



Classification of Expansive Clay Soil Samples

Ahmed Meekaeil^{1*}, Ahmad Majed², Arhaiem Hussain³, Naser Salem⁴, Mohammed Hamad⁵,
Mustafa Mustafa⁶

^{1,2,3,4,5,6} Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, University of Derna, Al
Qubbah, Libya

تصنيف عينات من التربة الطينية الانتفاخية

أحمد مكائيل^{1*}، أحمد مجيد²، أرحيم حسين³، نصر سالم⁴، محمد حمد⁵، مصطفى مصطفى⁶
^{1,2,3,4,5,6} الهندسة المدنية، الكلية الهندسة، الجامعة درنة، القبة، ليبيا

*Corresponding author: ahmadelmabrouk@gmail.com

Received: October 24, 2025 | Accepted: December 21, 2025 | Published: December 31, 2025

Copyright: © 2025 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:

The aim of the study is to evaluate and classify samples of natural swelling soils and after their treatment based on the results extract from previous laboratory tests. The results of Atterberg limits tests (liquid limit and plasticity index) and the particle size distribution of the soil (sieve analysis test and hydrometer test) were carried out on original soil samples. The Atterberg limits test was also conducted after adding construction waste powder in inconsistent weight percentages of 25%, 50%, and 75%. Several classifications were applied to both original and improved soil samples according to the classification standards for swelling soils from charts and model curves derived from soil mechanics research studies. These classifications particularly base on Atterberg limits (liquid limit and plasticity index), clay content, and clay activity. This study focuses on comparing the classification results of original clay samples and after adding different proportions of the improved material. The classification results for soil A without additives, according to various charts, curves, and classification models, were mostly classified as (very high). After adding 25% construction waste powder, there was a significant improvement in its swelling degree (medium). As for the rest samples B, C, and D their classification was close to a (very high) index in their natural state. This is due to the similarity of the Atterberg limits results, sieve analysis test, and sedimentation analysis. After adding 75% of construction waste powder to these samples, the liquid limit and plasticity index decreased by up to 50%, and consequently, the swelling index improved to (medium).

Keywords: Expansive Clay Soil, Swelling Index, Study of Tables and Curves, Clay Less than 2 μ m, Clay Activity.

المخلص:

الهدف من الدراسة هو تقييم وتصنيف عينات من التربة الانتفاخية الطبيعية وبعد معالجتها بناءً على نتائج المستخلصة من الاختبارات المعملية سابقة. حصيلة اختبارات حدود أتربرج (حد السيولة ومؤشر اللدونة) والتوزيع الحجمي لحبيبات التربة (التحليل المنخلي واختبار الهيدرومتر) على العينات التربة الطبيعية. اختبار حدود أتربرج في بعد إضافة مسحوق مخلفات المباني بنسب وزنية متفاوتة 25%، 50%، 75%. تم تطبيق عدة تصنيفات على عينات التربة الطبيعية والمعالجة وفقاً لمعايير التصنيف للتربة الانتفاخية من جداول ومنحنيات نماذج لدراسات المستمدة من أبحاث ميكانيكا التربة. والتي تعتمد بشكل خاص على معايير حدود أتربرج (حد السيولة ومؤشر اللدونة) ونسبة الطين ونشاط الطين. وتركز هذه الدراسة

بإجراء مقارنة نتائج التصنيفات لعينات الطين الطبيعية وبعد إضافة نسب المادة المحسنة. فكانت نتائج التصنيف لرتبة A بدون إضافات بعد مطابقتها بجدول ومنحنيات ونماذج التصنيف (عالية جداً) لمعظم التصنيفات و بعد إضافة 25% من مسحوق مخلفات المباني تحسنت بشكل كبير فدرجة انتفاخها (متوسط) . وأما بقيت العينات B, C, D فتقارب تصنيفها بمؤشر (عالية جداً) هذا في حالتها الطبيعية ويرجع ذلك لتقارب نتائج حدود أتربرج والتحليل المنخلي والتحليل بالترسيب.. وبعد الوصول لإضافة 75% من مسحوق مخلفات المباني على هذه العينات قلت حد السيولة ومؤشر اللدونة بنسبة تصل الي 50% وبالتالي تحسن مؤشر الانتفاخ إلي (متوسطة).

الكلمات المفتاحية: التربة الطينية الانتفاخية (Expansive Clay Soil)، مؤشر الانتفاخ (Swelling Index)، جداول ومنحنيات الدراسة (Study of Tables and Curves)، نسبة الطين أقل من 2 ميكرومتر (Clay Less than 2 µm)، نشاط الطين (Clay Activity).

مقدمة:

وجود التربة الانتفاخية يؤثر سلباً على أنشطة الزحف العمران في العديد من انحاء العالم. مما دعي المهتمين والمختصين بدراسة عميقة للتربة الانتفاخية. فنظم تصنيف التربة هي منهجية وصف التربة وتقسيمها على مجموعات رئيسية وفئات فرعية مختلفة حسب سلوكها وخواصها الهندسية. وأن من اهم نظم تصنيف التربة نظم التصنيف الموحد الاميركي (USCS) Unified soil classification system والشركة الاميركية للطرق الحكومية الرسمية (AASHTO) American Association of state Highway and Transportation Officials وأن معظم النظم تعتمد في تصنيفها على التوزيع الحجمي للحبيبات التربة وحدود أتربرج. وهذه الانظمة لا تحتوي على معايير لتقييم قابلية التربة للانتفاخ [1]. هناك العديد من الأساليب لتصنيف إمكانية انتفاخ التربة. معظم هذه الأساليب توفر نوعاً من لتقدير لدرجة الانتفاخ المحتمل. وعادةً ما تكون هذه التقييمات بمصطلحات نوعية مثل "منخفض"، "متوسط"، "مرتفع"، و"مرتفع جداً". استخدام حدود أتربرج لتصنيف إمكانية انتفاخ التربة هو نهج شائع. ومع ذلك، فإن هذا النهج لا يتناول خصائص الانتفاخ للتربة بشكل مباشر ويتجاهل حالة التربة في موقعها الطبيعي. لقد حقق بعض النجاح في مناطق محدودة، لكن استخدام هذه العلاقات خارج المنطقة المحلية التي تم تطوير العلاقة فيها عادةً لا يكون ناجحاً. وفي عام 1956م تم تطوير اساليب تصنيف الطين الانتفاخ إضافة نسبة الطين أقل من 2 ميكرومتر من حجم العينة إلى معايير تحديد انتفاخ الطين [2]. من ناحية اخرى أن خصائص التربة الانتفاخية تتأثر بشكل كبير بالظروف المناخية مما يجعل من الصعب وضع إي تقييم لتحديد خصائص الطين الانتفاخي. من اختبارات تحديد خواص الطين الانتفاخي اختبار الانتفاخ الحر وما له من اهمية لتحديد خصائص الطين. ولكن أن مجرد تحديد نسبة الانتفاخ للطين وحده لا يكفي للتنبؤ بالمخاطر. قد تمتلك تبرتات نفس القدرة على التمدد وفقاً امكانية تصنيفهما، ولكن قد تظهر كمية انتفاخ مختلفة تماماً كما يجب النظر إلى الظروف المناخية واستخدام حدود أتربرج للحصول على نتائج أكثر دقة [3]. حدود أتربرج ونسبة الطين أقل من 2 ميكرومتر لا تعطي نتائج أكثر دقة تم تجمعهم مع معامل نشاط الطين الذي يعطي نتائج أكثر دقة. وتم دراسة علاقة بين الطين المدموك ونشاط الطين لتقييم نسبة الانتفاخ ويمكن حساب نشاط الطين بأنها يساوي مؤشر اللدونة مقسوماً على نسبة الطين أقل من 2 ميكرومتر. وتم تعريف إمكانات الانتفاخ على أساس كمية الانتفاخ في اختبار الإودوميتر. تم ضغط العينات التي اختبرت في اختبار الإودوميتر إلى كثافة بروكتور الجافة المعيارية عند محتوى الماء الأمثل وتم إغراقها تحت ضغط قدره 7 كيلو باسكال [4]. قام سنثن، وجونسون، وباتريك (1977) بعد تقييم عدد من المعايير المنشورة لتصنيف القدرة على التوسع. أن حد السائل ومؤشر اللدونة هما أفضل مؤشرين للانتفاخ المحتمل إذا تم أخذ الظروف الطبيعية في الاعتبار أيضاً [5]. يمكن تقييم التربة الإنتفاخية بالاختبارات الاتية اختبارات حدود أتربرج واختبارات الانكماش اللحظي واختبارات الانتفاخ الحر ومحتوي الطين أقل من 2 ميكرومتر وكذلك نشاط الطين. ويتم تصنيف قابلية التربة للانتفاخ إلى منخفضة، ومتوسطة، وعالية، وعالية جداً. هناك العديد من التصنيفات ونذكر ما تم مقارنته ب الترب الطبيعية ومعالجتها منها ما يلي.

1. طريقة (Holtz 1959):

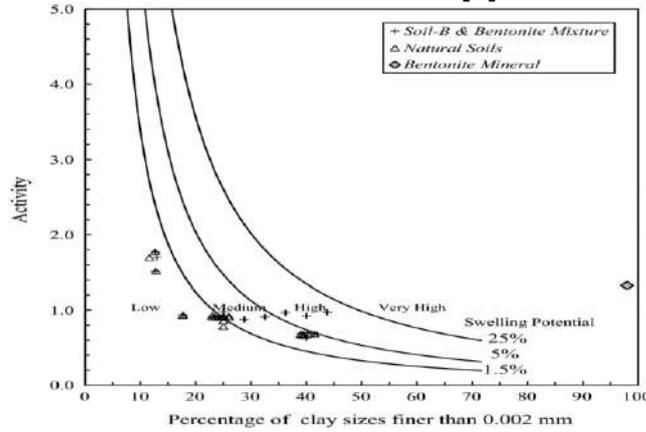
الجدول (1) يتم تصنيف التربة في هذه الطريقة على أساس نسبة الطين أقل من 2 ميكرومتر (content % colloidal) ومؤشر اللدونة وحد الإنكماش والانتفاخ المحتمل [6].

الجدول رقم (1): تصنيف التربة الإنتفاخية (Holtz 1959)

المحتوى الطين أقل من 2 ميكرومتر %	مؤشر اللدونة (P.I)	حد الانكماش (S.L)	الانتفاخ المحتمل %	تصنيف قابلية الانتفاخ
أقل من 13	أقل من 15	أقل من 15	أقل من 10	منخفضة
بين 13 و 20	بين 15 و 25	بين 10 و 16	بين 10 و 20	متوسطة
بين 20 و 28	بين 25 و 35	بين 7 و 12	بين 20 و 30	عالية
أكثر من 28	أكثر من 35	أكثر من 11	أكثر من 30	عالية جداً

2. طريقة (Seed, Woodward, and Lundgren (1962)

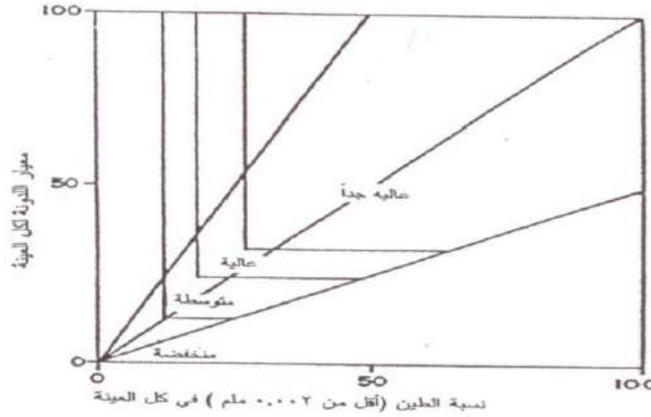
في الشكل رقم (1) تعتمد هذه الطريقة على نسبة الطين في العينة (أقل من 2 ميكرو متر)، والفاعلية، وكذلك على مقدار الانتفاخ المقاس في جهاز الأودوميتر [7].



الشكل رقم (1) : Seed Woodward, & Lundgren (1962)

3. طريقة (Van Der Merwe (1964)

في الشكل (2) يبين طريقة يعتبر مؤشر اللدونة لكل عينة وكذلك نسبة الطين في كل عينة (أقل من 2 ميكرو متر) العاملين الرئيسيان لتصنيف التربة في هذه الطريقة [8].



الشكل رقم (2) : Van Der Merwe (1964)

4. طريقة (Raman (1967)

الجدول (2) يوصف تصنيف التربة يعتمد على مؤشر اللدونة ومؤشر الإنكماش لتصنيف التربة [9].

الجدول رقم (2): تصنيف التربة الإنتفاخية (Raman (1967)

تصنيف قابليه الانتفاخ	مؤشر الانكماش (S.I)	مؤشر اللدونة (P.I)
منخفضة	أقل من 15	أقل من 12
متوسطة	بين 15 و 30	بين 12 و 23
عالية	بين 30 و 40	بين 23 و 32
عالية جداً	أكبر من 40	أكبر من 32

5. طريقة (Sowers and Sowers (1970)

الجدول (3) يتم تصنيف التربة في هذه الطريقة على أساس مؤشر اللدونة ومؤشر الإنكماش وقابلية التربة للانتفاخ [10].

الجدول رقم (3): تصنيف التربة الإنتفاخية (Sowers and Sowers (1970)

تصنيف قابليه الانتفاخ	مؤشر الانكماش (S.I)	مؤشر اللدونة (P.I)
منخفضة	أقل من 10	أقل من 15
متوسطة	بين 10 و 12	بين 15 و 30

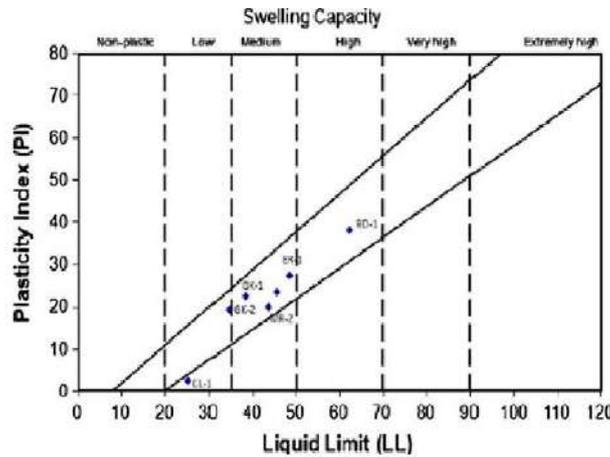
عالية	اكبر من 12	اكبر من 30
-------	------------	------------

6. طريقة: Dakshanamanthy and Raman (1973)

الجدول (4) مع الشكل (3) يوضح اعتماد هذا الطريقة على تحديد خصائص التربة المحتوي المائي الطبيعي والكثافة الجافة الطبيعية وحد السيولة وحد اللدونة وحد الانكماش الحجمي ومؤشر الانكماش ونسبة الطين (اقل من 2 ميكرومتر). يعتمد في هذه الطريقة على حدود أتربرج ومؤشر اللدونة ومؤشر الانكماش لتصنيف الطين الانتفاخي [11].

الجدول رقم (4): تصنيف التربة الإنتفاخية (Dakshanamanthy and Raman (1973)

مؤشر اللدونة (P.I)	حد السيولة (L.L)	تصنيف قابلية الانتفاخ
اقل من 15	بين 20 و 35	منخفضة
بين 15-25	بين 35 و 50	متوسطة
بين 25-40	بين 50 و 70	عالية
اكبر من 40	اكبر 70	عالية جدا



الشكل رقم (3): تصنيف التربة الانتفاخية (Dakshanamanthy and Raman (1973)

7. طريقة (Sneath (1984):

أن في هذه الطريقة تم إضافة ضغط الامتصاص للتربة (soil suction) كأحد العوامل الرئيسية للتصنيف بالإضافة إلى حد السيولة ومعيار اللدونة وقابلية الانتفاخ وتستخدم هذه الطريقة محطة التجارب المائية للجيش الأمريكي Army. Station Experiment Waterways S.U . الجدول (5) يوضح هذه الطريقة من أكثر الطرق استخداما لتصنيف التربة القابلة للانتفاخ في الولايات المتحدة الأمريكية [12].

الجدول رقم (5): تصنيف التربة الإنتفاخية (Sneath (1984)

حد السيولة (L.L)	مؤشر اللدونة (P.I)	قابلية الانتفاخ (%)	ضغط المص للتربة (TSF)	تصنيف قابلية الانتفاخ
اقل من 50	اقل من 25	اقل من 0.5	اقل من 1.5	منخفضة
بين 50 و 60	بين 25 و 35	بين 0.5 و 1.5	بين 1.5 و 4	متوسطة
اكبر من 60	اكبر من 35	اكبر من 1.5	اكبر من 4	عالية

8. طريقة (Chen (1988):

الجدول (6) يبين تصنيف التربة الطريقة التي تعتمد على مؤشر اللدونة فقط لتصنيف التربة [13].

الجدول رقم (6): تصنيف التربة الإنتفاخية (Chen (1988)

مؤشر اللدونة (P.I)	تصنيف قابلية الانتفاخ
اقل من 10	منخفضة
بين 10 و 20	متوسطة
بين 20 و 35	عالية
اكبر من 35	عالية جدا

المنهجية:

أن بيانات ونتائج الدراسة تم الحصول عليها من اختبارات سابقة تم إجراؤها في معمل ميكانيكا تربة كلية الهندسة القبة جامعة درنة. تضمنت منهجية الدراسة اختبار التحليل المنخلي وحدود أتربرج حد السيولة وحد اللدونة تم اجراءه على عينات الطين الانتفاخي قبل وبعد المعالجة وكانت نتائج الاختبارات كالآتي:

1. **التحليل المنخلي:** يعتبر اختبار التحليل المنخلي الركيزة الأساسية لتصنيف التربة وفهم سلوكها الهندسي. والغرض من الاختبار تحديد التوزيع الحبيبي لعينات التربة. يحدد نسبة التربة الناعمة بوزن التربة المار من المنخل رقم 200 من الوزن الكلي للتربة الجافة ونسبة الطين أقل من 2 ميكرومتر. وكانت نتائج التحليل المنخلي والتي تم من خلالها تحديد نسبة التربة المار من منخل رقم 200 (0.075 mm) وتم تنفيذ الاختبار وفقاً (ASTM D 422) كما في الجدول (7).

جدول رقم (7): نسبة التربة المارة من منخل رقم 200 ونسبة الطين أقل من 2 ميكرومتر (%)

العينة	نسبة التربة المارة من منخل رقم 200 (%)	نسبة الطين أقل من 2 ميكرومتر (%)
A	64.2	29
B	80.1	35
C	62.5	33
D	61.7	32

2. **حدود أتربرج:** يعد حدود أتربرج المعيار الأهم لتصنيف التربة الطينية الانتفاخية لما له أهمية كبير في تحديد سلوك الطين المعدني المكون الأساسي لطين الانتفاخي. تعرف حدود أتربرج بأنها المحتوي الرطوبي لتربة الذي تنتقل منه التربة من حالة إلى أخرى. وهناك ثلاثة حدود تفصل بين حالات التربة وهي مقسمة كالآتي حد السيولة وهو المحتوي المائي الذي تنتقل منه التربة من الحالة السائلة إلى الحالة اللدنة وأما حد اللدونة وهو المحتوي المائي الذي تنتقل منه التربة من الحالة اللدنة إلى الحالة شبة الصلبة وأخيراً حد الانكماش وهو المحتوي المائي الذي تنتقل منه التربة من الحالة شبة الصلبة إلى الحالة الصلبة. ويمكن تحديد مؤشر اللدونة بطرح حد اللدونة من حد السيولة.

الجدول (8) يبين نتائج حدود أتربرج للعينات التربة الطينية الطبيعية وبعد المعالجة تم الحصول عليها من التجارب المعملية في وقتا سابق من معمل ميكانيكا التربة كلية الهندسة القبة. تم تنفيذ حد السيولة وحد اللدونة وحساب مؤشر اللدونة وفقاً (ASTM D 4318).

3. **مؤشر نشاط الطين:** نشاط الطين يرتبط مؤشر اللدونة ونسبة محتوى الطين بعلاقة لاقابلية امتصاص جزيئات الطين للماء الذي يحيط به. فهناك علاقة بين نوع معادن الطين ونسبة الطين سيؤثران على حد السيولة وحد اللدونة. فهذا يعطي إضافة مهمة لتقييم وتحديد درجة الانتفاخ الطين. ويمكن حساب مؤشر نشاط الطين من العلاقة الآتية:

Plasticity index

$$A_c = \frac{\text{Plasticity index}}{\text{(\% of clay size fraction, by weight)}}$$

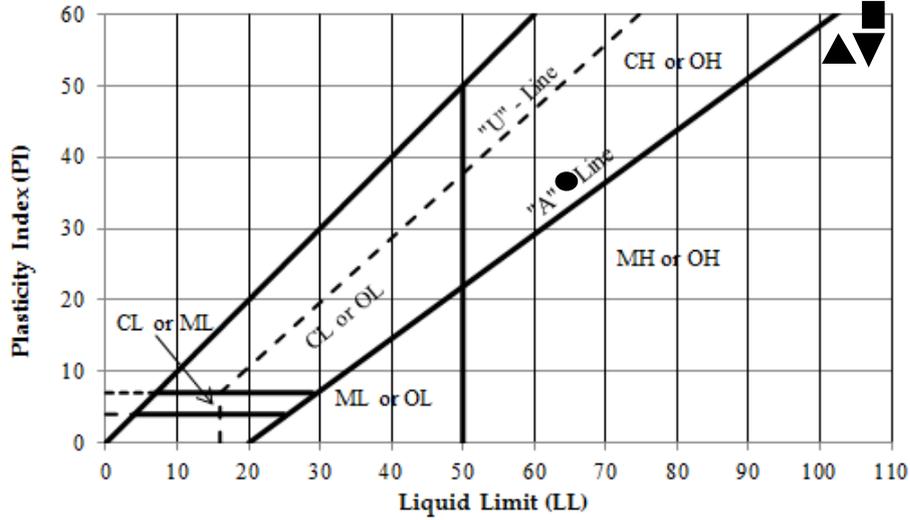
حيث أن: A_c مؤشر نشاط الطين. والجدول (8) يبين مؤشر الطين لعينات الدراسة.

الجدول رقم (8) : يوضح نتائج حدود أتربرج للعينات الطينية وبعد المعالجة

العينة	نسبة إضافة مسحوق مخلفات المباني				حدود أتربرج مؤشر النشاط
	%75	%50	%25	%0	
A	48.9	53.1	56.2	68.9	حد السيولة
	30.0	30.3	31.9	32.0	حد اللدونة
	18.9	22.8	24.3	36.9	مؤشر اللدونة
	0.65	0.79	0.84	1.26	مؤشر نشاط الطين
B	62.9	84.0	84.9	108.0	حد السيولة
	39.0	43.2	45.7	46.4	حد اللدونة
	28.9	40.8	39.2	61.6	مؤشر اللدونة
	0.83	1.17	1.12	1.76	مؤشر نشاط الطين
C	68.9	72.0	82.0	102.0	حد السيولة
	38.6	41.0	45.0	45.4	حد اللدونة
	30.3	31.0	37.0	56.6	مؤشر اللدونة
	0.92	0.94	1.12	1.72	مؤشر نشاط الطين
D	67.2	76.8	81.5	104.0	حد السيولة
	39.8	40.0	41.6	46.4	حد اللدونة
	27.4	36.8	39.9	57.6	مؤشر اللدونة

0.83	1.11	1.20	1.75	مؤشر نشاط الطين
------	------	------	------	-----------------

4. تصنيف التربة وفقا لنظم التصنيف الموحد الاميركي (USCS) Unified soil classification system: يعتمد في هذه التصنيف علي معياري حدود اتربرج و التوزيع الحبيبي للتربة وتصنف جميع العينات الطبيعية علي أنها تربة ناعمة لان نسبة المار من منخل رقم 200 أكبر من 50% و يتم تصنيف وفقا لمخطط اللدونة (CH, MH) كما في شكل (4).



الشكل رقم (4): تصنيف العينات وفقا لمخطط اللدونة

5. تصنيف التربة وفقا للشركة الاميركية للطرق الحكومية الرسمية لأشتو (AASHTO) American Association of State Highway and Transportation Officials: تم تصنيف جميع العينات الطبيعية علي أنها تربة ناعمة لان نسبة المتبقي في منخل رقم 200 أكبر من 65% و يتم تصنيفها وفقا لنظام أشتو على انه (A-7) كما في جدول (9).

جدول رقم (9): تصنيف العينات وفقا لنظام أشتو

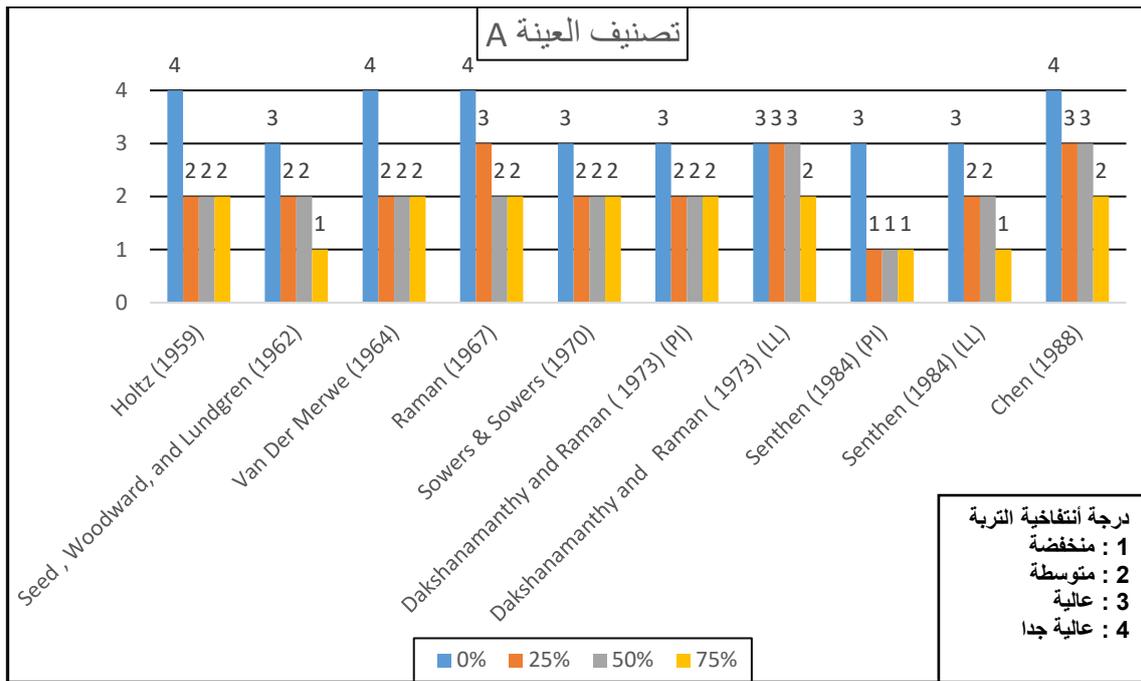
التصنيف وفقا لأشتو AASHTO	العينة
A-7-5	A
A-7-6	B
A-7-6	C
A-7-6	D

النتائج والمناقشة:

بعد أن تم جمع البيانات لتجارب التوزيع الحبيبي للتربة وحدود أتربرج لأربع عينات من الطين الانتفاخي المصدر كلية الهندسة القبة – جامعة درنة. وكانت البيانات تصف خصائص التربة الطينة وبعد إضافة مسحوق مخلفات المباني بنسب مختلفة. وتم تطبيق توصيف النتائج على جداول ونماذج من أبحاث سابقة خاص بالتنبؤ بتصنيف التربة الانتفاخية. وتم ذكر هذه النماذج والجداول المستخدمة خلال هذه الدراسة في جزئية المقدمة من الدراسة.

1. نتائج العينة A:

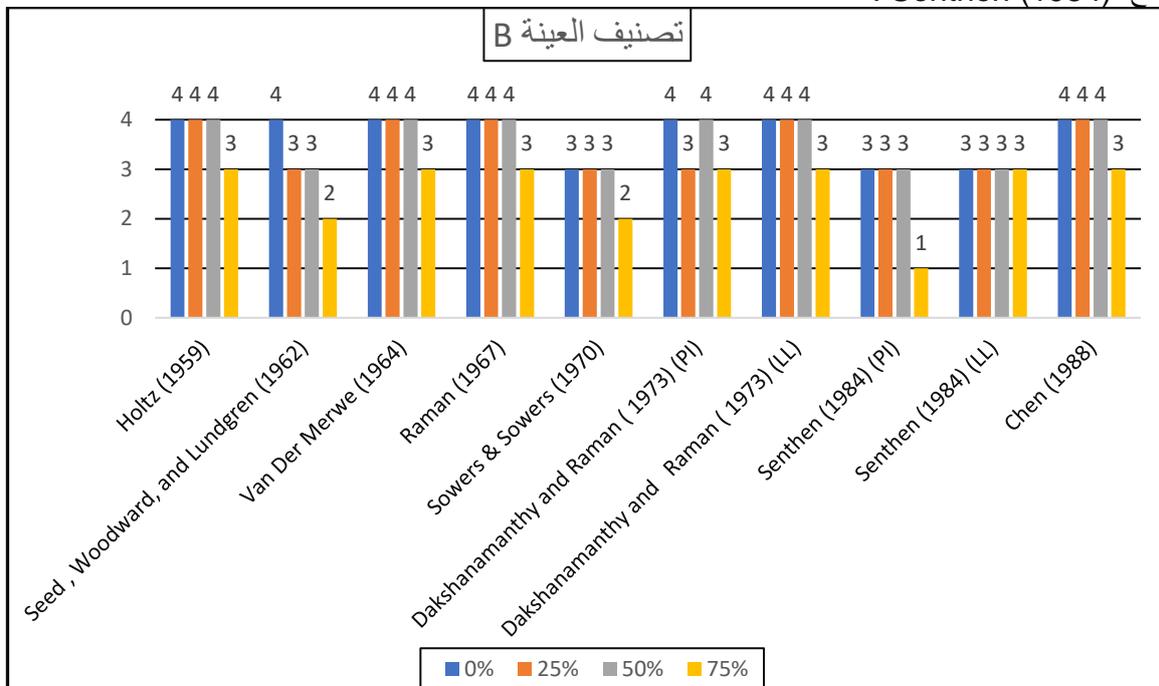
العينة A تمتلك أقل حد سيولة 68.9% ومؤشر لدونة 36.9% من بين العينات الدراسة وكانت نسبة الطين 29% من وزن العينة وكذلك أقل مؤشر لنشاط الطين 1.26. تم تطبيق نتائجها على مجموعة من النماذج و الجداول التي تصف الطين الانتفاخي وصنفت في صورة الطبيعة (عالية جداً) في أربعة نماذج (1959) Holtz و Van Der Merwe (1964) و (1967) Raman و (1988) Chen أما في النماذج والجداول الأخرى صنفت علي أنه (عالية) الانتفاخ. الشكل (5) يوضح التحسن الذي طرا على العينة بعد إضافة مادة التحسين وانتقالها في التصنيف إلي (المتوسطة) في معظم النماذج والجداول وإلي (منخفضة) الانتفاخ. وهذا مؤشر جيد لمثل خواص ونوع الظروف البيئية لهذه نوع هذا الطين.



الشكل رقم (5): يوضح مقارنة تصنيف العينة A قبل وبعد إضافة مسحوق مخلفات المباني

2. نتائج العينة B:

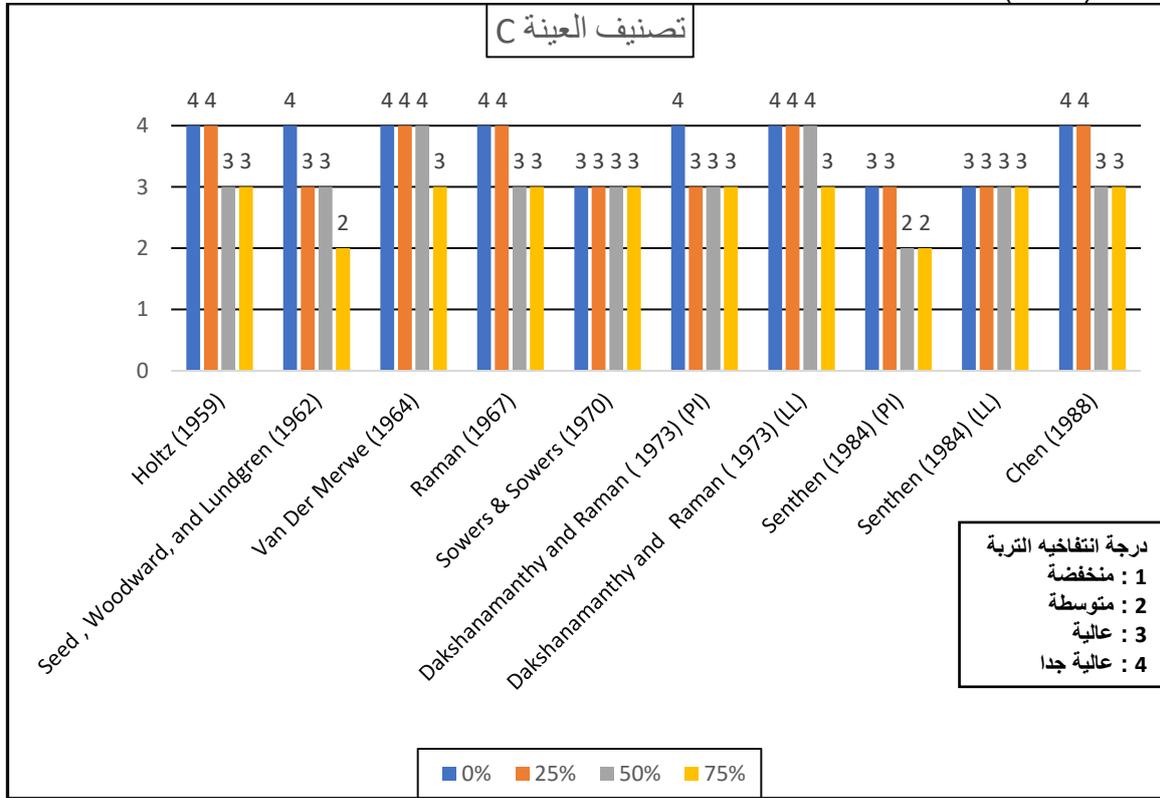
العينة B تمتلك أعلى حد سيولة 108% ومؤشر لدونة 61.6 من بين عينات الدراسة وأكبر نسبة الطين 35% من وزن العينة وكذلك أعلى مؤشر لنشاط الطين 1.76. الشكل (6) يوضح نتائج مطابقة العينة B علي الجداول والنماذج وصنفت في معظم النماذج (عالية جداً) في حالتها الطبيعية و حتى بعد إضافة مسحوق مخلفات المباني بنسب 25% و 50% ومع تحسن عند المعالجة بإضافة نسبة مادة التحسين إلى 75% وصنفت في اغلب النماذج على أنها (عالية) و (متوسط) في نماذج Seed, Woodward, and Lundgren (1962) و Sowers & Sowers (1970) و (منخفضة) في نموذج Senthen (1984).



الشكل رقم (6): يوضح مقارنة تصنيف العينة B قبل وبعد إضافة مسحوق مخلفات المباني

3. نتائج العينة C:

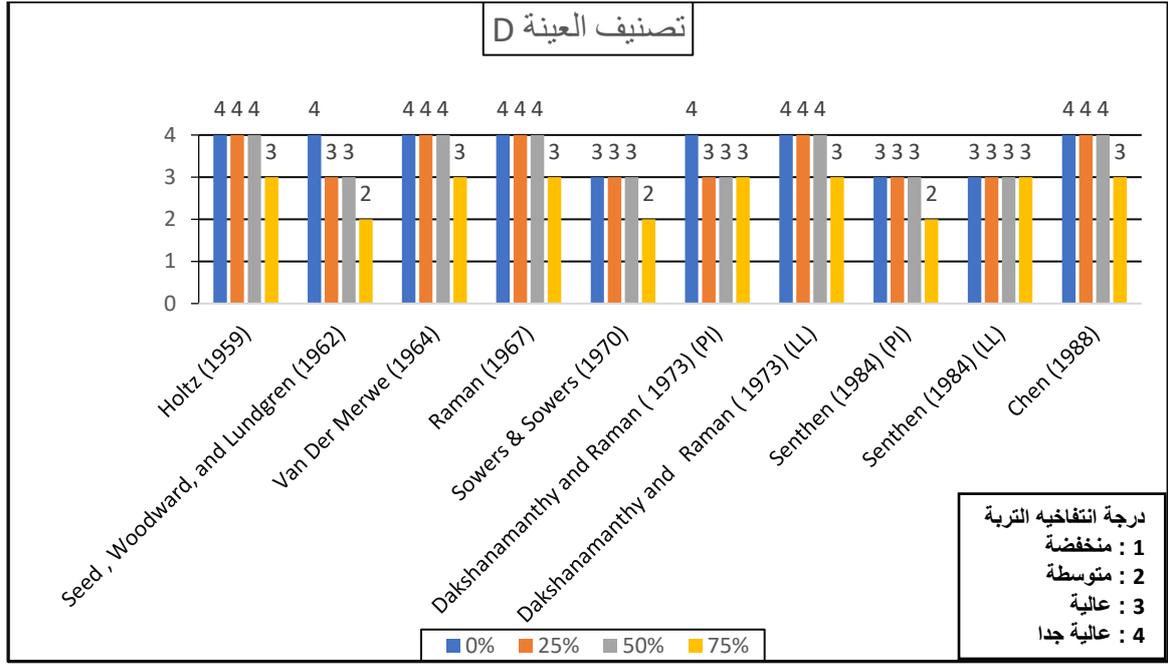
العينة C خصائصها هي حد سيولة 102 ومؤشر لدونة 56.6 واما نسبة الطين 33% من وزن العينة ومؤشرها لنشاط الطين 1.72. وبعد مطابقتها للنماذج والجدول صنفت عالية جدا في وضعها الطبيعي وكذلك بعض حالات المعالجة عند اضافة 25% من مادة المعالجة. الشكل (7) يبين تحسنا طفيف عند اضافة 50% من مادة المستخدمة في المعالجة إلى (عالية) في أغلب النماذج و (متوسطة) الانتفاخ في جدول (Senthen (1984). وأما عند اضافة مادة المعالجة 75% نجد أن تصنيفها يتحسن إلى درجة (متوسطة) الانتفاخ في نموذج (Seed , Woodward, and Lundgren (1962) و جدول (Senthen (1984) بمؤشر اللدونة.



الشكل رقم (7): يوضح مقارنة تصنيف العينة C قبل وبعد اضافة مسحوق مخلفات المباني

4. نتائج العينة D:

العينة D تمتلك نفس خواص العينة C تقريبا ومقاربتان في التصنيف. فحد السيول 104 % ومؤشر اللدونة 57.6% ومحتوي الطين أقل من 2 ميكرومتر 33% من وزن العين وتمتلك مؤشر نشاط الطين 1.75. وبعد مقارنتها بالجدول والنماذج تصنف علي انها (عالية جدا) في حالتها الطبيعية و بعد إضافة المادة التحسين بنسب 25% و 50% في معظم النماذج والجدول. الشكل (8) يبين تصنف إلى (متوسط) عند إضافة 75% من مادة مسحوق مخلفات المباني عند جداولي (Senthen (1984) و (Sowers & Sowers (1970) ونموذج (Seed , Woodward, and Lundgren (1962). نلاحظ هنا أن التربة الانتفاخية ذات قيم عالية في حد السيولة ومؤشر اللدونة ومؤشر نشاط الطين تحتاج إلى كمية كبيرة من مادة المعالجة لكي تعطي التحسن المطلوب ولهذا قد يلجأ المهندسون لاستخدام الطرق التحسين الكيمائية مثل اضافة الاسمنت أو الجير.



الخاتمة:

أمكانية تصنيف التربة الانتفاخية باستخدام حد السيولة ومؤشر اللدونة فقط لا يكفي للحصول علي نتائج مرضية لأنها لا تأخذ في اعتبارها تأثير معادن الطينية. بإضافة اختبار نسبة الانتفاخ ونسبة الطين في العينية وتوفر معلومات اضافية على طبيعة المعادن الطينية في التربة يوفر امكانية التنبؤ بدرجة انتفاخ التربة بشكل مرضي وأكثر واقعية ودقة. أما مؤشر نشاط الطين يربط بين حدود أتربرج ونسبة الطين في التربة فهو اضافة أخر لزيادة دقة النتائج. تم تصنيف العينة A بصورتها الطبيعية بدرجة انتفاخ (عالية جدا) وفقا نماذج وجدول تصنيف التربة الطينة من أبحاث ميكانيكا التربة وبعد إضافة 25% من مادة التحسين تحسنت إلي درجة (متوسط) الانتفاخ. وهي أكثر العينات تحسن لأنها تملك أقل قيمة حد السيولة ومؤشر اللدونة. أما العينات الأخرى B, C, D، تمتلك حد سيول ومؤشر لدونة عالي فصنفت بدرجة انتفاخ (عالية جدا) في حالتها الطبيعية، وبعد إضافة مادة المعالجة بنسبة 75% تحسنت إلي درجة (عالية) وفي بعض الأحيان إلي درجة (متوسطة).

التوصيات:

1. لا يوجد نموذجا أو جدول معين لتحديد التنبؤ بمؤشر الطين يصلح لجميع المواقع.
2. مؤشر الانتفاخ معقد ويرتبط بعدة عوامل فيزيائية وكيميائية ومعدنية يجب الربط بينها.
3. لزيادة الدقة النتائج عند تصنيف التربة الانتفاخية أو التنبؤ بمدى خطرها يجب إجراء اختبارات لمعظم المؤشرات على عدد كبير من العينات المختلفة واستخدام مجموع كبيرة من نموذج او جدول التي تخص تحدد مؤشر الانتفاخ للطين.
4. لا ينصح بالبناء على تربة العينات B,C,D إلا بعد استخدام طرق تحسين أفضل كالطرق الكيميائية مثل باستخدام الاسمنت أو الجير.

قائمة المراجع:

1. Sridharan, A., & Prakash, K. (2000). Classification procedures for expansive soils. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering, 143(4), 235-240.
2. Nelson, J. D., Chao, K. C., Overton, D. D., & Nelson, E. J. (2015). Foundation engineering for expansive soils. John Wiley & Sons.
3. Dawson, R. F., Altmeyer, W. T., Barber, E. S., & DuBose, L. A. (1956). Discussion of "Engineering Properties of Expansive Clays". Transactions of the American Society of Civil Engineers, 121(1), 664-675.
4. Seed, H. B., R. J. Woodward Jr., and R. Lundgren. 1962. "Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays." Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE 88(SM3): 53-87.

5. Snethen, D. R., L. D. Johnson, and D. M. Patrick. 1977. "An Evaluation of Expedient Methodology for Identification of Potentially Expansive Soils." Soils and Pavements Laboratory, US Army Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, Report No. FHWA-RE-77-94.
6. Holtz, W. G. (1959). Expansive clays--properties and problems. Commissioner's Office, Bureau of Reclamation, United States Department of the Interior.
7. Seed, H. B., Woodward Jr, R. J., & Lundgren, R. (1962). Prediction of swelling potential for compacted clays. Journal of the soil mechanics and foundations division, 88(3), 53-87.
8. Van der Merwe, D. H. (1964). The prediction of heave from the plasticity index and percentage clay fraction of soils. Civil Engineering= Siviele Ingenieurswese, 1964(6), 103-107.
9. Raman, V. (1967). Identification of expansive soils from the plasticity index and the shrinkage index data. The Indian Engineer, 11(1), 17-22.
10. Sower, G. B., & Sower, G. F. (1970). Introductory soil mechanics and foundation.
11. Dakshanamurthy, V., & Raman, V. (1973). A simple method of identifying an expansive soil. Soils and foundations, 13(1), 97-104.
12. Snethen, D. R. (1984, January). Evaluation of expedient methods for identification and classification of potentially expansive soils. In Fifth International Conference on Expansive Soils 1984: Preprints of Papers (pp. 22-26). Barton, ACT: Institution of Engineers, Australia.
13. Chen, F.H. (1988) "Foundations on Expansive Soils ", Amsterdam Elsevier Scientific Publishing Company