تأثير إضافة كلور الكالسيوم على سلوك التربة الغضارية

علي سليمان العبد الله
أستاذ مساعد
كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث /سوريا

الخلاصة:-

يتناول البحث دراسة سلوك التربة الغضارية المعالجة بكلور الكالسيوم . حيث تم دراسة تأثير إضافة كلور الكالسيوم على خصائص لدونة التربة . اختيرت التربة الغضارية بحيث تكون متباينة في خصائص لدونتها ، وتبين انخفاض حد سيولة التربة وقرينة اللدونة بنسبة (40%-60%) تبعاً لنوع التربة الغضارية المعالجة .

تم دراسة تأثير إضافة كلور الكالسيوم على مقاومة التربة الغضارية ، ولوحظ زيادة المقاومة حتى نسبة محددة من كلور الكالسيوم وتتبع هذه النسبة نوع التربة الغضارية , بعدها تقل المقاومة مع زيادة نسبة كلور الكالسيوم المضافة للتربة ، وتم تحديد النسبة المثالية لكلور الكالسيوم التي تعطي القيم الأعلى للمقاومات.

تم دراسة تأثير إضافة كلور الكالسيوم على خصائص الانتفاخ ، ولوحظ أن إضافة النسبة المثالية من كلور الكالسيوم يقلل من مقدار الانتفاخ النسبي للتربة بنسبة (80%-90%) وكذلك يقلل من قيمة ضغط الانتفاخ بنسبة (50%-60%) . وتم اقتراح صيغة رياضية تعطي نسبة كلور الكالسيوم المثالية التي تعالج مشكلة الانتفاخ انطلاقاً من حد سيولة التربة الغضارية المقترح معالجتها.

وتأسيساً على النتائج السابقة تم استنتاج صيغة رياضية لحساب نهوض أساس مستند على تربة غضارية منتفخة معالجة بكلور الكالسيوم .

الكلمات المفتاحية: تقوية التربة الطرية ، التربة المنتفخة ، كلور الكالسيوم ، ضغط الانتفاخ

1- المقدمة :

تتعرض المنشآت المشيدة على ترب غضارية للأضرار، لأن هذه الترب ذات مقاومة منخفضة وذات قابلية عالية للهبوط والانتفاخ و ذلك عندما تتعرض للرطوبة ، مما يسبب أضراراً كبيرةً في المنشآت الهندسية المشيدة عليها ويجعل نفقات الصيانة عالية قد تشكل 40% من إجمالي الإنفاق .

و أكثر الترب الغضارية خطورة على المنشآت المشيدة عليها هي التربة الغضارية المنتفخة التي لها انتشار واسع في أماكن مختلفة من العالم ، و تصادف في معظم المحافظات السورية و تتواجد في الكثير من الدول العربية ومنها العراق (في الموصل) . تتميز هذه التربة بأن مقاومتها للقص عالية في الحالة الجافة ، وتنخفض إلى حد كبير في الحالة الرطبة.

إن التأسيس على الترب الغضارية القابلة للانتفاخ دون إجراء تحسين لمواصفاتها سوف ينعكس سلباً على سلامة المنشآت المقامة عليها.

تم دراسة هذه الترب من حيث تكوينها وتشكيلها وسلوكها وعلاقتها بالعديد من العوامل وكيفية التعامل معها . ووضع العديد من النظريات والآليات التي تفسر سلوكها وتم إيجاد العديد من العلاقات الناظمة لهذا السلوك وتطوير أساليب مخبرية جديدة من أجل التعرف على خواصها وما تولده من آثار سلبية على المنشآت [1] ، [14] .

تلعب الطبقة الأيونية المزدوجة دور مهماً في ميكانيكية الانتفاخ وهي متوازنة كهربائياً وتتكون من طبقة أيونية موجبة الشحنة متقابلة مع طبقة أيونية سالبة الشحنة ، إذ تنجذب الأيونات الموجبة القابلة للتبادل والموجودة في ماء التربة المسامي نحو الشحنات السالبة المتواجدة على سطح ذرات الغضار [6]، [7] وتلعب هذه الطبقة دوراً مهماً في الخصائص الهندسية للتربة و منها خصائص اللدونة والانتفاخ [3] .

يعتبر تعديل التربة الغضارية المنتفخة بواسطة خليط كيميائي طريقة شائعة لتعديل ميل التربة المنتفخة للانتفاخ والانكماش [2] [8].

استخدم الكلس وعدد من المركبات الأخرى مثل الإسمنت , قشر الأرز– الرماد ، والرماد المتطاير بهدف تقوية التربة حيث أظهرت الدراسات تحسن خصائص الانتفاخ والانكماش للتربة المنتفخة وكذلك تحسن المقاومة لهذه التربة [5] [9].

اقترح باحثون استخدام كلوريد الكالسيوم بدلاً من الكلس ، لأن كلوريد الكالسيوم يتشرد إلى شحن كالسيوم طافية بسهولة أكثر من الكلس وكانت النتائج جيدة في تحسين مقاومة التربة الغضارية المعالجة و في التقليل من قابليتها للانتفاخ[12] [11] .

استخدم باحثون آخرون مركبات أخرى في معالجة الترب الغضارية المنتفخة مثل كلوريد البوتاسيوم وكلوريد الكالسيوم وكلوريد الحديد بشكل فعال بدلاً من الكلس المستخدم بشكل تقليدي ، وذلك بسبب قابليتها للذوبان في الماء و تأمين الكاتيونات الكافية للتبادل الكاتيوني وأعطى نتائج جيدة في تحسين خصائص التربة المعالجة [13] [4].

2 – منهج البحث

تم إحضار الترب التي أجري عليها التجارب من مواقع مختلفة في سوريا ، حيث روعي في اختيار الترب التنوع في خصائص اللدونة. تم تجفيف الترب ونخلها على المنخل 2 mm ومن ثم حددت الخواص الأساسية الفيزيائية و الميكانيكية وفق نظام(ASTM) و كانت النتائج كما هي مبينة في الجدول (1).

الجدول (1) الخواص الأساسية الفيزيائية والميكانيكية للترب وفق نظام (ASTM)

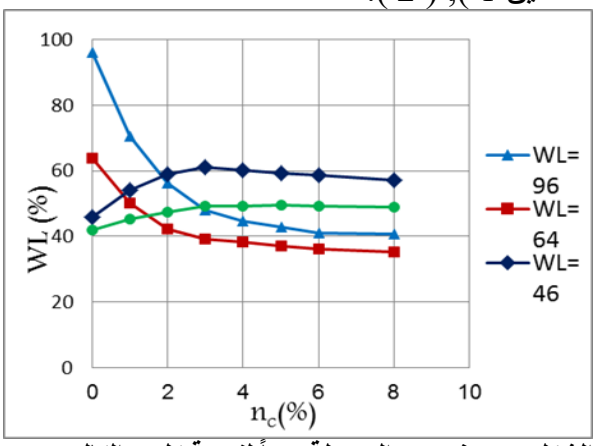
الترب المختبرة		شرقي حمص	محطة غاز الريان	مدخل حمص الجنوبي	مدخل حماه الجنوبي	شرقي مدينة حماه
رمز التربة		I	II	III	IV	V
محتوى الرطوبة البدائي	ω%	12.6	14.8	21.3	24.7	28.64
الوزن الحجمي الرطب	γb t/m3	1.87	1.89	1.93	2.05	2.08
الوزن الحجمي الجاف	γd t/m3	1.66	1.65	1.59	1.64	1.62
الوزن النوعي	G	2.66	2.68	2.74	2.83	2.85
نسبة الرمل	%	21.6	18.3	5.6	3.7	-
نسبة السيلت	%	74.9	26.7	12.7	11.8	6.9
نسبة الغضار	%	3.5	55	81.7	84.5	93.1
حد السيولة	WL%	42	46	64	96	130
حد اللدونة	WP%	26.7	24.5	28.7	38	42

دليل اللدونة	IP%	15.3	21.5	35.3	58	88
زاوية الاحتكاك الداخلي	Φ degree	27.4	25.8	14	9	5
التماسك	C kPa	33	38	47	59	62
التصنيف حسب نظام USCS		ML	CL	CH	CH	CH

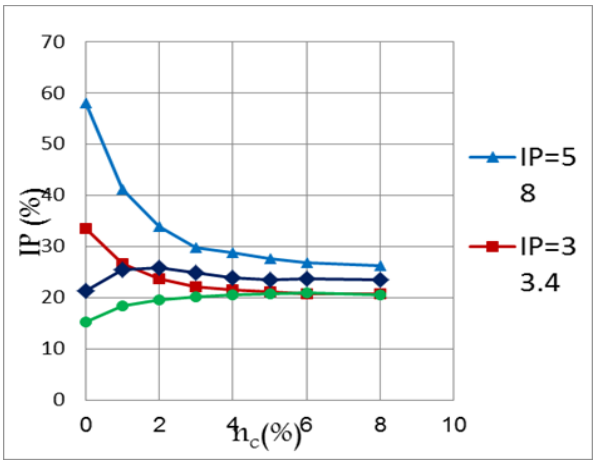
3- النتائج والمناقشة :

3-1- تأثير إضافة كلور الكالسيوم على خصائص لدونة التربة [4]

أضيف كلور الكالسيوم إلى عينات التربة المدروسة بنسب مختلفة ثم أجري عليها تجربة حدود آتربرغ وحصل على النتائج المبينة في الشكلين (1), (2).



الشكل (1) تغير حد السيولة تبعاً لنسبة كلور الكالسيوم المضافة



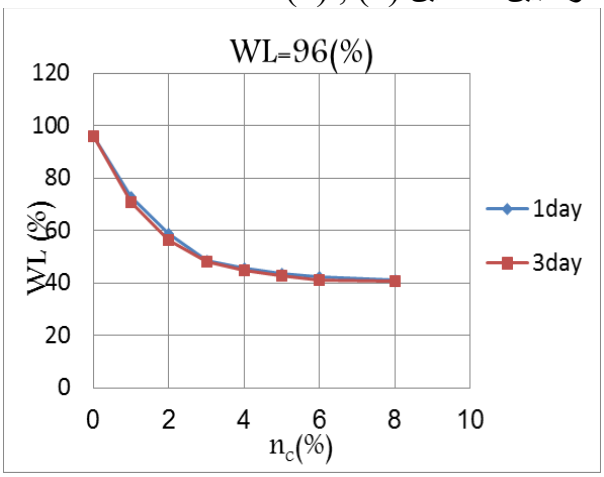
الشكل (2) تغير قرينة اللدونة تبعاً لنسبة كلور الكالسيوم المضافة

يبدو من النتائج انخفاض حد سيولة التربة الانتفاخية (تربة ذات مشاكل) وقرينة لدونتها عند إضافة كلوريد الكالسيوم ، و يعزى انخفاض حد سيولة التربة الغضارية مع زيادة نسبة كلور الكالسيوم للتبادل الشاردي حيث تقوم شوارد الكالسيوم الموجبة بإزاحة بعض الكاتيونات الأضعف منها والملتصقة بسطح ذرات الغضار بما فيها جزئيات الماء المستقطبة وهذا يؤدي إلى إنقاص سماكة طبقة المياه المزدوجة المحيطة بحبات الغضار، ومعادلة الشحنات السالبة الموجودة على السطوح وتصبح بنية الغضار أقرب إلى البنية المتندفة وتقل ميوعة التربة نتيجة إنقاص سماكة طبقة المياه المزدوجة وكذلك تقل شراهة الحبات الغضارية للماء نتيجة تعادل شحنتها بفعل شوارد الكالسيوم المضافة.

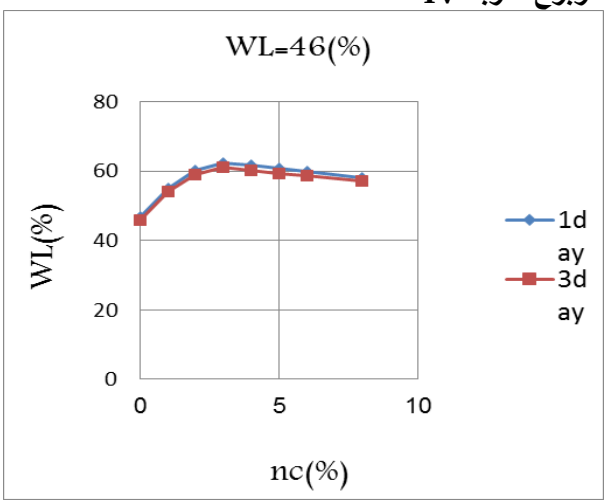
في حين تؤدي إضافة كلور الكالسيوم إلى التربة الغرينية الرملية والرملية الغرينية إلى زيادة حد سيولة التربة ،وذلك لأن شوارد الكالسيوم لا تجد في ذرات التربة شحنات مقابلة. إذ يعتمد كلور الكالسيوم على المينرالات الغضارية لتشكيل مركبات سيليكات و ألومينات الكالسيوم ولذلك سيكون استخدامه مع الترب الغرينية أوالرملية مشروطاً بتأمين مصدر للسيليكات .

وبالتالي ، لا ينصح بالمعالجة بكلور الكالسيوم من دون وجود محتوى من الغضار لمعادلة شوارد الكالسيوم ، فشوارد الكالسيوم من دون وجود ذرات غضارية تتفاعل معها تشكل مركبات ضعيفة ماصة للماء .

لإبراز تأثير الزمن بعد إضافة كلور الكالسيوم للتربة على قيم حدود آتربرغ ، تم أخذ كمية من التربة الجافة المارة من المنخل NO.40 وأضيفت النسبة المطلوبة من كلور الكالسيوم مع الخلط الجيد ، ثم تم إضافة كمية مناسبة من الماء وخلط المزيج جيداً . ترك المزيج لحين إجراء تجربة حدود آتربرغ بعد يوم و بعد ثلاثة أيام من الخلط ، وتبين أن القيم متقاربة ، مما يشير إلى أن خصائص اللدونة تستقر بعد يوم من الخلط ولا تأثير للزمن على خصائص لدونة التربة الغضارية بعد إضافة مركب كلور الكالسيوم . كما هو مبين الشكلين (3) , (4)



الشكل(3) تأثير زمن خلط كلور الكالسيوم على قيم حدود آتربرغ للتربة IV



الشكل (4) تأثير زمن خلط كلور الكالسيوم في قيم حدود آتربرغ للتربة II

2-3- دراسة تأثير كلور الكالسيوم على مقاومة التربة الغضارية

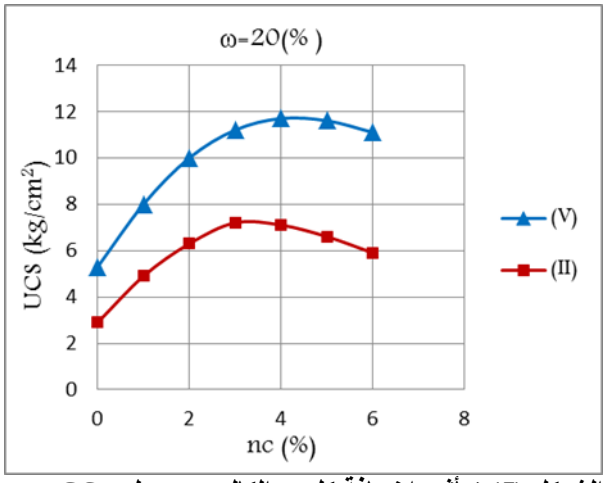
تم إجراء تجارب الضغط الحر على عينات تم تشكيلها من نوعين من الترب الغضارية هما تربة غضارية منخفضة اللدونة (II) وتربة غضارية ذات لدونة عالية (V) .

شكلت العينات بوزن حجمي جاف قيمته γd 1.55 gr/cm3= وبرطوبة ثابتة ω=20% وأضيفت للعينات قيم مختلفة من مركب كلور الكالسيوم)نسب مئوية وزنية) ، كل عينة توافق نسبة محددة من كلور الكالسيوم (nc = 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6) % ، وقد حصل على النتائج الموضحة في الشكل5(.5))

لإظهار تأثير زمن الخلط على مقاومة الضغط الحر ، تم إجراء تجربة الضغط الحر على نوعي التربة ((II، V)) . وكل تجربة توافق زمن خلط محدد ، وتم توضيح النتائج في الشكلين (7) (6).

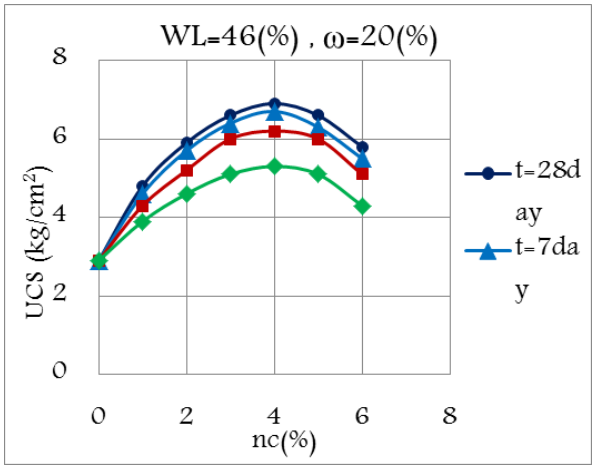
من الشكل (5) يبدو تحسن مقاومة الضغط الحر للتربة الغضارية المنخفضة اللدونة حيث ازدادت قيمة مقاومة الضغط الحر من 2.9 kg/cm2 إلى القيمة 7.2 kg/cm2عند إضافة (3%) من مركب كلور الكالسيوم بعد هذه النسبة تقل مقاومة التربة. و تحسنت مقاومة الضغط الحر للتربة عالية اللدونة من القيمة 5.3 kg/cm2 إلى القيمة 11.7 kg/cm2 عند إضافة النسبة (4%) من مركب كلور الكالسيوم بعد هذه النسبة تقل مقاومة الضغط الحر للتربة . وتفسر زيادة المقاومة عند إضافة مركب كلور الكالسيوم إلى التربة بحدوث تفاعلات كيميائية معقدة بين كلور الكالسيوم ومعادن التربة وتكون النتيجة هي

تشكل تربة جديدة تختلف مواصفاتها الفيزيائية والكيميائية عن التربة الأصلية.
فعند إضافة كلور الكالسيوم إلى التربة الغضارية المنتفخة وبعد تحقيق الرطوبة الكافية ، فإن سطح الغضار المشحون بشحنة سالبة سوف يجذب الشوارد الموجبة (++Ca) من أجل تعديل شحنته ، و بالتالي فإن شوارد الكالسيوم (++Ca) تنجذب بقوة للغضار وتزيح الشوارد الأضعف منها مثل +Na أو +H , أي أن شوارد الكالسيوم تدخل إلى التركيب الكيميائي للغضار ومن ثم يحصل تجمع لحبيبات الغضار مع بعضها ويحصل تكتل ثم تحدث تفاعلات تؤدي إلى ربط حبيبات الغضار مع بعضها بروابط تشبه الروابط الإسمنتية ، حيث تتفاعل سيليكات و ألومينات الغضار مع شوارد الكالسيوم وتكون النتيجة تشكل سيليكات الكالسيوم المائية ، و ألومينات الكالسيوم المائية وهذه المركبات هي مواد متبلورة قاسية لا تنحل بالماء وتؤدي إلى ربط جزيئات التربة الغضارية مع بعضها.

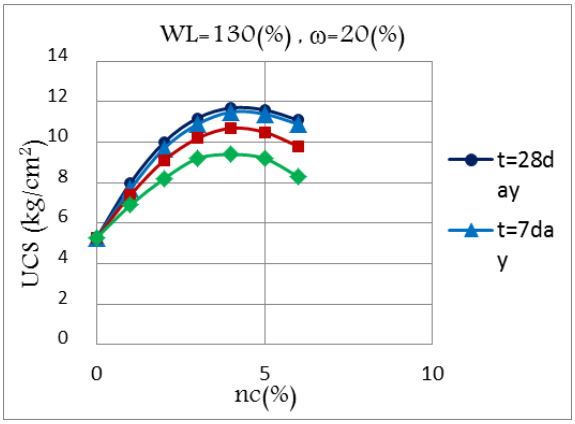


الشكل (5) تأثير إضافة كلور الكالسيوم على UCS للترب II , V

يعزى انخفاض المقاومة بعد زيادة نسبة كلور الكالسيوم عن نسبة محددة لأن شوارد الكالسيوم الزائدة التي لا تجد ذرات غضارية تنجذب إليها قد تتفاعل مع غاز ثاني أوكسيد الكربون الموجود في الهواء وتتحول إلى راسب هو كربونات الكالسيوم (الكربنة) ، وهذه الرواسب تضعف من مقاومة التربة .
في حين توضح الأشكال (6), (7) تأثير زمن الخلط على المقاومة حيث يبدو في كلا نوعي التربة أن المقاومة تتحسن حتى زمن سبعة أيام بعد ذلك يكون التحسن طفيفاً .



الشكل (6) تأثير إضافة كلور الكالسيوم على UCS للتربة II مع الزمن



الشكل (7) تأثير إضافة كلور الكالسيوم على UCS للتربة V مع الزمن

3-3– تأثير كلور الكالسيوم على خصائص الانتفاخ للترب الغضارية (11] (III,IV,V [
لإظهار تأثير إضافة كلور الكالسيوم على سلوك التربة الغضارية المنتفخة تم إجراء تجارب الانتفاخ الحر في أجهزة التشديد على ثلاثة أنواع من الترب الغضارية المنتفخة ، التربة (III) وهي متوسطة الانتفاخ WL=64% ، و التربة (IV) ذات قابلية أكبر للانتفاخ WL=96% ، و التربة (V) ذات قابلية عالية للانتفاخ حيث WL=130%.

تم تشكيل جميع العينات برطوبة أولية مقدارها (20%) و بكثافة جافة مقدارها (1.55 t/m3) وأضيفت النسبة المحددة من كلور الكالسيوم، تم ترك العينات المشكلة لمدة سبعة أيام قبل أن توضع في جهاز التشديد وتشبع بالماء . الشكل (8) يوضح تغير الانتفاخ النسبي الحر للترب الثلاثة المتباينة في خصائص اللدونة.
و يبدو من المنحنيات الواردة في الشكلين (8) و(9) أن قيم تشوهات الانتفاخ النسبي الحر لعينات التربة المضاف إليها نسبة محددة من كلور الكالسيوم تقل كلما زادت نسبة كلور الكالسيوم المضافة إلى التربة ، وذلك لتفاعل سيليكات و ألومينات الغضار مع شوارد الكالسيوم ، و تشكل سيليكات الكالسيوم المائية و ألومينات الكالسيوم المائية وهذه المركبات هي مواد متبلورة قاسية لا تنحل بالماء وتؤدي إلى ربط جزيئات التربة الغضارية مع بعضها وتعيق انتفاخ التربة، وبعد النسبة (5%) لا تبدو الزيادة في إضافة كلور الكالسيوم ذات جدوى لأن شوارد الكالسيوم لا تجد ذرات غضار تنجذب لها لتعادلها, ويمكن الاستنتاج أن إضافة كلور الكالسيوم للتربة الغضارية المنتفخة يفيد في معالجة الانتفاخ المتوقع وأن النسبة المثالية من كلور الكالسيوم ترتبط بحد سيولة التربة الغضارية ونسبة الغضار في التربة ، وتزداد هذه النسبة كلما ازدادت قيمة حد سيولة التربة وازدادت نسبة الغضار القابل للانتفاخ في التربة.

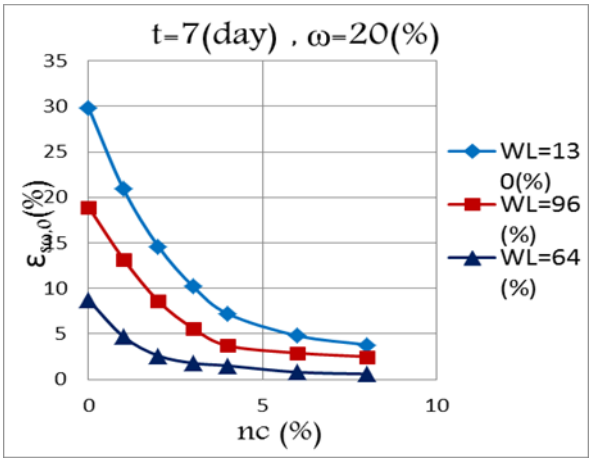
المنحنيات الواردة في الشكل (8) تعبر عن تغير تشوهات الانتفاخ النسبي الحر تبعاً لنسبة كلور الكالسيوم المضافة للتربة و يمكن التعبير عن هذا التغير بالصيغة الرياضية الآتية [10]

$$\varepsilon_{sw,c} = \varepsilon_{sw,o} * \left(1 - \frac{nc}{H}\right)^{\alpha} \quad \cdots\cdots(1)$$

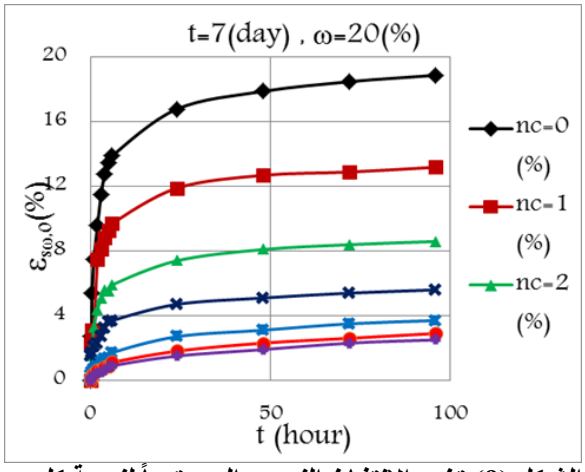
حيث :

$\varepsilon_{sw,c}$ الانتفاخ النسبي الحر الموافق لنسبة كلور كالسيوم nc % .

$\varepsilon_{sw,o}$ الانتفاخ النسبي الحر الموافق لنسبة كلور كالسيوم nc = 0% .



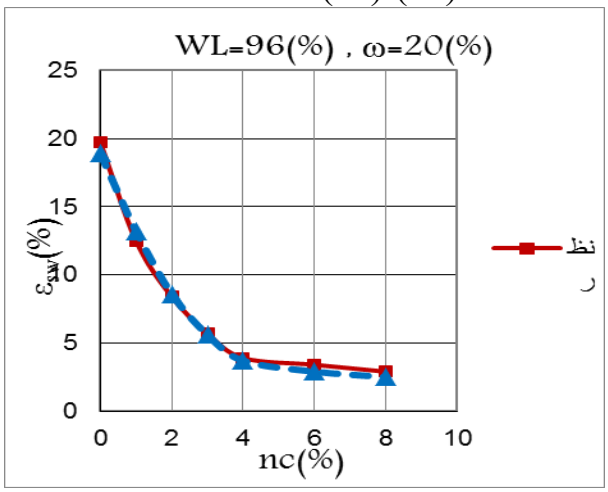
الشكل (8) تغير تشوهات الانتفاخ تبعاً لنسبة كلور الكالسيوم و لنوع التربة



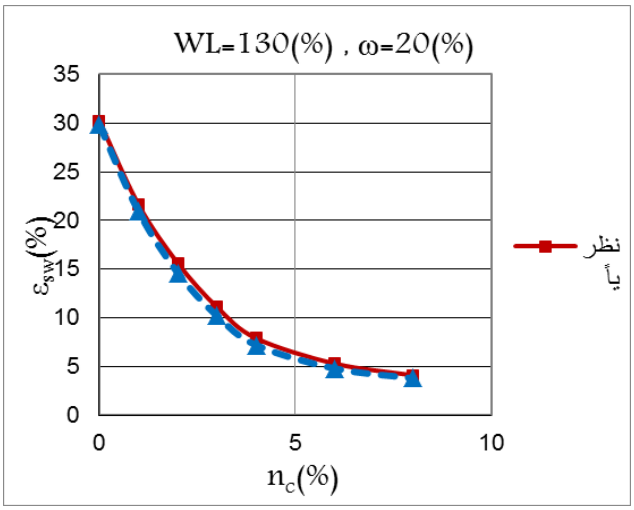
الشكل (9) تغير الانتفاخ النسبي الحر تبعاً لنسبة كلور الكالسيوم للتربة V

بالمعالجة الرياضية للعلاقة (1) عن طريق رسم النتائج المخبرية في جملة إحداثيات لوغاريتمية ينتج أن قيمة الثابت H=2.8 و ميل المستقيمات المتوازية يمثل قيمة الثابت α الذي تتغير قيمته تبعاً لنوع التربة الغضارية وتتراوح قيمه ما بين (0.4 – 0.65) .

للتأكد من صحة العلاقة المقترحة تم رسم المنحني المحسوب من العلاقة السابقة والمنحني المأخوذ من النتائج المخبرية لكل تربة من الترب المدروسة , وكانت القيم متقاربة مما يعطي موثوقية للعلاقة (1) ، و النتائج موضحة في الأشكال (10)،(11).



الشكل (10) مقارنة بين القيم النظرية المأخوذة من العلاقة (1) و القيم المخبرية للتربة IV

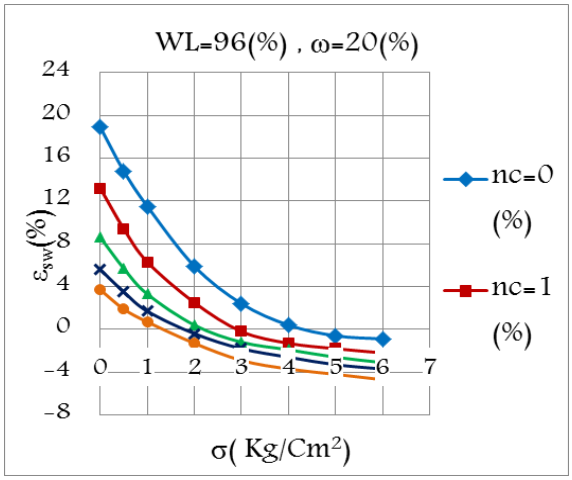


الشكل (11) مقارنة بين القيم النظرية المأخوذة من العلاقة (1) و القيم المخبرية للتربة V

3-4– تغير تشوهات الانتفاخ مع الإجهاد المطبق على التربة المعالجة بكلور الكالسيوم

لإظهار تغير تشوهات الانتفاخ للتربة التي أضيف لها كلور الكالسيوم مع تغير الإجهادات المطبقة تم إجراء التجارب على التربة (IV) حيث WL=96% .

تم تشكيل جميع عينات التربة برطوبة أولية مقدارها (20%) و بوزن حجمي جاف مقداره (1.55 t/m3) وأضيفت النسبة المحددة من كلور الكالسيوم ، تم حفظ العينات لمدة سبعة أيام قبل أن توضع في جهاز التشديد وتشبع بالماء وبعد استقرار تشوهات الانتفاخ طبقت حمولات متدرجة . وكانت النتائج كما هي موضحة في الشكل (12) .



الشكل (12) تغير تشوهات الانتفاخ مع الإجهاد المطبق على التربة IV

يمكن التعبير عن العلاقة بين تشوهات الانتفاخ والإجهاد المطبق للتربة المعالجة بمركب كلور الكالسيوم وفق الصيغة التي اقترحها مصطفايف كما يلي [10] .

$$\varepsilon_{sw,c} = \varepsilon_{sw,o}\left(1-\frac{\sigma}{\sigma_{sw}}\right)^{\Psi} \quad \cdots\cdots(2)$$

حيث :

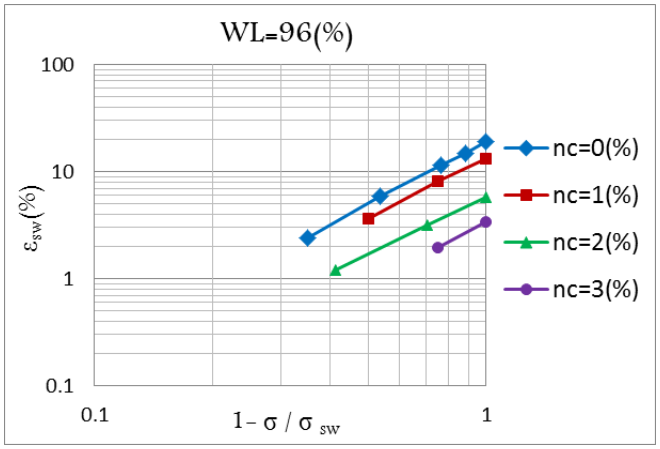
$\varepsilon_{sw,c}$: تشوه الانتفاخ النسبي الموافق لإجهاد مطبق قيمته σ .

$\varepsilon_{sw,0}$: تشوه الانتفاخ النسبي الحر الموافق لنسبة من كلور الكالسيوم $nc=0\%$.

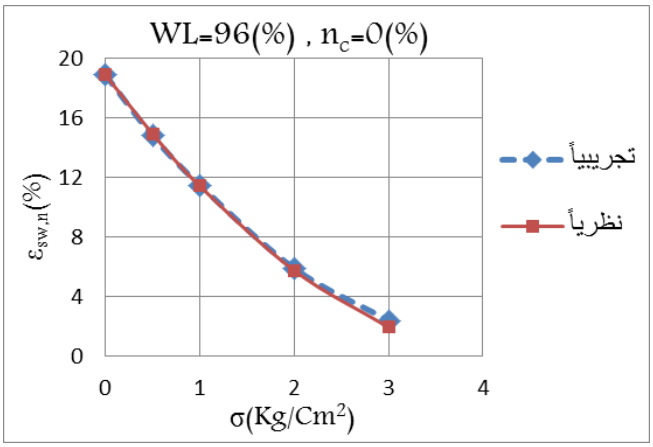
σ_{sw} : ضغط الانتفاخ الموافق لنسبة محددة من كلور كالسيوم nc .

نعالج النتائج رياضياً فنجد أن قيمة Ψ تمثل ميل المستقيمات المتوازية كما هو مبين في الشكل (13) ، و ذلك برسم النتائج المخبرية في جملة إحداثيات لوغاريتمية ، وتبين أن قيمة Ψ تساوي 1.8 .

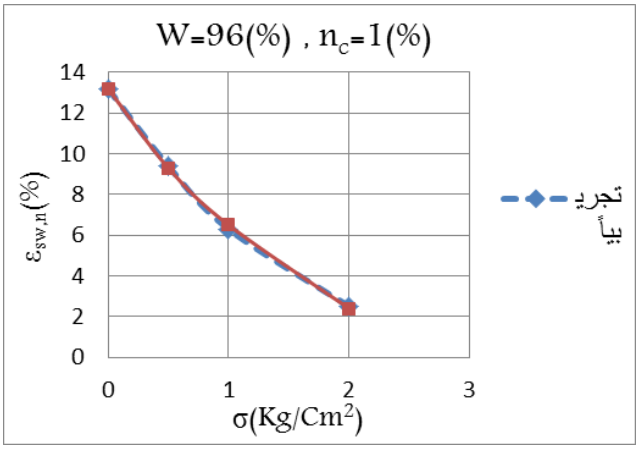
وللتحقق من صحة استخدام العلاقة السابقة تم إجراء مقارنة بين القيم المخبرية والنظرية حيث لوحظ تقارباً كبيراً بينهما مما يؤكد موثوقية العلاقة (2) المقترحة كما هو مبين في الشكلين (14),(15) للترب التي أجري عليها التجارب والتي تم اختيارها بحيث تكون متفاوتة في قابليتها للانتفاخ وشملت ثلاثة أنواع من الترب الغضارية المنتفخة ، التربة (III) وهي متوسطة الانتفاخ $WL=64\%$ ، و التربة (IV) ذات قابلية أكبر للانتفاخ $WL=96\%$ ، و التربة (V) ذات قابلية عالية للانتفاخ $WL=130\%$.



الشكل (13) تحديد قيمة الثابت Ψ



الشكل (14) مقارنة القيم النظرية مع القيم المخبرية لإثبات صحة العلاقة (2)



الشكل (15) مقارنة القيم النظرية مع القيم المخبرية لإثبات صحة العلاقة (2)

3-5- تغير ضغط الانتفاخ تبعاً لنسبة كلور الكالسيوم المضافة للتربة الغضارية المنتفخة

تبين من خلال التجارب أن ضغط الانتفاخ يتناقص بزيادة نسبة كلور الكالسيوم ويمكن أن نعبر عن هذه العلاقة بالصيغة الرياضية الآتية :

$$\sigma_{sw,n_c} = \sigma_{sw,o}\left(1+n_c\right)^m \quad \cdots\cdots(3)$$

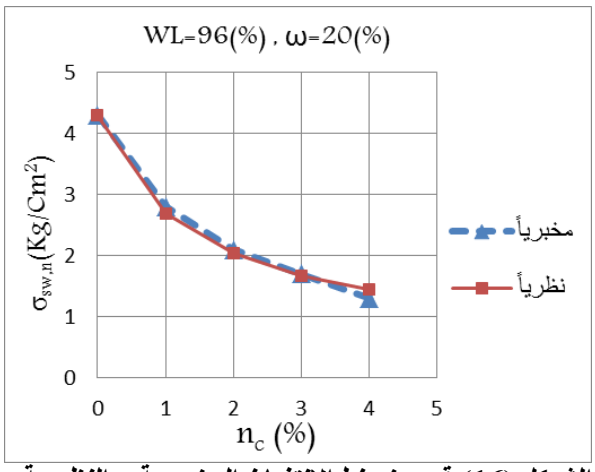
حيث :

$\sigma_{sw,nc}$ ضغط الانتفاخ الموافق لنسبة محددة من كلور الكالسيوم nc .

$\sigma_{sw,o}$ ضغط الانتفاخ الموافق لنسبة nc = 0 من كلور الكالسيوم .

بالمعالجة الرياضية للعلاقة (3) لتحديد قيمة m والتي تمثل ميل المستقيمات المرسومة في جملة إحداثيات لوغاريتمية تبين أن m = - 0.65 .

للتحقق من صحة العلاقة تم مقارنة قيم ضغط الانتفاخ المحسوب من التجربة وقيم ضغط الانتفاخ المحسوب من الصيغة (3) وقد وجد تقارباً بينهما مما يعطي موثوقية للعلاقة المقترحة كما هو موضح في الشكل (16) .



الشكل (16) قيم ضغط الانتفاخ المخبرية و النظرية المأخوذة من العلاقة (3) تبعاً لنسبة كلور الكالسيوم

3-6-تأثير الإجهاد المطبق و نسبة كلور الكالسيوم على تشوهات الانتفاخ

إن تشوهات الانتفاخ (ε_{sw}) للتربة الغضارية المنتفخة المعالجة بإضافة كلور الكالسيوم تتعلق بالضغط الخارجي المطبق وبالتحديد النسبة (σ/σ_{sw}) ، و بنسبة كلور الكالسيوم المضافة إلى التربة .

$$\varepsilon_{sw} = f\left(\sigma , nc\right)$$

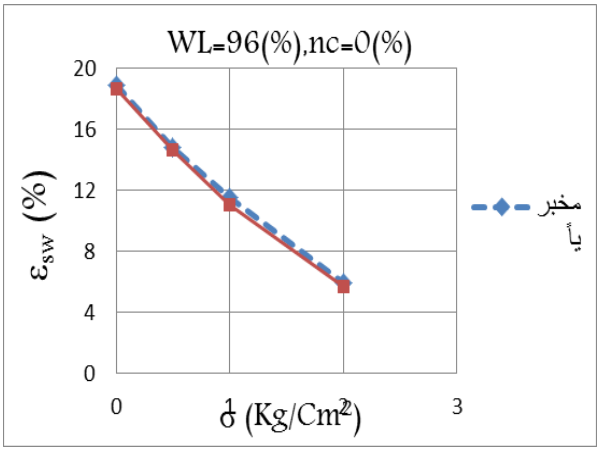
وباعتبار أن توابع هذه العلاقة حددت سابقاً انطلاقاً من المعطيات التجريبية بالصيغ (1) , (2) فإن العلاقة يمكن أن تكتب كما يلي :

$$\varepsilon_{sw} = \varepsilon_{sw,o}\left(1-\frac{nc}{H}\right)^{\alpha}\cdot\left(1-\frac{\sigma}{\sigma_{sw}}\right)^{\psi} \quad \cdots(4)$$

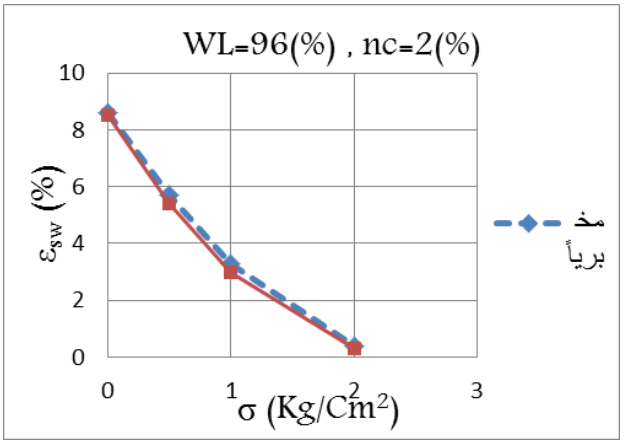
إن مجال تطبيق العلاقة (4) هو المجال ($\sigma/\sigma_{sw} < 1$) أما في الحالات التي يكون بها ($\sigma/\sigma_{sw} \geq 1$) فإن الإجهاد المطبق لا يسمح بنهوض الأساس (الانتفاخ في التربة).

بالمقارنة بين نتائج القيم المخبرية والقيم النظرية المحسوبة من العلاقة (4) من أجل الترب المدروسة ،

لوحظ تقارباً بين القيم المخبرية والقيم النظرية كما هو مبين في الأشكال (17)، (18) مما يؤكد صحة العلاقة المقترحة وهذه العلاقة تعتبر مناسبة للترب التي أجريت عليها التجارب والتي اختيرت أن تكون متفاوتة في قابليتها للانتفاخ وشملت ثلاثة أنواع من الترب الغضارية المنتفخة ، التربة (III) وهي متوسطة الانتفاخ WL=64% ، والتربة (IV) ذات قابلية أكبر للانتفاخ WL=96% ، و التربة (V) ذات قابلية عالية للانتفاخ WL=130%.



الشكل (17) مقارنة بين نتائج القيم المخبرية و القيم النظرية المحسوبة من العلاقة (4)



الشكل (18) مقارنة بين نتائج القيم المخبرية و القيم النظرية المحسوبة من العلاقة (4)

4 - تحديد نسبة كلور الكالسيوم المثالية

تم تحديد نسبة كلور الكالسيوم المثالية التي تعالج ظاهرة تشوهات الانتفاخ في الترب الغضارية حسب التصنيف الأمريكي Poormoayed ,O. Nell. ، حيث تكون التربة ضعيفة الانتفاخ إذا كان حد السيولة أقل من (50%).

الجدول (2) يبين القيم المثالية لنسب مركب كلور الكالسيوم التي تعالج مشكلة الانتفاخ تبعاً لحد سيولة التربة الغضارية المنتفخة. و الشكل (19) يوضح العلاقة بين نسب كلور الكالسيوم المثالية وحد السيولة .

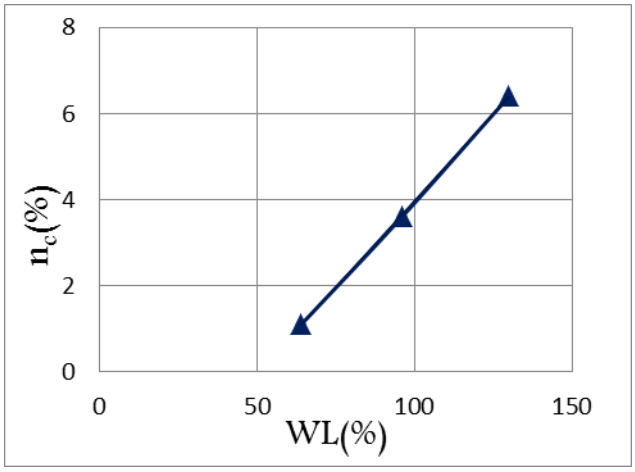
يمكن أن نعبر عن العلاقة بين حد سيولة التربة الغضارية ونسبة كلور الكالسيوم التي تحول التربة إلى تربة ضعيفة الانتفاخ بالصيغة التالية:

$$nc`\% = \beta\,(WL-50) \quad \ldots\ldots \quad (5)$$

بالمعالجة الرياضية للعلاقة (5) نجد $\beta=0.08$.

الجدول (2) نسب كلور الكالسيوم المثالية تبعاً لحد سيولة التربة الغضارية المنتفخة

حد السيولة WL(%)	64	96	130
نسبة كلور الكالسيوم المثالية nc′%	1.35	4.7	7.9



الشكل (19) العلاقة بين نسبة كلور الكالسيوم المثالية وحد سيولة التربة

5 - حساب نهوض أساس يرتكز على تربة غضارية منتفخة معالجة بكلور الكالسيوم

5–1- تحديد سماكة الطبقة المنتفخة تحت قاعدة الأساس (حسب مصطفايف) [10]

نبين هنا الطريقة البيانية المقترحة من قبل Prof. Mustafaev.A.A لتحديد سماكة الطبقة المنتفخة والمعتمدة في الكود الروسي (SNEP) وتتلخص هذه الطريقة بما يلي :

نحدد مجموع الإجهادات الكلية $\sigma_{Z,tot}$ المؤثرة تحت قاعدة الأساس و المساوية :

$$\sigma_{Z,tot} = \sigma_{Z,P} + \sigma_{Z.g} + \sigma_{Z,ad} \cdots (6)$$

حيث :

$\sigma_{Z,P}$ الإجهاد الشاقولي الناتج عن الحمولة الإضافية (حمولة الأساس) و يمثله المنحني (2 – 1) بمقياس معين كما في الشكل (20) .

$\sigma_{Z,g}$: الإجهاد الشاقولي الناتج عن الوزن الذاتي للتربة و نمثله بالمستقيم (4– 3) على المخطط السابق نفسه .

$\sigma_{Z,ad}$: إجهاد شاقولي إضافي ناتج عن تأثير وزن التربة غير المرطبة الواقعة خلف المساحة المرطبة وهذا الإجهاد يفيد في التقليل من مقدار انتفاخ التربة من خلال إعاقة التربة غير المرطبة لانتفاخ التربة التي تم ترطيبها ويمثل على المخطط السابق وبالمقياس نفسه بالخط (6 – 5) .

و يتحدد كما يلي:

$$\sigma_{Z,ad} = m_H . \gamma . (D_f + Z) \cdots\cdots (7)$$

D_f : عمق التأسيس .

m_H : عامل يتحدد من الجدول (3) والوارد في (SNEP 2.02.01-83) , وتتعلق قيمة mH بأبعاد المنطقة المرطبة من التربة الغضارية المنتفخة وبعمق طبقة التربة الغضارية التي يتم حساب مقدار انتفاخها .

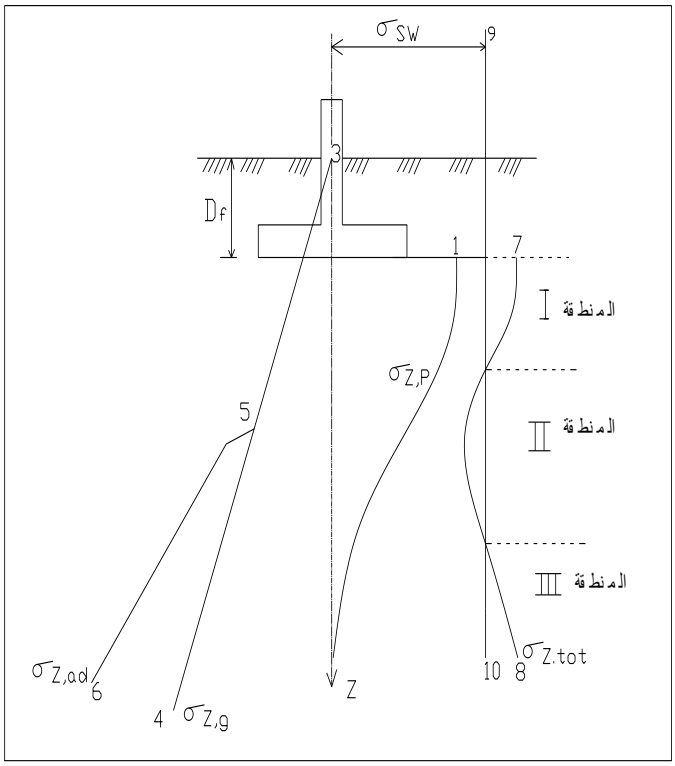
و بالتالي يمكن الحصول على مخطط توزع الإجهادات الكلية $\sigma_{Z,tot}$ الذي نقوم بتمثيله على المخطط السابق و بالمقياس نفسه و ذلك بالمنحني 7) – 8) .

اعتماداً على نتائج التجارب المخبرية التي تحدد ضغط الانتفاخ σ_{Sw} يتم تمثيله بالخط الشاقولي – 9 (10) والذي يبعد عن المحور OZ بمقدار σ_{Sw} فيتقاطع مع منحني الإجهادات الكلية (بالحالة العامة) بنقطتين تحددان ثلاث مناطق :

المنطقة - I - يكون فيها $\sigma_{Sw} > \sigma_{Z,tot}$ حيث يكون تشوه التربة بشكل هبوط نتيجة الإجهادات الضاغطة بها .

المنطقة - II - يكون فيها $\sigma_{Sw} < \sigma_{Z,tot}$ يحدث بها انتفاخ نتيجة ضغط الانتفاخ المؤثر الذي يعمل على رفع الطبقة الأولى و الأساس وتدعى هذه الطبقة بالطبقة المنتفخة و سماكتها هي سماكة الطبقة المنتفخة .

المنطقة - III - يكون فيها $\sigma_{Z,tot} > \sigma_{Sw}$ وتكون خاضعة بشكل رئيسي إلى إجهادات ضاغطة من تأثير الوزن الذاتي للتربة فقط لأن الإجهادات المنقولة من الأساس تقل جداً أو تنعدم في حدود المجال III.



الشكل (20) تحديد مناطق الانتفاخ بيانياً

الجدول (3) تحديد العامل mH

$\frac{Df+Z}{Bw}$	العامل mH عند نسبة طول إلى عرض المساحة المرطبةLw/Bw				
	1	2	3	4	5
0.5	0	0	0	0	0
1	0.58	0.5	0.43	0.36	0.29
2	0.81	0.7	0.61	0.5	0.4
3	0.94	0.82	0.71	0.59	0.47
4	1.02	0.89	0.77	0.64	0.53

5	1.07	0.94	0.82	0.69	0.77

5 -2 - حساب نهوض أساس منفذ على تربة منتفخة

يمكن حساب نهوض أساس منفذ على تربة غضارية منتفخة بإجراء التكامل للعلاقة الآتية:

$$h_{sw} = \int_{h_1}^{h_2} \varepsilon_{sw}.dz \cdots\cdots (8)$$

حيث :

h_1 : الحد العلوي للطبقة المنتفخة.

h_2 : الحد السفلي لهذه الطبقة.

و قد وجدنا في العلاقة (4) أن قيمة ε_{sw} تعطى بالصيغة الآتية :

$$\varepsilon_{sw} = \varepsilon_{sw,o}\left(1-\frac{nc}{H}\right)^{\alpha}\cdot\left(1-\frac{\sigma}{\sigma_{sw}}\right)^{\psi}$$

و بالتالي :

$$h_{sw} = \varepsilon_{sw}(h_2 - h_1) \cdots\cdots (9)$$

6- الاستنتاجات

1- خلط التربة الغضارية بكلور الكالسيوم أدى إلى انخفاض مهم في حد سيولة التربة الغضارية ذات التصنيف (CH) وتراوحت نسبة الانخفاض ما بين (40-60)% تبعاً لنوع التربة الغضارية المعالجة , في حين إضافة كلور الكالسيوم إلى التربة التي تصنيفها (CL) أدى إلى زيادة حد سيولتها وهذا الأمر مرتبط بنوع الفلز الغضاري الموجود في التربة الغضارية .

2 - إضافة كلور الكالسيوم للتربة الغضارية المنتفخة يؤدي إلى تحسن في مقاومة الضغط الحر والتحسن يكون أكبر بزيادة حد سيولة التربة الغضارية.

3 - تقل تشوهات الانتفاخ وضغط الانتفاخ بزيادة نسبة كلور الكالسيوم المضافة إلى التربة الغضارية المنتفخة وبزيادة حد سيولة التربة الغضارية تزداد نسبة كلور الكالسيوم المناسبة لمعالجة تشوهات الانتفاخ وبلغ الانخفاض في قيمة الانتفاخ %(50-60) .

4- ليس بالضرورة أن تكون نسبة كلور الكالسيوم اللازمة لمعالجة التربة الغضارية من مشاكل الانتفاخ هي نفسها النسبة التي تؤدي لإعطاء مقاومة عالية ، وبالتالي فإن نسبة كلور الكالسيوم المناسبة لمعالجة التربة الغضارية ترتبط بالغرض من المعالجة .

5 - استنتاج صيغة رياضية توصف العلاقة بين الانتفاخ النسبي الحر للتربة ونسبة كلور الكالسيوم المضافة للتربة .

6 - بالاستفادة من علاقة مصطفايف تم التوصل لصيغة رياضية تعطي قيمة تشوهات الانتفاخ للتربة المعالجة بمركب كلور الكالسيوم تبعاً لقيمة الإجهاد المؤثر .

7 - استنتاج علاقة رياضية لحساب نسبة كلور الكالسيوم المثالية التي تحول التربة الغضارية المنتفخة إلى تربة غير منتفخة , انطلاقاً من قيمة حد سيولة التربة الغضارية المطلوب معالجتها

8 - استنتاج علاقة رياضية لحساب مقدار نهوض أساس يرتكز على تربة غضارية منتفخة معالجة بكلور الكالسيوم بمعرفة ضغط الانتفاخ البدائي و

الانتفاخ النسبي البدائي عند أي نسبة مضافة من كلور الكالسيوم إلى التربة .

9- الصيغ التي تم استنتاجها تعتبر مناسبة للترب الغضارية التي تم إجراء التجارب عليها والتي اختيرت أن تكون متفاوتة في قابليتها للانتفاخ وشملت ثلاثة أنواع من الترب الغضارية المنتفخة ، التربة (III) وهي متوسطة الانتفاخ WL=64% ، والتربة (IV) ذات قابلية أكبر للانتفاخ WL=96% ، و التربة (V) ذات قابلية عالية للانتفاخ WL=130%.

7- References :

1- Al-Dabbagh, A. W. (2000), "Study of Expansive Behavior of Clay Using Soil Suction as Applied to Wahda District Soil in Mosul Area", M.Sc. Thesis, Civil Engineering Department, University of Mosul, Iraq .

2- Bell, F.G. (1993). "Engg. Treatment of Soils", E&FN Spon Pub. Co.

3- Guan, Y. (1996), "The Measurement of Soil Suction", Ph.D Thesis, Department of Civil Engineering, University of askatchewan ,Saskatoon, Canada.

4- Hausmann, M.R. (1990). "Engg . Principles of Ground Modification", Mc Graw Hill Book Co., New Delhi.

5- Holtz, W.G. (1969). "Volume Change in Expansive Clay Soils and Control by lime Treatment". Proc. of 2nd Int. Research and Engg. Conf on expansive clayey soils, Texas A & M Press, Texas, pp. 157-174.

6- Lambe, T. W. & Whiteman, R. V. (1979), "Soil Mechanics", John Wily & Sons, Inc., New York.

7-.Mitchell, J. K. (1967), "Fundamental of Soil Behavior", John Wiley & Sons, Inc., New York. 133.

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

9- Mitchell, J.K. and Radd, L. (1973). "Control of Volume Changes in Expansive Earth Materials", Proc.of workshop on expansive clays and shales in highway design and construction, Federal Highway Administration, Washington, D.C., pp. 200-217.

10- Mustafaev.A.A. Foundations in collapsing and Expansive Soils Higher School Moscow (1989).

11- Petry, T.M. and Armstrong, J.C. (1989), "Stabilization of Expansive Clay Soils", TRR-1219, TRB,pp. 103-112.

12- Prasada Raju, G.V.R. (2001). "Evaluation of flexible pavement performance with reinforced and chemical stabilization of expansive soil sub grades". A Ph.D Thesis submitted to Kakatiya University, Warangal, (A.P.).

13-Sivanna,G.S. et al. (1976). "Strength and consolidation characteristics of black cotton soil with chemical additives – CaCl2 & KOH", report prepared by Karnataka Engg. Researchs.

14- Snethen, D. R. (1975), "A Review of Engineering Experiences with Expansive Soils in Highway Subgrades", Report No. FHWA-RD-75- 48.

The Effect of Adding Calcium Chloride On The Behavior Of Clayey Soils

Ali Sleman Al Abdullah
Asst. Prof
Faculty of Civil Engineering
Al Baath University Syria

Abstract:

In this research the effect of adding calcium chloride on the behavior of clay soil plasticity. Different soils with different plasticity were studied and the results showed decreasing in liquid limits and plasticity index by 40 to 60% .

The effect of calcium chloride on the strength of the clay soils was investigated as well . The results show an increase in the unconfined compressive strength depending on the kind of clay soil and the percentage of calcium chloride. Beyond a certain value the strength decreases. The optimum percentage of calcium chloride was determined for maximum strength.

the effect of adding calcium chloride on the swelling properties of the clay soils were studied . The results showed that adding the optimum calcium chloride reduces the the swelling strain by 80 to 90%, and reduces the swelling pressure by 50 to 60%.

A mathematical formula was proposed to give the optimum percentage of calcium chloride for swilling depending on the liquid limit of the soil.

From the previous result a Mathematical formula was introduced to give the heaving of a footing on a clay soil treated with calcium chloride.

Key Words: Strengthening soft soil , swelling soil , calcium chloride , swelling pressure.