

تأثير الحقن بمعلق غبار أفران الإسمنت (CKD) على بعض خصائص التربة الرملية الساحلية

م. فئاتن السقر (1)، د. م. رامي العبدہ (2)، د. م. توفيق فياض (3)

ملخص

تُشكّل النفايات الصناعية مشكلة بيئية عالمية في وقتنا الحاضر، فتراكمها خطير على البيئة والصحة العامة، والتخلص الآمن بطورها مكلف ويحتاج لمساحات شاسعة، لذلك ركزت الكثير من الأبحاث مؤخراً على الاستفادة من هذه النفايات في مختلف المجالات الهندسية. إنّ غبار أفران الإسمنت (Cement Kiln Dust) أحد هذه النفايات، وهو منتج جانبي لصناعة الإسمنت البورتلاندي، ويُعدّ استخدامه لتحسين ترب التأسيس حلاً أمثلاً لاستهلاك كمياته المتزايدة سنوياً.

نقدم في هذا البحث دراسة عن تأثير الحقن بمعلق غبار أفران الإسمنت (CKD) على بعض الخصائص الهندسية للتربة الرملية في المنطقة الساحلية في سوريا، تم تصميم وتصنيع نموذج حقن مخبري يحاكي عملية الحقن في الموقع، ومن ثمّ تم حقن التربة بمعلق مكوّن من نسب مئوية من (CKD) وهي % (2, 4, 6, 8, 10, 12) من الوزن الجاف للتربة، ونسب خلط (ماء: غبار إسمنت) (W:CKD) وهي (2:1, 4:1, 6:1, 8:1, 10:1)، ولدراسة تأثير الحقن تم إجراء دراسة مخبرية موسّعة على التربة الرملية قبل وبعد المعالجة بالحقن، من أجل مدتي معالجة (7) و(28) يوم.

أظهرت النتائج تحسناً كبيراً بالخصائص الجيوتكنيكية للتربة المعالجة بالحقن بمعلق غبار الإسمنت، فقد أدى ازدياد نسبة % (CKD) وازدياد مدة المعالجة وانخفاض النسبة (W:CKD) لازدياد قيم كلّ من: مقاومة الضغط الحر (q_u)، ومعامل المرونة المماسي الابتدائي (E_t)، ومقاومة القص والتماسك (C) كما أدى إلى انخفاض معامل النفاذية (K). أما زاوية الاحتكاك الداخلي (ϕ) للتربة المعالجة فقد ازدادت بازدياد كلّ من مدة المعالجة ونسبة % (CKD) ونسبة (W:CKD).

الكلمات المفتاحية: الحقن التغلغلي، الترب الرملية، غبار أفران الإسمنت، مقاومة الضغط الحر، معامل المرونة، بارامترات القص، النفاذية.

- (1) - طالبة دكتوراه - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
- (2) - مدرس - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
- (3) - أستاذ مساعد - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

A study of the Effect of Grouting with Cement Kiln Dust (CKD) on Some Properties of Coastal Sandy Soils

Eng. Faten Alsakr⁽¹⁾, Dr. Rami Alabdeh⁽²⁾, Dr. Toufik Fayad⁽³⁾

Abstract

Nowadays; Industrial wastes are global environmental problem, where their accumulation is dangerous to the environment and public health, while safe disposal by landfilling expensive and needs vast areas. Thus many researches have recently focused on the utilization of these wastes in various engineering fields. Cement kiln dust (CKD) is one of these wastes, a side product of the Portland cement manufacture, and its use to improve the foundation soil is an ideal solution for the consumption of its increasing quantities annually. In this research, we present a study on the effect of (CKD) grouts on some of the engineering properties of sandy soil in the coastal area of Syria. we designed and fabricated a laboratory grouting model that simulates grouting site process. The soil samples were grouted with a suspension consisting of percentages of cement kiln dust (2,4,6,8,10,12)% as a ratio of dry weight of the treated soil, and mixing ratios (Water:CKD) (W:C=2:1, 4:1,6:1,8:1,10:1), to study the effect of grouting, an extensive laboratory study was conducted on sandy soil before and after grouting treatment for (7&28) days curing. The results showed a very noticeable improvement in the investigated geotechnical properties of grouted sand. Where the increasing of (CKD) percentage and curing period as well as the decreasing in (W:CKD) ratio of grouting suspension; led to increase the values of unconfined compressive strength (q_u), initial tangent young's modulus (E_t), shear strength and cohesion (C), also led to decrease

the permeability of grouted sand. While the values of internal friction angle (ϕ) increase when the percentage of (CKD), curing period, and (W:CKD) ratio increase.

Key words: Permeation Grouting, Sandy Soils, Cement Kiln Dust (CKD), Unconfined Compressive Strength, young's modulus, Shear Parameters, permeability.

(1)-Postgraduate Student (PhD), Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

(2)-Assistant Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

(3)-Associate Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

1- مقدمة

تتركز الدراسات الحديثة على إيجاد الطرق الأفضل لمعالجة وتحسين التربة ضعيفة التحمل، وتعدّ تقنية الحقن من أهم طرق تحسين التربة، كونها تتميز بجودة النتائج والاقتصادية وسرعة وسهولة الإنجاز، وقد أصبحت واسعة الاستخدام في مختلف فروع الهندسة المدنية ولأغراض مختلفة مثل: تقوية وتكثيم تربة التأسيس الضعيفة قبل إنشاء المنشآت، تقوية أساسات الأبنية القديمة المتداعية وذلك لتفادي هبوط وانهيار المنشآت القائمة، تحسين استقرار المنحدرات، الحدّ من قابلية التسيل، معالجة التربة قبل وأثناء تنفيذ المنشآت المظمورة، ملء التكهفات التحت أرضية، بناء ستائر كتيمية تحت السدود، تأمين كتامة الآبار والأنفاق وجوانب أحواض التأسيس، كما أنها مفيدة جداً عندما يكون من الصعب الوصول للتربة المراد تحسينها [12,14]، كونها يمكن أن تُنفذ من خلال حفر تقرب إلى العمق المطلوب (في التربة قبل إنشاء المنشآت أو في البلاطات الأرضية تحت المنشآت القائمة في المناطق السكنية) ومن ثم تُمد أنابيب الحقن إلى العمق المحفور وتُضخ مادة الحقن إلى التربة المراد معالجتها [24].

يُعرّف الحقن بشكل عام بأنه عملية ضخ مواد الحقن بشكل سائل مختلفة اللزوجة تحت تأثير الضغط بواسطة أنابيب صغيرة القطر إلى شقوق الصخور، أو إلى داخل فراغات التربة عن طريق إجراء فتحات في تلك التربة، فتتحسن خصائص الوسط المحقون [2,6]. يُصنّف الحقن في عدة أنماط، حيث يُعتبر نوع التربة هو العامل الأهم في اختيار نمط الحقن. فمثلاً يُستعمل **الحقن التغلغلي (Permeation Grouting)** عموماً لتحسين الخصائص الهندسية للتربة الحبيبية، ويتم ضخ مادة الحقن بشكل سائل إلى تربة التأسيس تحت تأثير الضغط، فتندقق وتملأ فراغاتها ثم تتصلب مشكلةً مادة تربط بين حبيبات التربة، فتتحسن خصائص التربة المعالجة بالحقن بدون تغيير بنيتها الطبيعية [2,10] وهو النمط المتبع في هذا البحث.

تتأثر جودة وفعالية الحقن بعدة عوامل أهمها: نوع التربة، نمط الحقن ومادة الحقن ومدى مناسبتها لنوع الوسط المحقون، نسبة المادة المحقونة، نسبة الخلط، مدة المعالجة، الاختيار الصحيح لتجهيزات الحقن، عدد فتحات الحقن، تباعد فتحات الحقن، عمق الحقن، ضغط الحقن [2,9]. تناولت العديد من الدراسات السابقة فعالية تقنية الحقن في تحسين قدرة تحمل وسلوك أنواع مختلفة من التربة باستخدام المثبتات التقليدية (الكلس، الإسمنت، الإسمنت مع بعض الإضافات الكيميائية، المحاليل الكيماوية، وغيرها)، وركز بعض تلك الأبحاث [9,10,15,22,23,25,27] على دراسة تأثير الحقن بالإسمنت على خصائص وقدرة تحمل التربة الحبيبية، وخلصت تلك الأبحاث إلى أنه تزداد قدرة التحمل وتتنخفض النفاذية للتربة المحقونة بالإسمنت بازدياد نسبة الإسمنت وفترة المعالجة. إنّ معظم الدراسات السابقة درست تأثير الحقن باستخدام مواد تقليدية، وتحديدًا كان الإسمنت مادة الحقن الأكثر استخداماً سواءً في الدراسات السابقة أو على أرض الواقع في الحقن.

لكن استخدام الإسمنت أو المواد التقليدية عموماً مكلف اقتصادياً من جهة، كما أنّ بعض مواد الحقن الكيميائية سامة وخطيرة على الطبيعة من جهة أخرى، وقد استوجب ذلك إيجاد مواد حقن بديلة اقتصادية وصديقة للبيئة. كالفنايات الصناعية التي تلقى اهتمام كبير وعالمي للاستفادة منها في الاستخدامات الهندسية، ومن هذه الفنايات غبار أفران

الإسمنت وهو عبارة عن مُنتج ثانوي يرافق إنتاج الإسمنت البورتلاندي ويُشكل تراكمه خطراً بيئياً وصحياً [1,21]، لذلك يتم التركيز مؤخراً على الاستفادة من كمياته الكبيرة والمتزايدة في مختلف اختصاصات الهندسة المدنية ومنها الهندسة الجيوتكنيكية. تختلف خصائص غبار أفران الإسمنت الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية تبعاً لعدة عوامل: المواد الخام المستخدمة في تصنيع الإسمنت، نمط عمل الفرن، أنظمة تجميع الغبار، نوع الوقود المستخدم. وهو مشابه تقريباً للإسمنت البورتلاندي العادي بالتركيب الكيميائي وبالوظائف الميكانيكية مما يجعل (CKD) صالحاً للاستعمال لعدة تطبيقات منها استخدامه في تحسين التربة [1,13,21]، وقد أُجريت العديد من الأبحاث [3,16,20] التي اهتمت بدراسة استخدام غبار أفران الإسمنت في معالجة التربة الرملية، وخلصت تلك الأبحاث إلى أنّ إضافة (CKD) للتربة المدروسة، يُحسن الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لتلك التربة بشكل كبير ويحقق فوائد بيئية واقتصادية، وأن قدرة تحمل التربة المدروسة تزداد بازدياد نسبة (CKD) وازدياد مدة المعالجة، ولكن جميع الأبحاث المذكورة استخدمت تقنية الخلط لدراسة تأثير (CKD) كمادة مثبتة.

مما تقدم وبسبب الانتشار الواسع للتربة الرملية في المنطقة الساحلية، قمنا في هذا البحث بدراسة تأثير الحقن التغلطي (Permeation Grouting) بمعلق غبار أفران الإسمنت على بعض الخواص الهندسية للتربة الرملية في المنطقة الساحلية.

2- أهمية البحث

- استخدام تقنية الحقن التغلطي (Permeation Grouting) لتحسين خصائص تربة التأسيس الرملية، بدلاً من استخدام الطرق التقليدية ذات الكلفة العالية كأساسات العميقة المستخدمة عادةً عند التأسيس على التربة الرملية المخضلة في المناطق الساحلية.
- الاستغناء عن استخدام مواد تحسين التربة التقليدية المكلفة، والاستفادة من مادة غبار أفران الإسمنت (CKD)، وبذلك يتم التخلص من الكميات الكبيرة لمخلفات معامل الإسمنت في سوريا، والتي تشكل عبء على البيئة والصحة العامة وعلى صناعة الإسمنت المحلية.

3- أهداف البحث

دراسة تأثير تغيير كل من نسبة % (CKD) ونسبة (W/CKD) في معلق الحقن، وتأثير مدة المعالجة:

- 1- على مقاومة الضغط الحر ومعامل المرونة للتربة الرملية المدروسة.
- 1- على مقاومة القص وبارامترات القص (C, ϕ) للتربة الرملية المدروسة.
- 2- على نفاذية التربة الرملية المدروسة.

4- مواد وطرق البحث

اعتمد البحث المنهج التجريبي في الدراسة وذلك وفق المراحل التالية:

- 1- تحديد خواص التربة الرملية المستخدمة من خلال التجارب المخبرية التي طبقت على عينات التربة الرملية الطبيعية قبل المعالجة بالحقن.
- 2- تحديد خواص غبار أفران الإسمنت المستخدم من خلال التجارب المخبرية التي طبقت عليه قبل استخدامه في الحقن.
- 3- إجراء عملية الحقن من أجل نسب غبار الإسمنت المدروسة وجميع نسب (W:CKD).
- 4- تحضير العينات لاختبارات (الضغط الحر، القص المباشر، النفاذية) بعد انتهاء كل عملية حقن.
- 5- إجراء تجارب (الضغط الحر، القص المباشر، النفاذية) على عينات التربة الرملية المعالجة بالحقن بمعلق غبار أفران الإسمنت بعد انقضاء مدتي المعالجة (7 و 28) يوم.

4-1. مواد البحث

➤ **التربة الرملية:** تم إحضار كميات الرمل اللازمة لهذا البحث، من شاطئ بلدة صنوبر جبلة التي تقع في الجنوب الشرقي من مدينة اللاذقية وتبعد مسافة 13 كم عن مركز المدينة. وتم إجراء التجارب المخبرية لتحديد مواصفات التربة الطبيعية حيث أجريت جميع التجارب وفق مواصفات ASTM [4]. يبين

الجدول (1) الخواص الفيزيائية والميكانيكية للتربة الرملية الطبيعية، ويبين الشكل (1) منحنى التدرج الحبي لهذه التربة.

➤ غبار أفران الإسمنت: تم استخدام غبار أفران الإسمنت (CKD) المنتج في معمل إسمنت طرطوس، وأجريت التجارب المخبرية اللازمة لتحديد خصائصه الفيزيائية والميكانيكية بالإضافة إلى تحليل كيميائي وتحليل حبي لعينات منه في المخبر الموجود بمعمل إسمنت طرطوس. يبين الجدول (2) بعض الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لغبار الإسمنت، ويبين الجدول (3) نتائج التحليل الكيميائي، كما يبين الشكل (1) منحنى التدرج الحبي لغبار الإسمنت المستخدم في الدراسة. أما الشكل (2) فيبين المناخل المستخدمة لإجراء تجربة التحليل الحبي لغبار الإسمنت الموجودة في معمل إسمنت طرطوس.

الجدول (1): الخواص الفيزيائية والميكانيكية للتربة الرملية الطبيعية المدروسة

القيمة	المواصفات
2.6	الرطوبة (%)
2.73	الوزن النوعي (G_s)
15.73	الوزن الحجمي الكلي ($\gamma_t (kN/m^3)$)
15.33	الوزن الحجمي الجاف ($\gamma_d (kN/m^3)$)
16.7	الوزن الحجمي الجاف الأعظمي ($\gamma_{d\max} (kN/m^3)$)
14.5	الوزن الحجمي الجاف الأصغري ($\gamma_{d\min} (kN/m^3)$)
41.67	عامل الكثافة النسبية I_D
38.69	زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ°
$1.33 \cdot 10^{-3}$	معامل النفاذية K (cm/sec)
97.9	المكافئ الرملي (%)
0.44	المسامية (n)
1.72	معامل التجانس C_U
0.82	معامل الاتحنا C_z
0	نسبة المار من المنخل 200 (%)

تأثير الحقن بمعلق غبار أفران الإسمنت (CKD) على بعض خصائص التربة الرملية الساحلية

تربة رملية سيئة التدرج الحبي (sp)	تصنيف التربة بحسب (USCS)
-----------------------------------	--------------------------

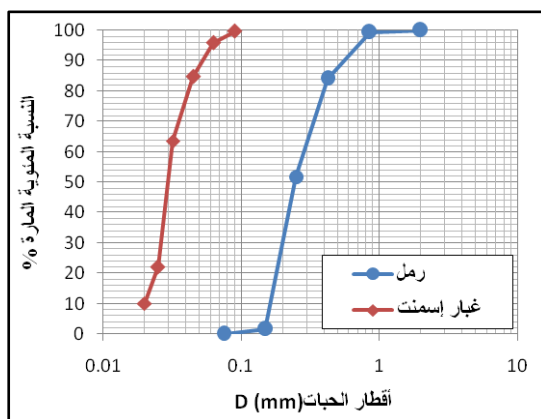
الجدول (2): بعض الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لغبار الإسمنت المستخدم

القيمة	المواصفات
3.1	الوزن النوعي (G_s)
3330	معامل النعومة "معامل بلين" (cm^2 / gr)
196	زمن بداية التجمد (دقيقة)
287	زمن نهاية التجمد (دقيقة)
34	مقاومة الضغط عند 7 يوم (N / mm^2)
41	مقاومة الضغط عند 28 يوم (N / mm^2)
10.142	نسبة المار من المنخل 20 ميكرون (%)

الجدول (3): التحليل الكيميائي لغبار أفران الإسمنت المستخدم

المركب	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	L.O.I
الوزن (%)	61.88	21.25	4.6	4.1	2.71	3.05	0.61	0.18	1.03

حيث: L.O.I (Loss On Ignition) الفاقد بالحرق.



ال م ال م	
الق (mm)	ن اة ال اار %
2	100
0.85	99.44
0.425	84.19
0.25	51.83
0.15	1.66
0.075	0

ار الإا ال م	
الق (mm)	ن اة ال اار %
0.09	99.81
0.063	95.85
0.045	84.80
0.032	63.60
0.025	22.11
0.02	10.14

الشكل (1): منحنى التدرج الحبي للمواد المستخدمة في البحث

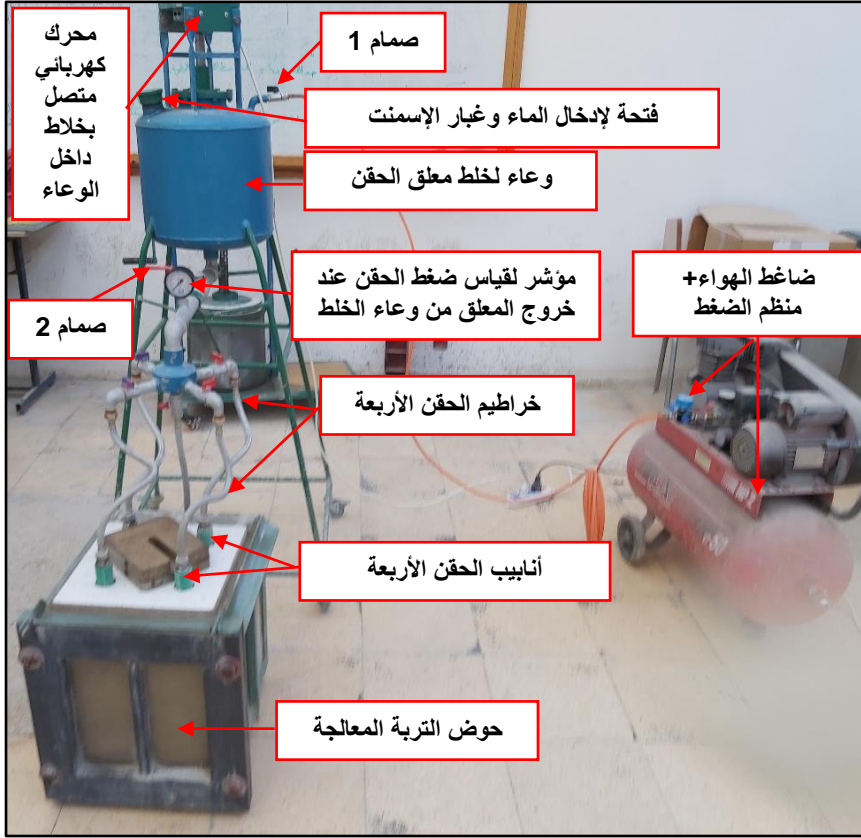


الشكل (2): المناخل المستخدمة للتحليل الحبي لغبار الإسمنت

2-4. الأجهزة والأدوات المستخدمة

بعد الاطلاع على الدراسات المرجعية [10,27] قمنا بتصميم وتصنيع نموذج حقن مخبري مع إجراء التعديلات التي تؤمن جودة وسهولة عملية الحقن والتي تجعل عملية الحقن في المخبر أقرب ما تكون لعملية الحقن في الموقع، ويتألف من المعدات والتجهيزات التالية والمبينة بالشكل (3):

- 1- حوض قابل لللفك والتركيب لوضع التربة الرملية فيه، تم تصنيعه من مادة الفيبر الشفاف القاسي والحديد، أبعاده الداخلية (30cm x 30cm x 38cm).
- 2- وعاء خلط أسطواني الشكل مصنوع من الحديد وله فتحة لإدخال الماء وغبار أفران الإسمنت، وله صمام (1) لإدخال الهواء المضغوط، وصمام (2) لخروج معلق الحقن، ومزود بمؤشر لقياس ضغط الحقن عند خروج المعلق منه، ويتصل بخراطيم الحقن الأربعة، ويدخله خلاط يتصل بمحرك كهربائي خارجي، يتم في هذا الوعاء خلط معلق الحقن آلياً قبل عملية الحقن وطيلة فترة الحقن.
- 3- خراطيم الحقن الواصلة بين وعاء الخلط وأنايب الحقن.
- 4- أنايب الحقن وهي مسدودة من الأسفل ومصنوعة من مادة بولي بروبيلين الخضراء (PPR)، قطر كل أنبوب (20mm)، يوجد على سطح كل أنبوب (64) ثقب؛ كل ثقب بقطر (3mm) مبينة في الشكل (4).
- 5- ضاغط هواء مزود بمنظم للضغط.



الشكل (3): نموذج الحقن المخبري المستخدم في الدراسة



الشكل (4): أنابيب الحقن المثقبة والمسدودة من الأسفل

3-4. تنفيذ عملية الحقن في المخبر

لتحضير العينات المحقونة، تم حقن التربة بمعلق غبار أفران الإسمنت وفق الخطوات التالية: بعد التأكد من جفاف الحوض تماماً تم دهنه بالزيت المعدني، من ثم تم وضع أنابيب الحقن على ارتفاع (5cm) من قاع الحوض على مسامير مثبتة بقاعدة الحوض المعدنية مهمتها تحديد مكان كل أنبوب، وتمت المحافظة على شاقولية وتباعد الأنابيب بواسطة مُحدد معدني علوي يُوضع عند أعلى الحوض.

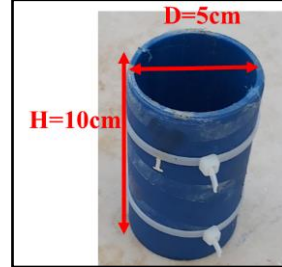
تم ملء الحوض بالتربة المجففة في فرن درجة حرارته (105) درجة مئوية لمدة (24) ساعة، وذلك بسكبها من خلال قمع وُضع على ارتفاع ثابت عند أعلى الحوض، وبذلك تمت تعبئة الحوض بالتربة بدون أي إزاحة للأنايب الأربعة. بعد ذلك تم تحضير معلق الحقن في وعاء الخلط بأخذ كمية محددة مسبقاً من غبار أفران الإسمنت (2, 4, 6, 8, 10, 12)% من الوزن الجاف للتربة المعالجة مع ما يناسبها من الماء بحسب نسبة الخلط المدروسة {W:CKD= (2:1, 4:1, 6:1, 8:1, 10:1)} وتم إدخالهم عبر الفتحة الخاصة بإدخال مواد معلق الحقن وبعد إغلاق الفتحة بإحكام، تم تشغيل المحرك المتصل بخلاط داخل وعاء الخلط واستمر المزج خلال عملية الحقن لتفادي انفصال ذرات الغبار عن الماء في المعلق، بعد ذلك بدأت عملية الحقن بفتح الصمام (1) وضخ الهواء المضغوط إلى وعاء الخلط تحت ضغط ثابت (1.5-2) bar، ومن ثم فُتح الصمام (2)، فضُحَّ المعلق إلى داخل خرطوم الحقن الأربعة ومنها لأنايب الحقن، ومن خلال ثقب هذه الأنايب إلى التربة، لينتشر ضمن فراغات التربة.

4-4. التجارب المخبرية المدروسة

4-4-1. تجارب الضغط الحر

تُعتبر تجربة الضغط الحر من أهم التجارب المخبرية لتقييم جودة تحسين الترب المعالجة ولتقييم كمية المادة المستعملة لتثبيت التربة، وذلك كونها تجربة بسيطة وموثوقة إضافةً لسهولة وسرعة إجرائها [5,9,17]. في هذا البحث تمت دراسة تأثير نسب (CKD) ونسب (W:CKD) وتأثير مدة المعالجة على مقاومة الضغط الحر للتربة المعالجة بالحقن، إذ تم تحضير العينات لاختبار الضغط الحر بعد انتهاء كل عملية حقن مباشرةً من أجل جميع النسب المدروسة، وذلك باستخدام قوالب بلاستيكية أسطوانية الشكل، قابلة لل فك والتركيب، نسبة ارتفاعها إلى قطرها (H/D=2) وقطرها الداخلي (D=5cm) وارتفاعها (H=10cm) مبنية في الشكل (5)، حيث تم ربط كل قالب بمربطين بلاستيكيين ومن ثم دُهنَت القوالب البلاستيكية من الداخل بالزيت المعدني من أجل سهولة إخراج العينة من القالب، ومن ثم غُرزت في التربة المحقونة وأُخرجت مباشرةً، وأُقيت العينات للمعالجة (28,7) يوم، وبعد انقضاء فترة المعالجة المحددة، تم فك القالب

البلاستيكي بقص المرابط البلاستيكية؛ وتم بسهولة إخراج العينة سليمة كما هو مبين في الشكل (6).



الشكل (5): القالب البلاستيكي المستخدم
الشكل (6): إخراج العينات من القالب البلاستيكي القابل لللفك

تم إجراء تجارب الضغط الحر على العينات المحضرة، وفق المواصفة (ASTM D4219) وباستخدام الجهاز المبين بالشكل (7) الموجود في مخبر ميكانيك التربة بجامعة تشرين، حيث تم تكرار تجربة الضغط الحر من أجل مدتي معالجة لكل نسبة من النسب المدروسة، وذلك بتطبيق قوة شاقولية محورية بسرعة ثابتة مقدارها (1mm/min) حتى انهيار العينة وتم تسجيل الحمولة الشاقولية والتشوه الشاقولي، وبواسطة هذه التجارب تم الحصول على مقاومة الضغط الحر، ومعاملات المرونة من أجل كل نسبة، كما تم رسم ودراسة مخططات (الإجهاد - التشوه النسبي) لكل نسبة.



الشكل (7): الجهاز المستخدم لإجراء تجربة الضغط الحر

4-4-2. تجارب القص المباشر

تُعد مقاومة التربة للقص من أهم الخصائص الميكانيكية الواجب دراستها عند تصميم أساسات المنشآت [26]. كما تُعدّ تجربة القص المباشر المستوي من أهم الطرق المخبرية لدراسة مقاومة التربة للقص، لذلك قمنا بعد انتهاء كل عملية حقن مباشرةً بتحضير عينات القص، وذلك باستخدام حلقات بلاستيكية دائرية المقطع لها نفس قطر وارتفاع حلقة القص المعدنية النظامية (D=6.25cm) (H=2cm)؛ الشكل (8). وقد تم دهن الحلقات البلاستيكية من الداخل بالزيت المعدني ومن ثمّ تمّ غرزها في عينة التربة المحقونة وأُخرجت كما يبين الشكل (9)، حيث تم أخذ (6) عينات من أجل كل نسبة مدروسة وأُقيت للمعالجة لمدة (28,7) يوم.



الشكل(9): بعض العينات

الشكل(8): الحلقة البلاستيكية المستخدمة

المحضرة فور عملية الغرز في التربة المحقونة

لدراسة تأثير نسب % (CKD) و (W:CKD) ومدة المعالجة، على مقاومة وبارامترات القص للتربة، قمنا بإجراء تجارب القص المباشر على عينات التربة الرملية قبل وبعد المعالجة بالحقن، إذ قمنا بإنزال العينات المحضرة في علبة القص بعد انقضاء فترة المعالجة المحددة من أجل إجراء التجربة كما هو مبين في الشكل (10). تم تنفيذ تجارب القص وفق المواصفة (ASTM D3080) وباستخدام جهاز القص المباشر المستوي الموجود في مخبر ميكانيك التربة بجامعة تشرين المبين في الشكل (11).



الشكل (10): تحضير عينة التربة المعالجة لتجربة القص المستخدم
الشكل (11): جهاز القص المباشر

بعد انقضاء فترة المعالجة، قمنا بتكرار تجربة القص على ثلاث عينات من أجل كل نسبة، وذلك بتطبيق إجهادات ناظرية مختلفة $(100-200-300) \text{ kN/m}^2$ على التوالي وتطبيق إجهاد أفقي متزايد حتى الانهيار بسرعة ثابتة مقدارها (5 mm/min) من أجل كل إجهاد ناظمي.

4-3-4. تجارب النفاذية

اختُبرت بدايةً نفاذية التربة الطبيعية كما هو مبين في الشكلين (12) و(13)؛ باختبار معامل النفاذية لثلاث عينات واعتمدت القيمة الوسطية للتجارب الثلاث، فوجدنا أن معامل نفاذية التربة الطبيعية $(1.33 \times 10^{-3} \text{ cm/sec})$ وبالتالي نفاذيتها عالية جداً، لذلك أُجريت تجارب النفاذية لدراسة تأثير الحقن بنسب $(\text{CKD})\%$ ونسب (W:CKD) وتأثير مدة المعالجة على نفاذية عينات التربة الرملية المحقونة. وقد اختُبرت نفاذية التربة الطبيعية ونفاذية العينات المحقونة باستخدام جهاز النفاذية بضغط ثابت الذي يتم فيه توليد الهواء المضغوط بواسطة ضاغط هواء موصول بخزان مملوء بالماء حيث يحول ضغط الهواء

إلى ضغط ماء مع إمكانية ضبط الضغط أثناء الاختبار. في هذا البحث تم استخدام ضغط ثابت 0.5 bar)، وتم استخدام قوالب لاختبار النفاذية ذات ارتفاع (12.3cm) وقطر داخلي (11cm) وهو مبين في الشكل (14)، وارتفاع العينة المحقونة (10.5 cm) وقطرها (11cm) مبينة في الشكل (15)، تم تحضير العينات لاختبار النفاذية بعد انتهاء كل عملية حقن مباشرةً من أجل كل نسبة من النسب المدروسة، بغرز قوالب النفاذية المذكورة في التربة المحقونة وإخراجها مباشرةً كما هو مبين في الشكل (14)، وأُقيمت العينات للمعالجة (28,7) يوم، وبعد انقضاء فترة المعالجة المحددة، وُضعت القوالب وبداخلها العينات على جهاز قياس النفاذية من أجل إجراء تجربة النفاذية.



الشكل (13): اختبار نفاذية التربة

الشكل (12): تحضير عينة التربة الطبيعية لاختبار النفاذية الطبيعية



(15): عينات النفاذية بعد عملية الغرز

الشكل (14): أبعاد القالب المستخدم

مباشرة

5- النتائج ومناقشتها

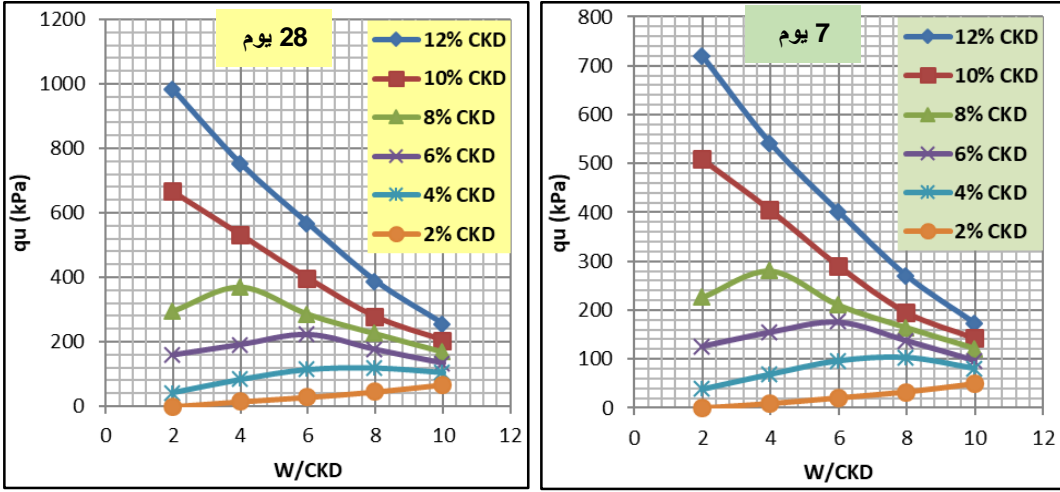
5-1. نتائج تجارب الضغط الحر

نعرض فيما يلي نتائج تجارب الضغط الحر عند الانهيار والمنجزة على عينات التربة المحقونة بنسب غبار الإسمنت % (2, 4, 6, 8, 10, 12) من الوزن الجاف للتربة المعالجة ونسب الخلط المدروسة {W:CKD= (2:1, 4:1, 6:1, 8:1, 10:1)}، وذلك من أجل مدتي معالجة (7 و 28) يوم.

5-1-1. تأثير تغيير نسبة (W:CKD) في معلق الحقن على مقاومة الضغط

الحر (qu) من أجل نسب % (CKD) المدروسة ومدتي المعالجة

يبين الشكل (16) تغيير مقاومة الضغط الحر المكتسبة، بتغيير نسب (W/CKD) وذلك من أجل جميع نسب % (CKD) المدروسة ومن أجل مدتي المعالجة (7، 28) يوم.



الشكل (16). تغير مقاومة الضغط الحر بازياد نسبة (W/CKD) من أجل نسب (CKD) المدروسة ومدتي معالجة

حيث (qu) مقاومة الضغط الحر وهي الإجهاد المحوري الأعظمي الذي تم عنده انهيار العينة.

نلاحظ من الشكل (16) أنه:

- تزداد مقاومة الضغط الحر (qu) للعينات المعالجة بازياد مدة المعالجة من أجل جميع نسب غبار الإسمنت المدروسة، وسبب ذلك أن غبار أفران الإسمنت يشبه الإسمنت في تفاعله مع الماء، أي أنه يحتاج إلى فترة زمنية لإتمام عملية التفاعل وبالتالي اكتساب المقاومة [18,19].

- لكل نسبة من نسب غبار الإسمنت المدروسة؛ هناك نسبة (W:CKD) معينة هي النسبة الأفضل التي تؤدي لمعلّق حَقن بقوامه الأفضل، فعند هذه النسبة تكون كمية الماء في المعلق كافية لعملية التفاعل، وكافية لإخراج الهواء من فراغات التربة، وينتج عنها (qu) أعظمية.

- أما عندما تقل نسبة (W:CKD) عن النسبة الأفضل فإن المعلق يكون لزجاً وكميته غير كافية لإخراج الهواء من فراغات التربة، كما أنّ اللزوجة العالية للمعلّق تمنعه من التخلخل جيداً بين حبيبات التربة الرملية، وبالتالي انخفاض مقاومة الضغط الحر (qu)، وهذا يتفق مع دراسات سابقة [2,17,22,25].

- وعند ازدياد نسبة (W:CKD) عن النسبة الأفضل، فإن قيمة مقاومة الضغط الحر (qu) تتخفض ويُعزى ذلك إلى أنه:

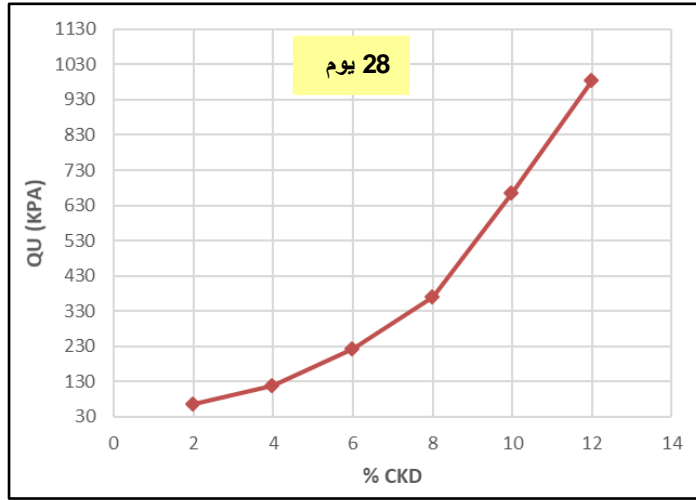
1. يصبح المعلق مائعاً ورخوياً ويخف تركيز المادة الفعالة الرابطة بسبب ازدياد كمية الماء في المعلق، وهذا أيضاً ما لاحظته دراسات سابقة [9,22]؛ مما يؤدي لروابط ضعيفة بين جزيئات الرمل فيقل الالتصاق وبالتالي تقل مقاومة الضغط الحر (qu)، لأن شدة الروابط اللاصقة تنقص بين جزيئات الرمل بازدياد النسبة (W:CKD) وتزداد بنقصان النسبة (W:CKD) وتبدو هذه النتيجة متوافقة مع أبحاث سابقة [7,8,17].

2. تتخفض قيمة (qu) بازدياد النسبة (W:CKD) نتيجةً لازدياد النزف (Bleeding) وهو خروج ذرات الغبار مع كمية الماء الزائدة، وتزداد حدة النزف (Bleeding) بازدياد النسبة (W:CKD)، وذلك يتوافق مع دراسة سابقة درست الحقن بالإسمنت [23].

يبين الجدول (4) والشكل (17) قيم مقاومة الضغط الحر من أجل كل نسبة من نسب غبار الإسمنت المدروسة ونسبة (W:CKD) الأفضل المقابلة لها وذلك من أجل مدة معالجة (28) يوم.

الجدول (4) قيمة مقاومة الضغط الحر (qu) من أجل كل نسبة من نسب (CKD)% ونسبة (W:CKD) الأفضل المقابلة لها عند مدة المعالجة (28) يوم

CKD%	%2	%4	%6	%8	%10	%12
W:CKD	10:1	8:1	6:1	4:1	2:1	2:1
qu (kPa)	67.75	119.21	222.62	369.84	666.84	984.72
qu _(i%) /qu _(2%)		1.76	3.29	5.46	9.84	14.53



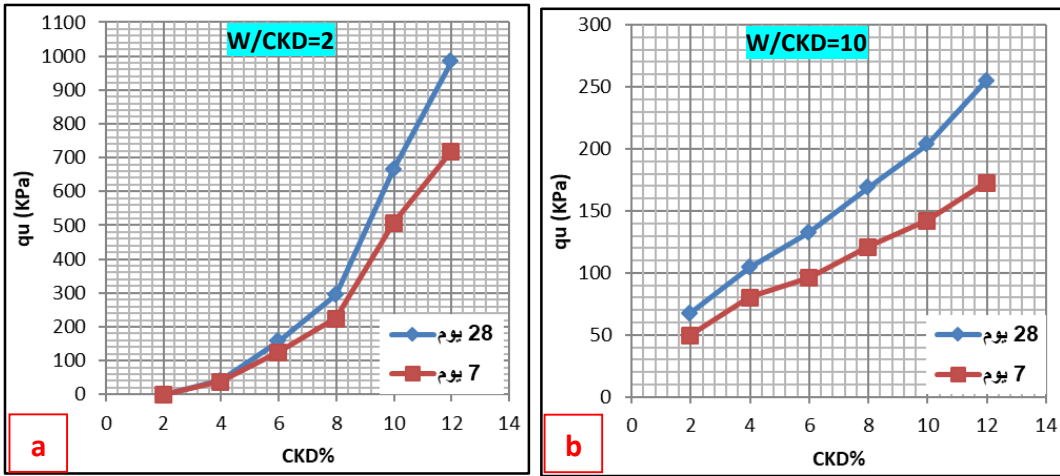
الشكل (17). ازدياد مقاومة الضغط الحر (qu) مع ازدياد نسب % (CKD) من أجل نسبة (W:CKD) الأفضل المقابلة لكل نسبة غبار إسمنت ومدة معالجة (28) يوم

نلاحظ من الجدول (4) والشكل (17) ازدياد كبير جداً في مقاومة الضغط الحر خصوصاً عند النسب العالية لغبار أفران الإسمنت، وذلك بسبب ازدياد المادة الفعالة الرابطة التي تربط جزيئات التربة مع بعضها.

5-1-2. تأثير تغيير نسبة % (CKD) في معلق الحقن على مقاومة الضغط الحر (qu) من أجل نسب (W:CKD) المدروسة ومدتي المعالجة

وجدنا بنتيجة التجارب أنه تزداد مقاومة الضغط الحر بازدياد مدة المعالجة وبازدياد نسبة % (CKD) في معلق الحقن من أجل جميع نسب الخلط المدروسة، {W:CKD= (2:1, 4:1, 6:1, 8:1, 10:1)}

ويبين الشكل التالي ازدياد مقاومة الضغط الحر (qu) بازدياد نسبة % (CKD) من أجل نسبتي الخلط الأدنى (W/CKD=2) والأعلى (W/CKD=10)، ومن أجل مدتي المعالجة.



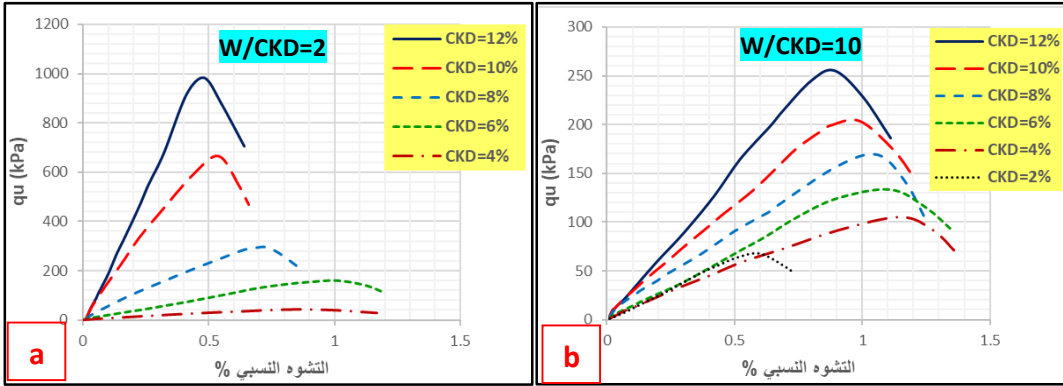
الشكل (18). ازدياد مقاومة الضغط الحر (qu) بازدياد نسبة % (CKD)

من الشكل (18) نلاحظ أنه:

- تزداد مقاومة الضغط الحر بشكل واضح خلال الأيام السبعة الأولى، كما نلاحظ أنّ تأثير مدة المعالجة أكثر أهمية عند نسب % (CKD) العالية مقارنةً بنسب % (CKD) المنخفضة، وهذا منطقي فبازدياد المادة الرابطة يكون تأثير مدة المعالجة مفيداً بشكل أكبر [18,19].
- اكتسبت التربة الرملية المعالجة مقاومة على الضغط الحر (qu)، وازدادت المقاومة المكتسبة (qu) بشكل كبير بازدياد نسبة % (CKD) في معلق الحقن، ويُعزى ذلك إلى الخصائص التلاصقية لغبار الإسمنت، الناتجة عن مكوناته الكيميائية، وتحديداً النسبة العالية من (CaO) و (SiO₂) كما رأينا في الجدول (3)، فنتيجةً للتفاعل بين (CaO) و (SiO₂) والماء تتكون مادة رابطة وهي هيدرات سيليكات الكالسيوم والتي يُرمز لها اختصاراً (C- S- H) وهي تقوم بملء الفراغات وربط حبيبات الرمل ببعضها البعض. فبازدياد نسبة % (CKD) في معلق الحقن، تزداد كمية المادة الرابطة (C- S- H)، فتصبح العينة ذات صلابة ومقاومة عالية للضغط الحر. وهذا يدل على تشابه الخصائص التلاصقية للغبار والإسمنت، حيث أن هذه المادة هي المسؤولة عن القوة والصلابة في خلطات الإسمنت [19,20].

3-1-5 منحنيات (الإجهاد- تشوه) للتربة الرملية المعالجة

يتم خلال تجربة الضغط الحر تسجيل الحمولات الشاقولية والتشوّهات الشاقولية بشكل متزامن. يبين الشكل (19) العلاقة بين الإجهادات الشاقولية والتشوّهات النسبية (% ϵ)، والتي توضح سلوك العينات المحقونة تحت الحمولة المحورية الضاغطة وذلك من أجل نسبتي الخلط الأدنى ($W/CKD=2$) والأعلى ($W/CKD=10$) ومن أجل مدة معالجة (28) يوم.



الشكل (19) منحنيات (الإجهاد - تشوه) للتربة الرملية المعالجة بجميع نسب % (CKD) من أجل نسبتي خلط للمعلق ومدة معالجة (28) يوم

من الشكل (19) نلاحظ أنه:

- قبل الذروة؛ تزداد الإجهادات بشكل خطي تقريباً مع التشوهات حتى بلوغ الذروة التي تمثل بداية الانهيار، والتي تكون عندها المقاومة قصوى وهي مقاومة الضغط الحر (q_u)، وبعد الذروة تتناقص الإجهادات وتستمر التشوهات بالتزايد.
- تتميز المنحنيات التي تمثل العينات المحقونة بنسب مرتفعة من غبار الإسمنت، بزيادة سريعة للإجهادات وبوجود ذروة واضحة، ويبلغ المنحني الذروة عند قيمة منخفضة للتشوّهات، كما يُلاحظ أنه كلما ازدادت نسبة الغبار تتناقص قيمة التشوه الذي يحدث عنده الانهيار وذلك من أجل جميع نسب (W/CKD) المدروسة، ويرجع السبب في ذلك لازدياد صلابة العينة بازدياد نسبة غبار الإسمنت.
- وتتميز المنحنيات التي تمثل العينات المحقونة بنسب منخفضة من غبار الإسمنت بذروة صغيرة نسبياً.

- أما العينات المحقونة بالنسبة (CKD=2%) فنلاحظ أنها انهارت عند قيمة صغيرة للتشوهات مع زيادة بطيئة للاجهادات وذلك بسبب ضعف صلابة العينات المحقونة بهذه النسبة الضعيفة.

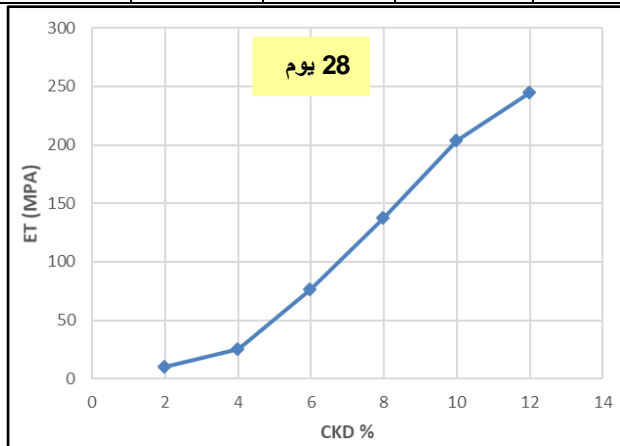
5-1-4. تأثير المعالجة بالحقن على معامل المرونة المماسي الابتدائي (E_t)

تم تعيين معامل المرونة المماسي الابتدائي من ميل المماس الابتدائي لمنحني (الإجهاد-التشوه) الناتج من تجارب الضغط الحر من أجل كل نسبة من النسب المدروسة، وقد لاحظنا أن (E_t) للعينات المعالجة بالحقن يزداد بازدياد مدة المعالجة من أجل جميع نسب غبار الإسمنت المدروسة، وأنه لكل نسبة من نسب غبار الإسمنت المدروسة؛ هناك نسبة ($W:CKD$) معينة تعطي أفضل قيمة للمعامل (E_t) ومن المنطقي أن ($W:CKD$) التي نتج عندها أفضل قيمة لمقاومة الضغط الحر من أجل كل نسبة غبار، هي نفسها التي أعطت أفضل قيمة للمعامل (E_t)، لأن المعامل (E_t) تم تعيينه من منحنيات (الإجهاد-تشوه) لكل نسبة. ويبين الجدول (5) والشكل (20) قيم المعامل (E_t) من أجل كل نسبة من نسب غبار الإسمنت المدروسة ونسبة ($W:CKD$) الأفضل المقابلة لها وذلك من أجل مدة معالجة (28) يوم.

الجدول (5) قيمة معامل المرونة المماسي الابتدائي (E_t) من أجل كل نسبة من نسب % (CKD) ونسبة

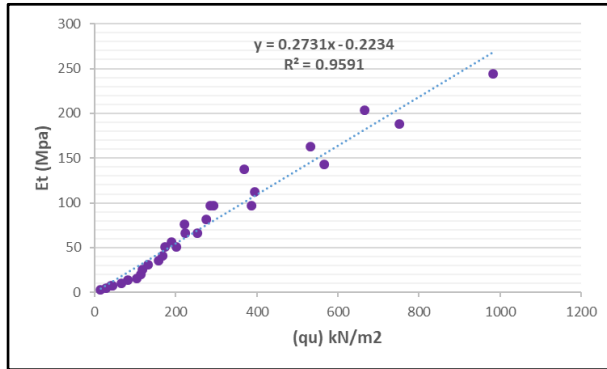
($W:CKD$) الأفضل المقابلة لها عند مدة المعالجة (28) يوم

CKD%	%2	%4	%6	%8	%10	%12
W:CKD	10:1	8:1	6:1	4:1	2:1	2:1
Et (Mpa)	10.19	25.47	76.41	137.54	203.77	244.54
Et _(10%) /Et _(2%)		2.5	7.5	13.5	20	24



الشكل (20). ازدياد قيمة معامل المرونة المماسي (E_t) مع ازدياد نسب (CKD) من أجل نسبة (W:CKD) الأفضل ومدة معالجة (28) يوم

نلاحظ من الجدول (5) والشكل (20) زيادة كبيرة جداً في المعامل (E_t) بازدياد نسبة غبار الإسمنت، ويتضح أن العلاقة بين المعامل (E_t) ونسبة غبار أفران الإسمنت خطية، وخاصةً عندما ازدادت نسبة غبار الإسمنت عن 2%. كما وجدنا أن (E_t) يزداد بازدياد نسبة (CKD) في معلق الحقن من أجل جميع نسب الخلط المدروسة {W:CKD= (2:1, 4:1, 6:1, 8:1, 10:1)} ومن أجل مدتي المعالجة، وذلك لنفس السبب الذي أدى إلى ازدياد مقاومة الضغط الحر (q_u) وهو ازدياد كمية هيدرات سيليكات الكالسيوم، فقد وجدنا أن العلاقة بين مقاومة الضغط الحر (q_u) ومعامل المرونة المماسي (E_t) علاقة خطية بمعامل ارتباط (0.959) كما يبين الشكل (21).



الشكل (21). العلاقة بين مقاومة الضغط الحر (q_u) ومعامل المرونة المماسي الابتدائي (E_t) من أجل جميع نسب (CKD) وجميع نسب (W/CKD) المدروسة ومن أجل مدة معالجة 28 يوم

5-1-5. نمط انهيار العينات المدروسة

سلكت العينات سلوكاً قسيفاً عند الانهيار، وبازدياد نسبة غبار الإسمنت أصبح نمط الانهيار أكثر قسافةً، وهذا مشابه لسلوك الترب الحبيبة المعالجة بالإسمنت، ولقد لاحظنا ثلاثة أنماط للانهيار:

1. النمط الأول: نمط انهيار العينات ذات الصلابة العالية، وهي العينات المحقونة بمعلق ذو القوام الأفضل، ويكون سطح الانهيار على شكل شق واضح يمتد على كامل طول العينة المنهارة، كما هو مبين بالشكل (22,a).

2. النمط الثاني: نمط انهيار العينات ذات الصلابة المنخفضة، وهي العينات المحقونة بمعلق لزج أو رخو، فإن الكسر لا يكون على كامل طول العينة، وإنما يكون فقط من أعلى أو أسفل العينة، كما هو مبين بالشكلين (22,b) و (22,c).

3. النمط الثالث: العينات ذات صلابة متوسطة بين الحالتين السابقتين، أي عندما تكون نسبة (W:CKD) أقل من النسبة الأفضل وأعلى من النسبة الأضعف، ففي هذه الحالات لاحظنا وجود كتلة كالإسفين في أعلى العينة كما يبين الشكل (22,d)، مع الإشارة إلى أن هذا النمط تمت ملاحظته فقط عند الحقن بنسب الغبار العالية (6%, 8%, 10%, 12%).



الشكل (22) الأنماط الرئيسية لشكل الكسر عند الانهيار

5-2. نتائج تجارب القص

أجرينا تجارب القص على عينات التربة الطبيعية، وعلى (180) عينة من التربة المعالجة بالحقن بنسب غبار الإسمنت (2, 4, 6, 8, 10, 12)% ونسب الخلط {W:CKD= (2:1, 4:1, 6:1, 8:1, 10:1)} (90) عينة من أجل مدة معالجة (7) يوم و(90) عينة من أجل مدة معالجة (28) يوم، وتمّ رسم المخططات التي تمثل العلاقة بين الإجهادات النازمة المطبقة والإجهادات القاصة الأعظمية المقابلة لها، وحصلنا على قيمة بارمترتي القص (C, ϕ) من أجل جميع النسب المدروسة [11].

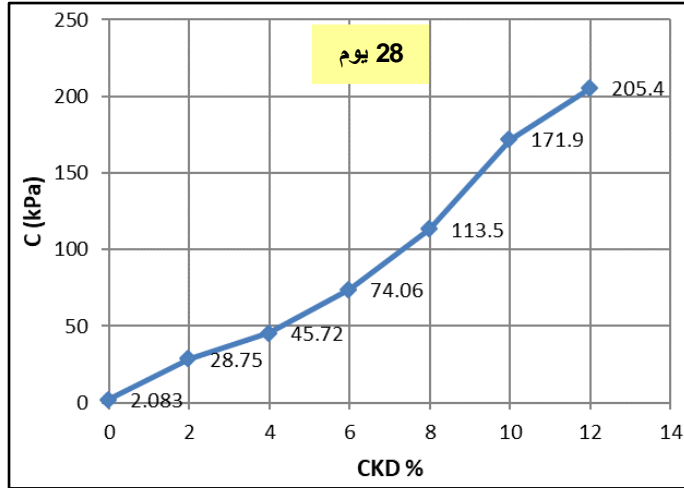
5-2-1. تأثير تغيير نسبة (W:CKD) في معلق الحقن على التماسك من أجل نسب (CKD)% المدروسة ومدتي المعالجة

وجدنا بنتيجة تجربة القص على التربة الطبيعية أن ($\phi = 38.69^\circ$)، وأن $C=2.083$ (kPa) وهو تماسك ظاهري مهمل كون التماسك الحقيقي للرمل المفكك يساوي الصفر، ودرسنا تأثير تغيير نسبة الخلط (W:CKD) ومدتي المعالجة من أجل كل نسبة من نسب غبار الإسمنت المدروسة، على مقاومة وبارامترات القص [11]. حيث وجدنا أن تماسك التربة المعالجة بالحقن يزداد بزيادة مدة المعالجة من أجل جميع نسب غبار الإسمنت [11]، وأنه من أجل كل نسبة % (CKD) هناك نسبة خلط (W:CKD) تعطي أفضل قيمة للتماسك كما يبين الجدول (6) والشكل (23) فقد وجدنا أنّ معلق الحقن يكون بقوامه الأفضل عند نسبة (W:CKD) الأفضل المقابلة لكل نسبة غبار إسمنت، وقبل نسبة (W:CKD) الأفضل يكون لزجاً وبعدها يكون مائعاً.

الجدول (6) قيمة التماسك من أجل نسب % (CKD) ونسبة (W:CKD) الأفضل المقابلة وعند مدة معالجة (28) يوم

CKD%	%0	%2	%4	%6	%8	%10	%12
W:CKD	----	10:1	8:1	6:1	4:1	2:1	2:1
C (kPa)	2.083	28.75	45.72	74.06	113.5	171.9	205.4
C_T/C_N	----	13.80	21.95	35.55	54.49	82.53	98.60

يرمز C_N لتماسك التربة الطبيعية ويرمز C_T لتماسك التربة المعالجة.



الشكل (23). ازدياد قيمة التماسك مع ازدياد نسبة % (CKD) من أجل نسبة (W:CKD) الأفضل ومدة معالجة 28 يوم

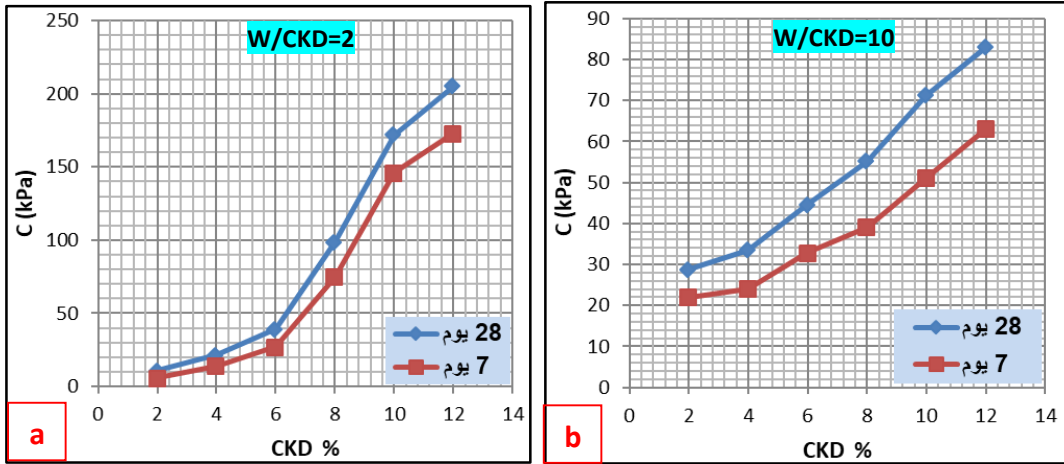
تأثير الحقن بمعلق غبار أفران الإسمنت (CKD) على بعض خصائص التربة الرملية الساحلية

نُلاحظ من الجدول (6) والشكل (23) ازدياد كبير في التماسك خصوصاً عند النسب العالية لغبار الإسمنت، ويُعزى ذلك إلى أن معلق الحقن يتغلغل في فراغات التربة ويملاؤها ثم يتصلب فيقوم بربط حبيبات التربة مع بعضها البعض فتكتسب التربة تماسك تزداد قيمته بازدياد نسبة غبار الإسمنت ومدة المعالجة.

5-2-2. تأثير تغيير نسبة % (CKD) في معلق الحقن على التماسك من أجل نسب (W:CKD) المدروسة ومدتي المعالجة

وجدنا أن التماسك (C) يزداد بازدياد نسبة غبار الإسمنت في معلق الحقن من أجل مدتي المعالجة وجميع نسب (W/CKD) [11].

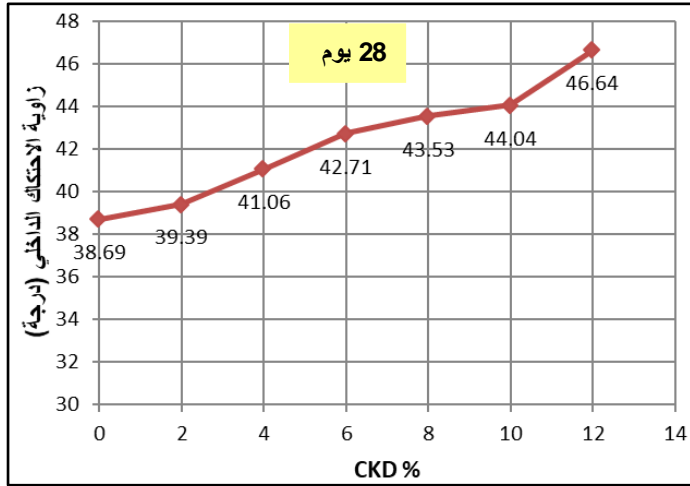
يبين الشكل التالي ازدياد التماسك (C) بازدياد نسبة % (CKD) من أجل نسبي الخلط الأدنى (W/CKD=2) والأعلى (W/CKD=10)، ومن أجل مدتي المعالجة.



الشكل (24). ازدياد التماسك مع ازدياد نسبة % (CKD) من أجل مدتي المعالجة ومن أجل نسبي خلط للمعلق

5-2-3. تأثير تغيير نسبة % (CKD) ونسبة (W:CKD) في معلق الحقن على زاوية الاحتكاك الداخلي (ϕ) من أجل مدتي المعالجة

وجدنا أن (ϕ) تزداد بازدياد نسبة % (CKD) وبازدياد نسبة (W:CKD) وبازدياد مدة المعالجة [11]، ويبين الشكل (25) تغيير قيم (ϕ) مع تغيير % (CKD) من أجل نسب (W:CKD) الأفضل الواردة في الجدول (6)، إذ نلاحظ أن تأثير الحقن على زاوية الاحتكاك طفيف مقارنةً بتأثيره على التماسك.



الشكل (25). ازدياد قيمة زاوية الاحتكاك مع ازدياد نسب (CKD) من أجل نسبة (W:CKD) الأفضل ومدة معالجة (28) يوم

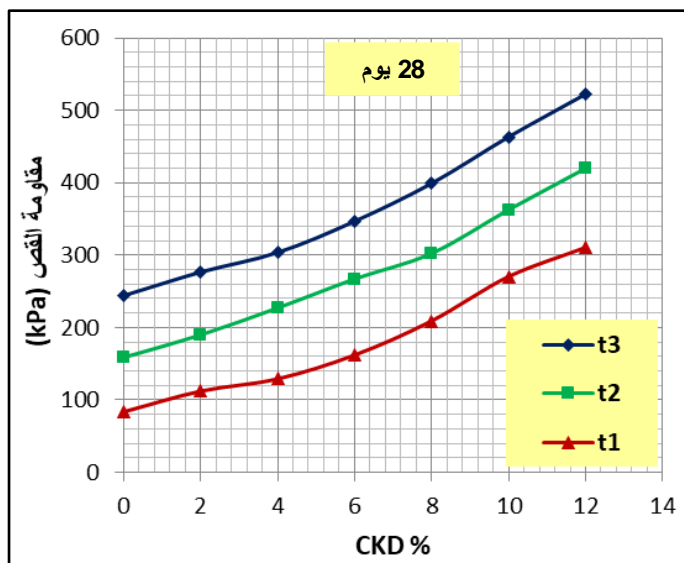
5-2-4. تأثير تغيير نسبة (W:CKD) في معلق الحقل على مقاومة القص من أجل

الإجهادات الناعمة الثلاثة ومن أجل نسب (CKD) المدروسة ومدتي المعالجة وجدنا أنه تزداد قيم مقاومة القص للتربة المعالجة بازدياد مدة المعالجة وذلك من أجل الإجهادات الناعمة الثلاثة ومن أجل جميع نسب (W:CKD) المدروسة [11]. كما وجدنا أنه من أجل كل نسبة (CKD) هناك نسبة (W:CKD) تعطي أفضل قيمة لمقاومة القص كما يبين الجدول (7) والشكل (26).

الجدول (7). قيمة مقاومة القص من أجل نسب (CKD) ونسبة (W:CKD) الأفضل المقابلة لها عند معالجة (28) يوم

CKD%	%0	%2	%4	%6	%8	%10	%12
W:CKD	----	10:1	8:1	6:1	4:1	2:1	2:1
t ₁ (kPa)	84.06	112.5	129.38	162.19	209.06	270	310
t ₂ (kPa)	158.75	190	227.19	267.19	302.5	362.81	420
t ₃ (kPa)	244.38	276.88	303.75	346.88	399.06	463.44	521.88

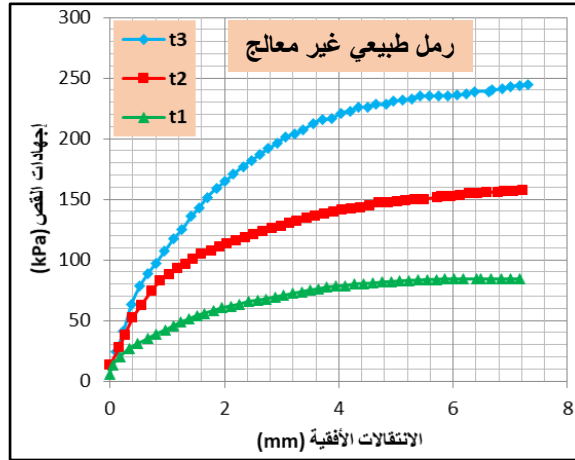
حيث (t₁, t₂, t₃) إجهادات القص المقابلة للإجهادات الناعمة (100, 200, 300 kN/m²) على التوالي.



الشكل (26). ازدياد مقاومة القص بازدياد نسب % (CKD) من أجل نسب (W:CKD) الأفضل ومدة معالجة (28) يوم

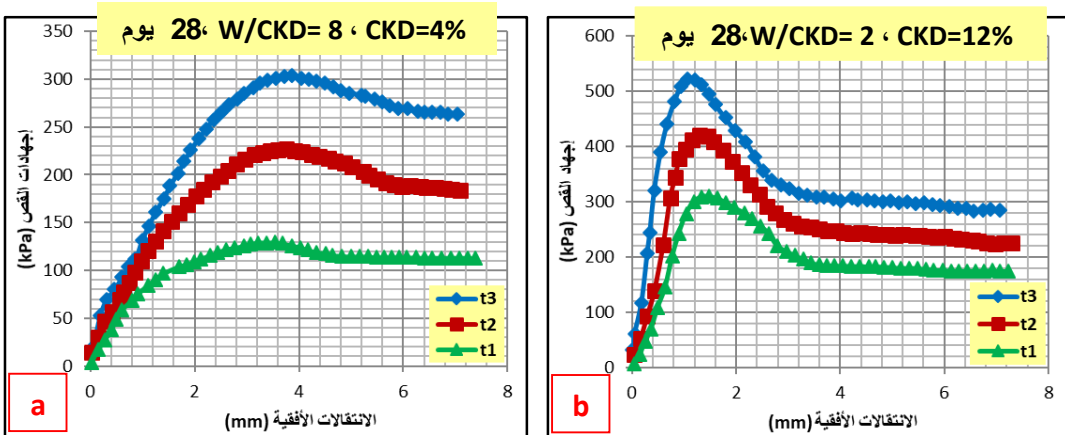
نلاحظ من الجدول (7) والشكل (26) ازدياد مقاومة القص بازدياد نسبة غبار الإسمنت، وتُعزى الزيادة الحاصلة في مقاومة القص لتغلغل معلق الحقن الذي يملأ الفراغات ويحسن الترابط والتلاصق بين جزيئات التربة مما يؤدي لزيادة قيم مقاومة القص بحسب قيمة غبار الإسمنت. كما وجدنا أن قيم مقاومة القص تزداد بازدياد نسبة % (CKD) وذلك من أجل الإجهادات النازمية الثلاثة ومن أجل جميع نسب (W:CKD) ومن أجل مدتي المعالجة [11].

5-2-5. منحنيات (الإجهاد- تشوه) للتربة الرملية الطبيعية والتربة الرملية المحقونة يتم خلال تجربة القص المباشر تسجيل التشوهات الأفقية والتشوهات الشاقولية والقوى القاصة بشكل متزامن.



الشكل (27) منحنيات (الإجهاد- تشوه) للتربة الرملية الطبيعية قبل المعالجة

يبين الشكل (27) أنه في حالة التربة الطبيعية المفككة تتزايد الإجهادات القاصة (T_1, T_2) مع تزايد التشوهات الأفقية حتى حصول الانهيار؛ إذ تصل العينة للمقاومة القصوى عند قيمة مرتفعة للتشوهات. ويبين الشكل (28) منحنيات (الإجهاد-تشوه) لعينات التربة الرملية المحقونة من أجل نسبي غبار الإسمنت ($CKD=4\%$) و ($CKD=12\%$) عند نسبة مزج المعلق ($W:CKD$) الأمثل المقابلة لكل نسبة غبار، ومن أجل مدة معالجة (28) يوم.



الشكل (28) منحنيات (الإجهاد - تشوه) للتربة الرملية المعالجة ببعض نسب $(CKD)\%$ ونسبة (W/CKD) الأمثل المقابلة لكل نسبة غبار إسمنت

تأثير الحقن بمعلق غبار أفران الإسمنت (CKD) على بعض خصائص التربة الرملية الساحلية

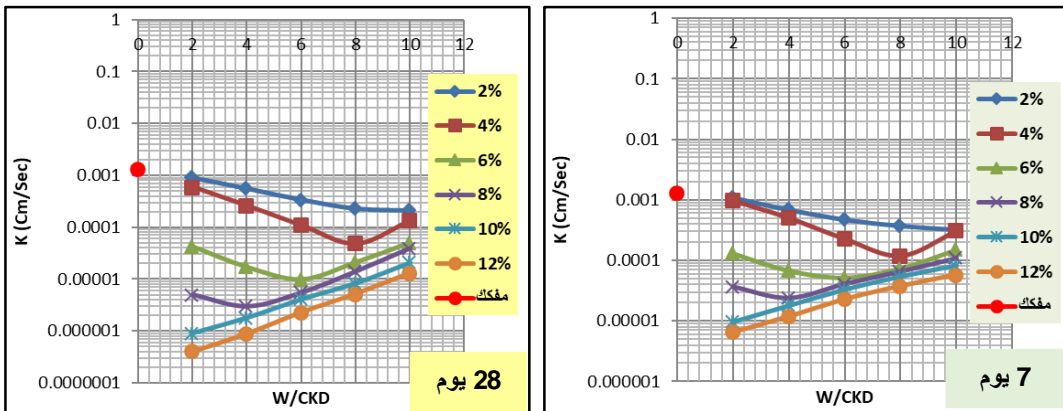
يُظهر الشكل (28,a) أنه من أجل النسبة المنخفضة (CKD=4%) تتزايد الإجهادات القاصة مع تزايد التشوهات الأفقية حتى بلوغ ذروة صغيرة نسبياً تكون عندها المقاومة قصوى، ثم تعاود الإجهادات الانخفاض وتثبت عند قيمة أصغر بقليل من الذروة التي تمثل بداية الانهيار.

أما العينات المحقونة بنسبة غبار عالية (CKD=12%) فتتميز المنحنيات التي تمثلها بوجود ذروة واضحة الشكل (28,b)، كما تتميز بزيادة سريعة للإجهادات القاصة إذ تبلغ المنحنيات الذروة عند قيمة منخفضة نسبياً للتشوهات، وبعد الذروة تستمر التشوهات بالتزايد أما الإجهادات فتتناقص إلى قيمة ثابتة تقريباً. كما نلاحظ أنه قبل الذروة تزداد قيم إجهادات القص بشكل خطي تقريباً مع التشوهات الأفقية وقد لاحظنا ذلك بوضوح عند نسب % (CKD) العالية، وذلك يُعزى للتلاصق بين جزيئات الرمل الذي يسببه الحقن بمعلق غبار الإسمنت فيجعل التربة المحقونة تتمتع بخواص جديدة جيدة.

3-5. نتائج تجارب النفاذية

نبيّن فيما يلي نتائج تجارب النفاذية المنجزة على التربة الطبيعية، وعلى عينات التربة الرملية المعالجة.

3-5-1. تأثير تغيير نسبة (W:CKD) في معلق الحقن على معامل النفاذية (K) من أجل نسب % (CKD) المدروسة ومدتي المعالجة



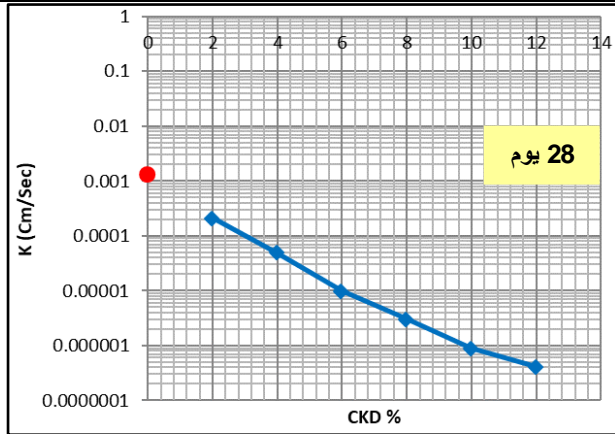
الشكل (29). تغير معامل لنفاذية بازدياد نسبة (W/CKD) من أجل نسب % (CKD) المدروسة ومدتي معالجة

من الشكل (29) نلاحظ أنه: ينخفض معامل النفاذية (K) للعينات المعالجة بازدياد مدة المعالجة من أجل جميع نسب غبار الإسمنت المدروسة، وسبب ذلك إتمام عملية التفاعل [18,19]. كما نلاحظ أنه لكل نسبة من نسب غبار الإسمنت المدروسة؛ هناك نسبة (W:CKD) معينة هي النسبة الأفضل والتي تؤدي لأفضل تخفيض في معامل النفاذية، إذ يكون عندها معلق حَقن بقوامه الأفضل كما هو مبين في الجدول (8) وفي الشكل (30). وعندما تقل نسبة (W/CKD) عن النسبة الأفضل فإن المعلق يكون لزجاً وكميته غير كافية لإخراج الهواء من فراغات التربة، كما أن اللزوجة العالية للمعلق تمنعه من التغلغل جيداً بين حبيبات التربة الرملية مما يؤدي لازدياد معامل النفاذية (K).

الجدول (8) قيمة معامل النفاذية (K) من أجل كل نسبة من نسب (CKD)% ونسبة (W:CKD) الأفضل

المقابلة لها عند مدة المعالجة (28) يوم

CKD%	2	4	6%	8%	10%	12%
W:CKD	10:1	8:1	6:1	4:1	2:1	2:1
K (cm/sec)	2.1×10^{-4}	4.9×10^{-5}	9.9×10^{-6}	3×10^{-6}	9×10^{-7}	4.1×10^{-7}

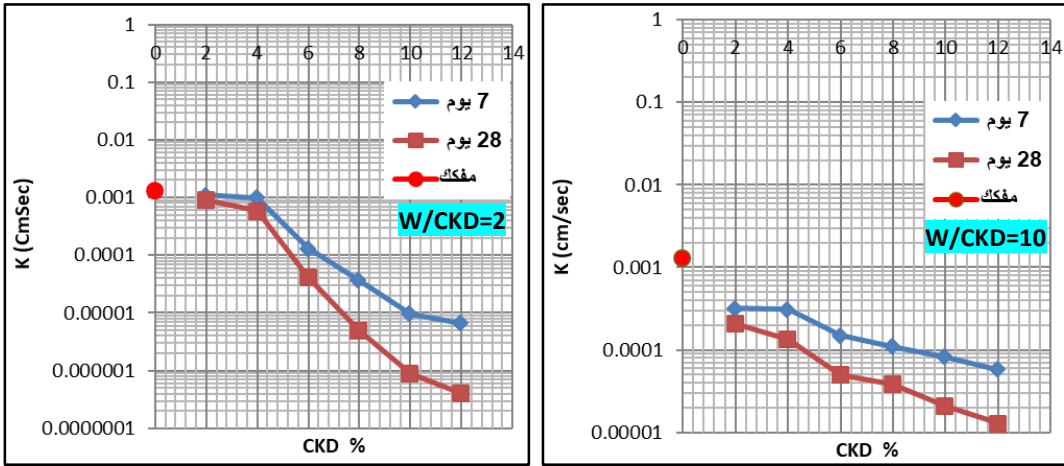


الشكل (30). انخفاض معامل النفاذية مع ازدياد نسبة (CKD)% من أجل نسبة (W:CKD) الأفضل المقابلة لكل نسبة غبار إسمنت ومن أجل مدة معالجة 28 يوم

نلاحظ من الجدول (8) والشكل (30) انخفاض كبير جداً في معامل النفاذية خصوصاً عند النسب العالية لغبار أفران الإسمنت، وذلك بسبب ازدياد المادة الفعالة الرابطة (C-S-H) التي تملأ فراغات التربة وتتصلب مما يؤدي لتكثيم التربة الرملية المعالجة بالحقن بغبار أفران الإسمنت.

5-3-2. تأثير تغيير نسبة % (CKD) في معلق الحقن على معامل النفاذية من أجل نسب (W:CKD) المختلفة ومدتي المعالجة

وجدنا بنتيجة التجارب أنه ينخفض معامل النفاذية (K) بازدياد مدة المعالجة وبازدياد نسبة % (CKD) في معلق الحقن من أجل جميع نسب الخلط المدروسة {W:CKD= (2:1, 4:1, 6:1, 8:1, 10:1)} ويبين الشكل التالي انخفاض (K) بازدياد نسبة % (CKD) من أجل نسبي الخلط الأدنى (W/CKD=2) والأعلى (W/CKD=10)، ومن أجل مدتي المعالجة.



الشكل (31). انخفاض معامل النفاذية بازدياد نسبة % (CKD) من أجل مدتي معالجة ومن أجل نسبي خلط للمعلق

من الشكل السابق نلاحظ أنه ينخفض معامل النفاذية بشكل واضح خلال الأيام السبعة الأولى، كما نلاحظ أن تأثير مدة المعالجة أكثر أهمية عند نسب غبار الإسمنت العالية مقارنةً بنسب الغبار المنخفضة، وهذا منطقي فبازدياد المادة الرابطة يكون تأثير مدة المعالجة مفيداً بشكل أكبر [18,19].

كما نلاحظ انخفاض كبير في معامل النفاذية بازدياد نسبة غبار الإسمنت في معلق الحقن ويزداد الانخفاض حدةً بازدياد نسبة غبار الإسمنت المئوية، يُعزى التخفيض الحاصل في النفاذية إلى أن غبار الإسمنت يتغلغل في فراغات التربة ويملاها ثم يتصلب فيقوم بتكثيم التربة وتتنخفض النفاذية.

5-4. التحقق من جودة الحقن

تم التأكد من تغلغل وتجانس معلق الحقن في كامل العينة المحقونة بالطرق التالية:
1. من خلال الصورة المجهرية لعينة محقونة والتي أظهرت تغلغل معلق الحقن ضمن فراغات التربة وانتشاره أفقياً ووصوله لأطراف العينة الشكل (32).



الشكل (32): صورة مجهرية لتغلغل معلق الحقن في عينة التربة الرملية بعد مدة معالجة (28) يوم
2. من خلال مراقبة انتشار معلق الحقن بالاتجاهين الشاقولي والأفقي للعينات المحقونة، وذلك باستخدام جهاز تم تصميمه خصيصاً لهذا الغرض ميبين في الشكل (33)، يتألف من: أسطوانة مصنوعة من بلاستيك عالي المتانة (كلوريد بولي فينيل CPVC) بقطر داخلي (30)cm وارتفاع (30) cm، وذراع متحرك متصل بسلسلة معدنية لرفع الأسطوانة البلاستيكية المحيطة بالعينة المحقونة بسهولة، مُحَدَّد معدني دائري لتحديد مكان وشاقولية أنبوب الحقن، وغطاء لتغطية العينة أثناء عملية الحقن.



الشكل (33): جهاز دراسة انتشار معلق الحقن

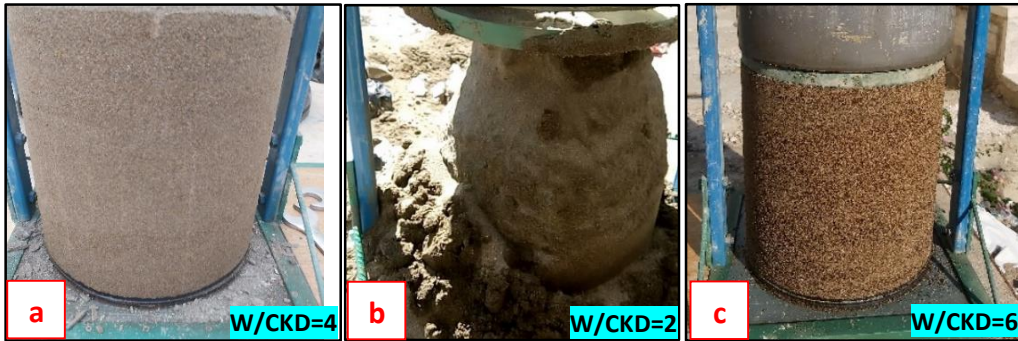
تأثير الحقن بمعلق غبار أفران الإسمنت (CKD) على بعض خصائص التربة الرملية الساحلية

حيث تم دهن الأسطوانة البلاستيكية من الداخل بالزيت المعدني من أجل سهولة سحبها عن العينة ومن ثم تمت عملية الحقن كما ورد في الفقرة (4-3) ولكن باستخدام خرطوم حقن وحيد وأنبوب حقن وحيد كي نتحقق من انتشار معلق الحقن حتى الأطراف، وبعد عملية الحقن بمدة معالجة (28) يوم، تم سحب الأسطوانة للأعلى بسهولة وبالتالي تمت مراقبة شكل وأبعاد الكتلة المحقونة، وقد وجدنا أنه:

عند نسبة (W:CKD) الأفضل والتي يكون عندها معلق حقن بقوامه الأفضل؛ فإن قطر انتشار الحقن يكون كاملاً، ومساوياً لقطر الأسطوانة البلاستيكية أي أن معلق الحقن انتشر بشكل جيد أفقياً وشاقولياً، كما هو مبين في الشكل (a, 34).

أما عندما تقل نسبة (W:CKD) عن النسبة الأفضل فإن المعلق يكون لزجاً، وقد لاحظنا أن قطر انتشار الحقن في هذه الحالة أصغر من قطر الأسطوانة البلاستيكية، ولا يصل الحقن لأطراف الأسطوانة بسبب لزوجة المعلق، كما هو مبين في الشكل (b, 34).

وعند ازدياد نسبة (W:CKD) عن النسبة الأفضل يصبح المعلق مانعاً ورخواً وقد وجدنا في هذه الحالة أن قطر انتشار الحقن يكون كاملاً، ومساوياً لقطر الأسطوانة، ولكن مقاومة الضغط الحر والقص أقل من المقاومة الأعظمية كما ورد أعلاه في ثنايا هذه المقالة، أي أن ميوعة وسيولة المعلق أمنت تغلغله وسهلت انتشاره أفقياً بشكل تام ولكن المقاومة انخفضت بسبب نزف حبيبات الغبار مع الماء الزائد، الشكل (c, 34).

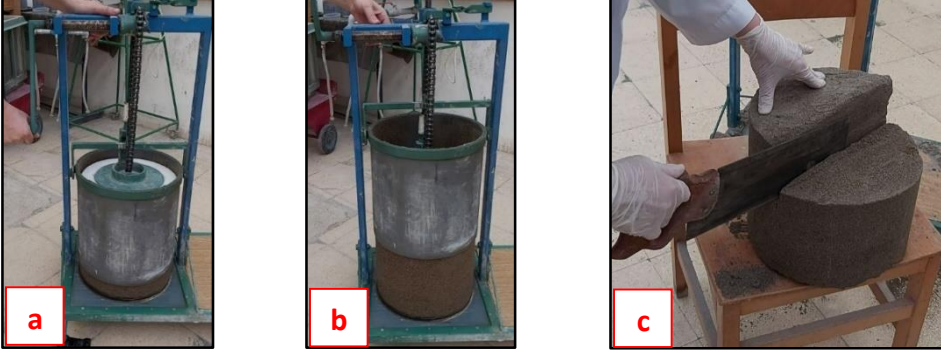


الشكل (34). انتشار الحقن أفقياً لعينة محقونة بالنسبة (CKD=8%) من أجل نسب (W/CKD)

مختلفة

3. من خلال إجراء مقاطع طولية وعرضية في العينة المحقونة بنسبة (W/CKD) الأفضل: فبعد رفع غطاء العينة باستخدام الذراع المتحرك تم قص العينة بالاتجاه

الشاقولي والاتجاه العرضي؛ كما هو مبين في الشكل (35)، ولاحظنا بوضوح أنّ معلق الحقن انتشر بشكل متجانس في كافة أنحاء التربة المحقونة.



الشكل (35). مراحل إجراء المقاطع الطولية والعرضية في عينة معالجة بالحقن بنسبة (W/CKD) الأفضل

5-5. مناقشة النتائج

بيّنت النتائج الواردة في الجداول والأشكال السابقة أنّ التربة الرملية الطبيعية اكتسبت مقاومة عالية على الضغط الحر وزيادة كبيرة في معامل المرونة المماسي بعد الحقن بمعلق غبار أفران الإسمنت، كما بيّنت تحسناً كبيراً جداً في التماسك ومقاومة القص وأيضاً انخفاضاً ملحوظاً بالنفاذية وسبب ذلك اكتمال الفترة الزمنية اللازمة لإتمام عملية التفاعل [18,19]، وأيضاً بسبب التلاصق بين جزيئات الرمل الناتج عن الحقن بمعلق غبار الإسمنت، ويحدث التلاصق نتيجةً لتشكل هيدرات سيليكات الكالسيوم (C-S-H) التي تقوم بملء الفراغات وربط حبيبات الرمل ببعضها البعض ومن ثم تتصلب، مما يجعل التربة المحقونة تتمتع بخواص جديدة وكأنها مادة وسطية بين الرمل والبيتون [9]، تتوافق نتائج البحث مع أبحاث سابقة درست تحسين ترب رملية بالحقن بمعلق الإسمنت كما سبق وأشرنا أثناء عرض النتائج، مما يدل على أنّ فعالية غبار الإسمنت تشبه فعالية الإسمنت في تحسين خصائص الترب الرملية، فغبار الإسمنت مشابه إلى حد كبير للإسمنت البورتلاندي العادي خاصةً في محتوى (CaO) و (SiO₂) مما يجعله مؤهلاً لإنتاج مواد لاصقة رابطة جيدة عند تفاعله مع الماء، إضافةً لكونه يتميز عن الإسمنت بأنه أكثر نعومة مما يسمح لمعلق غبار الإسمنت بالتغلغل في فراغات الترب التي لا

يمكن لمعلق لإسمنت أن يدخل فراغاتها، مما ينعكس إيجاباً على جودة الحقن التي تعتمد بشكل رئيسي على تغلغل معلق الحقن ضمن فراغات التربة [2]. كما وجدنا أن لنسبة الماء لغبار الإسمنت (W/CKD) دور رئيسي مؤثر على انتشار وتغلغل الحقن أفقياً وشاقولياً، مما يؤكد أهمية تأثير قوام معلق الحقن على جودة الحقن.

6- الاستنتاجات

بالاستناد على النتائج التجريبية التي وردت في هذه المقالة يمكن تلخيص النتائج كالتالي:

- مادة غبار أفران الإسمنت، والتي تعد مادة غير تقليدية وحديثة العهد في الاستخدام لتحسين ترب التأسيس، ذات كفاءة عالية في تحسين خصائص التربة الرملية الساحلية.
- إن نسبة خلط المعلق (غبار إسمنت: ماء) (W:CKD) لها تأثير كبير على جودة وفعالية الحقن، فقد وجدنا أنه من أجل كل نسبة من نسب (CKD) هناك نسبة خلط مثلى (W:CKD)، ينتج عن الحقن بها أفضل قيم للخصائص المدروسة وأفضل انتشار وتوزع لمعلق الحقن، وسبب ذلك أن معلق الحقن يكون بقوامه الأفضل عند نسبة (W:CKD) الأمثل.
- تأثير مدة المعالجة أكثر أهمية عند نسب % (CKD) العالية مقارنة بالنسب المنخفضة.

- اكتسبت التربة المعالجة مقاومة عالية للضغط الحر (qu) وزيادة كبيرة في معامل المرونة المماسي (Et)، وازدادت قيم (qu) و (Et) بشكل كبير عند الحقن بالنسب العالية لـ % (CKD)، وأيضاً بازدياد مدة المعالجة.
- ازدادت قيم مقاومة الضغط الحر (qu) وقيم معامل المرونة المماسي (Et) للتربة الرملية المعالجة بالحقن بنقصان النسبة (W:CKD) في معلق الحقن ويظهر ذلك بوضوح عند نسب % (CKD) العالية.
- تتميز منحنيات (الإجهادات الشاقولية-التشوهات النسبية) الناتجة عن تجارب الضغط الحر على العينات المحقونة بنسب غبار الإسمنت العالية؛ بوجود ذروة واضحة. أما منحنيات (الإجهادات الشاقولية-التشوهات النسبية) للعينات المحقونة بنسب الغبار المنخفضة فتكون ذروتها صغيرة نسبياً، ويتناقص التشوه الشاقولي الذي يتم عنده الانهيار بازدياد نسبة غبار الإسمنت.
- تسلك العينات عند الانهيار سلوكاً قسيفاً (Brittle) ويزداد قسافةً بازدياد نسبة غبار الإسمنت، ويكون شق الانهيار واضح وعلى كامل طول العينة عندما يكون معلق الحقن بقوامه الأفضل.
- تزداد قيم التماسك وقيم مقاومة القص للتربة الرملية المعالجة بالحقن بازدياد نسبة % (CKD) في معلق الحقن وبازدياد مدة المعالجة وبانخفاض نسبة (W:CKD) في معلق الحقن. وتكون نسبة الزيادة في التماسك عالية جداً عند النسب العالية لـ % (CKD).
- تزداد قيم زاوية الاحتكاك الداخلي (ϕ) بازدياد كل من: نسبة % (CKD) ونسبة (W/CKD) في معلق الحقن ومدة المعالجة. ولكن الزيادة في قيمة (ϕ) طفيفة عند نسب % (CKD) المنخفضة.
- إن علاقة (إجهادات القص - التشوهات الأفقية) خطية قبل الذروة، وتظهر الذروة بوضوح عند نسب % (CKD) العالية.

- انخفضت نفاذية التربة الرملية المعالجة بالحقن بازياد نسبة % (CKD) في معلق الحقن ويازياد مدة المعالجة وياخفض نسبة (W/CKD) في معلق الحقن، وياخفض معامل النفاذية بشكل ملحوظ وهام عند الحقن بنسب غبار الإسمنت العالية.

7- التوصيات

1- استخدام غبار أفران الإسمنت المنتج في معامل الإسمنت في سوريا لتحسين خصائص ترب التأسيس الرملية كبديل متوفر وجيد وغير مكلف اقتصادياً لمادة الإسمنت البورتلاندي العادي.

2- استخدام تقنية الحقن لتحسين خصائص الترب الرملية المفككة فهي تقنية فعالة واقتصادية.

3- القيام بأبحاث إضافية لمعرفة تأثير الحقن بمعلق غبار أفران الإسمنت على أنواع أخرى من الترب.

4- القيام بأبحاث لمعرفة تأثير إضافة المواد الكيميائية لمعلق الحقن المدروس على سلوك الترب المحقونة.

شكر وتقدير

يود الباحثون تقديم الشكر الجزيل لرئاسة جامعة تشرين ولإدارة معمل إسمنت طرطوس لتقديمهم التسهيلات اللازمة لإجراء هذا البحث.

المراجع

- [1] ADASKA. W. S and TAUBERT. D. H, 2008- **Beneficial uses of cement kiln dust**, 50th Cement Industry Technical Conference IEEE-IAS, USA, May 19-22, Paper No. 1627.
- [2] AKBULUT. S and SAGLAMER. A, 2002- **Estimating The Groutability of Granular Soils: A New Approach**, Tunnelling and underground space technology, 17(4), 371-380.
- [3] AL-REFEAI. T. O and AL-KARNI. A. A, 1999- **Experimental Study on the Utilization of Cement Kiln Dust for Modification**, J. King Soud University Eng. Sci, Vol. 11, No. 2, 217-232.
- [4] **American Society for Testing and Materials**, 2015- ASTM Standard C33, Vol. 04.08 Soil and Rock (I); D420-D5876.
- [5] AVCI. E and MOLLAMAHMUTOĞLU. M, 2016- **UCS properties of superfine cement-grouted sand**, Journal of Materials in Civil Engineering, 28(12),06016015.
- [6] CHANG. M. H, MAO. T. W and HUANG. R. C, 2016- **A Study on the Improvements of Geotechnical Properties of In-Situ Soils by Grouting**, Geomech Eng, Vol. 10, No. 4, 527-546.
- [7] CHOO. H, LEE. W and LEE. C, 2018- **Overconsolidation and Cementation in Sands: Impacts On Geotechnical Properties and Evaluation Using Dilatometer Tests**, Geotechnical Testing Journal, 41(5), 915-929.
- [8] CHOO. H, NAM. H and LEE. W, 2017- **A Practical Method for Estimating Maximum Shear Modulus of Cemented Sands Using Unconfined Compressive Strength**, Journal of Applied Geophysics, 147, 102-108.
- [9]DANO. C, HICHER. P. Y and TAILLIEZ. S, 2004- **Engineering properties of grouted sands**, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 130(3), 328-338.
- [10] DAYAKAR. P, MARTINLUTHER. S and ARUNYA. A, 2012- **Study on Effect of Cement Based HPMC Grout on**

- bearing capacity of coarse grained**, International Journal of Computer & Organization Trends, Vol. 2. No. 5, 20-28.
- [11] FAYAD. T, ALABDEH. R and ALSAKR. F, 2020-**A study on the Effect of Grouting with Cement Kilns Dust (CKD) on the Shear Strength of Coastal Sandy Soils**, Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies, Vol. 42, No. 6, 183-202.
- [12] GANTA. S, 2017- **Improvement of Bearing Capacity of Sandy Soil by Grouting**, (IJITR), Vol. 5, No. 5, 7267-7270.
- [13] HAWKINS. G. J, BHATTY. J. I and OHARE. A. T, 2003-**Cement kiln dust production, management and disposal**, R & D Serial No. 2327, Portland Cement Association, Skokie, Illinois.
- [14] IBRAGIMOV. M. N, 2017- **Soil Stabilization with Cement Grouts**, Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 42, No. 2, 67-72.
- [15] KUMAR. S.T.G, ABRAHAM. B. M, SRIDHARAN. A and JOSE. B.T, 2013- **Improvement of shear strength of loose sandy soils by grouting**, Indian Geotech J, 44(3),234-240
- [16] KUMAR, A and SINGH. A.K, 2017- **Stabilization of Soil using Cement Kiln Dust**, international Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology.Vol.6, No. 6,11631-11637.
- [17] MARKOU. I. N and DROUDAKIS. A. I, 2013- **Factors Affecting Engineering Properties of Microfine Cement Grouted Sands**, Geotechnical and Geological Engineering, Vol. 31, No. 4, 1041-1058.
- [18] MASLEHUDDIN. M, AL-AMOUDI. O.S.B, REHMAN. M.K, ALI. M.R and BERRY. M.S, 2009- **Properties of Cement Kiln Dust Concrete**, Construction and Building Materials, Vol. 23, No. 6, 2357-2361.
- [19] MASLEHUDDIN. M, AL-AMOUDI. O.S.B, SHAMEEM. M and REHMAN. M.K, 2008-**Usage of Cement Kiln Dust in Cement Products – Research Review and Preliminary Investigations**, Construction and Building Materials, Vol. 22, 2369-2375.
- [20] MILLER. G.A and AZAD, S. 2000- **Influence of Soil Type on Stabilization with Cement Kiln Dust**, Construction and Building Materials, Vol. 14, 89-97.

- [21] MILLER. G. A and ZAMAN. M, 2000- **Field and Laboratory Evaluation of Cement Kiln Dust as A Soil Stabilizer**, Transportation Record Bored, TRB, National Research Council, Washington, D.C., No.1714, 25-32.
- [22] MOLLAMAHMUTOGLU. M and AVCI. E, 2015- **Effectiveness of Microfine Portland Cement Grouting On the Strength and Permeability of Medium to Fine Sands**, Periodica Polytechnica Civil Engineering, 59(3), 319-326.
- [23] OZGUREL. H. G and VIPULANANDAN. C, 2005- **Effect of Grain Size and Distribution on Permeability and Mechanical Behavior of Acrylamide Grouted Sand**, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 131(12), 1457-1465.
- [24] RAJU. V.R, VALLURI. S, 2008- **Practical Application Of Ground Improvement**, Symposium on Engineering of Ground & Environmental Geotechniques (SEG2).
- [25] RAMAN. K. V, DAYAKAR. P and RAJU.K. V. B, 2016- **Improvement of sandy soil by low pressure grouting using cement grout**, Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences, JCPS, Vol. 9, No. 2, 190-194.
- [26] ROY. S and BHALLA. S. K, 2017- **Role of Geotechnical Properties of Soil in Civil Engineering Structures**, Resources and Environment, 7(4),103-109.
- [27] VENKATRAMAN.K, DAYAKAR. P and VENKATAKRISHNAIAH. R, 2018- **Study on Permeation Grouting in Coarse Grained Soil with Cement Chemical Grout (Sodium Silicates)**, International Journal of Pure and Applied Mathematics, Vol. 119, No. 12, 9289-9300.

