمدة في إجراء البحث.

Material	Value

soil	7.62
RCA	12.41
Soil + (5%) RCA	9.15
Soil + (10 %) RCA	10.23
Soil + (15 %) RCA	10.89

4.3.تحضير خلطات التربة RCA

تم استخدام الركام الخرساني المعاد تدويره (RCA) لإنشاء مزيج عينات بنسب استبدال تبلغ 5%، و10%، و15% من الكتلة الجافة للتربة الطبيعية المستخدمة في البحث. ولضمان توزع جزيئات RCA بالتساوي داخل هيكل مصفوفة التربة، تم خلط المكونات الجافة أولاً، ثم تمت إضافة الماء بشكل تدريجي مع الخلط الميكانيكي لتحقيق توزيع مائي منتظم. تم تحديد كل من الكثافة الجافة القصوى (MDD) والمحتوى المائي الأمثل (OMC) لكل مزيج باستخدام اختبار الرص القياسي (Proctor) وفقاً لمعيار ASTM D698-122e2 تم رص العينات إلى مستويات الكثافة الجافة القصوى المقابلة لها عند المحتوى المائي الأمثل المحدد مسبقاً. وبعد الرص، تم غلق العينات بإحكام في حاويات غير نافذة ومعالجتها لمدة 28 يوماً، للسماح بتطور التفاعلات البوزولانية بين التربة الانتفاخية والمكونات القابلة للتفاعل الموجودة في RCA.

5.3.برنامج الفحوصات المخبرية

التزمت جميع الاختبارات بصرامة بمعايير الجمعية الأمريكية للاختبارات والمواد (ASTM) القياسية، مما يضمن دقة المنهجية وقابلية التكرار. اشتمل البرنامج الاستقصائي على تحديدات لكل من:

- الخصائص الدليلية (حدود أتربيرغ) وفقاً لمعيار ASTM D4318-17e1.
- خصائص الرص (OMC) و (MDD) وفقاً لمعيار ASTM **D** 698-12e2.
- مقاومة الانضغاط غير المحصور (UCS) وفقاً لمعيار ASTM D2166/D2166M-16.
- مؤشر تحمل كاليفورنيا (CBR) وفقاً لمعيار ASTM D1883-21.
- خصائص الانضغاط والانتفاخ (التحليل ذو البعد الواحد) وفقاً لمعيار ASTM D2435/D2435M-04.

6.3.التحقق الإحصائي

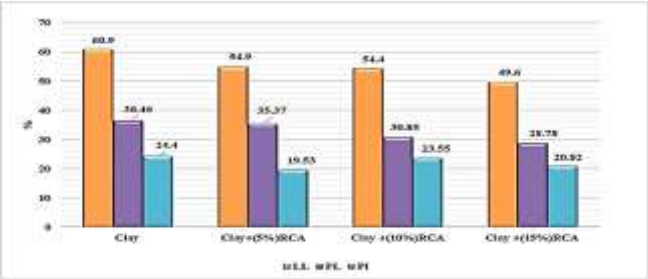
للتحقق من أهمية التحسينات الملاحظة، تم إجراء اختبار t-test للعينات المستقلة، حيث تمت مقارنة خلطات التربة المعالجة (5%، و10%، و15% RCA) مقابل التربة غير المعالجة (**0%** RCA) كمجموعة ضابطة. تم اعتبار القيمة الاحتمالية (P-value) التي تقل عن 0.05 كمعيار للدلالة الإحصائية.

4.النتائج والمناقشة

1.4.تأثير الركام المعاد تدويره (RCA) على خصائص اللدونة (حدود أتربيرغ):

تم تقييم خصائص اللدونة للتربة الطينية الانتفاخية، والمتمثلة في حد السيولة (LL)، وحد اللدونة (PL)، ودليل اللدونة (PL)، لكل من التربة غير المعالجة والخلطات الحاوية على 5%، و10%، و15% من الركام الخرساني المعاد تدويره (RCA) ويظهر الشكل 3 النتائج التي تم الحصول عليها.

الشكل 3 نتائج حدود أتربيرغ.

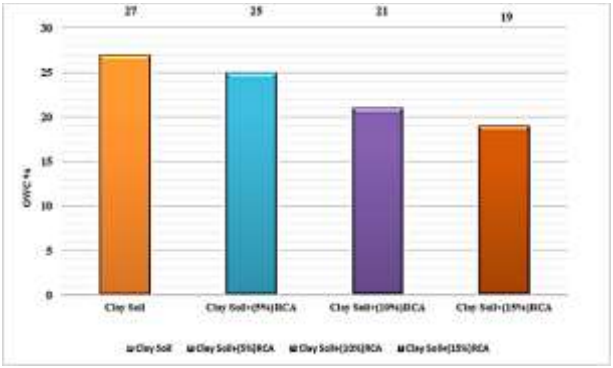


تشير النتائج إلى انخفاض في حد السيولة من 60.9% (في التربة غير المعالجة) إلى 49.6% عند مستوى استبدال 15% من RCA. وفي الوقت نفسه، انخفاض مؤشر اللدونة من 24.4% إلى 18.65% عند نفس المحتوى من RCA. يعزى هذا الانخفاض في اللدونة بشكل أساسي إلى آليتين: الأولى، أن الطبيعة الخشنة الزاوية لجزيئات RCA تحل محل جزء من التربة الطينية الناعمة، مما يخفف فعلياً من المعادن الطينية النشطة (خاصة المونتموريلونيت) دخل مصفوفة التربة. الثانية، أن المركبات الأسمنتية المتبقية على أسطح RCA تدخل أيونات الكالسيوم، مما يسهل عملية التبادل الكاتيوني مع جزيئات التربة. تعزز هذه العملية الكيميائية من تكتل الجسيمات وتثبط تشكيل الطبقة المزدوجة المنتشرة، مما يقلل من تشرب التربة للماء. يتوافق اتجاه انخفاض مؤشرات اللدونة مع الأدبيات العلمية الراسخة حول تثبيت الترب الانتفاخية باستخدام مواد الهدم والبناء المعاد تدويرها كما وثق الباحثون مثل (Arulrajah et al., 2014)، (Osouli et al., 2019).

2.4. خصائص الرص

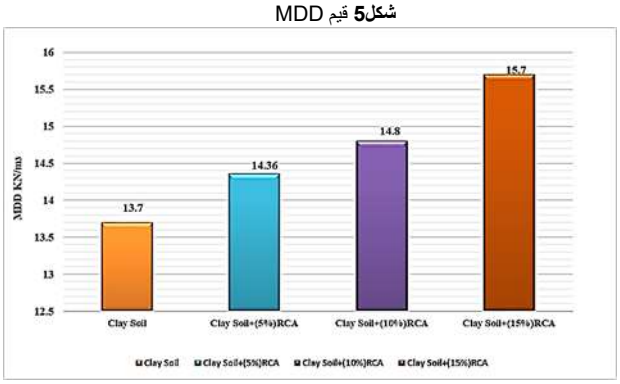
أجريت اختبارات الرص القياسية (Proctor) لتقييم أثر RCA على سلوك الرص للتربة الطينية الانتفاخية.

شكل4 قيم OWC



تظهر النتائج أن إضافة RCA أدت إلى انخفاض تدريجي في المحتوى المائي الأمثل (OMC) من27% للتربة غير المعالجة إلى 19% للخليط الحاوي على 15% من RCA. وبالمقابل، زادت الكثافة الجافة القصوى (MDD) بشكل تدريجي من 13.7 Kn/m^3 مع زيادة محتوى RCA. يعزى انخفاض OMC إلى انخفاض قدرة RCA على امتصاص الماء مقارنة بالكسر الطيني النشط. وفي الوقت نفسه، ترتبط الزيادة في MDD بالكثافة النوعية العالية نسبياً والطبيعة الحبيبية لجزيئات RCA، والتي تحسن ترتيب الحبيبات وتقلل الفراغات الداخلية. تتفق الاتجاهات التي تم الحصول عليها مع الدراسات السابقة التي أظهرت أن دمج مواد النفايات المعاد تدويرها في الترب الانتفاخية بشكل عام يقلل من OMC ويزيد من MDD (Arulrajah et al., 2015)، (Bamonte & Gambarova, 2016).

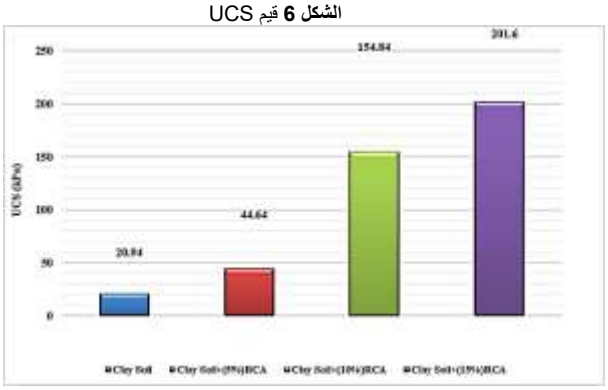
شكل5 قيم MDD



3.4مقاومة الضغط غير المحصور (UCS)

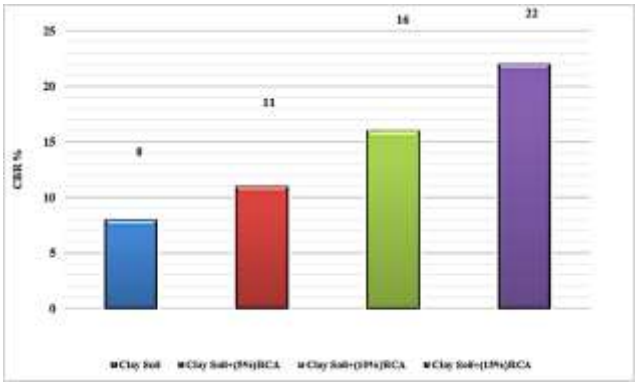
أظهرت التربة غير المعالجة مقاومة انضغاط غير محصور UCS تبلغ KPa2.1±20.94 ، بينما حققت الخلطات الحاوية على 15% من RCA قيمة تبلغ KPa5.3±201.6. تعزى هذه الزيادة إلى آليات ميكانيكية وفيزيوكيميائية متآزرة ميكانيكياً، تعزز البنية الزاويّة لـ RCA هيكلاً حبيبياً متماسكاً مع تشابك حبيبي محسّن. كيميائياً، تتخضع المراحل الإسمنتية المتبقية على أسطح RCA للتميه الثانوي والتفاعلات البوزولانية أثناء فترة المعالجة، مما يسهل تكوين عوامل ربط إضافية. تتماشى هذه النتائج مع الأبحاث المعاصرة التي توثق فعالية مواد البناء المعاد تدويرها في تثبيت الترب الانتفاخية، كما ورد في دراسات (Shamsi Sosahab et al., 2023)، (Saeed & Rashed, 2020).

الشكل 6 قيم UCS



4.4. مؤشر تحمل كاليفورنيا (CBR)

تظهر البيانات زيادة ملحوظة في قدرة التحمل تتناسب طردياً مع محتوى RCA. سجلت التربة غير المعدلة قيمة CBR مشبعة تبلغ 8%، بينما رفعت الإضافات بنسبة 15% RCA هذه القيمة إلى 22%. تعزى هذه التحسينات إلى التعزيز الهيكلي الذي توفره شوائب RCA، والتي تنشئ إطاراً هيكلياً يعزز مقاومة الاختراق ويحسن توزيع الأحمال. تساهم البنية الزاوية والملمس الخشن للسطح في زيادة مقاومة الاحتكاك. تتوافق هذه النتائج مع الأدبيات الراسخة التي تبلغ عن تحسينات كبيرة في أداء CBR للترب الانتفاخية المثبتة بمواد البناء المعاد تدويرها (Asraa Salah Hashem & Shaban, 2024)، (Sosahab & Ardakani, 2025).

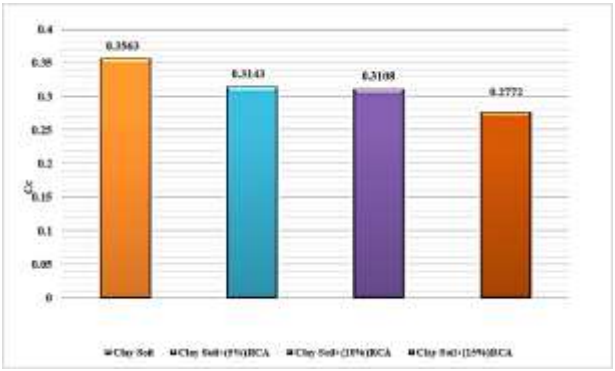


e قيم الـCBR

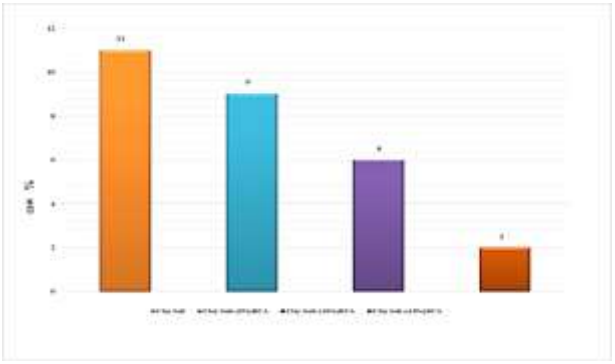
5.4.خصائص الانضغاط والانتفاخ

كشفت اختبارات الانضغاط أحادية البعد عن تحول تدريجي في سلوك التربة مع زيادة نسبة الركام المضاف.

شكل8 قيم Cc



شكل9 قيم εsw



انخفض معامل الانضغاط من 0.36 في التربة الأصلية إلى 0.28 في الخلطات الحاوية على 15% من الركام المعاد تدويره. وبالمثل، انخفضت نسبة الانتفاخ الحر من 11% إلى 2% مع زيادة محتوى الركام. يعزى هذا التحسن إلى آليتين متشابكتين: الأولى هي آلية فيزيائية-ميكانيكية، حيث تشكل جزيئات الركام الخشنة إطاراً هيكلياً خاملاً يحد من إمكانات الانتفاخ. الثانية هي آلية فيزيائية-كيميائية، تتضمن زيادة في مستويات الأس الهيدروجيني (PH) الناتجة عن ذوبان هيدروكسيد الكالسيوم، مما يغير كيمياء سطح العينات ويسهل استبدال الكاتيونات أحادية التكافؤ بكاتيونات متعددة التكافؤ. يؤدي هذا التبادل الكاتيوني إلى ضغط الطبقة المزدوجة المنتشرة وتقليل قوى التنافر الكهروستاتيكية. كما تعزز البيئة القلوية التفاعلات البوزولانية لتشكيل سيليكات الكالسيوم المائية (C-S-H)، والتي تعمل كعامل ربط يزيد من الصلابة ويقلل من التشوه (Ujile & Abbey, 2022)، (Ma et al., 2022).

6.4. التحليل الإحصائي للنتائج التجريبية

للتحقق من أهمية التحسينات الملاحظة في الخواص الجيوتكنيكية، تم إجراء تحليل إحصائي باستخدام اختبار t-test للعينات. قارن التحليل نتائج

مخاليط التربة المعالجة (5%، 10%، 15% RCA) مقابل التربة غير المعالجة (0% RCA) كمجموعة ضابطة. تم اعتبار قيمة الاحتمالية (P-value) التي تقل عن 0.05 كمعيار للدلالة الإحصائية.

جدول 5 التحليل الإحصائي ونتائج t-test

Property	0%RCA(control)	5%RCA	10%RCA	15%RCA
LL (%)	60.9±1.2	54.9±1.5	54.4±1.3	49.6±1.1
P-value	-	0.032*	0.028*	0.009*
PI (%)	24.4±0.8	19.53±0.9	23.55±1.0	18.65±0.7
P-value	-	0.041*	0.048*	0.006**
MDD(KN/m^3)	13.7±0.2	14.36±0.2	14.8±0.3	15.7±0.3
P-value	-	0.045*	0.038*	0.008**
OMC (%)	27.0±0.5	25.0±0.6	21.0±0.5	19.0±0.4
P-value	-	0.042*	0.024*	0.007**
UCS (KPa)	20.94±2.1	44.64±3.2	154.84±4.5	201.6±5.3
P-value	-	0.033*	0.003**	0.001***
CBR (%)	8.0±0.5	11.0±0.8	16.0±1.2	22.0±1.5
P-value	-	0.029*	0.002**	0.001***
Cc (Compression Index)	0.36±0.02	0.31±0.02	0.30±0.02	0.28±0.01
P-value	-	0.039*	0.035*	0.009**
Free Swell (%)	11.0±0.7	9.0±0.6	6.0±0.5	2.0±0.3
P-value	-	0.035*	0.004**	0.001***

أشارت النتائج إلى أن إضافة 10% و15% من RCA أدت إلى تحسينات ذات دلالة إحصائية عالية (P<0.01) في قيم UCS، CBR، والانتفاخ الحر لمعظم المعايير)

7.4. المحتوى الأمثل من RCA والملاءمة الهندسية

تظهر النتائج التجريبية أن إضافة RCA قد عززت بشكل كبير الأداء الهندسي للتربة الطينية.

جدول 6 المواصفات القياسية السورية لقيم CBR,IP

The values required by Syrian standards	property	Pavement layer
Minimum of 5%	CBR	**subgrade**
Less than 20	IP	
Less than 30%	CBR	**sub base**
Less than 6	IP	
Less than 80%	CBR	**base course**
Less than 4 or NP	IP	

جدول 7 قيم الـCBR وفق الـAASHTO

Rating	CBR Value
Very good	>55
Good	40 - 55
Fair	20 - 35
Poor	6 - 20
Very poor	<6

وفقاً للمواصفات الفنية العامة لأعمال الطرق والجسور الصادرة عن وزارة النقل السورية (Ministry of Transport, 2002)، ونظام تصنيف AASHTO (AASHTO, 1993)، (AASHTO, 2020)، فقد تجاوزت جميع المخاليط المعالجة الحد الأدنى للمعايير السورية لتطبيقات الطبقة تحت الأساسية (CBR>5% , PI<20%) ورغم أن التربة غير المعالجة صنفت كمواد رديئة، إلا أن الخلطات الحاوية على 10% و15% من RCA حصلت على تصنيفات "جيدة إلى متوسطة" حسب AASHTO. من الناحية العملية والاقتصادية يمكن اعتبار نسبة 10% من RCA هي نسبة التثبيت المثالية، ولكن نسبة 15% قدمت الفائدة التقنية الأكبر.

8.4. التقييم الاقتصادي

تم إجراء تقييم اقتصادي شامل لتقييم الجدوى المالية لاستخدام RCA مقارنة بالمثبتات التقليدية (الإسمنت والكلس) اعتمد التحليل على أسعار السوق المحلية في سوريا. تشير النتائج إلى أن استخدام 15% من RCA يقلل من تكاليف المواد بنسبة تتراوح بين 75% مقارنة بالإسمنت و67% مقارنة بالكلس. كما أن نسبة الاستبدال 10% توفر توفيراً يبلغ حوالي 70%و60% على التوالي. يُسلط الضوء على المزايا الرئيسية لتثبيت RCA من خلال خفض التكلفة المباشرة، والكفاءة اللوجستية (التي تقضي على تكاليف الاستيراد)، والتوفير البيئي (تجنب رسوم التخلص من النفايات واستخراج الركام الطبيعي).

جدول8 التحليل الاقتصادي

Stabilizer	Cost per Ton of Treated Soil (USD)	Cost Savings Vs. Cement (%)	Cost Savings Vs. Lime (%)	Remarks
Cement (5%)	10.00$	-	-	High energy consumption, imported partially
Lime (5%)	8.00$	-20%	-	Partially imported, moderate cost
RCA (5%)	6.00$	40%	25%	Requires crushing and transport
RCA (10%)	3.00$	70%	62.5%	Optimal balance of performance and cost
RCA (15%)	2.50$	75%	69%	Highest technical performance

9.4. تباين التربة وآلية التثبيت بين البيئتين السورية والليبية

من الضروري الإشارة إلى أن التباين في طبيعة التربة بين الموقعين (التربة الطينية الانتفاخية في سوريا والتربة الرملية /الكلسية في جنوب ليبيا) يستلزم تعديلاً في توقعات آلية التثبيت باستخدام الركام الخرساني المعاد تدويره (RCA). في التربة الطينية الانتفاخية، تعتمد آلية التثبيت بشكل أساسي على التفاعلات الفيزيائية-الكيميائية، حيث تؤدي أيونات الكالسيوم المنبعثة من الإسمنت المتبقي في RCAإلى إحداث تبادل كاتيوني مما يحد من قابلية الانتفاخ. كما تعمل هذه الأيونات على تعزيز التفاعلات البوزولانية لتكوين مركبات رابطة مثل سيليكات الكالسيوم المائية (C-S-H)، مما يزيد من مقاومة التربة. في المقابل، تُعدّ التربة الرملية والكلسية في أوباري أقل نشاطاً من الناحية الفيزيائية-الكيميائية، نظراً لمحتواها المنخفض من المعادن الطينية النشطة، مما يعني أن آلية التثبيت هناك ستعتمد بدرجة أكبلا على الترابط الميكانيكي الذي توفره الجزيئات الزاويّة الخشنة للركام، وتكوين هيكل حبيبي أكثر كثافة وصلابة، بدلاً من التفاعلات الكيميائية الواسعة. وعليه، من المتوقع أن تظل النتائج الإيجابية للبحث الحالي قابلة لتحقيق في التربة الليبية من حيث التحسن في الكثافة الجافة ومقاومة القص، لكن مع احتمالية الحاجة إلى نسب خلط مختلفة أو إضافات أخرى مثل (الإسمنت أو الكلس) بنسب منخفضة لتعويض غياب النشاط الطيني وتعزيز الترابط بين الحبيبات.

5.الاستنتاجات والتوصيات الخاصة بليبيا

1.5. الاستنتاجات

قيمت هذه الدراسة جدوى استخدام الركام الخرساني المعاد تدويره (RCA) من مخلفات الزلازل كمثبت مستدام للتربة الطينية الانتفاخية، بناء على دراسة مخبرية لحالة أجريت في سوريا. أظهرت النتائج أن استخدام RCA تعزز الأداء الجيوتكنيكي بشكل كبير، مع ملاحظة أقصى تحسن عند محتوى 15% من RCA وتحديداً زادت نسبة تحمل كاليفورنيا CBR من 8% إلى 22%، كما ازدادت مقاومة الانضغاط غير المحصورUCS من KPa20.94 إلى 201.6KPa، وانخفض النتفاخ الحر من 11% إلى 2%. وقد استوفت الخلطات المعدلة متطلبات السورية كما حققت تصنيفاً جيداً وفق الـAASHTO علاوة على ذلك أكد التحليل الاقتصادي أن استخدام RCA يمكن أن يقلل من التكاليف بنسبة تتراوح بين 50و75% مقارنة بالمثبتات التقليدية مثل الإسمنت والكلس. تؤكد هذه النتائج الفعالية الكبيرة لإعادة تدوير مخلفات الهدم المحلية في تثبيت التربة، مما يدعم مبادئ الاقتصاد الدائري وتطوير البنية التحتية المستدامة في مناطق ما بعد الكوارث وما بعد الصراع.

2.5. توصيات لجنوب ليبيا (منطقة أوباري)

1. بناء على النتائج التقنية والاقتصادية التي توصلت لها هذه الدراسة المرجعية السورية، تقترح التوصيات التالية لتطبيق هذه التقنية المستدامة في جنوب ليبيا:
2. يوصى بأن تتبنى وزارة النقل الليبية والسلطات المختصة في أوباري تشريعات وطنية تلزم باستخدام الـRCA في مشاريع الطرق والبنية التحتية ذات الأحمال المنخفضة، وتقديم حوافز ضريبية أو تخفيض

رسوم التصاريح للشركات التي تستخدم مخلفات الهدم المحلية في أنشطتها الإنشائية.

3. توطين وحدات معالجة الـRCA للتخفيف بشكل كبير من تكاليف النقل المرتفعة من المناطق الساحلية وذلك عبر إنشاء وحدات تكسير وغربلة محلية متنقلة في منطقة أوباري. ويمكن لهذه الوحدات معالجة مخلفات الخرسانة الموجودة من مشاريع إعادة البناء المحلية مباشرة في المواقع مما يحول نفايات الإنشاء إلى مورد اقتصادي قيم.
4. استخدمت هذه الدراسة التربة الانتفاخية السورية بينما تربة أوباري رملية أو كلسية لذلك من الضروري جداً إجراء اختبارات على التربة المحلية وتمويل مراكز أبحاث تجريبية في جنوب ليبيا لإجراء اختبارات مماثلة على التربة الصحراوية المحلية المخلوطة مع RCA المتوافر محلياً باستخدام 10% و15% كنقطة انطلاق لتحسين التربة.
5. تعاون الجامعات والمعاهد التقنية الليبية مع خبراء الجيوتكنيك في سورية والتعاون في مجال معالجة الـRCA وتحضير الخلطات والاختبارات المعيارية بشكل يضمن استدامة هذا الحل على المدى الطويل في البلدين.
6. تركيز الأبحاث المستقبلية في ليبيا على التحقق الميداني والديمومة الطويلة للترب المعالجة بالـRCA تحت الظروف البيئية الصحراوية القاسية (تباين درجات الحرارة ودورات الجفاف).

6.المراجع

Abdul, M. N. (2022). *The combined stabilizing effect of brick and construction-demolition waste utilization on the properties of silty clay soil* [Unpublished Doctoral dissertation]. University of Baghdad, 2022.

Al-Baidhani, A. F., & Al-Taie, A. J. (2020). Recycled Crushed Ceramic Rubble for Improving Highly Expansive Soil. *Transportation Infrastructure Geotechnology*, *7*, (3), 426–444. https://doi.org/10.1007/s40515-020-00120-z

Alnmr, A., & Ray, R. P. (2023). Investigating the Impact of Varying Sand Content on the Physical Characteristics of Expansive Clay Soils from Syria. *Geotechnical and Geological Engineering*, *41* (8), 4321-4338. https://doi.org/10.1007/s10706-023-02698-w

American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993) *AASHTO guide for design of pavement structures.* AASHTO.

American Association of State Highway and Transportation Officials. (2020). *Standard specification for classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes* (AASHTO M 145-91). AASHTO.

Arulrajah, A., Disfani, M. M., Horpibulsuk, S., Suksiripattanapong, C., & Prongmanee, N. (2014). Physical properties and shear strength responses of recycled construction and demolition materials in unbound pavement base/subbase applications", *Construction and Building Materials*, *58*, 245–257. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.025

Arulrajah, A., Disfani, M. M., Maghoolpilehrood, F., Horpibulsuk, S., Udonchai, A., Imteaz, M., & Du, Y.-J. (2015). Engineering and environmental properties of foamed recycled glass as a lightweight engineering material. *Journal of Cleaner Production*,*94*, 369–375. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.080

Bamonte, P., & Gambarova, P.G.(2016). High-Temperature Behavior of SCC in Compression: Comparative Study on Recent Experimental Campaigns. *Journal of Materials in Civil Engineering*, *288, (3), Article 04015159. https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001439

Brew, G., Barazangi, M., Al-Maleh, A. K., & Sawaf, T. (2001). Tectonic and geologic evolution of Syria. *GeoArabia*, *6*(4).

Hashem, A. S., & Shaban, A. M. (2024). Sustainable Use of Recycled Concrete Aggregate for Soil Improvement. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, *1374*(1), Article 012028. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1374/1/012028

Kianimehr, M., Shourijeh, P. T., Binesh, S. M., Mohammadinia, A., & Arulrajah, A. (2019). Utilization of recycled concrete aggregates for light-stabilization of clay soils. *Construction and Building Materials*, *227*, Article 116792. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116792

Ma, Q., Hu, Z., Hu, Z., & Li, J. (2022). Strength characteristics and micro-scale mechanism of high liquid limit clay treated by recycled construction and demolition wastes (CDW) aggregate. *Construction and Building Materials*. *332*, Article 127367. http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127367

Ministry of Transport, Syrian Arab Repuplic. (2002). *General technical specifications for road and bridge works: Part III, granular material layers*. Ministry of Transport.

Mohammed, S., Abdo, H. G., Szabo, S., Pham, Q. B., Holb, I. J., Linh, N. T. T., Anh, D. T., Alsafadi, K., Mokhtar, A., Kbibo, I., Ibrahim, J., & Rodrigo-Comino, J. (2020). Estimating Human Impacts on Soil Erosion Considering Different Hillslope Inclinations and Land Uses in the Coastal Region of Syria. *Water*, *12*(10), Article 2786. https://doi.org/10.3390/w12102786

Ojotisa, V. T., & Ibrahim, S. (2024). Utilization of Recycled Concrete Sand in Soil Stabilization. *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 124, pp.124–133). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-97-1781-1_11

Osouli, A., Chaulagai, R., Tutumluer, E., & Shoup, H. (2019). Strength characteristics of crushed gravel and limestone aggregates with up to 12% plastic fines evaluated for pavement base/subbase applications. *Transportation Geotechnics*, *18*, 25–38. https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2018.10.004

Saeed, S. B., & Rashed, K. A. (2020). Evaluating the Uses of Concrete Demolishing Waste in improving the Geotechnical Properties of Expansive Soil. *Journal of Engineering*, *26*(7), 158–174. https://doi.org/10.31026/j.eng.2020.07.11

Shamsi Sosahab,J., Ardakani,A. & Hassanlourad,M.(2023). Resilient response and strength of highly expansive clay subgrade stabilized with recycled concrete aggregate and granulated blast furnace slag. *Construction and Building Materials*, *408*, Article 133816. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133816

Shamsi Susahab, J., Ardakani, A., & Hassanlourad, M. (2024). Strength improvement of clay subgrade soil stabilised with recycled concrete aggregate and granulated blast furnace slag. *Road Materials and Pavement Design*, *25*,(11), 1–16. https://doi.org/10.1080/14680629.2024.2335191

Soleimani-Fard, H., König, D., & Goudarzy, M. (2021). Plane strain shear strength of unsaturated fiber-reinforced

Construction Engineering and Technology, *14*(4),392-405. https://doi.org/10.30880/ijscet.2023.14.04.033

Wang, A., Yang, J., Duan, W., Pu, S., Chen, L., Li, X., Zhang, H., Lu, Y., & Niu, Q. (2024). Reinforcement of soft clay using industrial residue-based soil stabilizer and recycled fine aggregate: A comprehensive investigation. *Construction and Building Materials*, *436, Article 136958. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136958

Wang, X., Dong, Q., Hu, J., Liu, P., Li, Z., Chen, Y., & Xu, G. (2024). Experimental Study on Mechanical Properties of Recycled Aggregate Mixed Soil. *Materials*, *17*,(18), Article 4448. https://doi.org/10.3390/ma17184448

Zaharieva, R., Evlogiev, D., Kerenchev, N., & Stanimirova, T. (2022). Modification of Quaternary Clays Using Recycled Fines from Construction and Demolition Waste. *Processes*, *10*,(6), Article 1062. https://doi.org/10.3390/pr10061062

الشكر والتقدير

يتقدم المؤلفون بالشكر الجزيل للدكتور عهد خزام رئيس الجامعة الوطنية الخاصة على دعمه وتشجيعه المستمر في مجال البحث العلمي.

السيرة الذاتية

داليا أولاد حاصلة على درجة البكالوريوس في هندسة المواصلات والنقل من جامعة حمص، سوريا. ونالت درجة الماجستير في هندسة المواصلات والنقل من جامعة اللاذقية، اللاذقية، سوريا. ثم أكملت دراسة الدكتوراه في هندسة المواصلات والنقل في جامعة حمص، حمص، سوريا. وهي حاليًا مدرس متفرغ في كلية الهندسة المدنية بالجامعة الوطنية الخاصة، حماه، سوريا. تشمل اهتماماتها البحثية كل ما يختص بالنقل والمواصلات ومنشآت النقل والمرور، والتفاعل بين الإنسان والتربة ومواد البناء وآليات النقل والبيئة المستدامة ومواد البناء الإنشائية والطرقية، وتوظيف كل ما سبق لهندسة نقل تضمن: نقل مثالي آمن صديق للبيئة وبتكلفة أقل.

مجد المحمود حاصلة على درجة البكالوريوس في الهندسة الجيوتكنيكية من جامعة حمص، سوريا. ونات درجة الماجستير في الهندسة الجيوتكنيكية من جامعة دمشق، سوريا. ثم أكملت دراسة الدكتوراه في الهندسة الجيوتكنيكية في جامعة حمص، سوريا. وهي حاليًا مدرس متفرغ في كلية الهندسة المدنية بالجامعة الوطنية الخاصة بحماه، سوريا. تشمل اهتماماتها البحثية ميكانيك التربة والصخور، هندسة الأساسات، توظيف الذكاء الصناعي في فهم سلوك التربة

.

fine-grained soils. *Acta Geotechnica*,*17*, 2385-2403. https://doi.org/10.1007/s11440-021-01197-7

Soltani, A., Taheri, A., Deng, A., & O'Kelly, B. C. (2020). Improved Geotechnical Behavior of an Expansive Soil Amended with Tire-Derived Aggregates Having Different Gradations. *Minerals*, *10*(10), Article 923. https://doi.org/10.3390/min10100923

Sosahab, J. S., & Ardakani, A. (2025). The Effects of Recycled Concrete Aggregate Wastes on Mechanical Strength Properties of High Plasticity Clay to Use in Road Construction. *International Journal of Pavement Research and Technology*, *18*(3), 1-15. https://doi.org/10.1007/s42947-025-00513-8

Suksan, A., & Horpibulsuk, S. (2022). Evaluation of cement stabilized recycled asphalt pavement/lateritic soil blends for soft soil improvement. *Rock and Soil Mechanics*, *43*(12), 3305–3315. https://doi.org/10.16285/j.rsm.2022.00111

Tabassum, T., Rahman, R., & Bheemasetti, T. V. (2022). Thermal-mechanical properties of stabilized clayey sand subgrade soils. *Transportation Geotechnics*, *37* Article 100880. https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2022.100880

Tabatabaie Shourijeh, P., Masoudi Rad, A., Heydari Bahman Bigloo, F., & Binesh, S. M. (2022). Application of recycled concrete aggregates for stabilization of clay reinforced with recycled tire polymer fibers and glass fibers. *Construction and Building Materials*, *355*, Article 129172. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129172

Ujile, M. C., & Abbey, S. J. (2022). The use of fine portions from construction and demolition waste for expansive soil stabilization: A review. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, *16*,(7), 803–816. https://doi.org/10.1007/s11709-022-0835-z

United Nations Satellite Centre (UNOSAT) (2023). *Preliminary comprehensive damage analysis report for the Maras/Antep earthquake in the Syrian Arab Republic*. https://unosat.org/static/unosat_filesytem/3534/UNOSAT_Preliminary_Comprehensive_DA_Report_March2023_EQ20230206SYR.pdf

Verma, A., & Sharma, R. K. (2023). Improving Characteristics of Clayey Soil Using Basalt Fibre, Construction and Demolition Waste and Calcium Carbide". *International Journal of Sustainable*