



كلية الهندسة - جامعة بغداد

Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences

مجلة اتحاد الجامعات العربية للدراسات والبحوث الهندسية



اعضاء اتحاد الجامعات العربية

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

علي عبدالله¹، دارين أحمد^{2*}¹ قسم الهندسة الجيوتكنيكية، كلية الهندسة المدنية، جامعة البعث، حمص، سورية، dr.abds@hotmail.com² قسم الهندسة الجيوتكنيكية، كلية الهندسة المدنية، جامعة البعث، حمص، سورية، darenmagic@gmail.com

*الباحث الممثل: دارين أحمد، الايميل: darenmagic@gmail.com

نشر في: 31 كانون الاول 2021

الخلاصة - يتضمن هذا البحث دراسة تجريبية وعددية للتربة المنتفخة المعرضة لدورات متكررة من الانتفاخ والتقلص، وتظهر مشكلة هذه التربة عند ترطيبها وتجفيفها، نتيجة للتغيرات الحجمية التي تحدث لها مما يؤدي لأضرار في الأساسات والمنشآت الهندسية. طبق البحث على تربة منتفخة من سورية، وطبقت دورات الترطيب والتجفيف باستخدام تجربة الأدمتر، وذلك بغمر العينة بالماء من أجل مرحلة الترطيب، وللتجفيف صمم جهاز يجفف العينة لدرجة الحرارة المطلوبة وللمدة الزمنية التي نريدها، حتى تصل التربة لمرحلة التوازن بعد عدة دورات ولم تعد تعطي التربة أي تغييرات حجمية، ثم أجرينا دراسة عددية بطريقة العناصر المنتهية للتربة المنتفخة التي طبقت عليها الدراسة التجريبية ووجدنا تقارباً جيداً بين القياسات التجريبية والنتائج العددية. حيث وضعنا نموذج عددي مناسب للمسألة يعتمد على نمذجة توسط الانتشار التربة والقوى المؤثرة فيها باستخدام برنامج الحساب Plaxis2020 لنمذجة سلوك التربة المنتفخة المعرضة لدورات متعددة من الترطيب والتجفيف وذلك باستخدام نموذج برشلونة (Basic Model Barcelona) وهو النموذج العددي المخصص لنمذجة سلوك الترب المنتفخة غير المشبعة بالاعتماد على معاملات النموذج التجريبية، وبينت نتائج البحث تناقص مطال الانتفاخ والتقلص حتى الوصول للتبات بعد الدورة الثالثة من الترطيب والتجفيف وكذلك مطال الانتفاخ عند تطبيق حمل خارجي يكون في البداية صغير ثم يعود ويرتفع في الدورة الثانية من ترطيب العينة، نتائج هذا البحث تمكننا تجنب الكثير من مخاطر انتفاخ التربة من خلال تطبيق دورات متعددة من الترطيب والتجفيف قبل البناء، بذلك تستقر تشوهات التربة لحد كبير، وتسمح نتائج البحث بالتنبؤ بالتغيرات الحجمية للتربة المنتفخة وعدد الدورات اللازمة للوصول لمرحلة الاستقرار قبل البدء عملياً بالبناء على التربة، وبالتالي تقدير الآثار المحتملة على الناس والمنشآت المجاورة واتخاذ التدابير اللازمة عند الضرورة لتفاديها، وبذلك نستطيع أن نستفيد من هذه الخاصية في الحفاظ على سلامة المباني المنشأة على التربة المنتفخة.

الكلمات المفتاحية: التربة المنتفخة، الأدمتر، الترطيب، بلاكسس.

1. المقدمة

يشوه البلاطة إما إلى المركز وضع الرفع (يطلق عليه أحياناً تجفيف الحواف) أو وضع رفع الحافة (يطلق عليه أيضاً تجفيف الحواف).

تأثير ضرر التربة المنتفخة على بناء الأساسات والأرصعة والمنشآت الهندسية كبير جداً كما هو مبين في (الشكل 1:). مثلاً تم تحديد كمية ومدى الضرر الذي لحق بالهياكل والمنشآت بسبب التربة المنتفخة في الولايات المتحدة الأمريكية حيث قدرت الخسائر بنحو 2.3 مليار دولار في السنة في عام 1973، والذي تجاوزت الضرر المشترك الناجم عن الزلازل والكوارث الطبيعية [6,7].

في الكثير من المنشآت الهندسية المظمورة والأساسات، يعمل البنتونيت المضغوط كمواد عازلة / ردم، وبالتالي البنتونيت المضغوط يتعرض لتشوهات كبيرة في الانتفاخ والتقلص خلال عمليات الترطيب والتجفيف النورية، بسبب الاختلافات الدورية في تسرب المياه الجوفية من الصخور المحيطة والحرارة المتولدة من النفايات المشعة في المخازن. هذا النوع من تشوهات الانتفاخ- التقلص يتسبب في زيادة النفاذية مما يؤدي لتسرب محتمل للنويوكليدات من المخزن، في هذه الأثناء تشوهات الانتفاخ والتقلص في أسس التربة المنتفخة يمكن ملاحظته بسبب الترطيب الدوري والتجفيف

إن التغيير المناخي العالمي أدى إلى طقس قاسي خلال العقود الماضية، حيث شهدت المناطق المناخية الحارة في الشتاء مناخ قاسي، كذلك ساهم في رفع متوسط درجة حرارة الصيف في المناطق الباردة، وبذلك تواجه النباتات الطبيعية والمواد الجيولوجية المستخدمة في مختلف المنشآت الهندسية هذه التقلبات في المناخ وأنماط الطقس وتخضع لدورات التجميد والذوبان والترطيب والتجفيف.

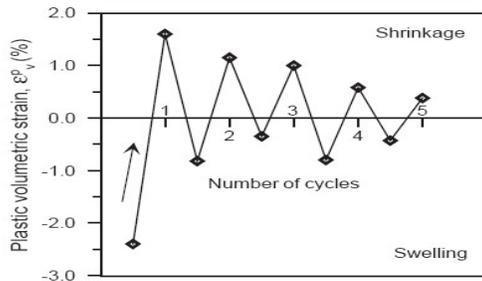
وبما أن التربة المنتفخة تغطي مساحة واسعة في العالم مثل الصين وكندا، والولايات المتحدة الأمريكية، إسبانيا، حتى في سوريا تغطي حوالي 10% من مساحة سوريا، فعندما تتعرض هذه التربة لتغيرات مناخية بين الترطيب والتجفيف والصيف والشتاء، تعطي تشوهات ذات قيمة كبيرة نسبياً مما يعرض الأبنية التي أنشأت عليها للتشققات والإزاحة، مثلاً تحت هيكل الرصيف وخلال فترات موسم الجفاف الحاد تنقلص التربة ويقل حجمها، فيمكن أن تؤدي دورات الانتفاخ والانكماش إلى تفسير تعبيد الطرق السريعة. كما أن له تأثير سلبي على الأساس الضحل من المباني، إذا كانت التربة تحت لوح بلاطة خرسانية فإن التغيير في الحجم، سوف

دون الحاجة لتطبيق دراسة تجريبية من خلال معرفة المواصفات الأساسية للتربة بعد أن تقوم بمعايرة النموذج العددي مع النتائج التجريبية.

2. الدراسات السابقة:

2.1 الدراسة المرجعية لتطبيق دورات الترطيب والتجفيف :

وجد الباحثون أن التربة المنتفخة تتكون من المعادن الطينية من عائلة Smectite (Montmorillonite) و Illite. تم ربط مقدار الضرر الذي يمكن أن تلحقه التربة المنتفخة بالبنية التحتية و المنشآت بالشحنة السالبة الصافية على الوجه بسبب تقارب الماء ، إن التربة التي تحتوي على معادن طينية منتفخة حساسة للغاية للتغير الموسمي للرطوبة بسبب هطول الأمطار ، والتبخر من سطح التربة ، و / أو التبخر من النبات. سيكون الخطر الناتج عن التربة المنتفخة هو الأكبر في المناطق ذات المواسم الرطبة والجافة القوية. [10] بغض النظر عن التصنيفات المحتملة للانتفاخ فقد وجد أنه بمجرد اعتبار إمكانية الانتفاخ "متوسطة" أو "هامشية" ، فإن احتمال حدوث خطر جيوتقني كبير في المنشآت المقامة على هذه التربة [12] وباعتبار أن التربة المنتفخة كانت موضوعاً هاماً وتشكل تحدياً كبيراً للمهندسين أيضاً البناء عليها من التحديات المهمة ولذلك هناك بعض الدراسات التجريبية حيث قام [3] بدراسة رد فعل التربة واستجاباتها لتغيير الحجم ، التربة المؤلفة من خليط البنتونيت والرمل المعرضين للعديد من دورات الترطيب والتجفيف ، حيث تم تصميم برنامج تجريبي بعدة دورات ترطيب وتجفيف وفق امتصاص معين وتمت عملية التجفيف على مبدأ البخار، حيث كان الهدف من البحث هو التنبؤ باستجابة التربة وتغيير الحجم للخليط المكون من البنتونيت والرمل وذلك تحت مجال امتصاص عالي وتوصل كما هو واضح في المخطط (الشكل 2): لنتيجة انخفاض الانتفاخ النسبي والتقلص النسبي مع تكرار دورات الترطيب والتجفيف.



الشكل 2: السلالات حجمية وتطورها مع عدد الدورات .

وتم إجراء دراسة أخرى بواسطة [10] في معالجة الجبر للتربة المنتفخة، وتأثير دورات الترطيب - التجفيف الدوري على الانتفاخ و تم التحقق من إمكانات التربة المنتفخة المعالجة بالجبر، وذلك باستخدام تقلص كامل وانتفاخ كامل، نتائج التجارب أشارت إلى أن تأثير علاج الجبر انخفض جزئياً بعد أربعة دورات ترطيب - تجفيف ، كما أجرى [5] أيضاً اختبارات دورية للانتفاخ - التقلص لتحديد سلوك التربة الطينية المعالجة بالجبر على المدى الطويل، تم إجراء الاختبارات على ثلاثة أنواع مختلفة من التربة خلال الدراسة ، والملاحظ أن نسبة الانتفاخ والتقلص قد انخفضت بعد عدة دورات من الترطيب والتجفيف ، درس [14] سلوك الترطيب والتجفيف من حيث نسبة الفراغ ومحتوى الماء. وقد أظهرت العديد من الدراسات سلوك انتفاخ للتربة تحت التأثير الكيميائي، وجد [11] أن تغيرات الارتفاع في العينات أثناء الترطيب والتجفيف هي نفسها بعد أربع دورات ، وحتى مستقلة عن شروط الضغط الأولية. يتم تحديد نسبة الفراغ بعد كل دورة انتفاخ - انكماش خضعت عينات التربة المعاد تشكيلها لدورات تورم كامل والانتفاخ الكامل ، أو التورم الكامل والانتفاخ الجزئي ، وبالنسبة للدراسات العددية لنمذجة سلوك التربة المنتفخة المعرضة لدورات متكررة من الانتفاخ والتقلص فقد وجدت بعض الأبحاث والنماذج العددية مثل النماذج الريولوجية ونموذج كامبردج ، ونموذج كام كلاي وكذلك بعض النماذج الحديثة مثل نموذج الونسو حيث قام [9] بتحليل سلوك الطين بواسطة اختبارات المحاكاة العددية للتقلص والانتفاخ باستخدام مقياس

الناجم عن التغيرات الموسمية، في مستوى المياه الجوفية، بالتالي يؤدي لتدمير المباني والمستودعات في مناطق التربة المنتفخة.

لذلك تم بذل جهود بحثية لحل مشاكل الأساسات المتعلقة بالتربة المنتفخة والأبنية الخاضعة لها ، ومن أجل البناء عليها بشكل آمن يفضل الأساسات التوتدية ولكن هذا الحل ذو كلفة عالية تجاه الأبنية ضعيفة التكلفة ، أو أن تتم معالجة هذا النوع من التربة ببعض المواد المثبتة الكيميائية لكن هذا الحل أيضاً ذو تكلفة عالية .



الشكل 1: الأثار السلبية للتربة المنتفخة.

التربة المنتفخة هي التربة التي لديها إمكانية الانكماش أو الانتفاخ تحت ظروف الرطوبة المتغيرة حيث التغيرات في ظروف الرطوبة للتربة المنتفخة ترجع إلى الظروف البيئية المفروضة على سطح الأرض، وتقلبات الغطاء النباتي ومستوى المياه الجوفية، إما أن تزيد أو تقلل من محتوى الرطوبة، قد تكون الزيادة في محتوى الرطوبة بسبب هطول الأمطار في حين أن انخفاض محتوى الرطوبة قد يكون بسبب ارتفاع درجات الحرارة. وخلال فترات طويلة دون هطول ، ستجف التربة المنتفخة وتتسبب في تقلص التربة بشكل عام مما يؤدي إلى تغيير حجم سلبي قابل للاسترداد وغير قابل للاسترداد. عندما يحدث هطول الأمطار بعد فترات عدم هطول الأمطار ، يبذل الماء المتسرب التربة المنتفخة. تعتمد قابلية التغير في حجم التربة المنتفخة على حالة الإجهاد المطبقة وتاريخ الإجهاد في التربة. يُعرف تغيير الحجم غير القابل للاسترداد بأنه سلالة لدنة ويُعرف تغيير الحجم القابل للاسترداد بسلالة مرنة. يرجع تغيير الحجم غير القابل للاسترداد إلى تغييرات دائمة في بنية التربة الناتجة عن الترسيب الجيولوجي للتربة [4]، إن الدراسات البحثية السابقة على التربة الغضارية المنتفخة ركزت على :

- دراسة آلية الانتفاخ والتقلص وإصلاح الأضرار الناتجة عن سلوك التغير الحجمي للتربة المنتفخة على المنشآت والناس مثل إصلاح التشققات وترميم المنشآت المتضررة .

- كان هناك بعض المحاولات لتجنب السلوك الميكانيكي الانتفاخي للتربة الغضارية من خلال منع وصول المياه والرطوبة للمنشآت المقامة على هذه التربة عن طريق تطبيق عزل حول هذه المنشآت وهذا من الأمور المستعبدة في الموقع فالتربة سوف تتعرض للظروف الطبيعية من ترطيب وتجفيف -معظم الدراسات كانت تجريبية تدرس سلوك التربة المنتفخة اما الدراسات التحليلية فقد كانت محدودة حيث كان من الصعب تمثيل السلوك الانتفاخي للتربة الغضارية بشكل عددي انطلاقاً من ذلك يهدف بحثنا على النقاط التالية :

-الهدف الأساسي هو دراسة الإجراءات اللازم تطبيقها لتجنب ومنع التغييرات الحجمية لهذه التربة من خلال فهم السلوك الميكانيكي للتربة الغضارية المنتفخة .

- تحديد الخطوات اللازم تطبيقها على التربة الغضارية المنتفخة قبل المباشرة بالبناء عليها من أجل تجنب الأضرار والتشوهات الإنشائية في الأبنية المقامة على هذه التربة حيث تتركز على تطبيق عدد من دورات الترطيب والتجفيف حتى الوصول لمرحلة التوازن بحيث لا يتبدى التربة أي تغيير حجمي مع تعرضها للظروف الطبيعية من ترطيب أو تجفيف.

-النمذجة العددية باستخدام نموذج (BBM) في برنامج Plaxis2020 تمكننا من تمثيل سلوك التربة الغضارية من انتفاخ وتقلص والوصول لمرحلة التنبؤ بسلوك التربة ومقدار الانتفاخ والتقلص الذي يتبدى

2.4 تطبيق نورات الانتفاخ والتقلص :

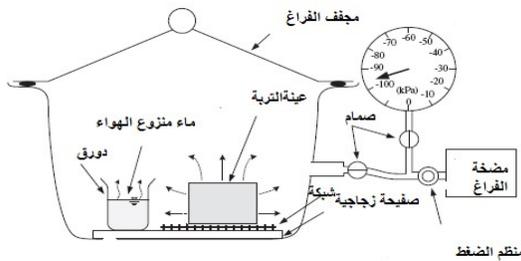
إن دراسة سلوك التربة المنتفخة في المختبر يتطلب وضعها في ظروف مشابهة لظروف الموقع ، حيث الترطيب يتم عن طريق الغمر بالماء أما التجفيف ، فقد كانت هناك عدة طرق لتجفيف العينة والوصول لظرف يشبه وضع العينة في الطبيعة وفيما يلي بعض الطرق المتبعة :

2.4.1 طريقة التجفيف بالتفريغ :

قام [13] بتصميم تقنية للتجفيف حيث يتألف من وعاء للتجفيف مفرغ جزئياً -مظم التفريغ - مقياس ضغط التفريغ - مضخة التفريغ - ماء صافي للتسخين - عينة التربة كما يوضح (الشكل3):

تنقص مضخة التفريغ الضغط في الوعاء المفرغ جزئياً الذي فيه العينة إلى جانب ضغط البخار المشبع للماء ، ماء المسام يتبخر من سطح العينة ، فالمحتوى المائي ينقص بسرعة أكبر من تجفيف الهواء وبذلك الحجم ودرجة الإشباع يتناقصان .

إن الظاهرة التي يحدث فيها التبخر تعتمد على تناقص ضغط التفريغ بهدوء أكثر من ضغط البخار المشبع و هي مكافئة لتلك التي تتبخر من الماء 100C الساخن عندما درجة حرارة أقل من



الشكل 3: التجفيف بالتفريغ .

2.4.2 طريقة نظام الحمل الحراري:

حيث قام [4] باستخدام خلية آدمتر مع عناصر مختلفة من تقنيات التحكم بالامتصاص بطريقة نظام الحمل الحراري للقوى كما يوضح (الشكل4): وتستخدم مضخة الهواء لنقل البخار من الوعاء المرجعي (وعاء التجفيف) إلى مسامات التربة وتغيرات الكتلة تراقبها بواسطة وزن وعاء التجفيف بالميزان الإلكتروني ، ونقل البخار كان بواسطة طريقتان 1- البخار يحيط بكل حدود العينة (أعلى وأسفل الحجر المسامي) 2- الهواء يمر عبر وخلال العينة عن طريق هجرة جزيئات الماء من خلال مرحلة التبخر من نظام مرجعي معروف الجهد والكتلة إلى مسام التربة ، حتى الميكانيكية المائية تم تحقيق التوازن.

تم التحكم في رطوبة النظام المرجعي وتغيير الإمكانات الكيميائية لأنواع مختلفة من محاليل مائية مثل المواد المذابة غير المتطايرة $C_{10}SO_4$ والمواد المذابة المتطايرة تم استخدام (المحاليل الحمضية ل H_2SO_4 في برنامج التجربة. تم استخدام محلول $C_{10}SO_4$ تحت شروط الانحلال المشبعة .

oedometer. يتم إجراء هذا التحليل باستخدام برنامج CASTEM2000 باستخدام نموذج Cam-Clay و نتائج هذا العمل تظهر أنه تتم محاكاة الانضغاط بشكل صحيح لكن مرحلة التفريغ لا تتم محاكاتها بشكل صحيح ومرحلة الانتفاخ من قبل نموذج الونسو ونموذج كام-كلاي ، مميزة إضافية وأساسية للنماذج التأسيسية للتربة الانتفاخية التي تميزها عن النماذج التأسيسية للتربة منخفضة اللدونة غير المشبعة ، هي القدرة على وصف سلوك الانتفاخ - التقلص أثناء دورات الترطيب والتجفيف و من أقرب النماذج المرنة اللطين المنتفخ يسمى نموذج برشلونة الانتفاخي (BEXM) وجد [2] إن صيغة نموذج (BEXM) تتضمن تعريف سلوك المستوى الهيكلي، وسلوك مستوى البنية المجهرية والاقتران الديناميكي بينهما ، بإطار (BEXM) نموذج كامل للتربة المنتفخة يمكن تأسيسه عن طريق الجمع بين نماذج موجودة لكل مستوى هيكلي ، لذلك سميت ثنائية النماذج . وقام [8] بدراسة تجريبية وتحليلية لسلوك التربة المنتفخة وذلك اعتماداً على نظرية الامتزاز تنص هذه النظرية على أن البناء المرن اللدن يتعرض لاحتمال تحميل بين حدود قياسية منها الامتزاز المرن ويتم تحديد أقصى مستوى من الإجهاد على أنه حد الامتزاز المرن ، تعتمد هذه الطريقة على قانون ميلان للحدود السفلى وقانون كوتريز للحدود العليا ، قام بإجراء النمذجة بطريقة ZARKA لكن هذه الطريقة لا تأخذ ظاهرة الانهيار باعتبار التصلب الحركي غير محدود، ومن الملاحظ إن بعض الموديلات مناسبة لحالات جزئية خاصة تم تطويرها لكن لم تأخذ بالاعتبار التربة المنتفخة.

2.2 نموذج Barcelona Basic Model :

للتوصل إلى حل مقبول لنموذج التربة المنتفخة لابد من إجراء تحليل يعتمد على المزاجية بين السلوك الميكانيكي للتربة مع جريان الماء فيها وتغيرات 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 .

لحل هذه المسألة يتم تحديد تغيرات امتصاص التربة أو ما 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 والانكماش .

في البداية تم التركيز على نموذج كام كلاي كمثال لنموذج التربة المرنة لكن الأهم السلوك الميكانيكي للتربة غير المشبعة فتم تطوير نموذج CamClay من أجل النظر في حالة التربة غير المشبعة ، مما أسفر عن نموذج برشلونة الأساسي. فهو امتداد وتطوير لنموذج Cam Clay .

2.3 - معاملات نموذج برشلونة Barcelona Basic Model

يحتوي نموذج BBM على سبع معاملات إضافية مقارنة بنموذج CamClay المعدل. ثلاثة منهم يسيطرون على صلابة التربة المرتبطة بالعندية سطح الخضوع LC (نقطة الخضوع) ، وتسمى β ، λ و PC تصف المعاملات KS و so و λ_s صلابة التربة مع اختلاف الامتصاص. يتم استخدام المعلمة α لتعكس تأثير الامتصاص على تماسك التربة. إن المعامل β يعطي النسبة التي يزداد عندها الامتصاص مع زيادة ضغط التشديد المسبق.

λ_0 هي قيمة وشكل سطح الخضوع حساس لقيمتها حيث تنوع صغير بقيمتها يؤدي لتوسيع واضح في النطاق المرن .

P_c الضغط المرجعي يؤثر على قياس المجال المرن إن النسبة P_0/P_c هي عامل حاسم حيث $P_0/P_c=1$ يصبح سطح الاندماج L_c وهذا يزيل أي تأثير للامتصاص على ضغط التشديد المسبق .

فحص مخبري واحد كافي لتحديد المعاملات KS ، s ، S_0 و λ وهي المعاملات المتعلقة بالامتصاص الفحص يتضمن تجفيف التربة تحت حمل ثابت ، النتائج حلت ضغط التشديد المسبق بالامتصاص SO ، معامل الضغط لتحميل الامتصاص الأساسي λ_s ، معامل التحميل KS .

من أجل دورات الترطيب تم غمر العينات بالمياه وإشباعها بشكل كامل لعدة أيام حتى تثبت تغيرات العينة وانتفاخها لأيام، ومن أجل تطبيق دورة التجفيف فقد قمنا بتصميم جهاز لتجفيف عينة الأودومتر وفق درجة حرارة نحددها على السخان وفيما يلي شرح لمكونات جهاز التجفيف.

جهاز التسخين المصمم للتجفيف:

يتألف الجهاز من:

1- سخان حلقي:

وهو عبارة عن وشيعة حلقيّة تحيط بحلقة الأودومتر التي تحوي العينة، حيث يحيط السخان بحلقة التشديد كما في (الشكل 5): تقوم بتسخين حلقة التشديد لمدة طويلة ولدرجة الحرارة المطلوبة.

ومن خلال تسخين الحلقة المصنوعة من المعدن التي توضع فيها العينة تنوزع الحرارة للتربة داخلها ويتبخر ماء المسام.



الشكل 5: السخان يحيط بحلقة الأودومتر.

2- حساس حراري:

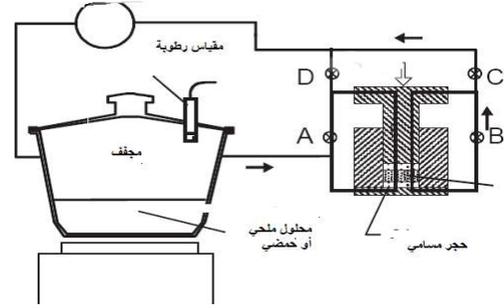
وهو عبارة عن أداة استشعار تعمل على كشف الحالة المحيطة الفيزيائية، حيث يقوم بتحويل الإشارات الساقطة إلى نبضات يمكن قياسها بواسطة جهاز يحدد درجة الحرارة المحيطة كما هو واضح في (الشكل 6):.



الشكل 6: الحساس الحراري.



الشكل 7: تموضع السخان والحساس الحراري.



الشكل 4: التجفيف بنظام الحمل الحراري.

3. أهمية البحث وأهدافه:

تزايد الاهتمام في السنوات الأخيرة بالتربة المنتفخة وطرق البناء الآمنة على التربة المنتفخة. لكن أغلب الدراسات الموجودة حول التربة الغضارية المنتفخة قد ركزت بشكل أساسي على دراسة تجنب ومعالجة الآثار السلبية الناتجة عن الانتفاخ في حين أهملت أو تطرقت لمسألة تجنب ومنع حدوث الانتفاخ بشكل سريع.

لذلك فإن أهمية هذا البحث تنبع من ندرة الدراسات المفصلة لمنع وإبعاد احتمالية حدوث الانتفاخ في التربة الغضارية المنتفخة وفق الوسائل المتاحة،

إن فكرة البحث هي عبارة عن وضع سلسلة اختبارات تجريبية تشمل تطبيق دورات متعددة من الانتفاخ والتقلص في أن واحد على تربة عالية الانتفاخ للوصول إلى مرحلة التوازن بحيث لا تعطي التربة تغيرات حجمية تحت ظروف الترطيب أو التجفيف، ومن أجل تطبيق دورات تجفيف للعينة وفق درجة الحرارة المطلوبة تم تصنيع جهاز يمكن استخدامه كتعويض عن الظروف المناخية التي تتعرض لها التربة في الموقع وبذلك يمكن أن نتجنب الأثر السيئ للتربة المنتفخة للحد من تأثيرها المحتمل على الناس والمنشآت المقامة عليها. إضافة إلى ذلك، فإن نتيجة دراسة المعاملات التي تم إجراؤها هي تحديد أهم العوامل المؤثرة على انتفاخ التربة والعوامل التي تساعد على تجنب الأثر السيئ لانتفاخ التربة.

وفي القسم الثاني تم إجراء دراسة عديدة بطريقة العناصر المنتهية للتربة المنتفخة المعرضة لدورات متعددة من الانتفاخ والتقلص بطريقة العناصر المنتهية، حيث تم استخدام معاملات التربة الناتجة من التجارب المخبرية، ولنمذجة سلوك التربة المنتفخة استخدمنا نموذج برشلونة (BBM) في برنامج Plaxis 2020.

فالهدف الأساسي من هذا البحث هو الوصول إلى مرحلة للتنبؤ بالتغيرات الحجمية والتشوهات المحتملة التي تحدث للتربة المنتفخة الناتجة عن تغييرات مناخية وبيئية مختلفة.

4. طريقة الفحص:

تم الاعتماد في هذه الدراسة التجريبية على جهاز الأودومتر المخبري حيث وضعت فيه عينات التربة وطبقت دورات الترطيب، وتم تصنيع جهاز يطبق على الأودومتر من أجل تطبيق دورات التجفيف على العينة. ولإتمام النمذجة العددية لهذه الدراسة تم استخدام نموذج برشلونة (Barcelona Basic Model) باستخدام برنامج الحساب Plaxis2020.

4.1 الجهاز المستخدم في التجربة

إن التجربة المستخدمة في بحثنا هي تجربة الأودومتر ومطبقة على التربة التي أحضرت من منطقة الوعر في محافظة حمص في سورية بعيد تجهيز عينات التربة يتم تطبيق دورات التجفيف والترطيب عليها.

4.2 مواصفات التربة المستخدمة :

4.2.1 - تجارب التربة:

تم إجراء التجارب المخبرية على تربة سوداء عالية الانتفاخ من حمص - منطقة الوعر - .

وهذه التجارب هي :

-تجارب الخواص الفيزيائية (الوزن الحجمي،الوزن النوعي) .

-تجارب القرائن المصنفة للتربة (حد السيولة ،حد اللدونة ،حد التقلص).

نتائج تجارب الخواص الفيزيائية والقرائن المصنفة للتربة:

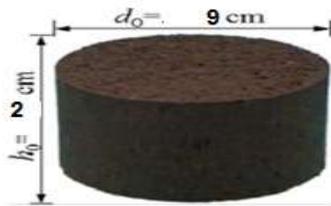
يوضح الجدول (1) نتائج تجارب الخواص الفيزيائية والقرائن المصنفة من أجل نوع التربة المدروسة (تربة حمص) .

الجدول 1: الخواص الفيزيائية والقرائن للتراب .

نوع التربة	خاصة التربة
7%	الرطوبة الطبيعية%
1.7	الوزن الحجمي gr/cm ³
2.822	الوزن النوعي
66.7	حد السيولة%
27.6	حد اللدونة%
39.4	دليل اللدونة%

4.2.2 تجربة التشديد للتربة المدروسة :

تم إجراء تجربة التشديد للتربة المدروسة بتشكيل عينة كما في (الشكل 10):



الشكل 10: عينة التشديد .

وبعد إجراء تجربة الانضغاطية على التربة مع مراحل متعددة من التحميل والتفريغ استنتجنا منحنى الانضغاطية الموضح في (الشكل 11):

-تجارب الانضغاط مع الزمن (التشديد) في جهاز الأدمتر من أجل الحمولات التالية:

(0.5-1-1.5-2 Kg/cm²) .

ويوضع داخل العينة حتى لو كانت العينة رطبة أو مشبعة بالماء ليقتدر درجة حرارتها كما هو واضح في (الشكل 7):

3-جهاز التسخين الحراري :

وهو لمعايرة وضبط درجة حرارة التربة ورفع درجة حرارة حلقة الأدمتر للحرارة المطلوبة ،حيث نحدد عليه درجة الحرارة لمطلوبة التي نريد التسخين لعندها كما هو واضح في (الشكل 8): ويعمل لفترات وأسابيع طويلة دون انقطاع مما يوفر المحافظة على حرارة العينة للمدة التي نريدها كما في الشكل التالي يبين أقسام الجهاز كما يلي:



الشكل 8: جهاز التحكم بالتسخين .

عن طريق هذا الجزء نقوم بمعايرة درجة الحرارة حيث يوجد إشارتان لزيادة درجة الحرارة وإنقاصها وبعد تحديدها يضيء الزر الأخضر ويبدء سخان بالعمل والتسخين للحرارة المطلوبة و للمدة التي نريدها .

4-صندوق معدني :

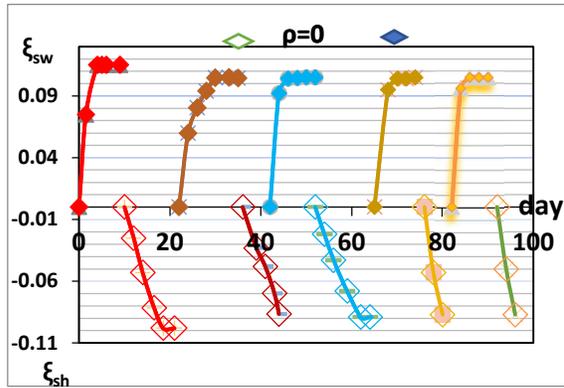
وهو عبارة عن صندوق عازل يحيط بجهاز التشديد ويحفظ العينة ضمن درجة الحرارة المطلوبة ويعزلها عن درجة حرارة الجو المحيط كما هو موضح في (الشكل 9):



الشكل 9: الصندوق المعدني .

ثم بدأت مرحلة تجفيف العينة وذلك بتصريف مياه الغمر من جهة التصريف الجانبي لحلقة التشديد وتشغيل جهاز التسخين بدرجة حرارة تقارب 75 درجة مئوية لمدة أيام مع أخذ قراءات المؤشر حيث تنتقل العينة وتقلص الشقوق ويتناقص ضغط ماء المسام ، كذلك استمرت هذه العملية لعشرة أيام فبعد أن بدأت العينة بالتقلص ووصلت لمرحلة استقرار المؤشر وهذا يعني استقرار تشوهات التقلص ، ظل جهاز التجفيف يعمل لمدة أيام حتى يتم تجفيف العينة بشكل كامل ويتبخر ماء المسام الموجود .

بعد ذلك بدأت دورة الترطيب الثانية حيث غمرت العينة بالكامل بالمياه لمدة أيام مع أخذ القراءات المتتالية للمؤشر وتم تكرار هذه الدورات حتى وصلت العينة لمرحلة التوازن حيث انخفضت تشوهات الانتفاخ والتقلص ولم تعد التربة تعطي أي تغييرات وهو المطلوب من هذه الدراسة ، كما يبين (الشكل12):.



الشكل 12: منحنى دورات الترطيب والتجفيف .

كما هو ملاحظ في المنحنيات السابقة فإن شدة تطور الانتفاخ أكبر من التقلص.

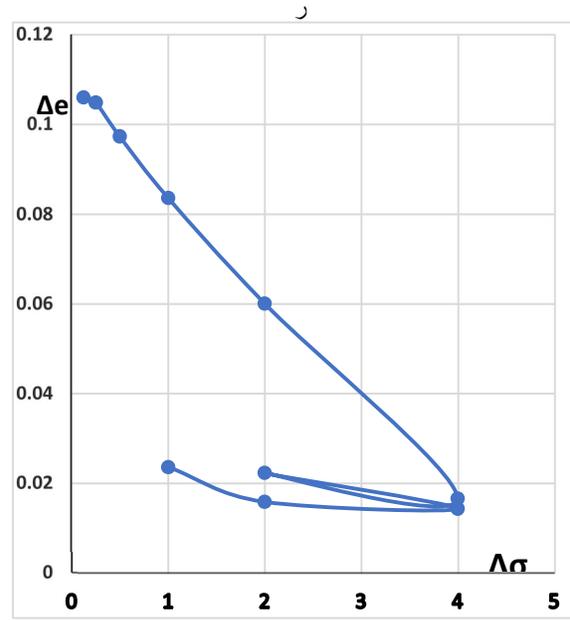
كذلك هناك زيادة كبيرة في تشوهات الانتفاخ خلال اليوم الأول ، لكن تستقر تدريجياً ، السمة المميزة لهذه الأنماط هي أن كمية الانتفاخ في التجفيف الثاني والثالث يماثل مقدار التجفيف باستثناء إن الانتفاخ الأكبر الذي يحدث للتربة في أول دورة ترطيب هو التشوه الحر للتربة دون تحميل خارجي ،

ولتفسير هذا السلوك تبين إن التربة لها تأثير كبير على شدة وحجم سلاطة الانتفاخ حيث في البداية ، تمتص التربة كمية كبيرة من الماء بشكل مكثف تقريباً ، ووفقاً لذلك ، يتم الوصول إلى التشوه الأقصى للانتفاخ بشكل سريع نسبياً ، كذلك كلتا العمليتين - انتفاخ وتقلص - لها طبيعة ريولوجية، فإثناء تطور سلاطة الانتفاخ ، تتوقف التربة عن امتصاص الماء ، ما بين ذلك يستمر التشوه في النمو ، وأثناء التقلص ، يتوقف تشوه التربة بينما تستمر الرطوبة في التبخر من عينة التربة.

في حالة عدم وجود حمل خارجي في الدورة الأولى ، يصل تشوه الانتفاخ خلال الساعات الست الأولى إلى أكثر من نصف القيمة المستقرة النهائية. بعد ذلك ، بعد الوصول لمرحلة ثبات المنحنى قمنا بوضع عينة جديدة من نفس التربة في جهاز التحميل وطبقنا عليها حمولات متعددة مع تطبيق دورات الترطيب والتجفيف كما يلي :

5.2 تطبيق إجهاد 0.5 Kg/cm²

تم وضع العينة في جهاز الأدمتر مع تطبيق دورات الترطيب والتجفيف وتطبيق إجهاد قيمته 0.5 kg/cm² حيث تم الوصول لمرحلة التوازن بعد



الشكل 11: منحنى التشديد .

ومن هذا المنحنى نستنتج معاملات التشديد .

$$a_v = 0.293 \text{ Mpa}^{-1} \text{ معامل قابلية الانضغاط}$$

$$m_v = 0.2033 \text{ Mpa}^{-1} \text{ معامل الانضغاط الحجمي}$$

$$Cc = 0.1116 \text{ دليل الانضغاط}$$

4.2.3 تجربة القص المباشر :

أجريت تجربة القص المباشر على ثلاث عينات من التربة وبإنشاء مخططات القص واستنتاج مستقيم كولومب نجد خواص القص :

$$C = 20.5 \text{ kN/m}^2 , \phi = 22^\circ$$

بعد الانتهاء من تجارب التربة الأساسية تم تطبيق دورات الترطيب والتجفيف ، وفيما يلي نتائج الدراسة التجريبية والعديدية .

5. - النتائج والمناقشة :

5.1 تطبيق دورات الترطيب والتجفيف :

تم تجهيز عينة من التربة السوداء من منطقة الوعر ذات قابلية للانتفاخ كبيرة ووضعت بجهاز الأدمتر وتم وضع حلقة التشديد محاطة بحلقة السخان ، وثبت الحساس داخل عينة التربة من أجل تقدير درجة حرارة العينة .

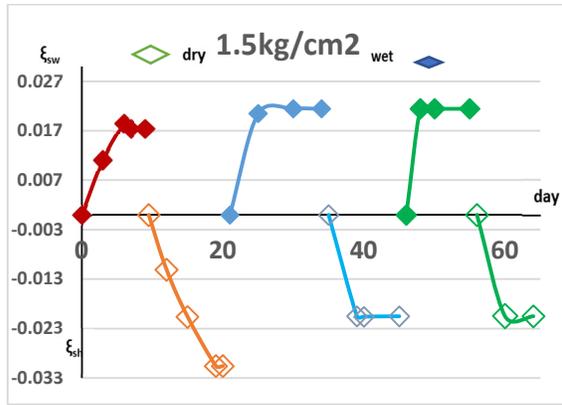
وأجريت التجربة كما يلي :

وضعت عينة التربة بجهاز التشديد دون تحميل وأشبعت بالماء في المرحلة الأولى لفترة طويلة وسجلت القراءات حيث أخذت أكبر قيمة من الانتفاخ ووصلت لحدود الانتفاخ الحر النسبي والذي يساوي $\epsilon_{sw} = 0.164$ وظهرت الشقوق وامتلات الفراغات بماء المسام ، وهذه المرحلة استمرت قرابة عشرة أيام ولضمان الترطيب المستمر ومنع تجفيف العينة قمنا بوضع أنبوب متصل بمصدر مياه مستمر حيث يعطي قطرات متتالية من المياه ويرطب العينة بشكل مستمر .

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. ووفقاً لذلك ، في هذه الدورات يتم تحقيق نفس مجموعة التغيرات في تشوهات الانتفاخ والتقلص. نتيجة لذلك ، تعتمد القيمة النهائية لتشوهات الانتفاخ والتقلص على مدى التغيرات في رطوبة التربة ؛ كلما زاد حجم هذه المجموعة ، زاد تشوهات الانتفاخ والتقلص. حجم تشوهات الانتفاخ يعتمد أيضاً على تشوهات التقلص. وكلما زاد حجم الأخير ، زاد تشوه انتفاخ التربة.

5.4 تطبيق إجهاد 1.5 Kg/cm^2

تم وضع العينة في جهاز التشديد مع تطبيق دورات الترطيب والتجفيف وتطبيق إجهاد قيمته 1.5 kg/cm^2 حيث تم الوصول لمرحلة التوازن بعد تطبيق ثلاث دورات ترطيب وثلاث دورات تجفيف كما في (الشكل 15).



الشكل 15: منحنى دورات الترطيب والتجفيف مع حمل 1.5 kg/cm^2 .

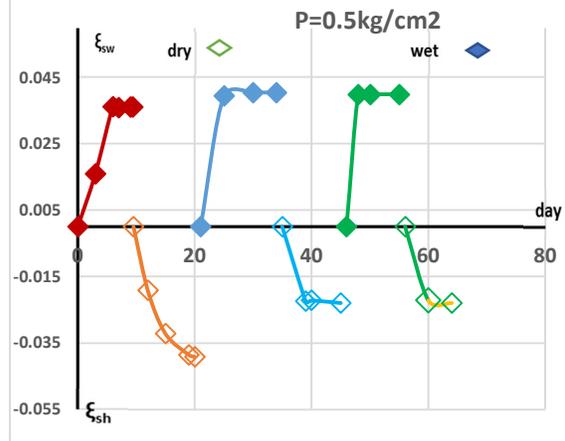
أيضاً نلاحظ في جميع دورات الترطيب ، تزداد حركة التربة بشكل خطي خلال فترة زمنية كبيرة. يتم ملاحظة الطابع المنحني للتغير في التشوهات وقت التقلص فقط عند الاقتراب من فترة تثبيت هذه التشوهات.

5.5 تطبيق إجهاد 2 Kg/cm^2

تم زيادة الحمل المطبق على العينة مع تطبيق دورات الترطيب والتجفيف ليصل لإجهاد قيمته 2 kg/cm^2

حيث تم الوصول لمرحلة التوازن بعد تطبيق ثلاث دورات ترطيب وثلاث دورات تجفيف وتسجيل قراءات المؤشر في دورات الترطيب والتجفيف كما يوضح (الشكل 16):

تطبيق ثلاث دورات ترطيب وثلاث دورات تجفيف كما في (الشكل 13):



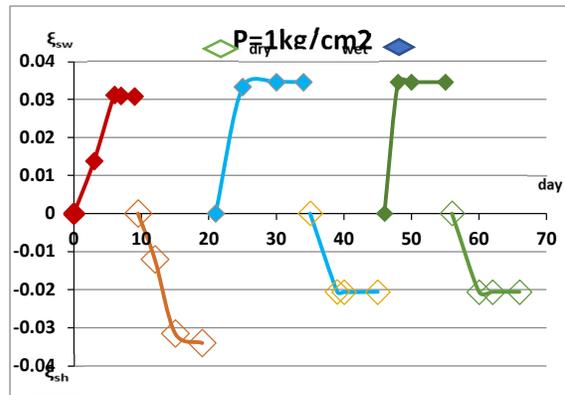
الشكل 13: منحنى دورات الترطيب والتجفيف مع حمل 0.5 kg/cm^2 .

من المنحنى نلاحظ وصول العينة لمرحلة الثباتية والتوازن بحيث لا تبدي تغيرات حجمية واضحة بعد تطبيق ثلاث دورات ترطيب وثلاث دورات تجفيف.

تجدر الإشارة أيضاً إلى أنه مع زيادة عدد دورات تجفيف - ترطيب ، يزداد تشوه الانتفاخ إلى حد ما. لكن تشوه التقلص ليس كذلك. فترة تطور تشوهات التقلص في الوقت أطول بكثير من الانتفاخ. يتم تحقيق استقرار تشوهات تقلص في غضون يوماً - وحرارة التجفيف متساوية تقريباً.

5.3 تطبيق إجهاد 1 Kg/cm^2

تم وضع العينة في جهاز التشديد مع تطبيق دورات الترطيب والتجفيف وتطبيق إجهاد قيمته 1 kg/cm^2 حيث تم الوصول لمرحلة التوازن بعد تطبيق ثلاث دورات ترطيب وثلاث دورات تجفيف كما في (الشكل 14):



الشكل 14: منحنى دورات الترطيب والتجفيف مع حمل 1.5 kg/cm^2 .

مع زيادة في الحمل الخارجي ، فإن فترة تثبيت تشوه التقلص تتناقص تدريجياً. ميزة هامة لتشوهات تقلص هو أنه مع زيادة في عدد دورات ترطيب ، تقل التشوهات. تشوه التقلص المستقر النهائي في الدورتين الثانية والثالثة من الترطيب.

نلاحظ من المخطط انخفاض في قيمة الانتفاخ النسبي الأولي لكن بعد الدورة الأولى يعود تشوه الانتفاخ ويرتفع بنسبة صغيرة ، بعكس التقلص الذي يبلغ قيمة مرتفعة نسبياً ويعود في الدورات التالية ينخفض نسبياً.

المعدل. يستخدم نموذج BBM الضغط الصافي، والامتصاص كمتغيرات الإجهاد المستقلة.

يحتوي نموذج BBM على سبع معاملات إضافية مقارنة بنموذج CamClay المعدل، ثلاثة منهم يسيطرون على صلابة التربة المرتبطة بالعائدية السطح العائدي LC (نقطة الخضوع)، λ, β, Pc ، لتحديد بقية البارامترات يمكن استخدام اختبار خلية الأومتر على افتراض أن Cc, Cs هي مؤشر الانتفاخ والضغط يمكن استخدام العلاقات لتحويلها إلى معاملات Cam Clay:

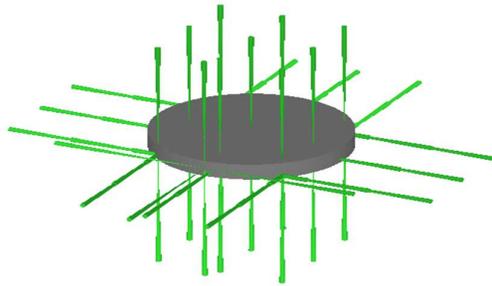
$$\lambda = \frac{Cc}{2.3} \quad k = \frac{2Cs}{2.3} \quad (3)$$

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 pp_0 من خلال طريقة كاساغراندي التخطيطية وذلك برسم المنحني الذي يمثل العلاقة بين $(e, \log \sigma)$.

6.1 الدراسة العددية والتحقق من نموذج BBM :

يبين (الشكل 17): النموذج المستخدم الذي يمثل عينة التشديد الأسطوانية وهي مثبتة من كل الجهات وتعرض للضغط من الأعلى بحمل شاقولي .

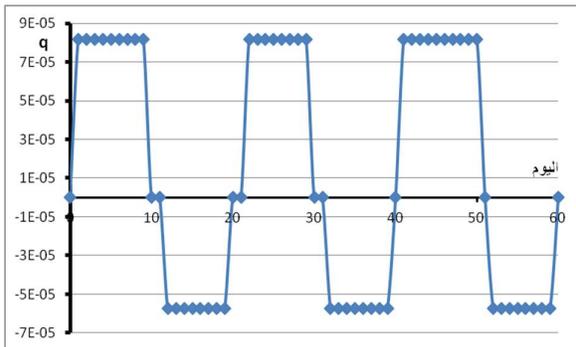
- الشروط الطرفية للنموذج تحاكي شكل وظروف العينة حيث وضعت وثيقة من كل الجهات كذلك بالنسبة للمياه التصريف فقط من الأسفل والأعلى.



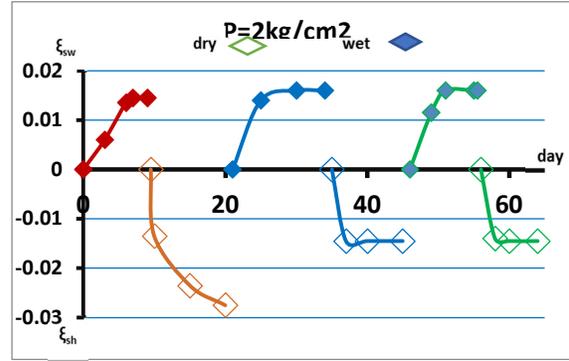
الشكل 17: النموذج المستخدم .

وهو مجسم لعينة التربة المدروسة في تجربة التشديد في عينة اسطوانية الشكل وهي تمثل وسط متناظر مرن .

- عدد دورات التجفيف والترطيب تعطيه من خلال جدول يعطي التقسيمات الزمنية والأيام التي تم فيها الترطيب والأيام التي فيها تجفيف ، كما هو مبين في (الشكل 18): الذي يوضح كمية الماء المتدفقة يومياً خلال دورات الترطيب والتجفيف.



الشكل 18: كمية الماء خلال الدورات .



الشكل 16: منحنى دورات الترطيب والتجفيف مع حمل 2 kg/cm² .

نلاحظ من المخطط مع زيادة الحمل من 1.5 إلى 2 كغ/سم²، يقل التشوّه بنسبة 29% فقط. ومن الخصائص أيضاً أن القوانين التي تحكم التغيرات في التشوهات النسبية للتربة من قيم الضغط في الدورتين الثانية والثالثة تتطابق عملياً بعد قيمة معينة من الضغط، لا يحدث تغيير في تشوّه تقلص التربة. قيمة هذا الضغط لنوع معين من التربة الانتفاخية وحالتها ثابتة، الخصائص الكمية لعملية الانتفاخ والتقلص المعطاة تسمح لنا بالتوصل إلى الاستنتاج التالي.

--يمكن تقريب دورات الترطيب من خلال قانون التشوّه في الانتفاخ في درجة الحرارة كما يلي:

$$\xi_{sw} = \alpha_{HT} t^{\beta_H} \quad (1)$$

كذلك يمكن تقريب دورات التجفيف من خلال وظائف قانون القوة المتمثلة في التجفيف كمايلي :

$$\xi_{sh} = \alpha_{\gamma T} t^{\beta_{\gamma}} \quad (2)$$

يتم تحديد هذه الثوابت الموجودة في العلاقات بواسطة شبكة لوغاريتمية من الإحداثيات ، وهي ثابتة لكل دورة ،التغيير يكون فقط عند الانتقال من دورة لأخرى . تتأثر القيمة المستقرة النهائية لتشوهات تقلص انتفاخ التربة الطينية بشكل كبير بكثافة الحمل الخارجي مع زيادة الحمل الخارجي وفقاً لانخفاض قدرة الامتصاص للتربة ، تنخفض أيضاً قيمة تشوهات الانتفاخ والتقلص.

يحدث انخفاض كبير في تشوّه التربة في دورات التجفيف الثلاث جميعها في النطاق الصغير الأولي للتغيرات في الضغط من 0 إلى 0.5 ميغاباسكال. لذلك ، عند تحميل 0.5 كغ/سم²، كان تشوّه التربة في الدورة الأولى أقل من الانتفاخ الحرنسبة 82%

6. النمذجة العددية:

بعد الدراسة التجريبية أنجزت الدراسة العددية حيث استخدم نموذج برشلونة (Barcelona Basic Mode) في برنامج الحساب Plaxis2020، تم تصميم نموذج للعينة الأسطوانية المستخدمة في جهاز الأومتر حيث الشروط الطرفية للعينة تماثل توضع العينة في الجهاز فهي مقيدة من كل الجهات (وثيقة) مع إمكانية الانتفاخ والتقلص من الأعلى، وتمت الدراسة باستخدام طريقة العناصر المنتهية حيث تم تقسيم النموذج لعناصر مثلثية صغيرة من خيار (very coarse) بأبعاد (0.0225*0.0225*0.0225) ، وبعد تقسيم الشبكة استخدمنا نوع الحساب (Fully coupled flow deformation) اقتران التدفق مع التشوّه كامل التحليل المعتمد على الوقت للتشوّه وضغوط المياه (الكلية) المسامية وإدخال نفاذية التربة المطلوبة باستخدام فاصل زمني غير صفري. ونموذج برشلونة الأساسي (BB-model) هو امتداد لنموذج Cam Clay Model المعدل بإضافة تأثير الامتصاص على قوة التربة والصلابة. في التشبع الكامل ، هذا النموذج يتزامن مع نموذج كام كلاي

$$\varphi_{cr}=28.5^\circ$$

G-معامل القص: ويعطى بالعلاقة:

$$G = \frac{3(1-2\mu)K}{2(1+\mu)} \quad (7)$$

$e_o=0.6425$ نسبة الفراغ الأولية

P_o - ضغط التشديد المسبق للتربة المشبعة، ويتم حسابه من تجربة التشديد
 $P_o=441.5 \text{ kn/m}^2$:

$P_r=0.005$ الإجهاد الحقيقي المرجعي (الوسطي)،

r - معامل للتحكم بالشفط النهائي ($r=0.85$).

β - معامل للتحكم بصلاية التربة مع الشفط.

$$\beta = 1 - \sin \varphi = 0.02 \quad (8)$$

oK^{nc} - معامل ضغط الأرض الجانبي عند الراحة: ضغط الإجهاد الموحد
المعتاد في ظروف الضغط أحادي البعد .

$$oK^{nc} = M / 2.8 = 0.202 \quad (9)$$

POP- يفرض عادة بين 80-150.

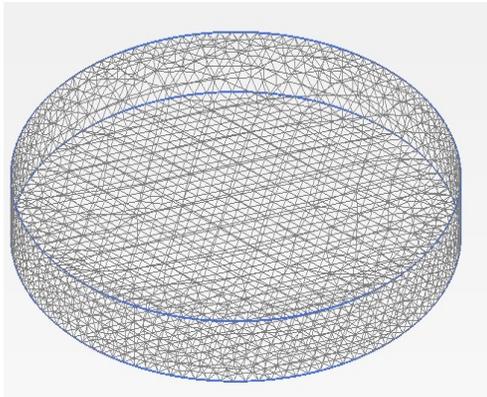
OCR- نسبة الزيادة في التشديد

$$OCR = PP / P_{eq} = 80 \quad (10)$$

P_{eq} : الإجهاد المتمائل المكافئ

6.3 التقسيم بطريقة العناصر المنتهية

تم تنفيذ نموذج BBM في كود عنصر Plaxis2020 المحدود للتحقق من صحة التنفيذ ، وطبقنا سلسلة من ما يسمى اختبارات الاتجاه الواحد الأدمتروثم مقارنة النتائج مع القيم التجريبية ، وبينت العديد من الأبحاث استجابة الموديل للعديد من مسارات الإجهاد . يوضح (الشكل 21): شبكة العناصر المحدودة المستخدمة للتحقق من دقة الدراسة. نفترض الشروط المتناظرة لحل هذه المسألة مع شبكة تتكون من ست عناصر نقطية مستطيلة مع ثلاثة نقاط تكامل غاوس.



الشكل 21: شبكة العناصر المنتهية .

6.2 معاملات نموذج BBM:

وفيما يل نوضح معاملات التربة التي استخدمت للنموذج:

μ - نسبة بواسون (معامل التوسع الجانبي للتربة) .

للتراب الغضارية و في دراستنا:

$$\mu = 0.33$$

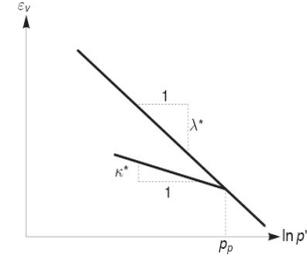
K - ميل خط التحميل وعدم التحميل للتراب المشبعة، مرتبط بمعامل الانتفاخ للتربة المدروسة [1]، [2]:

$$K = \frac{2Cs}{2.3} = 0.015 \quad (4)$$

λ_o - ميل خط الضغط للتراب المشبعة، مرتبط بمعامل التقلص للتربة كما هو مبين في (الشكل 19):

$$\lambda_o = Cc / 2.3 = 0.002 \quad (5)$$

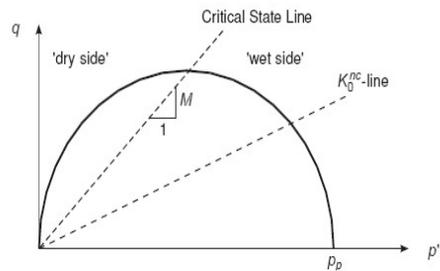
K_s - الصلاية المرنة نتيجة للامتصاص، معامل التحميل وعدم التحميل للشفط $K_s=0.045$.



الشكل 19: العلاقة اللوغارتمية بين الحالة الحجمية و الإجهاد الحقيقي .

M - ميل خط الحالة الحرجة: يحدد شكل سطح الخضوع (ارتفاع القطع الناقص) ويؤثر على معامل ضغط الأرض الجانبي كما هو مبين في (الشكل 20):

$$M = \frac{6 \cdot \sin \varphi}{3 - \sin \varphi} = 0.56 \quad (6)$$



الشكل 20: سطح الخضوع في Cam Clay.

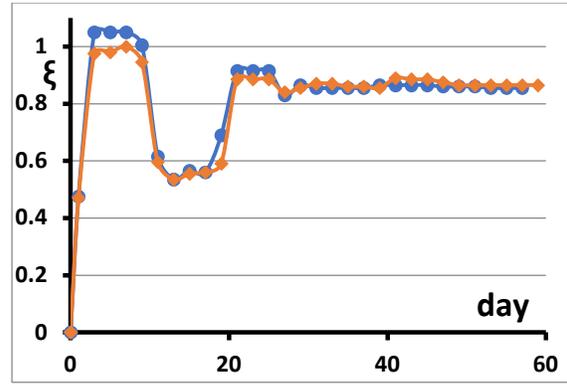
-زاوية الاحتكاك عند $Cs(\varphi_{cr})$ بالدرجات .

المصادر

6.4 تحقيق النموذج المستخدم :

- [1] Abed A. Vermeer, P, Numerical simulation of unsaturated soil behavior, *Int. J. Computer Applications in Technology*, Vol. 34, No. 1, (2009).
- [2] Alonso, E.E., Gens, A., and Josa, A. A constitutive model for partially saturated soils. *Geotechnique*, 40(3), 405-430, 1990.
- [3] Alonso, E.E., Romero, E., Hoffmann, C., and Garcia-Escudero, Expansive bentonite-sand mixtures in cyclic controlled-suction drying-wetting, *Engineering Geology* 81, 213-226, 2005.
- [4] Chow, Y., Yong, D., Yong, K., Lee, S., Dynamic Compaction OF Loose Granular Soils. *Journal of geotechnical Engineering*, Vol. 120, NO. 7, July, 1115-113, 1994.
- [5] Guney, Y., Sari, Y.D., Cetin, M., and Tunçan, M. Impact of Cycling wetting-drying on swelling behavior of lime-stabilized soil, *Building and Environment*, Vol. 42. 681-688, 2007.
- [6] Khana, M.A., Wang, J.X., Patters et al, A study of the swell-shrink behavior of expansion, W.B, Moreland clay. *Programs of Civil Engineering and Construction Engineering Technology*, 1-14, 2017.
- [7] Li, K. Modelling the Hydromechanical Behavior of swelling soils Based on Shake down Concept, thesis submitted in partial fulfillment for the degree of doctor of Philosophy in doctoral school of MSII, PP34-57-59-60, 2015.
- [8] Mamoune, M.S, Bekkouche, A. Modeling of the Behavior of Expansive Soils, Department of Civil Engineering, Faculty of Technology, University of Aboubakr Belkaïd-Tlemcen, *Jordan Journal*, 2011.
- [9] Mašin, D. Double structure hydromechanical coupling formalism and a model for unsaturated expansive clays. *Engineering Geology*, 165: 73-88. doi:10.1016/j.enggeo.2013.05.026.
- [10] Rao, S., Venkatarama, R., Muttharama, M., The impact of cycling wetting and drying on the swelling behaviour of stabilized expansive soils, *Engineering Geology*, Vol. 60, Pp.223-233, 2001.
- [11] Ring, W.E, Shrink-swell potentials of soils. Highway Research Record 119, National Academy of Sciences - National Research Council Publication 1360, 17-21, 1966.

بإدخال المعطيات على النموذج المستخدم وإجراء الحساب باستخدام Plaxis 2020 3D للحصول على الإزاحة الكلية لكل نقاط التربة من شبكة العناصر المنتهية من أجل تحقيق النموذج المطلوب تم الحصول على (الشكل 22): الذي يبين مقارنة أكبر انتفاخ لنقاط التربة في العينة المدروسة باستخدام النموذج وبشكل تجريبي وذلك من دون تحميل .



الشكل 22: منحني دورات الترطيب والتجفيف مع حمل 0.5 kg/cm².

-ومن خلال المقارنة نلاحظ التقارب الواضح بين المنحنيين في أكبر قيمة للانتفاخ حيث القيمة العليا في المنحني التجريبي هي $u_{max}=2.3mm$ أما القيمة العليا في النموذج فهي $u_{max}=2.1mm$.

-نلاحظ أن النموذج يعطي انتفاخ تدريجي للعينة حتى الوصول للقيمة العليا لكن الاستقرار النهائي متشابه في الحالتين .

7. الاستنتاجات :

تضمن هذا البحث دراسة تجريبية مخبرية وعديدية على التربة الغضارية المنتفخة المعرضة لدورات متعددة من الترطيب والتجفيف وبعض المعاملات المؤثرة . من أجل إجراء الدراسة قمنا بتصنيع جهاز تسخين لخلقة الأدمتر مع حساس لتقدير درجة حرارة العينة، بعد تطبيق العينة تم إجراء عدة دورات ترطيب وتجفيف بدون تحميل ثم مع تحميل عدة حمولات ، وكذلك تمت نمذجة سلوك التربة الغضارية المنتفخة المعرضة لدورات متكررة من الانتفاخ والتقلص وفق نموذج BBM وأعطى تقارب واضح في النتائج مما يساعد في التنبؤ بسلوك التربة المنتفخة ومعرفة القيمة العظمى للانتفاخ والتقلص التي يمكن أن لها بعد أن تتعرض لظروف مناخية متعددة ، وقد توصلنا إلى العديد من النتائج التي تم ذكرها في سياق البحث والتي يمكن تلخيص أهمها بالنقاط التالية:

-إن التربة المنتفخة تعطي في الدورة الأولى قيمة كبيرة للانتفاخ تتناقص مع تكرار دورات الترطيب والتجفيف دون تطبيق حمل خارجي .

-أظهرت الدراسة أن مطال الانتفاخ عند إجراء التجربة مع تحميل خارجي يكون في البداية صغير ثم يعود ويرتفع في الدورة الثانية من ترطيب العينة

-نتائج هذا البحث تمكننا تجنب الكثير من مخاطر انتفاخ التربة من خلال تطبيق دورات متعددة من الترطيب والتجفيف قبل البناء ، بذلك تستقر تشوهات التربة لحد كبير.

-معرفة معاملات التربة ونمذجة سلوكها على نموذج برشلونة يساعد في التنبؤ بسلوك التربة ومعرفة أقصى انتفاخ أو تقلص ممكن أن تصل له التربة.

- reconstituted cohesive soil. The Japanese Geotechnical Society Soils and Foundations, vol 53.47-63, 2013.
- [14] Tripathy, S., Subba Rao, K.S., and Fredlund, D.G. Water content – void ratio swell–shrink paths of compacted expansive soils, NRC Research Press Web site, on 24, Pp1-22, 2002.
- [12] Rosenbalm, D.C. Volume Change Behavior of Expansive Soils due to Wetting and Drying Cycles, A Dissertation Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy; PP 2-4-290-279, 2013.
- [13] Takeo, U, Takashi, K. Shrinkage and desaturation properties during desiccation of

Analytical and experimental study of the expansive soil behavior which exposed of several cycles of shrinking and swollen

Ali AL Alabdeh¹, and Darine Ahmad^{2*}

¹Department of Geotechnical Engineering, Faculty of civil Engineering, ALbath University, Homs, Syria, dr.abds@hotmail.com.

²Department of Geotechnical Engineering, Faculty of civil Engineering, ALbath University, Homs, Syria, dareenmagic@gmail.com.

*Corresponding author: Darine Ahmad, email dareenmagic@gmail.com.

Published online: 31 December 2021

Abstract- This research includes an experimental and numerical study of swollen soils that are subjected to repeated cycles of swelling and shrinkage, and the problem of this soil appears when it is moistened and dried, as a result of the volumetric changes that occur to it, which leads to damage to foundations and engineering facilities. The research was applied to swollen soil from Syria, and moisturizing and drying cycles were applied using the hydrometer experiment, by immersing the sample in water for the hydration phase, and for drying a device was designed that dries the sample to the required temperature and for the time we want, until the soil reaches the equilibrium phase after several cycles and no longer gives the soil any Volumetric changes, then we conducted a numerical study using the finite element method of the swollen soil to which the experimental study was applied, and we found a good convergence between the experimental measurements and the numerical results. Where we developed a suitable numerical model for the issue based on modeling the mean of soil diffusion and the forces affecting it using the Plaxis2020 calculation program to model the behavior of swollen soils subjected to multiple cycles of wetting and drying, using the Barcelona Basic Model, which is the numerical model dedicated to modeling the behavior of swollen unsaturated soils depending on the parameters The experimental model, and the results of the research showed a decrease in the amplitude of swelling and shrinkage until reaching stability after the third cycle of wetting and drying, as well as the prolonged swelling when applying an external load that is initially small and then returns and rises in the second cycle of wetting the sample, the results of this research enable us to avoid many risks of soil swelling By applying multiple cycles of wetting and drying before construction, thus stabilizing soil deformations to a large extent, and the results of the research allow predicting the volumetric changes of the swollen soil and the number of cycles required to reach the stability phase before practically starting building on the soil, thus assessing the potential impacts on people and neighboring facilities and taking the necessary measures When necessary, to avoid them, so that we can benefit from this etc. A guide in preserving the integrity of buildings established on swollen soils.

Key words: expansive soil, oedemeter, wetting, Plaxis