University of Zawia Journal of Engineering Sciences and Technology (UZJEST)
Volume 3, Issue 2, (2025), pp 182-190, ISSN 3006-2764

Influence of Polyvinyl Chloride (PVC) Waste Addition on the Shear Parameters of Sandy Soil

Jamal Alsharef*[1], Salah Hamuda[1], Maryam Gaber[2] Amna Mater[1], Rehab Algeade[1]

[1] Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Tripoli University, Tripoli, Libya,

[2] Libyan Authority for Scientific Research, Benghazi, Libya,

*Corresponding author email: jamalshref@gmail

Received: 16-07-2025 | Accepted: 04-11-2025 | Available online: 15-12-2025 | DOI:10.26629/uzjest.2025.15

ABSTRACT

This research paper aims to analyze the impact of adding polyvinyl chloride (PVC) waste on the engineering properties of sandy soil, focusing on improving weak soil and exploring beneficial applications for plastic waste. Laboratory tests were conducted on sandy soil samples mixed with varying percentages of PVC waste, specifically 0%, 0.25%, 0.5%, 1%, 2%, and 4% by weight. The tests included sieve analysis, specific gravity determination, standard Proctor compaction test, and direct shear test. These tests were designed to evaluate the effect of PVC addition on grain size distribution, density, compaction characteristics, and shear parameters of the soil. The results demonstrated an improvement in soil properties with the addition of specific PVC percentages. An increase in maximum dry density and enhanced compaction characteristics were observed within the range of 1% to 2% PVC. Direct shear tests also revealed an increase in the angle of internal friction and cohesion within this range. However, exceeding 2% PVC content led to a deterioration in some soil properties, indicating the existence of an optimal addition ratio, determined to be approximately 1.5% of the dry soil weight. This study provides new insights into using PVC waste for soil improvement, contributing to the resolution of weak soil issues in construction areas while offering an innovative solution for recycling plastic waste.

Keywords: Sandy soil, soil improvement, internal friction angle, Soil cohesion of PVC waste (PVCW)

تأثير إضافة مخلفات مادة الـ (PVC) على معاملات القص للتربة الرملية

جمال الشريف[1] ، صلاح حمودة [1]، مريم جابر[2]، آمنة عبد السلام مطر [1] ، رحاب محمد الجعيدي[1]

[1] قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة طرابلس، طرابلس، ليبيا

[2] الهيئة الوطنية للبحث العلمي، بنغازي، ليبيا

ملخـــــص البحـــــث

تهدف هذه الورقة البحثية إلى تحليل تأثير إضافة مخلفات البولي فينيل كلورايد **(PVC)** على معاملات القص للتربة الرملية، مع التركيز على تحسين التربة الضعيفة وإيجاد استخدامات مفيدة للمخلفات البلاستيكية. تم إجراء اختبارات معملية على عينات تربة رملية مخلوطة بنسب مختلفة من مخلفات الـ **PVC** وهي (0%، 0.25%، 0.5%، 1%، 2%، 4%). شملت التحليل المنخلي، الوزن النوعي، اختبار الدمك (بروكتور القياسي) واختبار القص المباشر. هدفت هذه الاختبارات إلى تقييم تأثير إضافة **PVC** على توزيع حجم الحبيبات، الكثافة، خصائص الدمك، ومعاملات القص للتربة. أظهرت النتائج تحسناً

"Articles published in *Univ Zawia J Eng Sci Technol* are licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License."

في خواص التربة عند إضافة نسب محددة من **PVC**، حيث لوحظت زيادة في الكثافة الجافة القصوى وتحسناً في خصائص الدمك عند نسب تتراوح بين 1% و 2%. كما أظهرت اختبارات القص المباشر زيادة في زاوية الاحتكاك الداخلي والتماسك ضمن هذا النطاق. ومع ذلك، أدت زيادة نسبة **PVC** عن 2% إلى تدهور بعض خواص التربة، مما يشير إلى وجود نسبة مثلى للإضافة، تم تحديدها بحوالي 1.5% من وزن التربة الجافة. توفر الدراسة رؤى جديدة حول استخدام مخلفات **PVC** في تحسين التربة، حيث تساهم في حل مشكلة التربة الضعيفة في مناطق البناء، مع تقديم حل مبتكر لإعادة تدوير المخلفات البلاستيكية.

الكلمات الدالة: التربة الرملية، تحسين التربة، زاوية الاحتكاك الداخلي، التماسك، مخلفات الـ (PVC (PVCW.

1. لمقدمـة:

تُعد التربة من العناصر الأساسية التي يعتمد عليها المهندسون المدنيون في تصميم وإنشاء المنشآت، حيث تلعب دورًا حيويًا في نقل الأحمال وضمان استقرارها. ومع تزايد التوسع العمراني، تواجه العديد من المناطق مشكلة تدهور خصائص التربة، خصوصًا التربة الرملية الضعيفة. في المقابل، يُعتبر التخلص من النفايات البلاستيكية، وخاصة مخلفات مادة البولي فينيل كلورايد (PVC)، تحديًا بيئيًا عالميًا يفرض ضرورة البحث عن حلول مبتكرة. وتسعى هذه الدراسة إلى استكشاف إمكانية استخدام الـ PVCW أو PVC Waste كإضافة لتحسين الخصائص الهندسية للتربة الرملية .

من مشاكل التربة بشكل عام أن التربة الضعيفة تشكل تحديًا رئيسيًا في المشاريع الإنشائية، حيث تؤثر خصائصها الفيزيائية والميكانيكية سلبًا على استقرار المنشآت. تُعاني التربة الرملية تحديدًا من ضعف التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلي، ما يؤدي إلى هبوط غير متكافئ وتشققات في الهياكل، خاصةً عندما تكون في حالة سائبة (Loose) على أعماق ضحلة حوالي 1.5 متر. أشارت دراسات سابقة إلى أن التكاليف الناتجة عن إصلاح الأضرار الناجمة عن تربة الأساس تتجاوز تكاليف الدراسات الجيوتقنية الأولية، مما يبرز الحاجة إلى تقييم دقيق للتربة قبل الإنشاء [1].

ولتحسين خواص التربة الضعيفة، تم تطوير تقنيات متعددة تعتمد على الإضافات الكيميائية أو الميكانيكية. تشير دراسات سابقة إلى أن إضافة مخلفات البوليمر قد زادت من ليونة منحنيات الإجهاد الأقصى للتربة الرملية، مما يشير إلى تحسن في الخصائص الميكانيكية، وأن إضافة المواد البوليمرية مثل البولي إيثيلين تيرفثالات (PET) بنسبة 0.75% يزيد زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة الرملية من 45.6° إلى 48.6°، ويُعزز التماسك من 31 إلى 41 كيلونيوتن/م² [2]. إن إضافة مواد من نفايات البلاستيك قد تؤثر إيجابيًا على الخصائص الجيوتقنية للتربة، فأدى إضافة ألياف البولي بروبيلين (PP) إلى تحسين قوة الانضغاط غير المحصورة للتربة الطينية بنسبة 76.4% [3].

في السياق ذاته، ثبت أن إضافة مخلفات الـ (PVC) بنسبة 1% تقلل نفاذية التربة بنسبة 99%، مما يجعلها مناسبة للاستخدام في طبقات العزل [4]. تشمل التقنيات الأخرى التثبيت بالجير، والدمك، والتعزيز بالنسيج الجيوتقني، حيث سجلت نسب مثل 10% جير مع 2% ألياف تحسينًا بنسبة 185% في مقاومة التربة الطينية [5]. تُظهر هذه النتائج أن اختيار الطريقة الأمثل يعتمد على نوع التربة والهدف الإنشائي، مع إمكانية دمج الحلول البيئية عبر إعادة تدوير المخلفات البلاستيكية. تستند هذه الدراسة إلى فرضية أن استخدام PVCW يمكن أن يقدم حلاً مزدوجًا يحسن خصائص التربة الضعيفة ويعزز جهود إدارة النفايات البلاستيكية من خلال إجراء مجموعة من الاختبارات، وتهدف إلى تقييم تأثير إضافة نسب من PVCW على الخواص الهندسية للتربة الرملية وتحديد النسبة المثلى لتحقيق أفضل النتائج.

نستعرض في هذه الورقة أهمية هذا البحث في تعزيز فهمنا لكيفية تحسين خصائص التربة الضعيفة واستغلال المخلفات البلاستيكية، مما يسهم في توفير حلول مستدامة لمشاكل البناء وإدارة النفايات. تم اضافة مخلفات الـ PVC الى تربة رملية بنسب مختلفة من وهي (0%، 0.25%، 0.5%، 1%، 2%، 4%). لتقييم تأثير إضافة PVC على الخواص الهندسة للتربة. إن نتائج هذه الدراسة قد تفتح آفاقًا جديدة في هذه المجالات، مما يعزز الفوائد البيئية والاقتصادية عند التطبيق الصحيح لهذه التقنية.

2. الجانب العملي والمنهجية:

1.2 التربة: أخذت عينات التربة من موقع في مدينة طرابلس وهي تربة رملية كما موضح في شكل 1. كذلك يبين الشكل (2) حالة التربة قبل المعالجة.

شكل 1. موقع استخراج العينة من منطقة سوق الجمعة

تم إجراء الاختبارات المعملية لمعرفة الخواص الهندسية للتربة محل الدراسة، ويعرض جدول 1 ملخص الخواص الهندسية للتربة.

جدول 1. الخواص الهندسية للتربة

الشكل	تتكون بشكل رئيسي من حبيبات رملية
الحجم	ذات قطر بين 0.15 ~ 2 ملم
الوزن النوعي G_s	2.614
المار من منخل 200	%7.82
القابلية للتماسك	منخفضة
زاوية الاحتكاك	32.22 درجة
OMCالمحتوى المائي الأمثل	12% حسب اختبار الدمك
القابلية للانضغاط	منخفضة
التأثر بالمياه الجوفية	سهلة التأثر

2.2 **المضاف PVCW:** وهي مخلفات مواد مصنوعة من مادة الـ PVC، كما موضح في شكل 3، وتم الحصول عليها من مصنع محلي لإنتاج منتجات الـ PVC، ويعرض جدول 2 ملخص الخواص الفيزيائية لـ PVC.

جدول 2. الخواص الفيزيائية للـ (PVC) حسب معايير ASTM لاختبارات المواد

الاسم الكيميائي العلمي	**الكلوريد البولي فينيلي (PolyVinyl Chloride)**
الصيغة الجزيئية الكيميائية	$(C_2H_3Cl)n$: حيث (C) ذرة كربون، (H) ذرة هيدروجين، (Cl) ذرة كلور)
الشكل	مخلفات مقطعة إلى قطع صغيرة
الكثافة	تتراوح بين 1.3 ~ 1.5 جم/سم^3
درجة الانصهار	بين 80 ~ 150 درجة مئوية
مقاومة الحرارة	تتحمل درجات حرارة عالية بدون أن تتأثر
مقاومة الصدأ	مقاومة تمامًا للصدأ ولا تتأثر بالمواد الكيميائية الغير مؤكسدة
المرونة	صلابتها أقل من البلاستيك الصلب ولكنه قابل للطي واللين
مقاومة الرطوبة	لا يتأثر بالمياه أو الرطوبة المرتفعة
اللون :	أبيض مائل للشفافية
مقاومة الأشعة فوق البنفسجية	لا تتأثر بأشعة الشمس

شكل 2. عينة التربة قبل الإضافات

شكل 3. عينة الـPVCW

3. النتائج والمناقشة / أو الاستنتاجات

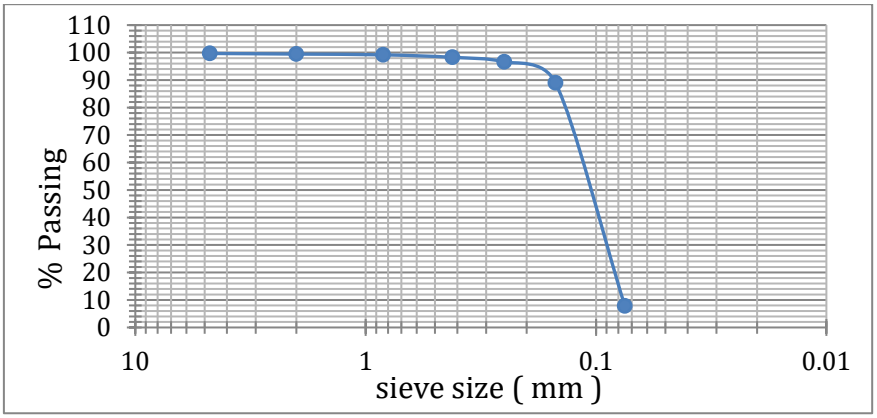
1.3 إعداد العينات :

تم إعداد ست مجموعات من العينات بنسب وزنية مختلفة من الـ PVCW:

(عينة التحكم 0%، 0.25%، 0.5%، 1%، 2%، 4%) من الـ PVCW.

2.3 الاختبارات المعملية والنتائج:

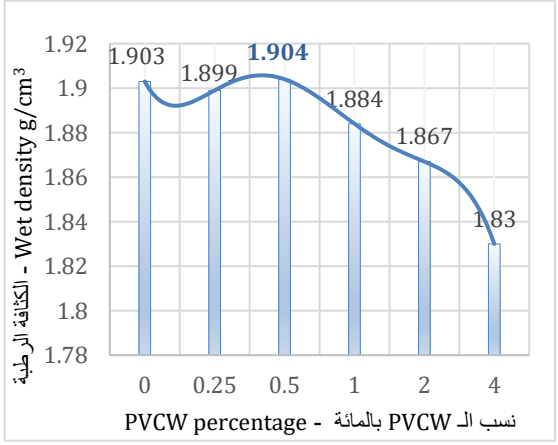
أ. التحليل المنخلي: تم إجراء التحليل المنخلي وفقاً للمعيار (ASTM– D6913) لتحديد توزيع حجم الحبيبات للتربة الأصلية والتربة المعالجة، ومن نتائج الاختبار تشكل منحنى التدرج الحبيبي للتربة كما في الـ شكل 4 ومن خلاله يمكن وصف توزيع حبيبات التربة بأنها تحتوي على حبيبات متقاربة الحجم وهذا النوع يسمى بالتربة ضعيفة التدرج SP (poorly graded sand) حسب التصنيف الموحد.



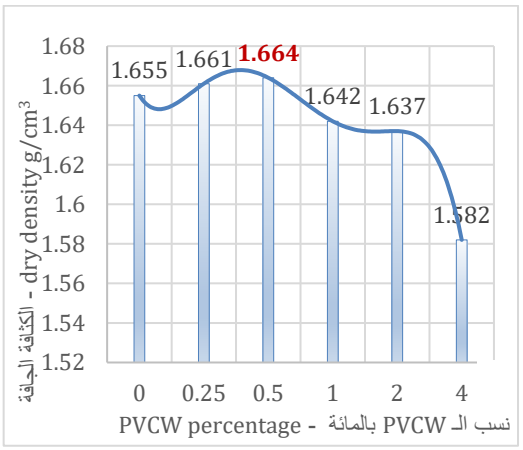
شكل 4. منحنى التدرج الحبيبي للتربة

ب. اختبار الوزن النوعي: تم إجراء اختبار الوزن النوعي وفقاً للمعيار (ASTM D 854-00) لتحديد الوزن النوعي للتربة الأصلية والتربة المعالجة، تم إجراء الاختبار على عينتين لضمان دقة النتائج، وكانت قيمة الوزن النوعي للعينة الأولى 2.604 والثانية 2.632، مما يدل على تجانس خواص التربة، وكان الوزن النوعي المتوسط للعينتين هو 2.618 وبعد التصحيح أصبح 2.614، أما نسبة الفرق بين أكبر وأصغر قيمة للوزن النوعي فلم تتعدى الحد المسموح 1.02، ويمكن اعتبار الوزن النوعي 2.614 كقيمة تمثيلية للتربة الرملية محل الدراسة.

ج. اختبار الدمك (بروكتور القياسي): تم إجراء اختبار الدمك وفقاً للمعيار (ASTM 1557) لتحديد العلاقة بين محتوى الرطوبة والكثافة الجافة للتربة الأصلية والتربة المعالجة، وقد تشكلت منحنيات تمثل الكثافة الرطبة والجافة لجميع العينات بجميع نسب إضافة الـ PVCW. ومن خلال مقارنة نسب الكثافة الرطبة لجميع النسب كما موضح في شكل 5، حيث تبين أن العينة رقم 3 التي تضمنت إضافة 0.5% من مادة PVCW سجلت أعلى قيمة للكثافة الرطبة، وقد بلغت أقصى قيمة 1.904 جم/سم^3 عند نسبة رطوبة 18%. ومن خلال مقارنة نسب الكثافة الجافة لجميع النسب كما موضح في شكل 6 لوحظ أن العينة رقم 3 التي تضمنت إضافة 0.5% من مادة PVCW سجلت أعلى قيمة للكثافة الجافة، وقد بلغت أقصى قيمة 1.664 جم/سم^3. ومن ذلك نخلص إلى أن إضافة PVCW أدت إلى زيادة قيم الكثافة الرطبة والجافة للتربة، وأن أفضل نسبة إضافة هي 0.5% حيث سجلت أعلى قيم للكثافة الجافة، بينما النسبة 0.25% كانت قيمتها قريبة من قيمة العينة الغير معالجة، بينما كانت النسب 1% و 2% ذات نتائج متوسطة.

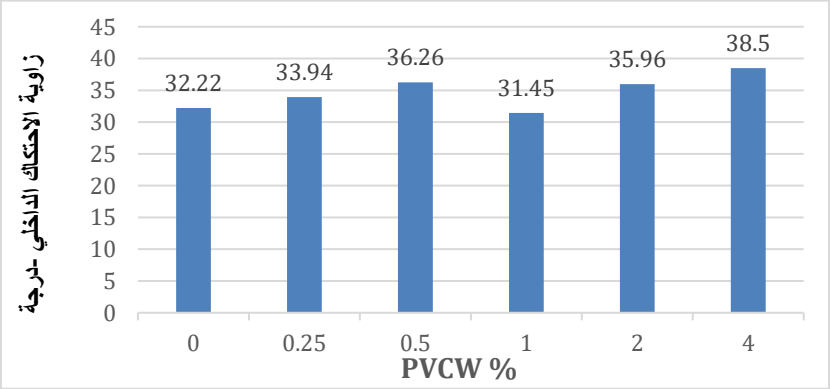


شكل 5. العلاقة بين قيم اقصى كثافة رطبة ونسب الـ PVCW المضافة



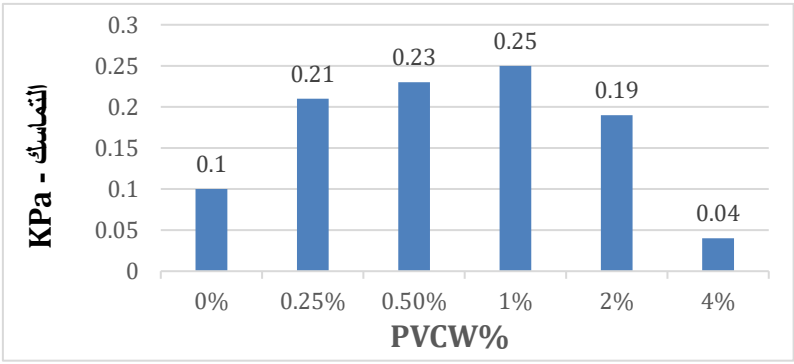
شكل 6. العلاقة بين قيم اقصى كثافة جافة ونسب الـ PVCW المضافة

د. اختبار القص المباشر: تم إجراء اختبار القص المباشر وفقاً للمعيار (ASTM D3080-03) لتحديد معاملات القص (زاوية الاحتكاك الداخلي والتماسك) للتربة الأصلية والتربة المعالجة، وكما هو موضح في شكل 7، فقد لوحظ تحسن عام في زاوية الاحتكاك الداخلي مع زيادة نسبةPVCW من 0.5% إلى 4%، وكانت النسبة 4% أفضل من حيث زاوية الاحتكاك، حيث وصلت قيمة زاوية الاحتكاك إلى 38.50° درجة عند هذه النسبة بزيادة حوالي 19% عن التربة غير المعالجة، تليها في الترتيب نسبة 0.5% من PVCW , حيث كانت قيمة زاوية الاحتكاك 36.26° درجة بزيادة حوالي 13% عن التربة غير المعالجة.



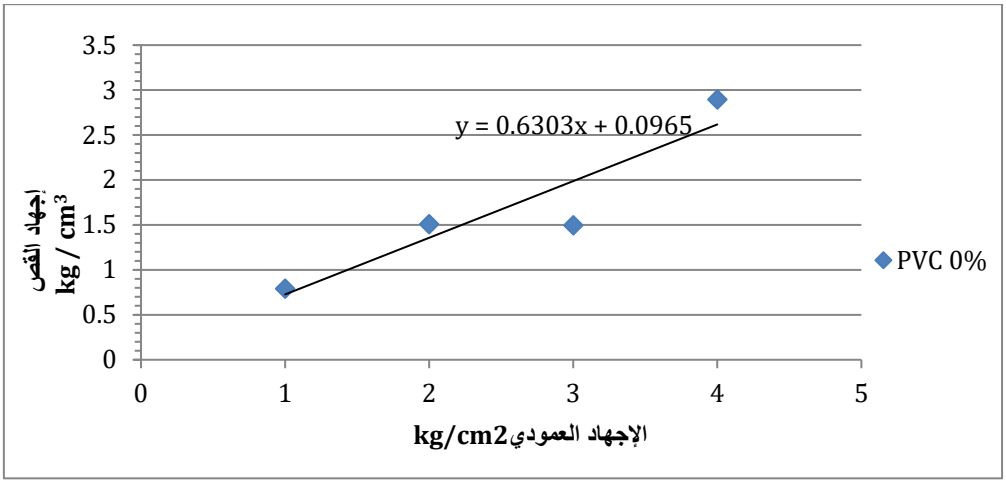
شكل 7. مخطط لمقارنة نسب PVCW المضافة إلى عينات التربة على زاوية الاحتكاك الداخلي

أما تماسك التربة وكما هو موضح في شكل 8، فنسبة 1% من PVCW تبدو هي النسبة الأمثل لتحقيق أفضل قيمة للتماسك، حيث وصلت قيمة التماسك إلى 0.25 kPa عند هذه النسبة بزيادة 150% عن التربة غير المعالجة، تليها في الترتيب نسبة 0.5% من PVCW، حيث كانت قيمة التماسك 0.23 kPa بزيادة 130%.



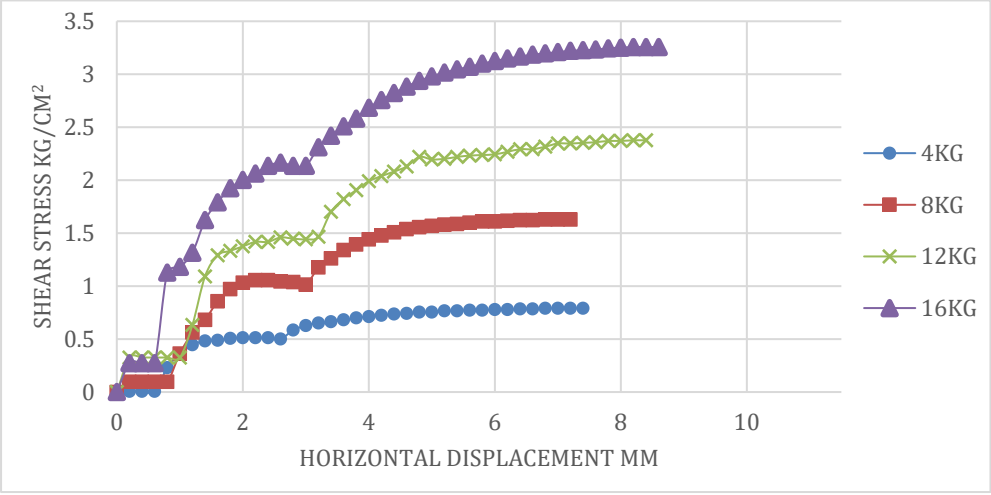
شكل 8. مخطط لمقارنة نسب PVCW المضافة إلى عينات التربة على قيم التماسك

العلاقة بين الإجهاد العمودي وإجهاد القص وكما موضح في شكل 9، بدا واضحاً أن النقاط تقع بشكل جيد على خط مستقيم، ويمكن من ميل الخط حساب زاوية الاحتكاك الداخلي وتقدير قيمة التماسك من تقاطع المنحنى مع محور إجهاد القص عند الإجهاد العمودي.



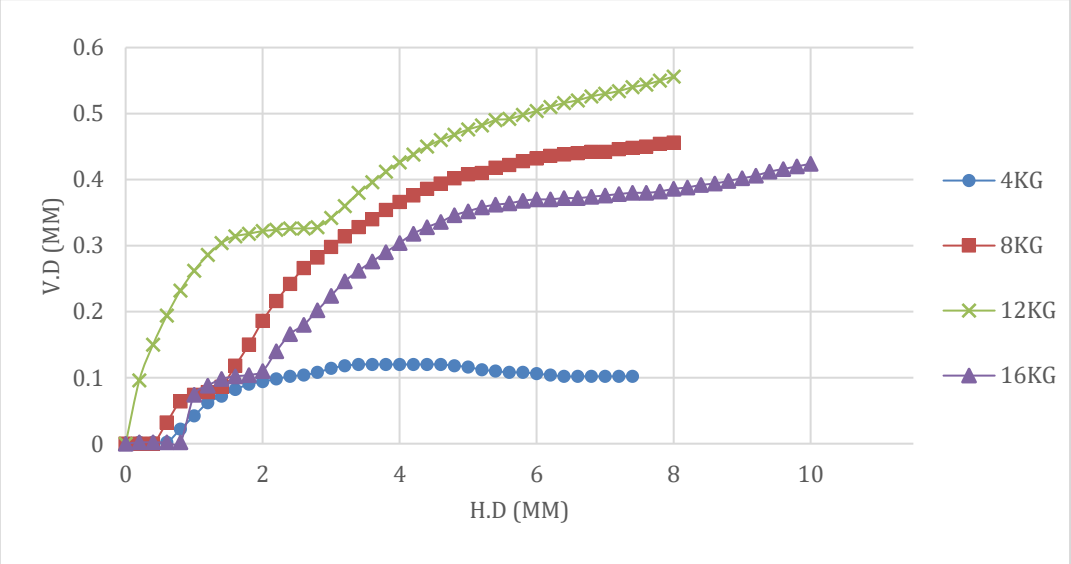
شكل 9. منحنى العلاقة بين الإجهاد العمودي وإجهاد القص للعينات الطبيعية

العلاقة بين الإزاحة الأفقية وإجهاد القص وكما هو موضح في شكل10، تظهر التربة المعالجة بـ 4% PVCW سلوكًا لدنًا أقل من التربات المعالجة بنسب 1% و2%، ولكن مع مقاومة أعلى للتشكل اللدن بعد الفشل. وتصل إلى استقرار في التشكل اللدن عند إزاحات أفقية أعلى من التربات الأخرى، مما يشير إلى أن زيادة نسبة PVCW إلى 4% أدت إلى تغيير واضح في خصائص التربة وسلوكها بعد الفشل، حيث أصبحت أقل لدونة ولكن مع مقاومة أعلى للتشكل اللدن مقارنة بالنسب الأخرى.



شكل 10. العلاقة بين الإزاحة الأفقية وإجهاد القص للعينة المعالجة بـ 4% من الـ PVCW

العلاقة بين الإزاحتين الأفقية والرأسية وكما موضح في شكل 11، فإن زيادة نسبة PVCW بنسب 1% أو 2% أو 4% أدت إلى أكبر تحسن في تجانس التربة وانتظام سلوكها تحت تأثير إجهادات القص، فكان تشتت البيانات ضئيلًا، كما أظهرت أقل تغيير في ميل العلاقة عند نقطة الفشل وأبطأ معدل لزيادة الإزاحة الرأسية بعد الفشل، ما يشير إلى أفضل مقاومة للتشكل اللدن، إن التحسن في الخصائص يتناسب طرديًا مع زيادة نسبة PVCW، حيث كان يزداد بين كل نسبة وأخرى، ولم يلاحظ فرق كبير بين النسب 1% ، 2% ، 4%.



شكل 11. العلاقة بين الإزاحتين الأفقية والرأسية للعينة المعالجة بـ 2% من الـ PVCW

3.3 المناقشة:

اظهرت النتائج أن إضافة مخلفات الـ PVC بنسب معينة يمكن أن تحسن خاصية الدمك. حيث كانت النسبة المثلى لإضافة مخلفات الـ PVC هي 0.5% تعطي أفضل النتائج. يمكن تفسير التحسن في خواص التربة بأن جزيئات الـ PVC تؤدي إلى زيادة الكثافة وتحسين خصائص القص.

بعد التحسن المبدئي في زاوية الاحتكاك من 0% إلى 0.25%، ثم 0.5% من PVCW، انخفضت زاوية الاحتكاك بشكل مفاجئ عند نسبة 1% PVCW قبل أن تعاود الارتفاع مرة أخرى عند نسبتي 2% و 4% من PVCW. هذه التقلبات في القيم قد تشير إلى وجود عوامل أخرى، بخلاف نسبة PVCW، قد تؤثر على زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة، مثل توزيع مادة PVC داخل العينة .إن زيادة نسبة الـ PVC عن 2% تؤدي إلى تدهور في بعض الخواص، ربما بسبب تكوين تجمعات من جزيئات الـ PVC تعيق التماسك بين حبيبات الرمل. كما تبين أن إضافة PVCW إلى التربة أدت إلى تحسن ملحوظ في زاوية الاحتكاك الداخلي، خاصةً عند النسبة العالية 4%، على الرغم من عدم وجود علاقة خطية واضحة بينهما وبعض التقلبات العرضية في القيم, ويتطلب الأمر مزيدًا من التحليل لفهم العوامل المؤثرة على هذه العلاقة بشكل أفضل.

نتائج أقصى تحسن في زاوية الاحتكاك الداخلي المسجلة في هذا الاختبار وهي من 32.22° للتربة بدون اضافات إلى 38.50° عند نسبة اضافات 4%، أي بنسبة تحسن حوالي 19%، وهي تتوافق مع دراسة (FARAH, 0 NALBANTOGLU, 2019) .

4.3 الاستنتاجات:

1. تحسين معاملات القص: إن إضافة مخلفات الـ PVC بنسب بين 0.5% و 4% يمكن أن تحسن بشكل ملحوظ الخواص الهندسية للقص فى التربة الرملية، حيث تم تسجيل زيادة في زاوية الاحتكاك ومقاومة القص.
2. النسبة المثلى: تبين أن النسبة المثلى لإضافة مخلفات الـ PVC هي حوالي 4% من وزن التربة الجافة.
3. استجابة غير خطية: لوحظت تقلبات في قيم زاوية الاحتكاك عند بعض النسب، مما يشير إلى تأثير عوامل أخرى على الخصائص الهندسية للتربة، مثل الكثافة والرطوبة.

4. حل مزدوج لمشكلات النفايات: توفر هذه التقنية حلاً مزدوجاً لمشكلة التربة الضعيفة وإدارة النفايات البلاستيكية، مما يساهم في تقليل الأثر البيئي من خلال إعادة استخدام المواد البلاستيكية.

5. الخاتمة والتوصيات:

بناء على تم تقديمة يوصى بالاتي:

1. إجراء دراسات ميدانية لتقييم أداء هذه التقنية في ظروف واقعية.
2. دراسة تأثير حجم جزيئات مخلفات الـ PVC على فعاليتها في تحسين خواص التربة.
3. تقييم الآثار البيئية طويلة المدى لاستخدام مخلفات الـ PVC في التربة.
4. استكشاف إمكانية دمج هذه التقنية مع طرق أخرى لتحسين التربة **Error! Reference source not found.**
5. دراسة تأثير مخلفات الـ PVC على أنواع أخرى من التربة.
6. أهمية البحث المستقبلي: يُوصى بإجراء مزيد من الدراسات لفهم العوامل المؤثرة على العلاقة بين نسبة الـ PVC والخصائص الهندسية بشكل أفضل، لضمان تطبيق فعال في المشاريع الهندسية.

المراجـــــع

[1] سامي أحمد حجاوي، "فحوصات التربة للأغراض الإنشائية"، نابلس – فلسطين، 2003.

Link: https://www.scribd.com/doc/4571852/فحوصات-التربة-للأغراض-الإنشائية

[2] Nichirvan Ramadhan Taher, Huseyin Suha Aksoy, "IMPROVING SOIL BEARING CAPACITY OF SHALLOW FOUNDATIONS USING RECYCLED WASTE PLASTIC BOTTLES (PET FLAKES)",. International capital conference on multidisciplinary scientific research: Havana, Cuba, 2023.
Link: https://www.researchgate.net/publication/373523848_IMPROVING_SOIL_BEARING_CAPACITY_OF_SHALLOW_FOUNDATIONS_USING_RECYCLED_WASTE_PLASTIC_BOTTLES_PET_FLAKES

[3] حسين جلال أسود، جبار رسول، مليحة سمين، "تأثير مواد النفايات البلاستيكية على الخواص الجيوتقنية للتربة الطينية"، جامعة دهوك، قسم الهندسة المدنية، العراق، 2021.

Link: https://link.springer.com/article/10.1007/s40515-020-00145-4

[4] أحمد حازم عبد الكريم، عمر مصطفى، "دراسة تأثير إضافة كلوريد البولي فينيل PVC على نفاذية تربة محافظة الأنبار"، كلية الهندسة – جامعة الانبار، العراق، 2012، ورقة بحثية في المؤتمر الدولي الثاني للجيوتقنية ومواد البناء والبيئة، كوالالمبور، ماليزيا، 14–16 نوفمبر 2012.

Link:https://www.researchgate.net/publication/346001451_Study_the_Effect_of_Polyvinyl_Chloride_PVC_Addition_on_the_Permeability_of_Anbar_Soils-conference

[5] M. M. Hossain, R. C.Malo &M. H. Safi, "SOIL IMPROVEMENT USING LIME AND POLYPROPYLENE FIBERS ", 4th International Conference on Advances in Civil Engineering (ICACE), 2018.
Link: https://www.researchgate.net/publication/332543410_SOIL_IMPROVEMENT_USING_LIME_AND_POLYPROPYLENE_FIBERS.

[6] FARAH, R. E. & NALBANTOGLU, Z. (2019). Performance of plastic waste for soil improvement. SN Applied Sciences, 1(11), 1-7.