



الجمهورية العربية السورية  
وزارة التعليم العالي  
جامعة دمشق  
كلية الهندسة المدنية  
قسم الهندسة الجيوتكنيكية

## تأثير إضافات البوزولانا الطبيعية والكلس على تحسين مواصفات التربة الغضارية لاستخدامها في الطابق الترابي لأعمال الطرق

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية - قسم الهندسة الجيوتكنيكية

إعداد

المهندس أيمن يحيى المذيب

إشراف

الدكتور المهندس طلال عواد

العام الدراسي 2014-2015

### لجنة الحكم السادة الأساتذة:

كلية الهندسة المدنية عضواً	الأستاذ في قسم الهندسة الجيوتكنيكية الاختصاص: منشآت مطمورة	أ. د.م. إبراهيم حمود جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية عضواً مشرفاً	الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الجيوتكنيكية الاختصاص: ميكانيك التربة والأساسات	د.م. طلال عواد جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية عضواً	المدرس في قسم الهندسة الجيوتكنيكية الاختصاص: ميكانيك التربة والأساسات	د.م. عبد الرحمن المنصوري جامعة دمشق

## شكر وتقدير

كل الشكر و الامتنان إلى أستاذي المشرف الدكتور طلال عواد الذي لم يأل جهداً و لم يبخل بنصح أو توجيه أو تصويب.

الشكر كل الشكر لأساتذتي الكرام في قسم الهندسة الجيوتكنيكية الذين لم يألوا نصراً أو تصويماً أو ارشاداً، إلا قدموه.

الشكر الجزيل للدكتور عارف السويدي الذي كان مرجعاً ومعيناً في كل خطوة من خطوات العمل.

الشكر كل الشكر لرئيس مديرية الاختبارات الكيميائية في مركز الاختبارات الصناعية الكيميائي خليل منصور، و الشكر موصول للكيميائي الشاعر عدنان أبو النصر.

الشكر لزملائي في العمل في قسم الدراسات و البحوث الهندسية، وعلى رأسهم الدكتور المهندس عارف السويدي رئيس القسم.

الشكر الجزيل للعاملين في مختبر ميكانيك التربة من اساتذة ومضربين.

وأخيراً و ليس آخر الشكر لعائلتي التي تحملت الأعباء وساندتني بالدعم المادي والمعنوي.

## تأثير إضافات البوزولانا الطبيعية والكلس على تحسين مواصفات التربة الغضارية لاستخدامها في الطابق الترابي لأعمال الطرق

### ملخص:

تنتشر الترب الغضارية في مناطق متعددة من سورية، و بسبب بعض خواصها السلبية يصبح أمر تحسينها ملحاً 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.

وقد تم في هذا البحث اختبار إضافات الكلس، البوزولانا الطبيعية أو خليط مركب منهما على تحسين مواصفات الرص والمتانة وتقييد ظاهرتي الانتفاخ والانكماش للتربة الغضارية حيث تم إضافة الكلس و البوزولانا الطبيعية بالنسب التالية 0-2-8% و 0-10-20% 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 لوحدها، بينما سجلت أفضل النتائج عند استخدام خليط من الكلس والبوزولانا الطبيعية. التقييد لظاهرتي الانتفاخ و الانكماش بدا واضحاً عند إضافة الكلس و بدرجة أقل عند إضافة البوزولانا الطبيعية، و أفضل تقييد للانتفاخ والانكماش تم الحصول عليه عند استخدام مزيج مركب من الكلس والبوزولانا الطبيعية. وبالنتيجة فقد تحسنت خواص التربة الغضارية بإضافة الكلس والبوزولانا الطبيعية.

## فهرس المواضيع

رقم الصفحة	العنوان	الفصل
1	صفحة العنوان	
2	شكر و تقدير	
3	ملخص البحث	
4	فهرس المواضيع	
6	فهرس الجداول	
7	فهرس الأشكال	
9	المواصفات القياسية	
11	1- مقدمة	الأول
11	1-1 خلفية الدراسة	
12	2-1 عرض المشكلة	
12	3-1 المجال والأهداف	
13	4-1 مخطط البحث	
16	2- الدراسة المرجعية	الثاني
16	1-2 تحسين التربة	
17	2-2 لمحة تاريخية	
18	3-2 الدراسات السابقة	
23	3- المواد	الثالث
23	1-3 التربة الغضارية	
23	1-1-3 عموميات	
24	2-1-3 التبادل الكاتيوني	
25	3-1-3 معايير تحديد الترب الضعيفة	
25	4-1-3 الترب الغضارية الانتفاخية	
26	5-1-3 الاختبارات	
27	2-3 الكلس	
27	1-2-3 عموميات	
27	2-2-3 تواجد الخام في سورية	
28	3-2-3 أشكال الكلس المستخدم في تحسين التربة الغضارية	

29	4-2-3 آلية تحسين الترب الغضارية بإضافة الكلس	
31	3-3 البوزولانا الطبيعية	
31	1-3-3 عموميات	
32	2-3-3 مصادر البوزولانا الطبيعية في العالم	
34	3-3-3 تواجد الخام في سورية	
35	4-3 تقنيات الخلط	
36	1-4-3 الخلط السطحي	
36	2-4-3 الخلط العميق	
38	4- الدراسة التجريبية	
38	1-4 التجارب على التربة	
40	1-1-4 تجربة التركيب الحبي	
40	2-1-4 تجربة الرطوبة الطبيعية	
41	3-1-4 تجربة الوزن الحجمي	
41	4-1-4 تجربة الوزن النوعي	
42	5-1-4 حدود اتربرغ	
43	6-1-4 تجربة رص بروكتور بال قالب النظامي	الرابع
44	7-1-4 تجربة نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR)	
45	2-4 التجارب على الكلس	
45	1-2-4 التجربة الأولى: الاستهلاك الأولي للكلس	
50	2-2-4 التجربة الثانية: التحليل الكيميائي و الوزن النوعي	
51	3-4 التجارب على البوزولانا الطبيعية	
51	1-3-4 تجربة نعومة بلين (Blain Fineness)	
53	2-3-4 تجارب التحليل الكيميائي و الفيزيائي	
54	4-4 التجارب على التربة مع الإضافات	
56	5- النتائج و المناقشة	
56	1-5 خواص القوام	الخامس
58	2-5 مواصفات الرص	
61	3-5 نسبة تحمل كاليفورنيا	
64	4-5 الانتفاخ النسبي	
65	5-5 الانكماش الخطي	
68	6-5 دراسة اقتصادية	السادس
71	6- الاستنتاجات والتوصيات	
72	7- المراجع	
		السابع

فهرس الجداول

رقم الصفحة	عنوان الجدول	رقم الجدول
14	نسب الإضافات مع التركيبات المزجية منها	1
24	السطح النوعي و قدرة التبادل الكاتيوني لبعض المنرالات الغضارية	2
26	قيم الانتفاخ النسبي مقابل المنرالات المكونة للغضار	3
39	خواص التربة الغضارية بدون إضافات	4
41	نتائج تجربة الرطوبة الطبيعية للتربة الغضارية بدون إضافات	5
42	نتائج تجربة الوزن النوعي للتربة الغضارية بدون إضافات	6
43	نتائج تجربة حد اللدونة للتربة الغضارية بدون إضافات	7
47	نتائج تجربة نسبة استهلاك الكلس	8
48	قيم الـ PH مقابل درجة الانحلالية بالماء	9
49	تغير انحلالية الكلس بالماء بتغير رجة الحرارة	10
50	نتائج التحليل الكيمائي و الوزن النوعي للكلس	11
53	نتائج التحليل الكيمائي للبوزولانا الطبيعية	12
54	نسب الإضافات للتربة من الكلس والبوزولانا الطبيعية	13
57	قيم حد السيولة، حد اللدونة، و قرينة اللدونة مقابل النسب المزجية المختلفة	14
59	الرطوبة المثالية والكثافة الجافة العظمى للعينه المرجعية والعينات المعالجة بالمحسنات	15
61	قيم نسبة تحمل كاليفورنيا CBR مقابل نسب الإضافة المختلفة من الكلس والبوزولانا الطبيعية	16
63	تقييم التربة وفق قيم الـ CBR حسب الـ AASHTO	17
64	الانتفاخ مقابل النسب المختلفة للعينه المرجعية والعينات المعالجة بالمحسنات	18
66	قيم الانكماش الخطي للعينه المرجعية والعينات المحسنة	19
68	طبقة ما تحت الأساس مقابل النسب المختلفة لتحسين طبقة تربة الأساس (subgrade)	20

فهرس الأشكال

رقم الشكل	التسمية	رقم الصفحة
1	مثال عن الأضرار التي تسببها الترب الضعيفة على الأبنية	12
2	مثال عن الأضرار التي تسببها الترب الضعيفة على الأبنية	13
3	توزع مقالع الحجر الكلسي و الحجر الكلسي الدولوميتي في القطر العربي السوري	28
4	مقارنة بين التركيب البلوري و اللابلوري للسيليكا في كل من الكوارتز و البوزولانا الطبيعية	32
5	خارطة للقطر العربي السوري تبين مواقع تواجد البوزولانا الطبيعية	34
6	مخروط تل شيحان في محافظة السويداء	35
7	التحسين الكتلي بطريقة الخلط المكس للترب المحفورة أو لمواد المنتجات الثانوية. الطريقة قابلة للتطبيق لكل أنواع الترب	36
8	التحسين أثناء تنفيذ الطريق حيث يتم فرش المادة الرابطة و رصها مع عمليات تنفيذ الطابق الترابي	37
9	بعض توزيعات الخلط العميق	37
10	مخطط التجارب على التربة ومواد الإضافة ومزيج التربة مع الإضافات	38
11	منحني التدرج الحبي للتربة الغضارية بدون إضافات على جهاز التحليل الحبي الليزري	40
12	قيم الرطوبة مقابل عدد الضربات في تجربة تحديد حد السيولة للتربة الغضارية بدون إضافات على جهاز كازاغراندي الكهربائي	42
13	استخراج العينات من القالب بعد الرص.	43
14	نتائج تجربة الرص في قالب بروكتور النظامي وتبين قيم الكثافة الجافة مقابل الرطوبة	44
15	قالب الـ CBR بعد رص التربة	45
16	العبوات البلاستيكية الحاوية على نسب الكلس المختلفة مع التربة و الماء	47
17	منحني يمثل ارتفاع قيم الـ PH بارتفاع الانحلالية في الماء للكلس	49
18	مطحنة الكرات- مخابر مركز الاختبارات والبحوث الصناعية	51

تأثير إضافات البوزولانا الطبيعية والكلس على تحسين مواصفات التربة الغضارية

52	مطحنة السحن - مخابر مركز الاختبارات والبحوث الصناعي	19
52	جهاز بلين اليدوي - مخابر مركز الاختبارات والأبحاث الصناعية	20
56	قيم قرينة اللدونة مقابل نسب المزج المستخدمة	21
57	نتائج مشابهة: Zoubir.et.al-2013 [12] في تحسين قرينة اللدونة مقابل التركيبات المزجية من الكلس و البوزولانا الطبيعية	22
60	قيم الرطوبة المثالية والكثافة الجافة العظمى للعينة المرجعية والعينات المعالجة بالمحسنات تجرية بروكتور النظامية	23
62	قيم نسبة تحمل كاليفورنيا CBR مقابل نسب الإضافة المختلفة من الكلس والبوزولانا الطبيعية	24
65	الانتفاخ النسبي مقابل نسب المعالجة المختلفة من الكلس والبوزولانا الطبيعية	25
67	قيم الانكماش الخطي للعينة المرجعية والعينات المحسنة مقابل النسب المزجية	26
67	صور لعينات التربة المعالجة في قوالب الانكماش بعد التجفيف في الفرن	27
69	العلاقة النهائية بين قيم الـ CBR و سماكة الرصف لطبقة ما تحت الأساس	28
70	خلاصة التحسين من إضافة الكلس والبوزولانا الطبيعية و تأثير الإضافات على الـ CBR ، قرينة اللدونة، الانتفاخ النسبي، الانكماش الخطي.	29



## المواصفات القياسية

### 1-المواصفات القياسية السورية:

المواصفة القياسية السورية (1997/1887) : الاسمنت: التركيب والمواصفات

### 2-المواصفات القياسية الأوربية:

#### **EN 197-1+A1:2004**

Cement – part 1: Composition, specification and conformity criteria for common cements.

#### **EN 196-6:1989**

Methods of Testing Cement Determination of Fineness; Air permeability Method (Blain Method)

#### **BS 1924:part2: clause 5.4**

Using PH to Estimate the Soil-Lime Properties Requirement for Soil Stabilization

#### **BS 1377: part 2: 1990**

Test Method for Determination of Shrinkage Characteristics; linear shrinkage

### 3-المواصفات القياسية للجمعية الأمريكية للاختبارات و المواد:

#### **American Society for Testing and materials:**

#### **ASTM – D 2216 -71**

Standard Test Method for Laboratory Determination of Moisture Content of Soil

#### **ASTM – D 854 -92**

Standard Test Method for Determination of Specific Gravity of Soil

#### **ASTM – D 4318 -93**

Standard Test Method for Aterbirg Limits

#### **ASTM – D 698 -91**

Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soils

#### **ASTM – D 1883 -94**

Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory Compacted Soil.

**ASTM – D 6276 – 99a**

Standard Test Method for Using PH to Estimate the Soil-Lime Properties Requirement for Soil Stabilization

**ASTM – C 204 –**

Standard Test Method for Blaine Air Permeability

## الفصل الأول

### 1- مقدمة:

#### 1-1 خلفية الدراسة:

إن من المشاكل الأساسية التي تواجه المهندس المدني في موقع المشروع، هي أن تكون تربة الموقع ضعيفة وعند عدم وجود بدائل مجدية لتجنب تلك التربة، فلا بد من إيجاد حلول ناجعة ومجدية من الناحية الاقتصادية لمعالجة المشكلة.

وهنا ظهر ما يسمى بتقوية التربة أو بعبارة أخرى تحسين أداء التربة من حيث قدرة التحمل و الهبوط بأشكاله.

إن الطريقة التقليدية لمعالجة مشكلة التربة الضعيفة هو استبدالها بتربة قوية، ولاشك أن هذا الحل مكلف من الناحية الاقتصادية. الكلفة العالية لاستبدال التربة قاد الباحثين للبحث عن طرق بديلة والتي منها تحسين التربة.

إن تقنية تحسين التربة باستخدام الإضافات تطورت في السنوات الأخيرة وقد أجريت دراسات عديدة على استخدام الإسمت، الكلس، الرماد البركاني المتطاير، رماد قشر الرز، وهباب السيليكا، رماد الفضلات، والمخلفات الصناعية أو المنتجات الثانوية للصناعة. في حين أن الدراسات التي تبحث في تأثير استخدام البوزولانا الطبيعية لوحدها أو بالمشاركة مع الكلس في تطبيقات تحسين التربة هي قليلة نسبياً.

تتوفر البوزولانا الطبيعية في سورية في مناطق متعددة في القطر العربي السوري (المنطقة الجنوبية والجنوبية الشرقية والشمالية) وبكميات اقتصادية تسمح بالاستثمار المجدي لهذه الثروة المعدنية، ناهيك عن توفر الكلس الطبيعي والذي شاع استخدامه في تطبيقات متعددة كمادة بناء ومادة أساسية لصناعة الاسمنت في سورية.

أما من غير الشائع فهو استخدام البوزولانا الطبيعية والكلس أحدهما أو كلاهما في أعمال تدعيم وتقوية تربة أساسات المنشآت المختلفة.

## 2-1 عرض المشكلة:

إن وجود ترب ضعيفة على مسار تنفيذ مشاريع الطرق، يسبب زيادة في تكلفة هذه المشاريع والتي تعود إلى التكلفة العالية للتنفيذ بسبب استعمال طبقات رصف حصوية بسماكات كبيرة لتعويض الضعف الذي تبديه الترب الغضارية، ومن جهة أخرى بسبب ارتفاع تكاليف الصيانة، إضافة إلى تقصير العمر الاستثماري للطريق.

تقدر تكلفة الأضرار التي تسببها التربة الانتقاخية في الولايات المتحدة الأمريكية سنوياً بـ 2.3 مليار دولار أمريكي والتي تلحق بالمنزل والأبنية المختلفة وطرق وخطوط الأنابيب ومنشآت أخرى. وهذا يفوق مرتين الأضرار التي تنتسب بها الفيضانات والأعاصير والعواصف الموسمية والهزات الأرضية مجتمعة (JONES.M.L,2007)[1].

## 3-1 المجال و الأهداف:

- تحري مدى تأثير إضافة البوزولانا الطبيعية مع الكلس على تحسين مواصفات الترب الغضارية .
- اختبار نسب المزج الأفضل اقتصادياً و فنياً لتحقيق التحسين المطلوب



الشكل 1 مثال عن الأضرار التي تسببها الترب الضعيفة على الأبنية



الشكل 2 مثال عن الأضرار التي تسببها الترب الضعيفة على الأبنية

تناولت معظم الأبحاث موضوع معالجة الترب الناعمة وتحديد الانثفاخية باستخدام الإضافات المختلفة والتي تتضمن الكلس والأشكال المختلفة من البوزولانا الصناعية. بينما الدراسات التي تبحث في تأثير استخدام البوزولانا الطبيعية لوحدها أو بالمشاركة مع الكلس في تطبيقات تحسين التربة هي قليلة نسبياً.

ونظراً لتوفر البوزولانا الطبيعية في سورية في مناطق متعددة في القطر العربي السوري وبكميات اقتصادية تسمح بالاستثمار المجدي لهذه الثروة المعدنية، وكذلك يتوفر الكلس الطبيعي والذي شاع استخدامه في تطبيقات متعددة كمادة بناء ومادة أساسية لصناعة الإسمنت في سورية وفق ما تم عرضه في المقدمة، تأتي أهمية هذا البحث.

#### 1-4 مخطط البحث:

- دراسة مرجعية تتضمن أهم الأبحاث التي تطرقت إلى معالجة التربة بالبوزولانا و الكلس.

الجدول 1 نسب الإضافات مع التركيبات المزججة

نموذج الخلط بالنسبة المئوية			
البوزولانا			
التسمية	التربة	الطبيعية (NP)	الكلس (L)
P0L0	100	0	0
P0L4	96	0	4
P0L8	92	0	8
P10L0	90	10	0
P20L0	80	20	0
P10L4	86	10	4
P20L4	76	20	4
P10L8	82	10	8
P20L8	72	20	8

- دراسة تجريبية و تتضمن:

- تجارب تصنيف التربة التي تتضمن حدود اتربرغ، التحليل المنخلي، الهيدرومتر (أو التحليل باستخدام جهاز التحليل بأشعة الليزر)، الوزن النوعي، الوزن الحجمي...
- تجارب التحليل الكيميائي و الوزن النوعي لمواد الإضافة (الكلس و البوزولانا الطبيعية)، إضافة إلى تجربة الاستهلاك الأولي للكلس، وتجربة النعومة للبوزولانا.
- تم تحضير العينات (المرجعية و المعالجة) بطريقة إعادة التشكيل في المخبر و رصها حسب بروكتور النظامية والخلط بالنسب المقترحة من الكلس و البوزولانا الطبيعية حسب نفس الشروط التي وضعت فيها العينة المرجعية ( رطوبة مثالية ،كثافة جافة عظمى)
- اختبار العينات المعالجة وفق النسب الواردة في الجدول 1 المتضمنة العينة المرجعية (بدون معالجة) على:

1. تجربة الـ CBR نسبة تحمل كاليفورنيا على العينة المرجعية و العينات المعالجة.
2. تجارب حدود اتربرغ واستخراج قرينة اللدونة للعينة المرجعية و العينات المعالجة.
3. تجربة الرص في قالب بروكتور النظامي للعينة المرجعية و العينات المعالجة
4. تجربة الانتفاخ النسبي في قالب الـ CBR للعينة المرجعية و العينات المعالجة.

تأثير إضافات البوزولانا الطبيعية والكلس على تحسين مواصفات التربة الغضارية

5. تجربة الانكماش الخطي للعيينة المرجعية و العينات المعالجة.

- النتائج و تحليلها مع المناقشة.
- الاستنتاجات و التوصيات التي تفيد في تحسين مواصفات الترب الغضارية لأساسات الطرق.

## الفصل الثاني

### 2- الدراسة المرجعية :

#### 2-1 تحسين التربة (SOIL STABILIZATION):

هناك وسائل فيزيائية لتحسين التربة (الرص الحقلي، الرص والديناميكي)، حيث تستطيع التربة أن تحصل على تحسين خواصها الفيزيائية لزيادة قدرة تحمل التربة، زيادة مقاومة القص، تخفيض اللدونة وتقليل النفاذية.

إن تحسين التربة يمكن أن يستخدم أيضاً لتحسين مواصفات التربة الطبيعية بواسطة التحميل المسبق للتربة أو خلط نوع آخر من تربة خاصة (تحسين ميكانيكي)، كما يمكن إضافة مواد كيميائية (التحسين الكيميائي)، أو استخدام بعض المواد الصناعية (الجيوسنتك) لعملية تحسين التربة (TIU. CH,2008)[2]

#### 2-1-1 التحميل المسبق (preloading):

هو إضافة حمل صناعي إلى الموقع المفترض لإقامة المنشأة عليه في وقت سابق لعملية الإنشاء، إن آلية تحسين التربة باستخدام هذه الطريقة تحصل نتيجة انضغاط التربة المسبق والذي يؤدي إلى تخفيض الهبوط الناتج عن وزن المنشأة.

#### 2-1-2 التحسين الميكانيكي (mechanical stabilization):

ويعني إضافة تربة إلى التربة الطبيعية، والخلط الميكانيكي مع الرص. و عادة تخلط الحصويات الخشنة مع الترب الناعمة للحصول على خليط يمتلك زاوية احتكاك داخلي وتماسك معتبرين، الأمر الذي يعني قابلية تشغيل و ثبات في القوام بعد اتمام عمليتي الخلط والرص.

#### 2-1-3 التحسين الكيميائي (chemical stabilization) :

و يتم الحصول عليه بإضافة مواد رابطة أو كيميائية إلى التربة. و يمكن خلط المادة الكيميائية مع التربة بشكل ميكانيكي أو إضافتها إلى التربة والسماح لها بالنفاذ إلى فراغات التربة. كما يمكن حقن المحسن عبر التربة تحت الضغط، و تعرف هذه العملية بالحقن (grouting) وتطبق على الترب التي يجب أن تبقى بحالة غير مضطربة. من أشهر المركبات و المواد الكيميائية المستخدمة في هذا المجال كلور الصوديوم، كلور الكالسيوم، الاسمنت والكلس.



يستخدم كلور الصوديوم وكلور الكالسيوم مع التربة عندما يكون المطلوب هو حمل أو امتصاص ماء التربة، ويستخدم الاسمنت بأنواعه (الاسمنت البورتلاندي، الاسمنت الاسفلتي) لربط حبيبات التربة مع بعضها البعض، وتتراوح نسبة الاسمنت المضاف بين 7% إلى 14% وزناً للتربة الرملية إلى الغضارية على الترتيب. و يمكن استخدام التربة المحسنة بالاسمنت كطبقة أساس للطرق عندما تكون حركة المرور قليلة نسبياً و ليست ذات أوزان ثقيلة.

يستخدم الكلس و كلور الكالسيوم لتحسين التربة الغضارية عالية اللدونة، و ذلك لتخفيض اللدونة و تقليل التغيرات الحجمية في التربة الانتقائية.

## 2-1-4 الجيوسانثتك (geosynthetics):

هي مواد مصنعة من البلاستيك أو الألياف الزجاجية، تستخدم لتقوية وتسليح التربة في المنحدرات و طبقات الطابق الترابي للطرق، ومن أشكالها الجيوتكستل، الجيوغرد، الجيونت وأخيراً الجيوممبران.

## 2-2 لمحة تاريخية:

تعرف التربة بأنها أي وسط مفكك يتوضع فوق طبقة صخرية صلبة، وتختلف طبيعة التربة بحسب طبيعة الصخور التي تفككت منها، ظروف التشكل، و التغيرات التي طرأت على هذه التربة. و تبدي العديد من التربة في حالتها الطبيعية غير المعالجة، ضعفاً في المتانة و/أو الثبات البعدي، الأمر الذي يمكن أن يخرجها كلياً أو جزئياً من دائرة المناسبة لإنشاءات الأبنية والطرق.

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

وتاريخياً يعود أقدم تاريخ للتحسين إلى 5000 سنة ماضية، حيث استخدمت كتل الطين (الغضار) و الكلس المرصوصة في بناء أهرامات شنسي في المكسيك، و هناك أبنية قديمة في الصين والهند، استخدم فيها مزيج الطين و الكلس، ما تزال قائمة إلى وقتنا الحاضر. (CHMEISSE.C, 1994[3]). أما الإغريق فقد اكتشفوا خليط الكلس والبوزولانا بالفترة بين 700 و 600 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. (ACI, Committee 232, 1994)[4]

وكان هذا في الإنشاء، أما في مجال بناء الطرق، فقد كان الرومان أبرع بناءً 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 (CHMEISSE.C, 1994)[3]. بعد سقوط الامبرطورية الرومانية، تراجع بناء الطرق كثيراً في أوروبا، حتى ظهور العربات الآلية التي تسير على عجلات، حيث ظهرت الحاجة من جديد إلى طرق بمواصفات عالية، وترافق ذلك مع الثورة الصناعية وما تطلبتة من تطوير لخطوط النقل في العالم الغربي (CHMEISSE.C, 1994)[3].

وفي هذا السياق طور ليندون مكدام (1756-1836) طبقة الرصف الحجري ذات القياس الموحد (25mm)، و لقرن كامل كان هذا النوع من الطرق - بلا منافس - هو الأفضل في أوروبا، كما انشئت الطرق السريعة في الولايات المتحدة باستخدام طريقة مكدام. لكن مع الزيادة المتسارعة للمرور، أصبحت طريقة مكدام غير صالحة لتلبية الاحتياجات المرورية، و كانت المحاولات الأولى للتحسين باستخدام الإضافات في الولايات المتحدة، باستخدام مزيج الرمل والغضار عام (1906)، حيث دفعت النتائج المرضية إلى استخدام تركيبات مزججة متنوعة في مشاريع بناء الطرق اللاحقة. خلال الحرب العالمية الثانية 1939-1945، عرف أكثر من 140 مطار، استخدم فيه الاسمنت 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 (CHMEISSE.C, 1994)[3].

## 2-3 الدراسات السابقة:

في تسعينيات القرن الماضي قام الباحث الاسترالي (CHMEISSE.C, 1994)[3]. بدراسة تأثير الكلس و الاسمنت 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 مزججة 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 الانكماش 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 ومقاومة القص غير المصرف، في حين وجد الباحث أن خبث الأفران الحبيبي لوحده مناسب لتعديل الاستقرار الحجمي للتربة الغضارية الثقيلة (heavy clay). وهذا الخبث يزيد من مقاومة الضغط غير المحصور و CBR للتربة ويحسن من أداءها تحت تأثير الأحمال الديناميكية. وتبين له أن تأثير إضافة الكلس مع الخبث والإسمنت 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, 2007) [5] بدراسة تأثير الكلس و الرماد المتطاير (fly ash) من الصنف C كمصدر للبوزولانا ، على تخفيض اللدونة في التربة الغضارية الانتفاخية الطبيعية في منطقة ( Idabel Oklahoma ) ، في الولايات المتحدة، حيث تنتشر هذه التربة بشكل واسع في المنطقة و تسبب أضراراً موسمية للطرق والمنشآت، والرماد المتطاير هو منتج ثانوي، ينتج عن محطات توليد الطاقة الكهربائية العاملة على فحم اللغنيت و فحم البيتومين الثانوي.

قام الباحثان بدراسة أربع عينات من التربة لها نفس التصنيف حسب الـ AASHTO صنف A- (6-7 ) باستخدام تجربة الانكماش الخطي. و توصلوا إلى أن إضافة كلاً من الكلس و الرماد المتطاير من الصنف C يقلل من الانكماش الخطي ، لكن إضافة الكلس يقلل الانكماش بدرجة أكبر من الرماد المتطاير، فيما لو أضفيا بنفس النسبة و كلاً على حدا. 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) [6] بدراسة تأثير المعالجة بإضافة ( % 2-8) من وزن التربة الجافة لكل من الإسمنت ورماد قشر الرز (RHA) ، وذلك على رص التربة، نسبة تحمل كاليفورنيا CBR، مقاومة الضغط غير المحصور UCS. أظهرت النتائج انخفاض في الكثافة الجافة العظمى ( MDD ) وزيادة في محتوى الرطوبة المثالية ( OMC )، كل ذلك عند زيادة محتوى رماد قشر الرز من ( % 2-8) عند

محتوى اسمنت 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. وهذا يشير إلى إمكانية استخدام 4-6% رماد قشر الرز مع نسب أقل من الإسمنت من أجل تحقيق تحسين التربة المتأخر. وهذه الدراسة دليل على فعالية رماد قشر الرز، كمصدر للبوزولانا من المنتجات الزراعية، على تحسين التربة لكن بالمشاركة مع محسن آخر وهو هنا الاسمنت.

قام الباحثون (LIN D.F, LIN K.L, Min- HUNG J and, LUO L.H., 2006) [7] 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%)، ونسبة الكلس إلى رماد الفضلات 4:1، ووجدوا زيادة في مقاومة الضغط غير المحصور للعينات المعالجة وصلت إلى 3 إلى 7مرات 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 وتحسنت من 30 KPa إلى 50-70 KPa وبالنتيجة وجدوا أن SSA/الكلس المتميه يحسن المواصفات الجيوتكنيكية للتربة الغضارية. من الدراسات القليلة التي استخدمت البوزولانا الطبيعية بالمشاركة مع الكلس، في تحسين الترب الغضارية، ما قامت به مجموعة بحثية من جامعة تشلف الجزائرية (HARICHANE et al., 2010)[8]. حيث درس هؤلاء الباحثون تأثير مركب الكلس مع البوزولانا الطبيعية على ديمومة الترب الغضارية، فقد 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 28 , 7 يوم، ثم اختبرت على تجربة الضغط غير المحصور، وعلى 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. ومن 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 سيء إلى ممتاز .  
وفي نفس السياق قام نفس الفريق البحثي (HARICHANE et al.,2011) [9] بدراسة تأثير زمن الإنضاج على مقاومة القص لنوعين من الترب المتماسكة عولجت بمزيج الكلس والبوزولانا الطبيعية ووجدوا أن مقاومة القص لكلتا التريبتين المتماستين المثبتتين بالكلس أو بمزيج من الكلس والبوزولانا الطبيعية ، تزداد مع زمن الإنضاج. وهذا مؤشر جيد على فالية التحسين.

وفي دراسة لاحقة لنفس الفريق البحثي (HARICHANE et al.,2013) [10]، و هذه المرة بالمشاركة مع الباحث Walid Zoubir من الجزائر أيضاً، أجريت دراسة على تأثير الكلس و البوزولانا الطبيعية على خواص أحوال السدود التي تترسب كميات كبيرة مسببة مشاكل كبيرة في استثمار وصيانة هذه السدود، حيث وجد الباحثون تحسناً كبيراً في مقاومة الضغط غير المحصور ومقاومة القص عند إضافة التركيب المزجي من الكلس و البوزولانا الطبيعية لهذا النوع من الترب و كذلك تحسنت خواص القوام، حيث انخفضت قرينة اللدونة بمعدل 50% عند إضافة التركيبات المزجية من الكلس والبوزولانا الطبيعية. أما ما يتعلق بخواص الرص فقد ازدادت الكثافة الجافة العظمى (MDD) وانخفضت الرطوبة المثالية (OMC) عند إضافة هذه التركيبات المزجية، في تحسن واضح لخواص الرص لهذه التربة بعد المعالجة.

أجرى الباحثان (BERGESON. L.K and ANDREW G. B., 1998) [11] دراسة تطبيقية للوصول إلى دليل إرشادي في استخدام أنواع الرماد المتطاير المميّه والمعالج (hydrated fly ash) كحصىات صناعة لمواد طبقة الأساس للطابق الترابي<sup>1</sup> و استخدمنا دليل AASHTO لاستخدام هذه المواد بدون إضافات، أو بإضافة الرماد المتطاير الخام أو الكلس المتميّه عند الحاجة إلى مقاومة أعلى لهذه المواد. وقد تم تتبع هذا الدليل الإرشادي في هذا البحث مع جداول الـ AASHTO لتأكيد فعالة المعالجة بالمحسنات الطبيعية، من خلال المقارنة بين سماكة طبقات الرصف غير المرن (طبقة ما تحت الأساس) قبل المعالجة وبعدها.

<sup>1</sup>الطابق الترابي قصد به طبقات الرصف الحصىات ( من طبقة ما تحت الأساس و الأساس و طبقة السطح)

## المجال و الهدف من البحث:

و من خلال ما تم عرضه موجزاً من أبحاث في هذا المجال نلاحظ التركيز على تحسين التربة باستخدام المحسنات الصناعية، و قلة الابحاث التي ركزت على استخدام المحسنات الطبيعية، وخصوصاً في مجال الطرق. ويأتي هذا البحث، ليدرس تأثير إضافات الكلس والبوزولانا الطبيعية وتركيبات مزجية منهما على بعض خواص التربة الغضارية من خلال دراسة 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 وهو نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR). كما يدرس واقع قابلية التشغيل للتربة الغضارية موضوع الدراسة، من خلال دراسة تأثير هذه الإضافات على خواص القوام للتربة قبل و بعد المعالجة (قرينة اللدونة)، و كذلك خواص الرص من رطوبة مثالية و كثافة جافة عظمى، إضافة إلى دراسة تقييد كل من الانتفاخ والانكماش للتربة الغضارية بعد المعالجة المحسنات المقترحة في هذا البحث، حيث ينتظر من هذا البحث اثبات تحسين التربة الغضارية موضوع الدراسة بتحسين البارامترات المذكورة أعلاه.

الطريقة المعتمدة للبحث هي الطريقة التجريبية، التي تعتمد على اجراء سلسلة من التجارب المخبرية، على عينات التربة والمحسنات من البوزولانا الطبيعية و الكلس، قبل وبعد المعالجة، للحصول على نتائج تمكن من الحكم على جدوى المعالجة المقترحة في هذا البحث.

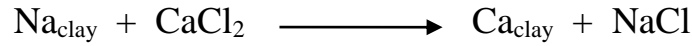


### 3-1-2 التبادل الكاتيوني :

تحمل حبيبات الغضار شحنة سالبة، في البلورات المثالية، تكون الشحنات الموجبة والسالبة متوازنة لكن تبادل الشوارد المتماثلة و كسر استمرارية التركيب البلوري يؤدي إلى شحن وجوه حبيبات الغضار بالشحنات السالبة (Das. B.M, 2004) [14] و لموازنة هذه الشحنات السالبة، تقوم حبيبات الغضار باستقطاب أو جذب الايونات الموجبة من الأملاح المنحلة ضمن الماء المسامي في التربة الغضارية. و تسمى هذه الأيونات بالأيونات التبادلية، و بعضها يجذب بقوة أكبر من بعض، و يمكن ترتيب الكاتيونات (الأيونات الموجبة) في سلسلة على أساس قوة انجذابها كما يلي:



أي أن ايونات الألمنيوم  $Al^{3+}$  يمكن أن تزيح ايونات الكالسيوم  $Ca^{2+}$  ، و  $Ca^{2+}$  تزيح  $Na^+$  هذه العملية تدعى التبادل الكاتيوني. على سبيل المثال:



تعرف قدرة التبادل الكاتيوني للغضار (CEC) (Cation Exchange Capacity) بأنه كمية الأيونات المتبادلة ، مقدرة بالمليمتر المكافئ، لكل 100g من الغضار الجاف. الجدول 2 يعطي قيم قدرة التبادل الكاتيوني لبعض الغضاريات ( منرالات الغضار) (Das. B.M, 2004) [14]

الجدول 2 السطح النوعي و قدرة التبادل الكاتيوني لبعض المنرالات الغضارية

المنرال الغضاري	السطح النوعي (m <sup>2</sup> /g)	قدرة التبادل الكاتيوني (me/100g)
كاولينيت	10-20	3
ايليت	80-100	25
مونتي مورلينيت	800	100
كلوريت	5-50	20
فيرميكوليت	5-400	150
هولوسايت (4H <sub>2</sub> O)	40	12
هولوسايت (2H <sub>2</sub> O)	40	12



### 3-1-3 المعايير الأولية لتحديد مفهوم الترب الضعيفة:

يستخدم تصنيف AASHTO لتحديد مدى صلاحية التربة كمادة في تنفيذ أعمال الطرق وتقسيم التربة طبقاً لهذا التصنيف إلى مجموعات من (A-1) إلى (A-8) طبقاً لطريقة عملها، و كيفية تصرفها في الحقل كمادة رصف لأعمال الطرق.

تعتمد طريقة التصنيف هذه على قرينة المجموعة التي يمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$\text{Group Index} = 0.2a + 0.005 ac + 0.01bd$$

حيث:

a- الجزء من النسبة المئوية المارة من المهزة رقم (200) الأكبر من 35 وبما لا يزيد على 75 والذي يعبر عنه برقم من (1-40)

b - الجزء من النسبة المئوية المارة من المهزة رقم (200) الأكبر من 15 و بما لا يزيد على 55 والذي يعبر عنه برقم من (1-40)

c - الجزء الناجم عن حد السيولة الأكبر من 40 و لا يزيد على 60 والذي يعبر عنه برقم من (1-20)

d - الجزء الناجم عن قرينة اللدونة الأكبر من 10 و لا يزيد على 30 والذي يعبر عنه برقم من (1-20)

### 3-1-4 الترب الغضارية الانتفاخية:

تعريفها، سلوكها: هي الترب التي يزداد حجمها عندما تزداد رطوبتها و يقل هذا الحجم عند جفافها وهي على الأغلب ترب غضارية ناعمة.

تزداد معدلات الانتفاخ (زيادة الحجم) بزيادة الماء الذي تمتصه التربة >> و ليس من الغريب في التربة الانتفاخية أن يكون معدل زيادة الحجم أكبر من 10% << (CHEN.F.H, 1988) [15] (NELSON. J. D, 1992) [16]

وبالطبع هناك ترب تظهر تغيراً في الحجم مع تغير محتوى الرطوبة كالترب الانهيارية و هي ليست المقصودة بالدراسة هنا.

إن مقدار الانتفاخ و/أو الانكماش يحدد بمحتوى الرطوبة في منطقة التربة قرب السطح، الفعالية الأساسية تكون حتى عمق 3m ما لم تزد هذه المسافة بوجود جذور الأشجار. (DRISCOLL. (1983, R) [17] و (BIDDLE. P. G, 1998) [18])

الترب الغضارية تستطيع أن تمتص كميات كبيرة من المياه بعد هطول الأمطار، لتصبح دبقة و يتأثر مقدار الانتفاخ والانكماش بالتركيب المنرالي للتربة فمثلاً تنتفخ المينرالات الغضارية من مجموعة مونتموريلونيت أكثر بكثير من مجموعة الأليليت أو الكاؤولينيت نظراً لتركيبها الذري و بنية الشبكة البلورية فيها. و يمكن أن نلاحظ تأثير التركيب المنرالي بمعطيات الجدول 3:

(بني حنا، 1989) [19]

الجدول 3 قيم الانتفاخ النسبي مقابل المنرالات المكونة للغضار

التربة	حجم التربة	
	قبل الانتفاخ	بعد الانتفاخ
غضار كاؤولينيت	1	3.75
غضار منتوموريلونيت	1	10.35

الانتفاخ و الانكماش ليستا عمليتين رجعيتين (HOLTZ. R. D, 1981) [20]، حيث يسبب الانكماش تشققات، وهي مع إعادة الترطيب لا تغلق بشكل كامل و لذلك تنفش التربة قليلاً، و أيضاً يسمح ذلك بوصول أكبر للماء من أجل عملية الانتفاخ من خلال هذه الشقوق. المشكلة الرئيسية في الترب الانتفاخية، هي أن التشوهات الحاصلة في التربة أكبر من تلك التي يمكن التنبؤ بها باستخدام نظريتي المرونة واللدونة.

### 3-1-5 الاختبارات:

#### اختبارات الانتفاخ والانكماش المخبرية:

تقسم اختبارات الانتفاخ إلى اختبارات تحاول قياس التشوه أو التشوه النسبي الناتج عن الانتفاخ ، وإلى اختبارات تحاول قياس الإجهاد أو الضغط المطلوب لمنع التشوه نتيجة الانتفاخ. ويشار إلى هذين النوعين هنا كاختبارات التشوه النسبي للانتفاخ واختبارات ضغط الانتفاخ على الترتيب. اختبارات تشوه الانتفاخ يمكن أن تكون خطية أي ذات بعد واحد (1-D) أو حجمية أي ذات ثلاثة أبعاد (3-D)

اختبارات ضغط الانتفاخ هي دائماً ذات بعد واحد و تستخدم تقليدياً الأدمتر (FITYUS et al.2005) [21] .

بينما اختبارات الانكماش تتعامل فقط مع قياسات التشنج النسبي الناتج عن الانكماش ( تشوه الانكماش ) في كل من أحادي البعد (1-D) و ثلاثي البعد (3-D).

### 3-2- الكلس (Lime) :

#### 3-2-1-2-1 عموميات:

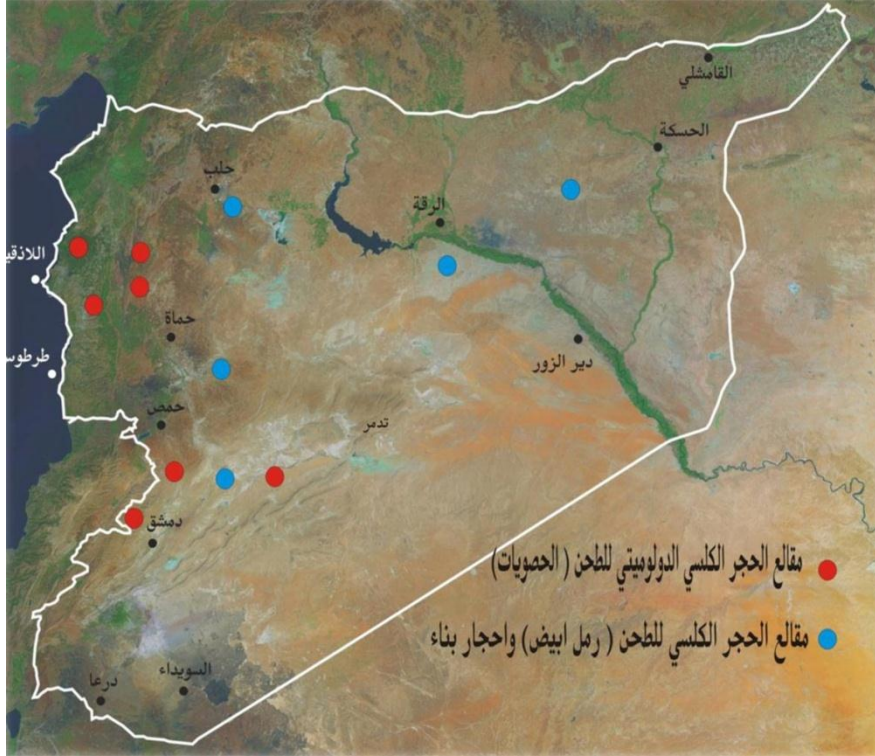
يصنع الكلس من الحجر الكلسي الذي يندرج تحت تصنيف الصخور الكربوناتية (كلسية - دولوميتية) وتشمل الصخور الكلسية المؤلفة بأغلبها من كربونات الكالسيوم والصخور الدولوميتية و المؤلفة من كربونات الكالسيوم و المغنيزيوم .يعالج الحجر الكلسي في أفران أفقية دوارة أو شاقولية بدرجة حرارة حوالي 950°C حيث يتشكل الكلس الحي وينطلق غاز ثاني أكسيد الكربون:



ويتصلب الكلس عن طريق امتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون من الهواء وبيطء يتحول إلى أكسيد الكالسيوم إلى كربونات الكالسيوم (BIDDLE. P. G, 1998) [18].

#### 3-2-2-2-3 تواجد الخام في سورية :

تتوزع مقالع الأحجار الكلسية و الكلسية الدولوميتية على مختلف محافظات و مناطق القطر، نظراً لأن التشكيلات الصخرية الصالحة للاستثمار و العائدة للأعمار الجيولوجية المختلفة، تتكشف في معظم محافظات ومناطق القطر، علماً بأن عامل الكلفة الاقتصادية لنقل المواد، من المقلع المنتج إلى مكان الاستهلاك، هو العامل الرئيسي في عمليات الاستثمار المقلعي. و يقدر الاحتياطي الجيولوجي لتشكيلة الحجر الكلسي المتكشفة بحوالي / 12 مليار m<sup>3</sup> (م.ع. للجيولوجيا) [22]، يبين الشكل (1) توزع مقالع الحجر الكلسي و الحجر الكلسي الدولوميتي في القطر العربي السوري. وفقاً لنفس المرجع (المؤسسة العامة للجيولوجيا، 2010) [22].



الشكل 3 توزيع مقالع الحجر الكلسي و الحجر الكلسي الدولوميتي في القطر العربي السوري. وفقاً لنفس

المرجع [22].

### 3-2-3 أشكال الكلس المستخدم في تحسين التربة الغضارية:

يستخدم الكلس بأشكاله المختلفة في أعمال تحسين التربة الغضارية. فالكلس الحي (Quick Lime)، الكلس المتميه (Hydrated Lime) وروبة الكلس (Lime Slurry) هي محسنات شائعة الاستخدام.

الكلس الحي: يتم الحصول على الكلس الحي (CaO) كما عرض أعلاه من التحول الكيميائي لكريونات الكالسيوم (الحجر الكلسي  $CaCO_3$ ) إلى أكسيد الكالسيوم.

الكلس المتميه: نحصل على الكلس المتميه من إطفاء الكلس الحي بالماء، فيتحول إلى ماءات الكالسيوم، وهي المركب الكيميائي الذي يتفاعل مع جزيئات الغضار ليشكل معها مواد رابطة قوية ودائمة.

روبة الكلس: يتم الحصول عليها بإضافة الماء بشكل مستمر إلى الكلس الحي لإطفائه، أو الكلس المتميه، للحصول على روبة الكلس بقوام مائع بنسبة إضافة 35% - 65% كلس إلى الماء على الترتيب [National Lime Association, 2004] [23].

معظم أنواع الكلس المستخدم في تحسين التربة الغضارية، هي من النوع "عالي الكالسيوم" ، و التي تحتوي على ما لا يزيد على 5% من أوكسيد المغنزيوم أو ماءات المغنزيوم، لكن في بعض الأحيان يمكن استخدام الكلس الدولوميتي، والذي يحتوي على (35-46%) من أوكسيد أو ماءات المغنزيوم. يتميز أداء الكلس الدولوميتي في تحسين التربة بأنه جيد على الرغم من أن تفاعل المغنزيوم أبطء من تفاعل الكالسيوم مع جزيئات التربة الغضارية. و في أحيان أخرى فإن مصطلح أو عبارة الكلس تستخدم للتعبير عن الكلس الزراعي وهو مطحون الحجر الكلسي الناعم، وهو يعتبر إضافة جيدة للتربة، لكنه غير فعال كيميائياً بشكل كافٍ يؤدي إلى تحسين التربة.

### 3-2-4 آلية تحسين الترب الغضارية بإضافة الكلس:

إن التحسن الذي يطرأ على التربة الغضارية عند إضافة الكلس، تأتي بشكل رئيسي من التفاعلات التالية:

- الإماهة للكلس الحي (hydration) والذي من آثاره إزالة الماء من التربة (جفاف التربة) dehydration of soil.
  - التبادل الشاردي (ion exchange) ومن آثاره التلبد.
  - التفاعل البوزولاني (pozzolanic reaction) والذي من آثاره تشكل الروابط الاسمنتية.
  - تفاعلات الكربنة (Carbonation) والتي تتم من خلالها عملية تصلب الكلس.
- تتضمن التفاعلات قصيرة المدى الإماهة (للكلس الحي) والتلبد الناتج عن التبادل الشاردي، بينما التفاعلات طويلة المدى هي تفاعلات الترابط الإسمنتي و تفاعلات الكربنة.

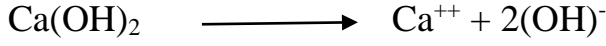
### 1-الإماهة:

يتفاعل الكلس الحي مع الماء الموجود في مسامات التربة، مطلقاً كمية كبيرة من الحرارة و يتشكل ماءات الكالسيوم وفق المعادلة:



نتيجةً لاستهلاك الماء في تفاعلات الإماهة، يحصل نقصان آني في محتوى الماء في التربة المتماسكة لذلك إذا كنا نرغب في تخفيض محتوى الرطوبة الطبيعية في التربة المتماسكة نستخدم الكلس الحي ( أوكسيد الكالسيوم) بدلاً من ماءات الكالسيوم.

تتفكك ماءات الكالسيوم الناتجة عن الاستخدام المباشر أو من إماهة الكلس الحي، في الماء مما يؤدي إلى زيادة التركيز الكهربي (electrolytic concentration) و قيمة الـ PH لماء المسامات، وكذلك انحلال  $SiO_2$  ,  $Al_2O_3$  من جزيئات الغضار، هذه العملية سوف تؤدي إلى التبادل الشاردي، التلبد، التفاعل البوزولاني.

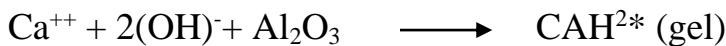


## 2- التبادل الشاردي و التلبد :

عند خلط الكلس مع الغضار، يحصل تبادل بين الكالسيوم من جهة و الصوديوم و الكاتيونات الأخرى الممتصة إلى سطوح منرالات الغضار من جهة أخرى. هذا التغير في تركيب الكاتيونات يؤثر على مكونات البنية لفلز الغضار. خلال فترة زمنية من دقيقتن إلى بضع ساعات بعد الخلط تتشكل ماءات الكالسيوم ثنائية و ذلك حسب تواجد حمض الكربون ضمن التربة و الناتج عن تفاعل غاز ثاني أكسيد الكربون في الهواء مع الماء الحر في التربة. ينتج عن التفاعل تفكك الكلس إلى  $Ca^{++}$  أو  $Mg^{++}$  و  $(OH)^{-}$  والتي تعدل القوى الكهربائية السطحية لمنرالات الغضار. ويبدأ التحول في حبيبات الغضار إلى حبيبات ذات حجم أكبر نتيجة التجمع أو لتلبد، وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة حد اللدونة و تخفيض حد السيولة و قرينة اللدونة، زيادة حد الانكماش، و قابلية التشغيل و يحسن خواص التربة المتعلقة بالمتانة.

## 3- التفاعل البوزولاني:

هو تفاعل طويل الأمد ينتج عنه زيادة في مقاومة التربة للقص مع الزمن. حيث تتفاعل ماءات الكالسيوم المتفككة في ماء التربة مع السيليكات و الألومينات في الغضار لتشكيل مواد رابطة تألف من سيليكات الكالسيوم المائية و/ أو ألومينات الكالسيوم المائية وفق ما يلي:



يعتمد هذا التفاعل على قيمة الـ (PH) التي وصلت إليها التربة بعد التحسين بالكلس، وكذلك يزداد معدل هذا التفاعل بازدياد درجة حرارة التربة.

<sup>1</sup> C=CaO S=SiO<sub>2</sub> H=H<sub>2</sub>O  
<sup>2</sup> C=CaO A=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> H=H<sub>2</sub>O

#### 4- تفاعلات الكربنة Carbonation:

يتفاعل الكلس مع ثاني أكسيد الكربون  $CO_2$  الموجود في الجو أو في التربة، ليشكل رابط اسمنتي ضعيف نسبياً، وهو كربونات الكالسيوم أو كربونات المغنيزيوم. إن مقاومة كربونات الكالسيوم المتشكلة يمكن إهمالها، حيث غالباً ما تعتبر عملية الكربنة عملية ضارة أكثر منها مفيدة في تحسين التربة الغضارية.

#### 3-3 - البوزولانا الطبيعية (Natural Pozzolana):

##### 3-3-1-3-3 عموميات:

تقسم البوزولانا إلى مجموعتين رئيسيتين طبيعيتين وصناعية.

##### البوزولانا الصناعية:

تعد البوزولانا الصناعية الأكثر استخداماً، و هي عبارة عن مخلفات صناعية بوزولانية أو مخلفات الحرق الصناعي للمواد غير العضوية حيث ينتج مواد مشابهة للبوزولانا الطبيعية (الترب البركانية) من ناحية خواصها الرابطة مع الإضافات المميهة (hydrative) (CHMEISSE.C, 1994) [3]. ومن أشكال البوزولانا الصناعية الأكثر شهرة و استخداماً:

##### الرماد المتطاير (fly ash):

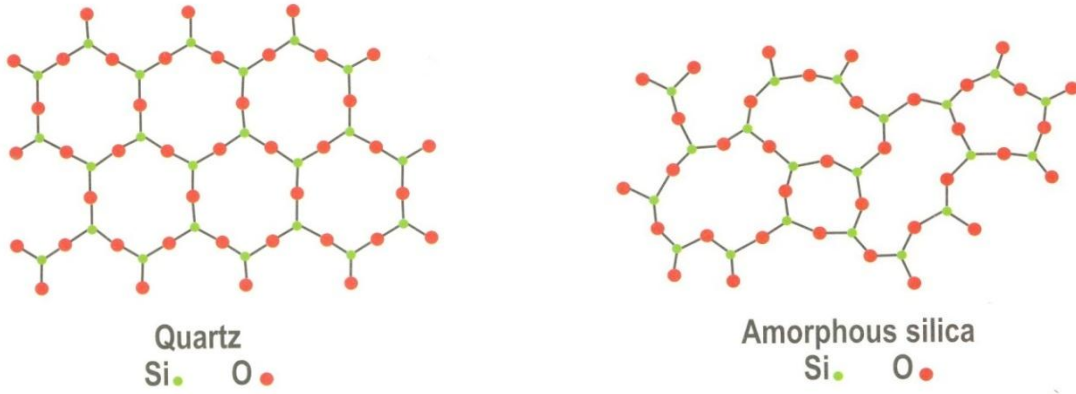
هو عبارة عن المتبقي أو الناتج من احتراق الفحم المسحوق في محطات توليد الطاقة الكهربائية، و يعد الإضافة الأكثر شيوعاً عالمياً، ففي عام 1976 قدرت كمية الماد المتطاير المستهلكة بـ 30 مليون طن من هذه الماد (CHMEISSE.C, 1994) [3].

خبث أفران صناعة الفولاذ، هباب السيلكا و أخيراً مخلفات الحرق الصناعي لمواد بوزولانية كرماد قشر الرز و رماد محطات معالجة الفضلات أيضاً من الأشكال المعروفة للبوزولانا الصناعية.

### البوزولانا الطبيعية:

تعد البوزولانا الطبيعية ثاني أقدم مادة بعد الكلس في الإنشاءات، و قد كانت عبارة عن رماد بركاني نتج عن ثورتين بركانيتين عنيفتين في البحر الأبيض المتوسط، الأولى ما بين عامي 1500 و 1600 قبل الميلاد في جزيرة تيرا في بحر ايجيه، وهي تسمى الآن سانتورين في اليونان ، والثانية كانت سنة 79 ميلادية في جبل فيزوف في خليج نابولي بإيطاليا، و كان كلاهما رماداً بركانياً (volcanic ashes) أو خفان (pumicites) (ACI committee 232, 1994) [4] عرفت اللجنة 116 من معهد الخرسانة الأمريكي ACI البوزولانا الطبيعية كما يلي:

هي مواد سيليسية أو مواد سيليسية ألومينية، و هي في حد ذاتها لها قيمة رابطة قليلة أو لا تمتلك أية قيمة رابطة، لكنها إذا طحنت بشكل ناعم و بوجود الرطوبة، فإنها تتفاعل كيميائياً مع ماءات الكالسيوم في درجات الحرارة العادية، لتشكل مركبات لها خواص رابطة. يبين الشكل رقم 2 التركيب البلوري للبوزولانا الطبيعية بالمقارنة مع التركيب البلوري للسيليكا في الكوارتز (ACI committee 232, 1994) [4].



الشكل رقم 4 مقارنة بين التركيب البلوري و اللابلوري للسيليكا في كل من الكوارتز و البوزولانا الطبيعية أما المواصفة القياسية السورية (1887) (هيئة المواصفات و المقاييس العربية السورية، 1997) [24] و الأوروبية (EN197-1+A1:2004) [25] فقد عرفت البوزولانا الطبيعية كما يلي:

- المواد البوزولانية الطبيعية (Natural Pozzolana) P :

المواد البوزولانية هي مواد من أصل بركاني، أو من صخور رسوبية ذات تركيب كيميائي ومعدني مناسب، سيليسية أو سيليسية-ألومينية أو من كليهما.



لا تتصلد المواد البوزولانية ذاتياً عند خلطها بالماء، لكن عندما تطحن بشكل جيد، و بوجود الماء تتفاعل بدرجة حرارة الوسط المحيط مع ماءات الكالسيوم المنحلة  $Ca(OH)_2$  لتشكل مركبات سيليكات الكالسيوم المائية و ألومينات الكالسيوم المائية التي تكسبها المقاومة. يجب أن تتكون المواد البوزولانية الطبيعية بشكل أساسي من أكسيد السيليس  $SiO_2$  و أكسيد الألمنيوم  $Al_2O_3$  ، أما الباقي فهو أكسيد الحديد  $Fe_2O_3$  و أكاسيد أخرى. يجب ألا تقل نسبة أكسيد السيليس الفعال  $SiO_{2active}$  عن 25% من الكتلة.

- البوزولانا الطبيعية المكلسنة Q (Calcined):

مواد من أصل بركاني أو خامات غضارية (clay) أو طفل (shales) أو صخور رسوبية، تنشط بالمعالجة الحرارية.

### 3-3-2 مصادر البوزولانا الطبيعية في العالم:

توجد البوزولانا الطبيعية في أنحاء عديدة من العالم، منها اليونان و إيطاليا و فرنسا و ألمانيا و تركيا و إسبانيا و الولايات المتحدة و الاتحاد السوفياتي سابقاً و الصين و المكسيك و اليابان و الهند.

#### بوزولانا pozzolana:

يوجد مصد للرماد البركاني (pumice ash) أو الطف (tuff) دقيق الحبيبات قرب نابولي (Napoles) و سيغني (segni) في إيطاليا، و هو ناتج عن ثوران بكاني متفجر حدث عام 79 ميلادية عند جبل فيزوف (Vesuvius). و كان المصدر قرب موقع يطلق عليه "بوزولي (Pozzoli)" و هو تسمية البوزولانا. و قد سميت به كل المواد التي لها خصائص مشابهة. و هناك طف مشابه فيه محتوى السيليس أخفض، استعمل لعدة قرون و يوجد بالقرب من روما.

#### تراب سانتورين Santorin earth:

و هو مصدر طبيعي للرماد البركاني بتركيبه الدولسيتيك (dolcitic) على جزيرة تيرا (سانتورين)، الذي نشأ من بركان نشط حوالي (1500-1600) قبل الميلاد بعد ثوران هائل متفجر.

### تراس رينيش Rheinisch Trass:

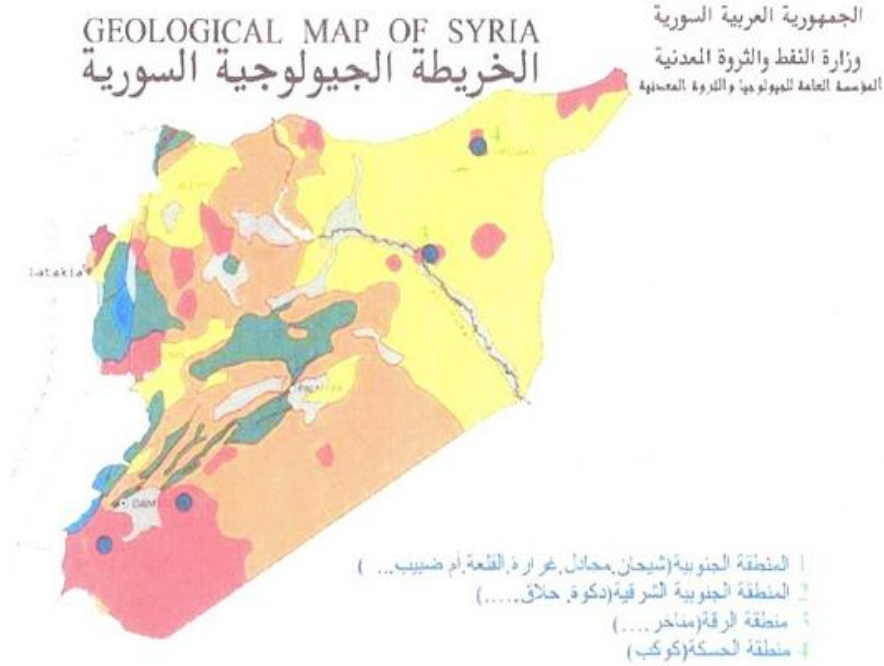
فيه بوزولانا طبيعية من أصل بركاني، و هو معروف منذ العهود الرومانية. هو طف تراكيتي (trachytic tuff) يختلف من مكان لآخر، وهو موجود في وادي الراين (Rine Riner) في ألمانيا. و قد استعملت أنواع مشابهة من الطف في بافاريا (Bavaria).

### غيز (Gaize):

وهو موجود في فرنسا و ليس من أصل بركاني، و لكنه صخر رسوبي مسامي (porous sedimentary rock) ، ويتألف بشكل رئيس من الأوبال (Opal).

### 3-3-3 تواجد الخام في سورية:

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. يبين الشكل 5 مواقع المخاريط البركانية البوزولانية المنتشرة في مناطق عديدة في القطر ( المنطقة الجنوبية و الجنوبية الشرقية والشمالية) والشكل 6 يبين صورة لمخروط تل شيحان في محافظة السويداء و هو الموقع الذي أحضرت منه عينات البوزولانا المستخدمة في هذا البحث.



الشكل رقم 5 خارطة للقطر العربي السوري تبين مواقع تواجد البوزولانا الطبيعية



الشكل رقم 6 مخروط تل شبحان في محافظة السويداء

### 3-4 التقنيات المستخدمة في تثبيت التربة الغضارية بالمحسنات:

لا يوجد تمييز واضح بين التثبيت أو التحسين السطحي و العميق، رغم أن المواصفة الأوربية EN14679: 2005 ( تنفيذ أعمال جيوتكنيكية خاصة - الخلط العميق) تعرف معالجة الخلط

العميق بأنها[26] تلك التي تكون على عمق (3) متر على الأقل.

توفر الشركات التخصصية نوعين من الخلط للتربة بالمحسنات أو المثبتات:

1- الخلط الكتلي السطحي

2- طريقة الخلط العميق (كتلي ، عمود الخلط العميق)

ويعتمد اختيار الطريقة على مواصفات التربة، عمق المعالجة المطلوبة، و البارامترات المطلوبة.

### 3-4-1 الخلط الكتلي السطحي:

تستخدم هذه الطريقة في المشاريع التي تتطلب تقوية وتثبيت الطبقة السطحية من التربة، وتقدم هذه الطريقة بديلاً للحلول التقليدية القائمة على استبدال التربة. يعتمد الخلط الكتلي على خلط كمية مناسبة من الرابط أو المحسن بحالة الرطوبة المطلوبة مع حجم طبقة التربة المراد تحسينها. و يتم الخلط في الموقع أفقياً و شاقولياً للعمق المطلوب. الآليات المستخدمة للخلط يمكن أن تكون ثابتة أو متحركة، ويمكن أن يكون الخلط على دفعات كبيرة، أو كعملية مستمرة. يبين الشكل 1 وحدة خلط متحركة في الموقع لكن الخلط يتم خارج نطاق المنطقة المعالجة. حيث ينقل الخليط مسافة قصيرة إلى موقع التنفيذ (الطرق مثلاً) من أجل الفرش و الرص.

### ب - طريقة الخلط العميق:

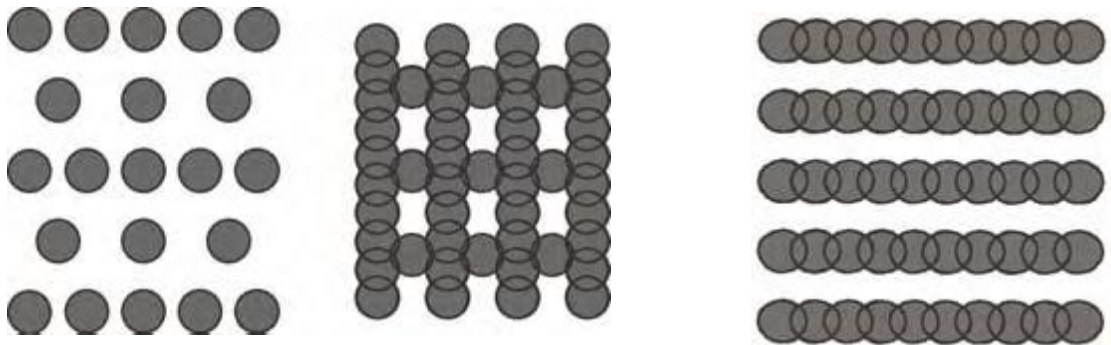


الشكل 7 التحسين الكتلي بطريقة الخلط المكثف للتربة المحفورة أو لمواد المنتجات الثانوية. الطريقة قابلة للتطبيق لكل أنواع التربة

تأثير إضافات البوزولانا الطبيعية والكلس على تحسين مواصفات التربة الغضارية



الشكل 8 التحسين أثناء تنفيذ الطريق حيث يتم فرش المادة الرابطة ورصها مع عمليات تنفيذ الطابق الترابي

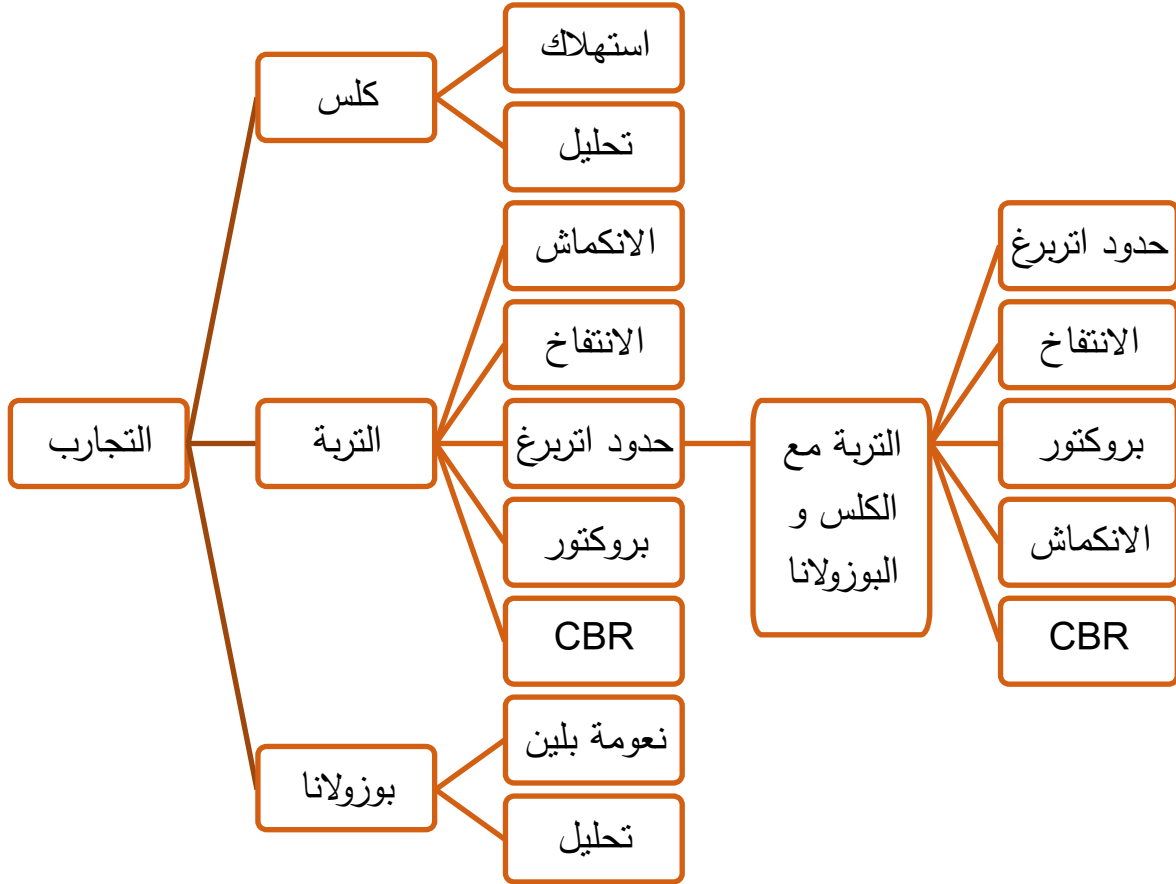


الشكل 9 بعض توزيعات الخلط العميق [المرجع]

## الفصل الرابع

### 4- الدراسة التجريبية

أجريت الدراسة التجريبية في مخابر ميكانيك التربة في جامعة دمشق، و مركز الاختبارات و الأبحاث الصناعية بدمشق، في الفترة الواقعة بين 2013/6 إلى 2014/7. يمثل المخطط التدفقي التالي مخطط التجارب للتربة ومواد الإضافة ومزيج التربة مع الإضافات حسب نسب المزج المختلفة:



الشكل 10 مخطط التجارب على التربة ومواد الإضافة ومزيج التربة مع الإضافات

#### 4-1 التجارب على التربة:

- أجريت التجارب التالية على التربة الغضارية التي تم اعتيانها من منطقة عالقين في محافظة درعا:
- تجارب التصنيف و تتضمن حدود اتبرغ، الوزن الحجمي، الوزن النوعي، التركيب الحبي.
  - تجربة رص التربة بقالب بروكتور النظامي.

تأثير إضافات البوزولانا الطبيعية والكلس على تحسين مواصفات التربة الغضارية

- تجربة نسبة تحمل كاليفورنيا CBR .
- تجربة الانتفاخ النسبي في قالب الـ CBR.
- تجربة الانكماش الخطي.
- تم اعتماد نظام تصنيف التربة الموحد، و تصنيف الـ AASHTO وكانت النتائج على الشكل التالي:

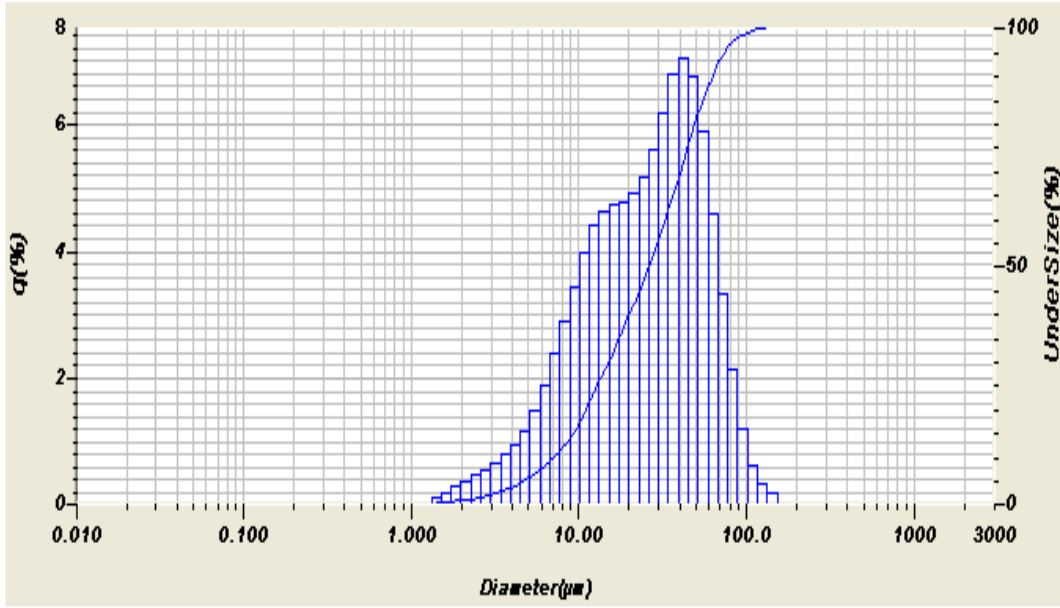
الجدول 4 خواص التربة الغضارية بدون إضافات

التجربة	النتيجة
المار من المهزة رقم 200 (%)	90<
الرطوبة الطبيعية (%)	22.6
الوزن النوعي	2.68
الوزن الحجمي (g/cm <sup>3</sup> )	1.79
الوزن الحجمي الجاف (g/cm <sup>3</sup> )	1.43
حد السيولة (%)	58.8
حد اللدونة (%)	30.4
قرينة اللدونة (%)	28.4
الكثافة الجافة العظمى (g/cm <sup>3</sup> )	1.48
الرطوبة المثالية (%)	27
تصنيف التربة الموحد	CH
تصنيف الـ AASHTO	A-7-6 (16)
نسبة تحمل كاليفورنيا CBR	عينة منقوعة CBR=2.89
	عينة غير منقوعة CBR= 6.38
الانتفاخ النسبي (%)	7.41



#### 1-1-4 تجربة التركيب الحبي:

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



الشكل 11 منحنى التدرج الحبي للتربة الغضارية بدون إضافات على جهاز التحليل الحبي الليزري

#### 2-1-4 تجربة الرطوبة الطبيعية 71 - ASTM-D 2216:

أجريت تجربة الرطوبة الطبيعية على عينة التربة المحفوظة ضمن كيس بلاستيكي محكم الإغلاق للمحافظة على الرطوبة الحقيقية لعينة التربة الغضارية بدون إضافات في مخبر ميكانيك التربة، وأجريت التجربة على ثلاث عينات، وبأخذ المتوسط الحسابي لهذه العينات، حصلنا على النتيجة النهائية للرطوبة الطبيعية وفق ما هو مبين في الجدول رقم 5



تأثير إضافات البوزولانا الطبيعية والكلس على تحسين مواصفات التربة الغضارية

الجدول 5 نتائج تجربة الرطوبة الطبيعية للتربة الغضارية بدون إضافات

رقم العينة	1	2	3
رقم العينة			
وزن العينة فارغة (m1) gr	12.91	12.89	12.7
رطوبة وزن العينة + وزن العينة (m2) gr	60.01	58.95	57.22
جافة وزن العينة + وزن العينة (m3)gr	51.6	50.23	49.02
وزن الماء (m2- m3)gr	8.41	8.72	8.2
وزن العينة جافة (m3-m1)gr	38.69	37.34	36.32

22.5771 23.353 21.7369

$$W = \frac{m2 - m3}{m3 - m1} \times 100$$

22.6

#### 3-1-4 تجربة الوزن الحجمي:

أجريت تجربة الوزن الحجمي للتربة الغضارية بدون إضافات في مخبر ميكانيك التربة، و كانت النتيجة كما هو مبين في الجدول رقم 4، حيث تبين أن قيمة الوزن الحجمي للتربة تساوي  $1.79 \text{g/cm}^3$ .

#### 4-1-4 تجربة الوزن النوعي ASTM-D 854 – 92:

أجريت تجربة الوزن النوعي للتربة الغضارية بدون إضافات في مخبر ميكانيك التربة، و كانت النتيجة كما هو مبين في الجدول التالي، حيث تبين أن قيمة الوزن النوعي للتربة تساوي 2.68

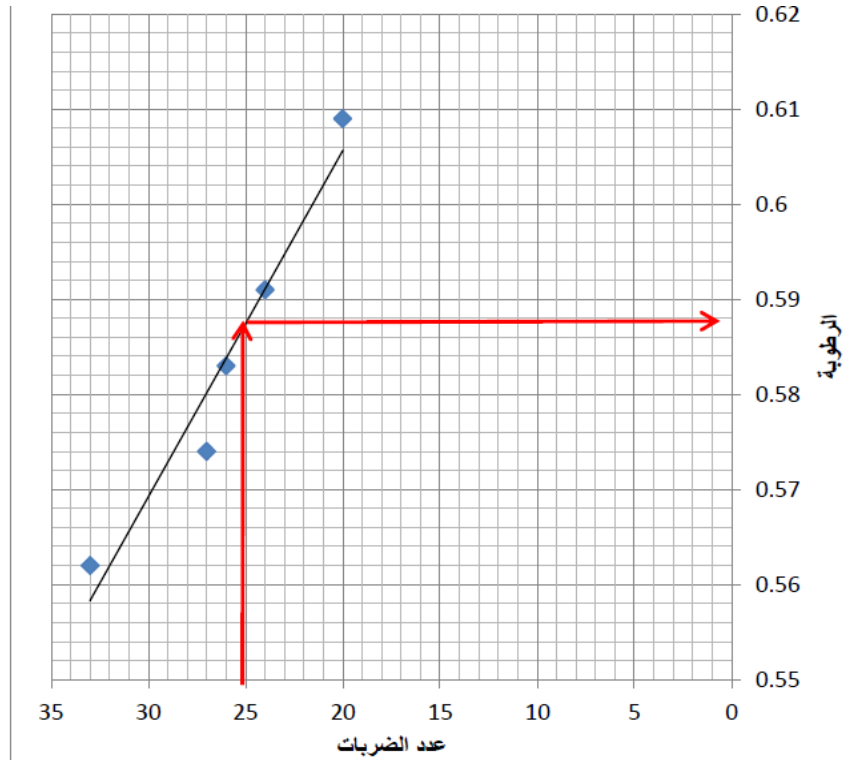
الجدول 6 نتائج تجربة الوزن النوعي

تجربة الوزن النوعي			
77.61	106.06	99.12	وزن البكنومتر بعد التجفيف m1
117.6	147	139.22	وزن البكنومتر و بداخلها التربة m2
350.06	379.88	372.73	وزن البكنومتر و التربة مملوءة بالماء m3
325.6	354.1	347.44	وزن البكنومتر مملوء بالماء المقطر m4
2.575016	2.700528	2.70763	الوزن النوعي
2.661057927			الوسطي

ASTM-D 4318 -93: 5-1-4 حدود اتريرغ

تجربة حد السيولة :

أجريت تجربة حد السيولة على جهاز كازاغراندي الكهربائي، يبين الشكل (11) نتائج التجربة



الشكل 12 قيم الرطوبة مقابل عدد الضربات في تجربة تحديد حد السيولة للتربة الغضارية بدون إضافات على

جهاز كازاغراندي الكهربائي

### تجربة حد اللدونة:

أجريت تجربة حد اللدونة، باستخدام الطريقة اليدوية لصنع فتائل من معجونة التربة و أخذ رطوبتها عندما تبدأ بالتشقق بقطر 3.2mm، وكانت النتج كما هو مبين في الجدول 7.

الجدول 7 نتائج تجربة حد اللدونة للتربة الغضارية بدون إضافات

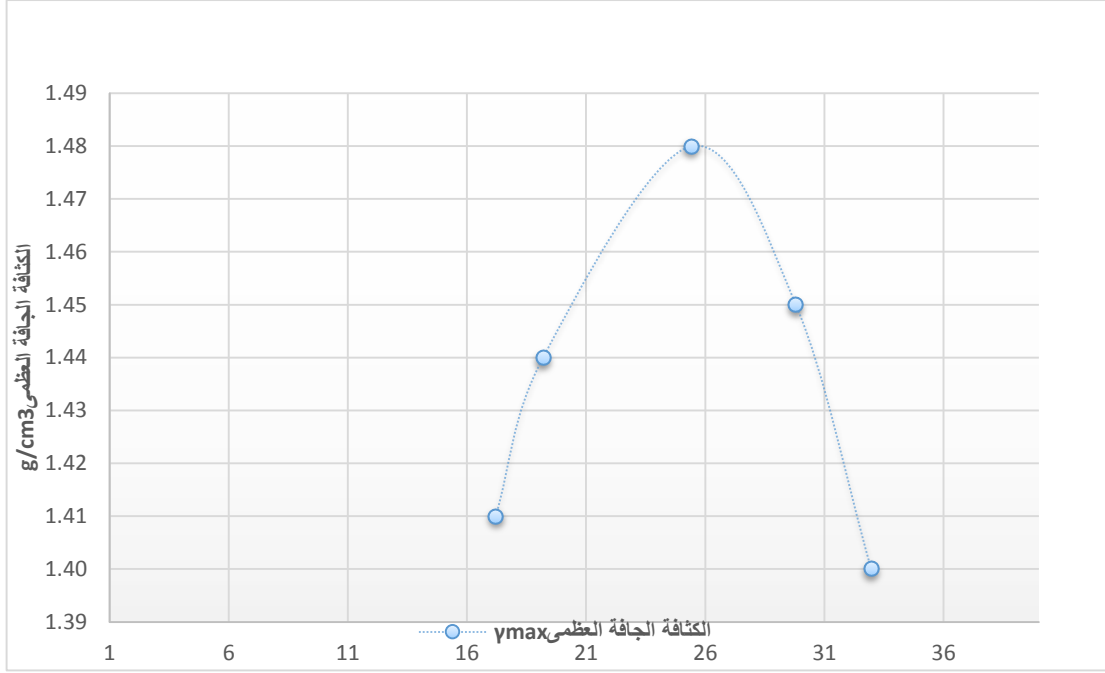
تجربة حد اللدونة					
معتمدة 2013-9-12					
رقم العينة	رقم العلبه	وزن العلبه فارغه	وزن العلبه مع العينه	وزن العلبه مع العينه جافه	الرطوبة
1	23	15.22	24.36	22.25	0.300142
2	0	14.71	23.89	21.78	0.298444
3	14	13.59	25.33	22.53	0.313199
حد اللدونة					
حد اللدونة المعتمد 30,4 %					

### 4-1-6 تجربة رص بروكتور بال قالب النظامي ASTM - D 698 - 91 :

أجريت تجربة الرص للتربة بدون إضافات في قالب بروكتور النظامي، في مخبر ميكانيك التربة، وكانت النتائج كما هو مبين في الشكل 13، كما يبين الشكل 13 استخراج العينات من القالب بعد الرص.



الشكل 13 استخراج العينات من القالب بعد الرص



الشكل 14 نتائج تجربة الرص للتربة بدون إضافات في قالب بروكتور النظامي وتبين قيم الكثافة الجافة مقابل الرطوبة

#### 4-1-7 تجربة نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) - ASTM - D 1883 - 94:

تعتبر هذه التجربة مؤشر أساس على متانة التربة، وليست قياساً لها، وتهدف التجربة إلى تحديد تحمل التربة النسبي بعد رصها ، و ذلك عن طريق مقارنة القوة اللازمة لاختراق التربة، مع نتائج اختراق تربة قياسية، ويمكن من خلال هذه التجربة تحديد صلاحية التربة الطبيعية الأساسية، وتربة طبقات الردم في الطريق ( طبقة الأساس وما تحت الأساس)

أجريت تجربة نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) للتربة بدون إضافات في مخبر ميكانيك التربة، حيث تم رص التربة في قالب الـ CBR على ثلاث طبقات بطاقة رص 56 ضربة لكل طبقة و باستخدام مطرقة قياسية بوزن 44N، غمرت العينات المرصوة بالماء لمدة 96 ساعة، ثم اختبرت على جهاز الاختراق الكهربائي من طراز (ELE) وكانت النتائج كما هو مبين في الجدول (4).



الشكل 15 قالب الـ CBR بعد رص التربة

#### 4-2 التجارب على الكلس:

#### 4-2-1 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. و بالتالي فإن مبدأها الأساسي يعتمد على إضافة كمية كافية من الكلس للتربة المراد تحسينها، للوصول إلى درجة قلووية لمزيج التربة والكلس  $PH=12.4$ ، و ذلك لضمان استمرارية التفاعل البوزولاني بين التربة والكلس، حسب المواصفة ASTM- D 6276-99a أو المواصفة البريطانية BS 1924:part2:clause 5.4. ، تحضر عينة من التربة المجففة بالهواء، ويمكن تجفيف عينة بالفرن بدرجة حرارة أقل من  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  يؤخذ 350 g من التربة المارة عبر المنخل رقم 40 ، حيث يحدد محتوى الرطوبة، ونحتفظ بالباقي في وعاء محكم الإغلاق لفظ الرطوبة لحين إجراء التطبيق الموصوف أدناه:

- نحضر 5 عينات من التربة المجففة بالهواء تكافئ 25g من التربة المجففة بالفرن كما يلي:

$$M_a = 25 \times (1 + w/100)$$

$M_a$  - كتلة عينة التربة المجففة بالهواء.

$W$  - محتوى الرطوبة % للعينة المجففة بالهواء.

- نحضر 6 عينات من الكلس، 5 عينات تمثل % 2,3,4,5,6 من الكتلة المكافئة لـ 25 g، العينة السادسة تمثل محلول الكلس المشبع، حيث نضع 2g من الكلس في عبوة بلاستيكية جافة لها غطاء محكم.
- ملحق المواصفة C977 لحظ أنه عند استخدام الكلس الحي (كما في التجربة الحالية)، يجب أن يطحن بسرعة للمرور عبر المنخل رقم 6 (3.35 mm).
- نضيف العينة الأولى من الكلس إلى واحدة من عينات التربة في العبوة البلاستيكية ونكتب النسبة على العبوة. ثم نقوم بهز العبوة بعد إحكام إغلاقها لضمان الخلط الكلي للكلس مع التربة. نكرر هذه الخطوة على بقية النسب الأربعة من الكلس على العينات الأربعة من التربة.
- نسد العبوات بإحكام ونبدأ بهز كل عبوة ماء-كلس-تربة، أو عبوة ماء-كلس لمدة 30 ثانية على الأقل أو حتى المزج الكامل. نوالي هز العبوات لمدة 30 ثانية كل 10 دقائق ولمدة ساعة كاملة.
- في حال الضرورة نسخن أو نبرد العينة للحصول على درجة حرارة  $25 \pm 1^\circ C$ .
- خلال 15 دقيقة بعد مرور فترة هز العبوات لمدة ساعة نحدد الـ PH لكل من مزيج التربة- الكلس- الماء ومزيج الكلس- الماء بدقة 0.01 وحدة PH. نحافظ على درجة حرارة المزيج  $25 \pm 1^\circ C$  عند تحديد الـ PH.
- نسجل قيم الـ PH لكل من مزيج التربة- الكلس- الماء ولمزيج الكلس- الماء. أقل نسبة من الكلس في التربة تعطي PH يساوي 12.4 هي النسبة المئوية التقريبية للكلس في التربة المحسنة. قد تصل الـ PH في بعض الترب إلى قيمة أعلى من 12.4 عندها نختار النسبة الأدنى من تجربتين متتاليتين أو أكثر.
- إذا كان القياس الأعلى للـ PH هو 12.3 أو أقل عندها نحضر ونختبر عينات إضافية بنسب أعلى من الكلس. وفي حال عدم الحصول على قيم أعلى من الـ 12.3 لعينتين متتاليتين بنسب متزايدة من الكلس، عندها تعتبر النسبة الدنيا من الكلس التي تعطي 12.3 هي النسبة التقريبية المثالية للكلس اللازم لتحسين التربة.

- نحول النسبة المئوية للكلس على شكل ماءات الكالسيوم (كلس متميه)  $[Ca(OH)_2]$  إلى نسبة مئوية لكلس على شكل كلس حي (CaO) كما يلي:

$$LQ = LH \times 56/74$$

LH-النسبة المئوية للكلس المتميه

LQ-النسبة المئوية للكلس الحي

74-الوزن الجزيئي لـ  $Ca(OH)_2$

56-الوزن الجزيئي لـ CaO



الشكل 16 العبوات البلاستيكية الحاوية على نسب الكلس المختلفة مع التربة و الماء

أجريت التجربة في مخبر ميكانيك التربة و كانت النتائج كما هو مبين في الجدول 8:

الجدول 8 نتائج تجربة نسبة استهلاك الكلس

Percentage	2%	3%	4%	5%	6%	lime
Of Lime %						
PH	11.99	12.33	<u>12.44</u>	12.48	12.55	12.72
Temperature	24.6	25.1	25.9	25.1	25.5	25.8
PH at 25°C	11.98	12.33	<u>12.47</u>	12.48	12.57	12.74



و بالنتيجة فإن النسبة الدنيا المقبولة من الكلس لتحسين التربة الغضارية موضوع الدراسة هي 4% من الوزن الجاف للتربة.

ملاحظة:

تم تصحيح قيم الـ PH لدرجة الحرارة 25°C حسب المعادلة التالية:

$$\text{PH correction} = (0.03 \text{ PH} / 1^\circ\text{C}) \times (t - 25)$$

وكمثال على تطبيق هذه المعادلة:

$$\text{PH} = 12.44 \text{ at } 25.9^\circ\text{C} \rightarrow \rightarrow \text{at } 25^\circ\text{C}: \text{PH} = 12.47$$

$$\text{As: } \text{PH} = 12.44 + (0.03 \times 0.9) = 12.47$$

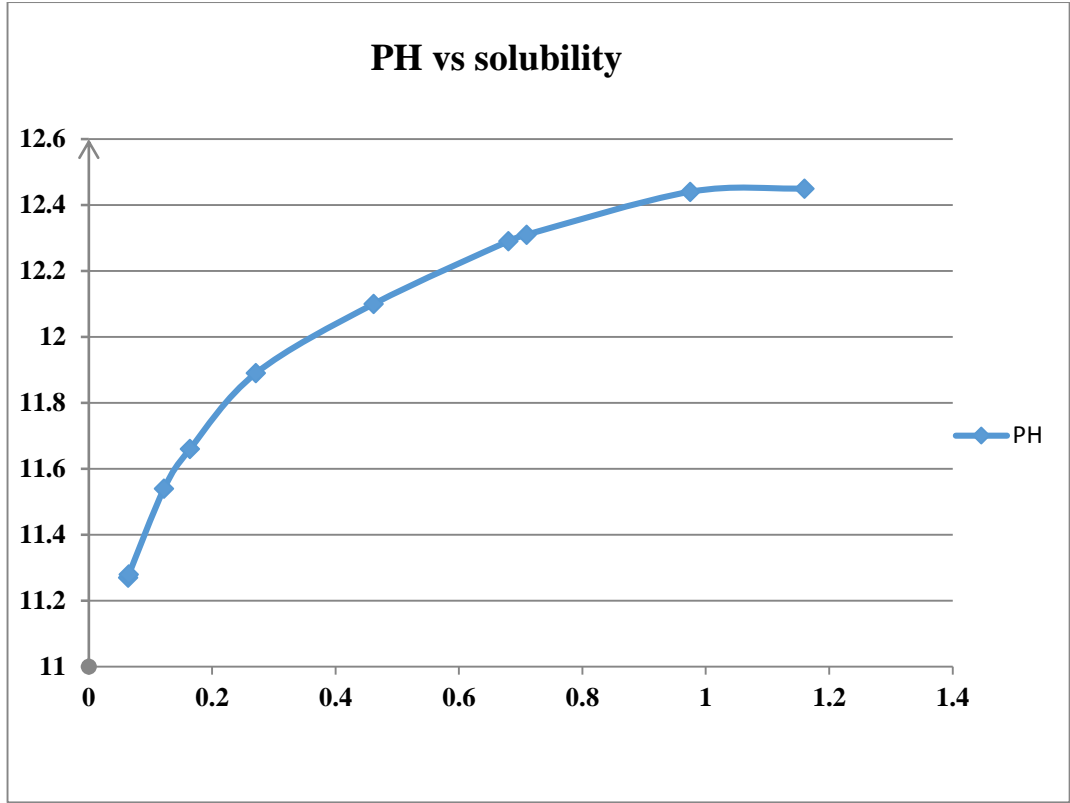
و السبب في انخفاض قيمة الـ PH بارتفاع درجة الحرارة، أن انحلالية الكلس تنخفض بارتفاع درجة الحرارة كما يبين الجدول التالي:

الجدول 9 قيم الـ PH مقابل درجة الانحلالية بالماء

CaO(g/liter)	PH
0.064	11.27
0.065	11.28
0.122	11.54
0.164	11.66
0.271	11.89
0.462	12.10
0.680	12.29
0.710	12.31
0.975	12.44
1.160	12.45



تأثير إضافات البوزولانا الطبيعية والكلس على تحسين مواصفات التربة الغضارية



الشكل 17 منحنى يمثل ارتفاع قيم الـ PH بارتفاع الانحلالية في الماء للكلس

وبدوره يعطي الجدول التالي (رقم 10) تغير الانحلالية للكلس في الماء بتغير درجة الحرارة.

الجدول 10 تغير انحلالية الكلس بالماء بتغير رجة الحرارة

t ° C	CaO	Ca(OH) <sub>2</sub>
0	0.140	0.185
10	0.133	0.176
20	0.125	0.165
25	0.120	0.159
30	0.116	0.153
40	0.106	0.140
50	0.097	0.128
60	0.088	0.116

تأثير إضافات البوزولانا الطبيعية والكلس على تحسين مواصفات التربة الغضارية

70	0.079	0.104
80	0.070	0.092
90	0.061	0.081
100	0.054	0.071

يلعب حجم حبيبات الكلس (النعومة) في الانحلالية بالماء، بينما أكسيد المغنزيوم، السيليكون والكربون، ليس لها تأثير على انحلالية الكلس بالماء. ( National Lime Association ) [23](2004)

#### 2-2-4 التجربة الثانية: التحليل الكيميائي:

تحدد الجمعية العامة للكلس الحد الأدنى المطلوب من أكسيد الكالسيوم  $CaO$  بـ 60% ، و ذلك حتى يكون الكلس صالحاً لتحسين التربة الغضارية. تم احضار 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 11 نتائج التحليل الكيميائي.

#### الجدول 11 نتائج التحليل الكيميائي

الأوكسيد	النسبة المئوية
CaO	93.7
MgO	0.53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.47
Sulfates (So <sub>4</sub> )	1.2
الفاقد بالحرق	3.9

### 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، و أجريت عليها التجارب التالية:

### 1-3-4 تجربة نعومة بلين (Blain Fineness) EN 196-6:1989

- مبدأ التجربة يعتمد على قياس السطح النوعي لحبيبات المادة اعتماداً على الزمن اللازم لنفاذية الهواء عبر مسحوق المادة وفق شروط التجربة.
- طحنت البوزولانا الطبيعية بواسطة مطحنة مخبرية تعمل بطريقة السحن ثم طحنت على مطحنة كرات مخبرية.
- أجريت بعدها تجربة النعومة على جهاز بلين اليدوي وبينت النتائج أن الطحن لمدة 15 دقيقة على مطحنة السحن، و 30 دقيقة على مطحنة الكرات يعطي سطح النوعي  $100 \pm 3500 \text{ cm}^2/\text{g}$  الذي تعتمد السطح النوعي كدليل أو مؤشر على النعومة التجريبية وفق النورم الأوربي EN 196-6:1989.



الشكل 18 مطحنة الكرات - مخابر مركز الاختبارات والبحوث الصناعية

تأثير إضافات البوزولانا الطبيعية والكلس على تحسين مواصفات التربة الغضارية



الشكل 19 مطحنة السحن - مخابر مركز الاختبارات والبحوث الصناعية

يبين (الشكل 20) جهاز بلين اليدوي الذي أجريت عليه تجربة النعومة،



الشكل رقم 20 جهاز بلين اليدوي - مخابر مركز الاختبارات والبحوث الصناعية

#### 2-3-4 تجارب التحليل الكيميائي:

ويتضمن تحديد نسب الأكاسيد المبينة في الجدول 11، تشتت المواصفة القياسية السورية ألا تقل نسبة السيلكا الفعالة عن 25% من الكتلة و ذلك لضمان فعالية البوزولانا الطبيعية كإضافة .

وجد بالتحليل أن نسبتها تساوي 43.66 ونسب باقي الأكاسيد مبينة في الجدول 12

#### الجدول 12 نتائج التحليل الكيميائي للبوزولانا الطبيعية

الأوكسيد	النسبة المئوية
(all) SiO <sub>2</sub>	46,5
(active) SiO <sub>2</sub>	43.66
MgO	2.48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.18
CaO	8.5
K <sub>2</sub> O	6.01
Na <sub>2</sub> O	3.7

#### 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 13 التالي:

الجدول 13 نسب الإضافات للتربة من الكلس والبوزولانا الطبيعية

نموذج الخلط بالنسبة المئوية				
الكلس				
(L)	البوزولانا الطبيعية (NP)	التربة	التسمية	
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	
9	20	72	NP20L8	

أجريت على عينات التربة المحسنة بالإضافات وفق النسب المبينة في الجدول 4-4 التجارب التالية: تجربة الرص باستخدام قالب بروكتور النظامي، وفق المواصفة ASTM-D698-91، و ذلك لتحديد الكثافة الجافة العظمى (MDD) و الرطوبة المثالية (OMC)، و من 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 و الكلس، تجربة نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) حسب المواصفة ASTM-D1883-94 لعينات التربة المعالجة، و المنقوعة في الماء لمدة 96 ساعة، حيث أخذت

تأثير إضافات البوزولانا الطبيعية والكلس على تحسين مواصفات التربة الغضارية

خلالها قراءات الانتفاخ لحساب الانتفاخ النسبي ضمن قالب (CBR) و ذلك لمقارنتها مع نفس التجربة و لكن على عينة التربة بدون إضافات.

## الفصل الخامس

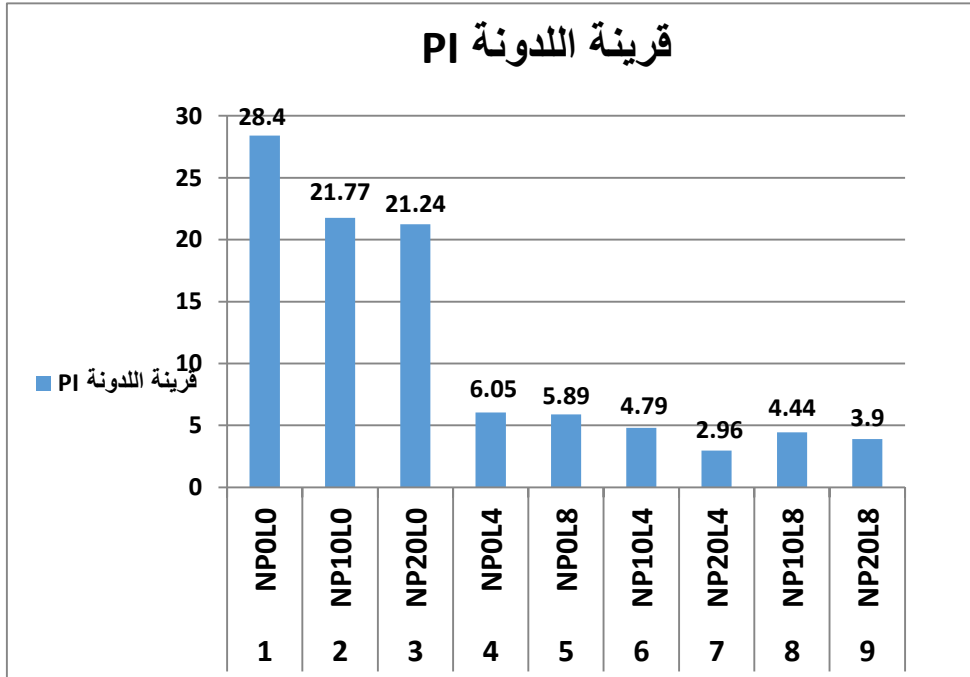
### 5- النتائج والمناقشة

#### 5-1 خواص القوام (حدود اتربرغ) ASTM-D4318-93:

بينت تجارب حدود اتربرغ التي أجريت على التربة و التربة مع الإضافات أن زيادة نسبة الكلس من 0 إلى 8% يؤدي إلى زيادة ملحوظة في حد اللدونة ونقصان في حد السيولة وبالتالي يؤدي إلى نقصان قرينة اللدونة و هذا مؤشر على التحسن الذي طرأ على التربة الغضارية المحسنة، كما أن إضافة 10% من البوزولانا الطبيعية أدت إلى تخفيض قرينة اللدونة من 28.4 إلى 21.77، بينما إضافة 20% من البوزولانا الطبيعية، قابلها قرينة لدونة مقدارها 21.24. و هذا التغير الطفيف نسبياً يعود إلى زيادة حد اللدونة، و نقصان حد السيولة في تأثير مشابه لتأثير الكلس لكن بدرجة أقل. التركيبات المزجية أعطت نتائج واضحة في تخفيض قرينة اللدونة، و التركيبية L4NP20 أعطت أقل قرينة لدونة 2.96 و بالتالي أعلى تخفيض.

انخفاض قرينة اللدونة يعبر عن ارتفاع قابلية التشغيل للتربة، و تغير التركيب الحبي لها.

قيم حد السيولة و حد اللدونة و قرينة اللدونة مبينة في الجدول 14 . كما يبين الشكل 21 قيم قرينة اللدونة مقابل النسب المزجية المستخدمة.

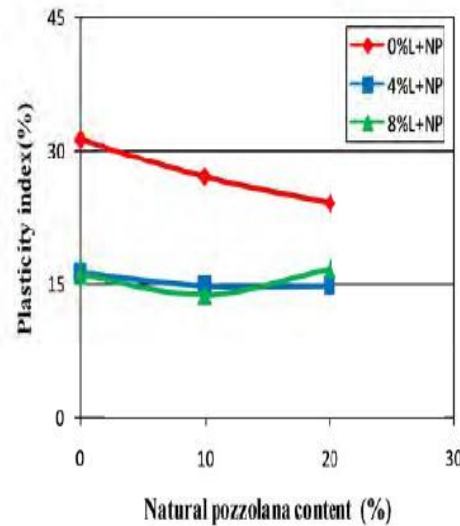


الشكل 21 قيم قرينة اللدونة مقابل نسب المزج المستخدمة



الجدول 14 قيم حد السيولة، حد اللدونة، و قرينة اللدونة مقابل النسب المزجية المختلفة

العينه	الرمز	التربة	NP	L	حد السيولة	حد اللدونة	قرينة اللدونة PI
1	NP0 L0	100	0	0	58.8	30.4	28.4
2	NP10 L0	90	0	4	58	36.23	21.77
3	NP20 L0	80	0	8	54.1	32.36	21.24
4	NP0 L4	96	10	0	48.8	42.75	6.05
5	NP0 L8	92	20	0	52	46.11	5.89
6	NP10 L4	86	10	4	47	42.21	4.79
7	NP20 L4	76	20	4	43.2	40.24	2.96
8	NP10 L8	82	10	8	48	43.56	4.44
9	NP20 L8	72	20	8	44.4	40.5	3.9



الشكل 22 نتائج مشابهة: Zoubir.et.al-2013 [12] في تحسين قرينة اللدونة مقابل التركيبات المزجية من

الكلس و البوزولانا الطبيعية

تطابق هذه النتائج ما تم التوصل إليه في دراسات مشابهة، لكن تختلف معها في نسب التحسين حيث وصلت عن (Zoubir.et.al-2013)[10] إلى تخفيض في قرينة اللدونة بحدود % 50 عند إضافة التركيبة المزجية L8NP10 كما هو موضح في الشكل المبين جانباً الذي يظهر انخفاض قرينة اللدونة من حوالي 30 إلى 15، عند إضافة التركيبات المزجية من الكلس و البوزولانا الطبيعية.

## 5-2 مواصفات الرص (تجربة بروكتور النظامية) ASTM-D698-91:

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

أظهرت النتائج الموضحة في الجدول 14 أن الرطوبة المثالية تزداد بينما الكثافة الجافة العظمى تتناقص مع زيادة نسبة الكلس، و هي نتائج مشابهة لما تم ملاحظته في دراسات سابقة في سلوك الترب الغضارية المحسنة بالكلس وعلى سبيل المثال لا الحصر:

(Hossain et al., 2007; Manasseh and Olufemi, 2008).

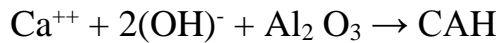
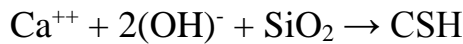
ويعزى هذا السلوك إلى الأسباب التالية:

1- يؤدي الكلس المضاف إلى تجميع الحبيبات وبالتالي تحتل حجماً أكبر و بذلك يتغير التدرج الفعال للتربة.

2- الوزن النوعي للكلس أقل منه للتربة المختبرة.

3- يؤدي التفاعل البوزولاني بين الغضار و الكلس إلى زيادة الرطوبة المثالية.

فقد بينت التجربة أن الوزن النوعي للكلس المستخدم للتحسين في هذه الدراسة هو 2,2 بينما الوزن النوعي للتربة 2,68. و هذا يتوافق مع توصل إليه الباحث خليفة وفريقه من الجزائر (HARICHANE et al, 2011)[9] أما التفاعل البوزولاني و الذي يتم وفق المعادلتين:



فهو يعني التفاعل بين ماءات الكالسيوم التي تشكلت في التربة نتيجة إضافة الكلس ، مع السيليكا والألومينا (pozzolans) في الغضار، لتشكيل مواد رابطة (Cementing materials)، هذه المواد تربط حبيبات التربة الغضارية بطريقة مماثلة لآلية الربط التي تنتج عن إمهاة الاسمنت البورتلاندي.

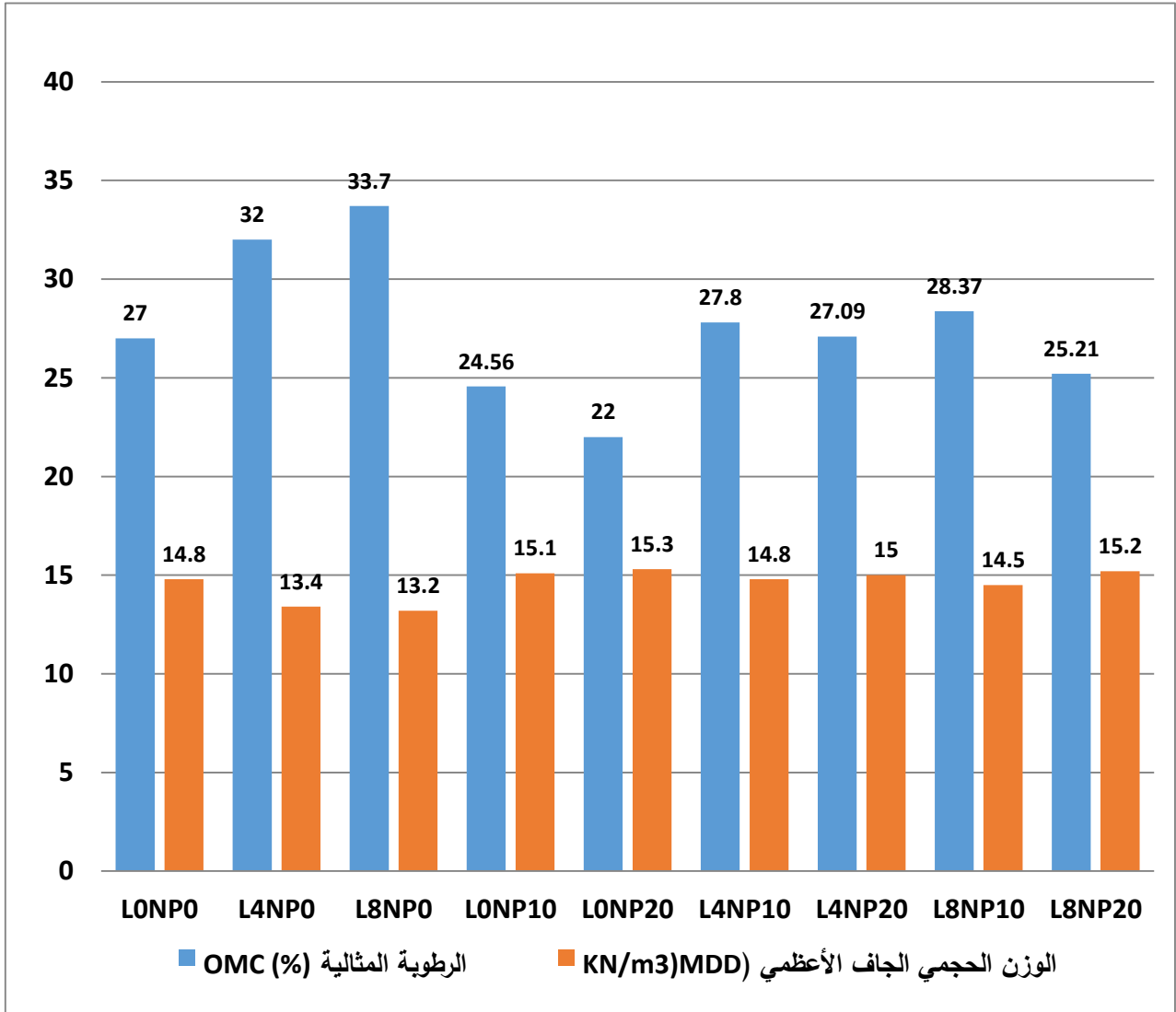
أما ما يتعلق بتأثير البوزولانا الطبيعية فقد لوحظ تناقص الرطوبة المثالية وازدياد الكثافة الجافة العظمى مع زيادة نسبة البوزولانا الطبيعية من 0 إلى 20%. و زيادة الكثافة الجافة العظمى مؤشر على تحسن مواصفات التربة. و ما تم ملاحظته في الدراسة التجريبية من تناقص الرطوبة المثالية، يمكن إرجاعه إلى خاصية الجاذبية المنخفضة للبوزولانا الطبيعية للماء (low affinity for water)، أما الزيادة في الكثافة الجافة العظمى، فيرجح أنها تعود إلى الوزن النوعي المرتفع نسبياً للبوزولانا الطبيعية. إن إضافة المزيج من الكلس مع البوزولانا الطبيعية إلى التربة الغضارية يخفض الرطوبة المثالية ويزيد من الكثافة الجافة العظمى.

النتائج المبينة في الجدول 15، و في الشكل 23 تظهر قيم الكثافة الجافة العظمى و الرطوبة المثالية مقابل النسب المزجبة المختلفة من الكلس والبوزولانا الطبيعية وتركيباتهما المزجبة.

الجدول 15 قيم الرطوبة المثالية والكثافة الجافة العظمى للعينات المرجعية والعينات المعالجة بالمحسنات في

تجربة بروكتور النظامية

رقم العينة	التسمية	الرطوبة المثالية (%) OMC	الوزن الحجمي الجاف الأعظمي (KN/m <sup>3</sup> )MDD
1	L0NP0	27	14.8
2	L4NP0	32	13.4
3	L8NP0	33.7	13.2
4	L0NP10	24.56	15.1
5	L0NP20	22	15.3
6	L4NP10	27.8	14.8
7	L4NP20	27.09	15
8	L8NP10	28.37	14.5
9	L8NP20	25.21	15.2



الشكل 23 قيم الرطوبة المثالية والكثافة الجافة العظمى للعينة المرجعية والعينات المعالجة بالمحسنات

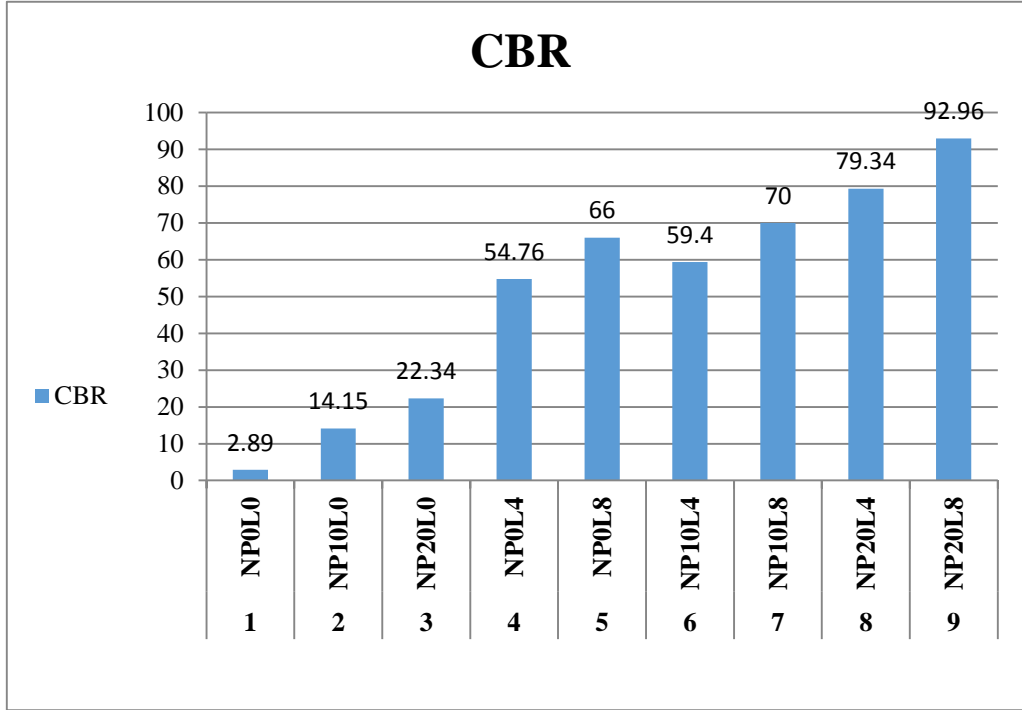
### 3-5 تجربة نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR):

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 للعينات المرجعية والعينات المعالجة.

الجدول 16 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 تحسين، وفق ما هو مبين في الشكل 24 .



الشكل 24 قيم نسبة تحمل كاليفورنيا CBR مقابل نسب الإضافة المختلفة من الكلس والبوزولانا الطبيعية و قد تقاربت هذه النتائج مع ما توصل إليه الباحث [3]Chemise's 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. و كذلك الحال عند إضافة 8% اسمنت و 4% رماد قشر الرز عند الباحث Alhassan وزميله، وصلت بهذه النسبة إلى 140% (ALHASSAN. M, 2007). [6] إن التحسن الكبير في نسبة تحمل كاليفورنيا CBR، يعود إلى التغير الذي طرأ على التربة، و تحولها إلى تركيب حي جديد، إضافة إلى التفاعل بين الكلسمن جهة، والسيلكا و الألومينا في التربة الغضارية و البوزولانا الطبيعية من جهة أخرى لتكوين مواد رابطة أدت إلى زيادة المتانة.

يبين الجدول 13 طريقة الـ AASHTO في تقييم تربة الأساس للطرق وفقاً لقيم الـ CBR الحصول عليها في الجدول 15 على جدول الـ AASHTO ، نلاحظ أن البوزولانا الطبيعية لوحدها رفعت تقييم تربة الأساس من ضعيف جداً، إلى ضعيف ومعتدل عند إضافتها بالنسبتين 10% و 20% على الترتيب، و ذلك عند القيمتين (14.15) و (22.34) لـ CBR.

تأثير إضافات البوزولانا الطبيعية والكلس على تحسين مواصفات التربة الغضارية

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 المزجية من البوزولانا الطبيعية والكلس ارتقت بتقييم تربة الأساس إلى جيد جداً.

الجدول 17 تقييم التربة وفق قيم الـ CBR حسب الـ AASHTO

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 D 1883 من ASTM ) بـ 50 كحد أدنى لطبقات ما تحت الأساس الحصوية، وتحدد 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. وذلك وفق الشروط و المواصفات الفنية العامة لأعمال الطرق والجسور الصادرة عن وزارة المواصلات (الشروط و المواصفات الفنية العامة لأعمال الطرق والجسور، 2002) [26]. 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.

#### 5-4- تجربة الانتفاخ النسبي:

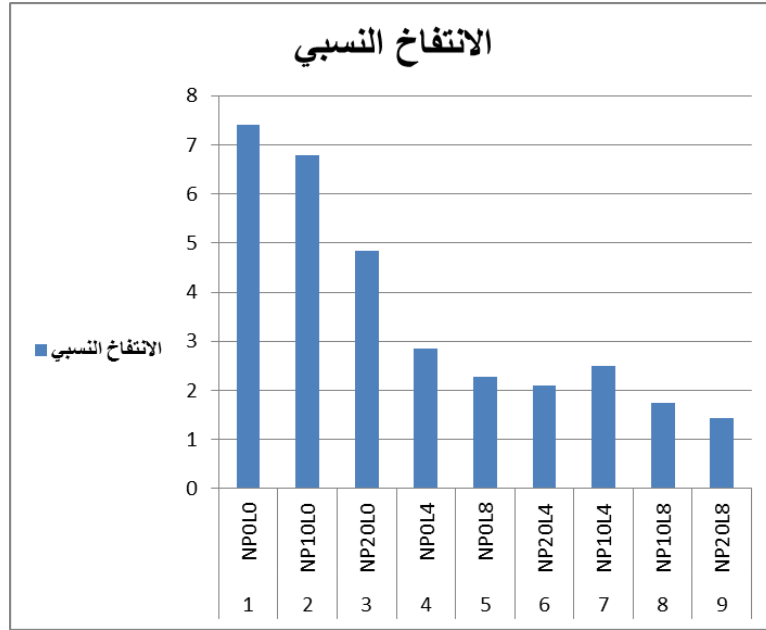
أخذت خلال فترة الغمر بالماء بعد الرص في قالب نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) قراءات الانتفاخ لحساب الانتفاخ النسبي نتائج التجربة موضحة في الجدول 18:

الجدول 18 الانتفاخ مقابل النسب المختلفة للعيونة المرجعية والعينات المعالجة بالمحسنات

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

تبين النتائج أن إضافة الكلس تقيد الانتفاخ بنسبة تصل إلى (2.85) عند إضافته بالنسبة 4% وتصل إلى (2.27) عند النسبة 8%، وتقيد إضافة البوزولانا الطبيعية الانتفاخ إلى النسبة (5.8) والنسبة (4.85) لدى إضافتها بالنسبة 10% و 20% على الترتيب. أما التركيبات المزججة فكان أحسنها و أحسن نسبة تحسين على الإطلاق هي النسبة 8% كلس و 20% بوزولانا طبيعية بنسبة انتفاخ (1.44) كما هو مبين في الشكل 24.





الشكل 25 الانتفاخ النسبي مقابل نسب المعالجة المختلفة من الكلس والبوزولانا الطبيعية

#### 5-5 تجربة الانكماش الخطي (BS -137):

أجريت تجربة الانكماش الخطي وفق المواصفة البريطانية، في قوالب قياسية و هي عبارة عن اسطوانة مقطوعة طويلاً بأبعاد 140mm طولاً وقطر 12.5mm ، حيث مزج 150g من التربة المارة من المنخل رقم 40 بالماء المقطر إلى رطوبة قريبة من حد السيولة للتربة، ووضعت في القالب مع التسوية و الضغط لمنع تشكل فقاعات هوائية ضمن عجينة التربة. جففت العينة في الفرن بدرجة حرارة 60°C حتى انفصال الجوانب بشكل واضح. ثم جففت بدرجة حرارة 110°C حتى الانكماش الكلي حيث أخذت القياسات بعناية ونحصل على قيمة الانكماش من العلاقة:

$$LS=(1-L_{avrage} /L_o) \times 100$$

حيث :

LS: الانكماش الخطي

L<sub>avrage</sub>: الطول الوسطي للعينة بعد الانكماش

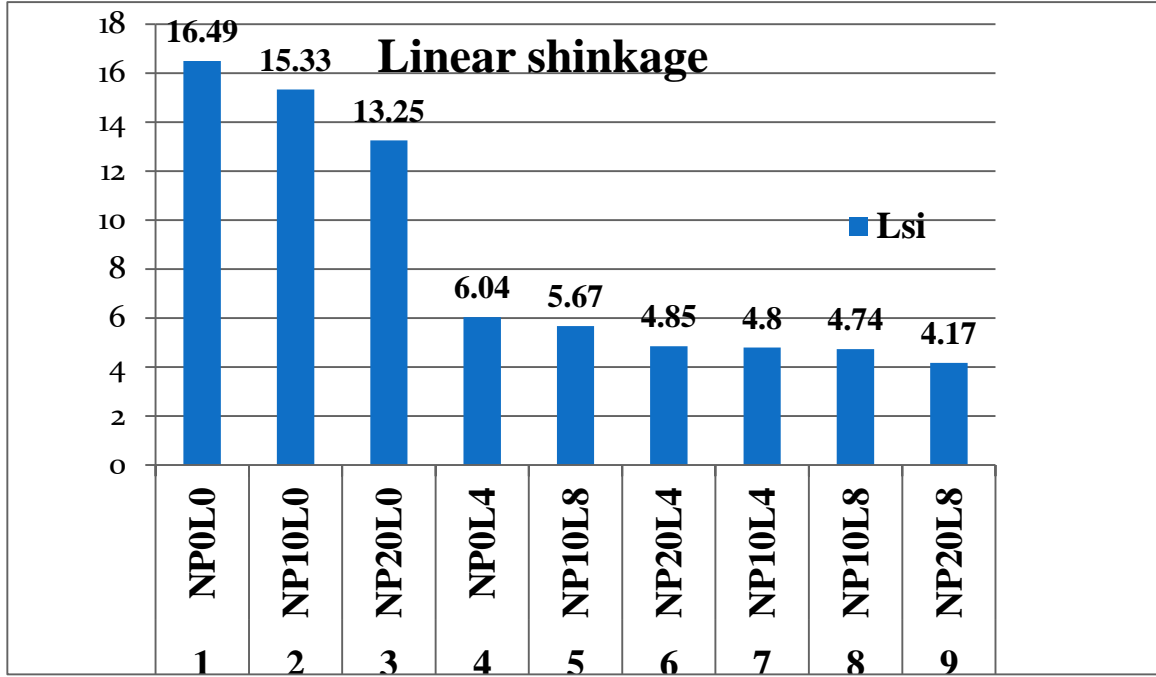
L<sub>o</sub> : الطول الأصلي للعينة

و في حالات المزج مع المحسنات أخذت الرطوبة موافقة لحد السيولة الموافق للنسبة المزجية الجدول 12 وكانت النتائج كما هو موضح في الجدول 18، حيث يظهر أن الانكماش الخطي يتقيد بشكل كبير لدى إضافة الكلس بنسبة 4% و بشكل متزايد لدى إضافة 8% من الكلس، وبنسبة أقل لدى إضافة البوزولانا الطبيعية، أما أفضل نتيجة تحسين على الإطلاق فحصلت عند إضافة التركيبة المزجية 8% كلس و 20% بوزولانا طبيعية حيث وصل الانكماش الخطي إلى أقل قيمة. بنيت النتائج أيضاً في الشكل 26، أما الشكل 26 فيظهر صور بعض العينات بعد التجفيف في الفرن بدرجة حرارة 110°C.

الجدول 19 قيم الانكماش الخطي للعينة المرجعية والعينات المحسنة

Lsi	$\Delta L/L$	$\Delta L$	L1	Lo	التسمية
16.49	0.1649	23.11	117.04	140.15	NP0L0
6.04	0.0604	8.46	131.61	140.07	NP0L4
5.67	0.0567	7.95	132.2	140.15	NP0L8
4.8	0.048	6.83	133.24	140.07	NP10L4
4.74	0.0474	6.64	133.51	140.15	NP10L8
15.33	0.1533	21.47	118.6	140.07	NP10L0
13.25	0.1325	18.56	121.51	140.07	NP20L0
4.85	0.0485	6.8	133.27	140.07	NP20L4
4.17	0.0417	5.85	134.3	140.15	NP20L8

تأثير إضافات البوزولانا الطبيعية والكلس على تحسين مواصفات التربة الغضارية



الشكل 26 قيم الانكماش الخطي للعينة المرجعية والعينات المحسنة مقابل النسب المزجية



الشكل 27 صور لعينات التربة المعالجة في قوالب الانكماش بعد التجفيف في الفرن

## 5-6 دراسة الاقتصادية:

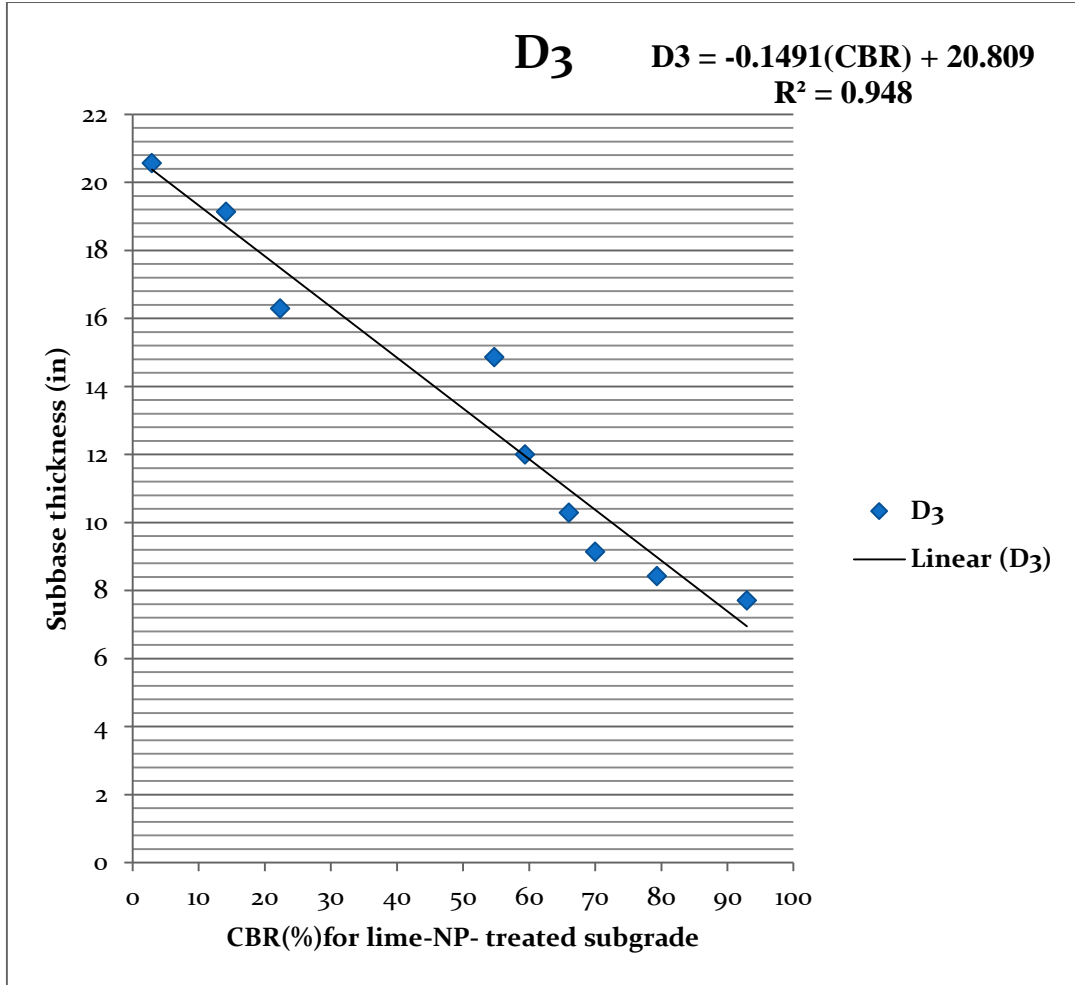
باستخدام جداول الـ AASHTO انطلاقاً من قيم الـ CBR و بتطبيق معادلة تصميم طبقات الرصف:  $SN=D1.a1+D2.a2+D3.a3$  يبين الجدول التالي نتائج سماكة طبقة ماتحت الأساس مقابل نسبة تحمل كاليفورنيا المحسنة نتيجة الإضافات مع تثبيت باقي المتغيرات في معادلة تصميم طبقات الرصف.

الجدول 20 طبقة ما تحت الأساس مقابل النسب المختلفة لتحسين طبقة تربة الأساس (subgrade)

الرمز	CBR	SN	D1*a1(in)	D2*a2(in)	D3(a3=0.07)(in)
NP0L0	2.89	3.6	1.26	0.9	20.57143
NP10L0	14.15	3.5	1.26	0.9	19.14286
NP20L0	22.34	3.3	1.26	0.9	16.28571
NP0L4	54.76	3.2	1.26	0.9	14.85714
NP0L8	59.4	3	1.26	0.9	12
NP10L4	66	2.88	1.26	0.9	10.28571
NP10L8	70	2.8	1.26	0.9	9.142857
NP20L4	79.34	2.75	1.26	0.9	8.428571
NP20L8	92.96	2.7	1.26	0.9	7.71429

يبين الشكل 27 العلاقة النهائية بين قيم الـ CBR و سماكة الرصف لطبقة ما تحت الأساس، و يلاحظ تناقص سماكة هذه الطبقة مع زيادة قيم الـ CBR ، مما يؤكد فعالية التحسين بالكلس و البوزولانا الطبيعية.

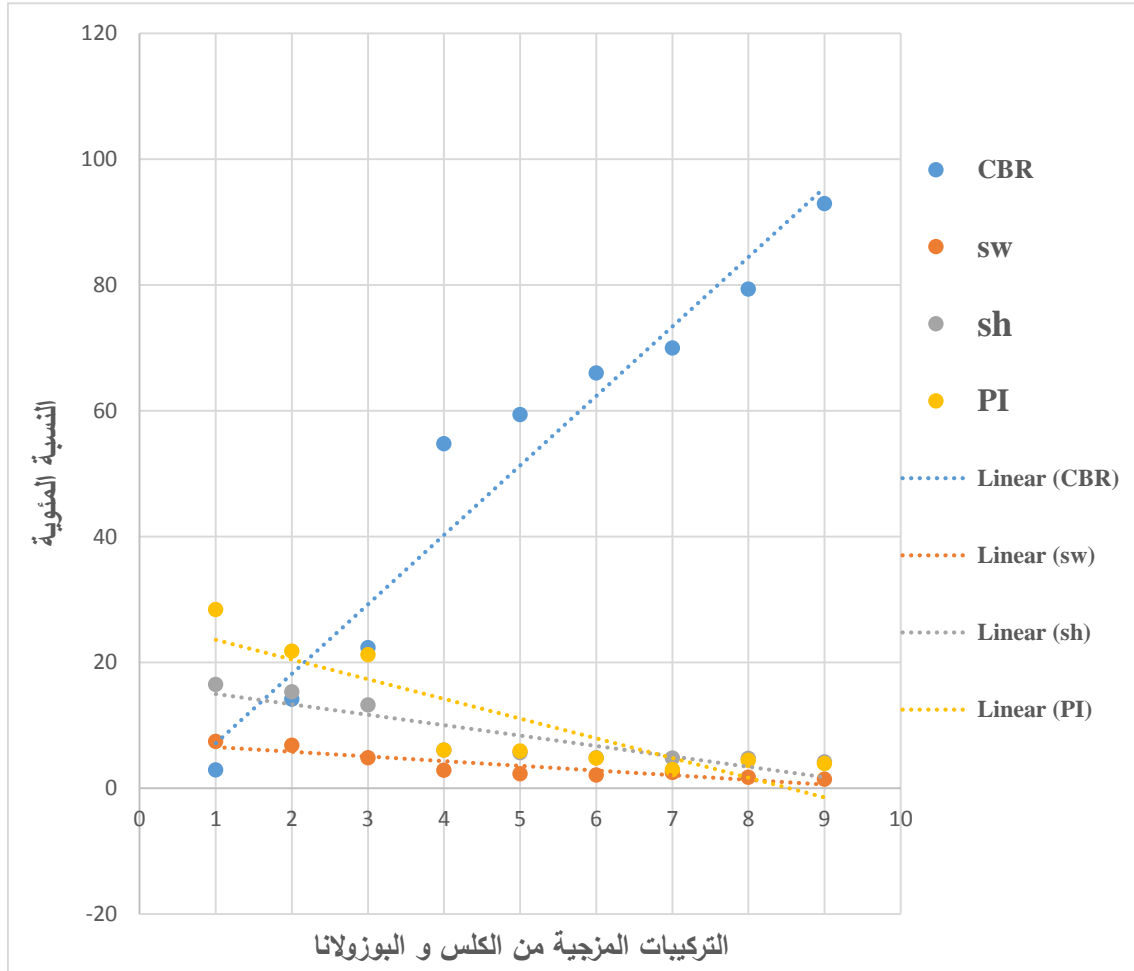
تأثير إضافات البوزولانا الطبيعية والكلس على تحسين مواصفات التربة الغضارية



الشكل 28 العلاقة النهائية بين قيم الـ CBR و سماكة الرصف لطبقة ما تحت الأساس

كما يبين الشكل 23 خلاصة التحسين من إضافة الكلس والبوزولانا الطبيعية و تأثير الإضافات على الـ CBR ، قرينة اللدونة، الانتفاخ النسبي، الانكماش الخطي.

تأثير إضافات البوزولانا الطبيعية والكلس على تحسين مواصفات التربة الغضارية



الشكل 29 خلاصة التحسين من إضافة الكلس والبوزولانا الطبيعية و تأثير الإضافات على الـ CBR ، قرينة اللدونة، الانتفاخ النسبي، الانكماش الخطي.

## الفصل السادس

### الاستنتاجات و التوصيات

#### الاستنتاجات:

- إن إضافة الكلس إلى التربة الغضارية يحسن مواصفات المتانة لهذه التربة، و يقلل كل من الانتفاخ النسبي و الانكماش الخطي، نسبة الإضافة الفضلى هي 8% . و تعتبر إضافة الكلس لوحده كافية لتحسين التربة الغضارية و استخدامها في الطابق الترابي.
- إن إضافة البوزولانا الطبيعية إلى التربة الغضارية يحسن مواصفات المتانة لهذه التربة، و يقلل كل من الانتفاخ النسبي و الانكماش الخطي أيضاً ، نسبة الإضافة الفضلى هي 20%.
- إن إضافة البوزولانا الطبيعية و الكلس إلى التربة الغضارية، ضمن التركيبات المزجية المقترحة في هذه الدراسة يحسن مواصفات المتانة لهذه التربة، و يقلل كل من الانتفاخ النسبي و الانكماش الخطي، نسبة الإضافة المزجية الفضلى هي 8% كلس و 20% بوزولانا طبيعية . و التحسن الطارئ على التربة الغضارية نتيجة هذه التركيبة المزجية هو الأفضل.
- النسبة الاقتصادية التي تعطي نتائج فنية جيدة هي 4% كلس و 10% بوزولانا طبيعية.

#### التوصيات:

- إضافة الكلس لوحده 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 و البوزولانا الطبيعية بشكل تجاري ضمن أكياس مختومة و بنعومة محددة على غرار انتاج الاسمنت، مخصصة لتحسين تربة أساسات الطرق و الأبنية.
- دراسة أثر نعومة الإضافات على فعالية تحسين التربة الغضارية بالكلس و البوزولانا الطبيعية. للوصول إلى النعومة المناسبة حسب أهمية المشروع، و درجة التحسين المطلوبة.
- دراسة مصادر أخرى للسيلكا بالمشاركة مع الكلس أو بدونه، و اقتراح الغضار المكلسن (calcined clay) و ذلك ضمن سياق إعادة استخدام المكونات الأساسية للإسمنت في تحسين التربة الغضارية.

## الفصل السابع

### المراجع :References

- [1] JONES.M.L, JEFFERSON.I., 2007- **Expansive Soils - chapter C-5**, ice-manuals-institution of civil engineering manuals series, hole pages 45, used pages 2,3.
- [2] TIU CH, EVETT J.B., 2008- **Soils and Foundations**, Pearson, 7<sup>th</sup> ed, New Jersey, 508 pages.
- [3]-.CHMEISSE C., 1992- thesis title: **Soil stabilization using some pozzolanic industrial and agricultural products**, Wollongong University, 374 pages.
- [4]ACI committee 232, 1994- proposed repot: **Use of Natural Pozzolana in Concrete**, ACI Materials Journal/ July-August 1994:410-426.
- [5]-Russell L. Buhler and Amy B. Cerato., 2007-**Sabilization of Oklahoma Expansive Soils Using Lime and Class C Fly Ash**. Geo Denver: New Peaks in *Geotechnics*. 18-21.
- [6]-ALHASSAN. M and MUSTAPHA. A. M., 2007 - **Effect of Rice Husk Ash on Cement Stabilized Laterite**. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies* ISSN 1583-1078p. 47-58.
- [7]- LIN D.F, LIN K.L, Min- HUNG J and, LUO L.H., 2006-**Sludge ash/hydrated lime on the geotechnical properties of soft soil**. *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 28, No. 1
- [8]-HARICHANE. K, GHRICI. M, KHEBIZI. W, MISSOUM. H., 2010- **Effect of the Combination of Lime and Natural Pozzolana on the Durability of Clayey Soils**. *EJGE* Vol. 15, 1194-2010
- [9] HARICHANE. K ,GHRICI. M , MISSOUM . H., 2011- **Influence of natural pozzolana and lime additives on the temporal variation of soil compaction and shear strength**. *Earth Sci* , 5(2): 162–169.



- [10]ZOUBIR. W, HARICHANE. K ,GHRICI. M., 2013- **Effect of Lime and Natural Pozzolana on Dredged Sludge Engineering Properties.** *EJGE*, Vol. 18, 589-600.
- [11]BERGESON. L.K and ANDREW G. B., 1998- **Iowa Thickness Design Guide for Low Volume Roads Using Reclaimed Hydrated Class C Fly Ash Bases.** TRANSPORTATION CONFERENCE PROCEEDINGS pp 253-258
- [12 ]LYONS. A., 2007- **Materials for Architects and Builders.** Elsevier- 3<sup>th</sup> ed, Italy, 368 pages.
- [13]VERUIJT.A.,2012- **Soil Mechanics.** Delft University of Technology press, Netherlands, software book last update March 10, 2012,331pages
- [14]DAS.M.B., 2004- **Advanced Soil Mechanics**
- [15]CHEN.F.H.,1988- **Foundations on expansive soils.** Elsevier, Amsterdam, the Netherlands.
- [16] NELSON. J.D. and MILLER. D.J., 1992- **Expansive soils: problems and practice in foundation and pavement engineering.** John Wiley & Sons, inc. New York.
- [17]DRISCOLL. R., 1983- **The Influence of Vegetation on the Swelling and Shrinking of Clay Soils in Britain.** *Geotechnique*, 33, 93-105.
- [18]BIDDLE.P.G., 1998- **Tree Roots and Foundations, Arboriculture Research and Information Note142/98/EXT.**
- [20] HOLTZ.R.D. & KOVACE. W.D., 1981- **An Introduction To Geotechnical Engineering.** Prentice Hall, New Jersey.
- [21] FITYUS. S.G, CAMERON D.A. & WALSH. P.F., 2005- **The Shrink Swell Test.** *Geotechnical Testing Journal*, 28 (1) 1-10.

[23] NATIONAL LIME ASSOCIATION., 2004- **Lime Stabilization and Lime Modification, National Lime Association, USA.**

[25] EN197-1+A1:2004- Cement , part 1: **Composition, Specification and Conformity Criteria for Common Cements.**

#### المراجع العربية:

[19] يني. حنا، 1989- ميكانيك التربة، جامعة دمشق، عدد الصفحات 878، الصفحات المستخدمة 11،101.

[22] المؤسسة العامة للجيولوجيا – دليل الخامات المعدنية- 2010 .

[24] هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية. 1997- المواصفة 1887.

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

## ***Influence of Natural Pozzolana and Lime Additives on Stabilization of Clayey Soil properties to be Useable in the Embankment of Road Works***

**Eng. Ayman MZYAB, Dr. Talal AWWAD**

### **ABSTRACT:**

Clayey soils are widespread in Syria. Because of their disadvantages, the need to be enhanced 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. Syria is very rich in both; natural Pozzolana and Lime.

Lime, Natural Pozzolana and their combinations were added at following percentages 0-4-8% (L), 0-10-20% (NP) Soil compactness, CBR and swelling restriction were evaluated according to ASTM and BS test methods.

Test results showed that the Combination of (L) and (NP) increased the maximum dry density (MDD), but decreased 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 was obtained when the Combinations of (L) and (NP) were added.