دراسة تحليلية لسلوك الترب الغضارية المنتفخة المعرضة لدورات متكررة من الانتفاخ والتقلص

الدكتور علي العبدالله *

الدكتور محمدتقلا **

دارين أحمد ***

الملخص

يتضمن هذا البحث دراسة عددية بطريقة العناصر المنتهية للتربة الغضارية المنتفخة المعرضة لدورات متعددة من الترطيب والتجفيف. من أجل ذلك، تم اقتراح موديل عددي مناسب يعتمد على نمذجة كل من وسط الانتشار (التربة) وإدخاله في برنامج Plaxis2020 حيث تم تصميم نموذج لعينة التربة المستخدمة في جهاز الآدومتر وطبق عليها دورات متعددة من الترطيب والتجفيف ، وتم تحقيق الموديل المقترح على نتائج قياسات حقلية حصلنا عليها بنتيجة تطبيق التجربة وتطبيق دورات الترطيب والتجفيف عليها ووجد تقارباً جيداً بين القياسات والنتائج المستنتجة من المودل المقترح ، وهو مودل برشلونة للترب المنتفخة (BBM). تسمح نتائج البحث بالتنبؤ بالتغييرات الحجمية للتربة المنتفخة وعدد الدرورات اللازمة للوصول لمرحلة الاستقرار قبل البدء عملياً بالبناء على التربة وبالتالي تقدير الآثار المحتملة على المنشآت المجاورة واتخاذ التدابير اللازمة عند الضرورة،وبذلك نستطيع أن نستفيد من هذه النتائج في الحفاظ على سلامة المباني المنشأة على التربة المنتفخة.

* مدرس في قسم الهندسة الجيوتكنيكية – كلية الهندسة المدنية – جامعة البعث – حمص – سورية.

** مدرس في قسم الهندسة الجيوتكنيكية – كلية الهندسة المدنية – جامعة البعث – حمص – سورية.

*** طالبة دكتوراه في قسم الهندسة الجيوتكنيكية – كلية الهندسة المدنية – جامعة البعث – حمص – سورية.

الكلمات المفتاحية :

التربة المنتفخة، الآدومتر، دورات التجفيف والترطيب، مودل برشلونة .

Analytical study of the clay expansive soil which exposed of several cycles of shrinkage and swolling

Dr. ALI AL Alabdeh*

Dr. MuhammadTakla**

Darine Ahmad ***

□ ABSTRACT □

This paper includes an analytical and numerical study of swollen soils subjected to multiple cycles of swelling and shrinkage. This research includes a numerical study by the finite element method of the clumpy clay soil subjected to multiple cycles of

* **Assistant Professor, Department of Geotechnical Engineering , Faculty of civil Engineering , ALbath University, Homs, Syria.**

** **Assistant Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of civil Engineering, ALbath University, Homs, Syria.**

*** **Postgraduate Student, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of civil Engineering, ALbath University, , Homs, Syria.**

wetting and drying. For this purpose, an appropriate numerical model was proposed based on modeling of the spreading medium (soil) and its introduction into the Plaxis2020 program, where a model was designed for the soil sample used in the hydrometer and applied multiple cycles of wetting and drying, and the proposed model was achieved on the results of field measurements obtained. On it, as a result of applying the experiment, applying the cycles of moisturizing and drying it, and he found a good convergence between the measurements and the results obtained from the proposed model, which is the Barcelona model for swollen soils (BBM). The results of the research allow to predict the volumetric changes of the swollen soil and the number of cycles required to reach the stage of stability before practically starting building on the soil, thus estimating the potential effects on neighboring facilities and taking the necessary measures when necessary, and thus we can benefit from these results in maintaining the integrity of the .buildings established on the swollen soil.

ey words: Swollen soils, oedometer, drying and shrinking cycles, model Barcelona.

1- مقدمة

إن دراسة التربة المنتفخة تعتبر من أكثر المواضيع تحدياُ وذلك نتيجة الأضرار التي يسببها انتفاخ وتقلص التربة مع تعرضها للعوامل الجوية المختلفة من ترطيب وتجفيف ، والعوامل البيئية كالتبخر .

و التربة المنتفخة تغطي مساحة واسعة في العالم مثل الصين ،كندا ،الولايات المتحدة الأمريكية ،إسبانيا، وتغطي حوالي 10% من مساحة سوريا ، فعندما تتعرض هذه التربة لتغييرات مناخية بين الترطيب والتجفيف خلال الصيف والشتاء وتغير حجمي يؤدي إلى تشوهات في التربة تكون على شكل هبوط في التربة نتيجة جفافها ،أو على شكل انتفاخ نتيجة امتصاصها للماء وزيادة

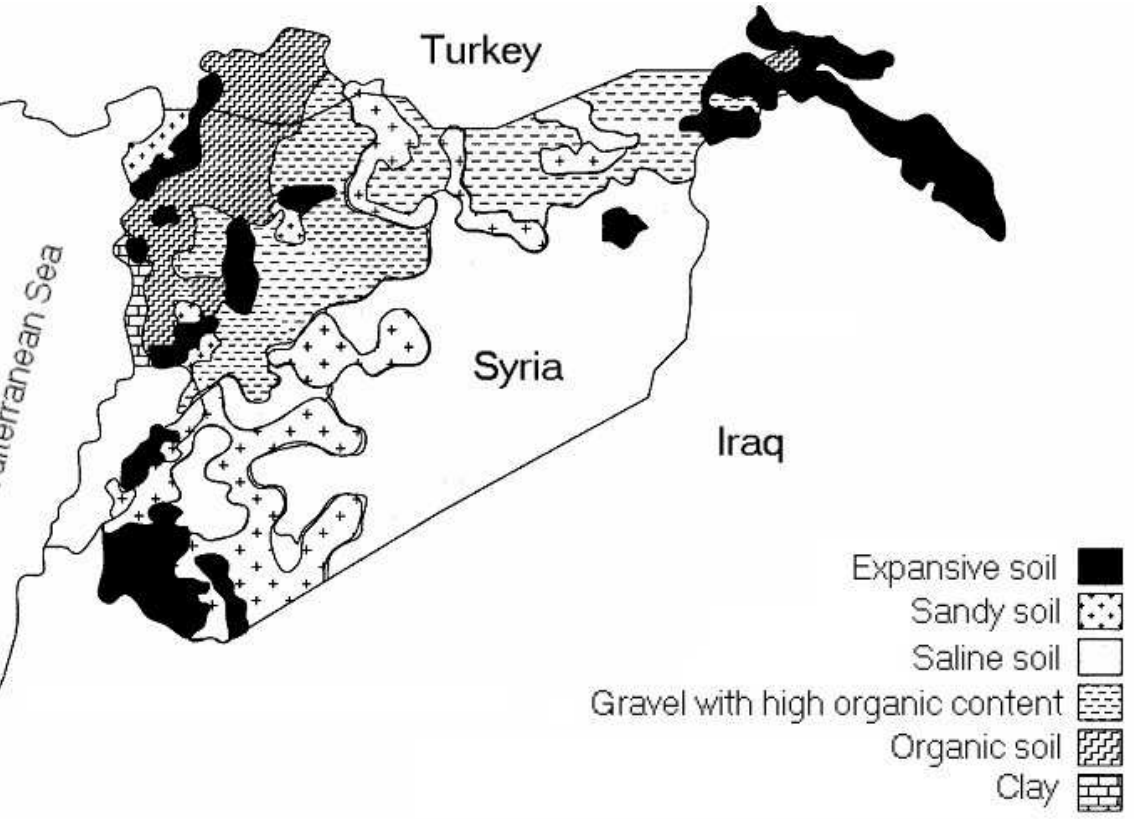
رطوبتها . وانتفاخ التربة يؤدي إلى تصدعات وانهيارات إنشائية تتضمن انتفاخ في الأرصفة وتشققات في الأسوار والجسور الأرضية المسلحة وتشوهات في البلاطات الأرضية وهياكل الأبواب وقد تكون هذه التشوهات خفيفة أو متوسطة أو كبيرة حسب مقدار الانتفاخ كما في الشكل [1] .

كذلك الأساسات في التربة المنتفخة وبسبب الترطيب الدوري والتجفيف الناجم عن التغيرات الموسمية في مستوى المياه الجوفية قد تحدث فيها تشققات كثيرة تؤدي لتدمير المباني والهياكل . كذلكً تشوهات الانتفاخ والتقلص أثناء عمليات الترطيب والتجفيف الدورية التي تحدث بشكل دوري بسبب هطول الأمطار والتبخر في منحدر التربة المنتفخة ، مما يؤدي إلى تدهورمقاومةالتربة حتى انهيار المنحدر.

من هنا تأتي أهمية دراسة سلوك تغيير الحجم للترب المنتفخة الناجم عن دورات الجفاف والترطيب بما في ذلك تطوير النماذج التأسيسية لتشوهات الانتفاخ–التقلص وهي حاجة ملحة .(1)

الشكل [1] بعض الآثار السلبية للتربة المنتفخة

يبين الشكل [2] توزيع التربة القابلة للانتفاخ في سورية حيث تنحصر في المناطق الشرقية (الجافة)والوسطى ، وتكثر التربة القابلة للانتفاخ في المناطق التي تزيد فيها كمية التبخر السنوية عن كمية هطول الأمطار(2).



الشكل [2] توزع التربة المنتفخة في سورية.

ويعود سلوك التربة المنتفخة للأسباب التالية :

١. العوامل الداخلية:

ويقصد بها خواص التربة الهندسية وتشمل محتوى الماء الطبيعي، والكثافة الجافة الأولية، ومحتوى الغضار، والتركيب المعدني للتربة، ونوع معادن الغضار، وحدود أتربرغ (خاصة حد السيولة وحد اللدونة)، ونفاذية التربة، حيث أن التربة الجافة تمتص الماء أكثر من التربة الرطبة

وبالتالي تنتفخ أكثر . وكلما زادت الكثافة الجافة الأولية للتربة زاد الانتفاخ عند تعرضها للماء . والتربة المحتوية على معدن المونتموريلونايت تنتفخ أكثر من التربة المحتوية على غضار الكالونيت والإيليت وذلك لضعف الترابط بين جزيئات غضار المونتموريلونايت حيث يتمكن الماء من الدخول بينها ويتسبب في تباعدها وبالتالي في زيادة حجمها وانتفاخها.

2-العوامل الخارجية:

وتشمل العوامل الحقلية والعوامل المعملية . حيث تشمل العوامل الحقلية الأحوال المناخية (الرطوبة والحرارة)، وسمك طبقة التربة القابلة للانتفاخ والعمق التي توجد عليه، ونوعية المباني ومدة تطبيق الأحمال على التربة، وتاريخ التربة وما تعرضت له في الماضي من رطوبة وجفاف وأحمال، ومنسوب المياه الجوفية ، وكذلك فإن طريقة الدمك ونوعية العينات (مخربة أو سليمة) وحجمها تؤثر على مقدار الانتفاخ المقاس في المخبر ، حيث أنه كلما كانت تقلبات المناخ (رطوبة وجفاف) كبيرة كلما زادت قابلية التربة للانتفاخ ، كما أنه كلما زاد سمك طبقات التربة القابلة للانتفاخ وقربها من منطقة التأسيس للمباني كلما زاد خطر احتمال الانتفاخ ،وتتعرض المباني الخفيفة والأسوار والأرصفة للضرر أكثر من المنشات الضخمة الثقيلة الوزن . كما تعتبر المياه الجوفية مصدرًا للرطوبة وامتصاص الماء ، وكلما زاد تخريب عينات التربة كلما زاد مقدار الانتفاخ المقاس في المخبر.

2-مشكلة البحث وأهميته

التربة المنتفخة نوع خاص من التربة اللدنة حيث تظهر تشوهات انكماشية وانتفاخية كبيرة مع تغير رطوبة التربة ،وتنتشر هذه التربة في المناطق الجافة وشبه الجافة ،وبقيت مسألة الدراسة العددية لهذه التربة مسألة محيرة للعلماء .

للتوصل إلى حل مقبول لهذه المشكلة لابد من إجراء تحليل يعتمد على المزاوجة بين السلوك الميكانيكي للترب مع جريان الماء فيها وتغييرات ضغط ماء المسام يضاف لذلك استخدام نموذج لسلوكية التربة يأخذ بالاعتبار انتفاخ وانكماش التربة، توفر طريقة

العناصر المنتهية هذه الإمكانية التي تؤدي في النهاية إلى نموذج أكثر أماناً ودقة واقتصادية .

للتوصل لحل هذه المسألة يتم تحديد تغيرات امتصاص التربة أوما يعرف بضغط ماء المسام السالب مع الزمن عن طريق حل مسألة جريان الماء غير المشبع بعدها يتم استخدام قيم الامتصاص الناتجة في حل المسألة الميكانيكية لتحديد الانتفاخ والتقلص .

وبالإضافة للدراسات التجريبية فأن الدراسة التحليلية ضرورية لتحليل سلوك التربة وتوقع سلوكها ، لاشك أن نموذج برشلونة Basic Model Barchelona يمثل أحدث ما توصلت إليه التكنولوجيا في النمذجة المرنة للتربة غير المشبعة .

لذلك فإن أهمية هذا البحث تأتي من قلة الدراسات التحليلية والعددية المفصلة لمنع وإبعاد احتمالية حدوث الانتفاخ في التربة الغضارية المنتفخة بأقل تكلفة ممكنة.

إن فكرة البحث هي عبارة عن استخدام مودل عددي للترب الانتفاخية وهو مودل (BBM) من أجل دراسة السلوك الميكانيكي للترب غير المشبعة الانتفاخية ، حيث يتم تطبيق سلسلة من دورات الترطيب والتجفيف ودراسة التغيرات الحجمية للتربة .

-<u>الإجراءات المتبعة لمواجهة سلوك التربة المنتفخة:</u>

١. استبدال التربة القابلة للانتفاخ بتربة جيدة، وذلك عندما تكون التربة القابلة للانتفاخ قريبة من سطح الأرض وذات سمك قليل حيث يمكن استبدالها بتربة أفضل منها ويتم رص التربة الجديدة جيدًا.

٢. تغيير طبيعة التربة القابلة للانتفاخ وخواصها الهندسية، ويتم ذلك بعدة طرق من أهمها:

الرص المنتظم لطبقات التربة Compaction .

منع تسرب المياه للتربة القابلة للانتفاخ المقام عليها المنشأة وذلك باستخدام عوازل للرطوبة مثل بعض الألواح المعدنية أو الحواجز المائية لتقليل تسرب الماء للتربة وبالتالي

تقليل مقدار الانتفاخ , وقد تكون هذه العوازل أفقية لمنع تسرب المياه من سطح الأرض، أو تكون عمودية تحيط بالمنشأة وتمنع تسرب المياه بشكل أفقي.

وذلك بضخ Chemical Stabilization. معالجة التربة القابلة للانتفاخ كيميائيًا المثبتات الكيميائية مثل الجير أو الأسمنت بين فراغات التربة حيث تساعد على تقليل حد السيولة ومعيار اللدونة وبالتالي تقليل مقدار الانتفاخ.

٣. تقوية المنشآت وذلك بتصميم عناصر المنشأ من بلاطات، وجدران، وأعمدة، وأساسات لتتحمل الانتفاخ والضغط الناتج عنه. كأساسات للمبنى بحيث تنقل الأحمال خلال التربة القابلة للانتفاخ Piles. استخدام الركائز إلى التربة غير المنتفخة التي ترتكز عليها هذه الركائز.

٥. عمل نظام تصريف للمياه في الموقع بعيد عن المنشآت بحيث يمنع تجمع المياه وبالتالي تسربها للتربة القابلة للانتفاخ.

3-الهدف من البحث :

أغلب الدراسات المتعلقة بالترب المنتفخة ركزت على معالجة الآثار السلبية على المنشآت والأساسات ، في حين أهملت دراسة تجنب حدوث الآثار السلبية لتغيراتها الحجمية.

لذلك فإن القيمة الأساسية للبحث تنبع من قلة الأبحاث التحليلية لسلوك التربة المنتفخة تحت تأثير دورات متعددة من الترطيب والتجفيف، و حيث تم استخدام مودل عددي يمكن استخدامه قبل البناء على التربة المنتفخة للوصول لمرحلة التنبؤ بسلوك التربة المنتفخة بعد عدة دورات من الترطيب والتجفيف يساهم في التخفيف وتجنب الآثار السيئة للتربة المنتفخة والتكلفة المادية لإصلاح التشققات الناتجة عن تشوهات التربة المنتفخة.

الهدف الأساسي من هذا البحث هو الوصول إلى مرحلة للتنبؤ بالتغييرات الحجمية والتشوهات المحتملة بشكل تقريبي التي تحدث للتربة المنتفخة الناتجة عن تغييرات مناخية وبيئية مختلفة .

4-طرائق البحث ومواده

اعتمدنا في دراستنا على استخدام طريقة العناصر المنتهية لنمذجة مسألة انتفاخ وتقلص التربة تحت تأثير دورات متعددة من الترطيب والتجفيف ، حتى الوصول بالتربة لمرحلة التوازن بحيث لاتعطي أي تغييرات حجمية بعد عدد معين من الدورات ، قمنا أولاً بوضع موديل عددي(BBM) مناسب للمسألة يعتمد على نمذجة كل من الماء والتربة والحمولة التي تؤثر على التربة وإدخاله في برنامج الحساب بطريقة العناصر المنتهية PLAXIS 2020 ومن ثم تحقيقه على نتائج قياسات تجريبية على تربة من منطقة الوعر في سورية، وكانت مواصفات التربة الناتجة من التجارب كما في الجدول التالي :

الجدول (1) : خواص التربة الفيزيائية .

خاصة التربة	نوع التربة
الوزن الحجمي gr/cm^3	2.870
الوزن النوعي	2.822
حد السيولة%	66.7
حداللدونة%	27.6
التماسك	$C=20.5Kn/m^2$
زاوية الاحتكاك الداخلي	$\Phi=22^o$

بعد التحقيق استخدمنا الموديل لإجراء دراسة عددية وذلك بتغيير بعض البارامترات توصلنا بنتيجتها إلى نتائج هامة تتعلق بعدد دورات الترطيب والتجفيف اللازمة للوصول لاستقرار التربة والبارامترات الهامة المؤثرة .

الدراسة المرجعية للدراسة التحليلية للتربة المنتفخة المعرضة لدورات ترطيب وتجفيف :

نظراً لأهمية موضوع التربة المنتفخة فقد كان هناك بعض المحاولات لإيجاد نماذج عددية قادرة على نمذجة سلوك التربة المنتفخة في كل الظروف المناخية(الترطيب والتجفيف):

-قام (Mamoune,M.S2011) بتحليل سلوك الغضار بواسطة اختبارات المحاكاة العددية للتقلص والانتفاخ باستخدام مقياس oedometer. يتم إجراء هذا التحليل باستخدام برنامج CASTEM2000 من CEA-France. تسمح هذه المحاكاة بتطوير تنبؤي لتقدير البارامترات الانتفاخ باستخدام المعادلات التأسيسية لكام كلاي وألونسو.

نتائج هذا العمل أظهرت محاكاة الانضغاط بشكل صحيح من قبل كلا النموذجين،لكن نموذج cam clayلايستطيع نمذجة مرحلة التفريغ لاختبار الآدومتر ،لذلك لايمكن محاكاة اختبار الانتفاخ ،وذلك لأن هذا المودل لديه سطح تحميل واحد ،أما نموذج ألونسوفهويستطيع نمذجة كلاالظاهرتين لكن لا يحاكي التربة عالية الانتفاخ لغياب سطح التحميل SD من المودل (في المودل يجب أن يظهر سحح الخضوع وسطح التحميل) .

ميزة إضافية وأساسية للنماذج التأسيسية للترب الانتفاخية التي تميزها عن النماذج التأسيسية لتربة منخفضة اللدونة غير المشبعة ،هي القدرة على وصف سلوك الانتفاخ – التقلص أثناء دورات الترطيب والتجفيف .إن

(Gens, A1992) و(Alonso, E1990) قدم واحدة من أقرب النماذج المرنة للطين المنتفخ يسمى نموذج برشلونة الانتفاخي (BEXM).

-قام (Alonso, E) بمراجعة الخصائص الرئيسية لهذا النموذج وقد أظهر سلوك التربة المشبعة جزئيًا أن النماذج الحالية تغطي جوانب محدودة فقط من استجابة الإجهاد والانفعال لهذه التربة، لكن من مساوئه أن نموذج (BEXM) هو أكثر إطار موافق لنمذجة السلوك الهيدروميكانيكي للترب المنتفخة ،لكنه يتطلب بارامترات كثيرة للمودل ويأخذ وقت غير واقعي للنمذجة العددية بالإضافة لأنه يحتاج نمذجة دورات كبيرة من دورات الامتصاص (suction).

- أضاف ألونسو(Alonso, E1990) أيضاً (6) فيما بعد بعض الشكليات والصيغ على نموذج (BEXM) من أجل تضمين إمكانية الإشباع الجزئي مجهرياً ، من خلال

تحديد الاقتران الميكانيكي بين كلا مستويي الهيكل من خلال وظيفتين ، واحدة للترطيب والآخر للتجفيف, يعبرون عن التغيير في نسبة الفراغ الكبيرة بسبب التغير في البنية المجهرية لنسبة الفراغ ، وتعتمد قيمتها على حالة ضغط البنية الكلية, يمكن تمثيل الحالة بواسطة البنية المجهرية المنتفخة وتطوير المسامية الكلية أثناء التجفيف القوي ، تم وصف الصيغة الرياضية للنموذج وتقييم أدائها بشكل نهائي عن طريق المقارنة مع المختبر،وهذا النموذج أضاف ميزات محددة مثل التدخل المجهري من خلال توسيع البنيةالمجهرية وزيادة المسامية الكلية أثناء التجفيف القوي ،وبينت المقارنات مع النتائج المجهرية قدرة المودل على نمذجة الأنواع المتعددة من البيانات وتعديلها كمياً بطريقة مرضية.

– إن بعض الموديلات مناسب لحالات جزئية خاصة وايضاً طورت لكن لم تأخذ بالاعتبار التربة المنتفخة (7)، تم تطوير نموذج هيدروميكانيكي للترب غير المشبعة المتكتلة ، يتم النظر في النماذج الهيدروميكانيكية المستقلة المقترنة لكل مستوى هيكلي ، بما في ذلك المقاييس المستقلة للضغوط الفعالة الميكانيكية الكبيرة والميكانيكية، تم اختيار المكونات الفردية لتمثيل سلوك الغضار المنتفخ المضغوط، يعتمد النموذج الميكانيكي للهيكل الكلي على نموذج عالي المسامية الحالي للتربة غير المشبعة، يتم تحقيق المزاوجة بين السلوك الميكانيكي والسلوك الهيدروليكي على كل مستوى هيكلي بكفاءة من خلال ربط صيغة الإجهاد الفعالة بنموذج الاحتفاظ بالماء ، أحد المكونات الأساسية للنموذج هو تمثيل الانتفاخ المجهري، لقد تم إثبات أن معايرتها على الانتفاخ الناتج عن الترطيب أعطت سلوك انتفاخي عالي ، مما يوفر حجة داعمة لنهج الاقتران المعتمد، من النتائج المثيرة للاهتمام لصياغة النموذج أنه لا يعاني من التعرق الحجمي ، والذي غالبًا ما يُنظر إليه على أنه أحد العوائق الرئيسية لنقص اللدونة، يحتوي النموذج المقترح على عدد صغير من معلمات المواد، تم تأكيد قدراته التنبؤية من خلال محاكاة مجموعة بيانات تجريبية شاملة على غضار منطقة بوم المضغوط.

أحد المكونات الأساسية الجديدة للنموذج المقترح هو تمثيل البنية المجهرية يتم التحكم في السلوك الميكانيكي بواسطة المعلمة κ_m(وهومعامل يحدد اعتماد البنية المجهرية للانتفاخ

والتقلص على الإجهاد الغعال المشبع). لقد ثبت أن المعايرة من المعلمة κm باستخدام تغيير الحجم المقاس في تجارب الانتفاخ يؤدي إلى ردة فعل عالية من حيث درجة التشبع ، مما يوفر دعمًا للمودل. يتم اكتساب ثقة إضافية من خلال المساواة في التنبؤات مع نموذج احتباس الماء.

يعتبر النموذج المقترح تقدمًا فيما يتعلق بالنماذج الحالية للتربة غير المشبعة بواسطة على عكس النموذج الأصلي ، يسمح النموذج المقترح بالتنبؤ بالتربة ذات لدونة عالية عندما لا نأخذ السلوك المجهري في الحسبان ،يتقارب النموذج إلى النموذج الأصلي ، مع الحفاظ على تنبؤاته افترض (.Cui, Y2002) بواقعية أن دور المسامية الكبير في انتفاخ الترب الكثيفة المعرضة لحمولات كبيرة ربما يهمل وطور موديل ميكانيكي بناءً على البنية المجهرية .

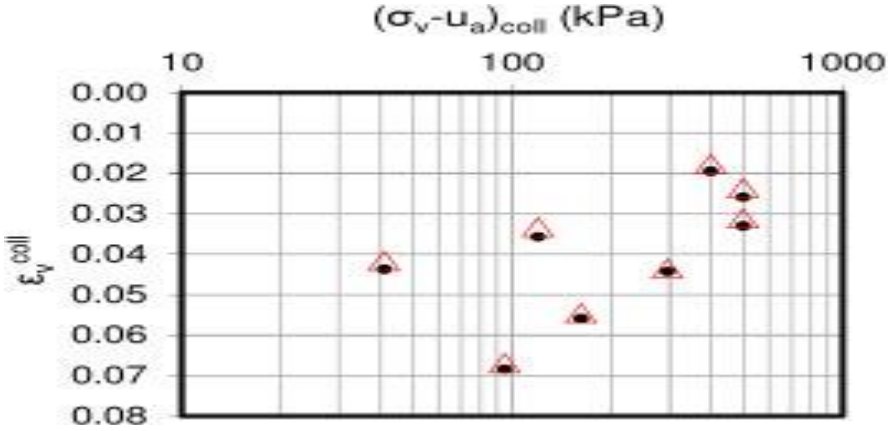
–قام (Alonso, E.E) بدراسة التربة المنتفخة المعرضة لدورات متعددة من الترطيب والتجفيف باستخدام مودل BBM ،وبين أنه بهذا المودل حضرت علاقات لقيمة الامتصاص سطح الخضوع(السطح الفاصل بين المرحلة اللدنة والمرنة) وتغيراته وحضرت علاقات لوصف تشوهات الانتفاخ والتقلص ،على أية حال ،السلوك المرن للترب غير المشبعة خلال الترطيب والتجفيف يدرس بهذا المودل ،وتقريباً من المستحيل عكس تشوهات الانتفاخ التراكمية للتربة الكثيفةبعد اختبار دورات الترطيب والتجفيف تحت إجهاد منخفض، وفي الوقت نفسه ، شفط العائد هو ثابت مع تغييرات الضغط المطبقة. بل هو أيضا يكاد يكون من المستحيل أن يعكس الضغط الرأسي و آثار إجهاد الحصر على تشوه الانتفاخ والتقلص .

– إن (C. Yang ET2013) درس نموذج برشلونة الأساسي (BBM) مع الأخذ بالاعتبار قيمة الامتصاص (الفرق بين ضغط الماء وضغط الهواء في مسامات التربة) ، حيث دمج نموذج اللدائن المرنة في إطار اللدونة السطحية المحيطة من أجل نمذجة تراكم الإجهاد على طول التحميل الدوري ، حتى تحت مستويات الضغط الصغيرة.

تم التحقق من صحة النموذج المقترح من خلال مقارنة تنبؤاته بالنتائج التجريبية من اختبارات ثلاثي المحاور الدورية متعددة المستويات التي تم إجراؤها على اللوس الطبيعي وأخذت عيناته بجانب سكة قطار شمال فرنسا للقطارات عالية السرعة وعلى

بعد حوالي 140 كم من باريس. توضح المقارنات إمكانيات النموذج لوصف سلوك التربة غير المشبعة تحت التحميل الدوري.

- إن (C,Sabatino et,all2016) استخدم نموذج موديل يسمى (MPZ) للترب غيرالمشبعة منذ سنوات ، النموذج يفترض أن التشوه المرن قد يحدث عند التحميل أو التفريغ دون الحاجة إلى تحديد: 1) سطح الخضوع الفاصل بين المرحلة اللدنةوالمرنة ،) السطح اللدن المحتمل حيث لا رجعة للتشوهات إلا بشكل خفيف، 3) القانون الذي يحدد شكل التشوهات الناتجة ، يتم تعريف النموذج بالكامل بالخصائص التالية ثابتة: i) ثلاثة اتجاهات اتجاه التحميل واتجاه التفريغ والاتجاه اللدن ، بعض البارامترات الإضافية التي نحصل عليها من التجارب المشبعةوغير المشبعةفي المخبر .



الشكل [3] النتائج التجريبية (النقاط) والعددية (المثلثات) لاختبارات ترطيب–انهيار

وقد استنتج أن الموديل قادر على محاكاة: i) الانهيار أو الانتفاخ ، عند مستويات إجهاد مختلفة الشكل[3] ، بسبب تقليل الامتصاص عند ضغط صافي ثابت ؛ ب) حصاد التربة بسبب تغيير الامتصاص أو الضغط الصافي ؛ ثالثا) زيادة اعتراض التماسك بسبب زيادة الامتصاص، تم وصف الاختبارات التجريبية أولاً ، باستخدام إشارة خاصة إلى منحنى

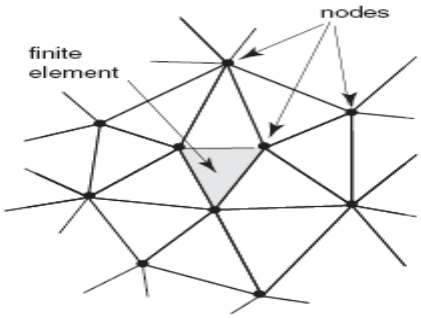
الاحتفاظ بالمياه (WRC)وخط الحالة الحرجة (CSL) ، المستخدم للمعايرة للنموذج التأسيسي. وصف اختبارات القياس ، هنا تستخدم لتقييم قدرة النموذج التأسيسي على إعادة إنتاج السلوك الميكانيكي للتربة بشكل صحيح. تم استخدام النموذج التأسيسي غير المشبع MPZ ، والذي يقوم على نظرية اللدونة المعممة ،تم إعداده سابقًا للرمال المشبعة وتم تمديده لاحقًا للتربة غير المشبعة مع مراعاة الامتصاص وتأثير الترابط بين الحبات الصلبة. وركز على ما يسمى "التشوه المرطب والانهيار" ،وقد كان تطابق النتائج العددية مع الأدلة التجريبية بنسبة 80% لجميع الاختبارات التي يتم إجراؤها عند ضغط عمودي صافي مختلف.

قام (11) بدراسة خليط غير متجانس من البنتونايت عالي الكثافةيستخدم كمواد تحيط بالأسلحة النوويةوللتخلص من النفايات المشعة عالية المستوى. هذه الخلائط لها قدرة تورم عالية ، ونفاذية منخفضة ،المعهد الفرنسي للحماية من الاشعاع أطلق برنامج السلامة النووية (IRSN) مشروع VSEAL ، الذي يعتمد على سلسلة من التجارب التي أجريت في الموقع في مختبر أبحاث IRSN تحت الأرض(تورنمير ، فرنسا). تهدف هذه التجارب إلى دراسة عملية الترطيب طويلة المدى لحاجز مصمم هندسيًايتكون أيضًا من خليط ثنائي من MX–80 بنتونايت كتأثير هجرة الغاز في حالات هيدروليكية مختلفة.يتكون الخليط الثنائي من كثافة عالية كريات البنتونيت (نسبة الكتلة 80٪) ومسحوق البنتونيت.

لبرنامج محدد يتم إجراء اختبار الآدومتر للتحميل / التفريغ تحت ظروف محتوى الماء الثابت. على وجه الخصوص ، تم استخدام نموذج برشلونة للترب الانتفاخية مع توزع حجم مسام ثنائي النسق (BExM) لوصف السلوك الميكانيكي للخليط مزدوج المسامية (المسامية الدقيقة والكبيرة). BExM يسمح بالتمييز بين الاستجابة التشوهية لهذين المستويين للمسامية ، والتي تتأثر بمتوسط صافي تغيرات الضغط والشفط (المسامية الكلية) ومتوسط تغييرات الأجهادات الكلية (المسامية الدقيقة). ولذلك، عند التحميل بمحتوى مائي ثابت ، تأثيران متنافسان على مستويات مختلفة قد تحدث (الضغط نتيجة الإجهاد الصافي ، والانتفاخ نتيجة انخفاض الامتصاص والذي يؤثر بشكل كبير على مستوى المسامية المجهرية). ونتيجة النمذجة نجد ، إن المسامية الكلية تنقص نتيجة زيادة درجة الاشباع وانخفاض الامتصاص.

<u>تنفيذ طريقة العناصر المحدودة</u>

في هذه الدراسة تم استخدام طريقة العناصر المحدودة لحل معادلات التوازن.تقسم هذه الطريقة وسط التربة إلى العديد من الأجزاء الفرعية تسمى "العناصر المحدودة".وهي متصلة بعدد من النقاط تُعرف باسم "العقد" كما هو موضح في الشكل [4] . مثل هذه العناصر ، التي تتخذ بشكل عام أشكالًا بسيطة (مثل المثلث أو المستطيل) ثم يتم تجميعها لتمثيل مجال الحل للهندسة الكيفية. يتم حساب المتغيرات الغير معروفة المطلوب حلها في العقد. باستخدام طرق رياضية خاصة .



الشكل [4] ***شبكة العناصر المنتهية.***

مصفوفات العنصر هي مجتمعة أو مجمعة لتشكيل مجموعة من المعادلات الجبرية التي تصف كامل النظام العالمي. تسمى مصفوفة المعامل لهذه المجموعة الأخيرة من المعادلات " المصفوفة العالمية". وأخيرًا تم حل مجموعة المعادلات الجبرية للحصول على القيم العقدية للمجهول.

الإجراء أعلاه عام للغاية ويمكن تطبيقه لمجموعة متنوعة من المشاكل. ومع ذلك ، تعتمد الدراسة الحالية على الإزاحة بطريقة العناصر المحدودة ،حيث تلعب الإزاحة دور المجهول العقدي الأساسي الواجب تحديده، الإجهادات التراكمية والضغوط في جسم التربة غير المشبعة هي متغيرات ثانوية.

النموذج المستخدم BBM

إن التحاليل الجيوتكنيكة التقليدية تميل للاكتفاء بدراسة التشديد الرئيسي مثل تلاشي ضغط ماء المسام ونقل الحمولة للحبيبات الصلبة لكن المهندسين اللذين يتعاملون مع التربة الناعمة والطرية باتوا مدركين مع الوقت لابد أخذ تأثير الزمن وزحف التربة بالاعتبار .

إن نموذج BBM هو من النماذج والموديلات المعقدة التي تأخذ سلوك خاص للتربة بعين الاعتبار كالتحميل الدوري للتربة وسلوك التربة غير المشبعة.

إن نموذج برشلونة يعتمد على نموذج كام كلاي كمثال لنموذج التربة المرنة ،تم تطوير CamClaymodel في الستينيات، النموذج موجه لنمذجة ميزات الغضار المتجمع عادة وكذلك الغضار المفرط قليلاً، يوجد سلسلة من الإصدارات المعروفة من هذا النموذج. الأول هو ما يسمى Original Cam Clay model (Roscoe, K.، 1958) بينما الآخر هو نموذج كام كلاي المعدل .

تم تصميم النموذج من أجل التربة المشبعة بالكامل وقياس الضغط المستخدم هو الضغط الفعال المعروف.

ينصب التركيز في هذا الفصل على نموذج برشلونة الأساسي (Alonso et al.، 1990) كمرونة بلاستيكية.نموذج للتربة غير المشبعة. في هذه الدراسة يتم استخدامه لنمذجة السلوك متعدد االأطوار من التربة غير المشبعة.

نموذج برشلونة الأساسي (BB–model) هو امتداد لنموذج ClayModel المعدل بإضافة تأثير الامتصاص على مقاومة التربة والصلابة. في التشبع الكامل ، هذا النموذج يتزامن مع نموذج كام كلاي المعدل، يستخدم نموذج BBM الضغط الصافي، والامتصاص كمتغيرات الإجهاد المستقلة.

<u>بارامترات الصلابة كما هو مستخدم في نموذج Cam Clay</u>

يمكن تحديد نسبة الفراغ الأولي e_o (حددت عن طريق علاقات في تجربةالآدومتر،والرطوبة) تقع قيمها المشتركة في النطاق 0.4 للتربة الكثيفة جدًا إلى 1.5 للتربة الرخوة جدًا. ومع ذلك، يمكن أن تصل قيمته إلى بعض القيم العالية جدًا حتى 3 في حالة الغضار الطري جدًا، يمكن تحديد نسبة Poisson μ أثناء التفريغ وإعادة

التحميل عن طريق استخدام اختبار ثلاثي المحاور تتراوح القيم المشتركة ل μ بين 0.15 0.3لمعظم أنواع الترب.

لتحديد بقية البارمترات فيمكن استخدام اختبار خلية الآدومتر على افتراض أن Cs، Cc هي دليل الانتفاخ والضغط يمكن استخدام العلاقات لتحويلها إلى معلمات Cam Clay:

$$\lambda=\frac{Cc}{2.3} \qquad k=\frac{2Cs}{2.3}$$

من الأفضل استخدام $k*=\frac{K}{(1+e)}$ $=\frac{\lambda o}{(1+e)}$

$\lambda*$

يتم تحديد ضغط التشديد المسبق مباشرة من اختبار التشديد،ضغط التشديد المسبق p وهو أكبر إجهاد سبق وتعرضت له العينة كما هو ويمكن إيجاد قيمة ppo من خلال طريقةكاساغراندي التخطيطية وذلك برسم المنحني الذي يمثل العلاقة بين (e,logσ).

الرمز K_o^{NC} هو معامل دفع التربة في وقت الراحة عند تشديد التربة بشكل طبيعي يمكن توقع قيمته من خلال الصيغة التجريبية (Jaky, 1944) والتي تعطي تقدير قيمته من العلاقة التجريبية :

$$K_o^{NC} = 1 - \sin\Phi$$

حيث Φ: زاوية احتكاك التربة

يمكن استخدام هذه العلاقة إذا لم تتوفر معلومات حول الثابت في الموقع الجغرافي .

بارامترات نموذج برشلونة Basic Model Barchelona

يحتوي نموذج BB على سبع بارامترات إضافية مقارنة بنموذجCamClay المعدل ، ثلاثة منها تسيطر على صلابة التربة المرتبطة بالسطح العائدي LC(وهي الحد الفاصل بين المرحلة اللدنة

والمرحلة المرنة) ، وتسمى β, $\lambda$and P_C تصف البارامترات K_S و so و λ_s صلابة التربة مع تغير الامتصاص، يتم استخدام المعلمة α لتعكس تأثير الامتصاص على تماسك التربة.

البارامتر β يعطي النسبة التي يزداد عندها الامتصاص مع زيادة ضغط التشديد المسبق.

إن هيئة وشكل سطح الخضوع حساس لقيمة البارامتر λ& حيث إن تغير صغير بقيمها يؤدي لتغير واضح في النطاق المرن .

Pc الضغط المرجعي (معامل من مخطط الانضغاطية في تجربة التشديد وهو يدخل في نموذج BBMوالذي يؤثر على سعة المجال المرن إن النسبة P_p^0/P_c هي عامل حاسم فعندما يكون $P_p^0/P_{c=1}$ يصبح سطح الاندماج Lc مستقيم وهذا يزيل أي تأثير للامتصاص على ضغط التشديد المسبق .

وحسب ماسبق نفرض بارامترات المودل كمايلي:

بارامترات نموذج BARCELONA Basic Model:

1-μ نسبة بواسون(معامل التوسع الجانبي للتربة) .

وهي نسبة تفرض للترب الغضارية ونفرضها في دراستنا μ =0.33

2-K ميل خط التحميل وعدم التحميل للترب المشبعة، مرتبط بدليل الانتفاخ للتربة المدروسة كما في الشكل[5] الذي يوضح كيفية استنتاج قيمته.

Cs : دليل الانتفاخ للتربةالمدروسة.

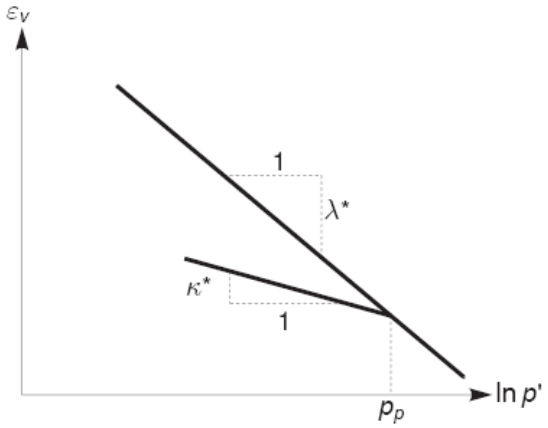
$$K = \frac{2Cs}{2.3}$$

K=0.343

3-λ_o ميل خط الضغط للترب المشبعة، مرتبط بدليل الانضغاط للتربة كما في الشكل [5]الذي يوضح قيمة .

C_c: معامل الانضغاط للتربةالمدروسة.

$$\lambda=\frac{Cc}{2.3}$$



الشكل [5] العلاقةاللوغارتمية بين الحالة الحجمية والإجهاد الحقيقي

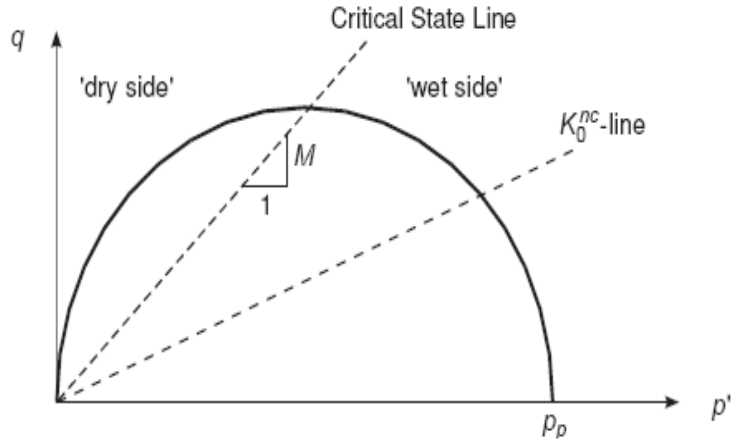
وحسب ماسبقλ =0.0485

Ks−4 الصلابة المرنة نتيجة للامتصاص ، معامل التحميل وعدم التحميل للامتصاص.

$$K_S=0$$

M−5 ميل خط الحالةالحرجة:يحدد شكل سطح الخضوع (ارتفاع القطع الناقص) كما في الشكل[6] ويؤثر على معامل ضغط الأرض الجانبي ،ويحسب من العلاقة التالية :

$$M=\frac{6.sin\Phi}{3-sin\Phi}$$

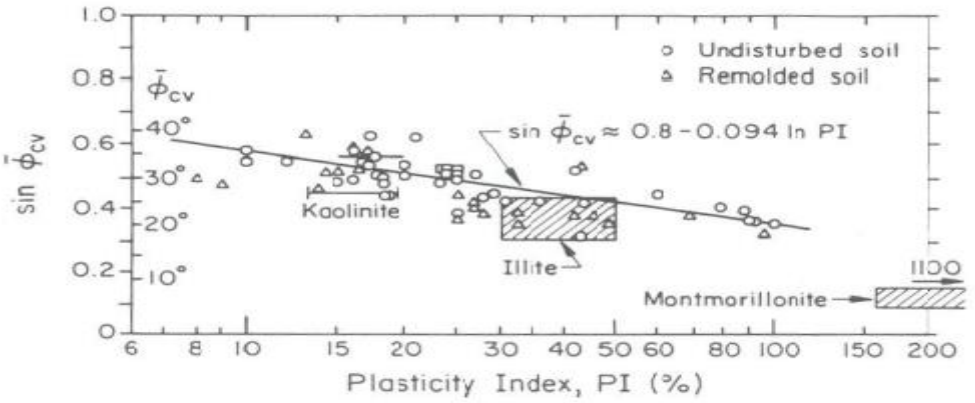


الشكل [6] سطح الخضوع في مودل كام كلاي

M=0.56

6- زاويـة الاحتكـاك عنـد Cs(Φ_{cr})بالـدرجات بالحالـة الحرجـة وهـذه القيمـة نسـتنتجها مـن مخطط يربط بين دليل اللدونة والزاوية كما هو موضح في الشكل [7] .

(P_{hi})Φ_r=28.5



الشكل [7] زاوية الاحتكاك في الحالة الحرجة كدالة لمؤشر اللدونة Mayne and Kulhawy (1990).

p

G-7 معامل القص ويعطى بالعلاقة :

$$G = \frac{3(1-2\mu)K}{2(1+\mu)}$$

$G=294,19Kn/m^2$

8-نسبة الفراغ الأولية ، e_o=0.642.

9- P_o ضغط التشديد المسبق للتربة المشبعة ،ويتم حسابه من تجربة التشديد بعد إجراء تجربة التشديد واستنتاج قيمته من مخطط الانضغاطية:

$P_o=441.3KN/m^2$

10- Pr الإجهاد الحقيقي المرجعي(الوسطي)، ويمكن إيجاد قيمة pr من خلال طريقةكاساغراندي التخطيطية وذلك برسم المنحني الذي يمثل العلاقة بين (e,logσ):

$Pr=3KN/m2$

11-r بارامتر للتحكم بالامتصاص النهائي (er) .

$r=0.85$

12-β بارامتر للتحكم بصلابة التربة مع الامتصاص : وهوعامل يشير إلى المعدل الذي يزداد عنده ضغط التشديد المسبق مع الامتصاص ويفرض بين (0.01-0.03).

$\beta=0.02$

13- K_o^{nc} معامل دفع التربة عند الراحة : وهوضغط الإجهاد الموحد المعتاد في ظروف الضغط أحادي البعد .

$K^{nc}=M/2.8$

$Ko^{Nc}=0.202$

14- POP الضغط الزائد ما قبل التشديد ويحسب من العلاقة($POP= (P^P - P_{eq}$)

$POP=437\ KN/M^2$

15- OCR درجة الزيادة في التشديد المسبق .

$$OCR=P^{P}/P_{eq}=0.202$$

P_{eq} :الإجهاد الذي تتعرض له التربة حالياً ، P^{P} : ضغط التشديد المسبق.

15− α معامل لعدم الارتباط يقانون الجريان:

$$\alpha = M\frac{tan\,\Phi'}{tan\,\Phi}$$

$$\alpha=0.279$$

حيث :Φ′: زاوية الاحتكاك الداخلي عند الحالة الحرجة.

وباستخدام البارامترات السابقة في المودل.

مع العلم أن دليل الانتفاخ للتربة : C_S =0.394 ، C_C=0.1116معامل التقلص

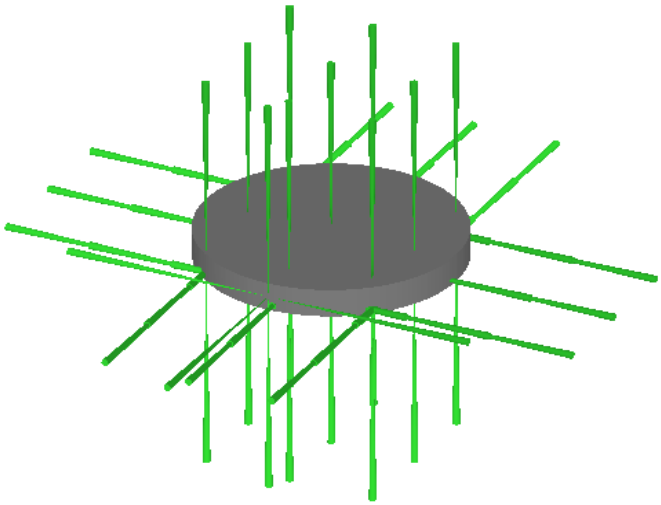
<u>تحقيق المودل المستخدم :</u>

تبين بالبحث المرجعي أن دورات الترطيب والتجفيف على التربة المنتفخة لها أهمية وفعالية في تخفيف أثر الانتفاخ ولذلك إن الدراسة التحليلية والنمذجة العددية مهمة لتوقع نتائج دورات الانتفاخ والتقلص واستباق الأثر السئ للترب المنتفخة .

إن التربة المستخدمة هي تربة سوداء منتفخة من شمال منطقة الوعر في حمص والمعطيات الحقلية كما واردة في الجدول (1).

<u>المودل المستخدم</u>

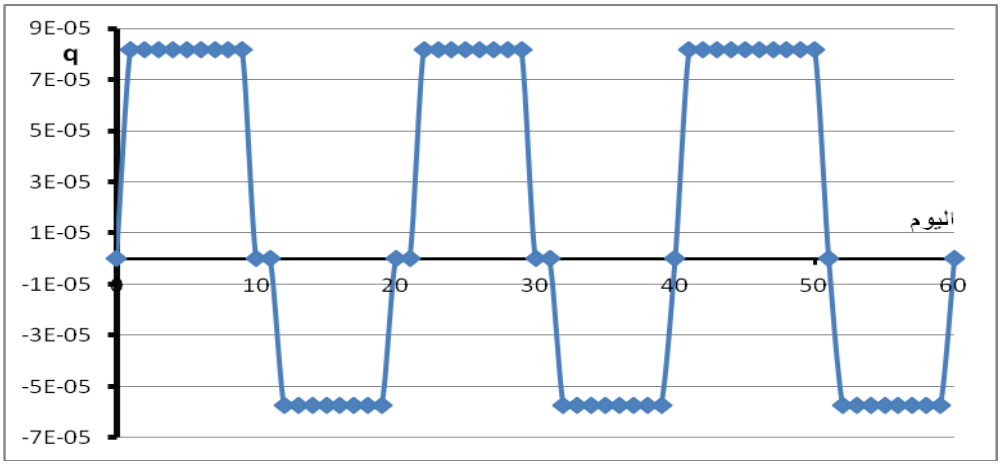
يبين الشكل[7] المودل العددي المستخدم الذي يمثل عينة التشديد الاسطوانية وهي مثبتة من كل الجهات وتتعرض للضغط من الأعلى بحمل شاقولي ، وهو مجسم لعينة التربة المدروسة في تجربة التشديد فهي عينة اسطوانية الشكل أبعادها (20*50 مم) وهي تمثل وسط متناظر مرن .



الشكل [7] المودل المستخدم

– الشروط الطرفية للمودل تحاكي شكل وظروف العينة حيث وضعت من كل الجهات وثاقة ومن الأسفل مثبتة fixed .

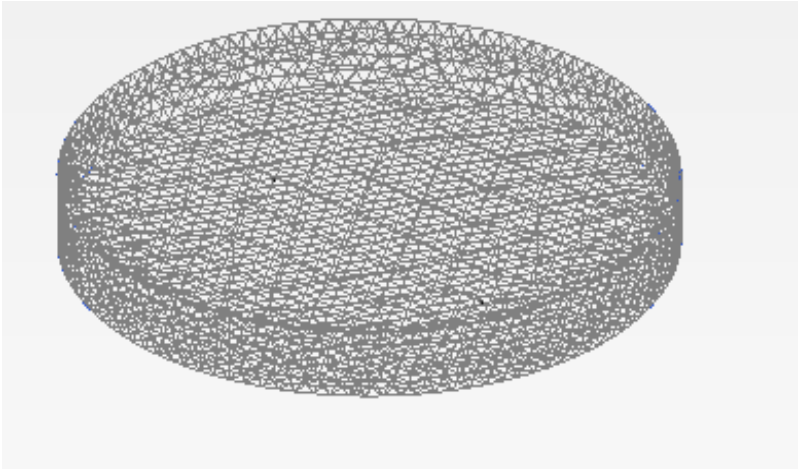
– عدد دورات التجفيف والترطيب نعطيه من خلال جدول يعطي التدفق(كمية المياه المتسربة للعينة مع الوقت) مع الزمن في كل دورة ترطيب وتجفيف حيث تم حساب كمية الماء التي كانت تغمر بها العينة فترة الترطيب ،وكذلك تم حساب كمية المياه المتبخرة وفقاً لنسبة التجفيف ودرجةحرارة التجفيف في الوسط المدروس حيث يوضح الشكل [8] التالي درات الترطيب والتجفيف مع كمية تدفق الماء :



الشكل [8] تدفق المياه مع الزمن في دورات الترطيب والتجفيف.

التقسيم بطريقة العناصرالمنتهية:

تم تقسيم المودل بطريقة العناصر المنتهية التي تحل مسألة التأثير المتبادل بين التربة والماء ومن أجل سرعة الحساب تم تقسيم شبكة العناصر المنتهية وفق عناصر بسيطة خشنة وكان الشكل[9] كالتالي :



الشكل [9] شبكة العناصر المنتهية

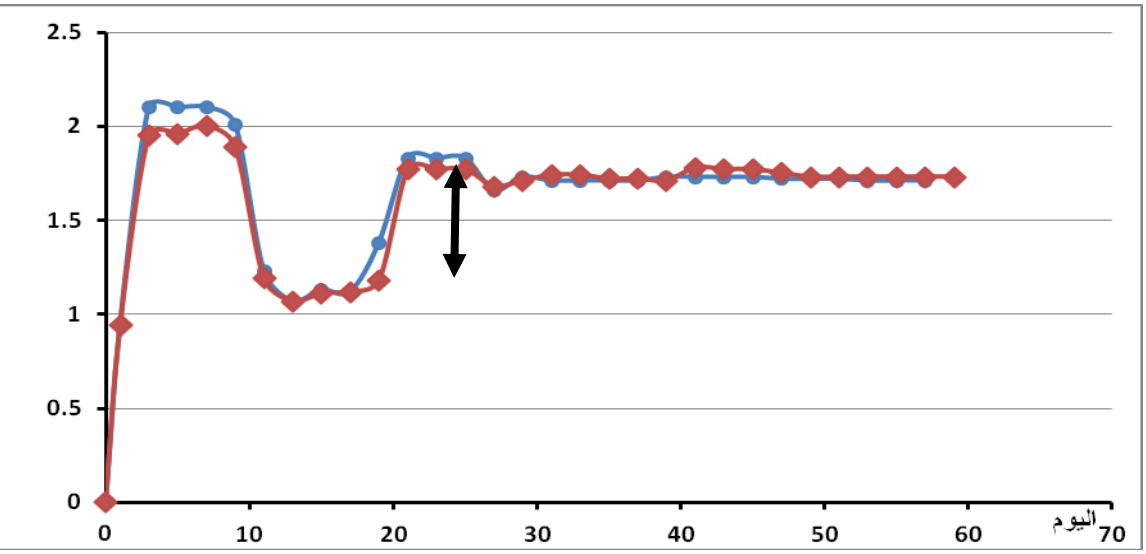
تحقيق المودل المستخدم :

بإدخال المعطيات على المودل المستخدم وإجراء الحساب باستخدام plaxis 2020 للحصول على الإزاحة الكلية لكل نقاط التربة من شبكة العناصر المنتهية من أجل تحقيق المودل المطلوب حصلنا على المخطط الموضح في الشكل [10] الذي يتضمن أكبر إزاحة لنقاط التربة في العينة مع تطبيق دورات الترطيب والتجفيف.

5-النتائج والمناقشة

تطبيق دورات الترطيب والتجفيف :

في هذا القسم سنقوم بمعايرة المودل المستخدم وذلك باستخدام النتائج التجريبية التي حصلنا عليها بتطبيق دورات الترطيب والتجفيف مع الإشارة أن نسبة الرطوبة البدائية في دورات التحميل ودون تحميل هي متماثلة وذلك لتأثير الرطوبة البدائية على نسبة الانتفاخ.
ويبين المخطط التالي مقارنة بين المنحني التجريبي الذي يوضح التغيرات التي تبديها التربة مع تطبيق دورات الترطيب والتجفيف مع الزمن ودون تحميل للعينة الذي حصلنا عليه نتيجة النمذجةالعددية باستخدام مودل برشلونة وبمقارنة المنحني الناتج مع المنحني التجريبي لاحظنا تقارب النتائج بما يحقق مصداقية المودل كمافي الشكل [10] :



الشكل [10] مقارنة بين المنحني التجريبي والعددي

نلاحظ زيادة كبيرة في تشوهات الانتفاخ خلال الدورة الأولى وحدث ما يسمى بالانتفاخ الحر وهذا ما نلاحظه في المنحني التجريبي والعددي ، وأيضاً السمة المميزة للمنحنيين هي أن كمية الانتفاخ في الدورة الثانية والثالثة يماثل مقدار التجفيف.

في البداية ، تمتص التربة كمية كبيرة من الماء بشكل مكثف تقريبًا ، ووفقًا لذلك ، يتم الوصول إلى التشوه الأقصى للانتفاخ سريعًا نسبيًا ،حيث يوضح الشكل السابق كمية التقلص والانتفاخ المتقاربة .

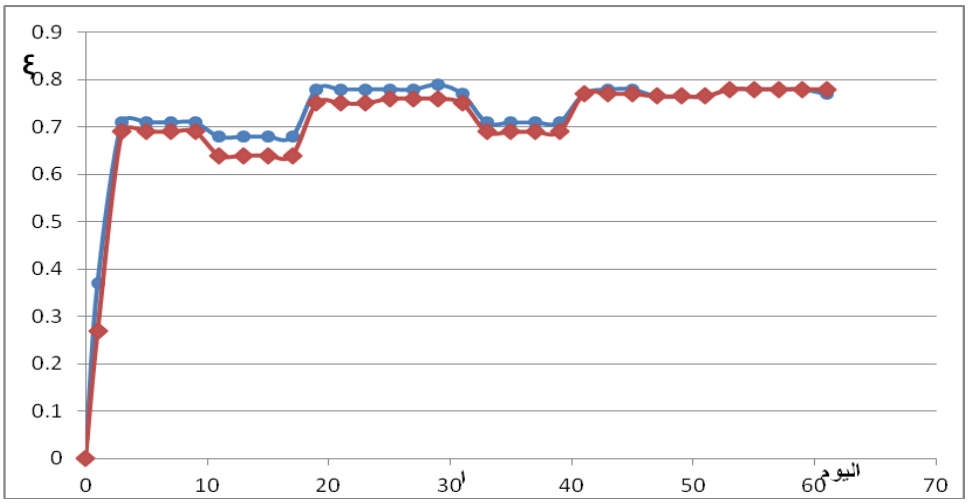
تجدر الإشارة أيضًا إلى أنه مع زيادة عدد دورات تجفيف الترطيب ، يتناقص تشوه الانتفاخ إلى حد ما، يتم تحقيق استقرار تشوهات تقلص في غضون 10 ... 14 يوما، ميزة هامة لتشوهات تقلص هو أنه مع زيادة في عدد دورات الترطيب ، تقل تغيرات الانتفاخ و تشوه التقلص المستقر النهائي في الدورتين الثانية والثالثة من الترطيب – التجفيف متساوي تقريبًا، في حالة عدم وجود حمل خارجي ، يصل تشوه الانتفاخ خلال الساعات الست الأولى إلى أكثر من نصف القيمة المستقرة النهائية ، في نفس الوقت .

بعد الوصول لمرحلة ثبات المنحني قمنا بوضع عينة جديدة من نفس التربة في جهاز التحميل وطبقناعليها حمولات متعددة مع تطبيق دورات الترطيب والتجفيف كما يلي :

تطبيق إجهاد $0.5\ Kg/cm^2$

تم وضع العينة في جهاز الآدومتر مع تطبيق دورات الترطيب والتجفيف وتطبيق إجهاد قيمته 0.5 kg/cm2

حيث تم الوصول لمرحلة التوازن بعد تطبيق ثلاث دورات ترطيب وثلاث دورات تجفيف وكان الشكل [11] :



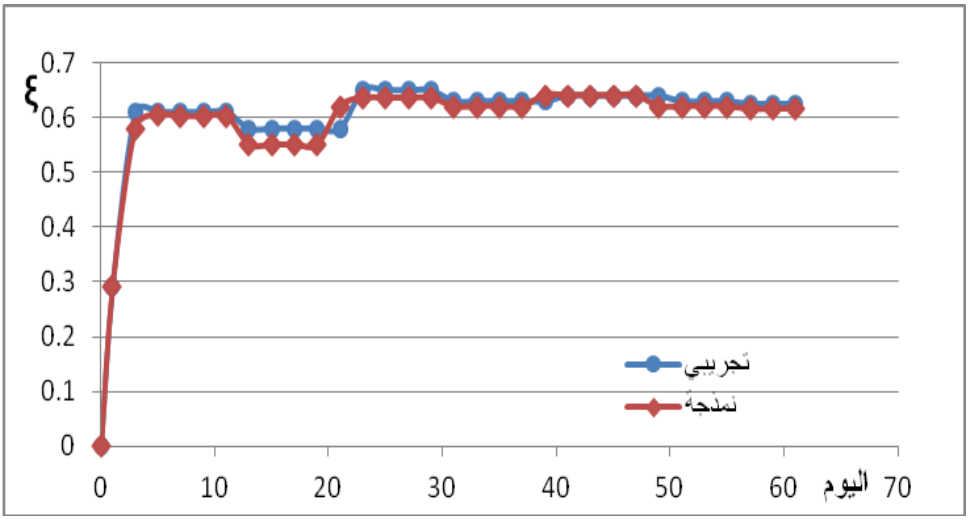
الشكل [11] مقارنة المنحني التجريبي و العددي لحمولة $P=0.5\ Kg/cm^2$

من المنحني نلاحظ وصول العينة لمرحلة الثباتية والتوازن بحيث لاتبدي تغييرات حجمية واضحة بعد تطبيق ثلاث دورات ترطيب وثلاث دورات تجفيف.

-تطبيق إجهاد $1kg/cm^2$:

تم وضع العينة في جهاز التشديد مع تطبيق دورات الترطيب والتجفيف وتطبيق إجهاد قيمته 1 kg/cm2

حيث تم الوصول لمرحلة التوازن بعد تطبيق ثلاث دورات ترطيب و تجفيف وكان الشكل [12]:

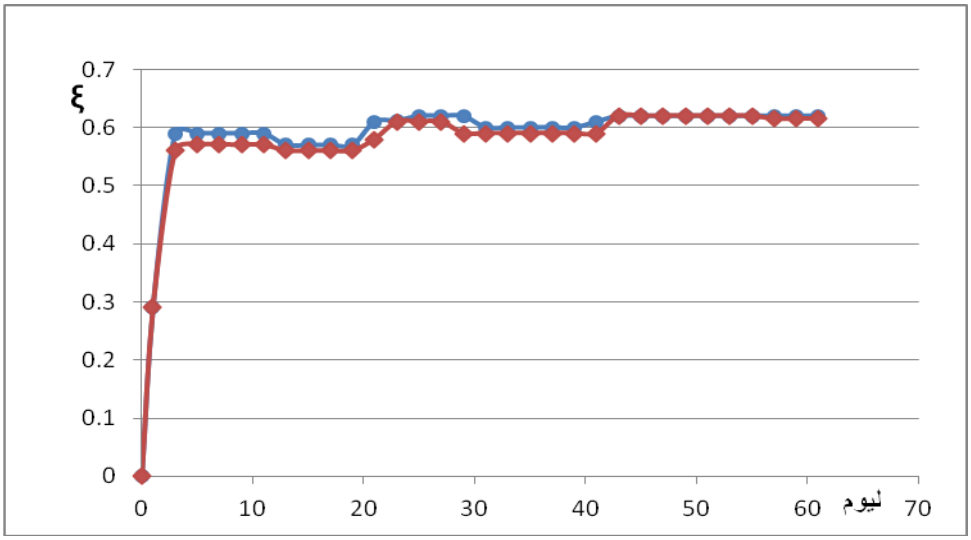


الشكل [12] مقارنة المنحني التجريبي و العددي لحمولة $P=1\ Kg/cm^2$

-تطبيق إجهاد $1.5kg/cm^2$:

تم وضع العينة في جهاز التشديد مع تطبيق دورات الترطيب والتجفيف وتطبيق إجهاد قيمته 1.5 kg/cm2

حيث تم الوصول لمرحلة التوازن بعد تطبيق ثلاث دورات ترطيب وثلاث دورات تجفيف وكان الشكل [13] :



الشكل [13] مقارنة المنحني التجريبي و العددي لحمولة $P=1.5\ Kg/cm^2$

نلاحظ من المخطط أنه مع زيادة الحمل من 1 إلى 1.5 kg/cm2، يقل التشوه بنسبة 29٪ فقط. ومن الملاحظ أن القوانين التي تحكم التغييرات في التشوهات النسبية للتربة من قيم الضغط في الدورتين الثانية والثالثة تتطابق عمليًا.

و بعد قيمة معينة من الضغط ، لا يحدث تغيير في تشوه تقلص التربة، قيمة هذا الضغط الذي تتوقف عنده التغييرات في تشوهات التقلص تتحدد حسب نوع وهو التربة الانتفاخية .

6-الاستنتاجات والتوصيات

تضمن هذا البحث دراسة عددية بطريقة العناصر المنتهية على التربة الغضارية المنتفخة المعرضة لدورات متعددة من الترطيب والتجفيف وبعض البارامترات المؤثرة عليها. وذلك باستخدام نموذج برشلونة الأساسي (BBM-model) باستخدام برنامج , Plaxis 2020وبتطبيق عدة دورات ترطيب وتجفيف بدون تحميل ثم مع تحميل عدة حمولات ، أظهر تحقيق المودل على قياسات حقلية تقارباً كبيراً بين النتائج العددية

والحقلية وقد توصلنا إلى عدة نتائج التي تم ذكرها في سياق البحث والتي يمكن تلخيص أهمها بالنقاط التالية:

- إن التربةالمنتفخة تعطي في الدروة الأولى قيمة كبيرة للانتفاخ تتتناقص مع تكرار دورات الترطيب والتجفيف .
- يتناقص مطال الانتفاخ حتى يثبت بعد الدورة الثالثة من الترطيب والتجفيف .
- يتناقص مطال التقلص حتى يثبت بعد الدورة الثالثة من الترطيب واالتجفيف.
- هذه الدراسة لها قيمة اقتصادية حيث تسمح بالحصول على فكرة تقريبية عن تأثير انتفاخ التربة وتقلصها بحالة الترطيب والترطيب الجزئي وكذلك التجفيف والتجفيف الجزئي على الإجهادات وتوزع الضغوط ضمن التربة ، ليتم تلافي الأثر السيئ المحتمل لهذه التغييرات .
- تتأثر القيمة المستقرة النهائية لتشوهات تقلص وانتفاخ التربة الغضارية بشكل كبير بقيمة الحمل الخارجي، مع زيادة الحمل الخارجي وفقًا لانخفاض قدرة الامتصاص للتربة ، تنخفض أيضًا قيمة تشوهات الانتفاخ والتقلص.
- تعتمد القيمة النهائية لتشوهات الانتفاخ والتقلص بشكل أساسي على رطوبة التربة الأولية، كلما زاد مدى التباين في الرطوبة ، زاد مقدار تشوه التربة، نطاق التغيرات في رطوبة التربة في الدورتين الثانية والثالثة من (دورات ترطيب تجفيف)هو نفسه. وفقا لذلك ، في هذه الدورات يتم تحقيق نفس مجموعة التغييرات في تشوهات الانتفاخ والتقلص، نتيجة لذلك ، تعتمد القيمة النهائية لتشوهات الانتفاخ والتقلص على مدى التغيرات في رطوبة التربة.

6-Reference

1-N. F. Zhao, et al 2018: Modeling of the swelling–shrinkage behavior of expansive clays during wetting–drying cycles**, Key Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature** 2018,Pp1-12.

2- Donalson, G.W1969: "The Occurrence of Problems of Heave and Factors Affecting its Nature" **Second International Research and Engineering Conference on Expansive Clay Soils**, Texas A&M Press., (1969).

3-Mamoune,M.S, Bekkouche, A.2011: Modeling of the Behavior of Expansive Soils, Department of Civil Engineering, Faculty of Technology, University of Aboubakr Belkaïd-Tlemcen, **Jordan Journal of Civil Engineering**, Volume 5, No. 1, 2011,Pp 1-14.

4- Gens, A., and Alonso, E.E. 1992. A framework for the behaviour of unsaturated expansive clays**. Canadian Geotechnical Journal**, **29**(6): 1013–1032. doi:10.1139/ t92-120.

5-Alonso, E.E., Gens, A., and Josa, A. 1990**.** A constitutive model for partially saturated soils. **Geotechnique**, 40(3): 405–430 doi:10.1680/geot.. 1990.40.3.405.

6- E.E. Alonso *, J. Vaunat, A. Gens1999**:** Modelling the mechanical behaviour of expansive clays UPC-DIT, c/Jordi Girona 1–3,Mo´dulo D-2, 08034 Barcelona, **Spain, Engineering Geology**, 54 ,173–183.

7-Mašin, D. 2013. Double structure hydromechanical coupling formalism and a model for unsaturated expansive clays. **Engineering Geology**, 165: 73–88. doi:10.1016/j.enggeo.05.026.

8-Cui, Y.J., Yahia-Aissa, M., and Delage, P. 2002. A model for the volume change behavior of heavily compacted swelling clays. **Engineering Geology**, **64**: 233– 250. doi:10.1016/S0013-7952(01)00113-

9- C. Yang ET AL 2013: A constitutive model for unsaturated cemented soils under cyclic loading, **Computers and Geotechnics**, 35 (2008), 853-859.

10- C,Sabatino et,ALL 2016: Experimental investigation and constitutive modeling for an unsaturated pyroclastic soil**, Laboratory of Geotechnics, Department of Civil Engineering, University of Salerno**, Italy,pp1-6.

11- Alcantara,A,M.,et,al 2020 : Modelling of oedometer tests on pellet-powder bentonite mixtures to support mock-up test analysis, September 19, **2020 EasyChair Preprint** № 4221,Pp1-7.