

تأثير إضافة البوزولانا الطبيعية و الكلس على تحسين مواصفات المتانة (CBR) للتربة الغضارية لاستخدامها في الطابق الترابي لأعمال الطرق

الدكتور طلال عواد*

أيمن المذيب**

(تاريخ الإيداع 27 / 10 / 2014. قَبِلَ للنشر في 21 / 12 / 2014)

□ ملخص □

تنتشر الترب الغضارية في مناطق متعددة من سورية ، و بسبب بعض خواصها السلبية يصبح أمر تحسينها ملحا أكثر فأكثر. إن تحسين التربة الغضارية باستخدام الإضافات المنزالية قد أثبت بشكل جيد في الدراسات السابقة، بينما كانت الدراسات التي أجريت على التحسين باستخدام البوزولانا الطبيعية و الكلس قليلة. تم اختبار إضافات الكلس ، البوزولانا الطبيعية أو خليط مركب منهما على تحسين مواصفات الرص و المتانة و تقييد ظاهرة الانتفاخ للتربة الغضارية و قد تم إضافة الكلس و البوزولانا الطبيعية بالنسب الآتية % 0-2 و 0-10 على الترتيب و ذلك كنسبة من وزن التربة الجاف. و قد أظهرت النتائج أن خليط الكلس و البوزولانا الطبيعية، أدى إلى زيادة قيمة الكثافة الجافة العظمى، ولكن أدى أيضاً إلى انخفاض في محتوى الرطوبة المثالية. كما أن قيم نسبة تحمل كاليفورنيا CBR للعينات المعالجة بالكلس، قد ازدادت بشكل كبير مع زيادة نسبة الإضافة، و كانت الزيادة طفيفة عند إضافة البوزولانا الطبيعية وحدها، بينما سجلت أفضل النتائج عند استخدام خليط من الكلس و البوزولانا الطبيعية. التقييد لظاهرة الانتفاخ بدا واضحاً عند إضافة الكلس و بدرجة أقل عند إضافة البوزولانا الطبيعية، و أفضل تقييد للانتفاخ تم الحصول عليه عند استخدام مزيج مركب من الكلس و البوزولانا الطبيعية.

الكلمات المفتاحية : تربة غضارية، كلس، بوزولانا طبيعية، رص، انتفاخ، CBR .

* استاذ مساعد - كلية الهندسة المدنية - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.
** طالب ماجستير - كلية الهندسة المدنية - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

Influence of Natural Pozzolana & Lime Additives on Improvement of Clayey Soil (CBR) to be Useable in Embankment of Road Works

Dr. Talal AWWAD*
Ayman MZYAB**

(Received 27 / 10 / 2014. Accepted 21 / 12 / 2014)

□ ABSTRACT □

Clayey soils are widespread in Syria. Because of their disadvantages, the need to be stabilized becomes more and more urgent. Enhancement of clayey soils using mineral additives was well established in the literature. Very few studies were carried out using the local Natural Pozzolana and Lime. Lime, Natural Pozzolana and their combinations were added at following percentages 0-4-8% (L), 0-10-20% (NP).

Test results showed that the combination of (L) and (NP) improved the compactness characteristics of the stabilized soil by increasing the maximum dry density (MDD) and decreasing the optimum moisture content (OMC). The CBR values were obviously increased when (L) was added, this increase was little when (NP) was added alone. combinations of (L) and (NP) additives showed the best results. Restriction on swelling behavior of clayey soil clearly appeared when (L) was added, but slightly when (NP) was added. The best results were obtained when the combinations of (L) and (NP) were added.

Keywords: Clayey Soil; Natural Pozzolana; Lime; Compactness; CBR; Swelling.

*Associate Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering; University of Damascus Master of Geotechnical Department in High Institute for Earthquake Studies and Research

**Postgraduate Student.; Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering; University of Damascus

مقدمة:

إن إجراءات تحسين التربة الغضارية بالبوزولانا الطبيعية والكلس في أعمال الإنشاء المختلفة، يعني الارتقاء بمواصفات هذه التربة لتصبح صالحة للاستخدام في أعمال أساسات المنشآت والطابق الترابي للطرق. توجد هاتان المادتان (أفصد البوزولانا الطبيعية و الكلس) في الطبيعة على شكل كتل أو حبيبات خشنة تعالج و تطحن بشكل ناعم قبل استخدامها في تحسين التربة الغضارية.

إن الطريقة التقليدية لمعالجة مشكلة التربة الضعيفة هو استبدالها بتربة قوية، و لاشك أن هذا الحل مكلف من الناحية الاقتصادية. و قد قادت الكلفة العالية لاستبدال التربة الباحثين، للبحث عن طرق بديلة والتي منها تحسين التربة. وقد تطورت في السنوات الأخيرة تقنية تحسين التربة باستخدام الإضافات المختلفة، فأجريت دراسات عديدة على استخدام الإسمنت ، الكلس، الرماد البركاني المتطاير، رماد قشر الرز، هباب السيليكا، رماد الفضلات، و المخلفات الصناعية أو المنتجات الثانوية للصناعة في عملية التحسين تلك و أعطت هذه المحسنات نتائج متفاوتة حسب فعالية المادة المستخدمة.

دلت الدراسات المتواترة على فعالية الإسمنت البورتلاندي في تحسين خواص التربة الغضارية، وليس خافياً الأهمية الاقتصادية و البيئية لإيجاد بدائل جزئية أو كلية للتقليل من استخدام الإسمنت، حيث تعتبر صناعته من أكبر وأهم مصادر انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 .

وقد سعت جهات كثيرة في سورية لإنتاج إسمنت بورتلاندي بوزولاني، إلا أن الإنتاج لا يزال في مراحله التجريبية، وضمن هذا السياق، وفي ظل ندرة الدراسات التي تبحث في تأثير استخدام البوزولانا الطبيعية لوحدها أو بالمشاركة مع الكلس في تطبيقات تحسين التربة، يسعى هذا البحث لدراسة أثر المكونات الأساسية للإسمنت البورتلاندي (السيليكا، والكلس) على خواص التربة الغضارية من ناحيتين:

• تقييد ظاهرة الانتفاخ

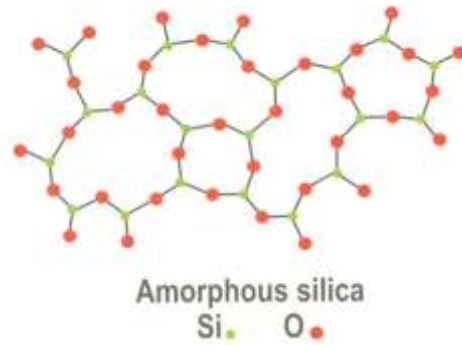
• تحسين خواص المتانة للتربة الغضارية وكموشر عليها (CBR)

أهمية البحث و أهدافه:

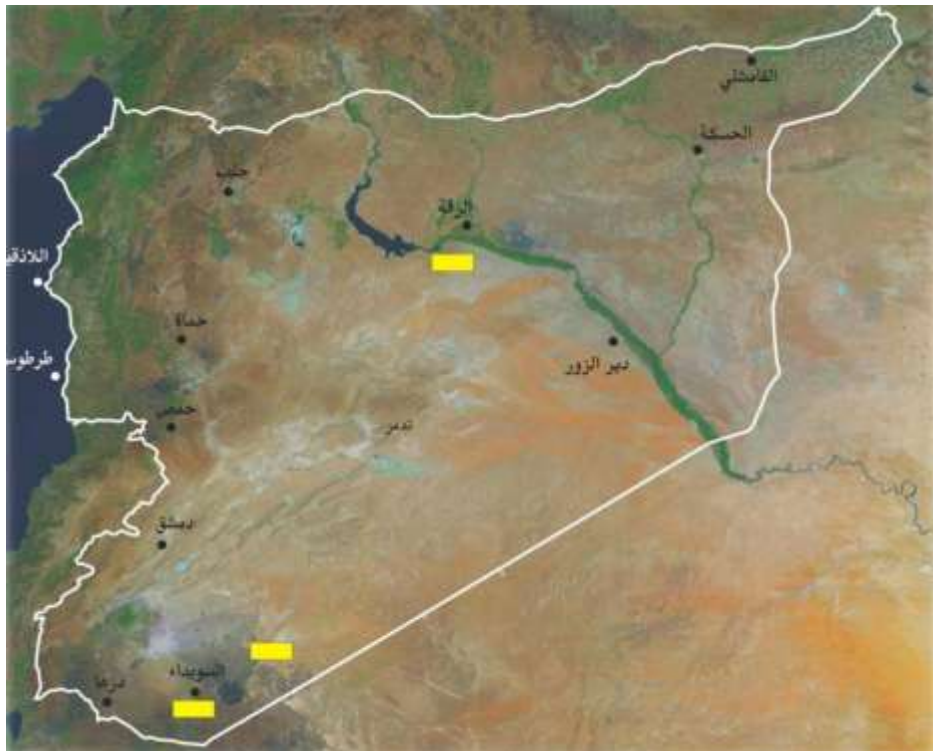
تتوافر البوزولانا الطبيعية في مناطق متعددة في القطر العربي السوري (المنطقة الجنوبية و الجنوبية الشرقية والشمالية) وكميات اقتصادية تسمح بالاستثمار المجدي لهذه الثروة المعدنية، كما يتوافر الكلس الطبيعي والذي شاع استخدامه في تطبيقات متعددة كمادة بناء ومادة أساسية لصناعة الإسمنت في سورية [1]. إن من غير الشائع في بلدنا استخدام البوزولانا الطبيعية والكلس أحدهما أو كلاهما في أعمال تدعيم وتقوية تربة أساسات المنشآت المختلفة. ومن هنا نشأت الحاجة للقيام بهذا البحث والذي يهدف إلى رصد تأثير هذه الإضافات على بعض الخواص الجيوتكنيكية للتربة الغضارية، والوصول إلى أفضل نسب إضافة من الناحيتين التقنية والاقتصادية، وذلك من خلال دراسة تجريبية مقارنة للتربة الغضارية والإضافات المعتمدة في هذا البحث.

البوزولانا في القطر العربي السوري:

قامت المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية بإجراء أعمال تنقيب جيولوجي عن الثروات المعدنية، وتبين لها أن البوزولانا عبارة عن مواد بركانية فتاتية، خفيفة الوزن ، تشكلت من حمم بركانية مشبعة بالغازات، بفعل تطايرها أثناء عملية انفجارها و تبدها في الجو. و تنتشر اللابات البركانية على شكل أغطية تشغل سدس مساحة القطر يبين الشكل (2) مواقع المخاريط البركانية البوزولانية المنتشرة في مناطق عديدة في القطر (المنطقة الجنوبية و الجنوبية الشرقية والشمالية) والشكل (3) يبين صورة لمخروط تل شيحان في محافظة السويداء و هو الموقع الذي أحضرت منه عينات البوزولانا المستخدمة في هذا البحث[1].



الشكل رقم (1) التركيب البلوري للبوزولانا الطبيعية



الشكل رقم (2) خارطة للقطر العربي السوري تبين مواقع تواجد البوزولانا الطبيعية



3-الدراسة المرجعية:

تعرف التربة الغضارية بأنها التربة المتماسكة، التي تزيد فيها متانة الحبيبات عن متانة التماسك بين هذه الحبيبات، وفيها نسبة الحبيبات المارة من المنخل (75µm) 200 تزيد عن 50%، هي واحدة من الترب التي تحتاج إلى التحسين نتيجة سلوكها غير المنضبط عند تعرضها للرطوبة.

اكتشف الإغريق خليط الكلس والبوزولانا بالفترة بين 700 و600 قبل الميلاد، و بعد ذلك نقلوا استعمالها في الخرسانة إلى الرومان حوالي سنة 150 قبل الميلاد. و خلال 600 سنة من الحكم الروماني اكتشف الرومان و طوروا أنواعاً من البوزولانا في كافة أنحاء امبرطوريتهم. [6]

وكان هذا في الإنشاء، أما في مجال بناء الطرق، فقد كان الرومان أبرع بناءة للطرق في العالم القديم، فقد بنوا 80000 Km من أفضل الطرق، على قاعدة من الحجر الثقيل المنحوت يدوياً، و فوقه طبقة من أحجار أصغر حجماً، تعلوها طبقة من قطع الآجر المكسر المترابطة بملاط البوزولانا. [5]

وكانت المحاولات الأولى للتحسين في العصر الحديث باستخدام الإضافات في الولايات المتحدة، باستخدام مزيج الرمل والغضار عام (1906)، حيث دفعت النتائج المرضية إلى استخدام تركيبات مزجية متنوعة في مشاريع بناء الطرق اللاحقة. خلال الحرب العالمية الثانية 1939-1945، عرف أكثر من 140 مطار، استخدم فيه الإسمنت في تحسين تربة القاعدة من قبل الألمان و حلفائهم. و استمرت دول أوربية عديدة، بعد الحرب، في تحسين التربة لبناء الطرق الفرعية، و لطبقة أساس الطرق السريعة. [5]

وفي تسعينيات القرن الماضي قام الباحث الاسترالي (chmeisse.c1992) [5] بدراسة تأثير الكلس والإسمنت بالمشاركة مع البوزولانا الصناعية من النواتج الزراعية (قشر الرز)، في تحسين التربة، حيث درس أربعة أنواع من الترب المعالجة بكميات مختلفة من الكلس، الإسمنت، رماد قشر الرز، و خبث أفران صناعة الحديد الحبيبية و تركيبات مزجية من هذه المحسنات، و لدراسة تأثيرها كمحسنات للتربة فقد قام بدراسة : مقاومة الضغط غير المحصور، مقاومة القص غير المصرف، نسبة تحمل كاليفورنيا CBR، قرينة اللدونة، و أخيراً الإنكماش الخطي. و خلص الباحث إلى أن رماد قشر الرز، كمصدر للبوزولانا، وحده ليس كافياً لتعديل أو تحسين مواصفات التربة، لكن بالمشاركة مع الكلس أو الإسمنت، يمكن الوصول إلى نتائج مرضية أو مفيدة في تحسين التربة، حيث تزيد هذه الإضافات المركبة من رماد قشر الرز والكلس أو الإسمنت كلاً من مقاومة الضغط غير المحصور CBR، و مقاومة القص غير المصرف، في حين وجد الباحث أن خبث الأفران الحبيبي لوحده مناسب لتعديل الاستقرار الحجمي للترب الغضارية الثقيلة (heavy clay). و هذا الخبث يزيد من مقاومة الضغط غير المحصور و CBR للترب و يحسن من أدائها تحت تأثير الأحمال الديناميكية. و تبين له أن تأثير إضافة الكلس مع الخبث و الإسمنت مع الخبث يماثل تأثير إضافة الكلس مع رماد قشر الرز و الإسمنت مع رماد قشر الرز.

وفي إطار استخدام البوزولانا الصناعية أيضاً، قام الباحثان (Russell L. Buhler and Amy B. Cerato) [7] بدراسة تأثير الكلس و الرماد المتطاير (fly ash) من الصنف C كمصدر للبوزولانا ، على تخفيض اللدونة في الترب الغضارية الانتفاخية الطبيعية في منطقة (Idabel Oklahoma) ، في الولايات المتحدة، حيث تنتشر هذه الترب بشكل واسع في المنطقة و تسبب أضراراً موسمية للطرق والمنشآت، و الرماد المتطاير هو منتج ثانوي، ينتج عن محطات توليد الطاقة الكهربائية العاملة على فحم اللغنيث و فحم البيتومين الثانوي.

قام الباحثان بدراسة أربع عينات من الترب لها نفس التصنيف حسب الـ AASHTO صنف (A-7-6) باستخدام تجربة الإنكماش الخطي. و توصلوا إلى أن إضافة كل من الكلس و الرماد المتطاير من الصنف C يقلل من الإنكماش الخطي ، لكن إضافة الكلس يقلل الإنكماش بدرجة أكبر من الرماد المتطاير، فيما لو أضفياً بنفس النسبة وكل على حدة. إلا أن الباحثين لم يدرسا التأثير المشترك لهاتين الإضافتين الأمر الذي تم أخذه بالاعتبار في هذا البحث. وقد تبين للباحثين أن الوقت اللازم لتخفيض اللدونة للتربة عالية الانتفاخ بإضافة الكلس أقل من الوقت اللازم لتخفيضها بنفس النسبة بإضافة الرماد المتطاير من الصنف C، علماً بأن استخدام الرماد المتطاير من الصنف C أقل تكلفة من استخدام الكلس.

و بنفس السياق قام الباحثان (ALHASSAN.M and MUSTAPHA. A. M 2007) [8] بدراسة تأثير المعالجة بإضافة (2-8 %) من وزن التربة الجافة لكل من الإسمنت و رماد قشر الرز (RHA) ، و ذلك على رص التربة، نسبة تحمل كاليفورنيا CBR ، مقاومة الضغط غير المحصور UCS. أظهرت النتائج انخفاضاً في الكثافة الجافة العظمى (MDD) و زيادة في محتوى الرطوبة المثالية (OMC)، كل ذلك عند زيادة محتوى رماد قشر الرز من (2-8 %) عند محتوى إسمنت ثابت ومحدد. كما كان هناك تحسن في CBR و UCS بزيادة محتوى رماد قشر الرز عند نسبة ثابتة من الإسمنت إلى نسبة عظمى بين 4-6% قشر رز، كما أن قيم UCS

تحسنت مع تقدم عمر الإنضاج. و هذا يشير إلى امكانية استخدام 4-6% رماد قشر الرز مع نسب أقل من الإسمنت من أجل تحقيق تحسين التربة المتأخر. و هذه الدراسة دليل على فعالية رماد قشر الرز، كمصدر للبوزولانا من المنتجات الزراعية، على تحسين التربة لكن بالمشاركة مع محسن آخر و هو هنا الإسمنت.

قام الباحثون (Deny-Fong Lin, Kae-Long Lin, Min-Jui Hung and Huan-Lin Luo) [9]

بدراسة تأثير رماد الفضلات (SSA-Sewage Sludge Ash) كمصدر للبوزولانا / الكلس المتميه، على المواصفات الجيوتكنيكية للتربة الغضارية، حيث استخدموا خمس نسب مختلفة من رماد الفضلات / الكلس المتميه (0%,2%,4%,8%,16%)، و نسبة الكلس إلى رماد الفضلات 1:4، و وجدوا زيادة في مقاومة الضغط غير المحصور للعينات المعالجة وصلت إلى 3 إلى 7 مرات على العينات غير المعالجة، كما وجدوا أن سلوك الانتفاخ لهذه العينات المعالجة قد انخفض بشكل واضح. كما أشارت نتائج تجربة الضغط ثلاثي المحاور إلى أن مقاومة القص، قد ازدادت بزيادة نسبة الإضافات و تحسنت من 30 KPa إلى 50-70 KPa و بالنتيجة وجدوا أن SSA/الكلس المتميه يحسن المواصفات الجيوتكنيكية للترب الغضارية.

أجرى الباحثون (Harichane. K, Ghrici. M, Khebizi. W and Missoum. H 2010) [10] دراسة

بعنوان: تأثير مركب الكلس مع البوزولانا الطبيعية على ديمومة الترب الغضارية، حيث درسوا تأثير دورات الترطيب والجفاف على مقاومة الضغط للترب الغضارية المحسنة بالكلس والبوزولانا الطبيعية، بنسب 0-8% و 0-20%، على الترتيب، بالإضافة إلى تركيبات مزجية من الكلس والبوزولانا الطبيعية بنفس النسب السابقة. انضجت العينات لمدة 7 , 28 يوم، ثم اختبرت على تجربة الضغط غير المحصور، و على تأثير تعاقب الترطيب والجفاف. وبناءً على نتائج اختبارات الديمومة استنتج الباحثون: أن الترب الغضارية المحسنة بواسطة التأثير المشترك لمزيج الكلس والبوزولانا الطبيعية، أظهرت أداءً عالياً، واجتازت 12 دورة كاملة من الترطيب والجفاف في التجربة. و من ناحية أخرى فقد ازدادت مقاومة الضغط المتبقي بشكل واضح بالمقارنة مع مقاومة الضغط الأصلية (للتربة غير المعالجة)، أكثر من ذلك فقد بينت نتائج التجارب أن التركيب المزجي من الكلس والبوزولانا الطبيعية يستطيع أن يحسن الديمومة للترب الغضارية من سيئ إلى ممتاز .

واستكمالاً لما تم عرضه موجزاً من أبحاث في هذا المجال يأتي هذا البحث، ليدرس تطور متانة التربة الغضارية من خلال مؤشر مهم جداً في تقييم الترب الغضارية كأساس للطرق ، أو حتى كطبقة رصف ضمن الطابق الترابي في بعض أعمال الطرق.

4-الدراسة التجريبية:

أجريت الدراسة التجريبية في مخابر ميكانيك التربة في جامعة دمشق، ومركز الاختبارات والأبحاث الصناعية بدمشق، في الفترة الواقعة بين 2013/6 إلى 2014./7

4-1 التجارب على التربة:

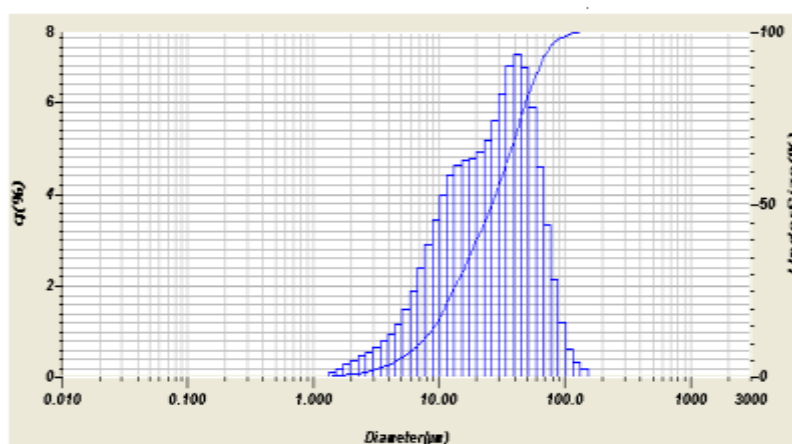
أجريت التجارب الآتية على التربة الغضارية التي تم اعتيانها من منطقة عالقين في محافظة درعا:

- تجارب التصنيف وتتضمن حدود اتربرغ، الوزن الحجمي، الوزن النوعي

- تجربة رص التربة بقالب بروكتور النظامي.
- تجربة نسبة تحمل كاليفورنيا CBR .
- تجربة الانتفاخ النسبي في قالب الـ CBR.
- تم اعتماد نظام تصنيف التربة الموحد، و تصنيف الـ AASHTO وكانت النتائج على الشكل الآتي:

الجدول (1-4) خواص التربة الغضارية بدون إضافات	
النتيجة	التجربة
90<	المر من المهزة رقم 200 (%)
2.68	الوزن النوعي
1.79	الكثافة الحجمية (g/cm ³)
58.8	حد السيولة (%)
30.4	حد اللدونة (%)
28.4	قربنة اللدونة (%)
1.48	الكثافة الجافة العظمى (g/cm ³)
27	الرطوبة المثالية (%)
CH	تصنيف التربة الموحد
A-7-5	تصنيف الـ AASHTO
عينة منقوعة CBR=2.89	نسبة تحمل كاليفورنيا CBR (%)
عينة غير منقوعة CBR= 6.38	
7.41	الانتفاخ النسبي (%)

أجريت تجربة التدرج الحبي للتربة الغضارية من دون إضافات على جهاز التحليل الحبي الليزري من طراز H oriba La -950 (مركز الاختبارات و الأبحاث الصناعية) و تبين أن القطر السائد 19μ ، القطر الوسطي 27μ.



الشكل (4) منحنى التدرج الحبي للتربة الغضارية بدون إضافات على جهاز التحليل الحبي الليزري

2-4 التجارب على الكلس:**التجربة الأولى: الاستهلاك الأولي للكلس:**

الهدف من هذه التجربة هو تحديد النسبة المئوية من الكلس التي يجب إضافتها لتحسين التربة. ميزة هذه التجربة التي طورها (Eads and Grim) أنها تعطي نتائج سريعة، و تعطي مؤشراً عن الكمية الدنيا من الكلس، اللازمة للحصول على تحسين واضح لخواص التربة المعالجة، لذلك يجب أن تكون النسب المعتمدة للتحسين، أعلى من القيمة المحددة بهذه التجربة. ومن ثم فإن مبدأها الأساس يعتمد على إضافة كمية كافية من الكلس للتربة المراد تحسينها، للوصول إلى قلوية تربة $PH=12.4$ ، وذلك لضمان استمرارية التفاعل البوزولاني بين التربة و الكلس، وذلك حسب المواصفة ASTM D 6276 أو المواصفة البريطانية (BS 1924:part2:clause 5.4)، أجريت التجربة في مخبر ميكانيك التربة و كانت النتائج كما هو مبين في الجدول 1-2-4

الجدول 1-2-4 نتائج تجربة نسبة استهلاك الكلس

Percentage Of Lime %	2%	3%	<u>4%</u>	5%	6%	lime
PH	11.99	12.33	<u>12.44</u>	12.48	12.55	12.72
Temperature	24.6	25.1	<u>25.9</u>	25.1	25.5	25.8

وبالنتيجة فإن النسبة الدنيا المقبولة من الكلس لتحسين التربة الغضارية هي 4% من الوزن الجاف للتربة.

التجربة الثانية: التحليل الكيميائي و الوزن النوعي:

تحدد الجمعية العامة للكلس الحد الأدنى المطلوب من أكسيد الكالسيوم Cao بـ 60% ، و ذلك حتى يكون الكلس صالحاً لتحسين التربة الغضارية. تم إحضار الكلس الحي من محافظة حماة على شكل كتل مشوية في الفرن، و أجريت عليه سلسلة من تجارب التحليل الكيميائي في مخابر مركز الاختبارات و الأبحاث الصناعية و يبين الجدول 2-4-2 نتائج التحليل الكيميائي.

الجدول 2-2-4 نتائج التحليل الكيميائي و الوزن النوعي للكلس

النسبة المئوية	الأوكسيد
93.7	CaO
0.53	MgO
0.47	Fe2O3
1.2	Sulfates (So4)
3.9	الفاقد بالحرق
2.2	الوزن النوعي

3-4 التجارب على البوزولانا الطبيعية:

أحضرت عينات البوزولانا الطبيعية عن طريق فرع المؤسسة العامة للجيولوجيا من منطقة تل شيحان في محافظة السويداء، بشكلها الطبيعي، على شكل حبيبات خشنة، تم طحن البوزولانا الطبيعية بواسطة مطحنة مخبرية إلى السطح النوعي $3500 \pm 100 \text{ cm}^2/\text{g}$ وذلك حسب تجربة نعومة بلين (blain fineness). وقد أجريت تجارب التحليل الكيميائي لمعرفة التركيب الكيميائي، ويتضمن تحديد نسب: السيليكا الكلية ($\text{SiO}_{2\text{all}}$) و السيليكا الفعالة ($\text{SiO}_{2\text{active}}$) والأكاسيد الآتية Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , الجدول 3-4 يبين نتائج التحليل الكيميائي للبوزولانا الطبيعية

الجدول (3-4) نتائج التحليل الكيميائي للبوزولانا الطبيعية

الأوكسيد	النسبة المئوية
SiO_2 (all)	46,5
SiO_2 (active)	43.66
MgO	2.48
Fe_2O_3	11.42
Al_2O_3	21.18
CaO	8.5
K_2O	6.01
Na_2O	3.7
الوزن النوعي	2.85



الشكل (3-4) جهاز بلين اليدوي

4-4- التجارب على التربة مع الإضافات:

كانت نسب الإضافة للتربة هي % 0,4,8 من الكلس وذلك من وزن التربة الجافة، % 0,10,20 من البوزولانا الطبيعية من وزن التربة الجافة. وفق الجدول 4-4 الآتي:

الجدول 4-4 نسب الإضافات للتربة من الكلس والبوزولانا الطبيعية			
نموذج الخلط بالنسبة المئوية			التسمية
الكلس (L)	البوزولانا الطبيعية (NP)	التربة	
0	0	100	NP0L0
4	0	96	NP0L4
8	0	92	NP0L8
0	10	90	NP10L0
0	20	80	NP20L0
4	10	86	NP10L4
4	20	76	NP20L4
8	10	82	NP10L8
8	20	72	NP20L8

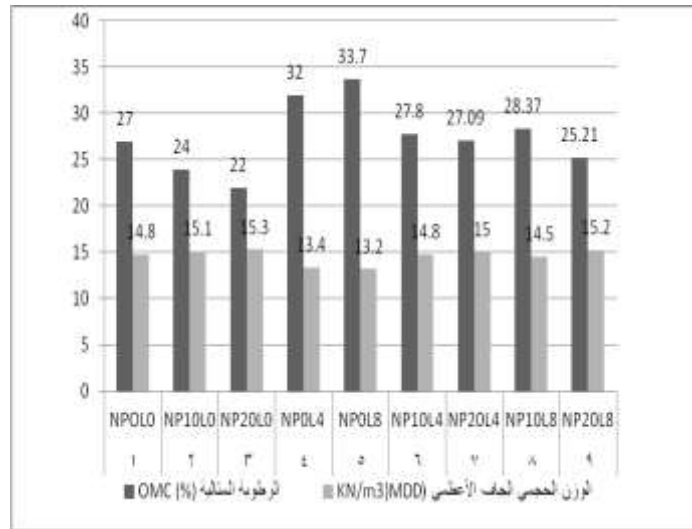
أجريت على عينات التربة المحسنة بالإضافات وفق النسب المبينة في الجدول 4-4 التجارب الآتية: تجربة الرص باستخدام قالب بروكتور النظامي، وفق المواصفة ASTM D698-91، و ذلك لتحديد الكثافة الجافة العظمى (MDD) والرطوبة المثالية (OMC)، ومن أجل هذه التجربة حفظت عينات التربة المعالجة في أكياس بلاستيكية حافظة للرطوبة لمدة 24 ساعة من أجل تجانس الرطوبة ضمن العينة الواحدة. كما أجريت على عينات التربة المعالجة بالنسب المختلفة من البوزولانا الطبيعية والكلس، تجربة نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) حسب المواصفة ASTM D1883-94 لعينات التربة المعالجة، والمنقوعة في الماء لمدة 96 ساعة، حيث أخذت خلالها قراءات الانتفاخ لحساب الانتفاخ النسبي ضمن قالب (CBR) و ذلك لمقارنتها مع نفس التجربة و لكن على عينة التربة من دون إضافات.

النتائج والمناقشة:**1-5 مواصفات الرص:**

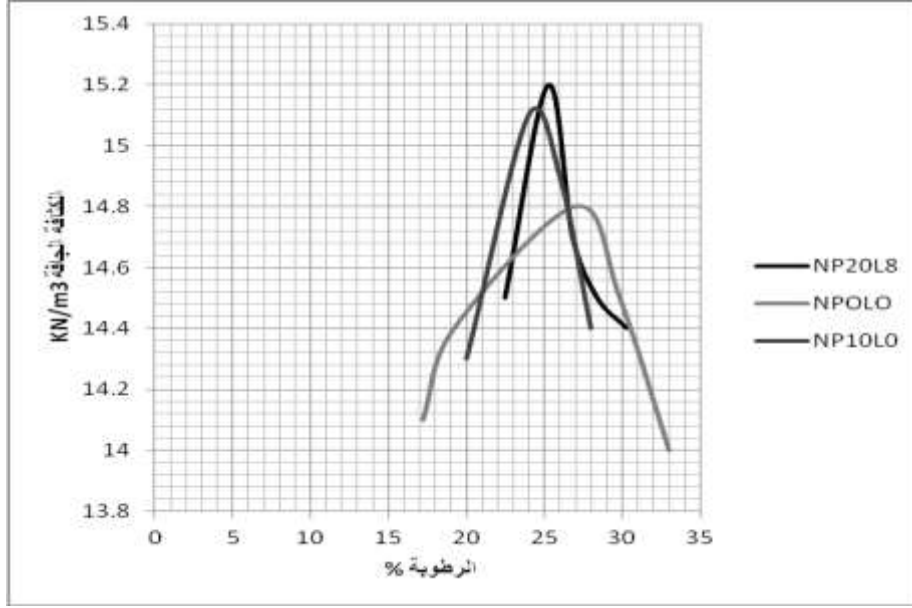
كان الهدف من إجراء تجربة الرص، تحديد تأثير المحسنات على صفتين مهمتين لسلوك التربة و هما الكثافة الجافة العظمى، والرطوبة المثالية. وذلك لعينة التربة المرجعية والعينات المخلوطة بالبوزولانا الطبيعية والكلس أو بمزيج منهما.

الجدول (5-1) قيم الرطوبة المثالية والكثافة الجافة العظمى للعينة المرجعية والعينات المعالجة بالمحسنات

رقم العينة	التسمية	الرطوبة المثالية OMC%	الوزن الحجمي الجاف الأعظمي (γ_{dmax} KN/m ³)
1	NP0 L0	27	14.8
2	NP10L0	24	15.1
3	NP20L0	22	15.3
4	NP0L4	32	13.4
5	NP0L8	33.7	13.2
6	NP10L4	27.8	14.8
7	NP20L4	27.09	15
8	NP10L8	28.37	14.5
9	NP20L8	25.21	15.2



الشكل (5-1-1) قيم الرطوبة المثالية والكثافة الجافة العظمى للعينة المرجعية والعينات المعالجة بالمحسنات



الشكل (2-1-5) منحنى العلاقة بين الرطوبة المثالية والكثافة الجافة العظمى للعينة المرجعية NPOLO وعينات معالجة بالمحسنات

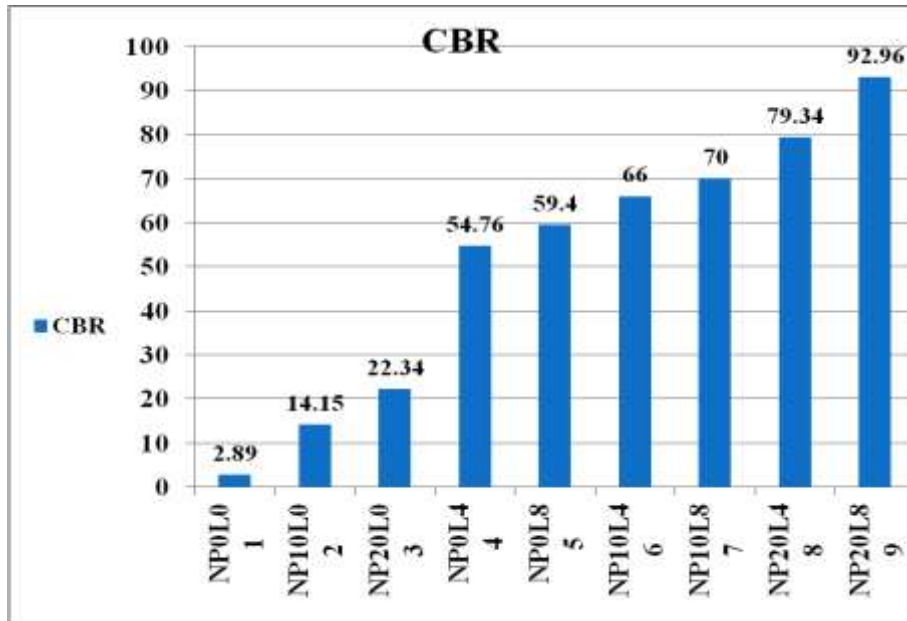
2-5 تجربة نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR):

تعتبر هذه التجربة عن أهم متغير يمثل متانة التربة المستخدمة في أعمال الطابق الترابي للطرق، و قد أجريت التجربة بعد رص العينات المعالجة و غير المعالجة في قالب الـ CBR إلى الكثافة الجافة و الرطوبة المثالية التي تم الحصول عليها في تجربة رص بروكتور، و بعد غمر هذه العينات بالماء لمدة 96 ساعة، وذلك لمحاكاة الحالة الأكثر خطورة. يبين الجدول (2-5) قيم نسب تحمل كاليفورنيا CBR للعينة المرجعية والعينات المعالجة.

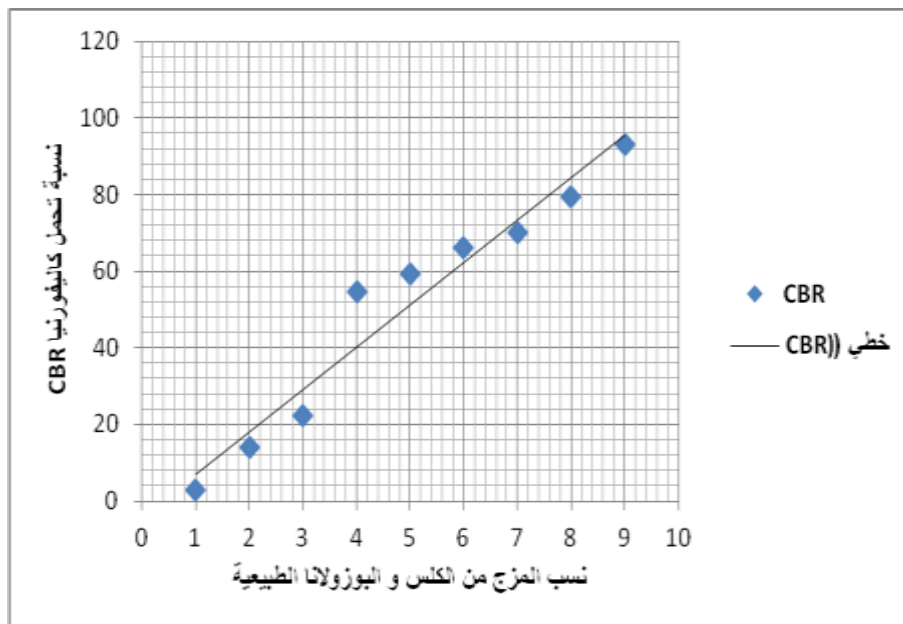
الجدول (1-2-5) قيم نسبة تحمل كاليفورنيا CBR مقابل نسب الإضافة المختلفة من الكلس والبوزولانا الطبيعية

العينة	الرمز	CBR
1	NP0L0	2.89
2	NP10L0	14.15
3	NP20L0	22.34
4	NP0L4	54.76
5	NP0L8	66
6	NP10L4	59.4
7	NP10L8	70
8	NP20L4	79.34
9	NP20L8	92.96

نلاحظ من هذه النتائج، أن إضافة الكلس و البوزولانا الطبيعية إلى التربة الغضارية، أدى إلى ارتفاع نسبة تحمل كاليفورنيا بنسب متفاوتة، حيث أدت إضافة الكلس بنسبة من 0% إلى 8% إلى تحسن كبير في قيمة الـ CBR للتربة من 2.89% إلى 66% عند إضافة 8% كلس. بينما إضافة البوزولانا الطبيعية حسنت الـ CBR من 2.89% إلى 22.34% فقط ، عند النسبة العظمى و هي 20% من البوزولانا الطبيعية، فيما أدت التركيبات المزجية إلى تحسن كبير من 2.89% إلى 92.96% عند التركيبة المزجية 8% كلس و 20% بوزولانا طبيعية و هي أفضل نسبة تحسن بين النسب المختبرة في هذا البحث، وفق ما هو مبين في الشكلين (5-2-1) و (5-2-2) .



الشكل (5-2-1) قيم نسبة تحمل كاليفورنيا CBR مقابل نسب الإضافة المختلفة من الكلس والبوزولانا الطبيعية



الشكل (5-2-2) التمثيل البياني لقيم نسبة تحمل كاليفورنيا CBR مقابل نسب الإضافة المختلفة من الكلس والبوزولانا الطبيعية

وقد تقاربت هذه النتائج مع ما توصل إليه الباحث [5]Chmeisse.C 1992 الذي استخدم الكلس و رماد قشر الرز حيث وصلت CBR إلى 75% عند إضافة 8% من الكلس و 8% من رماد قشر الرز وانضاج 28 يوم. وكذلك الحال عند إضافة 8% إسمنت و 4% رماد قشر الرز عند الباحث Alhassan2007 و زميله [8] ، وصلت بهذه النسبة إلى 140%.

إن التحسن الكبير في نسبة تحمل كاليفورنيا CBR، يعود إلى التغير الذي طرأ على التربة، و تحولها إلى تركيب حبي جديد، إضافة إلى التفاعل بين الكلس من جهة، والسيلكا و الألومينا في التربة الغضارية و البوزولانا الطبيعية من جهة أخرى لتكوين مواد رابطة أدت إلى زيادة المتانة.

يبين الجدول الآتي طريقة الـ AASHTO في تقييم تربة الأساس للطرق وفقاً لقيم الـ CBR [11]، و بعرض القيم التي تم الحصول عليها في الجدول (3-5) على جدول الـ AASHTO ، نلاحظ أن البوزولانا الطبيعية لوحدتها رفعت تقييم تربة الأساس من ضعيف جداً، إلى ضعيف و معتدل عند إضافتها بالنسبتين 10% و 20% على الترتيب، و ذلك عند القيمتين (14.15) و (22.34) لا CBR.

بينما إضافة الكلس لوحده رفعت تقييم تربة الأساس من ضعيف جداً ، إلى جيد و جيد جداً عند إضافته بالنسبتين 4% و 8% على الترتيب، و ذلك عند القيمتين (54.76) و (66) لا CBR.

في حين أن كافة التركيبات المزججة من البوزولانا الطبيعية و الكلس ارتقت بتقييم تربة الأساس إلى جيد جداً.

الجدول (2-2-5) طريقة الـ AASHTO في تقييم تربة الأساس للطرق وفقاً لقيم الـ CBR [11].

Table 1. Subgrade soil quality.

Rating (%)	Modulus of Subgrade Reaction (k, pci)	CBR Value
Very Good	Greater than 550 pci	> 55
Good	400 to 550 pci	40 - 55
Fair	250 to 350 pci	20 - 35
Poor	150 to 250 pci	6 - 20
Very Poor	Less than 150 pci	< 6

ومن ناحية أخرى تحدد نسبة كاليفورنيا للتحمل (الاختبار ASTM D 1883 من ASTM) بـ 50 كحد أدنى لطبقات ما تحت الأساس الحصوية، و تحدد قرينة اللدونة (الاختبار AASHTO T90-80) بـ 6 كحد أعلى، بينما لطبقات الأساس الحصوية تحدد نسبة تحمل كاليفورنيا بـ 65 (للتدرج 3 الناعم) كحد أدنى. و ذلك وفق الشروط و المواصفات الفنية العامة لأعمال الطرق و الجسور الصادرة عن وزارة المواصلات [12].

ووفقاً لذلك فإن التحسين الذي تم الوصول إليه، يؤهل التربة الغضارية بعد التحسين للاستخدام في الطابق الترابي كطبقة ما تحت الأساس أو طبقة الأساس، حسب شرط الـ CBR.

3-5 تجربة الانتفاخ النسبي:

أخذت خلال فترة الغمر بالماء بعد الرص في قالب الـ CBR) قراءات الانتفاخ لحساب الانتفاخ النسبي تبين النتائج أن إضافة الكلس أدت إلى تخفيض الانتفاخ النسبي من (7.41) إلى (2.85) عند النسبة 4% كلس، وإلى (2.27) عند النسبة 8% كلس نتائج التجربة موضحة في الجدول 3-5:

الجدول (3-5) الانتفاخ مقابل النسب المختلفة للعينة المرجعية والعينات المعالجة بالمحسّنات

الرقم	التسمية	الانتفاخ النسبي %
1	NP0L0	7.41
2	NP10L0	6.8
3	NP20L0	4.85
4	NP0L4	2.85
5	NP0L8	2.27
6	NP20L4	2.1
7	NP10L4	2.5
8	NP10L8	1.75
9	NP20L8	1.44

وإن إضافة البوزولانا الطبيعية تخفض الانتفاخ النسبي إلى (6.8%) و إلى (4.85%) لدى إضافتها بالنسبة 10% و 20% على الترتيب. أما التركيبات المزججة فكان أحسنها وأحسن نسبة تحسين بين النسب المختبرة في هذا البحث هي النسبة 8% كلس و 20% بوزولانا طبيعية بانتفاخ نسبي (1.44%) كما هو مبين في الشكل 3-5



الشكل (3-5) الانتفاخ النسبي مقابل نسب المعالجة المختلفة من الكلس والبوزولانا الطبيعية

الاستنتاجات و التوصيات:

الاستنتاجات:

- إن إضافة الكلس إلى التربة الغضارية يحسن مواصفات المتانة لهذه التربة، و يقلل كل من الانتفاخ النسبي، نسبة الإضافة الفضلى من الكلس في هذا البحث هي 8% .
- إن إضافة البوزولانا الطبيعية إلى التربة الغضارية يحسن مواصفات المتانة لهذه التربة، لكن بدرجة أقل من الكلس، و يقلل الانتفاخ النسبي لكن بدرجة أقل من الكلس، نسبة الإضافة الفضلى من البوزولانا الطبيعية في هذا البحث هي 20% .
- إن إضافة البوزولانا الطبيعية و الكلس إلى التربة الغضارية، ضمن التركيبات المزجية المقترحة في هذا البحث يحسن مواصفات المتانة لهذه التربة، و يقلل الانتفاخ النسبي
- نسبة الإضافة المزجية الفضلى هي 8% كلس و 20% بوزولانا طبيعية . و التحسن الطارئ عل التربة الغضارية نتيجة هذه التركيبة المزجية هو الأفضل بين النسب المختبرة في هذا البحث.

التوصيات:

- إضافة الكلس وحده أو البوزولانا الطبيعية لوحدها أو المزج بينهما لتحسين الترب الغضارية التي تشكل تربة الأساس لأعمال الطرق، و ذلك حسب أهمية و درجة الطريق.
- إنتاج تركيبة مزجية من الكلس والبوزولانا الطبيعية بشكل تجاري ضمن أكياس مختومة وبنعومة محددة على غرار إنتاج الإسمنت، مخصصة لتحسين تربة أساسات الطرق و الأبنية.
- دراسة أثر نعومة الإضافات في فعالية تحسين التربة الغضارية بالكلس والبوزولانا الطبيعية، للوصول إلى النعومة المناسبة حسب أهمية المشروع، و درجة التحسين المطلوبة.

المراجع :

- [1]The General Est. of Geology and Mining Resources, geology.sy.org (2012)
- [2] COLLEPARDI. M, *the New Concrete*. 1st.ed, Grrafiche Tintoretto, Italy, 2006, 421
- [3]Syrian Arab Organization for Standradization and Metrology, standard (1887):1997.
- [4]EN197-1+A1:2004
- [5]-Chmeisse. C 1992.thesis title: “Soil stabilisation using some pozzolanic industrial and agricultural products”. Wollongong University. NEWZLAND hp374.pp16
- [6]ACI committee 232, proposed repot: Use of Natural Pozzolana in Concrete, ACI Materials Journal/ July-August 1994:410-426.
- [7]-. Buhlerand, R. L. Cerato, A. B. *Stabilization Of Oklahoma Expansive Soils Using Lime And Class C Fly Ash*. Geo Denver: New Peaks in Geotechnics. GSP 162, 2007, CD Proceeing, 1-5.
- [8]-ALHASSAN. M, MUSTAPHA. A. M. *Effect of Rice Husk Ash on Cement Stabilized Laterite*. Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies ISSN 1583-1078, 2007, 47-58.
- [9]-Deny-Fong. L, Kae-Long. L, Min-Jui. H, Huan-Lin. L. *Sludge ash/hydrated lime on the geotechnical properties of soft soil*. Geotechnical Testing Journal, Vol. 28, No. 1, 2006, 58-64.

[10]-Harichane. K, Ghrici. M, Khebizi. W, Missoum. H *Effect of the Combination of Lime and Natural Pozzolana on the Durability of Clayey Soils*.EJGE Vol. 15, 2010, 1194-1209.

[11]-KENNETH. L. B, ANDREW .G. B. *Iowa Thickness Design Guide for Low Volume Roads Using Reclaimed Hydrated Class C Fly Ash Bases*. Transportation Conference Proceeding. 1998, 253-258.

[12] وزارة المواصلات، الشروط و المواصفات الفنية العامة لأعمال الطرق والجسور، الجزء الثالث، - طبقات المواد الحصوية، 2002، 180-197.