تحسين الخواص الهندسية للتربة الرملية(A-3) بإضافة غبار المحاجر

عبدالنادر خليل الدبار[1]، اسامة محمد محمد خليفة[2]، عبدالمطلب محمد حميدان[3]

1- كلية الهندسة قسم الهندسة المدينة جامعة الزيتونة Nader.kh86@gmail.com

2- ماجستير هندسة بيئية. جهاز تنفيد وإدارة الطرق الحديدية فرع تاجوراء

Ohisnawy90@gmail.com

3- قسم التقنية المدنية المعهد العالي للتقنيات الهندسية غريان

Abdulmtaleb.ahmidan@gmail.com

Abstract

Sandy soil, which has structural problems such as collapses, and its worst behavior is mechanical, since it is characterized by the small size of its grains, the regularity of its gradation, its cohesionless, and some other problems of erosion and weathering by various natural factors such as wind and water. And due to the fact that sandy soils of various types cover large areas in the Jafara Plain, Zuwara, and coastal Tripoli, where various projects are being implemented in these areas, which are distinguished by their geographical locations and wide areas.

In this research, soil stabilization will be addressed using quarry dust, as rock or quarry dust is considered a residual of the aggregate manufacturing products. Rock dust was added and mixed to that sandy soil in the following proportions (1, 3, 5, 10, 15)% It improves the property of cohesion between soil particles, making it more stable and able to resist erosion and weathering factors. The laboratory results indicated the possibility of improving the geotechnical properties of the sandy soil, where it was found that the ability of the sandy soil to compaction improves by adding rock dust in specific proportions to it, and as such, the dry density increases with the increase in the percentage of the added substance.

Keywords: sandy soil (A-3), quarry dust, engineering properties, dry density, California Bearing Ratio.

 Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

الملخص

التربة الرملية والتي بها مشاكل إنشائية من انهيارات و أسوأها سلوكا ميكانيكيا حيت أنها تتميز بصغر حجم حبيباتها وانتظام تدرجها وعدم تماسكها وبعض المشاكل الأخرى من الانجراف والتعرية بالعوامل الطبيعية المختلفة كالرياح والمياه. ونظرا لكون التربة الرملية بأنواعها المختلفة تغطي مساحات كبيرة في منطقة سهل الجفارة و زوارة وطرابلس الساحلية وحيث يتم تنفيذ المشاريع المختلفة في هذه المناطق التي تتميز بمواقعها الجغرافية ومساحاتها الشاسعة.

وفي هذا البحث سيتم التطرق إلى تثبيت التربة باستخدام غبار المحاجر حيث يعتبر غبار الصخور او المحاجر من مخلفات نواتج تصنيع الركام. تمت إضافة وخلط غبار الصخور إلى تلك التربة الرملية بالنسب الآتية [1، 3، 5، 10، 15] % يعمل على تحسين خاصية التماسك بين حبيبات التربة مما يجعلها أكثر ثباتا وقدرة على مقاومة عوامل الانجراف والتعرية. دلت النتائج المعملية على إمكانية تحسين الخواص الجيوتقنية للتربة الرملية حيت وجد أن قابلية التربة الرملية للدمك تتحسن بإضافة غبار الصخور بنسب محددة إليها وكدلك فإن الكثافة الجافة تزداد بزيادة نسبة المادة المضافة.

الكلمات الدالة: التربةالرملية(A-3),غبار المحاجر,الخواص الهندسية, الكثافة الجافة, نسبة تحميل كالفورنيا

المقدمة

1- المقدمة

التربة الرملية والتي تعرف ايضاً بتربة الانهيارية **(Collapsing soil)** هي نوع من أنواع التربة التي بها مشاكل إنشائية من انهيارات **(Punching failure)** وهبوطات (**Settlements**) وبعض المشاكل الأخرى. ونظرًا لكون التربة الرملية بأنواعها المختلفة تغطى مساحات كبيرة ومواقع ذات أهمية جغرافية في ليبيا حيث تتواجد التربة الرملية في منطقة سهل الجفارة وزوارة وطرابلس وكثيرا من مناطق ليبيا الساحلية والشرقية والجنوبية. وحيث يتم تنفيذ المشاريع المختلفة في هذه المناطق التي تتميز بمواقعها الجغرافية ومساحاتها الشاسعة حيث أن التربة الرملية في بعض المناطق تكون غير مناسبة لإنشاء المشاريع الهندسية

 Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

عليها وهذا الأمر يتطلب استبدال التربة أو معالجتها وتحسين من خواصها من خلال تثبيتها ورفع قيم خواصها الهندسية حيث يتسنى استخدامها وإنشاء مشاريع هندسية عليها وغالبًا ما نلجأ إلى تحسينها عندما يكون استبدالها مكلفاً جدا **[1]**.

وفي هذا البحث سيتم التطرق الي تثبيت التربة **(Soil stabilization)** ومعالجتها باستخدام غبار الصخور (غبار المحاجر– **Dust quarry**) حيث يعتبر غبار الصخور او المحاجر من مخلفات نواتج تصنيع الركام والاساس الحبيبي **(Base course)** بمصانع التكسير المختلفة والذي ينتشر على مساحات شاسعة مسبباً مشاكل بيئية كبيرة على الطبيعة وصحة الانسان. يهدف البحث الى دراسة التربة الرملية الموجودة في منطقة سهل الجفارة (الجميل) والتي تعتبر من التربة الرملية ضعيفة التدرج **(Poorly graded)** ذات المشاكل والغير صالحة هندسياً**[2]**. حيث سوف تم إضافة وخلط غبار الصخور إلى تلك التربة الرملية بالنسب الآتية [1، 3، 5، 10، 15] % على أن يتمّ إمكانية الاستفادة من إضافة غبار الصخور كمادة مثبتة للتربة الرملية ضعيفة التدرج معتمدين في ذلك على التجارب المعملية لخواص ومميزات المادة المثبتة (غبار الصخور) مع التربة الرملية. حيث تم إجراء عدد من الاختبارات المعملية عند زمن وظروف معالجة معينة متبعين في ذلك المواصفات الامريكية [**AASHTO&ASTM**] لكل اختبار وذلك لدراسة مدى تأثير غبار الصخور من مخلفات المحاجر على خواص الدمك وقيم نسبة تحمل كاليفورنيا [**CBR**] **[2]**.

2– المواد المستخدمة في موقع الدراسة

2–1– التربة في موقع الدراسة

التربة فى موقع الدراسة توصف جيولوجياً على أنها تربة رملية ناعمة مع نسبة قليلة من الغرين الطمى مفككة بالكامل ونسبة رطوبة قليلة طبيعية فى عدم وجود الحصى وكثافتها من منخفضة إلى عالية ولونها من بني إلى بني فاتح وعديمة المرونة الشكل التالي يوضح شكل التربة الطبيعية كطبقة تحت السطحية قريبة من السطح فى موقع الدراسة بعمق (0.2 متر).

Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

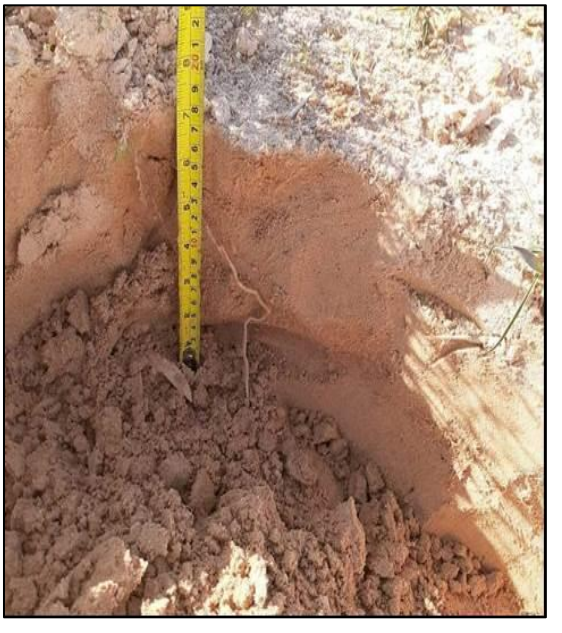
التربة المستخدمة فى موقع الدراسة هى تـربة رملية ناعمة منتظمة التدرج وتصنف على أنها تربة (A–3) طبقا لنظام اشتو(AASHTO).

(American Association of State Highway and Transportation Officials)

تربة رملية رديئة التدرج (SP) طبقا لنظام التصنيف الموحد(**USCS**)

(Unified Soil Classification System)

وهي تحتوي على نسبة 3% بالوزن من المواد الناعمة أي تمر من المنخل 200(قطر 0.075 ملميتر) وعلى نسبة لاتقل عن 98% تمر من المنخل 100(قطر0.150) والجدول 1 يعطى الخواص الجيوتقنية لتربة الدراسة**[3]**



شكل 1 طبقة التربة الطبيعية في موقع الدراسة (منطقة الرقدالين).

Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

جدول 1 يعطى الخواص الجيوتقنية لتربة الدراسة

الخاصية	القيمة
نسبة المواد الناعمة المارة من المنخل 200قطر (0.075ملم)	%3
نسبة الرمل الناعم	%95
تصنيفها طبقا لنظام تصنيف اشتو	A-3
تصنيفها طبقا لنظام التصنيف الموحد	SP
وصف التدرج	ردئ
أقصى كثافة جافة	1.7 جرام–سم3
المحتوى المائي الامثل	%11.5
زاوية الاحتكاك الداخلي (ϕ)	35
قوة التماسك (C)	صفر
نسبة تحميل كالفورنيا قبل الغمرفى الماء	27
نسبة تحميل كالفورنيا بعد الغمر فى الماء	21

2–2 غبار الحجارة (المادة المضافة)

غبار المحاجر في هذه الدراسة تم تجميعه من منطقة العلوص شرق مدينة طرابلس، الخواص الهندسية لغبار المحاجر موضحة في الجدول (2)، الغبار كان مجفف ومار من المنخل 4.75 مم.

Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

جدول 2 نتائج الاختبارات الفيزيائية لغبار المحجر المستخدم في الدراسة.

نوع الاختبار Laboratory Test	الخاصية Characteristic	الرمز Symbol	المواصفات المتبعة Relevant ASTM Code	النتيجة Results
حدود القوام Atterberg's Limits	حدود القوام	LL, PL & Ip	ASTM D 4318	N.P
الوزن النوعي Specific Gravity	الوزن النوعي الظاهري	Gs	ASTM D 854	2.741
التدرج الحبيبي Grain Size Analysis	معاملات منحنى التدرج	C_u & C_c	ASTM D-2487	C_u=15.22
				C_c=1.060
	نسبة المواد الناعمة	%Finer		17.0%
	نسبة الرمل	%Sand		83.0%

3- التجارب المعملية والتجهيزات المستخدمة

قمنا باجراء مجموعة من الاختبارات المعملية للخلطات التصميمية لدراسة امكانية تحسين الخواص الهندسية للتربة الرملية(A-3) بإضافة غبار المحاجر بنسبها المختلفة [1، 3، 5، 10، 15] % والاختبارات التى تم اجرؤها على العينات هي اختبار التحليل المنخلي ،اختبار الوزن النوعي، اختبار الدمك، اختبار نسبة التحميل كاليفورنيا.

Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

4- 1 اختبار التحليل المنخلي

التدرج الحبيبي للتربة هو المدخل الأول والأساسي لتصنيف التربة للأغراض الإنشائية حيث تتجزء التربة إلى أشكال مُختلفة طبقاً لمقاسات مُحتواها الحبيبي. التعبير العملي عن تصنيف التربة يتم عادةً بالنسب المئوية للجُسيمات الحصوية والرملية **(Gravelly and sandy particles)** المارة عبر سلسلة من الغرابيل القياسية **(Standard sieves)** التي تختلف في مقاسات فتحاتها**[4]**. الشكل 2 يصف بالصور أحجام فتحات الغرابيل المُستخدمة في تصنيف التربة وذلك بوضع بعضها فوق البعض بشرط أن يكون الغربال ذو أكبر فتحات في الموضع الأعلى لعمود الغربلة. تُوضع بعد ذلك العينة الترابية لتبدأ عملية الغربلة بواسطة هز يدوي او هزاز ميكانيكي **(Mechanical shaker)** في زمن يصل إلى 12 دقيقة كزمن قياسي كافي لفرز المُكونات الحبيبية المُختلفة في العينة. بعد ذلك، يتم وزن الأجزاء المُتبقية في الغرابيل وحساب نسبة المُتبقي **(Percentage retained)** ونسبة المار**(Percentage passing)** في كل غربال بمعرفة الوزن الأصلي للعينة الترابية**[4]**

التصنيف Classification	حجم الحبيبات Particles Size
Gravel رِكام	2.0 mm < Gravel
Sand رمل	0.074 mm < Sand < 2.0 mm
Silt طمي	0.002 mm < Silt < 0.074 mm
Clay طين	Clay < 0.002 mm

شكل 2: تصنيف التربة وفقاً للأحجام المُختلفة للحبيبات المارة من خلال الغرابيل القياسية[4].

3-2 الوزن النوعي للتربة

Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

تحديد الوزن النوعي للتربة بالطرق المعملية القياسية يُساعد على التعرف على العلاقة المادية بين التربة كطور صلب والطورين الآخرين السائل كالماء والغازي كالهواء. أي بمعنى أن الفائدة العملية لمعرفة الوزن النوعي لحبيبات التربة تكمن في توظيف قيمة الوزن النوعي في حساب نسبة الفراغات الهوائية بين مُكونات التربة والمسامية ودرجة التشبع النوعي لعينة من التربة الرمليه في موقع الدراسة**[5]**.

3-3 اختبار الدمك القياسي

الغرض من إجراء هدا الاختبار هو إيجاد منحنى العلاقة بين المحتوى المائي والكثافة الجافة لكل العينات (الخلطات التصميمية) الذي من خلاله يمكن تحديد الخصائص الرئيسية للدمك وهما المحتوى المائي الأمثل والكثافة الجافة القصوى للعينات، وقد تم اجراء هدا الاختبار طبقا للمواصفات القياسية الامريكية (00-698) **[6]**

3-4 اختبار نسبة تحميل كاليفورنيا (CBR)

نتائج اختبار نسبة تحمل كاليفورنيا (**California bearing ratio – CBR**) تؤخذ عادةً كمؤشر إختباري (**Index test**) لصلاحية تُربه الأساس (**Base**) والأساس المُساعد (**Sub–Base**) من حيث المعلومات الأولية حول مُعامل الصلابة **Stiffness Modulus** أو مُقاومة الإنشاء لإجهادات القص[3]. تعريف هذا المؤشر يستند على النسبة بين الثقل الاختباري اللازم لاختراق طبقة تُرابية عمقها y_n إلى الثقل القياسي المُحدد لاختراق نفس العمق التُرابي (y_n) وذلك كالتالي:

$$CBR\ [\%] = \frac{\text{الثقل الإختباري المُخترق للعمق التُرابي } y_n}{\text{الثقل القياسي المُحدد لإختراق العمق التُرابي } y_n} \times 100$$

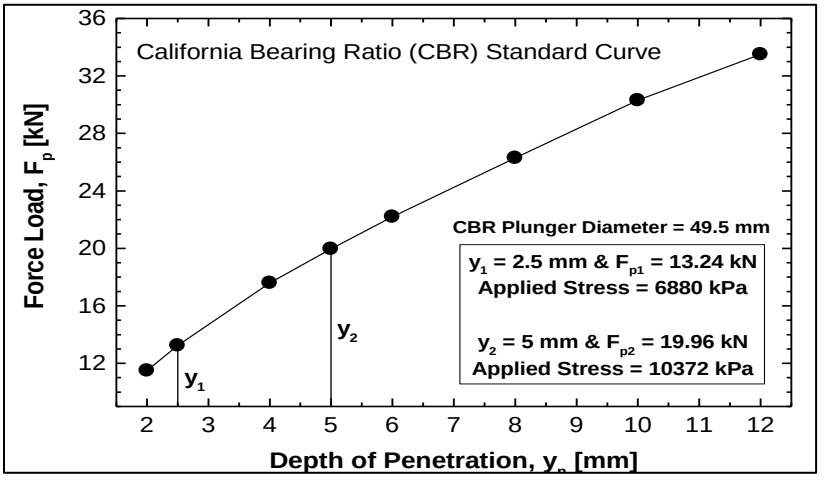
الجدول 3 يعطي قيم الأثقال القياسية المُتعارف عليها في حساب نسب الـ **CBR** من نتائج اختبار الأثقال المُخترقة لعينات تربة عند العمقين $y_1 = 2.5\ mm$ و$y_2 = 5\ mm$ حيث تؤخذ أعلى نسبة كمؤشر إيجابي أو سلبي على صلابة التربة**[7]**.

Copyright © GJT
حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

جدول 3 قيم الثقلين القياسيين في اختبار تحديد نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) للتربة[7].

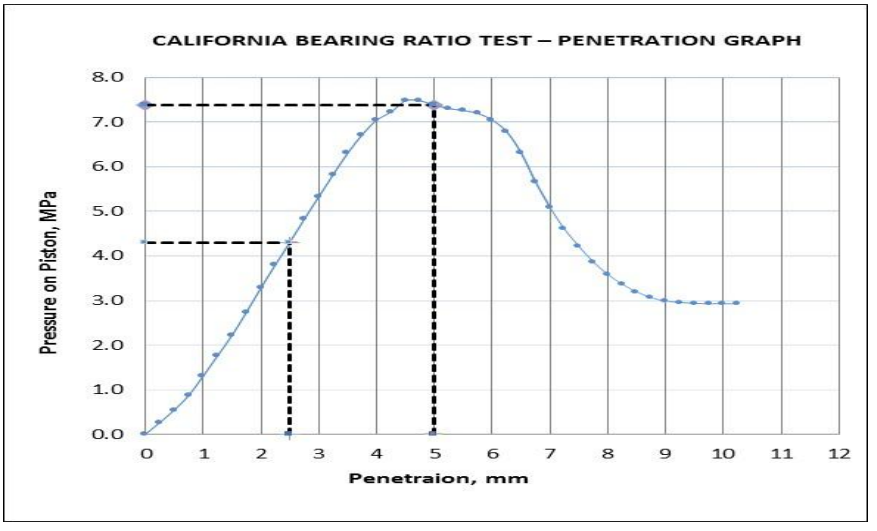
ثقل الاختراق المُحدد بالعمق التُرابي القياسي $F_{penetration}$ [kN]	عمق الاختراق القياسي لطبقة التربة y_n [mm]
13.24	2.5
19.96	5

الشكلان3 و4 يُعبران بوضوح عن الطرفين القياسي والمعملي اللذان تم توظيفهما في حساب نسبة تحمل كاليفورنيا.



شكل 3 المُنحنى القياسي لنسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) [7].

Copyright © GJT
حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية



شكل 4 مُنحنى ثقل الاختراق الاختباري لأعماق تربة الطبيعية (العينة المرجعية).

يعتبر هذا الاختبار من الاختبارات المعملية التى تستخدم فى تقدير وقياس مدى مقاومة التربة للاحمال المسلطة عليها واستخدام هذا الاختبار في هذه الدراسة لمعرفة مدى تأثير إضافة غبار المحاجر بنسب معينة إلى التربة [1، 3، 5، 10، 15] % على مقاومة هذه التربة للاختراق، حيث تم اختبار عينات مغمورة لمدة أربع أيام وأخرى غير مغمورة طبقا للطريقة القياسية الأمريكية(99-1883) بعد إعدادها ودمكها.

4- عرض نتائج الاختبارات المعملية ومناقشتها

4-1: إختبارات التدرج الحبيبي

لقد تم إجراء هذا الاختبار على جميع العينات من ضمنها (الخلطات التصميمية) وذلك بطريقة الغسل طبقا للطريقة القياسية(2000-63-422) والغرض من إجراء هذا الاختبار هو تحديد الخصائص الحجمية لحبيبات التربة الخليط بنسبها المختلفة والتى تتثمل في حجم وتدرج الحبيبات ونسبة المواد لكل مخلوط وبذلك يمكن تصنيفها وتقدير خصائصها الهندسية الاساسية. وللقيام بهدا فلقد تم استخدام مجموعة من المناخل مرتبة حسب حجم فتحاتها الاكبر تم الاصغر فالأصغر على التوالي وهده المناخل و أقطار فتحاتها هي كما بالجدول 3 وفي أسفل هذه المناخل يوضع الوعاء بحيث تتجمع المواد الناعمة المارة من المنخل 200.

Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

جدول 4 يبين مجموعة المناخل المستخدمة فى التحليل المنخلى

رقم المنخل	10	20	40	60	100	200
قطر فتحة المنخل بالمليمتر	2	0.85	0.425	0.25	0.15	0.075

الشكل 5 يعطي نتائج عملية الغربلة القياسية لتربة في منطقة **رقدالين** (قرب الطريق الساحلي) التي يُمثلها مُنحنى التوزيع الحجمي للجُسيمات وهو ما يُعرف أيضاً بمُنحنى التدرج الحبيبي. البيانات المُدرجة مع المُنحنى تعني تصنيف لتربة القاعدة الأرضية للإنشاء بناءً على التالي:

1. قيمة مُعامل التناسق (C_U) في المُنحنى تُمثل تربة مُنتظمة التكوين حيث تم حسابها على أساس حجم المرور $D_{10\%}$ أو D_{10} الذي يؤخذ كأولوية عند توصيف نفاذية التربة وخواصها الميكانيكية نظرًا لعلاقته بمُتوسط الحجم المسامي (**Average pore size**) للتربة. المدى الذي يقع فيه هذا المُعامل يُشير إلى أن التكوين الحبيبي لعينة التربة المُختبرة يتميز أيضاً بأقل حساسية للإهتزازات والخلخلة الميكانيكية والذي تم حسابه من المعادلة التالية.

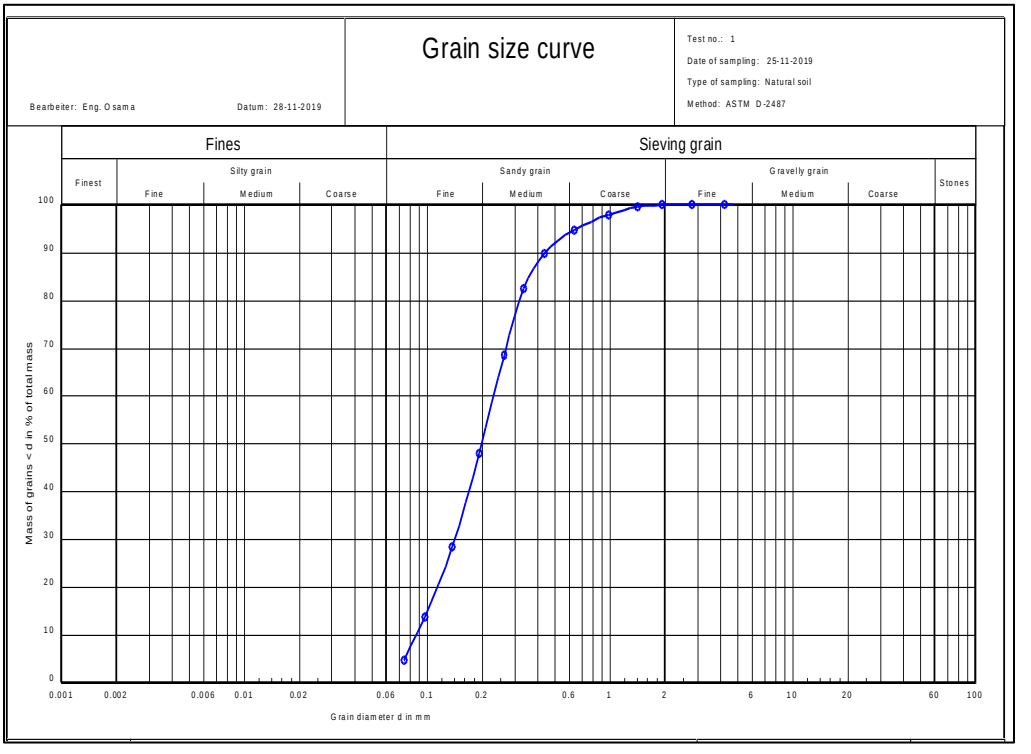
$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.25}{0.10} = 2.50 \Rightarrow \quad C_u < 6 \ \textbf{(SP: Poorly graded)}$$

2. قيمة مُعامل التقوس (**Coefficient of curvature – C_c**) في الشكل 5 استخدمت في تقييم انسيابية مُنحنى التدرج الحبيبي لعينة التربة المُختبرة وذلك من المعادلة التالية.

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10}D_{60}} = \frac{(0.16)^2}{(0.10)(0.25)} = 1.02 \quad \Rightarrow \quad 1 < C_c < 3$$

حيث يُشير مدى مُعامل التقوس إلى أن تربة الرمليه لمنطقة الدراسة يضم مُكونات ترابية رديئة التدرج بتوزيع يشمل الأحجام الحبيبية الصغيرة والمُتوسطة والكُبرى.

Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية



شكل 5: نتائج التدرج الحبيبي لعينة التربة الرملية بمنطقة الدراسة رقدالين

عليه، تم تصنيف تربة الطبيعية لمنطقة **الرقدالين** طبقاً لأهم الأنظمة والأكثر شيوعاً في العالم الذي يُعرف بإثنين منها الجدول 5 واللذان استخدما في هذه الدراسة للتأكد من حدود تناسق المُكونات الترابية ومن صلاحية التربة للإنشاء المُقام عليها.

Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

جدول 5 التعريف بنظامي تصنيف التربة الرمليه لمنطقة الدراسة[3].

	Classification System	Abbreviation
1	American Association of State Highway and Transportation Officials	AASHTO
2	Unified Soil Classification System	USCS

التقييم العام للتربة الرمليه لمنطقة الدراسة والخلطات التصميمية يصفه بالجدول 6 و7 حيث يبدو واضحاً توافق العلاقة القائمة بين نظامي التصنيف.

جدول 6 : التقييم العام للتكوين الحبيبي للتربة الرملية فى منطقة الدراسة.

نظام التصنيف	المجموعة المُصنفة	التكوين الترابي
AASHTO	A-3	رمل مع قليل من الطمي عديم اللدونة
USCS	SP	رمل ناعم ضعيف التدرج عديم اللدونة
التقييم العام للتكوين	ضعيف إلى مُعتدل	

جدول 7 : نتائج اختبارات التحليل المنخلى لجميع العينات (من ضمنها الخلطات التصميمية)

نسبة الغبار (%)		**0**	**1**	**3**	**5**	**10**	**15**	**المواصفة**
تصنيف التربة	USCS	SP	SM	SM	SM	SM	SM	ASTM D2487
	AASHTO	A-3	A-3	A-3	A-3	A-3	A-3	AASHTO

4-2: الوزن النوعي للتربة:

Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

أهم الخطوات التي تم إتباعها لإنجاز هذا الاختبار بطريقة صحيحة كانت في:

1- أخذ وزن 10 جرامات لكل عينة من التربة الجافة المارة من خلال الغربال القياسي رقم 40 او4.75 ملم في التوزيع الحجمي للحبيبات.

2- تنقيع عينة التربة لزمن 10 دقائق في ماء مُقطر مُضاف لنصف البيكنوميتر ولا يتجاوز ثلاثة أرباع البيكنوميتر.

3- تفريغ الهواء من مُحتوى البيكنوميتر لزمن 10 دقائق. الجدول 8 يعطي القيمة المعملية لمُتوسط الوزن النوعي ($\mathbf{G_s}$) لعينات التربة المُختبرة التي تتفق مع القيم القياسية المرجعية في مجال الإنشاءات علماً بأن تم استخدام بيكنومتر من حجم الكبير **(Large pyknometer method)** لتحديد الوزن النوعي.

جدول 8: نتائج إختبارات الوزن النوعي لعينتين من التربة الطبيعية فى منطقة الدراسة.

رقم العينة	1	2
رقم الدورق **(Pycnometer)**	A-1	B-2
وزن عينة التربة المُختبرة بعد التجفيف ($\mathbf{m_s}$) بالجرام **(grams)**	42.19	43.2
وزن الدورق مملوءاً بالماء ($\mathbf{m_{pw}}$) بالجرام **(grams)**	367.3	367.3
وزن الدورق + الماء + التربة ($\mathbf{m_{pws}}$) بالجرام **(grams)**	393.95	394.58
$\boldsymbol{G_s} = \frac{\rho_{soil}}{\rho_{water}} = \frac{m_s}{m_s + (m_{pw} - m_{pws})}$	2.715	2.714
مُتوسط القيم الإختبارية للوزن النوعي ($\mathbf{G_s}$)	**2.714**	

Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

جدول 9 نتائج اختبارات الوزن النوعي لجميع العينات (من ضمنها الخلطات التصميمية)

المواصفة	15	10	5	3	1	0	نسبة الغبار (%)
ASTM D 854	2.707	2.689	2.712	2.649	2.639	2.714	S.G (unitless)

4-3 خاصية الدمك

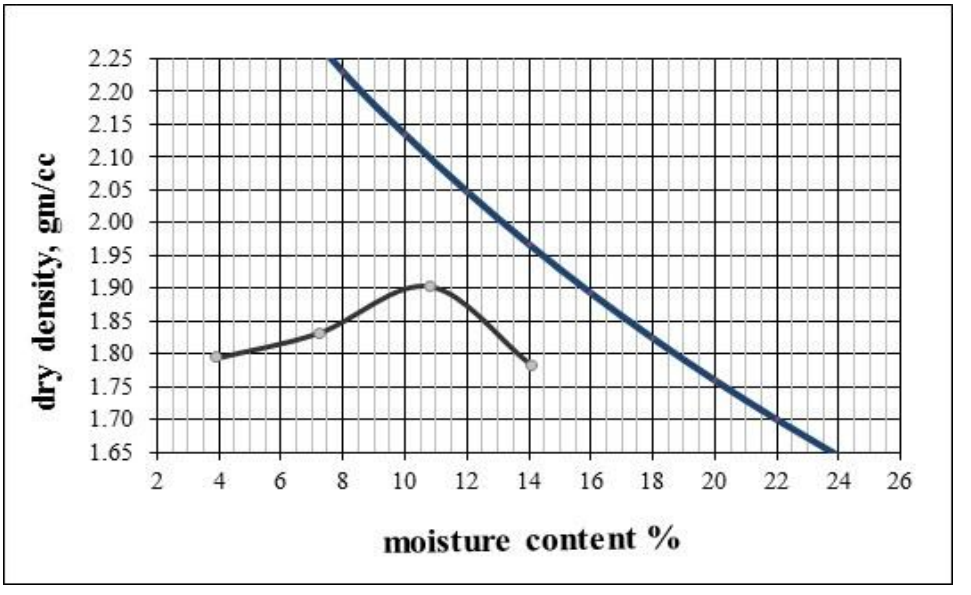
ان دمك التربة يعتبر من أفضل طريقة لتحسين الخواص الهندسية للتربة واقلها تكلفة حيت انه يعمل على زيادة الكثافة التربة وتقليل الفراغات الهواء بينها وبالتالي زيادة كثافتها مما يؤدى إلى زيادة مقاومتها لقوة القص وتقليل انضغاطيتها ومن ثم تحسن قدرتها التحميلية وزيادة تباتها حيت ان اختبار الدمك تم لعينة تربة لمنطقة الدراسة وذلك بما يُعرف باختبار بروكتور المعدل نتائج هذا الاختبار يعطيها الشكل 6 كعلاقة بين المُحددين المحتوى المائي والكثافة الجافة4 ρ_d و W_{opt}

حيث أن:

أقصى كثافة جافة **Maximum dry densi** $=\rho_d$

أفضل مُحتوى رطوبي **OMC=Optimum moisture content**

Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية



شكل 6 : نتائج العلاقة بين المُحتوى الرطوبي والكثافة الجافة للتربة.موقع الدرسة رقدالين.

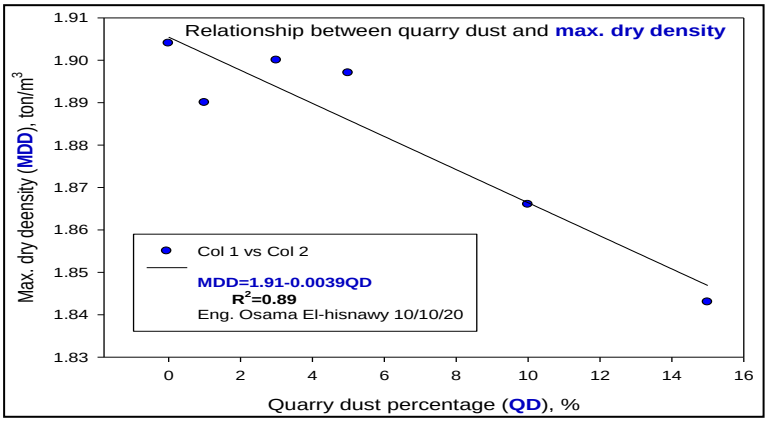
جدول 7: النتيجة النهائية لقيمة أقصى كثافة جافة عند أفضل محتوى رطوبة

المواصفة	15	10	5	3	1	0	نسبة الغبار (%)
ASTM D 1557	1.843	1.866	1.897	1.90	1.89	1.904	MDD (ton/m^2)
	6.4	9.2	9.6	8.8	8.6	10.6	OMC (%)

Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

4-4 تأثير نسب مسحوق الحجارة على أقصى كثافة (MDD)

تم إجراء اختبار الدمك على عينات الرمل الطبيعي والمعالجة بنسب مختلفة من غبار المحاجر (1، 3، 5، 10 و15%) لتحديد المحتوى المائي الامثل (**O.M.C**) وأقصى كثافة جافة (**M.D.D**) وفقاً لاختبار الدمك المعدل (**ASTM D 1557**) وذلك لإيجاد العلاقة بين الكثافة الجافة (**Dry density**) والمحتوى المائي (**W.C**) لجميع العينات المعالجة بغبار المحاجر (**QD**) وعينة الرمل المرجعية (طبيعية). حيث يتضح من الشكل (**7**) انخفاض فى المحتوى اقصى كثافة جافة (**MDD**) مع زيادة كمية مسحوق الحجارة ويظهر بشكل واضح في العلاقة الخطية (**linear regression**) وبمعامل ارتباط (R^2=0.89) قد يفسر دلك بتفاعل الكيميائي الذي يحدث بين مسحوق الحجر الكلس الجيري (**Limestone**) والرمل والذى يتكون من السليكا (**Sio_4**) في وجود نسب مختلفة من الماء عند الخلط.

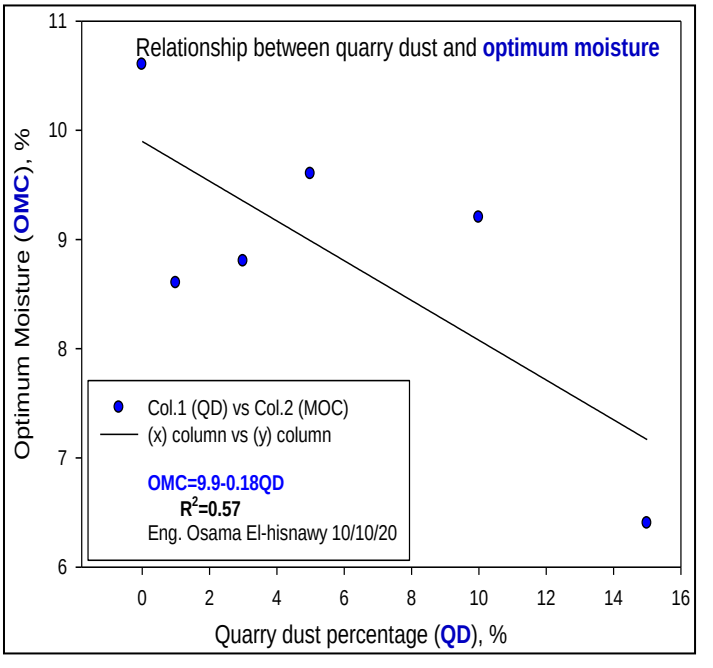


شكل 7: تأثير نسب غبار المحاجر (QD) على أقصى كثافة جافة(M.D.D).

Copyright © GJT
حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

4-5 تأثير نسب مسحوق الحجارة على المحتوى المائي الأمثل (OMC)

من خلال نتائج اختبار الدمك المعدل وبنسب 1، 3، 5، 10 و15% من وزن الكلي للرمل الجاف، حيث يتضح من الشكل 8 انخفاض في المحتوى الرطوبي المائي الامثل مع زيادة كمية مسحوق الحجارة. وجد أن المحتوى المائي الأمثل **(OMC)** يزداد في شكل علاقة خطية **(linear relationship)** وبمعامل ارتباط مقبول **(regression coefficient)** (**R^2=0.57**).



شكل 8 : تأثير نسب غبار المحاجر (QD) على المحتوى المائي الأمثل (O.M.C).

Copyright © GJT
حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

6-4 إختبار نسبة تحمل كاليفورنيا

نتائج إختبار نسبة تحمل كاليفورنيا **(California bearing ratio – CBR)** تؤخذ عادةً كمؤشر إختباري **(Index test)** لصلاحية تُربه الأساس **(Base)** والأساس المُساعد **(Sub–Base)** من حيث المعلومات الأولية حول مُعامل الصلابة **(Stiffness Modulus)**

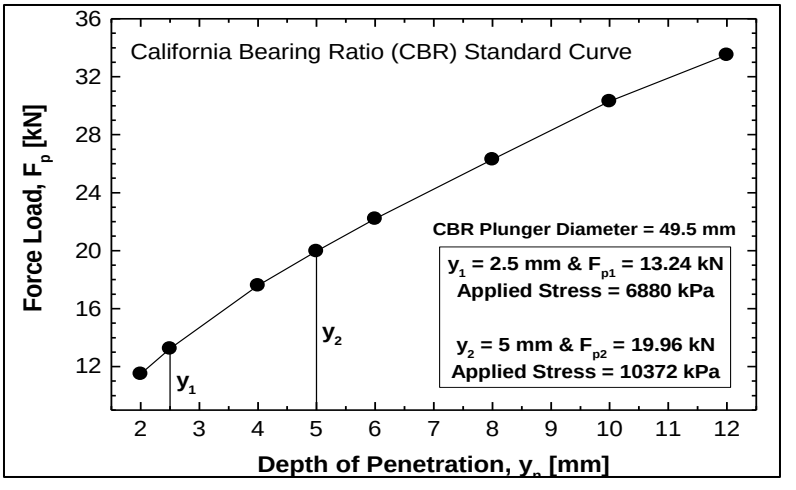
الجدول 8 يعطي قيم مؤشرات الصلابة المُتمثلة في نسبة تحمل كاليفورنيا التي تم حسابها من المُنحنيين القياسي والإختباري والتي تتعلق بعينة التربة الرمليه في منطقة الدراسة (الرقدالين) بدون اي إضافات.

جدول 8 : قيم نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) لتربة منطقة الدراسة بدون معالجة

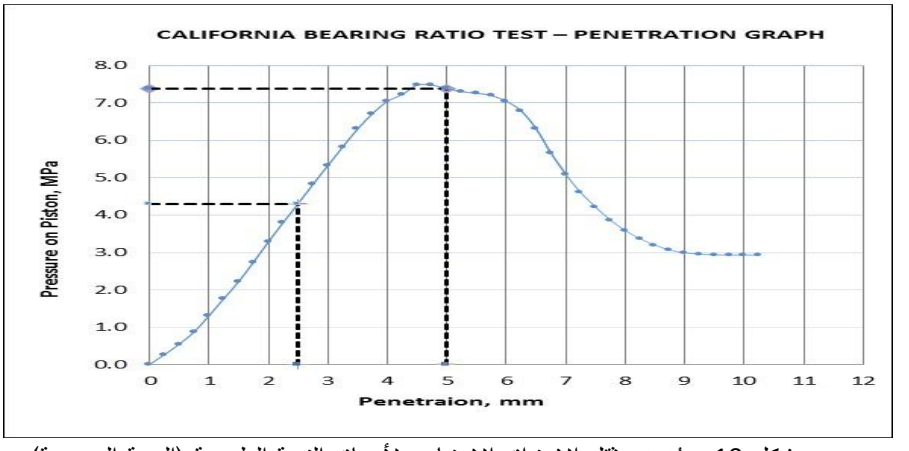
العمق التُرابي المُخترق y_n [mm]	قوة ثقل الإختراق $F_{Penetration}$ [kN]		نسبة تحمل كاليفورنيا $(CBR)_{Bottom}$ [%]	متوسط نسبة تحمل كاليفورنيا $(CBR)_{Bottom}$ [%]
	الثقل القياسي	الثقل الإختباري		
2.5	13.24	5.01	62.40	67.02
5.0	19.96	8.60	71.65	

Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

الشكلان 9 و 10 يُعبران بوضوح عن الطرفين القياسي والمعملي اللذان تم توظيفهما في حساب نسبة تحمل كاليفورنيا.



شكل 9 : يعطي النتائج المعملية لقوى الأثقال المُخترقة لطبقات عينة التربة المُختبرة في علاقة تُمثل صلابة التربة. هذه العلاقة تُسمى عادةً مُنحنى ثقل الإختراق (Load–penetration curve).

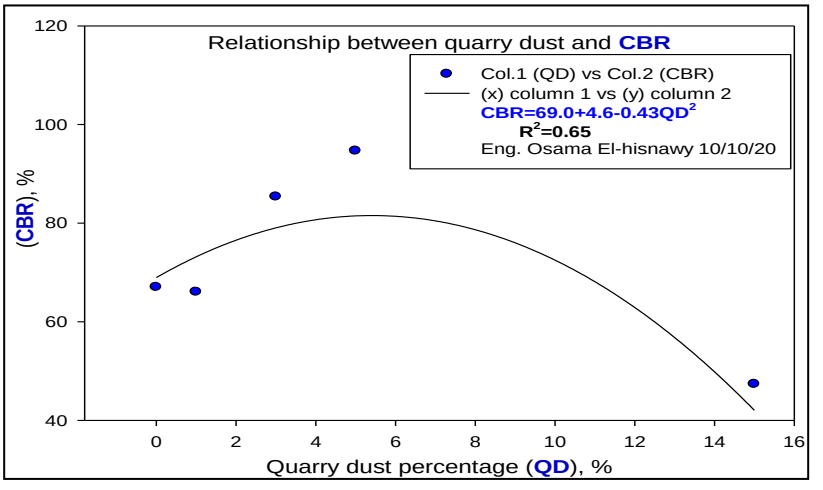


شكل 10 : مُنحنى ثقل الاختراق الاختباري لأعماق التربة الطبيعية (العينة المرجعية).

Copyright © GJT
حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

4-7 تأثير نسب مسحوق الحجارة على نسبة تحمل كاليفورنيا

الشكل 11 يبين نتائج نسبة تحمل كاليفورنيا المغمورة (Soaked-CBR) لعينات التربة الرملية المعالجة بمسحوق الحجارة وبنسب **1**، 3، 5، 10 و15%. حيث تشير النتائج إلى زيادة في نسبة تحمل كاليفورنيا بزيادة نسبة مسحوق الحجارة حتى نسبة 5% من وزن الرمل الجاف ثم تبدا هذه القيم في الانخفاض حتى تصل الى اقل قيمة عند (15%).



شكل 11 : تأثير نسب غبار المحاجر (QD) على نسبة (Soaked-CBR)

ومن خلال العلاقة الموضحة في الشكل 11 يتضح لنا الزيادة الواضحة في قيم **(C.B.R) (Soaked-CBR)** في علاقة غير خطية **(Non-linear relationship)** وبمعامل ارتباط **(Regression coefficient)** جيد **(R^2=0.65)**. ونظراً لكون معامل **(CBR)** من اهم القيم الهندسية والجيوتقنية التصميمية **Geotechnical parameters design** المستخدمة في تصميم طبقات الرصف وتقيم جودة المواد المستخدمة في الردم **(backfilling material)** بأضافة الى تحديد جودة طبقة الأساس **(Base course)** والاساس المساعد **(Sub-base)**، لذلك يمكن اعتبار نسبة 5% من غبار المحاجر **(Quarry dust)** هي النسبة الأمثل للاستخدام في التطبيقات الهندسية.

Copyright © GJT
حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

جدول 9 : قيم نسبة تحمل كاليفورنيا (Soaked-CBR) لتربة منطقة الدراسة بإضافة غبار المحاجر.

نسبة الغبار (%)	0	1	3	5	10	15	المواصفة
CBR avg. (%)	67.0	66.05	85.36	94.67	56.75	47.36	AASHTO T-193

5- الاستنتاجات والتوصيات

من خلال النتائج المعملية المتحصل عليها يمكن التوصل للنقاط التالية:

أ. تصنيف التربة في موقع الدراسة عبارة عن تربة رملية **(92.0%)** ضعيف التدرج **Poorly graded** مع نسبة قليلة جداً من الغرين **(3.1%)**، وهي تربة عديمة اللذونة **Non- plasticity**.

ب. تصنيف التربة في موقع الدراسة طبقاً للأنظمة الأكثر شيوعاً مثل AASHTO [**A-3**] وUSCS [**SP: SAND Poorly graded, non-plastic**].

ج. إختبارات دمك التربة الرملية فى منطقة الدراسة أكدت على أن أقصى كثافة جافة لتربة فى موقع الدراسة **(منطقة الرقدالين)** هي **1.9 ton/m^3** عند محتوى مائي امثل **10.6%**.

د. إختبارات دمك التربة للحالات الدراسية المثبت بغبار المحاجر أكدت على أن أقصى كثافة جافة **(MDD)** تتناقص مع زيادة نسبة مسحوق المحاجر ويظهر بشكل واضح عند نسبة **15%** من وزن الرمل الجاف وبمثل يتناقص المحتوى المائي الامثل **(OMC)** كلما زادت نسبة المسحوق الصخري.

هـ. نتائج اختبار نسبة تحمل كاليفورنيا المغمورة المعالجة بغبار الصخور الجيرية تشير الى زيادة فى قيم **(CBR)** حتى نسبة **5%** من مسحوق الصخور وترجع هذه الزيادة نتيجة لوجود تفاعل بين المواد الجيرية في الغبار والرمل وفي وجود نسب من الماء والدمك الميكانيكي. بالإضافة إلى الزيادة في وزن وحدة الحجوم بنسبة **(1%)** .

Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

و. تشير العلاقة بين قيم (**C.B.R**) المغمورة (**Soaked–CBR**) ونسب مسحوق المحاجر بأن القيمة الامثل لتحسين التربة الرملية عند نسبة **5%** من الوزن الجاف للتربة الرملية. وهو ما يجعل التربة المعالجة صالحة كطبقة أساس (**Base**) أو أساس معرض (**Base Course**) وخاصتاً عند هده النسبة.

ز. إعادة تدوير مخلفات المحاجر لها إيجابيات بيئية واضحة تتمثل في المحافظة على المصادر الطبيعية للركام وتقليل حجم التلوث مما يساهم في الحفاظ على البيئية وصحة الانسان

ح. عند أستخدام التربة الرملية (**Collapsing soil**) يجب تحديد التركيب الكيميائي للتربة لمعرفة نسبة الاملاح (الكلوريدات والكبريتات) فيها، وتحديد سمك طبقة التربة في مقاطع جيولوجية.

ط. إجراء إختبار صندوق القص المباشر **direct shear box** وذلك لتحديد قيم مقاومة التماسك (**Cohesion – C**) وزاوية الإحتكاك الداخلي (**Angle of Internal Friction – ϕ**) بين حبيباتها وذلك لغرض الحصول على المزيد من المعاملات الجيوتقنية وتوصيف الدقيق لقدرة التحميل القصوى والمسموح بها.

المراجع

[1] عبدالله احمد خالد: تحسين التربة في المنطقة الشرقية في السعودية بإستخدام مخلفات صناعية محلية، قسم هندسة المدنية والبيئية– جامعة الملك فهد، المملكة العربية السعودية، 2013 م.

[2] احمد سمير عبدالرسول: تحسين قوة التربت الطينيت باستعمال مسحوق الحجارة، قسم هندسة البناء والانشاءات– الجامعة التكنواوجيا ، بغداد . العراق ، 2015 م.

[3] خيري مولود زريق: تحسين الخواص الهندسية للتربة (A–3) بإضافة الطين، المعهد العالي للعلوم والتقنية بالزاوية– ليبيا، 2019 م.

[4] [الجمعية الأمريكية للاختبا ا رت و المواد) ASTM (اختبار التحليل المنخلي

[5] (ASTM D422–63) , التربة و الصخور و أحجار البناء , الجزء 19

[6] 1981

 Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

[7] د. عبدالحميد المبروك الدجن وأسامة محمد الحسناوي: تبطين الآبار السوداء بطبقة جيوبلاستيكية لحماية التربة والمياه الجوفية 6-8 / 6 / 2014 م.

[8] الجمعية الأمريكية للاختبارات و المواد) ASTM (اختبار العلاقة بين الكثافة والمحتوى المائي للتربة (ASTM D698-00 , 19 1981 الجزء19 , التربة و الصخور و أحجار البناء)

[9] الجمعية الأمريكية للاختبارات و المواد) ASTM (اختبار نسبة تحميل كاليفورنيا (ASTM) D1883-99 , التربة و الصخور و أحجار البناء , الجزء19 1981.

 Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية