مجلة تكريت للعلوم الهندسية/المجلد 16/العدد2/حزيران 2009، (13-27)

تأثير ظروف الإنضاج على بعض الخصائص الهندسية لتربة طينية انتفاخية معاملة بالجير المطفأ (النورة)

أ.م.د.سهيل إدريس عبد القادر خطاب
كلية الهندسة-جامعة الموصل

م.م. أسماء احمد علي الداؤود
المعهد التقني/ الموصل

الخلاصة

يهدف البحث إلى دراسة تأثير تغير ظروف الإنضاج: وهما درجة الحرارة(من10 ولغاية 60 درجة مئوية) وفترة إنضاج تتراوح (2-90) يوم على بعض الخصائص الهندسية وخاصة معامل النفاذية ومقاومة الانضغاط غير المحصور لتربة طينية انتفاخية معاملة بالجير المطفأ(النورة) بنسب (6,4,2)%، لإحدى مناطق مدينة الموصل. أظهرت النتائج زيادة في مقاومة الانضغاط غير المحصور مع زيادة درجة الحرارة وخاصة في فترات الإنضاج القصيرة، كما أحدث ارتفاع درجة حرارة الإنضاج زيادة في معامل النفاذية بغض النظر عن نسبة الإضافة وذلك مقارنة بمعامل نفاذية التربة الطبيعية، لكنه اظهر تبايناً في قيمها مع اختلاف حرارة الإنضاج. من جانب اخر فان غسل التربة أدى الى انخفاض معامل النفاذية في التربة المعاملة، بغض النظر عن نسبة الإضافة ودرجة الحرارة، لكن معدل انخفاض معامل النفاذية في أثناء الغسل أسرع عند تعرضه للتأثير الحراري.

الكلمات الدالة : التربة الطينية، النورة، تأثير ظروف الإنضاج، التوصيل المائي

Curing conditions Influence on Some Engineering Properties of Lime-treated expansive Clayey Soil from Mosul Area

Abstract

The aim of this work is to study the effect of varying curing conditions, namely temperature (10^o to 60^odegrees Celsius) and curing period (2 to 90 days) on the unconfined compressive strength (UCS) and hydraulic conductivity of lime treated clayey soil selected from Mosul city. The soil was treated with (2,4 and 6%) hydrated lime. Test results showed that the UCS was increased with the increase of curing temperature especially at low curing period. On the other hand, hydraulic conductivity in treated soil has increased with temperature compared with that of untreated soil but not with a constant trend. Finally, leaching of treated soil has led to a decline in hydraulic conductivity with time, while the rate of decreasing was found to be more with samples exposed to higher temperature.

Key words : Clayey soil, Lime, Curing c **ns ,Hydraulic conductivity**

المقدمة

تعود أسباب بعض الظواهر السلبية (مثل تصدعات الأبنية والطرق) في بعض الأحيان إلى ضعف تحمل التربة، وأحيانا إلى قوى الدفع المتكونة بسبب قدرة التربة على الانتفاخ. تستخدم عملية التثبيت في معالجة الترب الانتفاخية، والتثبيت كيميائيا باستخدام النورة يعتبر احد الأساليب المتبعة [1]، [2]. تعد النورة المطفأة الأكثر استعمالا في تثبيت التربة لكفاءتها في المعالجة ولتلبيتها متطلبات السلامة للعاملين في هذا المجال [1].

تتم عملية التثبيت بالجير المطفأ في الترب الطينية عبر مراحل من التفاعلات، تنقسم هذه التفاعلات الى أنية وأُخرى طويلة الأمد[2]. تصحب التفاعلات تغييرات في البناء الهيكلي للتربة المثبتة ناتجة عن التبادل ألايوني، التلبيد Flocculation والتزغيب Agglomeration ومن ثم تكون المواد الرابطة (طويلة الأمد) التي تتبلور وتتصلب مع الوقت، هذا ما يقود إلى حصول تغيرات اساسية في خواص التربة. تستمر تفاعلات النورة في الظروف الطبيعية الى فترة طويلة، قد تصل إلى عدة سنوات [2]. للحصول على نتائج مختبريه سريعة اعتمد عدد من الباحثين تعجيل التفاعلات بين النورة والتربة، وذلك برفع درجة حرارة الإنضاج. حيث تصل مقاومة الانضغاط غير المحصور بدرجة حرارة 49^oC خلال يومي إنضاج، إلى ما يعادل مقاومة الانضغاط بدرجة حرارة إنضاج 25^oC خلال 28 يوماً[2]. نفاذية التربة هي من ضمن الخواص الاساسية التي يحصل فيها تغير عند معاملتها بالنورة، لارتباط التفاعلات بتغيرات في هيكل التربة. عموما تشير الدراسات القليلة المتوفرة حول نفاذية التربة الانتفاخية المعاملة بالجير المطفأ إلى زيادة ملحوظة في معامل النفاذية في البداية، يعود إلى التغيير الذي يطرأ على نسيج التربة نتيجة التفاعلات الآنية التي تحدث في التربة من تلبيد وتزغيب. تتبعها بعدئذ تفاعلات معقدة وبطيئة مكونة مادة إسمنتية داخل الفراغات المتكونة مما يقلل من معامل النفاذية[3]، في حين تشير دراسة أخرى إلى استمرار زيادة النفاذية مع زيادة فترة الإنضاج [4].

يهدف البحث بشكل أساس إلى دراسة تأثير درجة الحرارة (60,49,40,25,10) درجة مئوية على بعض الخصائص الهندسية للتربة الانتفاخية المعاملة بالجير المطفأ مع التركيز على التغيير في قيم النفاذية (الممثلة في البحث بمعامل النفاذية k) كخاصية مهمة تعكس التغيرات التي تحدث في البناء الهيكلي للتربة المثبتة حيث لم يتم دراستها سابقا. تم الأخذ بنظر الاعتبار متغيرات اخرى تؤثر على سير التفاعلات ومن ضمنها نسبة النورة المضافة، فترات الإنضاج ومحتوى الرطوبة والكثافة الوزنية الجافة العظمى.

تطرق البحث إلى دراسة تأثير هذه المتغيرات على خاصية مقاومة الانضغاط غير المحصور (Unconfined compressive strength) وذلك لاهميته في محددات تصميم خلطات التثبيت.

وأخيرا دراسة تأثير الغسل على التربة المثبتة في درجات حرارة مختلفة، من خلال تغاير قيم معامل النفاذية وبعض الفحوصات الكيميائية.

المواد المستعملة وطرائق العمل

تم اختيار تربة لأحدى الأحياء السكنية الحديثة في الموصل (الحدباء)والتي تعاني من الظواهر السلبية(تصدعات الأبنية،..) . ويبين الجدول (1) الخواص الدليلية للتربة الطبيعية. استخدمت الجير المطفأة(النورة) تركيبها الكيميائي هو هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$، بمواصفات موضحة في الجدول (2).

تحضير النماذج: تم اجراء الدراسة المختبرية على نماذج التربة الطبيعية والمعاملة بنسبة 4% نورة

حضرت بطريقة الرص الساكن باستخدام مكبس بسرعة ثابتة (1.27mm/min) ، سبكت النماذج بكثافة مساوية إلى الكثافة الوزنية الجافة العظمى (MDD) ومحتوى الرطوبة الأمثل(OMC)، وأخرى سبكت عند 95% من (MDD) (ناتجة عن فحص الرص القياسي) وما يقابلها من محتوى رطوبة في الجانبين الرطب والجاف من منحني الرص للتربة الطبيعية. يترك النموذج تحت الإجهاد لمدة (10) دقائق لضمان تماسك النموذج ومنع حصول ارتداد (Rebound) [5]. اما النماذج المعاملة بنسب(2 و 6) % جير مطفأ فقد سبكت عند (MDD)و(OMC) فقط. يتم السبك بعد مرور ساعة من المزج.

إنضاج النماذج المعاملة : تحقيقا لهدف رئيس للدراسة وهو تأثير درجة حرارة الإنضاج على بعض الخواص الهندسية، انضجت النماذج المهيئة في الفقرة السابقة بدرجات حرارة مختلفة (25, 40 , 49 ,60 10) درجة مئوية، بعد ان غلفت بطبقتين من ورق الألمنيوم تتبعها طبقات عديدة من شمع البرافين.

فحص مقاومة الانضغاط غير المحصور: يتم فحص نماذج التربة الطبيعية والمعاملة بإتباع الموصفات الأمريكية(ASTM D(2166-68 وذلك بتسليط ضغط عمودي باستعمال جهاز فحص الانضغاط غير ألمحصور بسرعة تحميل ثابتة قدرها (1.27mm/min).

فحص معامل النفاذية: تم اعتماد طريقة الشد المتغير (Variable Head Method) لقياس معامل النفاذية. استخدم ورق ترشيح أسفل وأعلى النموذج بالإضافة إلى قطعتين بلاستك دائرية مثقبة بقطر (8.3 cm وسمك 4 mm) تشغل حيز أسفل وأعلى غطاء جهاز النفاذية، للسيطرة على أبعاد النموذج من احتمال حصول انتفاخ وضمان توزيع الماء بشكل متساوٍ. 'يحكم السيطرة على منافذ تسرب الماء، بوضع مادة سليكونية حول محيط التربة الملامس للاسطوانة. وذلك لغرض التأكد من عدم تسرب الماء بين النموذج والاسطوانة، بالإضافة إلى استخدام طوق مطاطي(واشر) يوضع في أسفل وأعلى أغطية الجهاز.

تترك النماذج في جو المختبر فترة قصيرة قبل الفحص، بعدها 'يعرض النموذج إلى مفرغ الهواء (Vacuum) مدة ربع ساعة، وذلك لغرض اخراج الهواء المحتجز داخل المسامات و التعجيل بتشبع النموذج (Saturation) [5]. كما هو موضح بالشكل (4). طريقة العمل هذه تعمل على تشبع النموذج بحد أدنى من الهواء المحصور، وعندما يصل الماء إلى المنفذ العلوي المرتبط بأعلى القالب يمكن اعتبار العينة مشبعة ذلك ضمن فترة انغمار محددة، بعد عدة محاولات تم تحديد فترة (2) يوم لجميع النماذج المعاملة لضمان حدوث تشبع في النماذج مع عدم الاخلال بفترة الانضاج.

فحص الغسل: تم تحضير نماذج التربة الطبيعية والمعاملة بنسبة 4 % نورة مسبوكة بطريقة الرص الساكن عند MDD و OMC. فترة إنضاج النماذج المعاملة استغرقت(7) أيام لدرجتي حرارة إنضاج (40 و25) درجة مئوية، اجري فحص الغسل على التربة الطبيعية والمعاملة بالجير المطفأ من خلال جهاز فحص النفاذية، وذلك بوضع النماذج في أماكن توفر محيط حراري عند (40 و25) درجة مئوية. فحصت النماذج داخل خلية فحص النفاذية، حيث يتم امرار الماء في أثناء عملية الغسل من الأسفل إلى الأعلى وتحت انحدار هيدروليكي يبلغ (8.33) .

النتائج والمناقشة

خصائص الرص: الكثافة الوزنية الجافة العظمى للتربة الطبيعية والمحتوى الرطوبي الامثل كانت بمقدار (kN/m^3 16.85 و18%) على التوالي، الشكل(2). حصل انخفاض في الكثافة الوزنية الجافة العظمى وزيادة في محتوى الرطوبة الامثل عند معاملتها بالنورة، يعود هذا الانخفاض في الكثافة الوزنية الجافة العظمى مع إضافة الجير المطفأ(النورة) إلى التلبيد والتزغيب الذي يصاحب التفاعلات الآنية التي تحدث حال مزج النورة مع التربة.

اختيار النسبة المثلى في التثبيت : اعتمدت طريقتين وهي طريقة الأس الهيدروجيني، طريقة الينويز وطريقة تخمينية في اختيار النسبة المثلى[1]. سجلت طريقة الأس الهيدروجيني نسبة مثلى 4% نورة بالاستناد إلى قيمة pH ما يساوي (12.54) حيث كانت الزيادة بعد هذه النسبة قليلة جدول (3) أما الطريقة الثانية هي طريقة الينويز[2]، تمت بإيجاد القيمة العظمى للمقاومة الانضغاطية للنماذج التي تم إنضاجها لمدة يومين بدرجة حرارة إنضاج 49^oC والتي تَبين أنها بمقدار 4% نورة الشكل (3).

بالاستناد لما ذكر اعلاه اختيرت 4% نورة هي كنسبة مثلى للتثبيت OLS (Optimum Lime Stabilization). اختيرت نسبتي نورة إضافية (OLS±2%) لدراسة تأثير الجير المطفأ في حال أضفنا نسبة اقل من نسبة التثبيت أو أعلى على كلٍ من مقاومة الانضغاط غير المحصور ومعامل نفاذية التربة.

تأثير درجة حرارة الإنضاج على مقاومة الانضغاط غير المحصور

تشير النتائج في الشكل (4) إلى زيادة مقاومة الانضغاط غير المحصور مع درجات الحرارة وفترات الإنضاج المختلفة، بغض النظر عن نسبة النورة المضافة. يتبين من ذلك ان رفع درجة الحرارة في أثناء الإنضاج اثر على التفاعلات الآنية وعجل من التفاعلات البوزولانية مما اكسب النماذج زيادة في مقاومة الانضغاط غير المحصور. كانت الزيادة أكثر وضوحا في النماذج المعاملة بنسب (4 و6)% نورة عن تلك المعاملة بنسبة 2% نورة. إن إمكانية حدوث التفاعلات البوزولانية يعتمد على توفر الظروف الملائمة لحصول واستمرار التفاعل (بين النورة والتربة) ومن ضمنها كمية النورة المضافة[2]. تتفق هذه النتيجة مع نتائج George(1992) [6].

الشكل (5) يشير الى اختلاف معدل الزيادة في مقاومة الانضغاط غير المحصور حيث إن أعلى نسبة زيادة في المقاومة حصلت في فترة(7) أيام إنضاج، ولكافة نسب النورة المضافة. حيث كان مقدار الزيادة على سبيل المثال عند حرارة الإنضاج(40^oC) مقارنة بحرارة إنضاج(25^oC) حوالي (147,170,150) % لنسب(6,4,2)% على التوالي لفترة إنضاج امتدت إلى (7)أيام. وأن نسبة التغيير في قيم مقاومة الانضغاط عند درجات حرارة الإنضاج المنخفضة اقل من تلك المهيئة في درجات حرارة أعلى من 25^oC. تقا'رب القيم من بعضها البعض يؤكد إن التفاعلات كانت بطيئة جدا عند تلك الحرارة.

تأثير درجة حرارة الإنضاج على معامل نفاذية التربة المعاملة للجير المطفأ

يلاحظ من الشكل(6) حصول زيادة في معامل النفاذية عند إضافة النورة، بغض النظر عن كميتها مقارنة بمعامل نفاذية التربة الطبيعية ولجميع درجات الحرارة وفترات الإنضاج. لكنها أظهرت تأثرا متباينا باختلاف درجات حرارة وفترات الإنضاج. حيث حصلت الزيادة الأعلى في معامل النفاذية للنماذج المعرضة لحرارة إنضاج 49^oC عند فترة يومي إنضاج، بينما كانت الزيادة الأعلى لحرارة إنضاج 25^oC لفترة إنضاج(7) أيام للتربة المعاملة بنسبة

(2,4)% نورة و28 يوم للتربة المعاملة 6% نورة. من جانب أخر لم تتأثر قيم معامل النفاذية للنماذج المعرضة إلى درجة حرارة إنضاج منخفضة(10^oC)، وتبين ان قيمها لم يطرأ عليها تغير طوال فترات الإنضاج.

لدراسة تأثير نسبة النورة فان الشكل(7) يبين ان أعلى زيادة حصلت في معامل النفاذية عند النماذج (المهيأة عند OMC) المعاملة بنسبة 2% نورة التي تمثل نسبة تحسين للتربة (Modification)، سببه البناء الهيكلي الملبد الناتج من إضافة الجير المطفأ وهو ما أدى إلى تشكيل قنوات لمرور الماء ومن ثم زيادة في معامل النفاذية. كما ُتظهر الأشكال تقارباً في قيم معامل النفاذية للنماذج المعاملة بنسبة 2% نورة لدرجة حرارة25^oC الإنضاج فأكثر ولجميع فترات الإنضاج. يفسر ذلك إن كمية النورة المضافة لم تكن كافية للتفاعل البوزولاني، ولهذا فان التأثير انحسر بالتفاعلات الآنية التي تحدث عند إضافة النورة بالرغم من زيادة درجة حرارة وفترة الإنضاج. تشير النتائج أيضا إلى إن زيادة نسبة النورة المضافة عن2% أدى إلى انخفاض معامل النفاذية، ربما يعود السبب إلى ان جزءاً النورة المضافة للتربة هاجم أسطح المعادن الطيني وتفاعل معها، والقسم الباقي تصرف كمواد مالئة للفراغات ضمن بنية التربة مما سبب انخفاضاً في معامل النفاذية. من ناحية أخرى أظهرت نتائج معامل النفاذية للنماذج المعاملة بنسبة 6% نورة تأثرا بسيطا في قيم (k) عن تلك المعاملة بنسبة (4) % نورة وذلك لجميع فترات الإنضاج، وهذا يعني إن النسبة الإضافية التي تمثل النماذج المعاملة بالجير المطفأ بنسبة أعلى من OLS لم تحدث تغيير يذكر في قيم معامل النفاذية.

فيما يتعلق بتأثير درجة الحرارة على نماذج مسبوكة برطوبة وكثافة وزنيه جافة مختلفة، إن معامل النفاذية يتأثر بهذه العوامل حيث اتخذ منحني التربة المعاملة سلوك مشابها لمنحني معامل نفاذية التربة الطبيعية(عدا كون معامل النفاذية الأقل للتربة الطبيعية عند النماذج المهيأة بمحتوى رطوبة امثل) الشكل(8). إن معامل النفاذية الأقل كان عند النماذج المعاملة والمسبوكة برطوبة تمثل الجانب الرطب، يليها تلك المسبوكة بمحتوى رطوبة مثالي والأعلى لنماذج الجانب الجاف. يعود هذا التصرف إلى نفس الأسباب التي تم ذكرها في الفقرة السابقة. سجلت النماذج التي تمثل الجانب الرطب خلال فترات الإنضاج أعلى زيادة في قيم معامل النفاذية عند درجة الحرارة 25^oC) باستثناء فترة يومي إنضاج حيث كانت عند 49^oC. أما في فترات الإنضاج التي تجاوزت يومين فان معامل النفاذية تناقص ليصبح قريب أو اقل من معامل نفاذية التربة غير المعاملة.

أما النماذج المهيأة في الجانب الجاف فإنها أظهرت زيادة في معامل النفاذية، لوحظ ذلك خلال فترة الإنضاج الطويلة ودرجات الإنضاج، فسر ذلك بتكون تشققات في أوجه النماذج. ، ربما نتيجة لاستهلاك الرطوبة أثناء التفاعلات بين النورة والتربة علما انه تم وزن النماذج قبل وبعد فترة الإنضاج للتأكد من عدم حصول أي فقدان في الرطوبة في أثناء الإنضاج.

لغرض دراسة تأثير الرطوبة وفصلها عن تأثير بنية التربة على معامل النفاذية، التي كانت متداخلة عند إتباع طريقة الإنضاج السابقة، تمت تهيئة نماذج بكثافة MDD وأخرى عند MDD) (95% بمحتوى رطوبة شمل كلا من المثالي والرطب والجاف على التوالي. النماذج عوملت بنسبة 4% نورة واختيرت درجة حرارة إنضاج 40^oC) كنموذج حيث أنضجت لفترات (90,56,28,7,2) يوماً. وضعت النماذج في أثناء فترة الإنضاج في أوعية محكمة الإغلاق تحوي على منسوب محدود من الماء وذلك

فـي محاولـة لتـوفير وسـط ذي رطوبـة نسـبية عاليـة (تقريبا100%) توضـع فيها النمـاذج على علو بحيث لا تلامـس المـاء. ولقـد تـم وزن النمـاذج قبـل وبعـد الإنضـاج، حيث لـم يتغير وزن النمـاذج في فتـرات الإنضاج القصيرة لكن حصلت زيادة بسيطة في الوزن فـي فتـرة الإنضـاج الطويلـة (56 و90) يـوم لنمـاذج الجانب الجاف فقط.

بينت النتائج الشكل (9)، ان الاختلاف في قيم معامل النفاذية مقارنة بالطريقة السابقة ظهر في قيم النماذج المهيئة في الجانب الجاف وفي الفترة التي تلت (28) يوما إنضاج حيث حصل انخفاض في قيم معامـل النفاذيـة لفترتـي إنضـاج (56 و90) يومـا. بالمحصلة هذه النتائج تؤكد التحليل الذي اشرنا إليه سابقا، وذلك بالنسبة للتشققات التي قد تكون نشأت أثناء فترة الإنضاج الطويلة نتيجة لاستنفاذ الرطوبة في أثناء التفاعلات. حيث أحدث توفر الرطوبة بشكل كاف إلى توضيح تأثير الرطوبة وفصلها عن تأثير بنيـة التربـة التـي تتشـكل فـي أثنـاء الـرص، علـى التفـاعلات ومـدى اسـتمرارية ذلـك فـي مـزيج الجيـر المطفأ والتربة. إن توفر الرطوبة أعطى فرصة لذوبان وتجانس النورة في التربة بشكل أفضل، مما ساعد على رفع درجة قاعدية الوسط ما أدى بالتالي إلى تحلل كلٍ من السيلكا والالومينا من المعادن الطينية الموجودة في التربة. تقود هذه التفاعلات (البوزولانية) إلى تكوين المادة الجلاتينية التي تعمل على غلق بعض القنوات التي نشأت في أثناء التلبيد والرص [1]، [2] وهو ما أدى إلى انخفاض معامل النفاذية.

تأثير الغسل على التربة الطبيعية والمعاملة

أظهرت النتائج في الشكل (10)a انخفاضا تدريجيا في معامل النفاذية مع استمرار الغسل بالنسبة للتربة المثبتة بالنورة، وهذا يتفق مع ما توصل إليه آخرون [7]، [8]. وجد أن معدل انخفاض معامل النفاذية للنمـوذج المعـرض إلـى 25^oC ثابـت تقريبـا، حيـث انخفض معامل النفاذية من ($8*10^{-7}$) إلى ($2*10^{-7}$) cm/sec بعد فترة غسل مقدارها 6 أيام ليستمر في الانخفاض ويستقر في اليوم الثامن عشر من فترة الغسل. بينما معدل انخفاض معامل النفاذية كان أسرع بالنسبة للنموذج المعرض إلى درجة حرارة 40^oC، حيث انخفض من ($4*10^{-7}$) إلى($1*10^{-8}$) cm/sec خلال فترة الغسل ذاتها(6)أيام لتستقر في اليوم العاشر من فترة الغسل بمعامل نفاذية مقارب للنموذج المعامل والذي تم إنضاجه بدرجة(25^oC).

فيما يتعلق بتأثير الغسل على معامل نفاذية نموذج التربة الطبيعية، تشير النتائج إلى حصول انخفاض بسيط خلال فترة غسل مقدارها 16 يوما حيث تستقربعد ذلك. ترافق ذلك مع تغير في قيم (pH) وتركيز الكالسيوم في ماء المرشح(الغسل). في بداية الغسل سجل النموذج المعامل والمعرض إلى25^oC مقدار pH (12.38) وهو مقارب لمقدار pH الملائم في التثبيت، وهذا يعني انه حدث استهلاك بسيط للنورة خلال فترة (7) أيام إنضاج. ثم تناقص pH مع استمرار الغسل، ليثبت في اليوم العاشر من فترة الغسل الشكل(10)b. بينت نتائج النموذج المعرض لدرجة حرارة(25^oC) زيادة تركيز الكالسيوم المغسول في بداية الغسل عن النموذج المعرض إلى 40^oC وهذا يعود إلى تأثير رفع درجة الحرارة في أثناء الإنضاج على تعجيل التفاعلات واستنفاذ كمية اكبر من الكالسيوم خلال فترة اقصر[9]. كما وجد أن المقدار التراكمي للكالسيوم المغسول خلال فترة الغسل ما يعادل 1% جير المطفأ ، وذلك للنموذج المعرض في أثناء الغسل إلى 25^oC، بينما كان مقداره 0.2% للنموذج المعرض إلى 40^oC في أثناء الغسل. الفرق في مقدار النورة المغسولة بين النموذجين يعود إلى التعليل الذي اشرنا اليه في الفقرة السابقة.

الاستنتاجات

- سجلت زيادة في مقاومة الانضغاط غير المحصور للتربة المعاملة بالجير المطفأ مع زيادة درجة الحرارة وفترة الإنضاج.وقد كان تأثير فترة الإنضاج جليا على زيادة مقاومة الانضغاط غير المحصور عند النسب الأكبر للجير المطفأ المضاف.
- وجدت علاقة طردية بين حرارة الإنضاج ومعامل النفاذية بغض النظر عن نسبة الإضافة وذلك مقارنة بالتربة الطبيعية. كما إن تزايد فترة الإنضاج تسبب في انخفاض الزيادة التي حصلت في معامل النفاذية عند إضافة النورة للنماذج المعاملة بنسبة نورة اعلى من نسبة النورة المثلى.
- حصلت زيادة في معامل نفاذية التربة الطينية المعاملة بالجير المطفأ عن نفاذية التربة الطبيعية، بغض النظر عن نسبة النورة المضافة حيث كانت بين(1.5-17) مرة. الزيادة الأعلى في معامل النفاذية وجدت عند النماذج المعاملة بنسبة 2% نورة، والزيادة الأقل حصلت عند النسبة 6 % نورة وذلك لنماذج مسبوكة عند الرطوبة المثلى.
- تبين إن معامل النفاذية الأعلى كان للنماذج المسبوكة في الجانب الجاف من منحني الرص ، للتربة المعاملة والطبيعية، بينما سجلت اقل نفاذية النماذج المسبوكة عند الجانب الرطب من منحني الرص للتربة المعاملة.
- أحدث الغسل انخفاضاً في معامل النفاذية، حيث أصبحت نفاذية التربة المعاملة مع استمرار الغسل اقل من الطبيعية، بغض النظر عن درجات الحرارة التي تعرضت لها في أثناء الغسل. كما لوحظت زيادة في معدل انخفاض معامل النفاذية ومقدار pH في أثناء الغسل للنماذج المثبتة بالجير المطفأ عند تعرضها إلى حرارة $40^{o}C$.

المصادر

1- Ingles, O.G. & Metcalf I.G. (1972), "Soil Stabilization Principle and Practice", Butterworth's Pty Limited , Australia .

2- Little, D.N. (1995), "Handbook for Stabilization of Pavement Sub-grades & Base Courses With Lime", Kendall/Hunt Publishing Company, Iowa, USA, by National Lime Association .

3- EL–Rawi , N.M. & Awad , A.A.A, (1981) " Permeability of Lime Stabilized Soils ." Journal of Transportation Engineering (ASCE) Vol. 12 ,pp 19- 39.

4- Nalbontoglue, Z. & Tuncer, E.R (2001), " Compressibility and Hydraulic Conductivity of Chemically Treated Expansive Clay", Published on the NCR, Canada Geotechnical Journal, No.38,p 154-

5- Burmister, D.M. (1954), " Principles of permeability Testing of soil ", Symposium on Permeability of Soils, ASTM Special Technical Publication No. 163, pp 3-19.

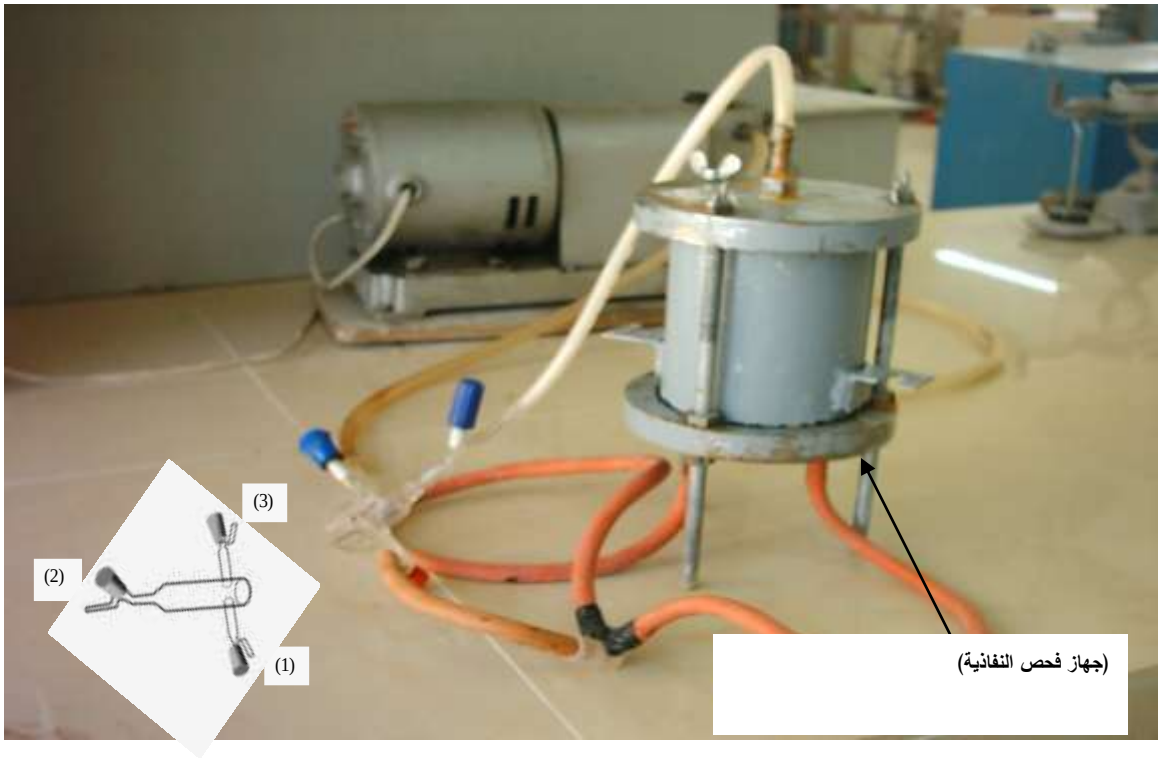
6- George, S.Z, Ponniah, D.A. & Little, J.A. (1992), "Effect of Temperature on Lime-Soil Stabilization Construction & Building Material , Vol. 6, No. 4 , pp. 247 – 252 .

7- Khattab, S.A.A. (2002), "Eude Multi–echelles d'un Sol Plastique Traite' a'la Chaux", These Docteur De L' Universitie d' Orleans , France.

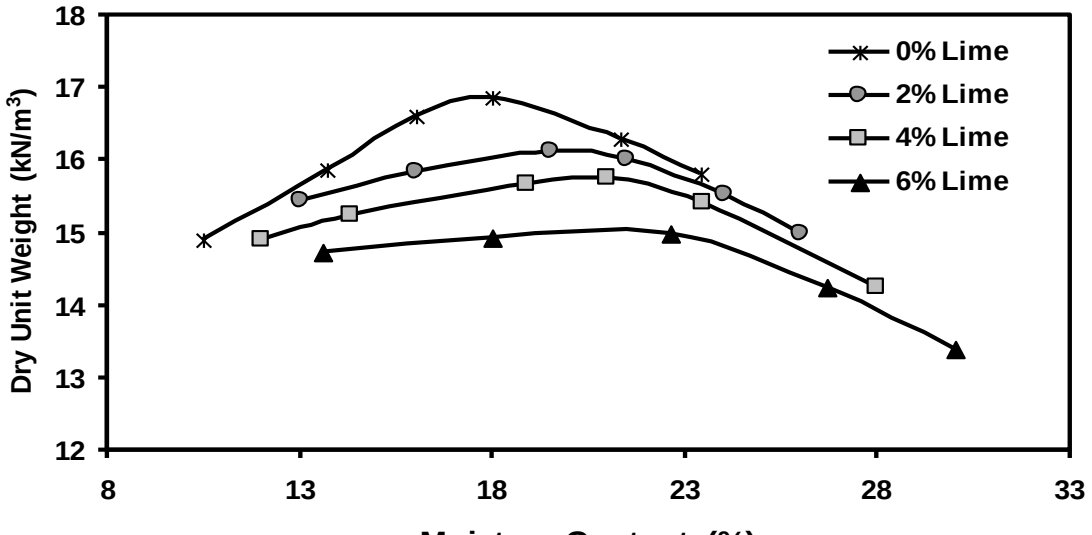
8-McCallister, L.D. & Petry, T.M. (1992), " Leach Tests on Lime-Treated Clays ," ASTM Geotechnical Testing Journal, Vol. 15 , No. 2 ,pp 106- 114 .

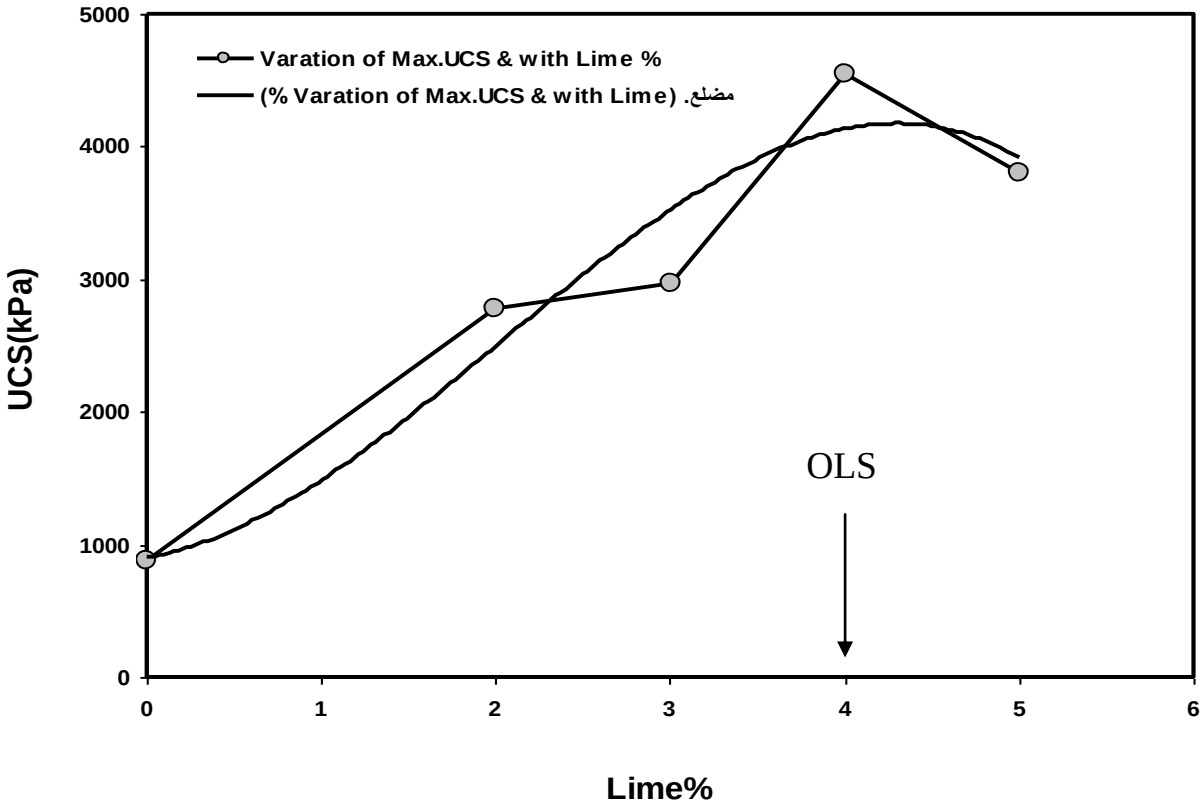
9-Rojas, M.F. & Cabrera, J. (2002) ," The Effect of Temperature on The Hydration Rate and Stability of The

Hydration Phases of Met-kaolin-Lime-water system", Cement and Concrete Research 32, pp 133-138.

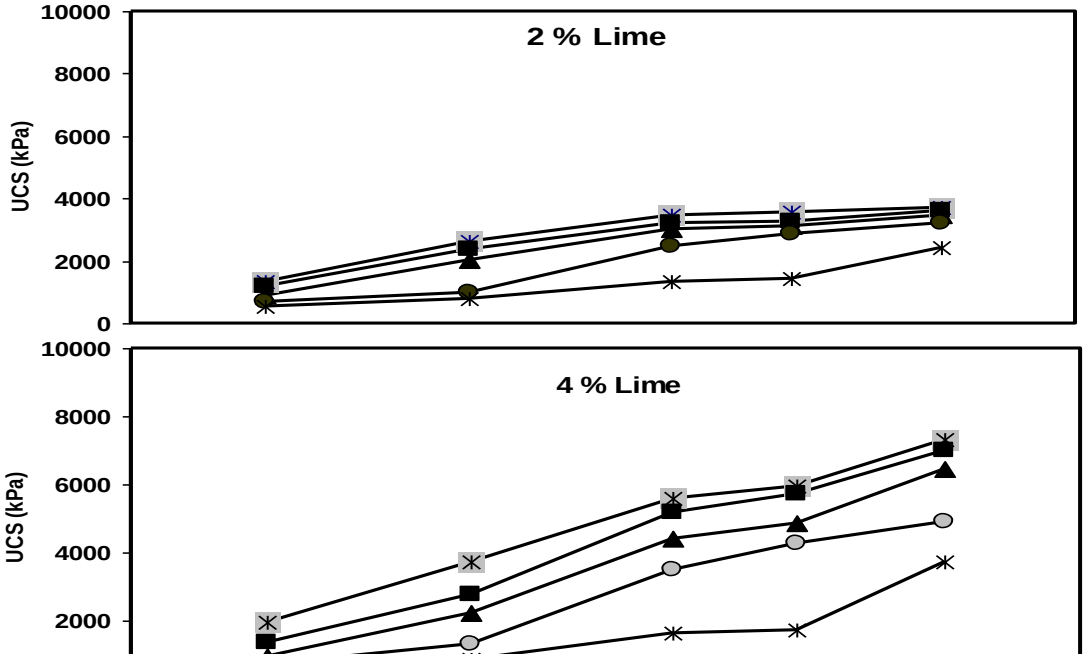


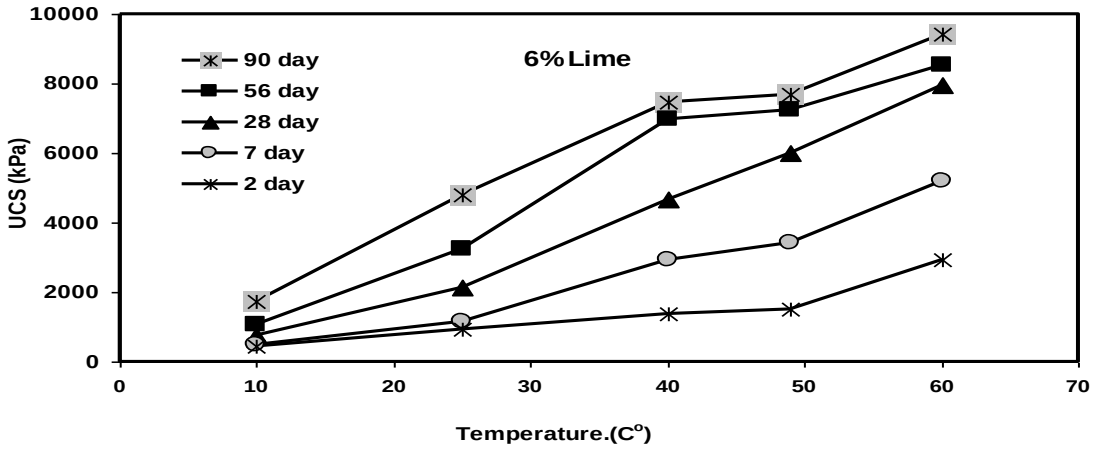
الشكل(1) جهاز فحص النفاذية ومفرغ الهواء أثناء تفريغ الهواء.



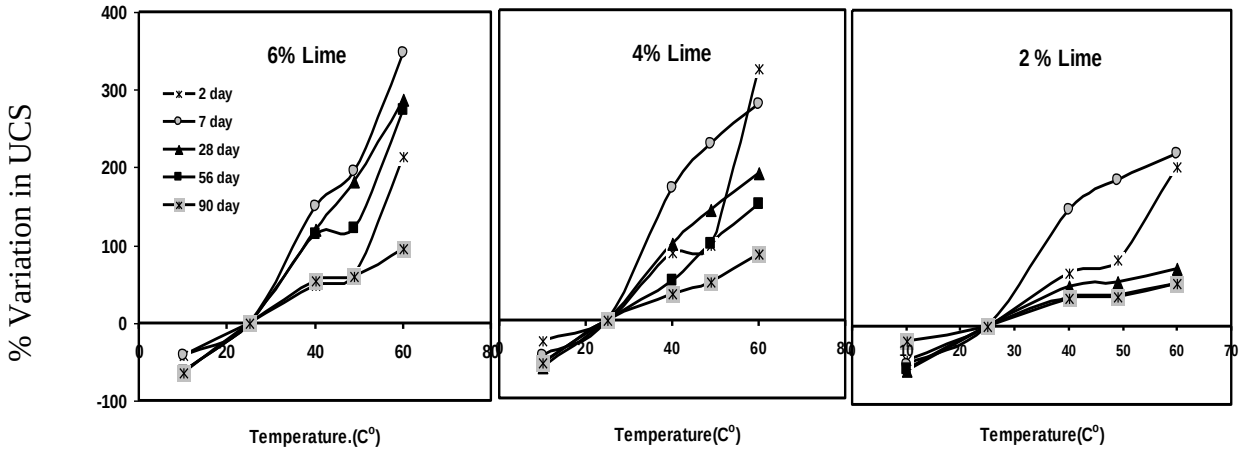


الشكل(3) : العلاقة بين مقاومة الانضغاط غير المحصور ونسبة النورة. المضافة. .

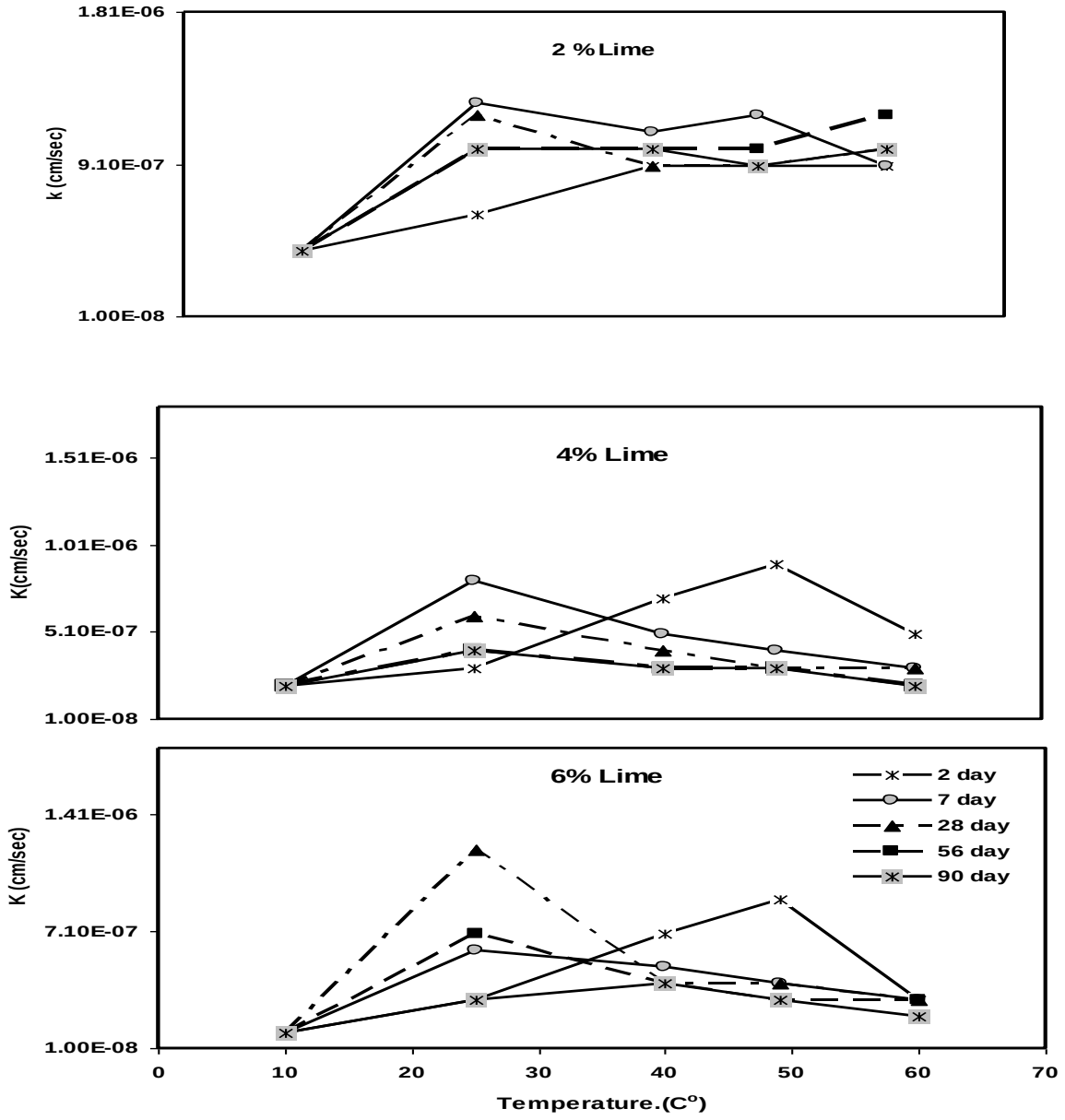




الشكل(4) : تأثير درجة حرارة الإنضاج على مقاومة الانضغاط غير المحصور لنماذج معاملة بنسب مختلفة من النورة .

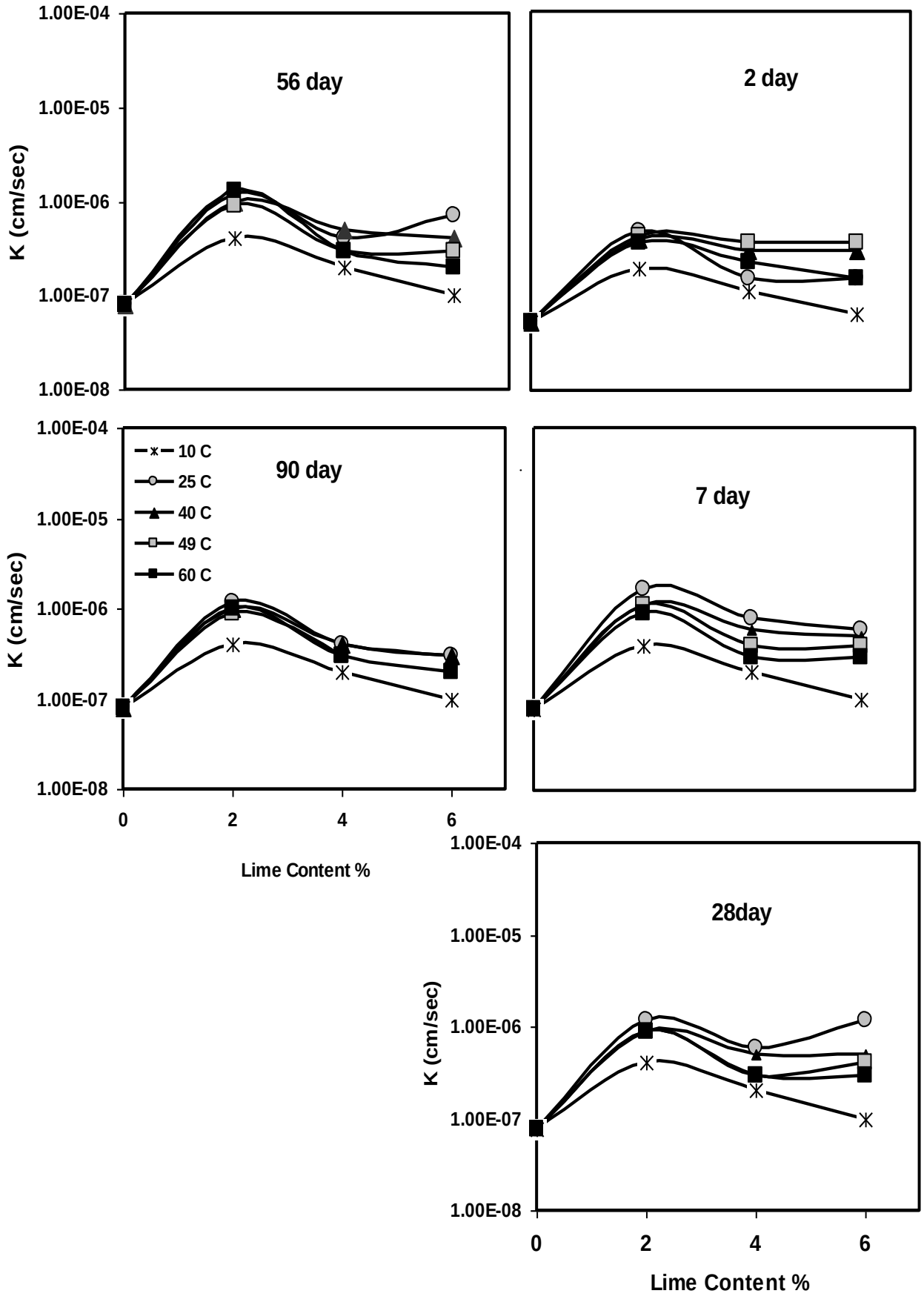


الشكل(5): العلاقة بين نسبة التغيير في مقاومة الانضغاط غير المحصور ودرجة حرارة الإنضاج لنسب مختلفة من النورة المضافة.

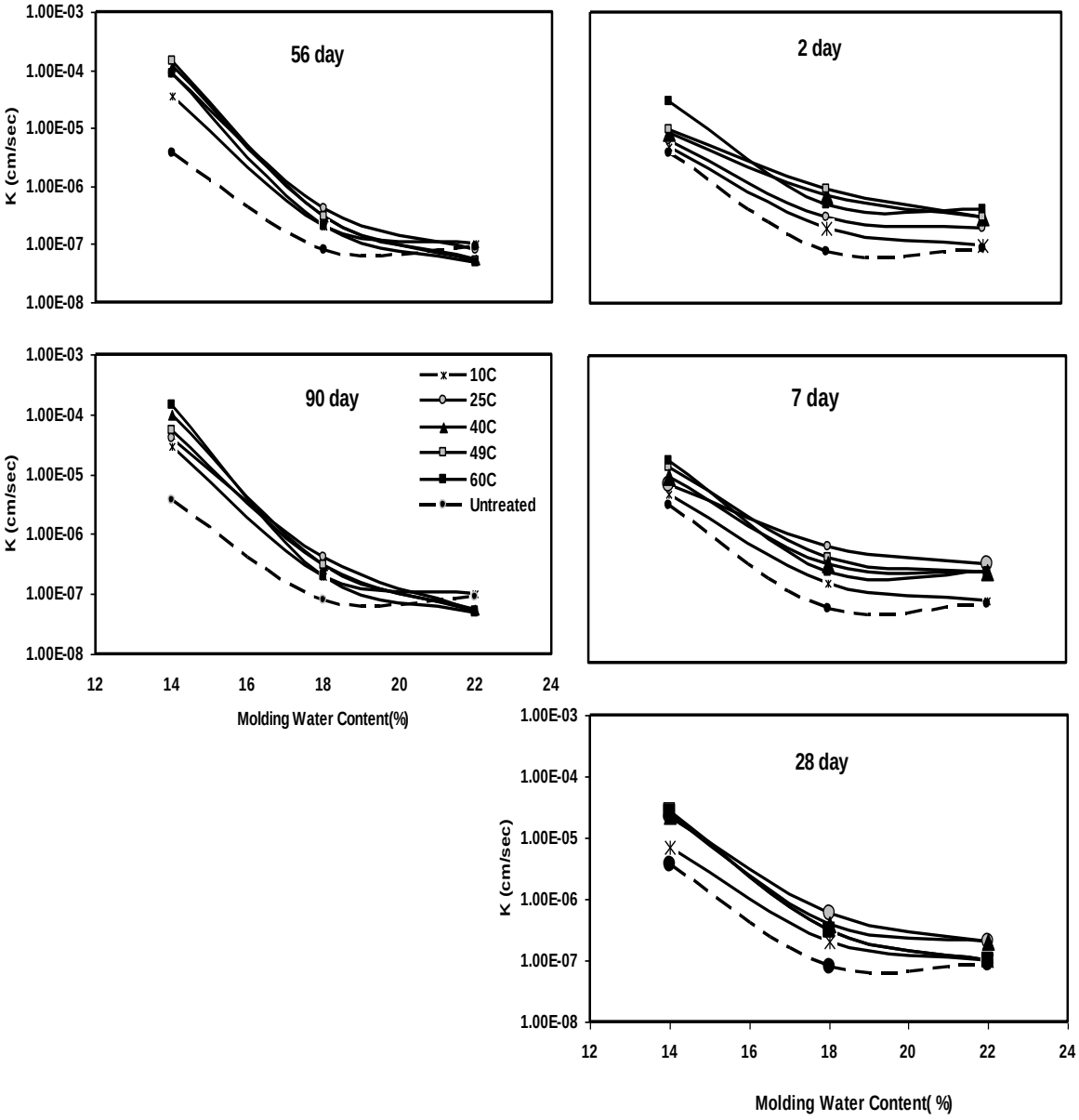


الشكل(6) : تأثير درجة الحرارة على معامل النفاذية عند فترات إنضاج ونسب نورة مختلفة.

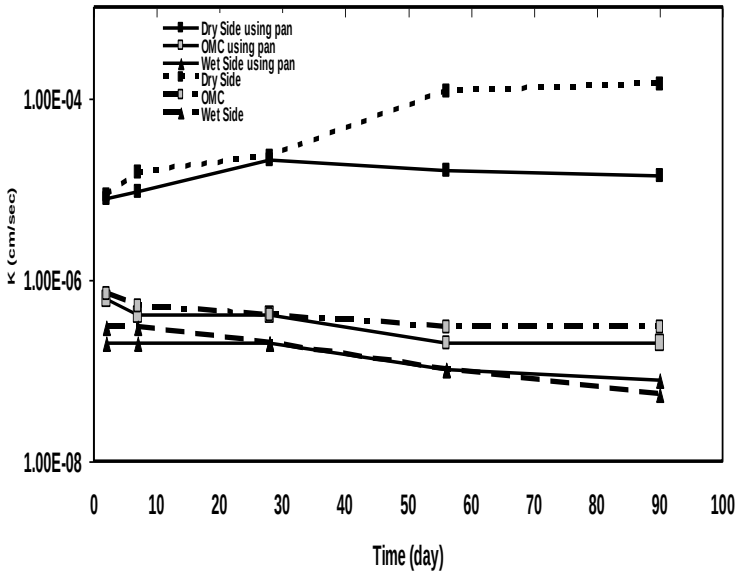
مجلة تكريت للعلوم الهندسية/المجلد 16/العدد2/حزيران 2009، (13-27)



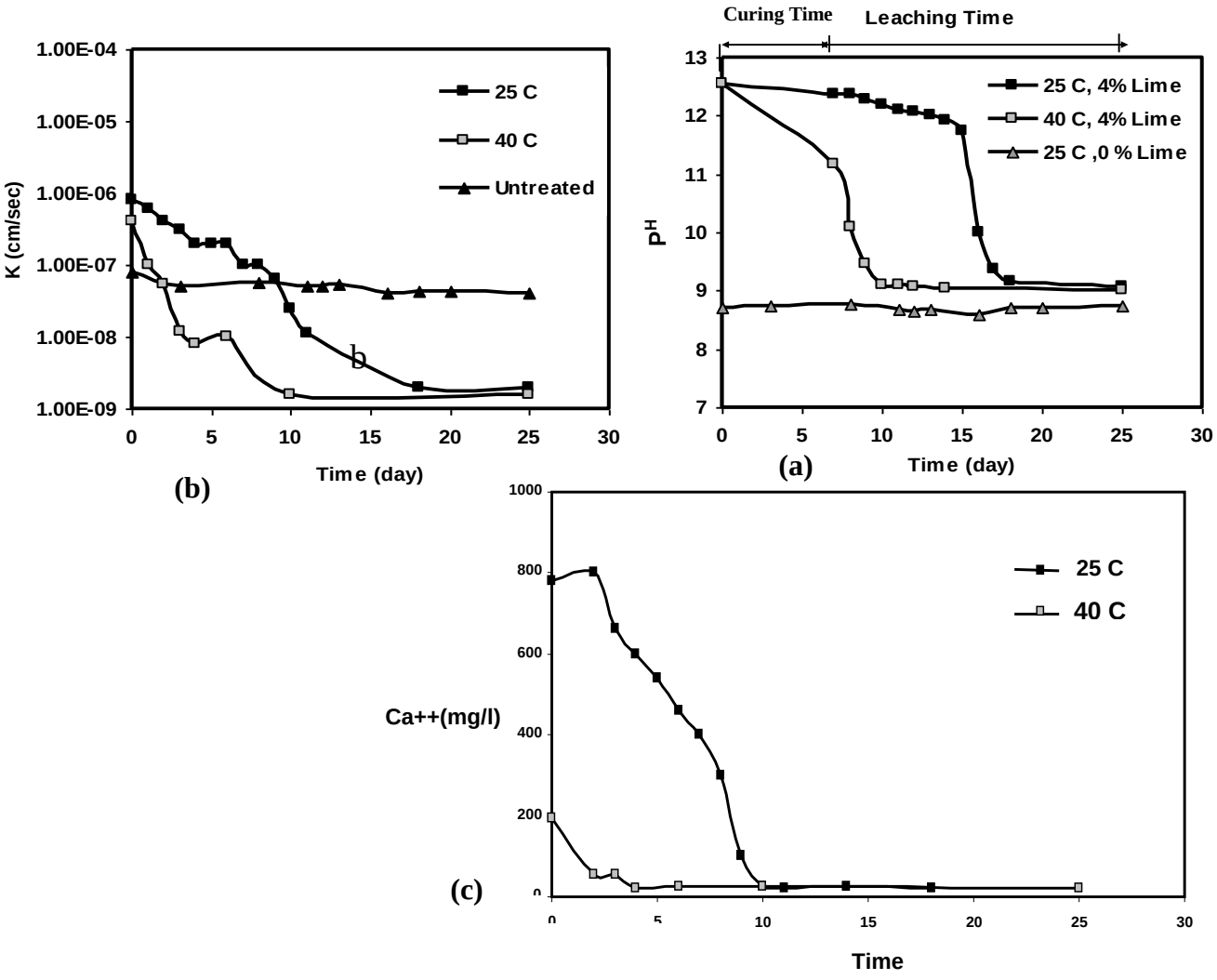
الشكل (7) : العلاقة بين معامل النفاذية ونسبة النورة المضافة في ظروف إنضاج مختلفة لنماذج مهيأة عند المحتوى الرطوبي الامثل.



الشكل (8) : تأثير المحتوى الرطوبي على معامل النفاذية
لظروف إنضاج مختلفة (درجة الحرارة ،وقت) بنسبة 4% نورة



الشكل(9) تأثير الوقت على معامل النفاذية لنماذج محدولة بنسبة 4% نورة ومحتوى رطوبة مختلفة ومعرضة لدرجة حرارة إنضاج 40^{o} .



الشكل(10) : تأثير الغسل على نفاذية وتركيز الكالسيوم ومقدار الأس الهيدروجيني للتربة الطبيعية والمعاملة بنسبة 4% نورة .

الجدول(1): الخصائص الهندسية و الدليلية للتربة الطبيعية قيد الدرس.

الخاصية (property)		القيمة
حدود اتربرك (Atterberg limit)	حد السيولة L.L.%(Liquid Limit)	50
	حد اللدونة P.L.%(Plastic Limit)	27
	دليل اللدونة P.I.%(Plasticity Index)	23
الفعالية P.I/C=(Activity)	Normal	0.57
نسبة الأملاح الذائبة الكلية(%)		1.02
نسبة الجبس(% Gypsum Content)		1.5
محتوى المواد العضوية (%)		2.3
الوزن النوعي G_s(Specific Gravity)		2.7
التحليل المنخلي Grain Size Analysis	الرمل %(Sand)	10
	الغرين%(Silt)	50
	الطين%(Clay)	40
الرص القياسي Standard Compaction	الكثافة الجافة العظمى (kN/m^3)	16.85
	محتوى الرطوبة الامثل (%)	18
تصنيف التربة Soil Classification	نظام التصنيف الموحد	CL-CH
	نظام الجمعية الأمريكية للطرق AASHTO	A-7-6 G.I.=24
تصنيف التربة حسب قابلية الانتفاخ (Swelling Potential)	بطريقة Snethen 1980	متوسط
تصنيف التربة من ناحية النفاذية Hydraulic Conductivity	بطريقة ترزاكي وبيك(1969)	قليلة النفاذية

الجدول: (2) التركيب الكيميائي للنورة المستخدمة للتثبيت

المكونات	$Ca(OH)_2$	CaO	$CaCO_3$	AL_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2	MgO	H_2O
النسبة	71.3	6.1	6.1	0.17	0.04	11.10	4.19	0.09

الجدول(3) : نتائج طريقة الأس الهيدروجيني

نورة%	2	3	4	5	6
pH	12.16	12.38	12.54	12.56	12.56