

## التنبؤ بمقدار تحسين خواص الرص والمقاومة في الترب الانتفاخية بحسب محتواها من الرمل

د. منذر عمران الزاوي\*

د. صفوان عبد الله\*\*

د. جهاد إبراهيم\*\*\*

عمار نجيب النمر\*\*\*\*

(تاريخ الإيداع 16 / 7 / 2020. قُبِلَ للنشر في 7 / 9 / 2020)

### □ ملخص □

غالبًا ما تظهر التربة الغضارية خصائص فيزيائية وميكانيكية غير مرغوب فيها كقدرة التحمل المنخفضة والانتفاخ والانكماش لذلك يتم تحسين خصائص هذه التربة للتغلب على هذه المشاكل. يهدف البرنامج التجريبي الذي تم تنفيذه في هذا البحث إلى تسليط الضوء على تأثير إضافة الرمل كنسب وزنية في التربة على الخصائص الفيزيائية والسلوكية الميكانيكية للتربة الانتفاخية. حيث تم دراسة تأثير إضافة نسب مختلفة من الرمل على قوام التربة (حدود أتبرغ) والكثافة الجافة الأعظمية والرطوبة المثالية (بركتور القياسية) والصلابة والمقاومة (الضغط الحر والتشديد) والنفذية، وأظهرت النتائج أنّ قوام التربة قد تحسّن بشكل ملحوظ. كما أظهرت النتائج المخبرية تحسّنًا كبيرًا في المقاومة والصلابة والنفذية والتغيرات الحجمية، بالإضافة إلى تغيير ملحوظ في علاقة الكثافة الجافة الأعظمية-الرطوبة المثالية. وتوصلنا أيضاً لأنّ النسبة 30% هي النسبة المثلى التي يجب ألا تقل نسبة الرمل المضافة عنها في التربة الغضارية المراد استخدامها للأعمال المدنية.

**الكلمات المفتاحية:** الغضار، الرمل (المواد المضافة)، الخصائص الميكانيكية، الخصائص الفيزيائية، التحسين.

\* أستاذ - قسم الهندسة الجيوتكنيكية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

\*\* مدرس - قسم الهندسة الجيوتكنيكية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

\*\*\* أستاذ - قسم علوم التربة والمياه، كلية الهندسة الزراعية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

\*\*\*\* طالب دراسات عليا (دكتوراه) - قسم الهندسة الجيوتكنيكية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

ammr888999@hotmail.com

## Prediction by Improving the Characteristics of Compaction and Strength in the Expansive Soils According to its Content of Sand

Dr. Mounzer Omran Alzawi\*

Dr. Safwan abdallah\*\*

Dr. Jihad Ibrahim\*\*\*

Ammar Njeeb Alnmr\*\*\*\*

(Received 16 / 7 / 2020. Accepted 7 / 9 / 2020)

### □ ABSTRACT □

Clayey soils often showed undesirable mechanical and physical characteristics such as low bearing capacity, swelling and shrinkage characteristics. To overcome on the problems of expansive clayey soils we tend to improve their physical properties and mechanical behavior by adding various percentages of sand as a weight of soil to evaluate its effect on the following characteristics: soil texture (aterberg limits), dry density and optimum moisture (Standard Proctor test), strength and stiffness (unconfined pressure and Consolidation tests) and permeability. The obtained results refer to appreciably improvement in soil texture, strength, stiffness, permeability and volumetric changes. In addition to a significant variation in the moisture-density relationship. It is found that the optimum percentage of adding sand should not be less than 30% in the soil tested to be used in civil constructions.

**Keywords:** clay, additive material, mechanical characteristics, physical properties, improvement.

---

\* Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria .

\*\*Assistant Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\*\* Professor, Department of Soil and Water Sciences, Faculty of agriculture, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\*\*\* Postgraduate Student(PhD), Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria . ammar888999@hotmail.com

**مقدمة:**

إنّ لتربة التأسيس دوراً هاماً في مختلف المنشآت المدنية كالطرق والسدود والأبنية وغيرها وحتى نضمن منشأً مستقر خال من العيوب بعد الاستثمار ينبغي أن تحقق هذه التربة خصائص محددة من حيث قوامها وخصائصها الميكانيكية. وفي حال تربة الموقع غير مناسبة يكون هناك ضرورة لتحسين كل من قوامها وقدرة تحملها. هناك العديد من الطرق لتحسين التربة والاختيار فيما بينها يعتمد على العديد من المعايير الاقتصادية والعملية والبيئية. الطرق المتبعة عادة في التحسين هي التحسين الكيميائي، التحسين الحراري، التحسين بواسطة إضافات مثل الكلس والإسمنت. ونظراً لقدرة التحمل العالية للرمل وعدم قدرته على الاحتفاظ بالمياه فإنّه يمكن استخدامه كمادة مألثة. لذلك يمكن استخدام الرمال بنسب متفاوتة بخلطها مع التربة المتماسكة وبالتالي تغير من خصائص اللدونة، والرص ومقاومة المخالط (<sup>[15]</sup>Roy, 2013; <sup>[11]</sup>Louafi et al., 2012; <sup>[9]</sup>Khemissa et al., 2015). يتركز الهدف الاساسي في هذا البحث لتقييم النتائج المخبرية التي تم الحصول عليها للخلائط بالنسب المختبرة ومدى فعالية الرمل في تحسين خصائص الترب الانتفاخية.

انصب اهتمام عديد من الباحثين في إيجاد حلول للترب الانتفاخية قادرة على التحكم في ضغط الانتفاخ كطريقة لتحقيق استقرار هذه الترب.

كما أنّ عديداً من الباحثين مثل (Bengraa et al., 2005<sup>[2]</sup>; Kaoua et al., 1994<sup>[8]</sup>; Lamara et al., 2005<sup>[10]</sup>; Louafi et al., 2012<sup>[11]</sup>) اهتموا بدراسة سلوكية الترب الانتفاخية بإضافة أنواع من المواد الخاملة إليها، ورغم أنّ الأبحاث بيّنت أنّ إضافة بعض المواد الخاملة تساهم في تحسين الترب الانتفاخية إلا أنّ كثيراً من الاستفسارات والأسئلة المفتوحة حول سلوكية التربة المحسنة لا تزال بحاجة إلى مزيد من البحث وفي هذا الاطار فقد قمنا في هذا البحث بدراسة تأثير إضافة الرمل بنسب مختلفة على خصائص التربة الانتفاخية. في عمل بحثي لـ (Chavali and sharma. 2014<sup>[4]</sup>)، وجد أنّ الكثافة الجافة الأعظمية للخليط رمل-غضار قد تحسّنت مع إضافة رمل يصل حتى 30 %؛ بعد ذلك تتناقص. وينخفض محتوى الرطوبة المثالي بزيادة نسبة الرمل حتى 30% بعد ذلك يزداد قليلاً.

وهناك اهتمام بدراسة سلوك الرمال مع مواد أخرى في تجارب تحسين الترب الغضارية (Bhatta.2008<sup>[3]</sup>). فمثلاً (Sharma et al. 2012<sup>[17]</sup>) عملوا على استخدام الرمال، ورماد قشر الأرز والألياف البلاستيكية لتحسين خصائص الرص للتربة الغضارية لاستخدامها كطبقة تأسيس. وتم دراسة تأثير المواد مثل الرماد المتطاير أو الرمل النهري على الرص، وخصائص المقاومة للتربة الغضارية الانتفاخية على نطاق واسع في بلدان مثل الهند (Ameta et al., 2007<sup>[11]</sup>; Sharma and Jupta., 2013<sup>[16]</sup>; Gupta and Sharma,2014<sup>[5]</sup>; Singh et al.,2014<sup>[18]</sup>) أو نيجيريا (Madu, 1975<sup>[12]</sup>) حيث تواجه مشاكل بسبب سلوك الانتفاخ والتقلص الدوري لهذه التربة. أظهرت دراسة بحثية أجريت في أوغندا (Jjuuko et al. 2011<sup>[7]</sup>) أنّ الرمل إذا اضيف بنسبة من 20-100 % يزيد من الكثافة الجافة القصوى (MDD) من 1867 إلى 2357 كجم / م<sup>3</sup> ، ويخفض من نسبة الرطوبة المثالية (OMC) من 16.5 إلى 8.5%.

كما درس (NAGARAJ. 2016<sup>[13]</sup>) تأثير نسبة الرمل وتدرجه على مقاومة الضغط غير المحصور لخلائط الرمل- الغضار وتوصل إلى أنّ الرمل المتوسط يعطي أفضل مقاومة للخليط و أنّ زيادة نسبة الرمل تزيد من مقاومة الضغط غير المحصور حتى نسبة تزيد عن 40-50 % حسب تدرج الرمل ثم تعود للانخفاض بعدها.

درس (Hussein et al. 2018<sup>[6]</sup>) تأثير إضافة نسب من الرمل 0-20% على خصائص التربة الغضارية منخفضة اللدونة وتوصل إلى أن قيم حد السيولة وقرينة اللدونة تتناقص بزيادة نسبة الرمل المضافة وأن مقاومة التربة ومعامل النفاذية يزداد بزيادة نسبة الرمل المضافة.

**يتبين بالخلاصة** من الأبحاث المختلفة التأثير الفعال للرمل في تحسين خصائص التربة الانتفاخية بدلاً من استخدام طرق التحسين المكلفة. إن أغلب الأبحاث المنشورة في هذا المجال لم تلتفت كثيراً إلى تأثير إضافة الرمل على خصائص الترب الغضارية الانتفاخية ولا سيما تأثير الرمل على معاملات المرونة والنفاذية كما أن معظم الدراسات كانت على مجال صغير لنسب الرمل. لذلك تم تلافي المشاكل السابقة بإجراء التجارب على مجال واسع من نسب الرمل من 0-50% ودراسة تأثيره على سلوكيتها.

### مشكلة البحث:

تنتشر الترب الغضارية الانتفاخية على مساحات واسعة من أراضي الجمهورية العربية السورية وتعتبر مشكلة عالية الكلفة عند تأسيس المنشآت والطرق المقامة عليها فعلى سبيل المثال قدرت الأكلاف الناتجة عن تصدعات وانهار المباني والطرق المقامة على التربة القابلة للانتفاخ في الولايات المتحدة الأمريكية عام 1985 م بحوالي 10 مليارات دولار سنوياً، صرف نصفها على إصلاح الطرق وحدها (Steinberg, M. L. 1985<sup>[19]</sup>). و إن التعامل مع هذه الترب في التأسيس وحل المشاكل الناتجة عنها يستدعي دوماً المزيد من البحث ولا سيما في مجال فهم آلية تأثير نسبة الرمل التي تحتويها على خصائصها وسلوكيتها وتحديد نسب الرمل المثلى التي تجب اضافتها للحد من هذه المشاكل أو حلها.

### أهمية البحث وأهدافه:

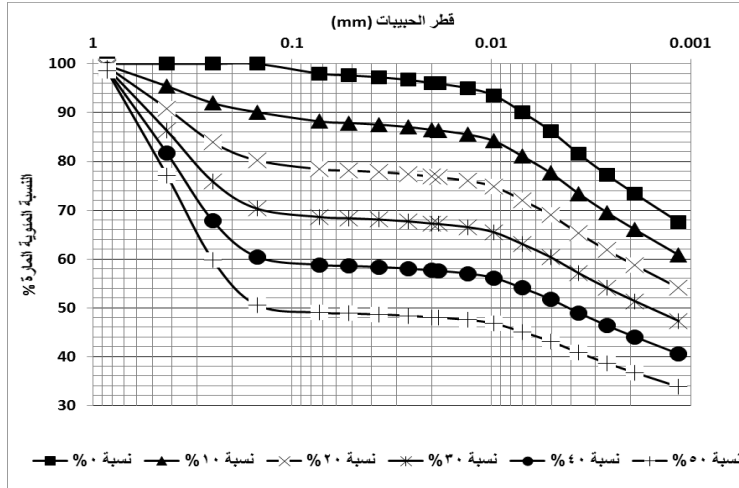
نظراً لأن الأعمال الهندسية التي تدخل فيها الرميّات بشكل أساس في الردم كالدود والطوابق الترابية في الطرق والسكك الحديدية تتطلب كميات كبيرة من التربة بمواصفات معينة قد لا يكون احضارها إلى الموقع من مسافات بعيدة اقتصادياً لذلك نشأت الحاجة إلى التعامل مع تربة الموقع نفسها أو المحيطة بها حتى لو كانت تربة انتفاخية عالية اللدونة. وقد أجرى العديد من الباحثين الكثير من التجارب المخبرية والحقلية التي أكدت أن الترب الانتفاخية نفسها يمكن بإضافات معينة من مواد أخرى كالرمل والسيّلت والكلس والرماد المتطاير وغيرها أن تتحسن مواصفاتها وتستخدم بكفاءة في الاعمال الهندسية المذكورة اعلاه.

يهدف البحث إلى دراسة مدى تحسن سلوك الترب الانتفاخية من ناحية القوام والرص والضغط غير المحصور والتشديد والنفاذية عند إضافة الرمل إليها.

### طرائق البحث ومواده:

من أجل تحقيق هدف البحث أحضرت التربة الغضارية الانتفاخية من منطقة دمسرخو - اللاذقية من عمق 3متر من منسوب الأرض الطبيعية وبحيث تم تجاوز ترب الردم والوصول الى عمق طبقة التربة المقصودة . أما بالنسبة إلى تربة الخلط الرملية فقد أخذت من موقع شقيفات جبلة وهي رمل بحري ناعم تم غسله وتخليصه من المواد الناعمة والحصول على رمل نظيف تماماً صالح للخلط وإجراء التجارب.

حُضِرَت خلطات مختلفة من التريتين المذكورتين أعلاه على أساس الوزن الجاف حيث خلطت التربة الانتفاخية بنسب مختلفة من الرمل : 10 - 20 - 30 - 40 - 50 % فتم تشكيل الخلطات  $S_{10}$  ,  $S_{20}$  ,  $S_{30}$  ,  $S_{40}$  ,  $S_{50}$  .. حيث سميت التربة الخليطة بحسب نسبة الرمل المضافة إليها . أما  $S_{00}$  فهي ترمز للغضار بدون رمل مضاف . أجريت في البداية على الإحضارات الرملية تجارب التحليل الحبي (وفقاً للمواصفة ASTM D422-63) ، بأسلوب النخل الجاف للرمل الناعم ، وأجريت على التربة الغضارية تجارب الترسيب بالهايدرومتر ، ومنحنيات التدرج الحبي مبينة بالشكل (1) وأجريت تجارب الوزن النوعي وفق المواصفة (ASTM D854-98) - وعُرضت النتائج في الجدول (1).



الشكل (1) منحنيات التدرج الحبي للمركب للخلطات المجرية  $S_{50}$  ,  $S_{40}$  ,  $S_{30}$  ,  $S_{20}$  ,  $S_{10}$  ,  $S_{00}$

جدول (1) الوزن النوعي للخلطات المجرية  $S_{50}$  ,  $S_{40}$  ,  $S_{30}$  ,  $S_{20}$  ,  $S_{10}$  ,  $S_{00}$

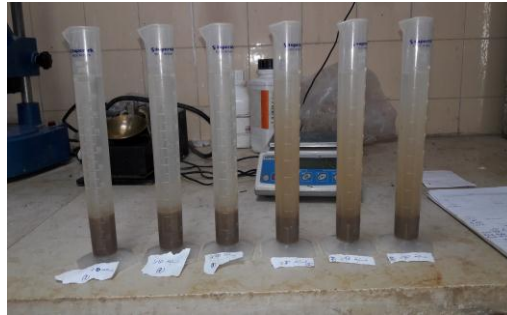
نسبة الرمل %	0	10	20	30	40	50	100
الوزن النوعي G	2.7	2.695	2.690	2.685	2.680	2.675	2.65

تم تحديد التركيب الكيميائي للتربة الانتفاخية في معمل اسمنت طرطوس وبيبين الجدول (2) التركيب الكيميائي لها.

جدول (2) التركيب الكيميائي للغضار المستخدم

CHEMICAL COMPOSITION	%
Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	12.5
Ferric (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	5.5
Calcium (CaO)	12
Magenisium (MgO)	2.4
Silica (SiO <sub>2</sub> )	48.8
(Sodium (Na <sub>2</sub> O)	1.2
Potassium (K <sub>2</sub> O)	0.36
Loss of ignition (LoI)	16.24

تصنف التربة الغضارية ضمن المجموعة A-7-5 وفقاً لنظام تصنيف AASHTO، وتصنف CH وفقاً لنظام التصنيف الموحد للترب وهي تربة ضعيفة من حيث مناسبتها للطرق. وتبين من تجربة التشديد أنّ ضغط الانتفاخ مساوٍ إلى  $26t/m^2$ . ونسبة الانتفاخ الحر 127% ونسبة الجزء الغضاري (جزئيات ذات قطر أصغر من 0.02mm) هي 73.9% ويبين الشكل (2) الأنابيب المدرجة المستخدمة في تعيين الانتفاخ الحر ويبين الشكل (3) أجهزة التشديد المستخدمة في إجراء تجارب الانتفاخ والتشديد للعينات الغضارية بالنسب المختلفة للرمل المضاف.



الشكل (2) تجارب الانتفاخ الحر للنسب المختلفة من الرمل المضاف



الشكل (3) تجارب الانتفاخ والتشديد للنسب المختلفة من الرمل المضاف

تمّ تحديد محتوى الرطوبة المثالية والكثافة الجافة الاعظمية للخلائط باستخدام طريقة بروكتور النظامية وفقاً للمواصفة (ASTM D698). تمّ تحديد كمية المواد لكل عينة اعتماداً على الكثافة الجافة الاعظمية والرطوبة المثالية أو رطوبة الاشباع. بالنسبة لاختبار الضغط غير المحصور (UCS)، شكات عينات أسطوانية طولها مساو لضعف قطرها. ومعدل تشوه مساوٍ لـ  $2mm/min$  ويبين الشكل (4) صوراً لبعض عينات الضغط الحر.



الشكل (4) صور لبعض عينات تجارب الضغط الحر.

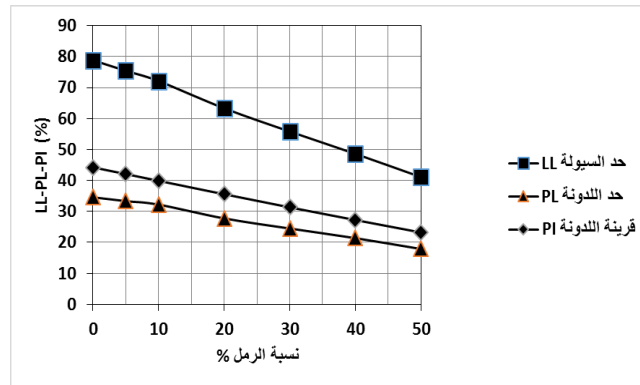
تم إجراء تجارب النفاذية على العينات المشكّلة وفق كثافة ورطوبة بروكتور وبيّن الشكل (5) صورة لجهاز النفاذية المستخدم حيث تركت العينات لمدة أسبوع حتى الاشباع الكامل للعينات ثم تم تطبيق ضاغط مقداره 100kPA.



الشكل (5) صورة لجهاز النفاذية المستخدم

### النتائج والمناقشة:

تم إيجاد حدود أتريغ لجميع الخلائط باستخدام طريقة كساغراند Casagrande. انخفضت قيم حد السيولة LL بزيادة نسبة الرمل المضافة بنسبة حوالي 47.8% من نسبة رمل 0% إلى نسبة رمل 50%. تم ملاحظة نفس النتيجة لقيم حد اللدونة PL حيث انخفضت قيم حد اللدونة بنسبة 48.3% من نسبة رمل 0% إلى نسبة رمل 50% لكن شدة الميل كانت أقل من LL. بيّن الشكل (6) الاختلاف في حدود Atterberg مع إضافة الرمل بنسب مختلفة. ووجدت نتائج مماثلة في أعمال تجريبية أخرى حول تحسين التربة بإضافة الرمل (Roy, 2013<sup>[15]</sup>; Ravi Shankar et al., 2012<sup>[14]</sup>).



الشكل (6) منحنيات العلاقة بين حدود أتريغ ونسبة الرمل المضافة

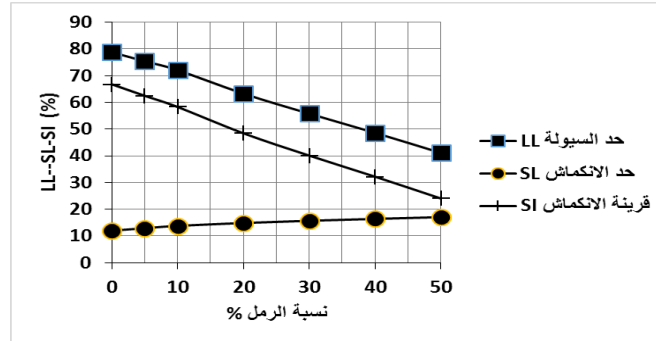
وتمّ التوصل للعلاقات التالية لكل من حد السيولة وحد اللدونة:

$$LL = -0.70 * FS\% + 76.8 \quad : \quad (R^2 = 0.988)$$

$$PL = -0.4 * FS\% + 37 \quad : \quad (R^2 = 0.951)$$

في حين حد الانكماش الذي حدد بطريقة علب حد الانكماش والذي يعرف بأنه أقل محتوى للرطوبة في التربة لا يقل بعده حجم التربة مهما نقص محتوى الرطوبة يزيد بشكل طفيف بزيادة نسبة الرمل المضافة حيث ازداد حد الانكماش بنسبة حوالي 42.2% من نسبة رمل 0% إلى نسبة رمل 50%، بينما قرينة الانكماش التي تعبر عن الفرق

بين حد السيولة وحد الانكماش تتخفض بحدّة زيادة نسبة الرمل المضافة حيث كانت نسبة الانخفاض في قرينة الانكماش حوالي 64% من نسبة رمل 0% إلى نسبة رمل 50% كما هو مبين بالشكل (7) وهذا يؤكد أن التغيرات الحجمية تصبح أقل بكثير مع زيادة نسبة الرمل المضافة وبالتالي احتمالية المشاكل تصبح أقل.



الشكل (7) منحنيات العلاقة بين حد الانكماش وحد السيولة وقرينة الانكماش مع نسبة الرمل المضافة

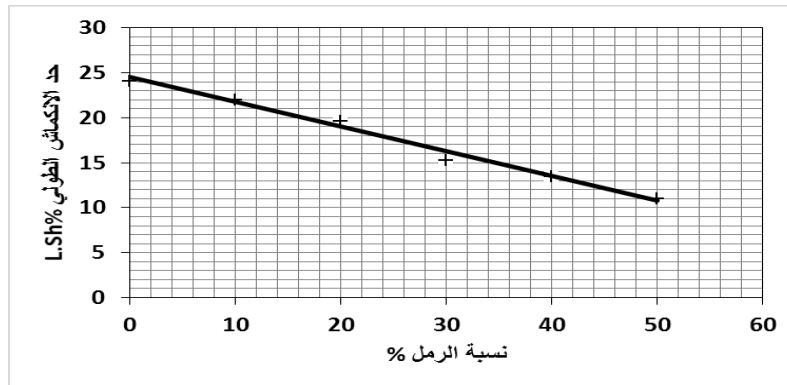
و توصلنا للعلاقة التالية لحد الانكماش:

$$SL = 0.1 * FS\% + 12.5 \quad (R^2 = 0.967)$$

حيث FS% تمثل نسبة الرمل المضافة  
R<sup>2</sup> معامل التحديد

وفيما يتعلق بالانكماش الطولي L.Sh الذي يمثل التغير بطول العينة نسبة للطول الأصلي بعد تجفيف عينة برطوبة مساوية لرطوبة حد السيولة موضوعة في قوالب محددة الأبعاد تم ملاحظة أن الانكماش الطولي يتناقص بزيادة نسبة الرمل المضافة حيث كانت نسبة الانخفاض في حد الانكماش الطولي حوالي 54% من نسبة رمل 0% إلى نسبة رمل 50% كما هو مبين بالشكل (8) وفق العلاقة التالية:

$$L.Sh = -0.275 * FS\% + 24.5 \quad (R^2 = 0.967)$$



الشكل (8) منحنى العلاقة بين حد الانكماش الطولي مع نسبة الرمل المضافة

نلاحظ أنّ علاقة حدود أتريغ مع نسبة الرمل المضافة علاقة خطية لذلك تم اقتراح هذه العلاقات للتنبؤ بحدود أتريغ للتربة الغضارية لأي نسبة رمل مضافة بمجرد معرفة حدود أتريغ لنسبة واحدة بافتراض أنّ الميل ثابت.

$$\frac{LL_{Fs} - LL_{Fs1}}{Fs - Fs1} = -0.7 \quad (1)$$



$$\frac{PL_{Fs} - PL_{Fs1}}{Fs - Fs1} = -0.4 \quad (2)$$

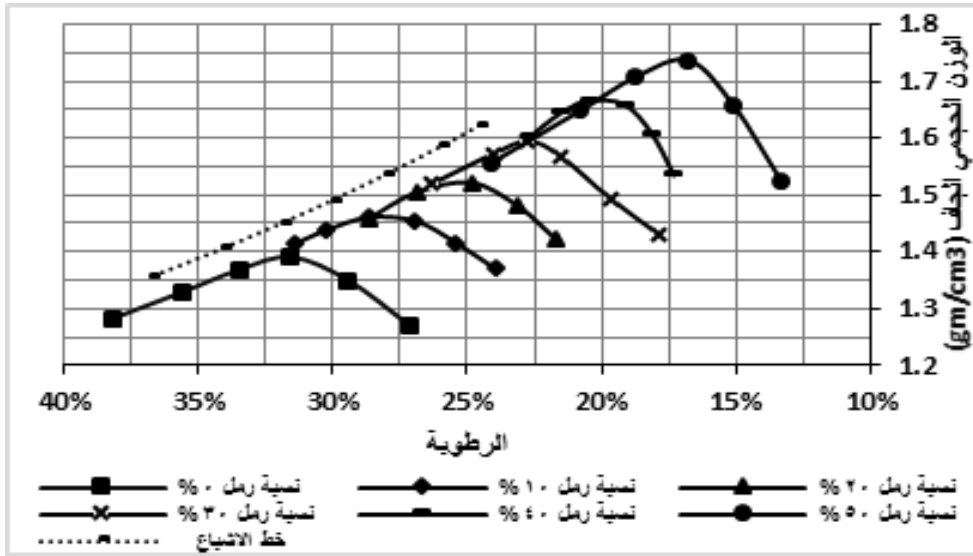
$$\frac{SL_{Fs} - SL_{Fs1}}{Fs - Fs1} = 0.1 \quad (3)$$

$$\frac{L.Sh_{Fs} - L.Sh_{Fs1}}{Fs - Fs1} = -0.275 \quad (4)$$

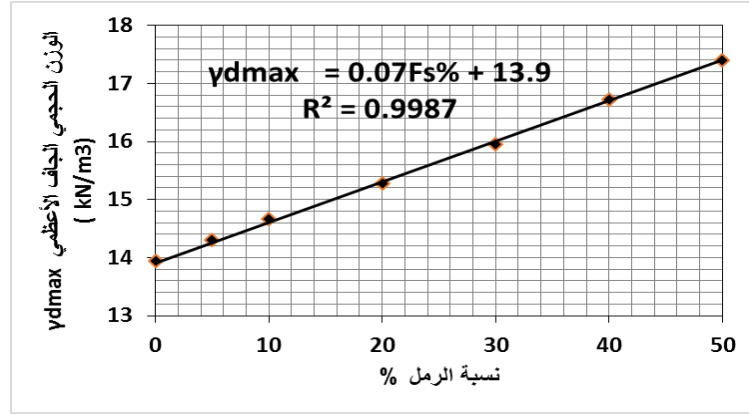
حيث  $SL_{fs} - PL_{fs} - LL_{fs} - L.Sh_{fs}$  حدود أتريرغ الموافقة للنسبة المرغوب ايجادها  $F_s$

$SL_{fs1} - PL_{fs1} - LL_{fs1} - L.Sh_{fs1}$  حدود أتريرغ الموافقة لنسبة رمل معلومة  $F_{s1}$

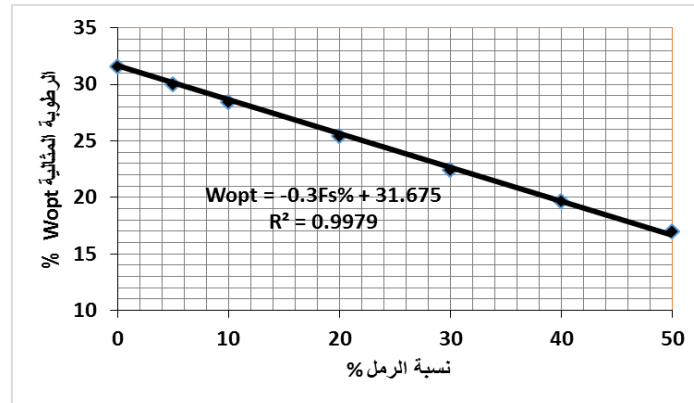
أجريت تجارب بروكتور الشكل (9) للخلات لتحديد الكثافة الجافة الاعظمية والرطوبة المثالية لكل نسبة خلط وبيّن الشكل (10) قيم الكثافة الجافة الأعظمية بحسب نسبة الرمل المضافة. وقد لوحظ وجود زيادة مستمرة في الكثافة الجافة الأعظمية وهذا يتوافق مع (Gupta and Sharma, 2014<sup>[5]</sup>) بسبب انخفاض حجم المسامات الموجودة بالتربة بزيادة نسبة الرمل المضافة وانخفاض شراهة التربة للمياه نظرًا لاستبدال الجزء الناعم الشره للمياه بجزء خشن عديم الشراهة والاحتفاظ بالمياه وهذا ما تؤكد قيم الرطوبة المثالية للخلات حيث نلاحظ انخفاض قيم الرطوبة المثالية بزيادة نسبة الرمل المضافة من 31.6% للغضار الصافي لـ 17% لنسبة خلط 50% كما هو مبين بالشكل (11) وهذا ما يتوافق أيضاً مع (Jjuuko et al. 2011<sup>[7]</sup>) وازدياد الكثافة الجافة من  $1.395 \text{ gr/cm}^3$  للغضار الصافي لـ  $1.74 \text{ gr/cm}^3$  لنسبة خلط 50%.



الشكل (9) تجارب بروكتور للخلات S50 , S40 , S30 , S20 , S10, S00



الشكل (10) العلاقة بين الكثافة الجافة الاعظمية ونسبة الرمل المضافة.



الشكل (11) العلاقة بين الرطوبة المثالية W<sub>opt</sub> ونسبة الرمل المضافة.

نلاحظ أن علاقة كلاً من الكثافة الجافة الأعظمية والرطوبة المثالية مع نسبة الرمل المضافة علاقة خطية ويمكن استخدام هذه العلاقات للتنبؤ بالكثافة الجافة الاعظمية والرطوبة المثالية للتربة الغضارية الانتفاخية لأي نسبة رمل مضافة بمجرد إجراء تجربة بروكتور لنسبة رمل واحدة بافتراض أن الميل ثابت. وبالتالي تم اقتراح العلاقات التالية:

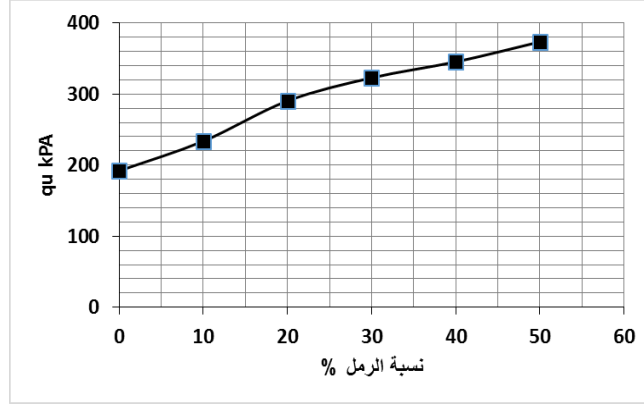
$$\frac{Y_{dmax}(fs) - Y_{dmax}(fs1)}{Fs - Fs1} = 0.07 \quad (5)$$

$$\frac{W_{opt}(fs) - W_{opt}(fs1)}{Fs - Fs1} = -0.3 \quad (6)$$

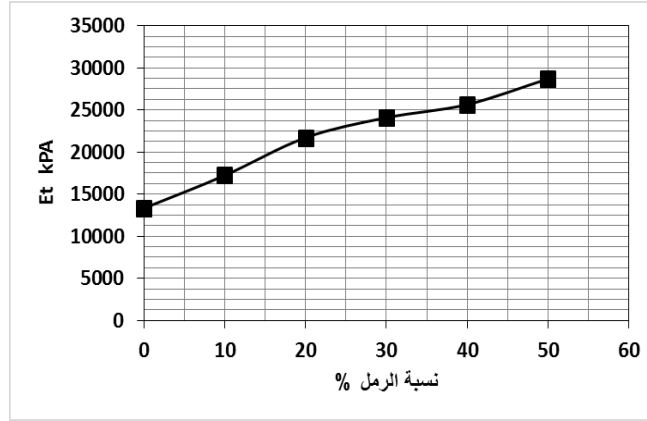
حيث:  $W_{opt}(fs) - Y_{dmax}(fs)$  الكثافة الجافة الأعظمية والرطوبة المثالية للنسبة المرغوب ايجادها  $Fs$ .

$W_{opt}(fs1) - Y_{dmax}(fs1)$  الكثافة الجافة الأعظمية والرطوبة المثالية لنسبة رمل معلومة  $Fs1$ .

بالنسبة لتجارب الضغط الحر (الضغط غير المحصور) التي أجريت على الخلائط المشكلة وفق الكثافة الاعظمية والرطوبة المثالية لبروكتور القياسية تم ملاحظة أن كلاً من المقاومة ومعامل المرونة المماسي يزدادان بزيادة نسبة الرمل المضافة وهذا يتوافق مع (NAGARAJ,2016<sup>[13]</sup>) ونلاحظ وجود نقطة انعطاف عند النسبة 20% تقريباً حيث تصبح بعدها الزيادة أقل حدة كما هو مبين بالشكلين (12) و (13) لذلك يمكن اعتبار النسبة المضافة 20% للرمل هي النسبة المثالية التي يجب ألا تقل نسبة الرمل في التربة الغضارية عنها لتحقيق مواصفات جيدة كتربة غضارية للتأسيس.

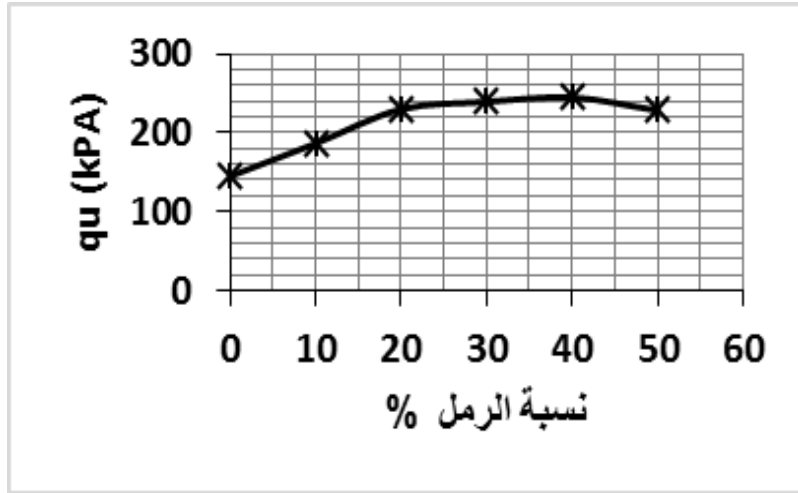


الشكل (12) العلاقة بين مقاومة الضغط غير المحصور qu ونسبة الرمل المضافة .

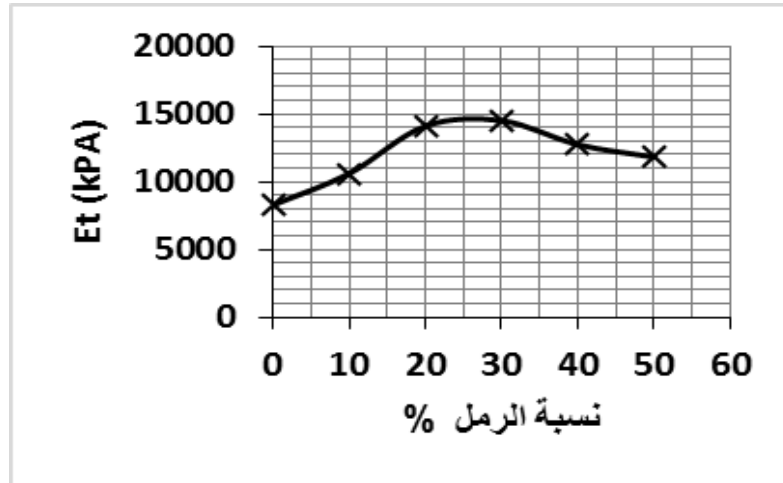


الشكل (13) العلاقة بين معامل المرونة المماسي Et ونسبة الرمل المضافة.

أما فيما يتعلق بتجارب الضغط الحر التي أجريت على الخلطات المشكلة وفق الكثافة الجافة الاعظمية لبروكتور القياسية وعند درجة اشباع 100% تم ملاحظة أن كلاً من المقاومة ومعامل المرونة المماسي يزدادان بزيادة نسبة الرمل المضافة حتى النسبة 20% حيث تصبح بعدها الزيادة أقل حدة أو تعود للانخفاض بعد النسبة 30% تقريباً كما هو مبين بالشكلين (14) و (15).

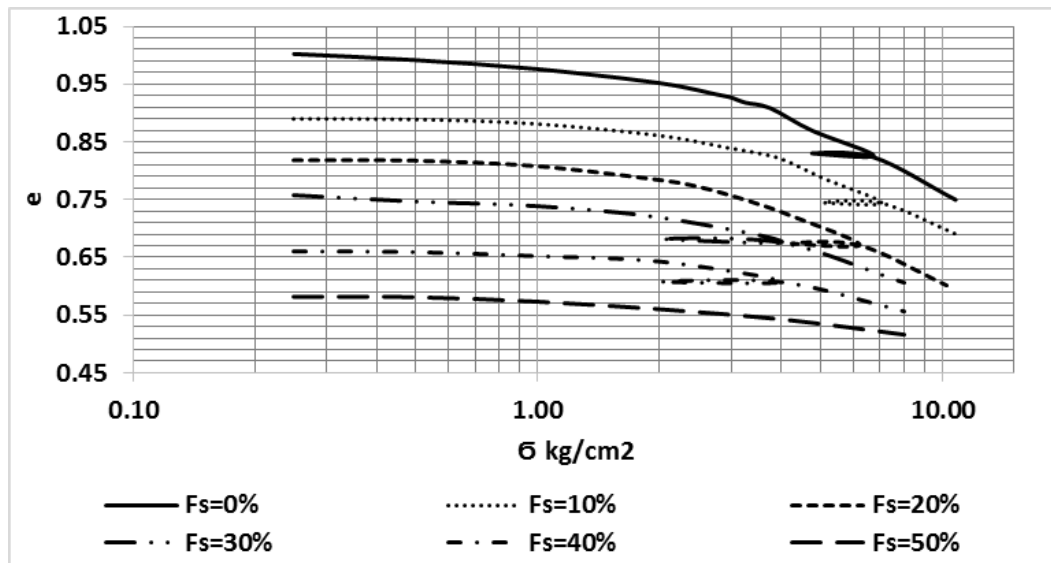


الشكل (14) العلاقة بين مقاومة الضغط غير المحصور qu ونسبة الرمل المضافة.



الشكل (15) العلاقة بين معامل المرونة المماسي Et ونسبة الرمل المضافة.

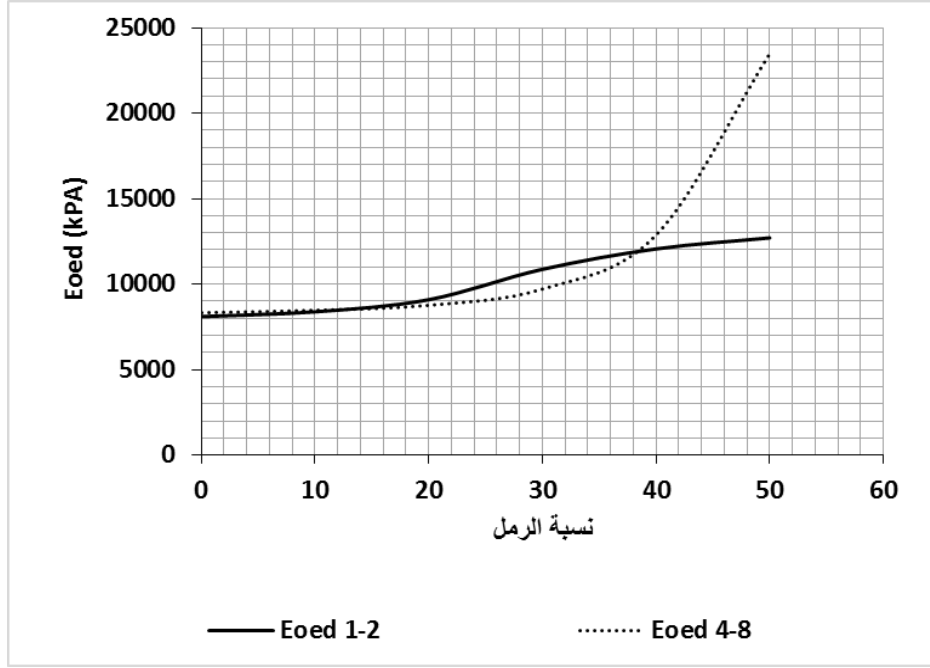
نظراً لأنّ الترب الغضارية تتميز بخاصية التشديد والهبوط الكبير مع الزمن عند تعرضها للأحمال لذلك كان لابد من إجراء تجارب التشديد لمعرفة تأثير إضافة الرمل على انضغاطية هذه الترب وبيّن الشكل (16) منحنيات تجارب التشديد المجرّاة على عينات مشكلة وفق رطوبة وكثافة بروكتور القياسية لنسب الرمل المضافة المختلفة حيث يتبيّن من الشكل أنّ الميل يقلّ بزيادة نسبة الرمل المضافة وهو دليل على انخفاض عوامل الانضغاطية وزيادة صلابة التربة.



الشكل (16) منحنيات تجارب التشديد المجرّاة على عينات مشكلة وفق رطوبة وكثافة بروكتور القياسية لنسب الرمل المضافة المختلفة

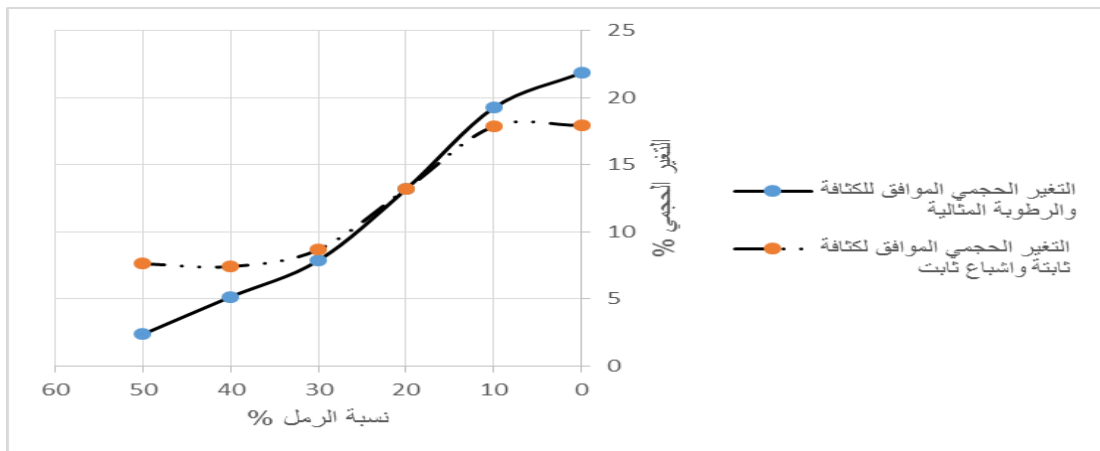
وبيّن الشكل (17) تغيّر معامل المرونة الأدمتري مع نسبة الرمل المضافة محسوبة عند مجالين للإجهاد هي (1-2) و (4-8) kg/cm<sup>2</sup> ، وتبيّن أنّ معامل المرونة الأدمتري يزداد بزيادة نسبة الرمل المضافة بشكل ملحوظ حتى نسبة محددة للرمل حوالي 30% لتصبح الزيادة طفيفة بعدها وذلك في مجالات الاجهاد المنخفضة و كلما زاد مجال الاجهاد تصبح الزيادة في معامل المرونة عند نسب الرمل المضافة المرتفعة أكبر منها عند النسب المضافة المنخفضة أي تكون الزيادة في معامل المرونة طفيفة حتى نسبة رمل مضافة محددة حوالي 20% ثم تصبح الزيادة في معامل

المرونة الادومتري بعد هذه النسبة المضافة كبيرة. ونظراً لأن تحمل هذا النوع من التربة للاجهادات يكون صغير نسبياً عند درجات الاشباع العالية لذلك يفضل ألا تقل نسبة الرمل المضافة عن 30% لإبقاء الهبوطات ضمن المجال الأدنى.

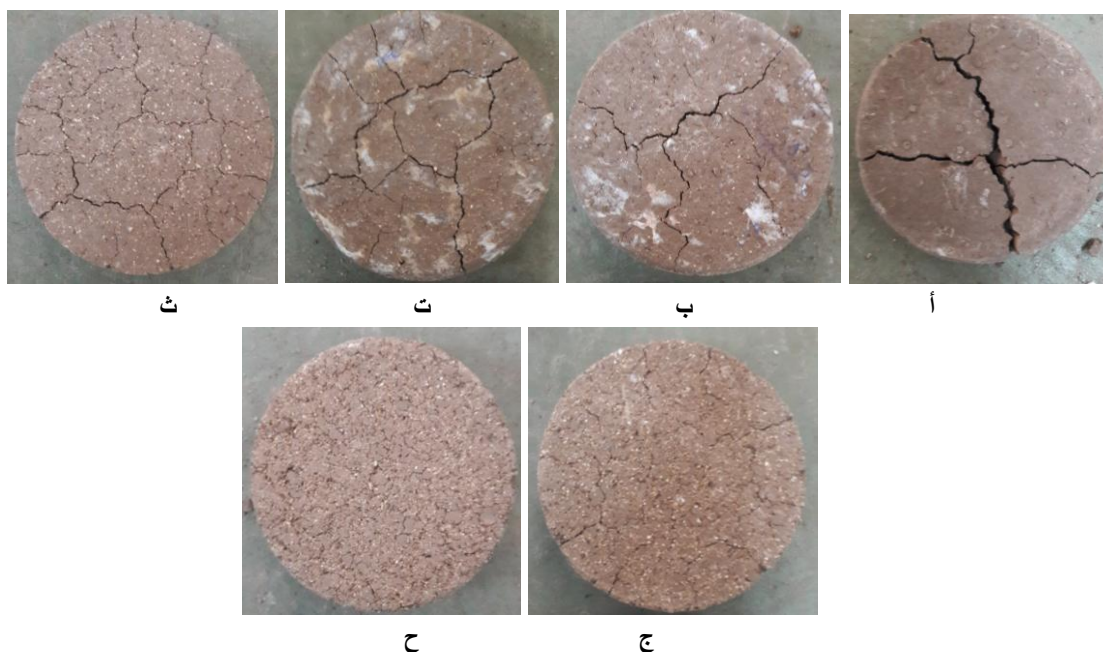


الشكل (17) تغير معامل مرونة الادومتري مع نسبة الرمل المضافة محسوبة عند مجالي اجهاد

كما تم بعد اجراء تجارب التشديد على عينات مشكلة بدرجة اشباع وكثافة ثابتة والعينات المشكلة وفق كثافة ورطوبة بركتور النظامية لكل نسبة من نسب الرمل المضافة تجفيف العينة وقياس حجمها بعد التجفيف وحساب نسبة التغير الحجمي كما يبين الشكل (18) نلاحظ من الشكل (18) تناقص التغيرات الحجمية بزيادة نسبة الرمل حتى النسبة 30% تقريباً ثم تثبت بعدها أو تستمر بالانخفاض بميل أقل حدة. ويبين الشكل (19) صوراً للعينات المشكلة بدرجة اشباع وكثافة ثابتة بعد التجفيف ونلاحظ أن عرض الشق يتناقص مع زيادة نسبة الرمل و بالأخص بعد النسبة 30%.

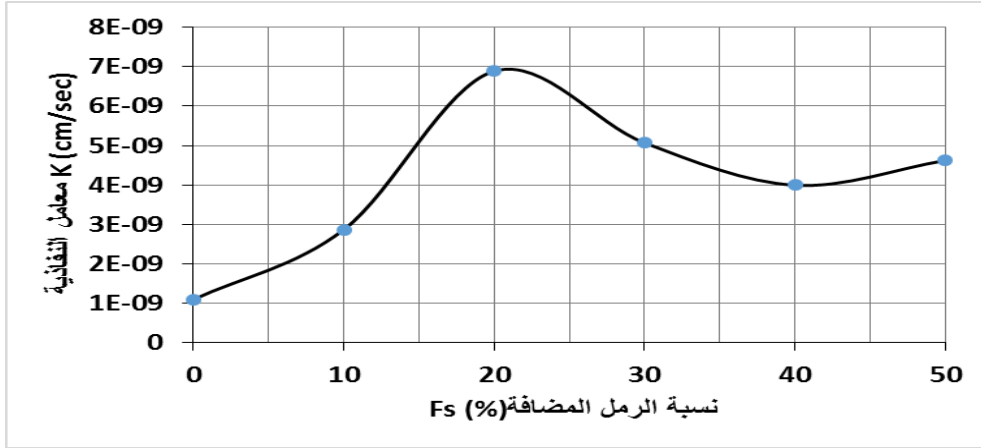


الشكل (18) التغير الحجمي الحاصل في الخلطات S50 , S40 , S30 , S20 , S10, S00 بعد التجفيف

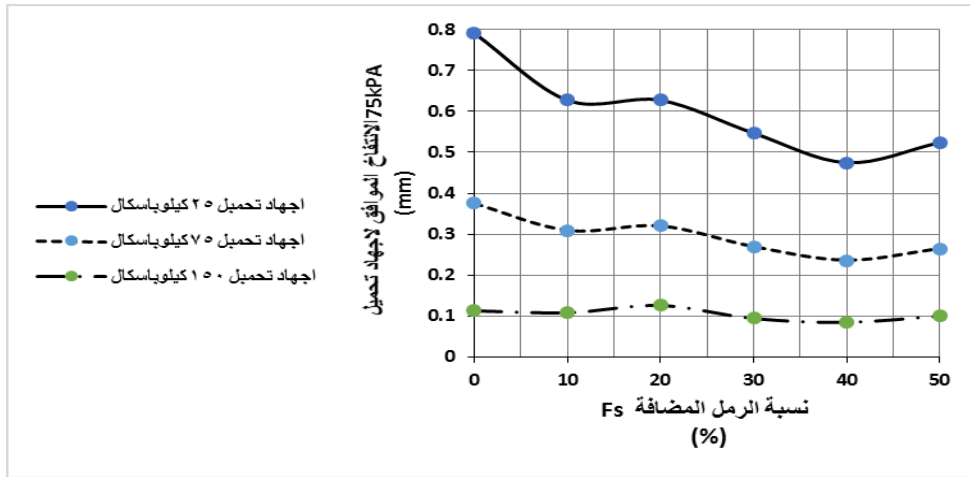


الشكل (19) صور لعينات التشديد المشكلة بكثافة ودرجة اشباع ثابتة لنسبة الرمل المختلفة بعد التجفيف  
 أ- S00 ب- S10 ت- S20 ث- S30 ج- S40 ح- S50

نظراً إلى أنّ نفاذية الترب الغضارية الكثيمة سوف تزداد مع إضافات الرمل إليها (Hussein et al. 2018<sup>[6]</sup>) فإنّ تجارب النفاذية سوف تكون ضرورية لبيان علاقة تغير النفاذية مع نسبة الرمل المضافة وأثر ذلك على التربة المنتفخة بشكل عام وقد بيّنت نتائج التجارب الشكل (20) أنّ معامل نفاذية التربة الخليطة يزداد باضطراد مع زيادة نسبة الرمل حتى نسبة 20% ثمّ ينخفض بشكل حاد لقيمه الدنيا عندما تكون نسبة الرمل المضاف إليها 40% ثم يعود للزيادة بعد هذه النسبة والسبب هو أنّ العينة أثناء الاشباع يحدث بها انتفاخ كما هو مبين بالشكل (21) مما يزيد من حجم الفراغات بالعينة وبالتالي زيادة النفاذية وهذا الانتفاخ يكون كبيراً نسبياً حتى النسبة 20% ويكون في حدوده الدنيا بعد النسبة 30% وعلى الرغم أنّ المواد الخشنة تزيد من النفاذية إلا أنّها بعد النسبة 30% تقل بشكل كبير من التغيرات الحجمية (الانتفاخ) وبالتالي تقلل من حجم الفراغات وهذا يعود على النفاذية بالتناقص بشكل كبير لذلك واعتماداً على النتائج التجريبية ينصح أن تكون نسبة الرمل في التربة الغضارية الانتفاخية المراد استخدامها كترية ردم للأعمال المدنية سواء للطرق أو أنوية السدود الترابية أو طبقة التكتيم في مطامر النفايات لا تقل عن 30% لتحقيق المواصفات الأفضل لها من حيث النفاذية المنخفضة والمقاومة والصلابة العالية والتغيرات الحجمية الدنيا.



الشكل (20) العلاقة بين معامل النفاذية ونسبة الرمل المضافة للعينات المشكلة وفق بركتور القياسية



الشكل (21) العلاقة بين الانتفاخ ونسبة الرمل المضافة للعينات المشكلة وفق بركتور القياسية

### الاستنتاجات والتوصيات:

اعتماداً على النتائج التجريبية للترب الغضارية المحسنة بالرمل نستنتج ما يلي:

- 1- ينخفض كل من حدي السيولة واللدونة وقرينة اللدونة بنسب 47.8% - 48.3% - 47.5% على التوالي بزيادة نسبة الرمل المضافة من 0% إلى 50%، وفيما يلي علاقات تقريبية تم اقتراحها من قبلنا من أجل التنبؤ بحدي السيولة واللدونة إذا كانت حدود اتريغ لنسبة واحدة فقط من النسب المضافة من الرمل معروفة:

$$\frac{LL_{Fs} - LL_{Fs1}}{Fs - Fs1} = -0.7 \quad (1)$$

$$\frac{PL_{Fs} - PL_{Fs1}}{Fs - Fs1} = -0.4 \quad (2)$$

- 2- تزيد حد الانكماش بنسبة 42.2% بزيادة نسبة الرمل المضافة من 0% إلى 50%، وتناقص قرينة الانكماش بشكل أكثر حدة من قرينة اللدونة بسبب زيادة حد الانكماش وتناقص حد السيولة بزيادة نسبة الرمل المضافة إلى التربة المنفخة وهذا ما يفسر تناقص التعيرت الحجمية بزيادة نسبة الرمل المضافة والتي تم التثبت منها باستقراء نتائج

تجارب الانكماش الطولي على التربة التي بينت ان الانكماش الطولي يتناقص بنسبة 54.3% بزيادة نسبة الرمل المضافة من 0% إلى 50%،، وفيما يلي العلاقات التقريبية التي تم اقتراحها من قبلنا من أجل التنبؤ بقيم حد الانكماش SL والانكماش الطولي Sh.L إذا كانت حدود اتربرغ لنسبة واحدة فقط من النسب المضافة من الرمل معروفة:

$$\frac{SL_{Fs} - SL_{Fs1}}{Fs - Fs1} = 0.1 \quad (3)$$

$$\frac{L.Sh_{Fs} - L.Sh_{Fs1}}{Fs - Fs1} = -0.275 \quad (4)$$

3-تزايد الكثافة الجافة الأعظمية بزيادة نسبة الرمل المضافة بسبب انخفاض شراهة التربة للمياه نظراً لاستبدال الجزء الناعم الشره للمياه بالرمل عديم الشراهة والاحتفاظ بالمياه، وهذا ما تؤكد قيم الرطوبة المثالية للتربة الخليطة التي انخفضت من 31.6% للغضار الصافي ل 17% لنسبة خلط 50%.

كما تم اقتراح العلاقاتين التاليتين أيضاً من أجل التنبؤ بالكثافة الجافة الاعظمية والرطوبة المثالية للتربة الغضارية الانتفاخية دون الحاجة لإجراء أكثر من تجربة بركتور واحدة لعينة من التربة الخليطة بنسبة رمل معينة:

$$\frac{Y_{dmax}(fs) - Y_{dmax}(fs1)}{Fs - Fs1} = 0.07 \quad (5)$$

$$\frac{W_{opt}(fs) - W_{opt}(fs1)}{Fs - Fs1} = -0.3 \quad (6)$$

4-يتزايد كل من معاملي المرونة المماسي والأدومتري والمقاومة غير المحصورة بزيادة نسبة الرمل المضافة والنسبة المثالية التي ينصح بإضافتها إلى التربة المنفخة ويوصى بأن لا تقل عن 30% لأنها تحقق قيمة أعلى للمقاومة والصلابة وبالتالي قيمة أخفض للتغيرات الحجمية والنفاذية. كما خالصنا الى التوصيات النهائية التالية المتعلقة بالبحث:

☒ لابد من أجل التوسع في البحث من إجراء مزيد من الأبحاث لدراسة تأثير بنية التربة وخشونتها واختلاف أبعاد الحبيبات على المقاومة وعلى قيمة النسبة الحرجة .

☒ ضرورة تعميم البحث ليشمل أنواع أخرى من الترب الرملية كالترب جيدة التدرج لخلطها بأنواع أخرى من الترب الانتفاخية ومقارنة النتائج المستحصل عليها مع نتائج هذا البحث وفيما اذا يمكن تعميم العلاقات السابقة أو استخدام علاقات خاصة بكل نوع من أنواع التربة.

## References

1. AMETA, N.K; PUROHIT, D.G.M; WAYAL, A.S. *Characteristics, problems and remedies of expansive soils of Rajasthan*, India, Journal of Geotechnical Engineering, EJGE, J.N.V. University, Jodhpur, 2007, 7 pp.
2. BENGRAA, L; HACHICHI, A; BOUROKBA, S.A; BENAÏSSA, A. *Étude de la stabilisation des argiles gonflantes par ajout de sable de carrière*, Université du Tlemcen, Tlemcen, 2005, 101-112.
3. Bhatta, N. *Engineering properties of pond ash and pond ash sand mixtures*, Indian Highways, 2008, 36(7), 49-59.
4. CHAVALI, R.V.P; SHARMA, R.K.. *Influence of sand and fly ash on clayey soil stabilization*. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) International Conference on Advances in Engineering & Technology - 2014 (ICAET-2014),2014, 36-40.



5. GUPTA, C; SHARMA, R. K. *influence of Marble Dust, Fly Ash and Beas Sand on Sub Grade Characteristics of Expansive Soil*. IOSR Journal of Mechanical and CivilEngineering(IOSR-JMCE),2014, 13-18.
6. HUSSEIN, N.M; AL RAWI , O.S; ASSAF M.N. *EFFECT OF SAND ADDITIVES ON THE ENGINEERING PROPERTIES OF FINE GRAINED SOILS* . ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2018, VOL. 13, 3197-3206.
7. JJUUKO, S; KALUMBA, D; BAGAMPADDE, U. *The use of locally available sand in stabilization of Ugandan clayey soils: Case study of clayey soil from Busega area*, Uganda Institution of Professional Engineers 16th National Technology Conference (NTC 2011), Umaru, 2011.
8. KAOUA, F; DERRICHE, Z ; LARADI, N. *Contribution à l'étude de la stabilisation des sols gonflants par ajout de sable*, Algérie Equipement: Revue Technique de l'Ecole National des Travaux Publiques, 1994, 15, 12-15.
9. KHEMISSA, M; MAHAMED, A; MEKKI, L. *Problematic soil mechanics in the Algerian arid and semi-arid regions: Case of M'sila expansive clays*, J. Appl. Eng. Sci. Technol, 2015, 1(2), 37-41.
10. LAMARA, M; GUEDDOUDA, M.K; BENAÏSSA, A; HACHICHI, A. *Stabilisation des sols gonflants par ajout de sable de dune*, Université du Tlemcen, Tlemcen, 2005, 129-139.
11. LOUAFI, B; BAHAR, R. *SAND: An additive for stabilization of swelling clay soils*, Int. J. Geosci., 2012, 3, 719-725.
12. MADU, R.M. *Sand-laterite mixtures for road construction (A laboratory investigation)*, Nigerian Journal of Technology, 1975, 1(1), 28-37.
13. NAGARAJ, H. B. *Influence of gradation and proportion of sand on stress–strain behavior of clay–sand mixtures*. International journal of Geo-Engineering, 2016, 7:19
14. RAVI SHANKAR, A.U; CHANDRASEKHAR, A; PRAKASH BHAT, H. *Experimental investigations on lithomargic clay stabilized with sand and coir*, Indian Highways, 2012, 40(2), 21-31.
15. ROY, T.K. *Influence of sand on strength characteristics of cohesive soil for using as subgrade of road*, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2013, 104, 218–224.
16. SHARMA, R.K; GUPTA, C. *Influence of waste materials on geotechnical characteristics of expansive soil*, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 2013, 2(10), 2536-2542.
17. SHARMA, R.K; KUMAR, V; SHARMA, N; RATHORE, A. *Compaction and subgrade characteristics of clay mixed with beas sand, rice husk ash and waste plastic fibre*, Indian Highways, 2012, 40(8), 29-36.
18. SINGH, B; KUMAR, A AND SHARMA, R.K. *Effect of waste materials on strength characteristics of local clay*, International Journal of Civil Engineering Research, 2014, 5(1), 61-68.
19. STEINBERG, M. L. *Controlling Expansive Soil Destructiveness by Deep Vertical Geomembranes on Four Highways*, Transportation Research Record no. 1032, National Research Council, Washington, D.C. , U.S.A., 1985, 48-53.