

## Study and evaluation of the effect of adding different dosages of furnace slag on the shear resistance of backfill soil (Al-Hashoum)

Mahmoud shanina<sup>1</sup>, Mohammed Elkhair<sup>2,\*</sup>, Abeer Al-Suwaih<sup>3</sup>, Mabrouka Al-Darwish<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup> Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Misrata University, Misrata, Libya

<sup>2</sup> Department of Civil Engineering, Colleg of Engineering Technology, Houn, Libya

\*Email: [Mohammed.elker.1991@gmail.com](mailto:Mohammed.elker.1991@gmail.com)

## دراسة وتقييم مدى تأثير إضافة نسب مختلفة من خبث الافران على مقاومة تربة الردم (الهشوم) للقص

محمود شنينة<sup>1</sup>، محمد الخير<sup>2\*</sup>، عيبر السويح<sup>3</sup>، مبروكة الدرويش<sup>4</sup>  
<sup>1,3,4</sup> قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة مصراته، مصراته، ليبيا  
<sup>2</sup> قسم الهندسة المدنية، كلية التقنية الهندسية، هون، ليبيا

Received: 28-01-2026	Accepted: 26-03-2026	Published: 05-04-2026
		
<p>Copyright: © 2026 by the authors. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>).</p>		

### Abstract

The study site was chosen due to the importance of the sand dunes, also known as "hashoum," extending along the Libyan coast adjacent to the seashore. This soil is widely used in backfilling operations. This study focused on determining the extent to which the hashoum soil found in the Qasr Ahmed area of Misrata could be improved by using varying proportions of iron and steel furnace slag. The study comprised two phases. The first phase involved conducting laboratory tests to identify the properties of the backfill soil (hashoum), including soil type, specific gravity, field density, natural water content, and other characteristics. The soil was then classified Based on the liquid and plastic limits and sieve analysis according to (AASHTO M145 and M57) standards, the soil was classified as fine sandy soil (A-3) and, according to the USCS standard, as poorly graded sandy soil (SP). The second stage involved identifying the mechanical properties. A direct shear test was conducted on a range of different percentages (0%, 2%, 4%, 6%, 8%) to determine the shear strength of the crushed soil with added slag. The results showed that the cohesion coefficient between soil particles increased with increasing slag content. This is attributed to the fact that slag increases cohesion strength, as evidenced by its addition to cement.

**Keywords:** Hashoum soil, Shear resistance, Direct shear, Furnace slag, Soil improvement.

### المخلص

تم اختيار موقع الدراسة نظر لأهمية الكتيبان الرملية أو ما يعرف (بالهشوم) الممتدة على طول الساحل الليبي المحاذي لشاطئ البحر، وذلك لاستخدام هذه التربة بشكل واسع في عمليات الردم، فقد أهتمت هذه الدراسة بمعرفة مدى تحسين تربة الهشوم الموجودة في منطقة قصر أحمد مصراثة بنسب مختلفة من خبث أفران الحديد والصلب، وقد اشتملت هذه الدراسة على مرحلتين، المرحلة الأولى عبارة عن اجراء اختبارات معملية لتعرف على خواص تربة الردم (الهشوم) من نوع التربة ووزنها النوعي وكتافتها الحقلية ومحتواها المائي الطبيعي وغيرها، وتم تصنيف التربة اعتمادا على حدى السيولة واللدونة والتحليل المنخلي وفقا للمواصفة رقم AASHTO, M145, M57 على انها تربة رملية ناعمة (A-3) وبالنظام موحد (USCS) أنها تربة رملية فقيرة التدرج (SP)، أما المرحلة الثانية كانت بالتعرف على الخواص الميكانيكية حيث تم إجراء اختبار القص المباشر على مجموعة من نسب مختلفة (0%، 2%، 4%، 6%، 8%) لمعرفة مقاومة القص لتربة الهشوم مضافة نسب خبث وأظهرت النتائج أن قيمة معامل التماسك يزداد بين حبيبات التربة كلما زادت نسبة الخبث ويرجع ذلك أن الخبث يزيد من قوة تماسك دليل على ذلك إضافته للأسمنت.

**الكلمات المفتاحية:** تربة الهشوم، مقاومة القص، القص المباشر، خبث الافران، تحسين التربة.

### المقدمة:

من المعروف ان التربة لفظ يطلق على الحبيبات المترakمة مختلفة الاحجام الغير مرتبطة ببعضها او ضعيفة الارتباط وتعرف بانها تجمع من الترسبات المفككة التي تنتج من تأثير عوامل التجوية على الصخور.

[1]

وتختلف التربة أو الصخور عن أغلب مواد البناء الهندسية الأخرى في كونها مادة ذات خصائص غير ثابتة ولا تخضع لنظريات أو قوانين مثل تلك التي تطبق على مواد الإنشاء المختلفة مثل الخشب والحديد والبلاستيك والخرسانة... إلخ وهي مواد يسهل معرفة خواصها مسبقا، وبذلك فإن التربة يلزم للتعرف على خواصها استخلاص عينات منها ثم إجراء مختلف أنواع التجارب عليها طبقا لما يتطلبه التصميم.

[2]

قبل تنفيذ أي عمل هندسي قد تجري بعض الأعمال الهندسية لتجهيز الموقع للتأسيس لهذا العمل، فمثلا قد يتطلب الأمر زيادة قدرة التحمل بزيادة الاحتكاك  $\phi$ ، والتماسك C والكثافة لها، كذلك قد يتطلب الأمر تخفيض قيمة الهبوط المحتمل بتقليل نسبة الفراغات وزيادة الكثافة ومقاومة القص وأحيانا تكون الطبقة السطحية من تربة الموقع غير صالحة للتأسيس ويجب إزالتها والإحلال مكانها بتربة أفضل، وتربة الإحلال لها إجراءات لتنفيذها مثل الخلط والدمك. [3]

تختص هذه الورقة بدراسة مدى تحسين تربة الهشوم (الردم) بإضافة نسب مختلفة من خبث أفران الحديد والصلب، لمقاومة القص باستخدام جهاز القص المباشر (Direct shear test) حيث تم في الدراسات السابقة تصنيف ومعرفة خصائص تربة الهشوم من قبل طلبة الكلية في مشاريع السابقة، تم اجراء بعض الاختبارات على هذه التربة بهدف تصنيفها والتعرف على خصائصها، وتم اجراء هذه الاختبارات في معمل التربة بكلية الهندسة وقد تم التعرف على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لتربة الهشوم، ونتيجة لتعرض التربة لأحمال المنشآت يحدث للتربة تشكلات أو إزاحات بجميع أنواعها ولا يسبب هذا التشكل أي مشاكل للمنشأ، والاجهاد المقاومة لهذا التشكل المؤثر على حبيبات أو كتلة التربة ويعرف هذا الاجهاد بأجهد القص للتربة (shear strength of soil) ولذلك تعتبر مقاومة القص أحد الخواص الميكانيكية المهمة للتربة.

### اهداف الدراسة

1. دراسة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لتربة الهشوم.

2. تحديد مدى تحسين مقاومة القصر لترربة الهشوم بإضافة خبث الافران.
3. تحديد نسبة الرماد المتطاير التي تعطي أفضل مقاومة للقصر.

### الغرض من الدراسة

تعتبر دراسة تأثير إضافة خبث الافران الي التربة من المواضيع المهمة في مجال الهندسة الجيوتقنية حيث تساهم في فهم كيفية تحسين خصائص التربة وذلك لما هذا الموضوع من أهمية كبيرة في مجالات البناء والبيئة وكذلك توفير مرجع مناسب حول منطقة قصر أحمد، ومساعدة الطلاب في تكوين فكرة عامة حول طبيعة التربة لمكونة للمنطقة.

### موقع الدراسة

موقع تربة الهشوم المأخوذة من منطقة قصر أحمد مصراتة في دراسة سابقة لأحد طلبة مشاريع التخرج في كلية الهندسة تم اجراء اختبارات معملية وحقلية مختلفة على عينات من أماكن متفرقة لتربة الهشوم الممتدة على طول ساحل مدينة مصراتة وقد أثبتت نتائج الاختبارات بأن خواص تربة الهشوم هي نفسها تقريبا في جميع المناطق المختبرة. وفي هذا البحث تم إجراء اختبار القصر المباشر على تربة الهشوم بإضافة نسب مختلفة من خبث أفران مصنع الحديد والصلب.



الشكل 1. موقع عينة تربة الهشوم بمدينة مصراتة.

### خبث أفران للانصهار

- يعتبر الخبث من المنتجات الثانوية في إنتاج الحديد الخام ولكنه يمتلك خصائص هيدروليكية كامنة وعند إضافة بعض المواد مثل مادة [الجير، أو مادة قلووية] يمكن أن تتطور الخصائص الهيدروليكية حيث قام العالم Sher wood في عام 1993 في تفصيل الخبث في ثلاث أشكال واعتمد على نظام التبريد. [4]
1. الخبث الحبيبي (Granulated Slag) : يتم تبريده بسرعة كبيرة (بالماء) لإنتاج حبيبات زجاجية ذات نشاط هيدروليكي عالٍ، تستخدم كبديل للأسمت. [4]
  2. الخبث المبرد بالهواء (Air-cooled Slag) : يتم تبريده ببطء في الهواء، مما يجعله متبلوراً، ويستخدم كركام للخرسانة. [4]

3. الخبث المتمدد (Expanded Slag) : يتم تبريده بكمية محدودة من الماء لإنتاج خبث خفيف الوزن ومسامي، يستخدم كركام خفيف. [4]  
وفي مشروعنا هذا قمنا بأخذ عينة من الخبث من مصنع الحديد والصلب وكانت من ضمن تصنيف النوع الأول الخبث المبرد بالهواء، حيث يتم تبريد الخبث الساخن بعد مغادرة فرن الصهر ببطء في الهواء الطلق مما ينتج عنه تبلور الخبث إلى زلط.



الشكل 2. عينة خبث افران الحديد والصلب.

#### الاختبارات المعملية

تم اجراء الاختبارات على هذه التربة بهدف تصنيفها والتعرف على خصائصها الطبيعية والميكانيكية، حيث أجريت كل هذه الاختبارات في معمل التربة بكلية الهندسة مصراتة، وهذه الاختبارات هي:

1. اختبار المحتوى المائي ( $w_c$ ) (ASTM D2216-10 Water content) [5]
2. اختبار الوزن النوعي ( $G_s$ ) (ASTM D854-14 Specific Gravity) [6]
3. اختبار التدرج الحبيبي (ASTM D422-63 Sieve Analysis) [7]
4. اختبار حد السيولة (LL) (ASTM D4318-17 Liquid limit) [8]
5. اختبار حد اللدونة (PL) (ASTM D43128-17 Plastic limit) [9]
6. اختبار الانكماش الطولي (BS 1377 Pt2 Linear shrinkage) [8]
7. اختبار بروكتر المعدل للدمك (BS 1377-4 Modified proctor compaction) [10]
8. اختبار تحديد الكثافة الحقلية ( $\gamma_f$ ) (ASTM D1556\D1556M-15el- field Density) [11]
9. اختبار القص المباشر (ASTM D3080\D3080 M-11 Direct shear) [12]

#### اختبار المحتوى المائي الطبيعي للتربة

الهدف من الاختبار تحديد المحتوى المائي لعينات التربة في المعمل باستخدام الفرن العادي، وبالتسخين عند درجة حرارة  $110 \pm 5$  درجة مئوية من خلال النتائج المتحصل عليها عند اجراء الاختبار لعينات التربة كما موضح بالجدول (1)

## جدول 1. يبين بيانات ونتائج اختبار المحتوى المائي لترتبة الهشوم

رقم الاختبار	1	2	3	4	5
المحتوى المائي $\omega_c$ (%)	0.286	0.283	0.212	0.130	0.074

$$\omega_c = \frac{0.286 + 0.283 + 0.212 + 0.130 + 0.074}{5} = 0.197\%$$

اختبار الوزن النوعي باستخدام البيكنوميتر المائي الغرض من هذا الاختبار هو تحديد الوزن النوعي للأجزاء الصلبة من التربة حيث تم إجراء الاختبار لعينة من التربة الرملية (الهشوم) والتي يقل قطرها عن فتحة المنخل رقم 4 (4.75 مم) كما موضح بالجدول (2)، (3).

## جدول 2. معايرة دورق الاختبار (البكنوميتر)

البند	الرمز	الوحدة	القيمة
كتلة البكنوميتر جاف	$M_p$	G	166.2
كتلة البكنوميتر والماء	$M_1$	G	662.6
درجة الحرارة	$T_0$	$^{\circ}C$	25.5
الكثافة النسبية للماء عند $T_0$	$P_0$	-	0.9969463

## جدول 3. يبين بيانات ونتائج اختبار الوزن النوعي لترتبة الهشوم

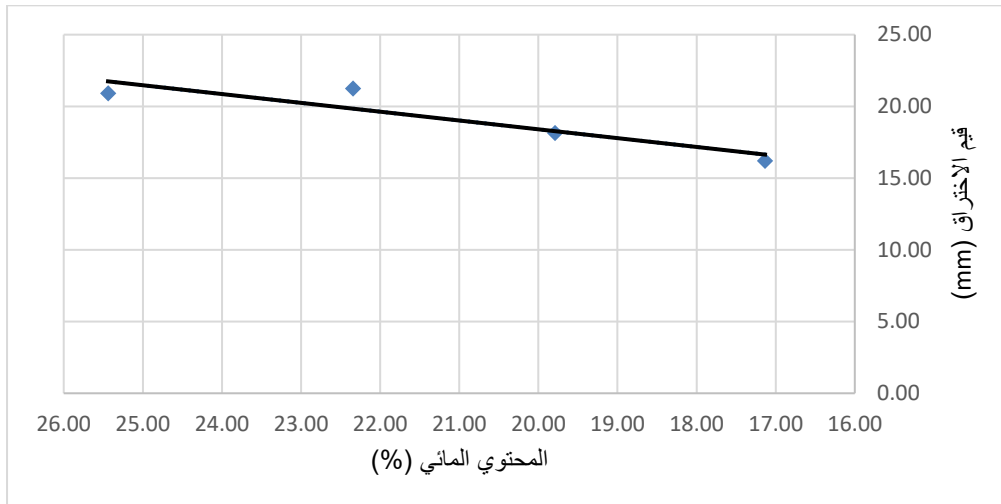
البند	الرمز	الوحدة	تجربة 1	تجربة 2
درجة الحرارة	T	$^{\circ}C$	25	25
الكثافة النسبية للماء عند T	$\rho_t$	-	0.9970770	0.9970770
كتلة البكنوميتر والماء عند T	$M_{1t}$	G	662.5	662.5
كتلة البكنوميتر والماء والتربة عند T	$M_{2t}$	G	726	725
كتلة التربة جافة	$M_s$	G	100	100
معامل التصحيح	K	-	0.9989	0.9989
الوزن النوعي	$G_s$	-	2.73	2.66

## حدود اتربرج للتربة

حدود اتربرج هي الحدود الفاصلة بين حالات التربة الصلبة واللينة والسائلة، ويستخدم هذا الاختبار لتحديد حدود التماسك للتربة الناعمة وهي حد السيولة وحد اللدونة وحد الانكماش، وبعد تحديد هذه الحدود يتم إيجاد دليل اللدونة للتربة والذي يساعد على معرفة تصرف التربة، وكذلك في معرفة ما إذا كانت التربة انهياريه ام انتفاخيه. [1]

تم إجراء اختبارات حدود اتربرج للتربة وتم الحصول على النتائج التالية :

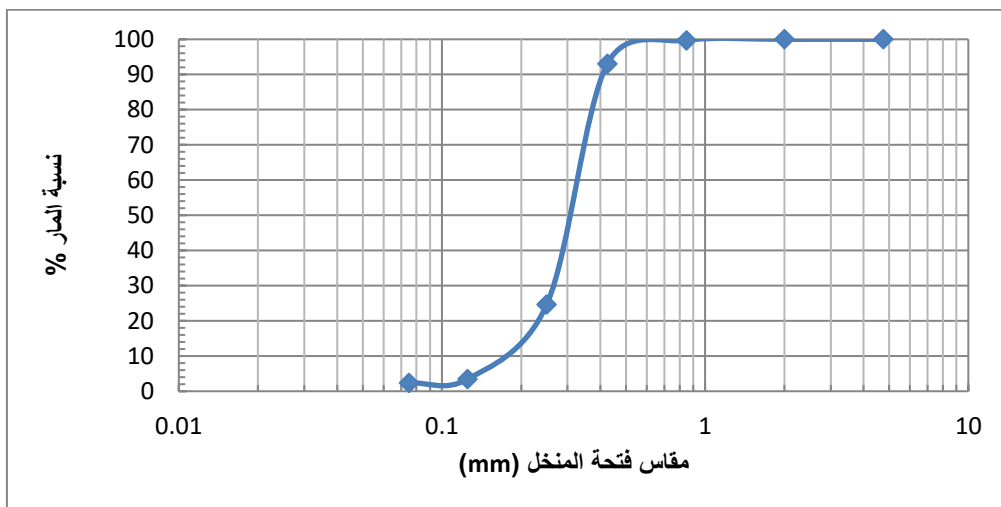
- تم إجراء اختبار مخروط الاختراق لعينة من هذه التربة وجد ان حد السيولة للتربة يساوي 22.5 % والشكل (3) يبين منحنى حد السيولة لعينة التربة.
- بإجراء اختباري حد اللدونة وحد الانكماش وجد ان هذه التربة عديمة اللدونة والانكماش.



الشكل 3. يبين منحنى حد السيولة للعينة

#### اختبار التحليل المنخلي

تكمن أهمية معرفة التدرج في أن التدرج الحبيبي للتربة هو المفتاح الأول والأساسي لتصنيف التربة حيث تقسم التربة لأشكال مختلفة بحسب مقاسات الحبيبات التي تحتويها التربة ويساعد منحنى التدرج الحبيبي للتربة في تحديد نسب المواد المكونة للتربة. [2] كما مبين في الشكل (4).



الشكل 4. يبين اختبار التحليل المنخلي.

• معامل الانتظام  $C_u = 1.8$

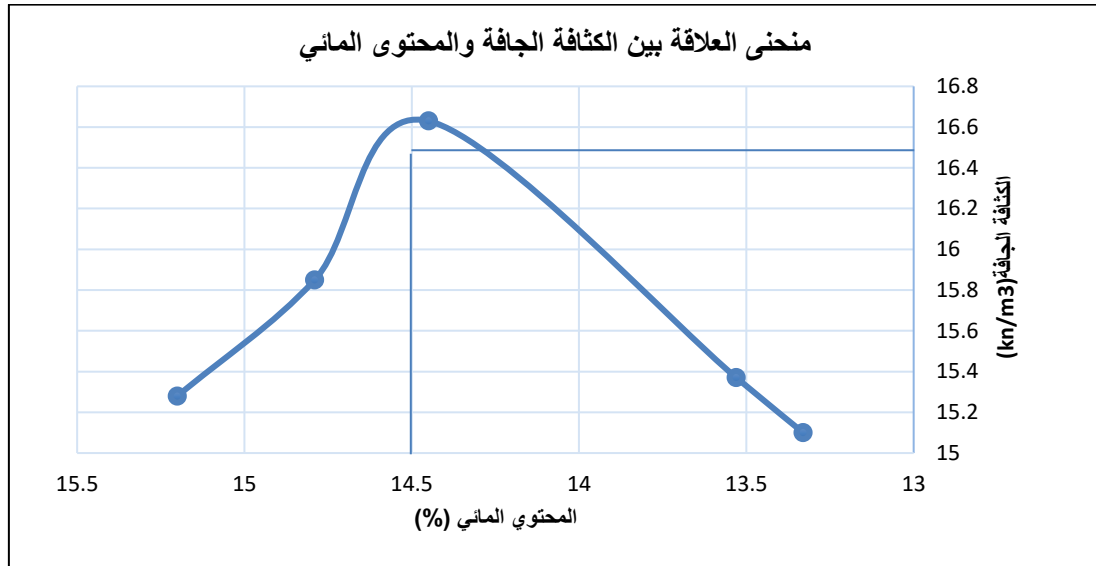
• معامل التفرع  $C_c = 1.3$

#### اختبار بروكتر المعدل للدمك

الهدف من هذا الاختبار إيجاد أقصى كثافة جافة للتربة معملياً، والشكل (5) بين هذه العلاقة التي يمكن منها تحديد المحتوى المائي الأمثل والكثافة الجافة القصوى للتربة كما هو موضح بالجدول (4)

جدول 4. يبين نتيجة اختبار بروكتر المعدل

المحتوى المائي الأمثل	الكثافة القصوى (KN/M3)
14.50%	16.6



الشكل 5. يبين اختبار بروكتر المعدل

#### الكثافة الحقلية للتربة

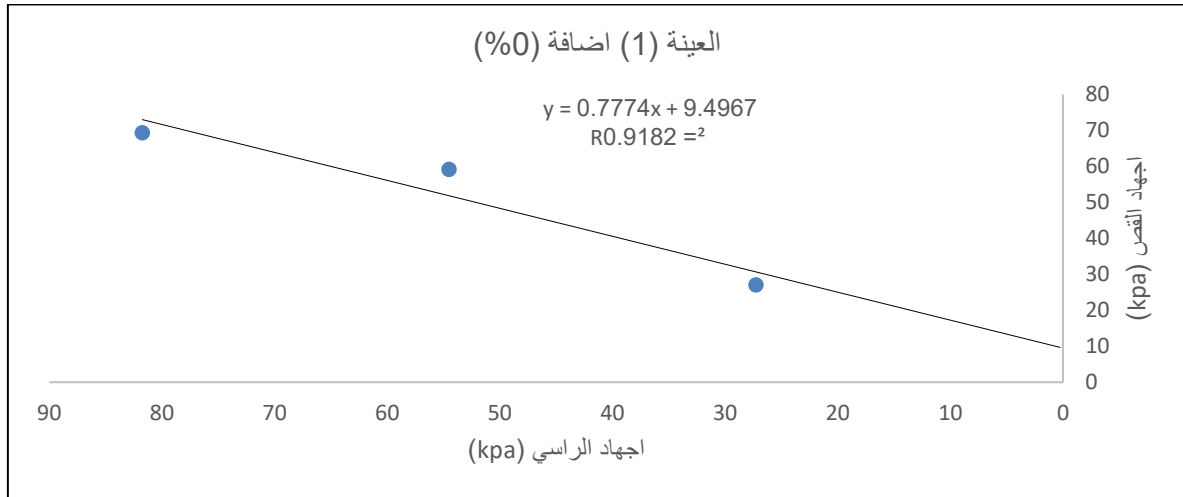
يهدف هذا الاختبار لتحديد كثافة ووزان التربة الحقلية، حيث تم اجراء لعينه تربة الهشوم بدون اجراء عملية دمك لها والجدول (5) يبين النتائج المتحصل عليها.

جدول 5. يبين نتائج اختبار الكثافة الحقلية

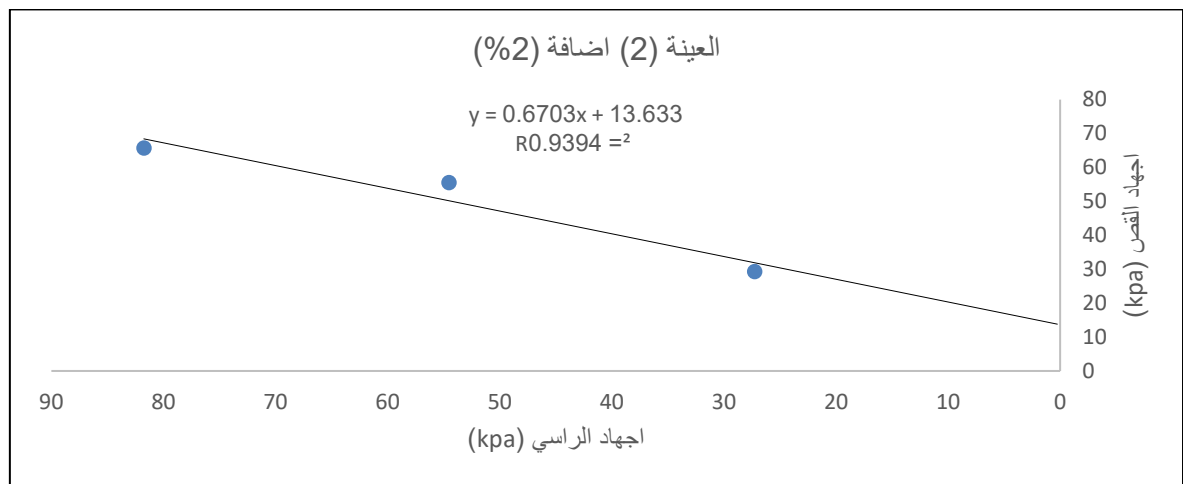
الكثافة الجافة	Mg/m <sup>3</sup>	$\gamma_d$	نسبة الدمك	التعليق
1.792	1.820		98.21	جيدة
		R.C	99.72	جيدة
		-	-	جيدة

#### اختبار القص المباشر

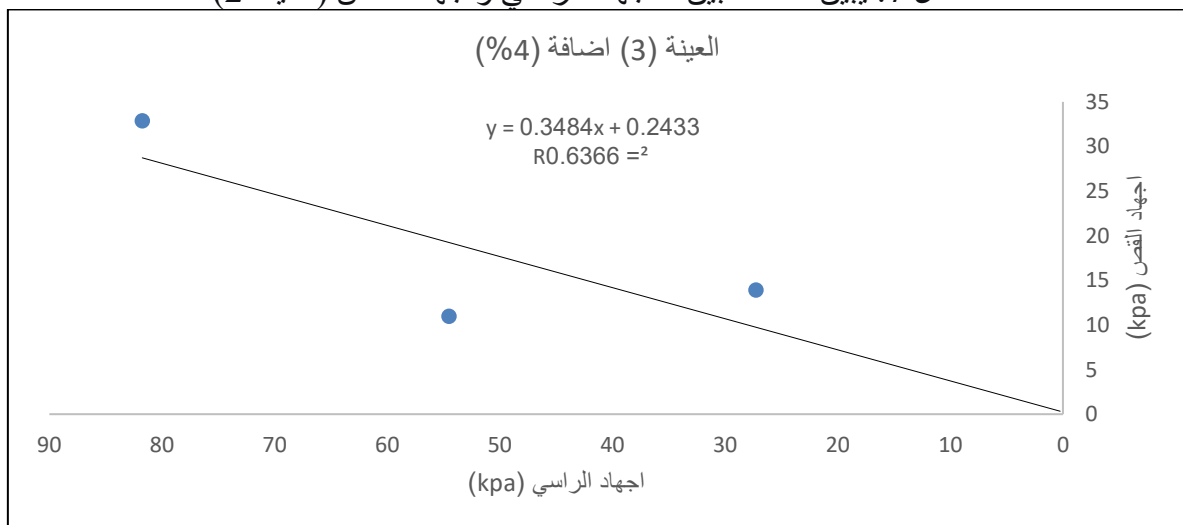
تجرى تجربة القص المباشر بتحديد قيمة الاجهاد الأقصى للقص (Ultimate Shear Stress) المقابل لإجهاد عمودي على مستوى القص (Forced Shear PI) والمحدد مسبقا. وفي هذه التجربة يمكن رسم العلاقة بين اجهاد القص والاجهاد العمودي، ومن هذه العلاقة يمكن حساب او استنتاج زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة ومعامل تماسكها. [1] تم في هذا الاختبار دراسة مدي تأثير خبث الافران على معاملات القص لتربة الهشوم وذلك باختبار مجموعة من العينات ذوات نسب مختلفة من خبث الافران لكل عينة عند كثافة جافة ثابتة ومحتوي المائي ثابت أيضا باستخدام طريقة القص السريع (Quick Test). الاشكال (6,7,8,9,10) تبين خط معادلة كولومب لكل عينة.



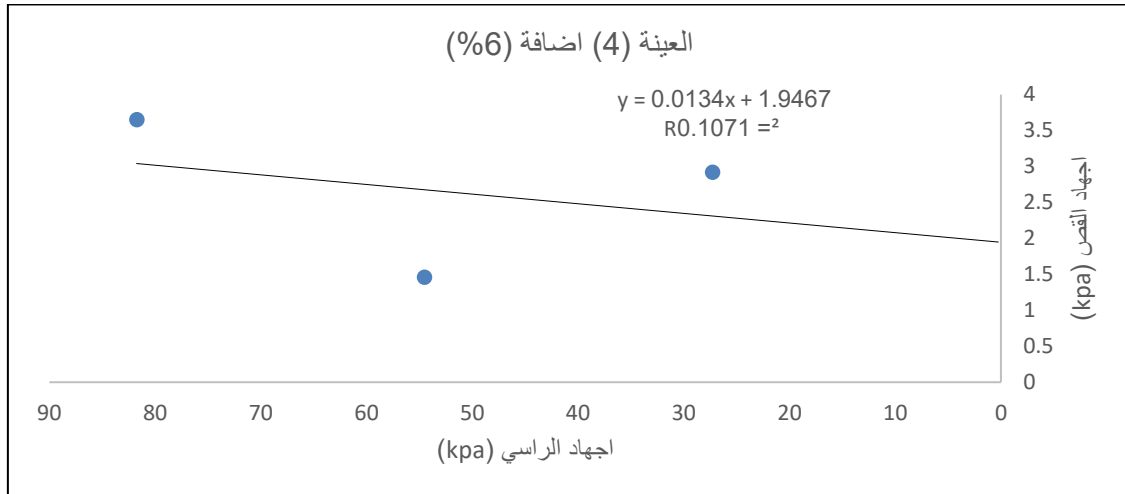
الشكل 6. يبين العلاقة بين الاجهاد الراسي واجهاد القص (للعينة 1)



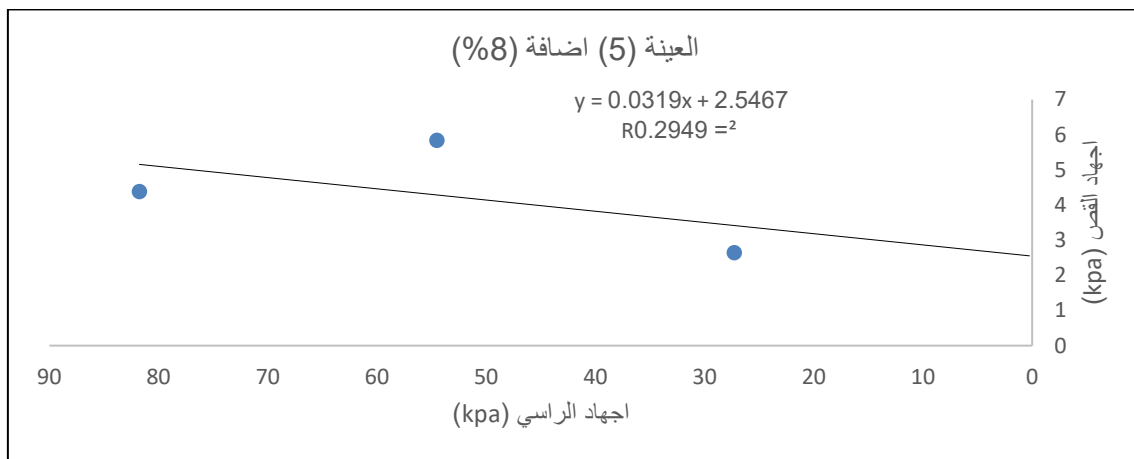
الشكل 7. يبين العلاقة بين الاجهاد الراسي واجهاد القص (للعينة 2)



الشكل 8. يبين العلاقة بين الاجهاد الراسي واجهاد القص (للعينة 3)



الشكل 9. يبين العلاقة بين الاجهاد الراسي واجهاد القص (للعينة 4).



الشكل 10. يبين العلاقة بين الاجهاد الراسي واجهاد القص (للعينة 5).

### النتائج والمناقشة

النتائج المتحصل عليها لتربة الهشوم.

### جدول 6. الخواص الفيزيائية لتربة الهشوم

النتائج	الاختبار
0.197 %	المحتوى المائي
2.7	الوزن النوعي
% 22.5	حد السيولة
-	حد اللدونة
-	حد الانكماش
OMC = 14.5% $\gamma$ (max) = 16.6 KN/m <sup>3</sup>	بروكتور للدمك المعدل
R.C = 98.96	نسبة الدمك

## نسب مكونات التربة

سيتم حساب نسب مكونات التربة الأساسية (حصى - رمل - طين - طمي) حسب التصنيف العالمي الموحد وتصنيف الأشتو لعينة التربة ويمكن تحديد نسب مكونات عينات التربة حسب التصنيف الموحد وتصنيف الأشتو كما هو موضح بالجدول (7)

جدول 7. يبين نسب مكونات التربة حسب النظام الموحد والأشتو

عينة التربة	نسبة المار من المناخل (%)		نسب مكونات التربة (%)	
	4	200	حصى	طين-طمي
هشوم	100	0.64	0	99.36

تبين النتائج أن العينات المختبرة لا تحتوي على حصى، وأنه توجد مواد ناعمة بنسبة ضئيلة، والنسبة الأكبر تتكون من الرمل.

## تصنيف التربة

تصنيف التربة حسب النظام الموحد

جدول 8. يبين تصنيف التربة حسب النظام الموحد

التصنيف	حد اللدونة (%)	حد السيولة (%)	CC	CU	نسبة المار من المناخل (%)		العينة
					200	4	
SP	-	-	1.401	1.5	0.64	100	هشوم

تصنيف التربة حسب نظام الأشتو

جدول 9. يبين تصنيف التربة حسب نظام الأشتو

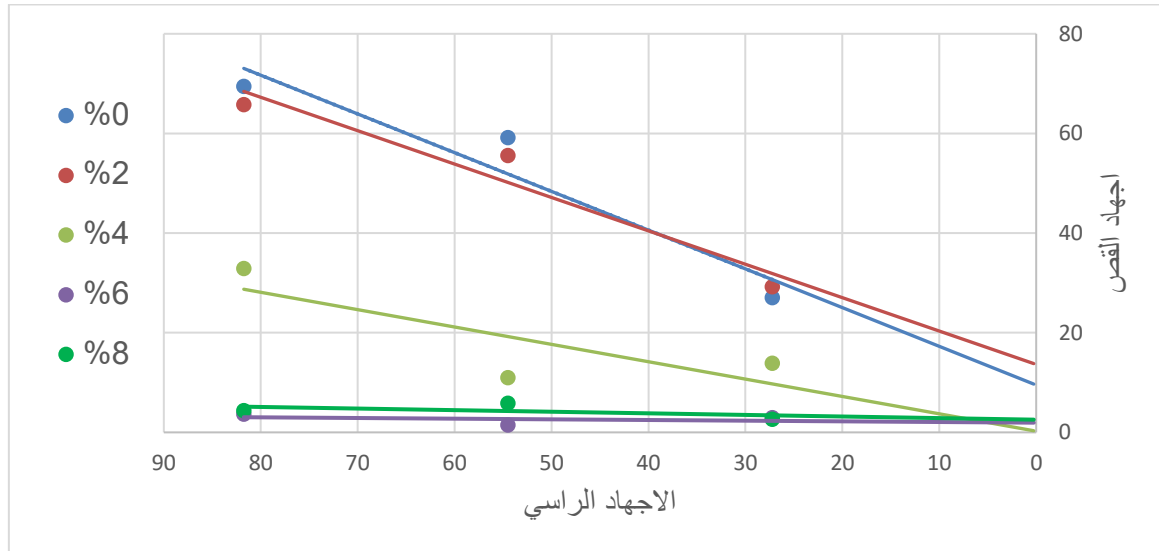
التصنيف	حد اللدونة (%)	حد السيولة (%)	نسبة المار من المناخل (%)			العينة
			200	40	10	
A-3	-	-	0.64	82.66	100	هشوم

يتضح من النتائج المتحصل عليها أعلاه ان عينة التربة صنفت حسب نظام تصنيف الأشتو على أنها تربة رملية غير لدنة (A-3).

## مقاومة القص للتربة

تم حساب معاملات القص للعينات التي تم اختبارها ذوات نسب مختلفة من خبث الافران وذلك من خلال معادلة كولومب بإيجاد زاوية ميل الخط المستقيم والجزء المقطوع من المحور العمودي لكل عينة كما هو موضح بالشكل (11).

والجدول (10) يوضح النتائج المتحصل عليها.



الشكل 11. يوضح العلاقة بين الاجهاد الراسي واجهاد القص لجميع العينات

جدول 10. يبين تصنيف التربة حسب نظام الاشتو

معامل التماسك C	زاوية الاحتكاك $\phi$	معادلة كولومب $\tau = \sigma \tan \phi + C$	نسبة الاضافة	رقم العينة
9.4967	$37.86^\circ$	$\tau = 0.7774\sigma + 9.4967$	%0	1
13.633	$33.83^\circ$	$\tau = 0.6703\sigma + 13.633$	%2	2
0.2433	$19.21^\circ$	$\tau = 0.3484\sigma + 0.2433$	%4	3
1.9467	$0.768^\circ$	$\tau = 0.0134\sigma + 1.9467$	%6	4
2.5467	$1.83^\circ$	$\tau = 0.0319\sigma + 2.5467$	%8	5

#### الاستنتاجات

1. متوسط نسب مكونات التربة حسب النظام الموحد ونظام الأشتو لهذه التربة "تربة الهشوم" هي %0 حصى و%99.36 رمل و%0.64 طين وطيني وهذا يبين لنا أن غالبية مكونات التربة رمل.
2. صنفت التربة حسب نظام التصنيف العالمي الموحد على أنها تربة رملية فقيرة التدرج (SP).
3. صنفت التربة حسب نظام الأشتو على أنها تربة رملية ناعمة غير لدنة (A-3) هناك توافق بين تصنيف التربة حسب النظامين الموحد والأشتو.
4. بينت نتائج اختبار المحتوى المائي الطبيعي للتربة أن المحتوى المائي الطبيعي لهذه التربة (%0.197).
5. بينت نتائج اختبار الوزن النوعي أن الوزن النوعي لهذه التربة (2.7).
6. بينت نتائج ان حد السيولة لهذه التربة حوالي %22.5 وأن هذه التربة عديمة اللدونة والانكماش.
7. بينت نتائج اختبار بروكتور المعدل للدمك أن الكثافة الجافة القصوى تساوي (16.6 kN/m<sup>3</sup>) والمحتوي المائي الأمثل يساوي %14.5.
8. بينت نتائج اختبار الكثافة الحقلية أن الكثافة الجافة لهذه التربة (1.806 g/Cm<sup>3</sup>) واختبار نسبة الدمك بمعامل دمك (% R.C=98.965).
9. بينت نتائج اختبارات القص المباشر أن كل ما زادت نسبة الخبث في تربة الهشوم قلت زاوية الاحتكاك وقلت قيمة معامل التماسك.

## التوصيات

1. اجراء اختبارات أخرى لمقاومة القص للتربة مثل اختبار ثلاثي المحاور.
2. اجراء اختبارات تحديد نسبة الاملاح والاس الهيدروجيني لهذه التربة.
3. تحسين هذا النوع من التربة وذلك بإضافة بعض المحسنات لها لزيادة مقاومتها للقص.
4. زيادة عدد العينات لاختبارات تحديد المحتوى المائي والوزن النوعي والتحليل المنخلى وحدود أتربرج ليتم وصف وتصنيف التربة بشكل أوفي.
5. دراسة مدى تأثير الحرارة على الخبث المضاف.

## المراجع

1. الشريف محمد عبد العزيز، أساسيات في ميكانيكا التربة والأساسات، الطبعة الأولى، القاهرة: دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، 2007.
2. محمد أحمد عاشور، ميكانيكا التربة، الطبعة الأولى، القاهرة: دار العلوم للنشر والتوزيع، 2006.
3. السيد عبد الفتاح القصيبي، هندسة تقنية التربة (ميكانيكا التربة)، الطبعة الرابعة، القاهرة: دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، 2010.
4. S. R. Rao, "Waste Management Series," Metallurgical Slags, Dust and Fumes, vol. 7, no. 8, pp. 269–327, 2006, doi: 10.1016/S0713-2743(06)80093-0.
5. ASTM D2216 – 10, Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.
6. ASTM D854 – 14, Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.
7. ASTM D422 - 63(1998), Standard Test Method for Particle- Size Analysis of Soils.
8. BS 1377-2:1990, Methods of test for soils for civil engineering purposes. Classification tests.
9. ASTM D4318 – 17, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
10. BS 1377-4:1990, Methods of test for soils for civil engineering purposes. Compaction-related tests.
11. ASTM D1556 / D1556M - 15e1, Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by Sand-Cone Method.
12. ASTM D3080 / D3080M – 11, Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.
13. Mansour E bailila, Khaled Ehwaitat, Nori Ateig, & Ashraf Milad. (2025). The effect of lime, GGBS, and Metakaolin on sulfate soil stabilization . Journal of Libyan Academy Bani Walid, 1(4), 09–19. <https://doi.org/10.61952/jlabw.v1i4.232>

**Compliance with ethical standards***Disclosure of conflict of interest*

The authors declare that they have no conflict of interest.

**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 JLABW and/or the editor(s). JLABW 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.