The North African Journal of Scientific Publishing (NAJSP)
مجلة شمال إفريقيا للنشر العلمي (NAJSP)
E-ISSN: 2959-4820
Volume 4, Issue 1, 2025
Page No: 37-43
Website: https://najsp.com/index.php/home/index
SJIFactor 2024: 5.49 **معامل التأثير العربي (AIF) 2025: 0.69** **ISI 2024: 0.696**

The Effect Atterberg Limits on Expansive Soils by Adding Construction Waste Powder

Ahmed Meekaeil[1*], Arhaiem Hussain[2], Ahmad Majed[3], Naser Salem[4], Mohammed Hamad[5], Mustafa Mustafa[6]
[1,2,3,4,5,6]Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Derna, Al Qubbah, Libya

تأثير حدود أتربرج على التربة الإنتفاخية بإضافة مسحوق مخلفات المباني

أحمد مكائيل[1*]، أرحيم حسين[2]، أحمد مجيد[3]، نصر سالم[4]، محمد حمد[5]، مصطفي مصطفي[6]
[1،2،3،4،5،6]قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة درنة، القبة، ليبيا

*Corresponding author: ahmadelmabrouk@gmail.com

Received: Decamber 10, 2025	Accepted: January 21, 2026	Published: January 29, 2026

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract:
This study aims to determine the effect of Atterberg limits on expansive soils through the addition of construction waste powder by taking soil samples from the Beit Thamer area east of Al-Qubbah in Libya at a depth of 1.5 meters from the ground surface. Atterberg limit tests were conducted before and after adding building waste powder at ratios of 25%, 50%, and 75% of the soil weight. Atterberg limit tests were conducted before and after adding construction waste powder in proportions of 25%, 50%, and 75% of the weight of dry soil. The results obtained from the laboratory tests showed that the soil's liquid limit decreases, indicating that the soil's swelling potential also decreases with an increased percentage of construction waste powder added to the soil. The results for the study soil without additives were 104, 102, 108, and 68.9 for D, C, B, and A, respectively. After adding construction waste powder to the soil at 75% of the soil weight, the results were (67.2, 68.9, 62.9, 48.9) for (D, C, B, A), respectively. Due to the improvement in the liquid limit values, this makes the soil more stable and workable. Furthermore, using waste powder helps in disposing of waste generated from buildings.

Keywords: Expansive soils, Construction waste powder, Atterberg Limits.

الملخص:
تهدف هذا الدراسة إلى معرفة تأثير حدود أتربرج على التربة الإنتفاخية من خلال إضافة مسحوق مخلفات المباني بإخذ عينات من التربة من منطقة بيت ثامر شرق مدينة القبة في ليبيا على عمق 1.5متر من سطح الأرض. تم إستخدام تجارب حدود أتربرج قبل وبعد إضافة مسحوق مخلفات المباني بالنسب (25%،50%،75%) من وزن التربة. بينت النتائج التي تم الحصول عليها من التجارب المعملية أن حد السيولة للتربة يقل على ان نسبة انتفاخ التربة ويقل ايضاً مع زيادة نسبة إضافة مسحوق المخلفات إلى التربة. حيث كانت نتائج لتربة الدراسة بدون إضافات (104، 102، 108 ، 68.9) على التوالي (D,C,B,A) وبعد إضافة مسحوق مخلفات المباني إلى التربة بنسبة 75% من وزن التربة كانت النتائج (67.2,68.9,62.9,48.9) على التوالي (D,C,B,A). ونظرا لتحسن قيم حد السيولة فإن هذا يجعل التربة أكثر استقراريه وقابلية للتشغيل إضافة إلى ذلك فإن إستخدام مسحوق المخلفات يساعد على التخلص من النفايات الناتجة من المباني.

الكلمات المفتاحية: التربة الإنتفاخية، مسحوق مخلفات المباني، حدود أتربرج.

مقدمة:

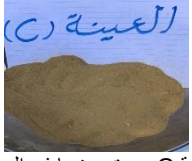
تعد التربة الإنتفاخية من أنواع التربة المسببة للمشكلات في مجال الهندسة الجيوتقنية. فهي تنتفخ عند البلل وتنكمش بسبب الجفاف. وهذا التغير يتعرض مع المشاريع الهندسية المدنية التي تُنشأ فوقها أو داخلها مسبب اضرار جسيمة. تسبب حركة رفع وهبوط للمنشأ نتيجة أنتفاخ هذه التربة ويحدث هذا نتيجة لظروف تكوينها أو التغير في الظروف المحيطة بسبب تشبعها بالماء ويحدث هذا الانتفاخ بسبب التركيب المعدني للطين المكون لها حيث يزداد حجم حبيبات التربة بشكل كبير مسبباً أضرار كبيرة للمنشأ ويوجد أنواع من الطين يكون له القدرة على الإنتفاخ بمجرد وصول الماء له ويفقد هذا الانتفاخ عند فقدان الماء والاساس المقام على هذا النوع من التربة يتعرض لقوة رفع تسبب أضرار لهذا المنشأ وقد تؤدي هذه الاضرار لإنهيار المنشأ. والتربة الإنتفاخية تكون ذات مقاومة عالية للقص في حالتها الجافة ولكن إذا تشبعت بالماء يؤدي هذا إلى فقد هذه الصفة Lucian,C. (2006). من ناحية أخري ولقياس مدى تأثيرات هذه الاضرار التربة على الأساسات، من الضروري تحديد حجم انتفاخها. يمكن تحديد قيمة الانتفاخ من خلال التحليل الدقيق لمختلف الاختبارات. وهذه التجارب ومؤشرات هي نسبة الحبيبات الصغيرة التي يقل حجمها عن 0.002 مم (الطين) ومؤشر اللدونة في التربة واختبار الانتفاخ الحر Kalantari, B. (2012). في حين ان معظم انظمة تصنيف التربة الطين المعدني تعرف بجزيئات الطين اقل من 2 ميكرومتر وتنشأ هذه الجسيمات من الصخور الام عن طريق التجوية وتنقسم الي ثلاث مجموعات وهي المونتموريلونيت montmorillonite، وإليت illite، وكولينيت (Kaolinite 1975).Chen,. ويرتكز تأثر الطين المعدني بالمحتوي المائي الطبيعي له عندما يكون المحتوي الماء أعلي من حد السيولة تقل قوة القص وعندما يكون المحتوي المائي اقل من حد السيولة يجعل الطين أكثر قوة قص للتربة وان حد السيولة للمونتموريلونيت أعلي من حد السيولة لكولينيت وهذ يدل على أن الطين الانتفاخي يتأثر باللدونة Nelson, (2015). وفي دراسة لتحسين خواص التربة الإنتفاخية باستخدام الاسمنت حيث أعتمد أسلوب اضافة الاسمنت بنسبة 8% مع التربة الإنتفاخية وقد تم إجراء العديد من الاختبارات لتحسين خواص هذه التربة ومن ضمن هذه الاختبارات التي تتمثل في حدود أتربرج (القوام) والوزن النوعي وفحص القص المباشر ونسبة الانتفاخ ومقدار ضغط الانتفاخ، ولقد بينت التجارب التي أجريت، إن حدود أتربرج تقل بعد إضافة الاسمنت إلى التربة، عند المحتوى الرطوبي الامثل فإن كثافة التربة ومقدار قيم التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلي تزداد مع زيادة نسبة الاسمنت اما الانتفاخ يقل مع زيادة الاسمنت. (علاء داود -2014). وهناك دراسة أخري تمّ خلط الرّماد الناتج عن حرق مخلفات صناعة زيت الزيتون مع نوعين من الترب الإنتفاخية وبنسبٍ مختلفةٍ [1%،3%،5%،7%] تبعاً للوزن الجاف للتربة ، وحُفظت العيّنات للمعالجة [14،28،90] يوما .اختُبر أداء هذا الرّماد كمحسنٍ غير تقليدي للترب الإنتفاخية من خلال مجموعة التجارب التالية : حد أتربرج ، دمك التربة (الاختبار بروكتور المُعدّلة)، التحليل الحبيبي باستخدام الهيدرومتر، الانتفاخ النسبيّ الحر وضغط الانتفاخ ، وكذلك اختبار تحمل الكاليفورنيا C.B.R. لقد أثبتت المادة المُضافة نجاحها في تحسين الخواص الفيزيائية والميكانيكية للترب الإنتفاخية المُختبَرة بشكلٍ عام من خلال تقليل كلاً من خواص اللدونة والخصائص الإنتفاخية وارتفاع قيم C.B.R. للتربتين. (قزي واخرون 2020). بإضافة الى ذلك تم إضافة الجير الحي Quicklime في دراسة اخره لعينات التربة في بنسبة 3-8%. تم إجراء اختبارات حدود أتربرج، الدمك، نسبة التحمل كاليفورنيا، نسبة الإنتفاخ الحر وضغط الإنتفاخ على عينات التربة الإنتفاخية الطبيعية وبعد اضافة الجير. اتضح تحسن واضح في خصائص لدونة للتربة اذ انخفض مؤشر اللدونة حوالي 40% عند اضافة الجير. كذلك تحسنت خصائص الدمك وزادت نسبة التحمل كاليفورنيا بحوالي 50 مرة مما كانت عليه. بمقارنة قابلية الانتفاخ للتربة الطبيعية والمعالجة تقلص مؤشر الانتفاخ وكذلك ضغط الانتفاخ بصورة جوهرية عند اضافة الجير. قام الباحث حمزة (2022).

المنهجية:

تم جمع 4 عينات تربة غير مقلقله (undisturbed sample) من الطريق الواصل بين مدينتي (القبة ودرنة) وتحديدا في منطقة بيت ثامر وعلي امتداد هذه الطريق يوجد العديد من التربة الإنتفاخية. وأجري عليها اختبار التحليل المنخلي وحدود أتربرج (حد السيولة وحد اللدونة) للعينات بدون اضافات وبعد اضافة مسحوق مخلفات المباني بنسب (25%، 50%، 75%) من وزن العينة جافة. والشكل (1) يوضح تجهيز العينات بعد تجفيفها وتفتيتها في معمل ميكانيكا تربة كلية الهندسة القبة.

العينة A بعد تجهيزها في المعمل

العينة B بعد تجهيزها في المعمل



العينة C بعد تجهيزها في المعمل

العينة D بعد تجهيزها في المعمل

الشكل (1): يبين تجهيز العينات (D, C, B, A) بعد تجفيفها وتفتيتها في المعمل

الاختبار التحليل المنخلي Sieve Analysis Test:

يستخدم هذا الاختبار لتحليل التربة الخشنة التي أقطار حبيباتها أكبر من mm0.075 المتبقية من منخل رقم 200 (retained on the No. 200 sieve). تم اجراء اختبار التحليل المنخلي بواسطة (ASTM D 422). يجري الاختبار التحليل المنخلي في فصل حبيبات التربة التي تزيد اقطارها عن mm0.075 ويلزم لأجراء ذلك تجفيف التربة في فرن درجة حرارته 105°- 110° للتخلص من الرطوبة تماما ثم تفكيك حبيبات التربة ثم تمرر عينة التربة خلال مجموعة من مناخل قياسية التي تحمل ارقاما تتروح بين رقم (4) ورقم (200) وتنتهي بصينية تسمي Pan. والشكل (2) يوضح جهاز التحليل المنخلي.

الشكل (2): جهاز التحليل المنخلي

تم اجراء التحليل المنخلي على عينات التربة وتم تحديد نسبة التربة المار من منخل رقم 200. وكانت النتائج كما موضح في الجدول (1).

جدول (1): نسبة التربة المارة من منخل رقم 200

Sample	Passing sieve, No 200 (%)
A	64.17
B	80.08
C	62.50
D	61.72

قوام التربة (حدود اتربرج) Soil Consistency (Atterberg Limits):

التربة المتماسكة ذات الحبيبات الدقيقة تعتمد على تركيبها المعدني، ومحتوى الماء فيها، ودرجة التشبع، وبنيتها. ويعد المحتوى الماء في التربة المتماسكة مؤشرًا مهمًا وموثوقًا منذ بداية علم ميكانيكا التربة. وقد حدد العالم السويدي في مجال التربة والكيمياء ألبرت أتربرج، في أوائل القرن العشرين، لأول مرة أن الانخفاض التدريجي في محتوى الماء في عجينة الطين يُسبب مروره عبر حالات أو ظروف مختلفة. وتعتبر حدود أتربرج مقياسًا لمحتوى الماء الحرج في التربة ذات الحبيبات الدقيقة. يعتمد قوام التربة ومدي تماسك وارتباط حبيباتها على نسبة المحتوي المائي بها فكلما زادت نسبة المحتوي المائي بها ضعف تحملها وتباعدت حبيباتها المتجاورة وأصبحت تميل الي الحالة السائلة. والتربة المتماسكة مثل الطين والطمي أو التربة الناعمة جدا الغير متماسكة تظهر فيها خصائص اللدونة وخلال هذه الدراسة تم اجراء اختبار حد السيولة وحد اللدونة.

1. **تجربة حد السيولة Liquid Limit Test:** حد السيولة (LL) يُعرف بأنه محتوى الماء الذي تنتقل عنده التربة من الحالة السائلة إلى الحالة اللدنة. يتم قياس الحد السائل بواسطة جهاز كازجراند. يتكون جهاز كازجراند من كأس نحاسي يمكن رفعه وإسقاطه على قاعدة مطاطية صلبة عن طريق تدوير مقبض الكرنك. يتم وضع عينة التربة في كأس نحاسي وتقسيمها إلى جزأين بواسطة أداة القص القياسية. يتم تدوير مقبض الكرنك بمعدل دورتين في الثانية حتى تتدفق أجزاء التربة المقسمة لتتلامس مع بعضها البعض في الأسفل بمسافة 13 مم. يتم تسجيل محتوى الماء لعينة التربة وعدد مرات السقوط لتحديد الحد السائل لعينة التربة. تم اجراء اختبارات حدود أتربرج بواسطة (ASTM D 4318) الشكل (3) يوضح جهاز حد السيولة (جهاز كازجراند) وشكل العينة خلال الاختبار.

جهاز حد السيولة (جهاز كازجراند)

وضع العينة في الكوب النحاسي

شق العينة إلي نصفين

مسافة التصاق شقي العينة

الشكل (3): اختبار حد السيولة (جهاز كازجراند)

يتم عد عدد الضربات لعينة التربة التي تحتوي على أعلى محتوى من الماء في الاختبار الأول. في الاختبارات التالية، يتم تقليل محتوى الماء في عينة التربة ويتم عد الضربات. تُرسم نتائج الاختبارات على ورق رسم بياني شبه لوغاريتمي ويتم تحديد الحد السائل لعينة التربة عن طريق قراءة محتوى الماء المقابل لـ 25 قطرة على الخط الذي يتناسب مع البيانات بشكل متوسط.

في الطريقة ب، يجب أن تكون قوام عينة الطين بين 20 إلى 30 قطرة من الكوب النحاسي لإغلاق الشق. يتم تحديد الحد السائل باستخدام المعادلتين الأتيتين:

$$LL = w\left(\frac{N}{25}\right)^{0.121} \qquad 1$$

$$LL = k.w \qquad 2$$

حيث ان:

LL حد السيولة للعينة (%)، N عدد الضربات، w المحتوي المائي (%)، k معامل موجود في الجدول (2).

الجدول (2): يوضح معامل حد السيولة (k) مقابل عدد الضربات (ASTM D4318)

Number of Drops (N)	Factor for liquid limit (k)	Number of Drops (N)	Factor for liquid limit (k)
20	0.973	26	1.005
21	0.979	27	1.009
22	0.985	28	1.014
23	0.990	29	1.018
24	0.995	30	1.022
25	1.000		

2. تجربة حد اللدونة Plastic Limit Test: حد اللدونة (PL) يُعرف بأنه محتوى الماء الذي ينتقل فيه التربة من الحالة البلاستيكية إلى الحالة شبه الصلبة. يتم تحضير عينة تربة وزنها 20 جم عند محتوى ماء يجعل كتلة التربة لدنة بما يكفي لتشكيلها بسهولة إلى كرة دون أن تلتصق بالأصابع بشكل كبير عند الضغط عليها. ثم يتم أخذ قطعة من الكرة ويتم لفها بين الأصابع ولوح زجاجي لتشكيل خيط بقطر 3.2 مم. يتم التحقق من حد اللدونة كمحتوى الماء للتربة المفتتة عندما يتم دحرجتها إلى خيوط بدون تشققات كما في شكل (4).

الشكل (4): حد اللدونة

مؤشر اللدونة Plasticity Index:

يُعرف مؤشر اللدونة (PI) بأنه الفرق بين الحد السيولة والحد اللدونة ويدل على نطاق محتوى الماء الذي تحقق فيه التربة حالتها اللدنة.

$$PI = LL - PL \qquad 3$$

حيث أن:

LL حد السيولةPL ، حد اللدونة، PI مؤشر اللدونة.

الجدول (3) يبين نتائج حد السيولة وحد اللدونة ومؤشر اللدونة لعينات التربة بدون إضافات.

جدول (3): نتائج حدود أتربرج لعينات التربة بدون إضافات

حدود أتربرج	العينة			
	A	B	C	D
LL	68.88	108	102	104
PL	32.03	46.38	45.35	46.38
PI	36.85	61.62	56.65	57.62

تصنيف التربة وفقا لأشتو: Classification of Soil Samples by Using the AASHTO System

اجري اختبار التحليل المنخلي وحدود أتربرج وصنفت عينات التربة وفقا لأشتو (AASHTO) وكانت النتائج موضحة في الجدول (4):

الجدول (4): نتائج تصنيف التربة وفقاً لأشتو (AASHTO)

Sample	AASHTO System
A	A-7-5
B	A-7-6
C	A-7-6
D	A-7-6

مادة التحسين (مسحوق مخلفات المباني):

تم استخدام مخلفات المباني كمادة مضافة لتحسين تربة الدراسة وهذه المخلفات تتواجد بكثر في بلادنا. حيث أنها تسبب تلوث بيئي وتشوه المنظر الغير حضاري في مداخل ومخارج المدن. وبالإضافة ان مخلفات المباني لا قيمة اقتصادية لها. وتم جلب هذه المادة من مواقع مختلفة من مدينة القبة. وتم سحقها لكي تمر من (منخل رقم 40) ومن ثم إضافتها الى تربة الدراسة بالنسب (25%،50%،75%). وبعدها تم دراسة تأثير إضافة هذه النسب على خواص حدود أتربرج للتربة الإنتفاخية. شكل (4) يوضح مسحوق مخلفات المباني ذات اللون الرصاصي الفاتح.

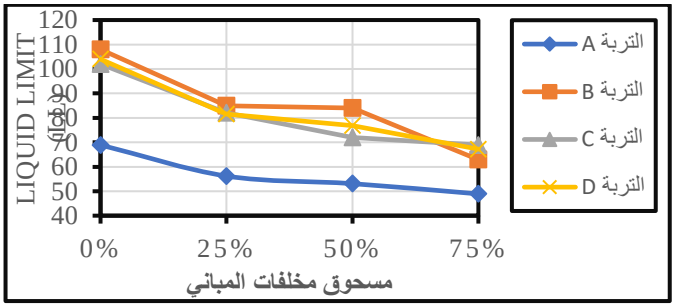
شكل (4): يوضح مخلفات المباني بعد تجهيزها

النتائج والمناقشة:

بعد ان تم جمع عينات عشوائية من التربة الإنتفاخية من المواقع شرق مدينة القبة على الطريق الرابط بين مدينتي القبة ودرنة واضافة مخلفات المباني واجراء الاختبارات المعملية اختبار التحليل المنخلي وحدود أتربرج ومقارنة النتائج التي تم الحصول عليها مع العديد من الطرق المستخدمة من جداول ومنحنيات ونماذج رياضية في تم تصنيف مدى قابلية التربة للانتفاخ.

اختبار حدود أتربرج:

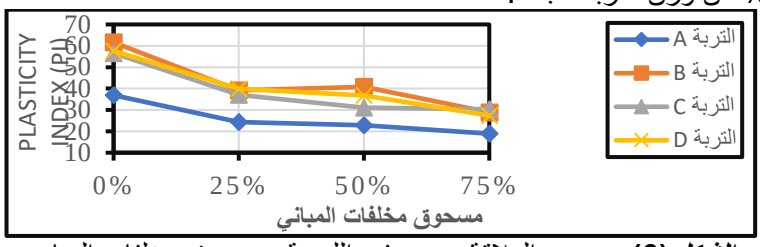
الشكل (5) يبين حدود أتربرج (حد السيول وحد اللدونة ومؤشر اللدونة) لعينات التربة الطبيعة والعينات بإضافة مخلفات المباني بنسب (25%، 50%، 75%). حد السيول ينخفض مع الزيادة في نسبة مخلفات المباني وهذ يدل على تقليل المساحة السطحية لجزيئات طينية مما يتسبب في تباعد الجزيئات الطينية بعضها عن بعض ويقلل ترابط الحبيبات ويؤثر على قدرة التربة على امتصاص الماء وبالتالي تقليل حدوث انتفاخ لتربة. ونلاحظ ان حد السيول في يناقص من التربة الطبيعة بنسبة 20%، 25%، 35%، عند اضافة المخلفات بنسب (25%، 50%، 75%) على التوالي. إن إنخفاض حد السيولة للتربة الطينية من المؤشرات الجيدة للتربة المستخدمة كطبقة يُشيد عليها الاساسات في المباني والطرق والمطارات.



الشكل (5): يوضح العلاقة بين حد السيول ونسب أضافة مسحوق مخلفات المباني

تعد التربة التي تمتلك مؤشر لدونة مرتفع تكون غنية بالمعادن الطينية التي تكون لها قدرة عالية علي امتصاص الماء مما يؤدي الي زيادة حجم التربة وتدفع الاساسات والارضيات إلى اعلي. وبالعكس عند جفافها ونقص جزيئات الماء بداخله بسبب الجفاف او ارتفاع درجة الحرارة وتقترب جزيئات الطين بعضها البعض وتترك الفراغات ويتقلص حجم التربة تسبب

في هبوط المنشآت المقام عليها. والشكل (6) ان مؤشر اللدونة ينقص مع اضافة المخلفات حتى يصل الي 50% عند اضافة مادة التحسين الي 75% من وزن التربة الجافة.



الشكل (6): يوضح العلاقة بين مؤشر اللدونة ومسحوق مخلفات المباني

الجدول (5) يلخص لنا حدود أتربرج (LL, PL, PI) لأربعة انوع من الترب مقابلة لنسب اضافة مسحوق مخلفات المباني ان نسبة المار من المنخل رقم 200 عالية ويكون حد السيولة كبير تعطي تحسناً كبير مقارنة بالتربة ذات نسبة اقل.

الجدول (5): يبين ملخص لنتائج حدود أتربرج ونسب المخلفات.

العينة	حدود أتربرج	نسبة اضافة مخلفات المباني			
		%0	%25	%50	%75
A	LL	68.9	56.2	53.1	48.9
	PL	32.0	31.9	30.3	30.0
	PI	36.9	24.3	22.8	18.9
B	LL	108.0	84.9	84.0	62.9
	PL	46.4	45.7	43.2	39.0
	PI	61.6	39.2	40.8	28.9
C	LL	102.0	82.0	72.0	68.9
	PL	45.4	45.0	41.0	38.6
	PI	56.6	37.0	31.0	30.3
D	LL	104.0	81.5	76.8	67.2
	PL	46.4	41.6	40.0	39.8
	PI	57.6	39.9	36.9	27.4

طرق معالجة وتحسين خواص التربة الإنتفاخية:

هناك عدة طرق لتحسين خواص التربة الإنتفاخية بتقليل ومعالجة التربة الإنتفاخية والحد من انتفاخها نذكر منها:

1. احلال او استبدال التربة الإنتفاخية بتربة ذات خواص جيدة عندما تكون سمك طبقة التربة صغيرة.
2. معالجة التربة الإنتفاخية باستخدام مواد كيمائية مثل الجير والاسمنت لتحسين الخواص الميكانيكية للتربة.
3. منع او تقليل كمية المياه الواصلة للتربة الإنتفاخية لجعل التربة في حالة جافة طول العام مما يزيد من قوة قص التربة الإنتفاخية.
4. استعمال ركائز او مسامير تثبت التربة الإنتفاخية ومنع الانزلاقات.
5. تقوية المنشآت المقامة على التربة الإنتفاخية وذلك بتصميم عناصر المنشأ من وأساسات وأعمدة وجدران لتتحمل الانتفاخ والاجهاد الناتج عليها.

الخاتمة:

يمكن ان نرى سبب تشقق في الطريق موضع الدراسة في طبقة سطح الرصف بسبب التربة الانتفاخية. ومن معايير تقييمها حدود أتربرج. في هذه الدراسة تم تنفيذ اختبارات معملية حدود أتربرج والتحليل المنخلي لحبيبات التربة على عينات التربة الإنتفاخية الطبيعية. إن العينات الثلاث D, C, B ذات حد سيولة عالي وبالتالي تكون تربة عالية الإنتفاخية. أما العينة A لوحظ بها تحسن كبير من حيث الإنتفاخية ويرجع ذلك ان حد السيول لها أقل من قرينتها. والنتائج الاختبارات بعد اضافة مادة التحسين كانت جيدة ان حد السيول ومؤشر اللدونة انخفضت بقيم متفاوتة وهذا يقلل انتفاخ العينات ويحسن الخواص الهندسية للتربة. أن اختلاف حد السيولة ومؤشر اللدونة لها تأثير كبير على مدي انتفاخ التربة الطينية الانتفاخية. ولا ينصح بالبناء على تربة لها مواصفات العينات D, C, B إلا بعد إستخدام طرق تحسين الخصائص الجيوتقنية للتربة.

التوصيات:

1. إجراء بعض طرق التحسين الأخرى لهذا النوع من التربة أو زيادة نسبة المخلفات للتربة أكثر من المستخدمة في هذا البحث.
2. دراسة التركيبة الكيميائية لتربة الدراسة.
3. حساب معامل الإنتفاخ للتربة المدروسة.
4. دراسة تأثير الحبيبات على مقدار الإنتفاخ.
5. مقارنة طرق التحسين المختلفة من حيث مقدار وتكلفة المالية التحسين.

6. ابعاد مياه الامطار عن موقع الطريق بحيث يقلل من وصول المياه وتسربها للجسم الطريق التي تكون تربة القابلة للانتفاخ.

المراجع العربية:

1. د. علاء داوود سليمان، (2015)، " تحسين الخواص الجيوتكنيكية للتربة الانتفاخية باستعمال الإسمنت "، مجلة الكوفة الهندسية، المجلد 5، العدد 2، ص 155-167.

2. م. ريم قزي، أ.د. محمد تقلا، & د. إبراهيم عبدالله عيدان. (2020). تحسين الترب الانتفاخية باستخدام رماد مخلفات الزيتون. مجلة كلية المعارف الجامعة، 30(1)، 845-867.

3. عمر صديق مصطفى حمزة، علي محمد الأمين، محمد محجوب، عوض حذيفة، & أحمد ياسر. (2022). تأثير الجير الحي علي الخصائص الهندسية للتربة المتمددة.FES Journal of Engineering Sciences, 11(2), 8-13 .

المراجع الأجنبية:

4. Lucian,C.(2006) ,"Geotechnical Aspects of Buildings on Expansive Soils in Kibaha, Tanzania: Preliminary Study", Licentiate Thesis. Division of Soil and Rock Mechanics Department of Civil and Architectural Engineering Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden.
5. Kalantari, B. (2012). Foundations on expansive soils: a review. Research journal of applied sciences, engineering and technology, 4(18), 3231-3237.
6. Fu Hua Chen (1975): “Foundations on Expansive Soils”, Elsevier scientific publishing Company, New York.
7. Nelson, J. D., Chao, K. C., Overton, D. D., & Nelson, E. J. (2015). Foundation engineering for expansive soils. John Wiley & Sons.
8. ASTM D422 – 63, (1998) " Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils".
9. ASTM D4318 – 05, (2005) "Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils".