

دراسة وتقييم مدى تأثير التغير في درجات الحرارة على التغير الحجمي للتربة الغير مشبعة والمحيطة بالأوتاد

د. محمود موسى شنيبة
كلية الهندسة جامعة مصراته، قسم الهندسة المدنية، مصراته، ليبيا
Mahmoud.shanina@yahoo.com

أ.م. أمينة فتحى البرقلى
كلية الهندسة جامعة مصراته، قسم الهندسة المدنية، مصراته، ليبيا
Amnafathi141@gmail.com

2. الهدف من الدراسة

- الهدف الأساسي من هذه الدراسة يتلخص في الآتي:
1. فهم ومعرفة مدى تأثير التغير في درجات الحرارة على التغير الحجمي للتربة المحيطة بالأوتاد.
 2. تصنيع جهاز لقياس التغير الحجمي الحراري للتربة.
 3. معرفة تأثير الضغوط المتساوية Isotropic على عينة التربة الطينية الغير مشبعة.

3. موقع الدراسة

تم اجراء بعض التجارب المعملية والحقلية على عينة من التربة من مدينة مصراته في منطقة السكت؛ للحصول على خصائص التربة الفيزيائية، وقد كانت خصائص التربة المراد اجراء التجارب عليها كالآتي:

الوزن النوعي	2.7
المحتوى المائي	1.4%
حد السيولة	27.7%
حد اللدونة	6%
الكثافة الحقلية	1.4kg/cm ³

4. تصنيع جهاز التحميل الميكانيكي الحراري المائي

كما ذكرنا سابقا بأنه من الممكن حدوث تغير في حجم العينة عند تعرضها إلى تغير في درجات الحرارة. حيث توصل كلا من **Booker and Savvidou** سنة 1985 بأنه عند تسخين عينة من التربة المشبعة يتولد زيادة في ضغط الماء **Pore Water Pressure** وذلك بسبب الفرق في التمدد الحراري بين فراغات الماء وحبيبات التربة، والذي يؤدي إلى تغير في حجم التربة بعد عملية التصريف، وانطلاقا من الفكرة الأساسية للدراسة والتي هي دراسة مدى تأثير التغير في درجات الحرارة على التغير الحجمي للتربة الغير مشبعة، وكذلك معرفة تأثير الضغوط المتساوية **isotropic** على عينة التربة فقد تمت عملية التصنيع لجهاز بمعدات بسيطة والحصول منه على نتائج مرضية. شكل (1) يوضح الشكل النهائي لجهاز التحميل الحراري المائي.



شكل (1) يوضح الشكل النهائي لجهاز التحميل الحراري المائي.

المخلص_ إن ميكانيكا التربة هي عبارة عن نظرية قواعد التربة الطبيعية، وإن دور ميكانيكا التربة كعلم هندسي علم عظيم ولا يمكن مقارنته إلا بعلم مقاومة المواد، ويدون معرفة مبادئ الميكانيكا لا يمكن تصميم المنشآت الصناعية الحديثة مثل تنفيذ المباني شاهقة الارتفاع كالأبراج وناطحات السحاب وغيرها، وحيث أننا نتوقع تطورا عمرانيا داخل مدينة مصراته، وبناء مثل هذه الأنواع من المباني، فإنه يجب الأخذ بالاعتبار دراسة خصائص التربة الطبيعية والميكانيكية التي سيتم تنفيذ عليها هذه المباني، وستكون هذه الدراسة عبارة عن دراسة تجريبية معملية للتعرف على الخصائص الطبيعية لهذه التربة مثل: اختبار الوزن النوعي (Specific Gravity)، اختبار التدرج الحجمي الحبيبي (Grain-Size Analysis)، اختبار حد السيولة (Liquid Limit)، اختبار حد اللدونة (Plastic Limit).

وحيث أن هذا النوع من المباني يحتاج إلى تدفئة وتبريد، فعادة ما يتم التسخين والتبريد لهذه المباني عن طريق مضخات التسخين والتبريد، باستخدام خرطوم ملامسة للتربة والأوتاد الحاملة لهذه المباني العالية؛ لما في هذه الطريقة من توفير للطاقة، وحيث أننا نسعى في هذه الدراسة لدراسة وتقييم مدى تأثير التغير في درجات الحرارة على معدل التغير الحجمي للتربة فقد قمنا بتصنيع جهاز لهذا الغرض، حيث كانت الاختبارات على عينة من التربة الرملية الطينية الغير مشبعة وذات تصريف حر، وتوصلنا إلى أنه كلما زادت درجة الحرارة كلما قلت نسبة الفراغات بالتربة وبالتالي حدوث هبوط لعينة التربة عند مختلف الاجهادات المسلطة.

الكلمات المفتاحية: التربة الغير مشبعة، الأوتاد، التحميل الميكانيكي، التحميل الحراري، التغير الحجمي، الهبوط.

1. المقدمة

نظرا للمباني المتوقع انشاءها داخل مدينة مصراته في المستقبل القريب، والتي تحتاج إلى أنظمة للتبريد والتسخين عن طريق المضخات الحرارية، وحتى يتم المحافظة على كفاءة هذه المضخات يتم استغلال التربة في عملية التسخين والتبريد، وذلك بدمج الأوتاد بخرطوم مياه ملامسة للتربة والأوتاد الحاملة لهذه المباني العالية والتي تسمح بمرور المياه داخل الخرطوم وحول الأوتاد وصولا إلى مضخات التسخين والتبريد ومنها إلى المبنى؛ لما في هذه الطريقة من توفير للطاقة، ومن هذا المنطلق نتوقع تغير في خصائص التربة المحيطة بالأوتاد، مثل التغير الحجمي للتربة المحاطة، أو تحطم حبيبات التربة نظرا لارتفاع درجات الحرارة، فقد يؤدي هذا التغير إلى حركة في الأوتاد الحاملة للمبنى مما يؤدي إلى هبوط هذه المباني، وبالتالي بات من الضروري دراسة ومعرفة مدى تأثير التغير في درجات الحرارة على التغير الحجمي وخصائص التربة الجانبية والسفلية للأوتاد. علما أن هذه التقنية الحديثة تتم على الأوتاد العميقة وتحديدًا Drilled Shaft Foundation حيث يتم في هذا النوع من الأوتاد باستبدال التربة الناتجة من حفر مكان الودت بالخرسانة المسلحة المصبوبة في موقع.

استلمت الورقة بالكامل في 15 نوفمبر 2021 وروجعت في 15 ديسمبر 2021 وقبلت للنشر في 27 نوفمبر 2021،

ونشرت ومتاحة على الشبكة العنكبوتية في 14 ديسمبر 2021.



شكل (3) فتحة خروج الماء من السخانة خلال الأنبوب.



شكل (4) فتحة دخول الماء للسخانة من غطاء السخان.

مضخة تدوير Circulating Pump

في هذه الدراسة تم استعمال مضخة غاطسة بمعدل تدفق منخفض لتدوير الماء ومنح فرصة للتسخين التدريجي، حيث يتمثل الاختلاف الرئيسي بين المضخة الغاطسة وأي نوع آخر من المضخات في أن المضخة الغاطسة مغمورة بالكامل في السائل المطلوب ضخه، حيث تم تصميم المضخة الغاطسة للعمل مع المجموعة بأكملها، التي تتكون من (المضخة والمحرك) المغمورة بالكامل في الماء. يحتوي هذا النوع من المضخات على محرك محكم الإغلاق محكم الإغلاق قريب من جسم المضخة. عادة ما يتم تعبئة العلبة المغلقة حول المحرك بالزيت لحمايتها من التلف عن طريق منع دخول أي سائل مما قد يتسبب في حدوث ماس كهربائي. تعمل المضخة الغاطسة عن طريق دفع السائل أثناء عملية الضخ، على عكس السحب. هذا فعال للغاية حيث لا يتم إنفاق أي طاقة في سحب السائل إلى المضخة. وكما ذكرنا سابقاً تم صنع حاملة من الستيل لحمل المضخة؛ حتى لا تضغط المضخة على عنصر التسخين في السخانة. الشكل (5) يوضح المضخة وهي مغمورة في ماء السخانة وحاملة المضخة.



الشكل (5) المضخة وهي مغمورة في ماء السخانة وحاملة المضخة.

منظم التسخين Thermostat

منظم التسخين أو ما يعرف بالحساس الحراري (thermostat) هو عنصر يتحكم في توصيل وفصل الكهرباء عن هيتز سخان الماء حسب التغير في درجات الحرارة. فهو ببساطة يقوم بفتح وغلق الدائرة الكهربائية لعنصر التسخين، بمعنى أنه يعمل كمفتاح كهربائي ولكن هنا ما يتحكم في الفصل والوصل هو درجة حرارة الهيتز، ويكون منظم التسخين قابل للمعايرة إلى درجة الحرارة التي يريدها المستخدم بواسطة مفتاح تحكم خارجي. شكل (6) يوضح منظم التسخين في السخان ومفتاح التحكم في درجة الحرارة.



شكل (6) يوضح: الفاصل الحراري، مفتاح التحكم في درجات الحرارة.

مستشعر حراري thermocouple

المستشعر الحراري هو جهاز استشعار يستخدم لقياس درجة الحرارة، يتكون من أرجل سلكية مصنوعة من معادن مختلفة، يتم لحام أرجل الأسلاك معا مما يؤدي إلى وجود تقاطع، هذا التقاطع هو المكان

ولتصنيع جهاز التحويل الميكانيكي الحراري المائي قمنا بتوفير المعدات التالية:

- مصدر مياه.
- سخان.
- أنابيب نايلون.
- مضخة تدوير.
- حلة (وعاء) كبيرة.
- حلة (وعاء) صغيرة.
- عازل حراري.
- حجر مسامي.
- مستشعر حراري.
- قارئ ديجيتال للحساسين الحراريين.
- منظم تسخين.
- منظومة تشغيل.
- مجموعة أثقال.
- اطار خارجي.

وفيما يلي نبذة مختصرة عن المعدات المستخدمة لتصنيع الجهاز:

السخان Heater

تختلف سخانات المياه من مكان إلى آخر حسب نوع السخان ونوع الطاقة المستخدمة، فقد تعمل بالغاز أو بالكهرباء أو الطاقة الشمسية حسب توفر تلك الطاقة وكل منها من حيث التكلفة، كما تختلف في أشكالها، مثل السخان ذو المقطع الدائري أو البيضاوي أو المستطيل، وكذلك تختلف في سعاتها، وتختلف في ألوانها لكي تتناسب مع محيطها. وفي هذه الدراسة تم استخدام سخان مياه كهربائي والذي عبارته عن وعاء من الستيل وبداخله ملف عنصر التسخين، وهو عبارة عن سلك مقاوم ملفوف بشكل لولبي داخل أنبوب من الحديد أو النحاس، ويحاط بعازل من الخرز الخزفي أو مسحوق عازل حراري، ويتم إقفال أطراف العازل تماما لمنع تسرب الماء. والذي يعتمد على مبدأ التسخين الناتج عن مرور التيار للمقاومة التي تبديها الموصلات الحرارية، وكلما زادت مقاومة الموصلات زادت الحرارة في العنصر الحراري وبالتالي تسخين المياه. الشكل (2) يوضح السخانة المستعملة في الدراسة.



شكل (2) السخانة المستعملة في الجهاز.

لقد تم اجراء بعض التعديلات على هذه السخانة، فكما نلاحظ من الشكل وجود صنوبر مياه خارج السخانة، حيث تم فك هذا الصنوبر والاستفادة من فتحة الصنوبر كفتحة لخروج الماء عن طريق تثبيت أنبوب من النايلون الحراري بمثبتات خاصة، وسريان الماء من خلاله بمساعدة مضخة تدوير، حيث تم تثبيت هذه المضخة في قاع السخان، ولكي لا تضغط المضخة على السخان تم صنع حاملة من الستيل لتحمل المضخة بارتفاع حوالي 7cm عن القاع، هذا وقد تم تزويد السخان بفتحة بقطر حوالي 4.5cm على غطاء السخانة، والتي تعمل كفتحة لدخول الماء إلى السخانة مرة أخرى بعد مرورها حول العينة رجوعاً إلى السخانة وذلك عن طريق أنبوب النايلون الحراري. كما أنه قد تم تزويد السخانة بمنظم تسخين (thermostat) لإبقاء درجة الحرارة عند الحدود المطلوبة. شكل (3) يوضح فتحة خروج الماء من السخان، وشكل (4) يوضح فتحة رجوع الماء للسخان من خلال غطاء السخان.

على درجة نعومة مناسبة، ومن ثم صنع غطاء للحلة الصغيرة وصنع قاعدة للحجر المسامي يوضع في قاع الحلة الصغيرة لكي يتوضع بداخلها الحجر المسامي، كما تم صنع حلة كبيرة بقطر 30cm تحيط بالحلة الصغيرة من جميع الاتجاهات. الشكل (11) يوضح كلا من الحلة الصغيرة والحلة الكبيرة وأنابيب النايلون وقاعدة للحجر المسامي النهائي للغطاء.



شكل (11) الحلة الصغيرة والحلة الكبيرة وأنابيب النايلون وقاعدة للحجر المسامي والغطاء.

تم عمل فتحة صغيرة بقطر 4cm أسفل الحلة الصغيرة والكبيرة؛ لتصريف المياه من التربة خلال قطعة من الحجر المسامي، مثبتة عند قاعدة الحجر المسامي في قاع الحلة الصغيرة، ووضع فاصل بين الحلتين الصغيرة والكبيرة؛ حتى لا تضغط الحلة الصغيرة على الأنابيب المحيطة بيها من الأسفل. شكل (12) يوضح الحلة الصغيرة والفتحة التي بداخلها وكيفية إحاطة الحلة بأنابيب النايلون.



شكل (12) الحلة الصغيرة وعمل فتحة بقطر 4cm لتصريف المياه، وإحاطة الحلة الصغيرة بأنابيب النايلون.

كما تم استعمال عازل من الصوف الحراري بين الحلتين الذي يطلق عليه أيضا الصوف المعدني أو الألياف المعدنية وهو عبارة عن ألياف مصنوعة من المعادن الطبيعية أو الاصطناعية. يستعمل الصوف الصخري بكفاءة عالية في تطبيقات العزل الحراري وذلك لتميزه بمعامل توصيل حراري منخفض جداً، حيث تم استعماله لضمان تثبيت درجة الحرارة داخل الحلة الصغيرة أكبر قدر ممكن وعدم تسربها للخارج. شكل (13) يوضح تثبيت أنبوب النايلون من أسفل الحلة الصغيرة، وكذلك يوضح العازل الحراري بين الحلتين الكبيرة والصغيرة.



شكل (13) تثبيت أنبوب النايلون من أسفل الحلة الصغيرة، ووضع العازل الحراري بين الحلتين الكبيرة والصغيرة.

الذي يتم منه قياس درجة الحرارة، وعندما يواجه المستشعر الحراري تغييراً في درجة الحرارة يتم إنشاء الجهد، ثم يمكن تفسير الجهد باستخدام الجداول المرجعية الحرارية لحساب درجة الحرارة. وتم اختيار المستشعر الحراري لقياس درجة حرارة عينة التربة بسبب كلفتها المنخفضة، وتحمل درجات الحرارة العالية والواسعة وطبيعتها المثبتة، حيث تم استعمال اثنان من المستشعرات الحرارية وذلك لقياس درجة حرارة التربة خارج ووسط العينة. شكل (7) يوضح المستشعران الحراريان المستخدمان في الجهاز.



شكل (7) المستشعران الحراريان المستخدمان في الجهاز.

منظومة تشغيل

تم استخدام منظومة بها شاشتين صغيرتين ومفتاحين، حيث تظهر درجة الحرارة بصورة رقمية خلال الشاشتين، واحدة لقياس الدرجة الحرارة خارج عينة التربة، والأخرى لقياس درجة الحرارة وسط العينة. أما المفتاحين الكهربائيين فقد تم توصيل أحدهما بمضخة التدوير، المفتاح الأخر تم توصيله بالسخان الكهربائي، حيث أننا عندما نقوم بإجراء الإختبارات نقوم بفتح المفتاحين وعند الإنتهاء من إجراء الإختبارات نقوم بغلاقهما. شكل (8) يوضح منظومة التشغيل.



شكل (8) منظومة التشغيل.

أنابيب نايلون

تم استخدام أنابيب من النايلون المقاوم للحرارة بقطر داخلي 8mm لنقل المياه خلال الجهاز، من السخان مرورا بالحلة الصغيرة ورجوعا إلى السخان مرة أخرى. شكل (9) يوضح أنابيب النايلون.



شكل (9) أنابيب النايلون.

الحجر المسامي Porous Stone

وظيفة الحجر المسامي في هذا الاختبار هو السماح للماء للتصريف خلال قاع الحلة الصغيرة، وحيث أننا لم نتمكن من العثور على حجر مسامي فقد تم استعمال صفيحة مسامية لنفس الوظيفة، والتي كانت على شكل مربع ببعده 9.8*9.8 cm. شكل (10) يوضح الصفيحة المسامية المستعملة.



شكل (10) الصفيحة المسامية المستعملة.

الحلتان الصغيرة والكبيرة:

تم استعمال حلة صغيرة من الألمونيوم بقطر داخلي 18.4 cm وبارتفاع 19cm، وإحاطتها بأنبوب النايلون خارجياً من جميع الاتجاهات وتم تنظيف الحلة الصغيرة وسنفرتها من الداخل للحصول



شكل (18) الإطار الخارجي للمنظومة.

5. تجارب التحميل الميكانيكي الحراري

تجهيز جهاز التحميل الميكانيكي الحراري المائي للاختبار

يتم أولاً وضع قاعدة الحجر المسامي داخل الحلة الصغيرة وتثبيت الحجر المسامي داخل القاعدة. يتم وضع عينة التربة داخل الحلة الصغيرة ووضع الحساسين عند محيط ووسط التربة، وإغلاقها بالغطاء الذي صمم خصيصاً للحلة الصغيرة بحيث يمكن إدخاله وإخراجه بطريقة سلسلة بأقل بعد ممكن بين الحافة الخارجية للغطاء والحافة الداخلية للحلة الصغيرة، ومن ثم يتم ملأ السخان بالماء وتشغيل السخان والمضخة بالمفتاحين الخاصين بهما.

بعد تشغيل السخانة والمضخة يبدأ الماء داخل السخانة باكتساب الحرارة تدريجياً، وكذلك يبدأ في الحركة بفعل المضخة خروجاً من السخان خلال أنابيب النايلون ومروراً بالأنابيب حول الحلة الصغيرة ورجوعاً إلى السخان مرة أخرى وهكذا إلى أن تصل درجة حرارة الماء داخل السخان إلى الدرجة المطلوبة، وحيث أن حركة المياه مستمرة، فإن الحلة تبدأ باكتساب الحرارة إلى أن تنتقل الحرارة داخل الحلة وصولاً إلى التربة، حيث يتم قراءة درجة الحرارة عند محيط ووسط العينة، وملاحظة تأثير الحرارة على عينة التربة.

تجهيز العينة للاختبار:

- تحضير ثلاثة عينات من التربة بنفس المحتوى المائي الطبيعي 1.4%، وذلك بتفتيت العينة ورشها بالماء، وخلطها جيداً إلى غاية الوصول إلى المحتوى المائي المطلوب.
- دمك كل عينة من عينات التربة على ثلاثة طبقات داخل الحلة الصغيرة بنفس الكثافة الحقلية 1.3 kg/cm^3 بحيث يكون ارتفاع كل طبقة 4cm، وعمل بعض الخدوش فوق كل طبقة مدموكة؛ لكي تعمل الطبقات الثلاثة وكأنها طبقة واحدة، وتجنب أي ضعف قد يحدث للتربة عند هذا المستوى الفاصل بين الطبقات. شكل (19) يوضح مراحل تجهيز العينة.



شكل (a) يوضح مرحلة تفتيت عينة التربة.



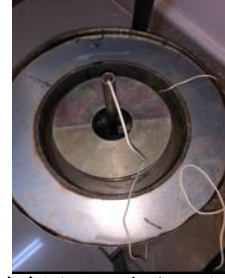
شكل (b) مرحلة رش التربة بالماء للوصول للمحتوى المائي المطلوب.



شكل (c) مرحلة دمك العينة وعمل الخدوش على سطح كل طبقة مدموكة.

شكل (19) يبين مراحل تجهيز عينة التربة. (a,b,c)

والجدير بالذكر أنه تم صنع غطاء للحلة الصغيرة مزود بمقبض اسطوانى مجوف من الداخل يتوسط الغطاء لتمرير أحد الحساسين الحراريين من خلاله، والاستفادة منه في حمل الغطاء، وعمل فتحة صغيرة على محيط الغطاء لإدخال الحساس الحراري الأخر منها. شكل (14) يوضح الحساسين الحراريين وكيفية تمريرهما داخل الغطاء من خلال المقبض وبجانب الغطاء.



شكل (14) الحساسين الحراريين وكيفية تمريرهما داخل الغطاء من خلال المقبض وبجانب الغطاء.

كما تم عمل فتحتان على الحلة الصغيرة والكبيرة، فتحة لدخول أنبوب النايلون، والأخرى لخروج الأنبوب. شكل (15) يوضح فتحتا دخول وخروج الماء من الأنبوب مرورا بالحلة الصغيرة من الخارج. كما يوضح شكل (16) الشكل النهائي للحلتين الكبيرة والصغيرة والغطاء.



شكل (15) فتحتا دخول وخروج الماء من الأنبوب مرورا بالحلة الصغيرة من الخارج.



شكل (16) الشكل النهائي للحلتين الكبيرة والصغيرة والغطاء.

الأثقال

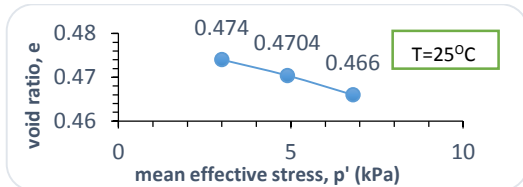
تم استعمال مجموعة من الأثقال لإجراء اختبارات التحميل الميكانيكي، حيث تم استعمال أثقال بكتلة (8,13,18 kg) _ يتضمن كتلة الغطاء، شكل (17) يوضح أشكال الأثقال المستخدمة.



شكل (17) أشكال الأثقال المستخدمة.

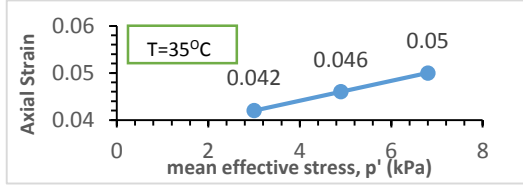
الإطار الخارجي

تم تصنيع إطار من الفولاذ بأبعاد (80*40*40 cm) ووضع الجهاز بالكامل داخل هذا الإطار؛ لكي يسهل عملية رفع ونقل كامل المنظومة من مكان إلى آخر. شكل (18) يوضح الإطار الخارجي للمنظومة.

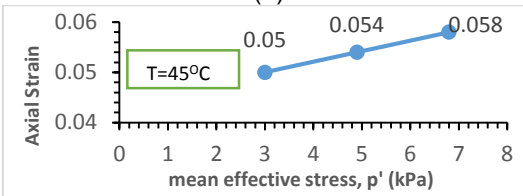


شكل (21) تأثير التجميل الميكانيكي على نسبة الفراغات لعينة التربة.

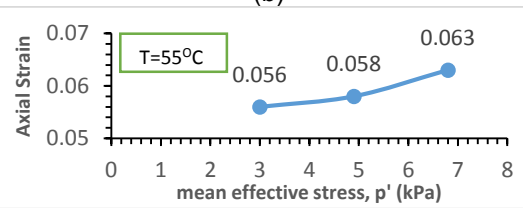
كما تم حساب الانفعال الناتج عن الاجهادات المسلطة عند درجات حرارة مختلفة (35, 45, 55°C)، الشكل (22) يوضح تأثير التجميل الميكانيكي على الانفعال المحوري عند درجات حرارة مختلفة.



(a)



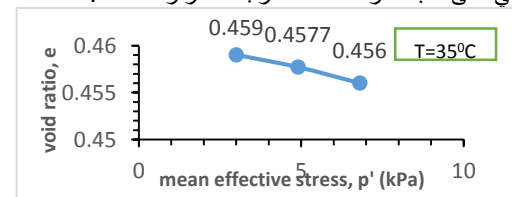
(b)



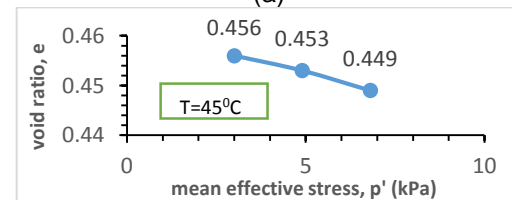
(c)

شكل (22) تأثير التجميل الميكانيكي على الانفعال المحوري عند درجات حرارة مختلفة.

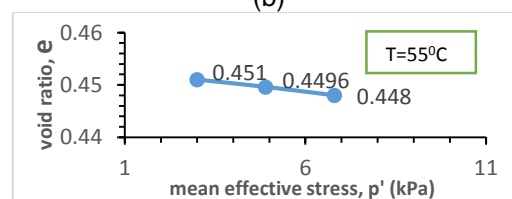
وبشكل تقريبي تم الحصول على نسبة الفراغات الناتجة من تسليط الأحمال عند درجات حرارة مختلفة، حيث يوضح الشكل (23) تأثير التجميل الميكانيكي على نسبة الفراغات عند درجات حرارة مختلفة.



(a)



(b)



(c)

شكل (23) تأثير التجميل الميكانيكي على نسبة الفراغات عند درجات حرارة مختلفة.

نتائج التجميل الحراري

خطوات تنفيذ الاختبار

- أخذ عينة من التربة المراد اجراء الإختبار عليها.
- اجراء الاختبارات اللازمة لمعرفة خصائص عينة التربة.
- يتم دمك عينة التربة على ثلاث طبقات داخل الوعاء، بحيث تكون الكثافة ثابتة لكل العينات.
- يتم وضع الأحمال بالتدرج وبالطريقة المبينه في الخطوات التالية.
- يتم وضع الحمل الأول ومن ثم قياس الهبوط الناتج من الحمل عند درجة حرارة الغرفة 20 °م وهذا ما يعرف بالتحميل الميكانيكي، حتى حالة الثبوت من التشوه، ومن ثم نقوم بزيادة درجة الحرارة، وذلك عن طريق التحكم في درجات حرارة الماء داخل الأنابيب خلال العواء بمعدل تغير ثابت كل 10 °م، على أن يكون التغير كل 10:20:30 درجات مئوية، وقياس الهبوط الناتج عن كل تغير في درجة حرارة، وهذا ما يعرف بالتحميل الحراري.
- نأخذ عينة أخرى من نفس التربة ونفس الكثافة، ونقوم بوضع الحمل التالي، ومن ثم نقوم بنفس الخطوات في الخطوة رقم 5، وفي هذا الاختبار سنقوم بوضع ثلاث أحمال تزايدية.

6. النتائج

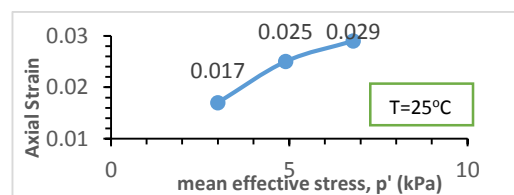
نظرة عامة

تم اجراء هذا الاختبار على تربة رملية طينية (SC) غير مشبعة وتحت اجهادات متساوية في جميع الاتجاهات، تحت ثلاثة أحمال مختلفة (8, 13, 18kg) وعند درجات حرارة مختلفة (25, 35, 45, 55°C)، عند محتوى مائي وكثافة حقلية ثابتة، ولم يتم أخذ قيمة الامتصاص Suction للتربة في الاعتبار كما هو الحال عند Shanina and McCartney سنة 2013 وتم فرض قيمة الامتصاص مساوية للصفر، بالإضافة إلى أننا لم نأخذ في الحسبان التمدد الذي يحدث في الحلة الصغيرة نتيجة الحرارة؛ وذلك لصغر معامل التمدد الحراري للحلة. جدول (1) يبين النتائج المتحصل عليها من الاختبارات:

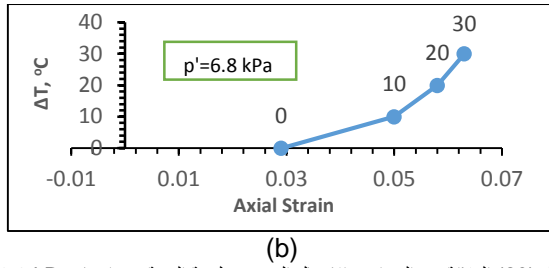
M (kg)	T (°C)	p' (kPa)	Settlement (mm)	Axial strain	Void ratio
8	25	3	2	0.017	0.474
8	35	3	5	0.042	0.459
8	45	3	6	0.05	0.456
8	55	3	6.75	0.056	0.451
13	25	4.9	3	0.025	0.470
13	35	4.9	5.5	0.046	0.4577
13	45	4.9	6.5	0.054	0.453
13	55	4.9	7	0.058	0.449
18	25	6.8	3.5	0.029	0.466
18	35	6.8	6	0.05	0.456
18	45	6.8	7	0.058	0.449
18	55	6.8	7.5	0.063	0.448

نتائج التجميل الميكانيكي

في هذا الاختبار تم تحميل عينة التربة بثلاثة أحمال مختلفة، ومنها تم حساب الاجهاد المسلط على العينة والانفعال المحوري الناتج من هذا الاجهاد، حيث تم هذا الاختبار عند درجة حرارة الغرفة 25°C. الشكل (20) يوضح تأثير التجميل الميكانيكي على الانفعال المحوري عند درجة حرارة الغرفة. ويوضح الشكل (21) تأثير التجميل الميكانيكي على نسبة الفراغات لعينة التربة.



شكل (20) تأثير التجميل الميكانيكي على الانفعال المحوري عند درجة حرارة الغرفة.

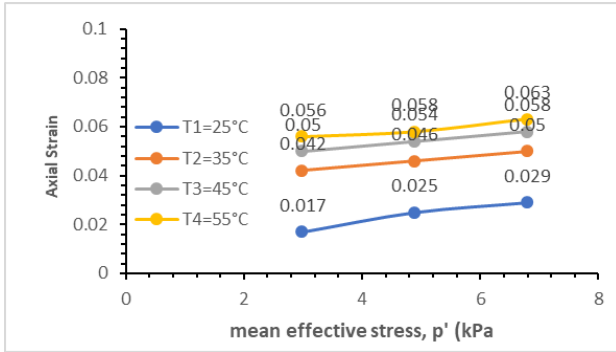


شكل (26) العلاقة بين الحرارة والانفعال المحوري لعينة التربة عند اجهاد 6.8 kPa.

7. تحليل النتائج

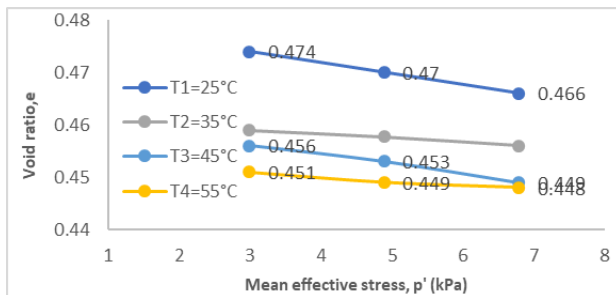
تأثير الاجهادات على التربة الرملية الطينية غير المشبعة ذات التصريف الحر

في هذا الفصل تمكنا من معرفة العلاقة بين الاجهادات المسلطة على عينة من التربة الرملية الطينية غير المشبعة ذات التصريف الحر والانفعال المحوري الناتج من هذا الاختبار وذلك عند درجات حرارة مختلفة، حيث أنه تم الاختبار عند درجة حرارة الغرفة (25°C) ومن ثم زيادة درجات الحرارة إلى (35, 45, 55°C)، حيث بينت نتائج الاختبارات أنه كلما زادت الاجهادات المسلطة على التربة كلما زاد الانفعال المحوري لعينة التربة سواء عند درجة حرارة الغرفة أو عند زيادة درجات الحرارة، الشكل (27) يوضح العلاقة بين الاجهادات المسلطة (3, 4.6, 6.8kPa) على التربة والانفعال المحوري الناتج عن الاجهادات وذلك عند درجات حرارة مختلفة.



شكل (27) العلاقة بين الاجهادات المسلطة على التربة والانفعال المحوري الناتج.

وكذلك بينت نتائج الاختبارات أنه كلما زادت الاجهادات المسلطة على هذا النوع من التربة كلما قلت نسبة الفراغات بالعينة، وبالتالي حدوث انكماش للعينة عند درجات حرارة مختلفة. يوضح الشكل (28) العلاقة بين الاجهادات المسلطة على عينة التربة وما يقابلها من نسبة فراغات عند درجات حرارة مختلفة.

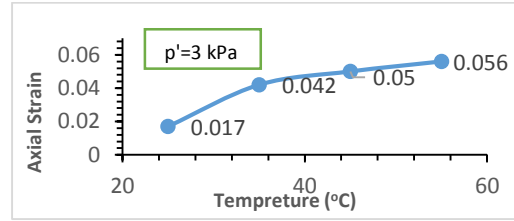


الشكل (28) العلاقة بين الاجهادات المسلطة على عينة التربة وما يقابلها من نسبة فراغات عند درجات حرارة مختلفة.

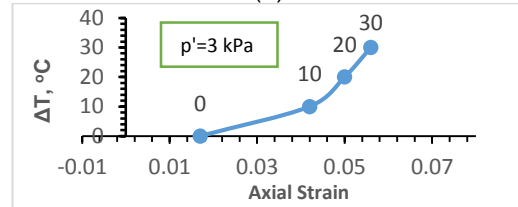
تأثير الحرارة على التربة الطينية غير المشبعة ذات التصريف الحر:

أثناء اجراء الاختبارات على عينة التربة الطينية الغير مشبعة وعلاقة زيادة درجات الحرارة على الانفعال المحوري، حيث أجري الاختبار على ثلاثة عينات محملة بأحمال مختلفة ذات اجهادات (3, 4.6, 6.8kPa)،

في هذا الأختبار تم تسليط درجات حرارة مختلفة على عينة التربة (35, 45, 55°C)، وحساب الانفعال الناتج عند اجهادات مختلفة. شكل (24) يوضح العلاقة بين الحرارة والانفعال المحوري لعينة التربة عند اجهاد 3 kPa.



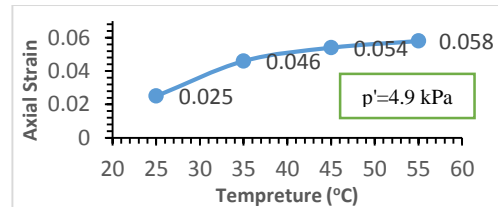
(a)



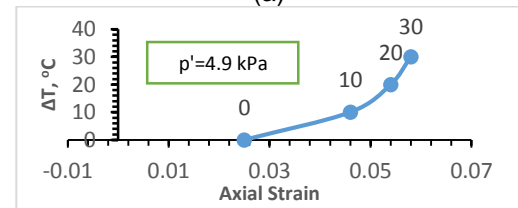
(b)

شكل (24) العلاقة بين الحرارة والانفعال المحوري لعينة التربة عند اجهاد 3 kPa.

كما تم تنفيذ الاختبار عند اجهاد 4.9 kPa وحساب الانفعال الناتج من تأثير درجات حرارة مختلفة على عينة التربة، شكل (25) يوضح العلاقة بين الحرارة والانفعال المحوري لعينة التربة عند اجهاد 4.9 kPa.



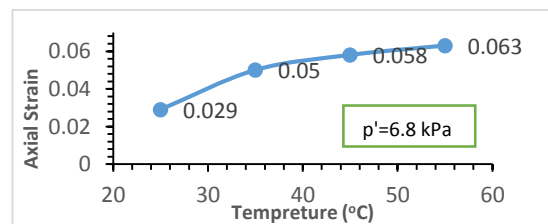
(a)



(b)

شكل (25) العلاقة بين الحرارة والانفعال المحوري لعينة التربة عند اجهاد 4.9 kPa.

وأخيرا قمنا بتنفيذ الاختبار عند اجهاد 6.8 kPa وحساب الانفعال الناتج من تأثير درجات حرارة مختلفة على عينة التربة، شكل (26) يوضح العلاقة بين الحرارة والانفعال المحوري لعينة التربة عند اجهاد 6.8 kPa.



(a)

كما زادت الاجهادات المسلطة على التربة كلما زاد الانفعال المحوري لعينة التربة، وكذلك بينت نتائج الاختبارات أنه كلما زادت الاجهادات المسلطة على هذا النوع من التربة كلما قلت نسبة الفراغات بالعينة، وبالتالي حدوث انكماش للعينة. أنه كلما زادت درجة حرارة العينة كلما زاد الانفعال المحوري لعينة التربة، وهذا ما تحصل عليه كلا من Uchaipichat and Khalili (2009) عند اجراء التجارب على عينة طينية غير مشبعة، وكذلك كلما زادت درجة الحرارة زاد انكماش العينة وبالتالي نقص في نسبة الفراغات بالعينة، حيث تحصل كلا من Coccia and McCartney (2012) على نفس النتيجة عند اجرائهم الاختبارات على عينة من التربة الطينية مشبعة ذات تصريف حر.

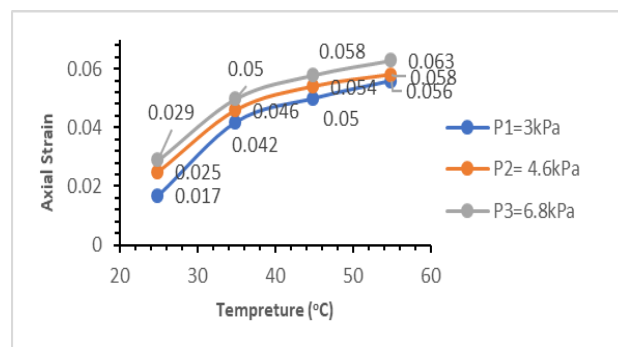
9. التوصيات

- الأخذ بالاعتبار قيمة السحب suction للتربة و اجراء الاختبارات عند درجات مختلفة من قيمة السحب suction.
- اجراء الاختبار على أنواع مختلفة من التربة.
- اجراء الاختبار عند قيم مختلفة من درجات التشبع والمحتوى المائي.
- دراسة تأثير درجات الحرارة المنخفضة على التربة.
- اجراء الاختبار تحت تأثير اجهادات عالية.
- اجراء الاختبار على تربة مشبعة.
- دراسة تأثير التغير في درجات الحرارة على التغير الحجمي للتربة من جميع الاتجاهات.
- دراسة تأثير التغير في درجات الحرارة تحت تأثير نسب مختلفة من اجهادات التصلب overconsolidation ratio.
- دراسة تأثير التغير في درجات الحرارة على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للتربة.
- دراسة تأثير التغير في درجات الحرارة على التربة بعدم وجود تصريف.

المراجع

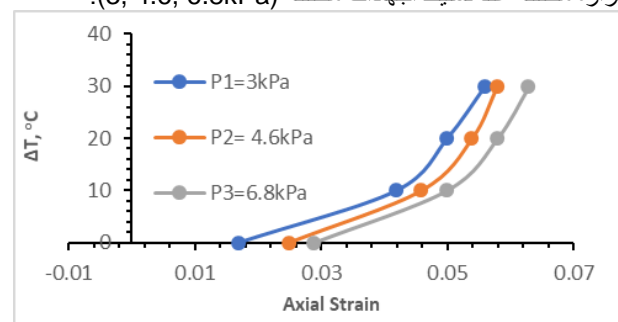
1. ASTM D2216 – 10, Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.
2. ASTM D422 - 63(1998), Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.
3. ASTM D4318 – 17, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
4. BS 1377-2:1990, Methods of test for soils for civil engineering purposes. Classification tests.
5. ASTM D854 – 14, Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.
6. Campanella, R.G. and Mitchell, J.K. (1968). "Influence of temperature variations on soil behavior." Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering Division. 94(3), 709-734.
7. Coccia, C.J.R. and McCartney, J.S. (2012). "A thermo-hydro-mechanical true triaxial cell for evaluation of the impact of anisotropy on thermally induced volume changes in soils." Geotechnical Testing Journal. 35(2), 1-11.
8. James K. Mitchell and Kenichi Soga. "Fundamentals of Soil Behavior.
9. Shanina and McCartney (2017). "Influence of anisotropic stress atates on the thermal volume change of unsaturated silt." April 2017. Soil and Foundation –Tokyo-57(2) DOL: 10.1016/j.sandf.2016.12.003
10. Uchaipichat, A. and Khalili, N. (2009). "Experimental investigation of thermo-hydro mechanical behaviour of unsaturated silt." Géotechnique, 59(4), 339-353.

ورفع درجة الحرارة عند كل حمل إلى (35, 45, 55°C)، وقد تم التوصل إلى أنه كلما زادت درجة حرارة العينة كلما زاد الانفعال المحوري لعينة التربة، وهذا ما تحصل عليه كلا من Uchaipichat and Khalili (2009) عند اجراء التجارب على عينة طينية غير مشبعة. شكل (29) يوضح علاقة الزيادة في درجات الحرارة بالانفعال المحوري لعينة التربة.



شكل (29) علاقة الزيادة في درجات الحرارة بالانفعال المحوري لعينة التربة.

كما أنه تم التوصل إلى أن عينة التربة قد حصل بها انكماش عند زيادة درجات الحرارة عند مختلف الاجهادات المسلطة، حيث تحصل كلا من Shanina and McCartney (2017) على نفس النتيجة عند اجرائهم الاختبارات على عينة من التربة الطينية مشبعة ذات تصريف حر. شكل (30) يوضح التشوه المصاحب لعينة الاختبار أثناء تعرضها لدرجات حرارة مختلفة عند تسليط اجهادات مختلفة (3, 4.6, 6.8kPa).



شكل (30) التشوه المصاحب لعينة الاختبار أثناء تعرضها لدرجات حرارة مختلفة عند اجهادات مختلفة.

8. الخلاصة

اشتملت هذه الدراسة على ثلاثة مراحل، المرحلة الأولى عبارة عن دراسة معملية للتعرف على بعض من الخواص الطبيعية للتربة المستخدمة، المرحلة الثانية تتمثل في صنع جهاز لتقييم مدى تأثير التغير في درجات الحرارة على التغير الحجمي للتربة تحت تأثير عدة أحمال مختلفة، أما المرحلة الثالثة فتتمثل في تجهيز عينات من التربة بنفس المحتوى المائي الطبيعي والكثافة الحقلية الطبيعية ومن ثم اجراء التجارب باستخدام الجهاز المصنوع تحت تحميل ميكانيكي وآخر حراري، وأهم النتائج المتحصل عليها من هذه الدراسة تتلخص في الآتي:

- تم تصنيف التربة بنظام التصنيف الموحد على أنها تربة رملية طينية منخفضة اللدونة وكانت الخصائص الطبيعية لعينة التربة كالتالي:

2.7	الوزن النوعي
1.4%	المحتوى المائي
27.7%	حد السيولة
6%	حد اللدونة
1.4kg/cm ³	الكثافة الحقلية

- تم تصنيع جهاز لتقييم تأثير التحميل الميكانيكي والحراري على التغير الحجمي للتربة الغير مشبعة ذات تصريف حر، وتحصلنا منه على النتائج التالية: