

الجمهورية العربية السورية

وزارة التعليم العالي

جامعة البعث

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الجيوتكنيكية



## تقوية التربة الجبسية بإضافة المحلول الاسفلتي

## Stabilization of Gypseous Soil by Emulsified Asphalt

بحث أعد لنيل درجة الماجستير في الهندسة الجيوتكنيكية

إعداد

المهندس محمد بسّام عيد

إشراف

الأستاذ الدكتور علي العبدالله

استاذ في قسم الهندسة الجيوتكنيكية

كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث

2020 – 1441

## " تقوية التربة الجبسية بإضافة المحلول الاسفلتي "

### ملخص البحث

تبدو التربة الجبسية قوية ومستقرة البنية في حالتها الطبيعية شبه الجافة الا انها تصبح ضعيفة وذات قابلية عالية للانهييار بتأثير الماء مما يسبب هبوطات كبيرة وغير متوقعة للمنشآت المقامة على هذه التربة .

أجريت التجارب على ترب رملية سلتية ذات محتوى جبسي ( 32 % ) وترب غضارية عالية اللدونة ذات محتوى جبسي ( 30.6 % ) و تحديد الخواص الفيزيائية والميكانيكية للتريتين، وبعد ذلك تمت إزالة الجبس من التريتين بطريقة الغسل وإضافته بنسب متفاوتة على الترب وتحديد الخواص الفيزيائية والميكانيكية للتريتين من اجل كل نسبة مضافة من الجبس، وتبين أنه كلما زاد محتوى التربة من الجبس تنخفض خصائص اللدونة وكذلك قابلية التربة للانتفاخ بسبب حدوث تفاعلات بين شوارد الكالسيوم الموجودة في الجبس مع الغضار الموجود في التربة اما قابلية الترب للانهييار فهي تزداد بزيادة محتوى التربة من الجبس .

وبهدف معالجة مشاكل هذه التربة قمنا بدراسة اضافة المحلول الاسفلتي على خصائص الترب الرئيسية ذات المحتوى الجبسي ، فتبين من خلال هذه التجارب التي اجريت على التريتين انخفاض في الوزن الحجمي الجاف الاعظمي وزيادة الرطوبة الاصلوية بزيادة نسبة الاسفلت وتحسن في مقاومة الضغط الحر حتى قيمة مثالية من المحلول الاسفلتي وبلغت هذه القيمة (6%) للترب الرملية و (8%) للترب الغضارية وبعدها تنخفض بزيادة المحلول في التربة وكذلك قيمة CBR تزداد حتى قيمة مثالية (8%) للترب الرملية و (10%) للترب الغضارية ثم تنخفض بزيادة مجتوى الاسفلت كما لوحظ تحسن كبير في قابلية الانهييار وقابلية الانتفاخ حيث حدث انخفاض كبير في هذه الخصائص مع زيادة المحلول الاسفلتي .

نأمل ان يشكل هذا البحث بنتائجه ومنهجه نقطة انطلاق لأبحاث أخرى بهدف مقارنة نتائجنا مع نتائج أخرى باستخدام اضافات أخرى للترب الجبسية.

## فهرس المحتويات

### الفصل الأول : القدمة

1	1-1 مدخل
2	1-2 مشكلات الترب الجبسية
7	1-3 هدف البحث
8	1-4 منهجية البحث
9	1-5 المخطط العام للأطروحة

### الفصل الثاني : الدراسة النظرية والمرجعية

#### القسم الأول الجبس والتربة الجبسية

10	2-1-1 مدخل
10	2-1-2 التوزع الجغرافي للترب الجبسية
13	2-1-3 الجبس
13	2-1-4 تشكيلات الجبس وانتشاره
13	2-1-4-1 نشوء الترب الجبسية وتكوينها
14	2-1-4-2 البنية المورفولوجية للجبس في التربة
16	2-1-4-3 كبريتات الكالسيوم وأطواره
17	2-1-4-4 التربة الجبسية في سوريا
19	2-1-4-4-1 موقع منطقة الدراسة
21	2-1-5 انحلالية الجبس
22	2-1-5-1 طرق حساب الهبوط الانحلالي للترب الجبسية

24	2-1-6 المنهجية المستخدمة في دراسة الترب الحاوية على الجبس
24	2-1-6-1 تحديد رطوبة عينات الترب الحاوية على الجبس
25	2-1-6-2 تحديد الوزن النوعي لعينات التربة الحاوية على الجبس
26	2-1-6-3 التحليل الحبي للترب الحاوية على الجبس
27	2-1-7 تصنيف التربة الجبسية
33	2-1-8 تحديد نسبة الجبس في التربة

## الفصل الثاني: تثبيت التربة الجبسية

38	2-2-1 مدخل
38	2-2-2 أهداف التثبيت
39	2-2-3 أنواع فعالية التثبيت
40	2-2-4 اختيار المثبت
42	2-2-5 التثبيت بالكلس
42	2-2-5-1 معايير التثبيت بالكلس
43	2-2-5-2 أنواع الكلس
44	2-2-6 التثبيت بالإسمنت
44	2-2-6-1 معايير التثبيت بالإسمنت
45	2-2-6-2 أنواع الترب المناسبة للتثبيت بالإسمنت
46	2-2-7 التثبيت بالإسفلت
46	2-2-7-1 معايير التثبيت بالإسفلت
49	2-2-7-2 آليات التثبيت بالإسفلت
51	2-2-7-3 أنواع المواد البيتومينية
54	2-2-7-4 الترب المناسبة للتثبيت بالإسفلت
56	2-2-8 الدراسات السابقة حول سلوكية الترب الجبسية وطرق معالجتها

## الدراسة التجريبية والعملية

## الفصل الثالث: مواصفات المواد وطرق إجراء التجارب

64	3-1 مواصفات المواد المستخدمة
64	3-1-2 خواص الترب المستخدمة
66	3-1-3 مواصفات الاسفلت والجبس
69	3-2 آلية إجراء التجارب
69	3-2-1 تجارب أجريت على التربة بعد إضافة الجبس
69	3-2-1-1 تجربة بروكتور
69	3-2-1-2 تجربة حدود آتربيرغ
71	3-2-1-3 تجربة التشديد لحساب الهبوط الانحلالي
71	3-2-1-4 تأثير محتوى التربة من الجبس على خصائص الانتفاخ
71	3-2-1-5 تأثير محتوى التربة من الجبس على خصائص الانهيار
73	3-2-2 تجارب أجريت على الترب الرئيسية بعد إضافة الإسفلت
73	3-2-2-1 تجربة بروكتور
74	3-2-2-2 تجارب الضغط الحر
76	3-2-2-3 تجربة CBR
77	3-2-2-4 تأثير إضافة المحلول الأسفلتي على خصائص الانتفاخ
78	3-2-2-5 تأثير إضافة المحلول الاسفلتي على خصائص الانهيار

## الفصل الرابع: تغير خصائص التربة بعبء محتوى التربة من الجبس والمحلل الاسفلتي

79	4-4 تأثير محتوى التربة من الجبس على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للترب الجبسية
79	4-1-1 تأثير محتوى التربة من الجبس على الوزن الحجمي الجاف الاعظمي والرطوبة الاصولية
81	4-1-2 تأثير محتوى التربة من الجبس على خصائص اللدونة
82	4-1-3 تأثير محتوى التربة من الجبس على انضغاطية التربة الجبسية
87	4-1-4 تأثير محتوى التربة من الجبس على خصائص الانتفاخ

88	4-1-5 تأثير محتوى التربة من الجبس على قابلية التربة للانهييار
89	4-2 تأثير إضافة المحلول الاسفلتي على خصائص الفيزيائية والميكانيكية للترب الجبسية
89	4-2-1 تأثير إضافة المحلول الاسفلتي على الوزن الحجمي الجاف الاعظمي والرطوبة الاصلوية
90	4-2-2 تأثير إضافة المحلول الاسفلتي على مقاومة الضغط الحر
92	4-2-3 تأثير إضافة المحلول الاسفلتي على CBR
92	4-2-4 تأثير إضافة المحلول الاسفلتي على قابلية التربة للانهييار
93	4-2-5 تأثير إضافة المحلول الاسفلتي على خصائص الانتفاخ

## الفصل الخامس: النتائج والتوصيات

97	5-1 النتائج والتوصيات
----	-----------------------

99	قائمة بالمراسم المستعمرة
----	--------------------------

- 
- 5      حدوث تشققات خارجية في الجدران الخارجية في عتبات الابواب الداخلية والخارجية-حي الإمام      الشكل (1-1)
- جامع اولاد الحسن - مدينة السامراء -العراق
- 5      حدوث هبوط تفاضلي غير متناظر لركيزة البوابة - حي الإمام - جامع اولاد الحسن - مدينة      الشكل (1-2)
- السامراء -العراق
- 5      انهيار الجدران الخارجية لركيزة البوابة - حي الإمام - جامع اولاد الحسن - مدينة السامراء -      الشكل (1-3)
- العراق

## قائمة بالأشكال

- الشكل (1-4) تسرب مياه من انابيب الصرف الصحي ادى الى انهيار الطريق بسبب انحلال الجبس -مدينة -  
فلتيتانوس - فرنسا 6
- الشكل (1-5) تشققات في اتجاهات مختلفة في المبنى - صور لأبنية متصدعة منشأه على ترب رملية جبسيه -  
محافظة الرقة-- سوريا 6
- الشكل (1-6) تشققات في الجدار قرب منطقة تفريغ مصارف - صور لأبنية متصدعة منشأه على ترب رملية  
جبسيه - محافظة الرقة-- سوريا 6
- الشكل (1-7) تشققات داخلية في جدران المبنى - صور لأبنية متصدعة منشأه على ترب رملية جبسيه -  
محافظة الرقة-- سوريا 6

## الفصل الاول

## الفصل الثاني

- الشكل (2-1) توزع الترب الجبسية حول العالم حسب منظمة الفاو 1990 11
- الشكل (2-2) صور فتوغرافية لأشكال الجبس التي تم رصدها حول العالم 15
- الشكل (2-3) توزع الترب الجبسية حسب van Alphen 1971 18
- الشكل (2-4) توزع الترب الجبسية مع تركيب المياه الجوفية حسب Paver 1947 19
- الشكل (2-5) الحدود الادارية لمنطقة كباكب ومنطقة السخنة 20
- الشكل (2-6) طريقة تحديد نوع المثبت المستخدم حسب نظام SSIS 41
- الشكل (2-7) الاسفلت الطبيعي بحيرة تريندات 51
- الشكل (2-8) الاسفلت الطبيعي - صخور مشبعة بالإسفلت 51
- الشكل (2-9) انواع الرابط الاسفلتي او البيتومين 54

## الفصل الثالث

- الشكل (3-1) الإسفلت قبل وبعد خلطه بالكبروسين بعد التسخين 67
- الشكل (3-2) الجبس المستخدم قبل الطحن وبعده 68



70	جهاز غزاكراندي	الشكل (3-3)
72	تحضير العينات بنسب مختلفة من الجبس	الشكل (3-4)
72	العينات بعد خلطها بنسب مختلفة من الجبس وإجراء تجربة التشديد	الشكل (3-5)
73	عينات بعد خلطها بنسب الإسفلت	الشكل (3-6)
74	قالب تشكيل عينة الضغط الحر	الشكل (3-7)
75	الكريكو الخاص لنزع عينة الضغط الحر	الشكل (3-7)
75	جهاز الضغط الحر	الشكل (3-8)
76	عينات الضغط الحر قبل الاختبار	الشكل (3-9)
76	عينات الضغط الحر بعد الاختبار	الشكل (3-10)
77	اجهزة التشديد	الشكل (3-11)
78	العينات بعد إجراء تجربة التشديد	الشكل (3-12)

## الفصل الرابع

80	تغير الوزن الحجمي الجاف والرطوبة بتغير محتوى التربة من الجبس	الشكل (4-1)
80	تغير الوزن الحجمي الجاف الاعظمي بتغير محتوى التربة من الجبس	الشكل (4-2)
81	تغير والرطوبة الأصولية بتغير محتوى التربة من الجبس	الشكل (4-3)
81	تغير حدود آتربيرغ -حد السيولة- للتربة تبعاً لتغير محتوى الاربة من الجبس	الشكل (4-4)
82	تغير حدود آتربيرغ -دليل اللدونة- للتربة تبعاً لتغير محتوى الاربة من الجبس	الشكل (4-5)
83	تغير الهبوط الانحلالي تبعاً لإجهاد المطبق تحت رطوبة اولية (10%)	الشكل (4-6)
84	تغير الهبوط الانحلالي تبعاً للإجهاد المطبق تحت رطوبة اولية (15%)	الشكل (4-7)
84	تغير الهبوط الانحلالي تبعاً للإجهاد المطبق تحت رطوبة اولية (20 %)	الشكل (4-8)
85	تغير الهبوط الانحلالي تبعاً للإجهاد المطبق تحت رطوبة اولية (25 %)	الشكل (4-9)
85	تغير الهبوط الانحلالي مع الرطوبة الأولية للتربة تحت اجهاد $\sigma=1\text{kg/cm}^2$	الشكل (4-10)
86	تأثير محتوى التربة من الجبس على قيم الهبوط الانحلالي	الشكل (4-11)
87	تغير الهبوط الانحلالي مع محتوى التربة الغضارية من الجبس	الشكل (4-12)
87	تغير تشوهات الانتفاخ تبعاً لنسبة الجبس في التربة	الشكل (4-13)
88	تغير قيم C.P تبعاً لمحتوى التربة من الجبس	الشكل (4-14)

89	تغير الوزن الحجمي الجاف الاعظمي تبعاً لمحتوى التربة من المحلول الاسفلتي	الشكل (4-15)
90	تغير الرطوبة الاصولية تبعاً لمحتوى التربة من المحلول الاسفلتي	الشكل (4-16)
91	تغير مقاومة الضغط الحر تبعاً لمحتوى التربة من المحلول الاسفلتي للتربة CH	الشكل (4-17)
91	تغير مقاومة الضغط الحر تبعاً لمحتوى التربة من المحلول الاسفلتي للتريتين	الشكل (4-18)
92	تغير قيم CBR تبعاً لمحتوى التربة من المحلول الاسفلتي للتريتين	الشكل (4-19)
93	تغير قيم C.P تبعاً لمحتوى التربة من المحلول الاسفلتي للتريتين	الشكل (4-20)
94	تغير الانتفاخ النسبي الحر تبعاً لمحتوى التربة من المحلول الاسفلتي للتربة CH	الشكل (4-21)
94	تغير الانتفاخ النسبي الحر تبعاً لمحتوى التربة من المحلول الاسفلتي للتربة CH	الشكل (4-22)
95	تغير الانتفاخ النسبي الحر مع الاجهاد المطبق من أجل نسبة محددة من المحلول الاسفلتي	الشكل (4-23)
96	تغير ضغط الانتفاخ تبعاً لمحتوى التربة من المحلول الاسفلتي للتربة CH	الشكل (4-24)

## قائمة بالجداول

### الفصل الاول

لا يوجد جداول

### الفصل الثاني

16	التركيب الكيميائي لأطوار كبريتات الكالسيوم	جدول (2-2)
21	تأثير درجة الحرارة في انحلالية الجبس	جدول (2-3)
30	التصنيف الروسي للترب الجبسية	جدول (2-4)
31	تصنيف للترب الغير مستقر البنية حسب Jennings & knight 1975	جدول (2-5)
32	تصنيف حسب Baraznji	جدول (2-6)
42	دليل اختيار المادة المضافة	جدول (2-7)
45	حدود التدرج الحبي للتثبيت بالاسمنت للمواد الحبيبية جيدة التدرج	جدول (2-8)
48	متطلبات اللدونة والتدرج لخلائط بيتومين - التربة	جدول (2-9)
48	الخصائص الهندسية للمواد المناسبة للتثبيت بالبيتومين	جدول (2-10)
55	الخصائص الهندسية للمواد المناسبة للتثبيت بالبيتومين	جدول (2-11)

## الفصل الثالث

65	الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للترب المدروسة	جدول (3-1)
66	الخصائص الفيزيائية للمادة الاسفلت المستخدمة	جدول (3-2)
68	التركيب الميزالي لمادة الجبس	جدول (3-3)
71	تصنيف الترب حسب قابليتها للانقيار	جدول (3-4)

## الفصل الرابع

79	الخصائص الفيزيائية للتربة <b>SM</b> بعد ازالة الجبس وإضافة الجبس بنسب متفاوتة	جدول (4-1)
----	---	------------

## الفصل الاول

### 1-1 مدخل عام (General):

تبدو الترب الجبسية (Gypseous soil) قوية ومستقرة البيئة في حالتها الطبيعية شبه الجافة ، إلا أنها تصبح ضعيفة وذات قابلية عالية للانهييار بتأثير الماء [12] ، فهي تتطلب اهتماماً خاصاً عند تنفيذ المشاريع والمنشآت الهندسية التي تقام عليها وذلك من أجل معرفة كافة الخواص المتعلقة بها وإمكانية التحسين من خصائصها وجعلها أكثر ملائمة للمنشآت المقامة عليها .

توجد الترب الجبسية بشكل شاسع في العالم وهي تحتل حوالي (85 مليون هكتار) موزعة في العالم في إسبانيا والاتحاد السوفيتي والأرجنتين وأستراليا والعراق وتونس والجزائر وليبيا و سوريا ، و تشغل الترب الجبسية حوالي (20-22) % من مساحة سوريا [7] وتنتشر فيها بكثافة في المناطق الشرقية والشمالية الشرقية التي تتمتع بأهمية اقتصادية كبيرة . سابقاً كانت تُعرف الترب الجبسية على أنها مرجع لمعظم المشكلات التي يمكن أن تحدث للهيكل المُبنى عليها ، وخاصة عندما يتم ترطيب أو غسل هذه الترب بالماء لأن هذا الحدث يؤدي إلى إذابة الجبس وخلق فراغات و تجاوزيف تؤدي الى حدوث الهبوط والانهييار . هذه الترب وفي ظل الرطوبة الطبيعية لا يمكن تمييزها عن بقية انواع الترب من حيث مقاومتها للقص والانضغاطية ، ولكن عند تعرضها لمصادر مائية ودون زيادة في الضغط المطبق عليها يحدث انخفاض في مقاومتها للقص و حدوث هبوط إضافي يسمى **الهبوط الانحلالي** ويعزى سبب ذلك الانهييار في بيئتها الى انحلال الاملاح الداخلة في تركيبها مما يؤدي الى تغيير في نسبة الفراغات وبالتالي حدوث الهبوط الانحلالي .

- **الهبوط الانحلالي** : هو الهبوط الناتج عن انحلال الاملاح الموجودة في التربة ونشوء تجاوزيف او تكهفات داخل بنية التربة.

## 2-1 مشكلات الترب الجبسية ( Problems of Gypseous soils ) :

تعتبر الترب الجبسية من الترب ذات مشكلات متعددة إذا لم تكن ذات كثافة عالية ومحمية بشكل جيد من تأثير الماء . وتتسأ هذه المشكلات بصورة عامة بوجود الجبس والماء والتربة النفوذية في الآن نفسه [1-2-3] ، وفي الحالة الجافة يعمل الجبس على تعزيز أواصر الترابط بين حبيبات التربة ، لكن دخول الماء الى التربة عن طريق الأمطار ، أو ارتفاع منسوب المياه الجوفية ، أو تسرب من شبكات أنابيب المياه والصرف الصحي ، أو من اقنية جر المياه ، أو من مياه الصرف في المنشآت الصناعية أو من مياه الري الزراعي يعمل الماء على تفكيك أواصر الترابط بين جزيئاتها المتمثلة بأملاح الجبس حيث سيتحلل ويخرج من التربة مع الماء وبالتالي سيولد فراغات هوائية و تكهفات داخل هذه الترب مما ينتج فقدان في قوة القص مشكلاً هيكلاً ضعيفاً اي انخفاضاً في متانة التربة ما قد يسبب ضرراً انشائياً كبيراً ، او حتى انهياراً في المنشآت المشيدة عليها او ضمنها [14].

هناك العديد من الحالات المسجلة في مناطق مختلفة من العالم لانهايار أو تصدع المنشآت المقامة في مناطق التربة الجبسية :

- في العراق : أدى الذوبان المستمر للجبس في تربة الاساس لسد الموصل الى نشوء فراغات داخل بيئة التربة مما دفع بالمهندسين الى حقن ارضية السد ب الاسمنت لملأ هذه الفراغات المتكونة.
- أيضاً في أحد الابنية في العراق أدى انكسار أحد الانابيب الرئيسية الناقلة للماء والذي يمر من امام المبنى الى تبلل التربة ومع استمرار تدفق المياه ولعدة ايام من هذا الانبوب حصل اذابة للجبس والمادة الرابطة مما تسبب في حدوث تشققات في الجدران الخارجية. الشكل (1-1)، (1-2) ، (1-3).
- في مدينة فلتيتانوس في فرنسا : أدى تسرب المياه من أنابيب الصرف الصحي الى انحلال الجبس وحدث الانهيار في الطريق. الشكل (1-4)

كما أنّ المشكلة لا تقتصر على انحلال املاح الجبس فقط بل ان إحدى المشكلات التي يمكن بسببها الجبس أيضاً هو انهوض غير المتوقع الذي يتسبب بتشكيل الجبس مع الزمن والناتج عن عملية ترسب و تبلور الجبس في الفواصل والشقوق داخل التربة

- فقد تم رصد أضرار إنشائية كبيرة في المناطق السكنية في Newhall ، جبال SantMoica ، منطقة Diamond Bar ، هضاب Anaheim ، ومنطقة Capistrano في الولايات المتحدة الأمريكية ، تبين فيما بعد ان السبب الرئيسي لحدوثها كان انهوض الغير متوقع الذي تسبب به تشكل الجبس مع الزمن الناتج عن عملية ترسيب و تبلور الجبس في الفواصل والشقوق دخل التربة. [21]  
ويمكن تلخيص المشكلات الهندسية ب :

- تأكل الخرسانة الملامسة لهذه التربة حيث يتفاعل اوكسيد الكالسيوم الحر (Cao) في الخرسانة مع الكبريتات الذائبة في الماء مكونة الأترنخات (الومينات الكالسيوم الكبريتية المائية) وهي مادة منتفخة [76].
- التغلغل المستمر للماء داخل التربة يؤدي الى حدوث اضرار وعيوب في المنشآت نتيجة الهبوط في تربة الاساس [15]
- الانتفاخ من المشاكل التي يسببها الجبس حيث يذوب في منطقة ويترسب ويتبلور في منطقة اخرى مما يسبب انتفاخ التربة.
- ان وجود املاح كبريتات الكالسيوم يضيف خطراً جديداً الى جملة المخاطر المحلية التي يسببها ضغط الانتفاخ في الترب الغضارية المنتفخة [19-32] فان تحول الانهدريت الى جبس قد يترافق ازدياد في الحجم قد يصل الى 62% بينما نزع ماء الجبس قد يسبب تناقصا ب الحجم يصل الى 32% ولهذا فان تحول الانهدريت الى جبس يمكن ان يسبب ضغط انتفاخ وانهوض في السدود بينما نزع ماء التبلور من الجبس يقود الى الهبوط.[75]

ويمكن لهذه المشكلات ان تحدث نتيجة واحد او أكثر من هذه الاسباب [12] :

- عدم تجانس الترب الجبسية .
- الانخفاض الكبير في مقاومتها والازدياد المفاجئ في انهداميتها عند وجود الماء .
- استمرار التشوهات والانهدام في بيئتها نتيجة انحلال الجبس منها (Leaching) بسبب حركة الماء فيها .
- وجود التشققات فيها نتيجة التغيرات الفصلية .
- حدوث الفجوات التكهفات نتيجة الانحلال الملحي للجبس.

#### ❖ مشكلات التربة الجبسية في سورية من الناحية الهندسية :

كان للمنشآت الهندسية المشيدة على الترب الجبسية في سوريا نصيب وافر من التأثيرات السلبية لهذه التربة فقد ظهرت هذه المشكلات في أبنية الري المكشوفة المشيدة في المناطق الشمالية والشمالية الشرقية من سورية بكثافة وخلال عقود من التنفيذ ، كما ظهرت ايضاً على الأبنية السكنية المشيدة في مناطق انتشار هذه التربة . فالمشكلة موجودة وبحضور كبير على الساحة الهندسية ، وعند بحثنا عن احصائيات موثقة تفيد في تقدير حجم هذه المشكلة من الناحية الاقتصادية والبشرية لم نجد من المعلومات الا القليل والنادر.

- في مشروع "الرائد " الذي يقع في شمال مدينة الرقة وغربها وشرقها . لقد صُمم المشروع من قبل شركة الكسندر جيب الإنكليزية والمشروع عبارة عن ابنية ري اسمنتية بطول 600كم ، ولم يراع وجود الجبس في التربة .

يتغذى المشروع من ثلاث أبنية ري رئيسية ، وعندما وضعت الأبنية في استثمار موسم ري 1973-1974 حدثت الانهيارات و الهبوطات في منشآت الري بعد (20-10) يوماً من الاستثمار .

- في قناة السحلية العليا التي تعتبر احدى القنوات الرئيسية الثلاث للمشروع حدثت

التصدعات والانهارات في مواقع مختلفة من القناة وفق ظاهرتين متميزتين :

- تشققت الردميات وتصدع الاكساء دون انهيار كامل على جوانب القناة ،

وكان ذلك بسبب وجود الجبس في تربة الاساسات

- في حال الأبنية السكنية نبين على الاشكال (1-5,6,7)) مجموعة صور لأبينه متصدعة منشأه على تربة رملية جبسيه في محافظة الرقة في سوريا .



الشكل (1-1)



الشكل (1-3)



الشكل (1-2)





الشكل (1-5)  
تشققات في اتجاهات مختلفة من المباني



الشكل (1-4)



الشكل (1-6)  
تشققات في الجدار قرب منطقة تفريغ مصارف



الشكل (1-7)  
تشققات داخلية في جدران المباني

### 3-1 هدف البحث ( Objective of the Present Study ) :

تتمتع المنطقة الشرقية والشمالية الشرقية من سورية بأهمية اقتصادية كبيرة وقد حظيت باهتمام الحكومة السورية ، وعدتها الخطة الخمسية العاشرة منطقة ذات افضلية من وجه نظر تنموية ، وافرت الخطة رفع معدل النمو الاقتصادي في المنطقة ووضع مخطط مكاني لتطوير البيئة والمستقرات البشرية والموارد الطبيعية [17]. وبما ان هذه المنطقة تعد منطقة سيادة التربة الجبسية في سورية ممثلة بمحافظات الرقة ، الحسكة ، دير الزور فإن الاهتمام بدراسة سلوكية الترب الجبسية من وجهة نظر هندسية أهمية كبيرة في تقدير المخاطر المحتملة ، واقتراح الحلول المناسبة عند استخدامها كقواعد تأسيس للمنشآت الحديثة المراد اقامتها على هذه الترب .

#### - يهدف البحث بشكل رئيسي الى :

- دراسة خصائص هذه التربة ودراسة تغير خصائص التربة تبعا لتغير نسبة الجبس .
- دراسة خصائص التربة الجبسية الاصلية بعد اضافة المحلول الاسفلتي وابرار التحسن في مقاومة التربة وقابليتها للانهييار .

#### 4-1 منهجية البحث (Research Methodology)



## 5-1 المخطط العام للأطروحة (General outline of the thesis)

تتكون الأطروحة من خمسة فصول ، الفصل الأول عبارة عن مقدمة حول المشاكل التي ترافق الترب التربة الجبسية ، وهدف البحث و خطوات إجرائه ، و المخطط العام للأطروحة . ومن ثم تأتي الدراسة النظرية و المرجعية في الفصل الثاني .

الفصل الثاني بحث في طرق تثبيت التربة و حدد أنواع الترب المناسبة لكل طريقة من طرق التثبيت واستعرض لأهم الاعمال العلمية التي تناول تغير خصائص التربة الجبسية تبعاً لمحتواها من الجبس وكذلك الاعمال العلمية التي تناولت تغير خصائص الترب الجبسية تبعاً لمحتواها من المحلول الاسفلتي .

أما الدراسة التحليلية و التجريبية فتوزعت على الفصلين الثالث و الرابع ، حيث اورد الفصل الثالث خصائص التربة المستخدمة في البحث وكذلك خصائص الجبس وخصائص المحلول الاسفلتي المستخدم في تقوية التربة الجبسية كما بين الأجهزة المخبرية المستخدمة وأهم التجارب التي نفذت لإتمام البحث و آلية تشكيل العينات وكيفية تنفيذ التجارب .

وفي الفصل الرابع حيث استعرض التجارب المخبرية التي أجريت على التربة المدروسة وفي الجزء الاول من الفصل الرابع تم توضيح تغير خصائص التربة الجبسية بحسب محتوى التربة من الجبس وتحديد تأثير الجبس على الوزن الحجمي الجاف الأعظمي والرطوبة الأصلية للتربة وخصائص اللدونة للترب وكذلك تغير خصائص القص وقابلية الانهيار للتربة، أما الجزء الثاني من الفصل الرابع فقد ابرزنا مقدار التحسن في خصائص التربة الجبسية تبعاً لمحتوى السائل البيتومين المضاف للتربة وأثره على الخواص الفيزيائية والميكانيكية للتربة .

وأخيراً لخص الفصل الخامس الاستنتاجات التي تم الحصول عليها إضافة إلى الاقتراحات و التوصيات .

## الفصل الثاني

### القسم الأول

#### الجبس والتربة الجبسية

#### Gypsum and Gypseous Soil

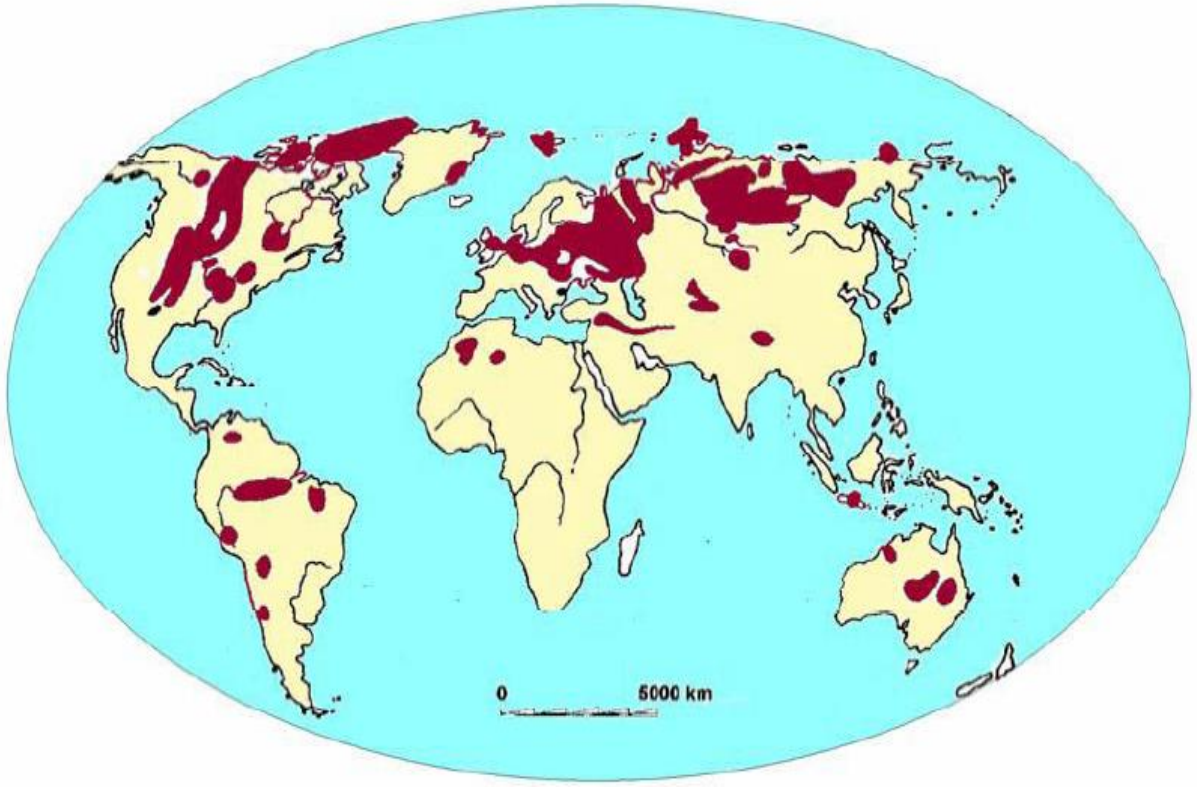
##### 1-1-2 مدخل ( Introduction )

تعرف التربة الجبسية ( Gypseous soil ) بأنها التربة التي تحتوي مينرال ( Mineral ) الجبس بوصفه مكوناً رئيساً ، او مشاركاً مع المينرالات المشكلة للتربة . فيؤثر وجوده تأثيراً واضحاً في خصائصها الفيزيائية والكيميائية [2-3-7].

##### 2-1-2 التوزيع الجغرافي للتربة الجبسية ( Geographic Distribution Gypsicsoils )

تغطي التربة الجبسية ما يزيد عن (85 مليون هكتار) من اليابسة من سطح الكرة الأرضية [7] يقع معظمها في المناطق المناخية الجافة وشبه الجافة حيث تتواجد الرسوبيات والصخور الجبسية وتكون الهطولات المطرية ضعيفة نسبياً ولا تتجاوز (400 Mm) سنوياً [31] ، فنجدها داخل وحول بلاد ما بين النهرين في المناطق الصحراوية من الشرق الأدنى والجمهوريات الآسيوية المركزية المجاورة في صحارى ليبيا و ناميب ، وفي اليمن والصومال ، ونجدها ايضا مترافقة مع التربة الكلسية في أوزباكستان وكازاخستان في وسط وجنوب شرق استراليا والمنطقة الجنوبية الغربية من الولايات المتحدة الأمريكية [ 25 ] .

تشغل التربة الجبسية جزءاً كبيراً من معدل الأراضي في لتلك البلاد الا ان المعلومات الدقيقة حول توزيع التربة الجبسية هي قليلة نوعاً ما ، ولهذا فإنه من الصعب إعطاء صورة حقيقية أو حتى تقريبية حول نسبة الاراضي المغطاة بهذه التربة في العالم ، ويعرض الشكل (1-2) توزيع التربة الجبسية في العالم اعتماداً على المعلومات المتوفرة من دراسات العديد من الباحثين [ 7 ]



الشكل (1-2) توزيع الترب الجبسية حول العالم حسب منظمة فاو 1990

كما اننا نوضح في الجدول (1-2) مساحة انتشار الترب الجبسية في اغلب الدول من العالم حسب منظمة FAO 1990 .

الجدول ( 1-2 ) التوزيع الترب الجبسية في العالم حسب FAO 1990

	Country	km <sup>2</sup>	% of total area of country	% of area of gypsiferous soils
Africa	Morocco	1114.3	2.5	1.7
	Algeria	7966.3	3.3	12.2
	Tunisia	1439.8	9.3	2.2
	Libya	3956.8	2.2	6.0
	Egypt	382.2	0.4	0.6
	Sudan	785.0	0.3	1.2
	Somalia	10161.2	16.2	15.5
	Ethiopia	1423.4	1.3	2.2
	Mali	2818.3	2.3	4.3
	Mauritania	396.0	0.4	0.6
	Namibia	5327.7	6.5	8.2
Southern Asia	Syria	3966.6	21.6	6.0
	Jordan	80.5	0.8	0.1
	Saudi Arabia	82.5	0.04	0.1
	Oman	471.6	–	0.7
	Yemen A.R.	2931.0	8.8	4.5
	Kuwait	354.6	–	0.5
	Iraq	4779.2	11.0	7.3
	Iran	4.2	–	–
	Pakistan	9.5	0.01	–
	India	182.0	0.06	0.3
Central Asia	USSR	5074.1	0.2	7.7
	Mongolia	60.9	0.04	0.1
	China	11484.9	1.2	17.5
Europe	Turkey	64.2	0.08	0.1
	Spain	165.5	0.3	0.3
North America	New Mexico	78.0	–	0.1

## 2-1-3 الجبس ( Gypsum ) :

يمكن لمينرال الجبس ان يوجد في قطاع التربة بوصفه واحداً أو أكثر من هذه التشكلات :

I. الجبس المائي (Hydrated Gypsum) : كبريتات الكالسيوم المائية ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

II. الجبس اللامائي (Anhydrate) : كبريتات الكالسيوم ويترافق وجوده مع الجبس في الصخور الملحية ( $\text{CaSO}_4$ ) .

III. (Alabaster) : هو تشكيل ناعم الحبات ، بلوري ، لونه فاتح مُرتص.

IV. الجبس الثانوي (Secondary Gypsum) وينتج من انحلال الجبس وإعادة ترسبه في قطاع التربة .

ان الانواع الثلاثة الاولى صخور حقيقية وتدعى بالجبس الرئيسي ( Primary Gypsum ) .

## 2-1-4 تشكلات الجبس وانتشاره ( Gypsum Formation and Distribution ) :

لقد تم رصد وجود الجبس في كل دول العالم تقريباً وفي كل التعاقبات الجيولوجية من العصر الكامبري ( 570 مليون سنة ) الى التوضعات الجيولوجية [5] . لكن الجبس بوصفه توضعات جيولوجية سطحية يسود في المناطق الجافة وشبه الجافة من العالم حيث ينخفض معدل هطول الامطار السنوي عن (400 mm) وعلى شواطئ البحار والمحيطات ويترافق وجوده عندها مع كميات متفاوتة من المينرالات الأخرى القابلة للذوبان في الماء [16] .

## 2-1-4-1 نشوء الترب الجبسية وتكوينها :

تعد عملية تكوين الجبس في قطاع التربة ( Gypsification ) من العمليات الأكثر سيادة في تكوين التربة في المناطق الجافة بعامة. ويرتبط تكوين التربة الجبسية وانتشارها في هذه المناطق ارتباطاً وثيقاً بالانظمة المائية ( انهار - مستنقعات و سبخات - سيول او مياه الجريان السطحي) . ويرتبط هذه ايضاً بوجود مصادر اولية للكالسيوم و الكبريتات وبمعنى آخر وجود ترسبات جيولوجية غنية بهذين العنصرين كالصخور الجبسية . وتعد منطقة ما بين النهرين في سورية والعراق أحد الامثلة البارزة على سيادة التربة الجبسية في العالم [16].



في حال وجود توضعات جيولوجية من الصخور الجبسية فان الجبس في التربة قد ينشأ من اعادة توضعات الحت السيلي (Alluvial Sediments) او الحت الريحي ( Aeolian Deposits) ففي حالة الحت النهري تكون أبعاد حبات التربة غير الجبسية كبيرة الحجم أما في حال الحت الريحي فان هذه الحبات تكون بأبعاد حبات الرمل [12] .

يعتمد نمو بلورات الجبس في التربة على وجود ماء مشبع بشوارد الكالسيوم والكبريتات اذ تترافق هذه العملية مع ارتفاع بدرجات الحرارة [7]، وتكون احدى عمليات تشكل الجبس في التربة بانحلال الجبس الموجود بتأثير الماء ثم اعادة ترسيبه عند ارتفاع درجات الحرارة بتأثير التغيرات الفصلية . هذا ومن الممكن ان يكون الترسيب في بنية انحلال الجبس نفسها ، او ينتقل الى مكان اخر بفعل جريان الماء الجوفي ويعود ويترسب في مكان اخر [5].

يرتبط وجود شوارد الكبريتات في التربة ايضا بوجود ميزات او معادن غنية بالكبريت كالبريت (Pyrite) في الصخر الام ويتحول الى الكبريت بفعل عملية التجوية والاكسدة الى حمض الكبريت الذي يتفاعل مع الترب الكلسية ( $\text{CaCO}_3$ ) مشكلاً الجبس [7]. ويمكن ان يكون تشكل الجبس أيضا ناتجا عن عملية استبدال ( $\text{NaCl}$ ) ب ( $\text{CaSO}_4$ ) عندما تحوي مياه الري الزراعي على كميات كافية من الكالسيوم و الكبريتات، بالإضافة الى ذلك يمكن ان ينشأ من حل الاملاح الجزئي للأملاح اذ ان ( $\text{NaCl}$ ) اكثر انحلالية من ( $\text{CaSO}_4$ ) فقد لوحظ في حوض الفرات في سورية ان الجبس قد أعيد تبلوره وتوزيعه في قطاع التربة بعد انحلال الميزات الاكثر انحلالية [7].

## 2-4-1-2 البنية المورفولوجية للجبس في التربة ( Gypsum Morphology in Soil )

إن المنشأ المتنوع للرسوبيات الجبسية وإعادة التوزيع السهلة للجبس تؤدي الى تباين في مورفولوجية (بنية) هذه الترب ، فالطبقة الجبسية يمكن ان تحتوي على جبس ذو مظهر حبيبي كحبات الرمل ، او قد يكون كالبودرة ، تبعاً لقياس بلورات الجبس ، التي تتنوع من  $50 \mu$  الى أكثر من  $2000 \mu$  وهذا التنوع في قياس البلورات الجبسية يمكن أن نجده ضمن مقطع التربة الواحد وبشكل عام فقد لوحظ ازدياد في خشونة بلورات الجبس مع ازدياد العمق [26] ، اما الرسوبيات الجبسية الناتجة عن أكسدة مكونات الكبريت الموجودة في الصخور الملحية فتكون

غالباً مكونة من بلورات ناعمة جداً [34]. وعندما يعاد توزيع الجبس خلال قطاع التربة ، فإنه يمكن أن يأخذ شكل جيوب مكونة من بلورات جبس ناعمة جداً أو كتل مؤلفة من حبات التربة المترابطة من خلال الجبس وقد يأخذ شكل الجبس الودري المظهر أو مظهر قشرة أفقية صلبة ويمكن أيضاً ان تتشكل أحياناً قشرة شاقوليه [33] . ونعرض في الشكل (2-2) بعضاً من الصور الفتوغرافية لأشكال الجبس التي تم رصدها حول العالم [83] .



الجبس الكتلي Massive Gypsum



الجبس وردة الصحراء Gypsum :Desert



الجبس الذهبي Gold Gypsum



الرمال الجبسية Sand Gypsum



الجبس الأخضر Green Gypsum



الجبس الكريستالي Kristal Gypsum

## 2-1-4-3 كبريتات الكالسيوم وأطواره ( Calcium – sulfate and Phases )

يملك مينرال كبريتات الكالسيوم ثلاث بنيات شبكية متميزة عن بعضها البعض من خلال التركيب الكيميائي تُشكل ما يعرف بأطوار كبريتات الكالسيوم :

الجبس (Gypsum, dehydrate) ، الباسينت (Bassinet , hemihydrate) ، الانهدريت (anhydrite) ويمكن الاختلاف الرئيسي فيما بينها من خلال كمية الماء الموجودة في بنيتها ، حيث للجبس رابطتين ضعيفين بجزيئين ماء ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) بينما مينرال الانهدريت ( $\text{CaSO}_4$ ) لا يملك ارتباطاً مع الماء ، أما الباسينت فهو الوسطي بينهما ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ ) ويعرض الجدول (2-2) التركيب الكيميائي للجبس و الباسينت و الانهدريت [27] .

الجدول (2-2) التركيب الكيميائي لأطوار كبريتات الكالسيوم (Jessica 2006) [27] .

المينرال	المركب الكيميائي %		
	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{SO}_3$	$\text{CaO}$
الجبس	20.9%	46.5 %	32.6 %
الباسينت	6.21 %	55.16 %	38.63 %
الانهدريت	0%	58.8 %	41.2 %

يعتبر الجبس عموماً المينرال الرئيسي المسيطر في الترب الجبسية ، في حين يرتبط وجود الانهدريت بتبخر مياه البحر بشكل رئيسي ويتحول بسرعة الى الجبس عند تعرضه الى الشروط البيئية الطبيعية من حرارة ورطوبة وقد عُرف الباسينت و الانهدريت عند سطح التربة كمنتجات لعملية نزع ماء الجبس تحت شروط تجفيف عالية [31] .

إن جزئ الماء في الجبس غير ثابت نسبياً عند ارتفاع درجة الحرارة حيث يمكن أن يُنزع ماء الجبس ليتحول الى الانهدريت ، وهذا التفاعل يمكن أن يبدأ عند درجة حرارة ( $40^\circ\text{C}$ ) ليتحول الجبس الى باسينت عند درجة حرارة ( $90 - 70^\circ\text{C}$ ) ومع ارتفاع درجة الحرارة الى ( $200^\circ\text{C}$ ) يتحول الى الانهدريت.

ويعتمد نزع ماء التبلور من الجبس على مصدر وحجم الحَبَّات ، البنية ، عيوب النسيج ، و وجود شوائب في المينرال ، ويمكن أن يحصل بتأثير العمليات الجيولوجية أيضاً إثر تتالي توضع رسوبيات جديدة فوقه ( Blatt et al ,1980 ) [19] فيتحول الى الباسينت و الانهدريت.

ومن ناحية اخرى ، فأن اعادة إماهة الباسينت و الانهدريت ليتحول الى جبس هي حوادث مألوفة ، ويمكن ان تحصل مع إعادة تعريتهما ، وتعرضهما للعوامل الجوية ، والتغيرات اليومية والفصلية في درجات الحرارة والرطوبة ( Ismail, M.A 2002 ) [24].

كما ان عملية نزع الماء من الشبكة البلورية للجبس يترافق مع تناقص في الحجم يمكن ان يصل حتى ( 38% ) عند تبخر الماء المتحرر، أما إماهة الانهدريت فأنها تترافق مع تزايد في الحجم قد يصل حتى ( 63% ) ( Zanbak and Arthur , 1986 ) [32].

#### 2-4-1-4 التربة الجبسية في سورية ( Gypseous Soil In Syria )

تشغل التربة الجبسية حوالي (20-22) % من مساحة سورية [ 7 - 16]. وتوجد هذه التربة على هيئة ترب سائدة او ترب مشاركة رئيسية او ثانوية في وحدات خريطة التربة . ان وجودها على هيئة ترب سائدة يرتبط ارتباطاً رئيسياً بطبيعة الصخر الام ( Parent Rock ) .

تنتشر الترب الجبسية في سورية في وسط الجزيرة السورية وجنوبها : حيث تغطي مصاطب نهر الفرات والبليخ والخابور والى الجنوب من مجرى نهر الفرات ، وتسود في عموم سهل الرصافة وفي الجزء الشمالي من بادية الشام والجزء الأكبر من جبل البشري ، وفي وسط سورية تسود الترب الجبسية في قعر حوض الدو وتمتد حتى القريتين باتجاه الجنوب الغربي .

إضافةً الى ذلك فان هذه الترب توجد بوصفها ترباً مشاركة رئيسية في الوحدات التي تسود فيها الترب الكلسية (Calcids) وخاصة في سهول الجزيرة وبادية الشام ، أما في غرب سورية فان الترب الجبسية توجد على مسافة كيلومترات قليلة شرق مدينة ابو الظهور في الشمال الغربي وحسية في الجنوب الغربي وتنتشر في السلسلة التدمرية وتمتد حتى منتصف المسافة بين محطة T4 و الفرقلس . وتعد هذه الترب مشاركاً رئيسياً للترب الملحية (Salids) في المنخفضات المتملحة (السبخات) في وسط سورية (سبخة الموح ) وفي شرقها على الحدود العراقية (سبخة

البوارة) . وتنتشر هذه الترب بشكل محدود نسبياً في جنوب وجنوب الشرقي من سورية ضمن هضبة الحماد وحتى في هذه المنطقة فان الترب الجبسية يمتد وجودها حتى الحدود الاردنية في أقصى الجنوب حين يصل الامتداد الشرقي حتى هضبة الحدود العراقية ، ويصل امتدادها الشمالي الحدود التركية شرق تل أبيب على الرغم من أن مناخ التربة يتحول الى المناخ المتوسطي ولا تصنف ضمن الترب الجافة [16].

نبين فيما يلي مقارنتين تخطيطيتين لتوزع الترب الجبسية في سوريا مبينة على خارطة سورية.

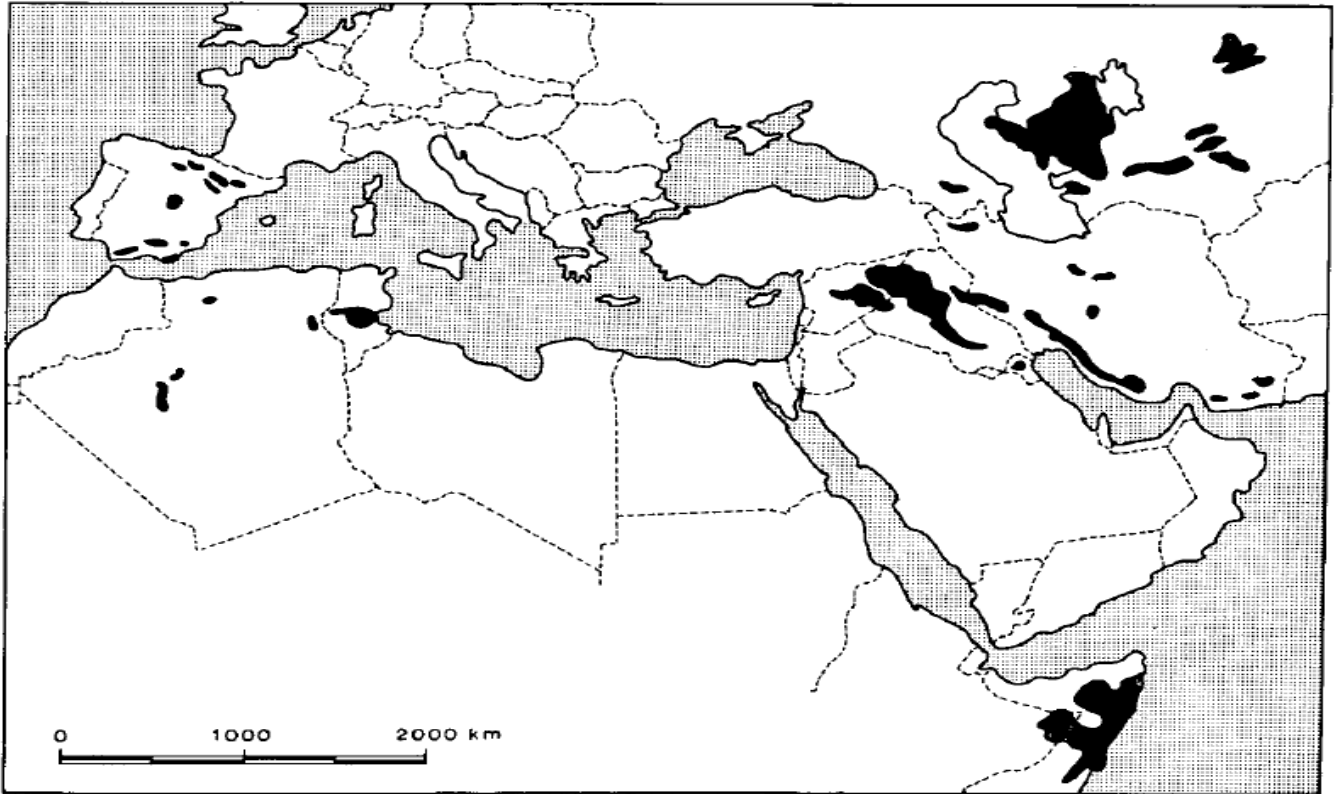
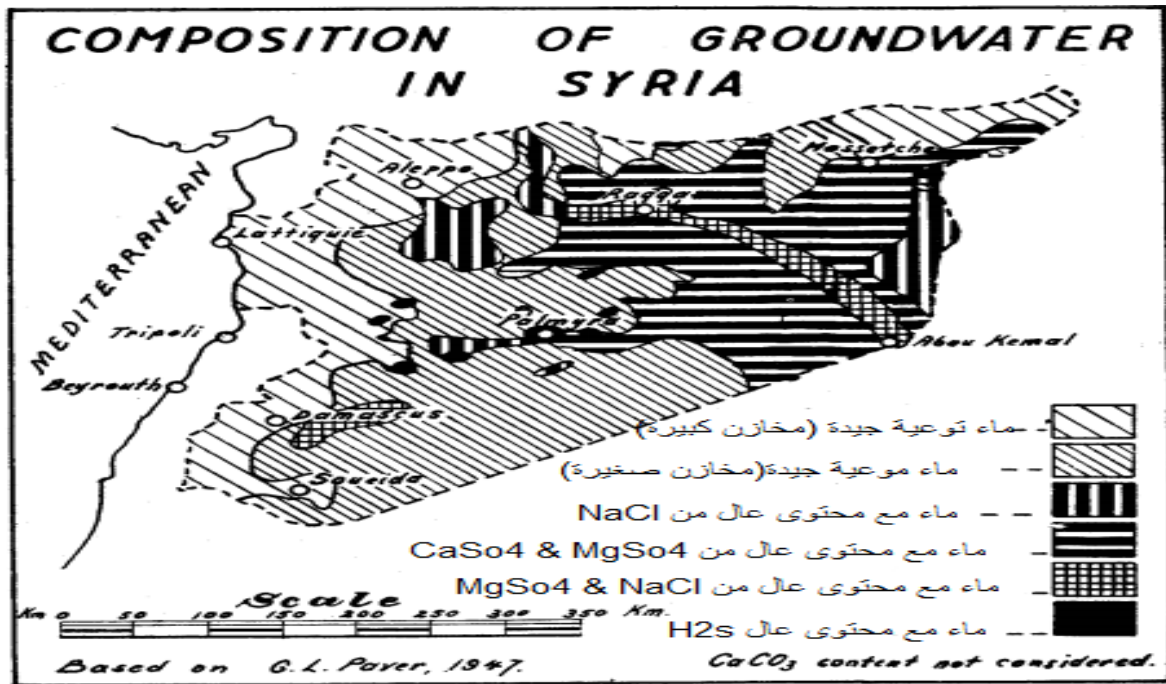


Fig. 1. Distribution of gypsiferous soils in North and East Africa, Southern Europe and South-West Asia

الشكل (2-3) بين توزع الترب الجبسية Van Alphen 1971





الشكل 2-4 توزيع الترب الجبسية مع تركيب المياه الجوفية Paver 1947

في المقاربة الأولى كروكي تبين توزع الترب الجبسية وفق [15] Van Alphen 1971 ومنها نلاحظ أن حزمة توزع الترب الجبسية في سورية والعراق وهنا يمكن ملاحظة أن الترب الجبسية فيها تبدي تماثلاً كونها تغطي رقعة تمتلك خصائص جيولوجية متشابهة ويمكن الاستفادة بشكل كبير من الدراسات التي أجريت في العراق على الترب الجبسية.

أما المقاربة الثانية وهي مقاربة هيدرولوجية وفق [13] Paver 1947 فنظهر فيها خارطة توزع الترب الجبسية بالمقاربة مع نوعية المياه الجوفية . ومنها مناطق الترب الجبسية هي مناطق المياه الجوفية التي تحوي غلى نسب عالية من شاردة الكبريت  $SO_4$  .

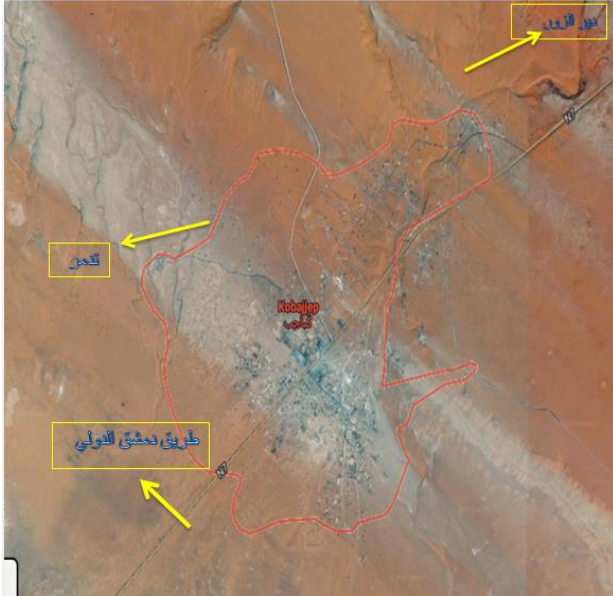
#### 2-4-4-1 موقع منطقة الدراسة ( Site Of The Study Area )

تقع منطقة كباكب جنوب غرب محافظة دير الزور بحدود 95 km باتجاه الجنوب وهي ذات مساحة صغيرة تقع على يمين طريق دمشق الدولي. [48]

اما منطقة السخنة تابعة لمحافظة حمص و تقع بين مدينة حمص ومحافظة دير الزور وتبعد عن مدينة تدمر الأثرية قرابة 70 كيلومتر شرقاً،

المناخ : يعد المناخ من العوامل المهمة في تكوين التربة وكذلك من أهم مكونات البيئة الطبيعية وله تأثير كبير على المعالم المورفولوجية والغطاء النباتي والتربة . كما يؤثر المناخ في موضوع تثبيت الترب بالمواد الكيميائية حيث يزداد مقاومة التربة المثبتة بالمواد الكيميائية (الاسمنت و الكلس ) بزيادة درجة الحرارة ونقل المقاومة بنقصان درجة الحرارة ( Abdul-Kareem, 1978 )

- يمتاز مناخ منطقة كباكب والسخنة بشدة جفاف جوّها وقلة أمطارها وارتفاع درجة حرارتها ووجود فصلين قاسيين هما الشتاء والصيف وفصلين انتقاليين قصيرين. ويعرّف مناخها بأنه قارّي - صحراوي ، يلعب الدور الأبرز في ذلك بعدهما عن البحر. ويظهر بوضوح أثر ذلك، بتقلب شديد في درجات الحرارة بين الصيف والشتاء والليل والنهار وقد سجلت أعلى درجات حرارة في المدينة عام 1978 حين بلغت ( $48^{\circ}\text{C}$ ) درجة مئوية أما أخفضها فقد بلغت ( $9^{\circ}\text{C}$ ) درجات تحت الصفر .



الشكل (2-5) الحدود الإدارية لمنطقة كباكب

## 2-1-5 انحلالية الجبس (Gypsum Solubility) :

يمكن أن تصنف الميثرالات القابلة للانحلال بالماء والتي يمكن أن توجد في التربة وفقاً لدرجة انحلاليتها (Degree of Dissolution) [10] :

- أ. ميثرالات ذات انحلالية عالية (NaCl).
- ب. ميثرالات ذات انحلالية متوسطة ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).
- ج. ميثرالات ضعيفة الانحلالية ( $\text{CaCO}_3$ ).

وتعتمد انحلالية الجبس في الماء على التركيب الكيميائي للمحلول المائي، ودرجة الحرارة، والضغط، ونوع الشوارد المنحلة وتركيزها في المحلول. وسرعة جريان الماء [6]. وتنخفض انحلالية الجبس بوجود أملاح ( $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{NaSO}_4$ ) بينما تزداد بوجود أملاح أخرى مثل (NaCl) وتؤثر درجة حموضة المحلول المائي (PH) في انحلالية الجبس ومن ثم في خصائصه الفيزيائية والكيميائية. تتراوح درجة انحلالية الجبس من (1,8 g/l) لتصل إلى (2,6 g/l) في الماء النقي بدرجة حرارة ( $25^\circ\text{C}$ ) وضغط جوي نظامي. وإن لدرجة الحرارة تأثيراً مهماً في انحلالية الجبس، وتحدث الانحلالية الاعظمية بدرجة حرارة (50 —  $65^\circ\text{C}$ ) [10].

الجدول (2-3) تأثير درجة الحرارة في انحلالية الجبس [10]

درجة الحرارة $^\circ\text{C}$	انحلالية الانهدريت g/l	انحلالية الجبس g/l
0	1.759	2.224
10	1.928	2.438
20	2.001	2.531
30	2.09	2.643
50	2.097	2.652
60	2.047	2.589
70	1.974	2.496
100	1.619	2.047

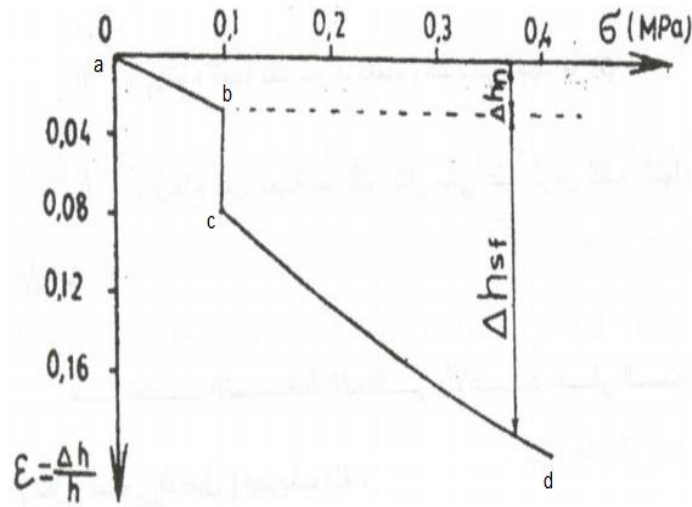


وبصورة عامة كل ما قد يسبب حركة في المياه الجوفية قد يؤدي الى زيادة انحلالية الجبس مثل ضخ الماء في التربة (مياه ري)، او شفط الماء من التربة ( سحب الماء من الابار ) [5] .

## 2-1-5 طرق حساب الهبوط الانحلالي للترب الجبسية :

### A. طريقة المنحني الواحد:

تؤخذ العينة برطوبتها الطبيعية وتوضع في جهاز التشديد ذات حلقة تتميز بقدرتها على تصريف الماء ثم نطبق عليها حمولات مع تسجيل قراءات تشوهها الشاقولي الى ان تستقر هذه التشوهات وعند نفس قيمة الضغط المطبق والذي يوافق عادة الإجهاد المؤثر تحت أساسات المبنى فإنه يتم امرار تيار مائي مستمر ضمن حلقة التشديد فيحدث تشوه جديد وأني للعينة الذي هو عبارة عن الهبوط الانحلالي بعد استقرار التشوه نتابع تطبيق الحمولات النازمية على العينة مع تسجيل تشوهاتها برسم العلاقة بين التشوه والاجهاد نحصل على المخطط البياني :



اما الهبوط الانحلالي النسبي فيحدد بالعلاقة :

$$\varepsilon_{sf} = \frac{h_1 - h_2}{h_0} * 100$$

$h_1$  : ارتفاع العينة برطوبتها الطبيعية المضغوطة بإجهاد  $\sigma$  يساوي الاجهاد الناتج عن المنشآت وعن الوزن الذاتي للتربة .

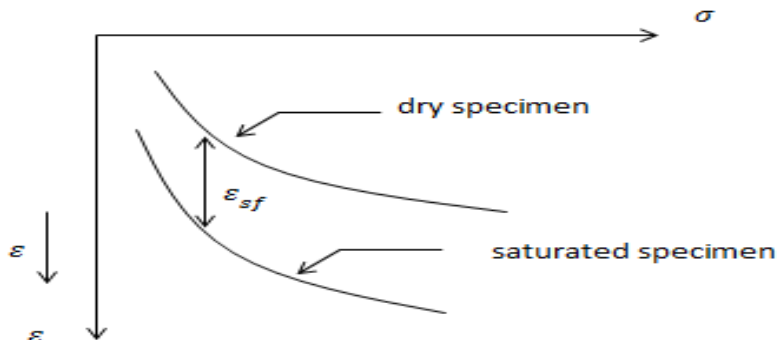
$h_2$  : ارتفاع العينة بعد غمرها بالماء وعند الاجهاد السابق .

$h_0$  : ارتفاع نفس عينة التربة ذات الرطوبة الطبيعية تحت ضغط يعادل الضغط الطبيعي الذي كان مطبقا عليها.

- القسم البدائي ab يصف انضغاطية التربة بحالة رطوبتها الطبيعية.
- القسم bc يصف الهبوط الانحلالي للتربة عند ترطيبها بالماء مما ينتج عن ذلك انضغاط آني وانخفاض بعامل المسامية ويكون مقدار الهبوط الانحلالي النسبي  $\Delta \varepsilon$  .
- القسم الثالث يصف انضغاطية التربة بعد انهيار بيتنها الطبيعية .

## B. طريقة المنحنيين :

تعتمد هذه الطريقة على إجراء تجربة التشديد على عينتين من التربة ذات مصدر واحد ، إحدى العينات تجرب بظروف رطوبتها الطبيعية إذ يتم تحميلها بحمولات متزايدة ومنتظمة ، أما العينة الثانية فتعرض لتيار مائي مستمر وذلك بوضعها ضمن علبة تشديد تتميز بقدرتها على تصريف الماء بغية غسلها من الاملاح ثم يتم اجهادها بحمولات منتظمة ومتوافقة مع حمولات التجربة الاولى ومع تسجيل القراءات لتشوه العينتين شاقولياً نقوم برسم المنحني الخاص بكل تجربة (العلاقة بين الاجهاد الناظمي والتشوه الشاقولي ) فيكون الهبوط الانحلالي عند أي اجهاد هو الفرق بين ترتيب المنحنيين .



## 2-1-6 المنهجية المستخدمة في دراسة الترب الحاوية على الجبس

### Methodologies For The Analysis Of Soils Containing Gypsum

إن سلوكية الترب الحاوية على الجبس تختلف عن بقية انواع الترب إذ أنّ خواصه الفيزيائية والكيميائية تميزه عن كافة أنواع المينرالات وتجعل من قياس الرطوبة وتحديد التركيب الحبي والوزن النوعي للتربة (ولاحقا كافة الخصائص المرتبطة بهم) أمراً معقداً ولهذا فأن وجود الجبس في التربة لاسيما اذا كان مركباً رئيساً يقتضي استخدام منهجيات نوعية وتقنيات خاصة بالترب الجبسية [26] .

## 2-1-6-1 تحديد رطوبة عينات التربة الحاوية على الجبس

### Water Content Determination For Samples Of Soils Containing Gypsum

عند تحليل عينات التربة مع الجبس ، فأن الطرق القياسية التقليدية المتبعة عادةً للحصول على عينات مجففة بالفرن بهدف إجراء تحاليل التربة الأخرى لن تكون مجدية ( Jauma Porta 1998) [26] إذا انه بتسخين عينات التربة مع الجبس الى درجة حرارة ( $105 \pm 5^{\circ}C$ ) سيخسر الجبس ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) جزءاً من ماء الشبكة البلورية وسينتج الباسينيت ( $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ ) وبزيادة الحرارة أكثر يتحول كل الجبس الى أنهدريت ( $CaSO_4$ ) وتبعاً لحقيقة ان ماء التبلور يعادل تقريباً (20.91) من وزن الجبس فأن الخطأ عند حساب وزن العينات الجافة سيزداد أهمية بازدياد نسبة الجبس الكلية في عينة التربة المجففة [22] ، لأن نقصان الكتلة المحسوب خلال التجفيف لن يكون من أجل ماء المسام المفقود فقط بل أيضاً فقدان لماء التبلور المفقود من الجبس .

أبعد من ذلك فإنه ومن أجل مقارنة خواص التربة الحاوية على الجبس مع الترب الغير الجبسية يفضل الا تتجاوز درجة الحرارة (40 - 50) عند تجفيف العينات لنجنب تحول الجبس [26] .

توصي (ASTM , D2216) باستخدام فرن درجة حرارته لا تتجاوز  $60^{\circ}C$  بينما تقترح نظم القواعد البريطانية (BSI, 1990) [82]، إجراء تصحيح للرطوبة لهذه الانواع من الترب عند تجفيفها بفرن ذو درجة حرارة ( $105 \pm 5^{\circ}C$ ) من خلال خفض قيمة الرطوبة المقاسة مقدار

(0.2%) لكل (1%) من الجبس في العينة ، و إلا فإنه يجب اعتماد درجة حرارة تجفيف أقل من 80°C .

تجدر الإشارة الى أن إحدى الطرق المتبعة في تحديد سماكة التوضعات الجبسية هي قياس الرطوبة عند درجتين (60°C, 110°C) ومن ثم فإن نهاية الطبقة الجبسية تكون عند المستوى الذي لا يعود هناك فرق عنده في قيمة الرطوبة المقاسة بالدرجتين السابقتين [30].

## 2-6-1-2 تحديد الوزن النوعي لعينات التربة الحاوية على الجبس :

### Specific Gravity Determination For Samples Of Soil Containing Gypsum

بحسب النظام البريطاني (BS 1377: part 2,1990) [82] فإنه يتم تحديد الوزن النوعي للتربة الحاوية على الجبس باستخدام الكيروسين أو الكحول الأبيض (White Spirit) بدلا من الماء لمنع انحلال الجبس بالماء مع كثافته ( $\rho_l$ ) لا تساوي الواحد .

وبحسب (E.A. Arakelyan 1986) [2] فإنه يمكن استخدام العلاقة التالية في تحديد الوزن النوعي للتربة الغضارية الجبسية سواءً أكانت طبيعية أو صناعية (محضرة) :

$$G_m = (G_c * G_g) / (d_o * G_c + (1 - d_o) * G_g)$$

حيث ان :

$G_c$  : الوزن النوعي لحبات التربة الغضارية ويحدد بالطرق المعروفة (ومن أجل الخلطات الغضارية الجبسية الطبيعية يحدد بعد إزالة الجبس من التربة) .

$G_g$  : الوزن النوعي لبلورات الجبس وتتراوح بين (2.3 ~ 2.32)  $G_g$  .

$d_o$  : نسبة الجبس في التربة المدروسة .

$G_m$  : الوزن النوعي للتربة الغضارية الجبسية .

## 2-1-6-3 التحليل الحبي للترب الحاوية على الجبس :

### Practical –Size Analysis Of Soil Containing Gypsum

تعتبر دراسة التركيب الحبي للترب الغنية بالجبس من أكبر التحديات التي تواجهها التقنيات التقليدية المستخدمة ، فالحبات الجبسية الناعمة والهشة - قساوة الجبس ( 2- 1.5 ) على مقياس Mohs يمكن ان تتحطم اثناء عملية الهز الميكانيكي وقابلية الجبس للانحلال ( 2.41 gr/l ) ستسمح بانحلال حبيباته في الماء أثناء إجراء التحليل الحبي بالترسيب إضافة الى أن ايونات الكالسيوم الموجودة في الجبس ستحد من تفريق وتشتيت الحبات الغضارية الناعمة الموجودة في التربة ، ولهذا تستخدم عادة منهجية تعتمد على ازالة الجبس من عينات التربة قبل إجراء التحاليل عليها وذلك من خلال ترشيحه بالماء المقطر الا انها عملية مملة جداً وتستغرق وقتاً طويلاً فمن أجل عينة تحوي الجبس بنسبة ( 90 % ) مثلاً ستطلب اربع لترات من الماء وثلاثة اسابيع لتبقى في النهاية عينة بوزن 1gr او أقل وهي عينة لا يمكن اعتبارها ممثلة للتربة في الحقل (Jaume Porta,1988 , FAO,1990) [26 , 33] ، ويمكن أن يستخدم في نزع الجبس أحياناً محلول حامض أو كاسيد الامونيوم (Ammonium Oxalate) او اي محلول كلوريد مركز يكون فيه الجبس أكثر قابلية للانحلال منه في الماء النقي.

لكن وبما ان الجبس له تأثير ملحوظ على كافة الخواص الفيزيائية للتربة فإنه من المفضل تحديد توزع التركيب الحبي للتربة الغنية بالجبس دونما ازالة الاجزاء الجبسية باعتبارها مكون رئيساً فيها وازالتها ستؤدي الى نتائج وهمية لا ترتبط بالسلوك الفيزيائي الفعلي للتربة [26].

نشير ايضا الى ان الاعتماد على التقدير الحقلي لنسيج التربة الجبسية قد يعطي نتائجاً مضللة ايضا بسبب تواجد بلورات الجبس بقياسات متنوعة ، تنوع قياس حبات الرمل ، كما ان أشكال البلورات ودرجة تبلورها تؤثران على ملمسها ولهذا فإنها تعطي نسيجاً للتربة في الحقل أحسن مما تظهره التحاليل الحبية المخبرية [33] .

## 2-1-7 تصنيف الترب الجبسية Classification Of Gypseous Soil

على الرغم من أن المناطق الجافة وشبه الجافة تشغل أكثر من ثلث اليابسة من سطح الكرة الأرضية ، إلا أن الترب الهندسية ولا سيما الترب الجبسية في هذه المناطق لم تستقطب سوى القليل من الدراسات الجيوتكنيكية ويعود ذلك بشكل رئيسي الى أن معظم تواجدها هو في المناطق النامية اقتصادياً والقليلة السكان وقد يتسبب التطبيق المباشر لمبادئ ميكانيك التربة الكلاسيكي ، المكتسبة من دراسة ترب المناطق ذات المناخ الرطب والمعتدل في مشاكل وانهيارات للعديد من المنشآت الهندسية المشيدة في هذه المناطق Akpokodje 1985 [18].

يظهر الانعكاس الاول لضعف المعطيات الجيوتكنيكية حول الترب الجبسية عند البحث في طرق تصنيفها حيث لا نجد الترب الجبسية في التصنيف الهندسية الشائع استخدامها في الهندسة الجيوتكنيكية كتصانيف USCS,AASHTO وغيرها من التصنيف التي تعتمد في منهجها على الخواص الهندسية للتربة من اجل إعطاء تقديرات أولية حول مدى صلاحية تربة ما للاستخدامات الهندسية ولهذا اقترح (Horta 1980) [18] إجراء تعديل على نظام التصنيف الموحد للترب الجبسية والكلسية ، واكد (Akpokodje 1985) [18] على ضرورة اجراء هذا التعديل على اعتبار أن استخدام خواص الدليل الجيوتكنيكية المعتادة (التركيب الحبي ، وحدود أتربيرغ ) لا يعطي معلومات موثوقة يمكن الاعتماد عليها في التعرف على الترب الجبسية أو الكلسية وتصنيفها ، وإنما يجب الاعتماد في تصنيف مثل هذه الترب على وجود الجبس أو الكربونات ونسبته فيها.

غير أن النقص في المعلومات الهندسية حول مثل هذه الانواع من الترب عوضته نسبياً خرائط الترب الزراعية المعدة بهدف التقييمات الأولية للترب السطحية وخواصها (Mitchell 1993) [38] حيث نجد الترب الجبسية في التصنيف الزراعية التي تعتمد علم التشكل - مورفولوجيا التربة (Soil morphology) - ومنشأ التربة (Soil genesis) - أساساً لها في التصنيف والتي تصنف الترب ضمن ترب رئيسية ثم ثانوية ثم مجموعات رئيسية فمجموعات ثانوية ثم عائلات وتترجم هذه المعطيات فيما بعد في استخدامات متنوعة يمكن استثمارها في الدراسات الجيوتكنيكية بهدف فهم منشأ وخواص وسلوكية هذه الترب لما لها من اهمية خاصة في مشاريع الطرق والمطارات وأقنية الري والاستثمار الزراعي للأراضي (Mitchell 1993) [38]

لقد بدأ الاهتمام بالترب الجبسية في العالم مع علماء التربة بهدف إجراء مسح للأراضي الزراعية ووضع خرائط لها ثم التعرف على الترب الجبسية وتضمينها لعلم التربة منذ عام 1871 مع W.Knop. إنما تحت اسم الترب الكيريتية FAO 1990 [33] ، حيث استُخدم المحتوى الجبسي في التربة بهدف تقسيمها عند مستوى منخفضٍ من التصنيف وازداد الاهتمام في الترب الجبسية في العقود الحديثة وأصبحت موجودة الآن في معظم تصانيف التربة وعلى أعلى مستويات التصنيف ونوجز فيما يلي مكانة الترب الجبسية في بعض التصنيف العالمية المعتمدة من قبل علماء التربة والزراعة.

### ➤ التصنيف الأمريكي USDA :

بقيت الترب الجبسية ضمن مستويات ضعيفة من التصنيف الأمريكي للترب ( مدرجة ضمن مجموعة ترب الصحراء الحمراء ) حتى عام 1975 ، حيث وضع نظام أساسي لتصنيف الترب تحت اسم "Soil Taxonomy" بهدف مسح الأراضي ، وهو نظامٌ أُعد بعناية من قبل هيئة إدارة مصلحة صيانة التربة ومصلحة الزراعة الأمريكية بالتعاون مع مجموعة من علماء التربة من بلاد أخرى متعددة ، FAO 1990 [33] .

يتطلب هذا النظام - بهدف تصنيف التربة - وجود أفقاً تشخيصياً (جبسياً أو بتروجسياً ) او افقين تشخيصيين مختلفين مع محتوى عال من الجبس .

الأفق الجبسي : هو أفق تشخيصي تحت سطحي غني بكبريات الكالسيوم الثانوية ، وقد يكون مترابطاً بشكل ضعيف أو غير مترابط ويتواجد خلال 1m من سطح الأرض بسماكة 15 cm أو أكثر ويملك على الأقل 5% جبس أكثر من الطبقة التحتية وبحيث يكون ناتج ضرب سماكة الافق (مقدرة بالسنتيمترات) في نسبة الجبس مساو 150 أو أكثر .

يعتبر الأفق تحت السطحي ذو سماكة 15 cm والحاوي على 10% جبس ، أفقاً جبسياً اذا كان المحتوى الجبسي للأفق التحتي ليس أكثر من 5% اما الأفق ذو سماكة 30 cm والحاوي على 6% جبس يعتبر أفقاً جبسياً اذا كان المحتوى الجبسي للأفق التحتي ليس أكثر من 1% .

الأفق البتر وجبسي : هو أفق جبسي مترابط بقوة بالجبس ويكون قاسياً وكتلياً وذو محتوى عال نسبياً من الجبس يزيد غالباً عن 60% .

باستخدام هذه الآفاق صنفت الترب الجبسية في رتبة الترب الجافة Aridic على مستوى طائفه عظمى تسمى Gypsiorthids وهي ترب جافة تحوي أفقاً جبسياً أو بتروجيبسيا ضمن حدود 1m من سطح الأرض ثم قسمت الى أربع فئات ثانوية على المستوى الثاني من التصنيف :

- Typic Gypsiorthids : وتضم الترب التي تحوي أفقاً جبسياً ويكون ناتج ضرب نسبة الجبس بسماكة الأفق (مقدرة بالسنتيمترات) فوق عمق 1.5 مساوٍ 3000 أكثر وتملك أفقاً بتروجيبسياً خلال 1m من سطح التربة .
- Calcic Gypsiorthids : تملك التربة في هذه الفئة أفقاً كلسياً فوق الأفق الجبسي ولا تملك أفقاً جبسياً يكون فيه ناتج ضرب نسبة الجبس بسماكة الأفق 3000 أو أكثر .
- Cambic Gypsiorthids : في هذه الفئة لا تملك التربة أفقاً جبسياً يكون ناتج ضرب نسبة الجبس بسماكة الأفق فوق عمق 1.5 مساوٍ 3000 أو أكثر ولا تملك أفقاً كلسياً .
- Petrogypsic Gypsiorthids : تملك التربة أفقاً جبسياً خلال 1m من سطح التربة .

ان التصنيف الأميركي للترب USDA هو مستخدم بكثرة حول العالم لكنه لايزال بحاجة الى تطوير بعض المفاهيم والتي يتم العمل عليها بالتعاون مع علماء التربة حول العالم .

#### ➤ التصنيف حسب FAO :

صُنِفَت الترب الجبسية بحسب تصنيف FAO لخريطة ترب العالم في عام 1974 تحت اسم Yermosols, Xermosols اللتان تمثلان مجموعة ترب الصحراء الحاري على نسب وافرة من الأملاح المنحلة وفي عام 1988 ارتفعت الى المستوى الأعلى مرتبةً في تصنيف ال FAO بعد اجراء تعديلات على خريطة ترب العالم حيث أُحْدِثَت مجموعتين رئيسيتين من الترب الجبسية والترب الكلسية عوضاً عن ( Yermosols, Xermosols ) اللتين تم حذفها واعتبرت التربة الجبسية هي التربة التي تملك أفقاً جبسياً أو بتروجيبسياً وتقسم الى الفئات التالية :

- الترب الجبسية المتحجرة ( Petric Gypsisols ) : وهي ترب تمتلك أفقاً بتروجيبسياً خلال 100 cm من سطح الأرض .
- الترب الجبسية الكلسية ( Calcic Gypsisols ) : وهي تمتلك أفقاً جبسياً .



- التربة الجبسية الطينية ( Luvic Gypsisols ) : وهي تربة تمتلك أفقاً طينياً (غضارياً).

- التربة الجبسية الأخرى ( Haplic ) .

إضافة إلى مجموعة التربة الجبسية فإن وجود الأفق الجبسية أو الطبقات السطحية أثر على تصنيف مجموعات التربة الأخرى على المستوى الثاني ، فوجد التربة الملحية الجبسية والتربة الانتفاخية الجبسية و التربة العضوية الجبسية وغيرها ويجري العمي حالياً على استخدام عمق الطبقات السطحية لتقسيم مجموعات التربة على المستوى الثالث ( FAO , 1990 ) [33] .

#### ➤ التصنيف الروسي USSR :

وهو الأقدم بين أنظمة تصنيف التربة ، وبدأ W.Knop في عام 1871 حيث قسّم التربة إلى ثلاث فئات رئيسية هي : التربة السيليكاتية ، والتربة الكربوناتية ، والتربة الكبريتية ، ثم قسّم التربة الكبريتية على المستوى الثاني من التصنيف إلى التربة الجبسية والتربة الانهيدريتية ، عرف التربة الجبسية بأنها التربة التي تحوي الجبس كحبات تربة ناعمة ومتوسطة ، ( FAO 1990 ) [33] .

عُدل نظام التصنيف الروسي عدة مرات وفي عام 1977 تم تبني نظام وضعه معهد التربة V.V.Dokuchaev . صُنّفت فيه التربة الجبسية ضمن مجموعة التربة الجافة واستخدم المحتوى الجبسي لتقسيم التربة على المستوى الثالث في التصنيف وفقاً لعدة معايير : المحتوى الجبسي ، قياس التجمعات الجبسية ، سماكة الأفق الجبسي ، إضافة إلى الحد العلوي لتواجد الأفق الجبسي ( FAO 1990 ) [19] .

الجدول (2-4) التصنيف الروسي للتربة الجبسية [33]

نسبة الجبس	المنصف
10 – 20	متوسط المحتوى الجبسي
20 – 40	عالي المحتوى الجبسي
>40	المحتوى الجبسي عالٍ جداً

- **صنف (Jennings & Knigth 1975) [11] :** التربة الجبسية بوصفها تربة غير

مستقرة البنية وفق قيمة إمكانية الانهدام ( Collapse Potential ) عند اجهاد

(200 Kpa) كما في الجدول (2-4) حيث تكون CP وفق العلاقة :

$$CP = \frac{h-\hat{h}}{h} \quad (1-2)$$

حيث ان

$h$  : ارتفاع العينة عند اجهاد فعال مقداره (200 Kpa) قبل الانهدام .

$\hat{h}$  : ارتفاع العينة عند اجهاد فعال مقداره (200 Kpa) بعد الانهدام .

- **(Barzanji, 1973) [3]** ميز بين الترب الجبسية وفق محتواها الجبسي كما في الجدول

(2-6) وصنف التربة التي تحتوي نسبة جيس تفوق (50%) بأنه جيس يحوي تربة .

الجدول (2-5) تصنيف (Jennings & Knigth 1975) [11] للترب الغير مستقرة

البنية

خطورة المشكلة المتوقعة	قيمة CP%
لا توجد مشكلة	0-1
مشكلة متوسطة الشدة	1-5
مشكلة	5-10
مشكلة شديدة	10-20
مشكلة شديدة جداً	>20

الجدول (2-6) تصنيف (Barzanji, 1973) [3] للترب الجبسية في العراق

الصف	محتوى الجبس %
تربة غير جبسية	0 – 0.3
تربة منخفضة المحتوى الجبسي	0.3 – 3
تربة قليلة المحتوى الجبسي	3 – 10
تربة متوسطة المحتوى الجبسي	10 – 25
تربة عالية المحتوى الجبسي	25 – 50

- (Van Alphen & Romero 1971) [15] صنف قيمة (2%) من المحتوى الجبسي لتعرف الترب الجبسية ، كما انه اعدّ قيمة المحتوى الجبسي (14%) قيمة للتمييز بين الطبقات الجبسية وغير الجبسية من وجهة نظر زراعية .

- التصنيف بحسب (World Reference Base for Soil Resoures) [25] : وهو نظام تصنيف عالمي ، وضع بطبيعته الاولى عام 1998 وعدل خلال ثمانية سنوات ليظهر بالطبيعة الثانية 2006 بالتعاون بين مجموعة الاتحاد العالمي لعلماء التربة IUSS والمركز العالمي لمعلومات ومراجع التربة ISRIC ومنظمة FAO ( IUSS , ISRIC, FAO ) [25] . وفي هذا التصنيف تقسم الترب الى 32 مجموعة رئيسية ، من ضمنها الترب الجبسية GY وهي الترب التي تحوي أفقاً بتروجبسياً خلال 100 cm من سطح الارض أو تحوي أفقاً جبساً ولا تحوي أفقاً طينياً (إلا اذا كان مخترقاً بالجبس) .

ويظهر تأثير المحتوى الجبسي في مجموعات الترب الرئيسية الأخرى على المستوى الثاني من التصنيف فهو يدخل كصفة ، بادئة (Gypsiric:gp) تشير الى وجود مواد جبسية خلال (20-50) cm من سطح الأرض ، أو كصفة لاحقة (Gypsic:gp) تشير الى وجود أفق جبسي متداخل مع التربة المرجعية.

## 2-1-8 تحديد نسبة الجبس في التربة :

يعد تحديد نسبة الجبس في التربة أحد المؤشرات الرئيسة لفهم سلوك هذه التربة و يتم تحديد نسبة الجبس في التربة بعدة طرق قياسية تقليدية (حرارية وكيميائية ) ومن الطرق الحرارية لتقدير الجبس في التربة هي طريقة 1978 Nelson وطريقة 2006 Artieda و طريقة Al-Muftly and Nashat, 2000 والطريقة الحرارية البديلة المقدمة من د. احمد الشلاش العبيد 2011.

➤ تعتمد الطرائق الحرارية على ازالة الماء الهيجروسكوبي (اي رطوبة التربة) وماء التبلور للجبس بالتسخين على درجات حرارة مختلفة.

- تعتمد طريقة Nelson على ازالة الماء الهيجروسكوبي\*\* من عينة التربة بالتسخين الى درجة حرارة 80 لمدة 24 ساعة ثم ازالة ماء التبلور للجبس بالتسخين على درجة حرارة 105 لمدة 72 ساعة.

- الطريقة (Crystallization Water Loss) (2006) Artieda et al. قياس فقد ماء التبلور [55]

- 1.يتم وزن (10 g) من تربة ووضعها في الفرن لمدة (3 days) على درجة حرارة (70 C°).
- 2.ثم توزن وتسجل القراءة.
- 3.توضع العينات في الفرن على درجة حرارة (90 C°) لمدة (2 days) .
- 4.توضع مرة أخرى في الفرن لدرجة حرارة (105 C°) حتى ثبات الوزن .
- 5.وتوضع مرة أخرى في الفرن لدرجة حرارة (150 C°) حتى ثبات الوزن.
6. ثم يتم حساب الجبس وفق للمعادلة :

$$Gypsum\% = \left( \frac{W_s - W_f}{W_s - W_t} \right) * 100 * \left( \frac{100}{14.95} \right) = \left( \frac{W_s - W_f}{W_s - W_t} \right) * 669 \quad (2-2)$$

Ws: وزن العينة في درجة حرارة (70) مع وعاء التجفيف.

Wf: وزن العينة عند درجة حرارة (90,105,150) مع وعاء التجفيف.

Wt: وزن وعاء التجفيف.

14.95: عامل تصحيح لنسبة الجبس بين درجة حرارة (70 - 90)

19.10: عامل التصحيح لنسبة الجبس بين درجة حرارة (70- 105)

19.66 عامل التصحيح لنسبة الجبس بين درجة الحرارة (70 - 150)

- الطريقة التي قدمها ، ، **Al-Mufty and Nashat, 2000[56]**. تتألف هذه الطريقة من فرن تجفيف التربة في درجة حرارة معينة ( $45^{\circ}\text{C}$ ) حتى يصبح وزن العينة ثابتاً. يتم تسجيل وزن العينة في درجة حرارة معينة ( $45^{\circ}\text{C}$ )، ثم تجفيف نفس العينة عند درجة حرارة معينة أخرى ( $110^{\circ}\text{C}$ ) لمدة 24 ساعة ويتم تسجيل الوزن مرة أخرى.

ثم يتم حساب محتوى الجبس وفقاً للمعادلة التالية:

$$X(\%) = \frac{w_{45^{\circ}\text{C}} - w_{110^{\circ}\text{C}}}{w_{45^{\circ}\text{C}}} * 4.778 * 100 \quad (3-2)$$

حيث ان :

$$X = \text{محتوى الجبس}$$

$$w_{45^{\circ}\text{C}} = \text{الوزن عند التجفيف لدرجة حرارة } 45^{\circ}\text{C}$$

$$w_{110^{\circ}\text{C}} = \text{الوزن عند تجفيف لدرجة حرارة } 110^{\circ}\text{C}$$

4.778 : عامل تصحيح .

- اما الطريقة التي قدمها الدكتور احمد شلاش العبيد 2011 [57] : فهي تختلف اختلاف بسيطاً عن سابقتها فهي تعتمد على ازالة الماء الهيجروسكوبي لعينة التربة بالتسخين الى الوصول لدرجة حرارة 105 لمدة ساعتين ثم ازالة ماء التبلور للجبس بالتسخين الى درجة 200 لمدة ساعتين والفرق يمثل كمية ماء التبلور الكلية المفقودة من الجبس ومن اجل تحويل كمية الماء التبلور للجبس الى نسبة الجبس نضرب بعامل ثابت 3.778 الذي يمثل نسبة وزن كبريتات الكالسيوم الى ماء التبلور

$$X(\%) = \frac{w_{105} - w_{200}}{w} * 3.778 * 100 \quad (4-2)$$

W : وزن العينة الرية الجافة هوائيا

➤ اما الطرق الكيميائية فهي تعتمد على استخدام محاليل تتفاعل مع كبريتات الكالسيوم مشكلة مركبات جديدة تساعد في الكشف عن نسبة الجبس في العينة الترابية .

• الطريقة الاولى وهي تعتمد على تسحيح وخلق الكالسيوم بواسطة (EDTA) اي الترسيب باستخدام الاليتون [53] Lagerwerff et .al

I . نستخدم اسيتون 99%  $\text{CH}_3\text{COH}_3$

II . حمض الخل  $\text{CH}_3\text{COOH}$

III . نترات الكالسيوم المائية  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

طريقة العمل :

1. تم اخذ ( 1 g ) من تربة جافة هوائيا واضيف لها لتر من الماء بنسبة (1;1000) تربة : ماء ووضعها في الهزاز لمدة 5 ساعات.

2. يتم ترشيح المحلول بورق ترشيح واخذ الرائق.

3. تم ترسيب الجبس بإضافة كمية كافية من الاليتون الى المحلول وقطرات من حمض الخل وقطرات من نترات الكالسيوم المائية .

4. يتم ترشيح المزيج خلال ورق الترشيح .

5. تم اذابة كمية الجبس بالماء المقطر .

6. يتم تقدير الكالسيوم بواسطة حمض الاليتيك الاليثلي الالميني ( ethylene diamine )  
(tetra acetic acid EDTA)

7. يتم حساب نسبة الجبس وفق الاتي

الكالسيوم (ملي مكافئ) = حجم الفرسين (حجم EDTA ) \* 0.1 \* 1000 تقسيم حجم المحلول

الكالسيوم (غم) = ميلي مكافئ الكالسيوم \* 20 تقسيم 1000

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}$
172	40
M	V

نسبة الجبس ( %) =  $100 * M$  تقسيم وزن النموذج

V كمية الكالسيوم

M كمية كبريتات الكالسيوم المائية (g)

• الطريقة الثانية وهي ترسيب بكلوريد الباريوم حسب ASTM 1988 [54]

I. حمض كلور الماء المركز HCL

II. كلوريد الباريوم 10% ,  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

III. محلول نترات الفضة (0.05N)  $\text{AgNO}_3$

طريقة العمل :

1. يتم اخذ (1g) تربة جافة هوائيا واطافة (5ml) من حامض الكلور بتركيز 20%

2. غلي المخلوط لعدة دقائق ومن ثم الترشيح

3. اضافة (10 ml) من المحلول المضافة  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  القريب من الغليان بتركيز 10 %

على شكل قطرات بواسطة الماصة قطرة - قطرة حتى يتكون راسب ابيض على هيئة  $\text{BaSO}_4$  وحسب المعادلة التالية .



4. ترك المحلول لمدة ( 16-24 ) ساعة

5. يتم غلي المحلول من (10....to....15 min) وهضم الخليط خلال ساعات على درجة (80) درجة مئوية.

6. يتم ترشيح المحلول وغسل الراسب بالماء الحار بعدة مرات لتخلص من كلوريد الباريوم الفائض يمكن الكشف عند اضافة نترات الفضة الى الماء المرشح اذا تكون معلق ابيض فسيتم

الغسل والعكس صحيح .

7. تم وزن الورقة وهي فارغة ومن ثم ترسيب الجبس عليها ثم تجفيفها ووزنت مرة أخرى فالفرق بين الوزنتين هي كمية الجبس.

الحساب:

$\text{So}_3\% = \text{وزن الراسب من } \text{Baso}_4 * 100 * 0.343$  مقسوماً على وزن نموذج التربة الجافة

$\text{SO}_3$	$\text{SO}_4$
80	96
Y	X
$\text{SO}_4$	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
96	172
X	Z

$\text{SO}_3$  = نسبة Y

$\text{SO}_4$  = نسبة X

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  = نسبة Z

$0.034 = \text{الوزن الجزئي لثلاثي اوكسيد الكبريت } \text{SO}_3$  مقسوماً على الوزن الجزئي لكبريتات الباريوم.



## القسم الثاني

### طرق تثبيت وتحسين التربة

#### Soil Stabilization Methods

##### 1-2-2 مدخل ( Introduction )

تحسين التربة هو عملية يتحقق بموجبها زيادة تحمل و مقاومة التربة بوسائل ميكانيكية أو كيميائية. يتحقق التثبيت الميكانيكي عن طريق الرّص أو خلط نوعين أو أكثر من الترب المختلفة للحصول على مواد تلبي الشروط المطلوبة [60] ، أما التثبيت الكيميائي فيكون بإضافة مواد كيميائية للتربة تكون بمثابة عامل تعديل أو تدعيم . إن القرار بشأن الطريقة الملائمة للتثبيت (الميكانيكي أو الكيميائي) يتحكم به الاقتصادية بشكل أساسي ، وهذا يتطلب تقديراً للمزايا والعيوب الهندسية لكل نوع تثبيت.

##### 2-2-2 أهداف التثبيت Stabilization Objective

من الضروري بالنسبة للمستخدم أن يأخذ في الاعتبار الغرض من عملية التثبيت ، و يجب أن يتجه الاستخدام المنشود للمثبت نحو حل مشكلة واحدة أو أكثر من مشاكل التربة . تتضمن بعض الأهداف الرئيسة للتثبيت :

- تحسين حالة تربة التأسيس .
- التحكم بنسبة النواعم في التربة .
- إمكانية التحكم في الرطوبة .
- تحسين قابلية الاستثمار .
- تحسين المقاومة والمتانة .

يمثل كل من هذه الأهداف سبباً وجيهاً للتفكير في استخدام مادة التثبيت الخاصة . بينما غالباً ما يتحقق تلقائياً عدد من هذه الأهداف مجتمعة مع استخدام مادة تثبيت، لكنه ليس من الضروري تلبية أكثر من هدف واحد . على سبيل المثال، قد تكون الرغبة الوحيدة للمستخدم تسريع البناء باستخدام الكلس في مشروع تحسين الغضار الناعم الرطب عن طريق تجفيفه

وإذا كان هذا الهدف كافياً ، يكون عندئذ المُستخدَم ناجحاً وأي تحسينات إضافية يحصل عليها في هذه العملية ، مثل زيادة المقاومة والمتانة هي مفيدة بالتأكيد.

## 2-2-3 أنواع فعالية التثبيت Types of Stabilization Activity

هناك ثلاث طرق أساسية لتحقيق التثبيت والاستقرار تكون مرتبطة بالمواد الكيميائية وهي السمنتة و التعديل ، و عزل المياه .

المثبتات الأربعة الرئيسية ( الإسمنت البورتلاندي ، الكلس ، الرماد المتطاير مع الكلس ، والإسفلت ) تحمل شكلاً من أشكال عمل السمنتة و تضمن استقراراً كافياً. يتفاعل الإسمنت البورتلاندي، الكلس ، والرماد المتطاير مع الكلس ، عموماً لتشكيل قوام مشابه للإسمنت . هذا التفاعل مؤثر على التفاعل البوزولاني . بمجرد وضع الخليط ، ينتج هيكل صلب من حبيبات الإسمنت و التربة .

تفاعل السمنتة الذي يمر به الإسفلت يختلف إلى حد كبير، حيث لا تحدث تفاعلات كيميائية ، فمادة الإسفلت تغلف جزيئات التربة وتربط بعضها البعض ، والنتيجة بمجرد المعالجة بالإسفلت يكون هناك خليط شبه متصلب من حبيبات التربة والمادة المثبتة.

إن استخدام كميات كبيرة من المثبت لتأمين تفاعل السمنتة يكون مفيداً أحياناً تبعاً للتكاليف . يمكن بهذه الحالة أن تُضاف إلى التربة كميات أصغر من المثبت من أجل تعديلها. وعلى الرغم من أن الإسمنت ، الكلس ، والإسفلت يمكن أن تساعد جميعها في هذه الإمكانية ، فإن الكلس يعتبر بشكل خاص فعالاً في الحد من اللدونة و تغيير قوام التربة الغضارية .

يؤمن التثبيت بالإسفلت الكتامة عن طريق تغليف التربة بالإسفلت، حيث يتم إنشاء مصد يؤخر امتصاص الحبيبات للماء ، بينما مواد الكلس ، الإسمنت ، و الكلس- الرماد المتطاير تؤمن مستوى مقاوم للماء عن طريق الحد من الخاصة الشعرية مما يقلل من كمية المياه التي تتحرك للأعلى عبر التربة المثبتة.

تعتمد العملية التي من خلالها تحقق المادة المضافة تثبيتاً فعالاً للتربة على نوع المادة المضافة وكيفية تفاعلها مع التربة المثبتة . تصنف تفاعلات ( التربة - المثبت) على النحو الآتي :

- مثبت- فعال ينتج تفاعلاً كيميائياً مع التربة ( الكلس ) .
- مثبت- سلبي (خامل) لا ينتج أي تفاعل كيميائي ، فقط تتم عمليات فيزيائية (الإسفلت).
- مثبت- وسطي ينتج من خلاله تفاعل كيميائي ويشكل روابط مادية مع التربة (الإسمنت ، الكلس - الرماد المتطاير ) .

## 4-2-2 اختيار المثبت Stabilizer Selection

يجب معرفة عملية الاختيار التي ينبغي اتباعها في تحديد المادة المضافة الأكثر اقتصادية لمشروع تثبيت التربة . بما أن كل مادة مضافة لديها القدرة على تحقيق التثبيت ، فمن الضروري فحص التربة التي سيتم تثبيتها لتحديد ما إذا كانت خصائصها متوافقة مع واحد أو أكثر من المواد المضافة المتاحة في المشروع. خواص التربة العامة التي يتعين النظر فيها ما يأتي :

- التدرج الحبي:

- . الحد الأعظمي لقطر الحبيبات .
- . محتوى المواد الناعمة ( المواد المارة من المنخل ) No. 200 .

-حد اللدونة :

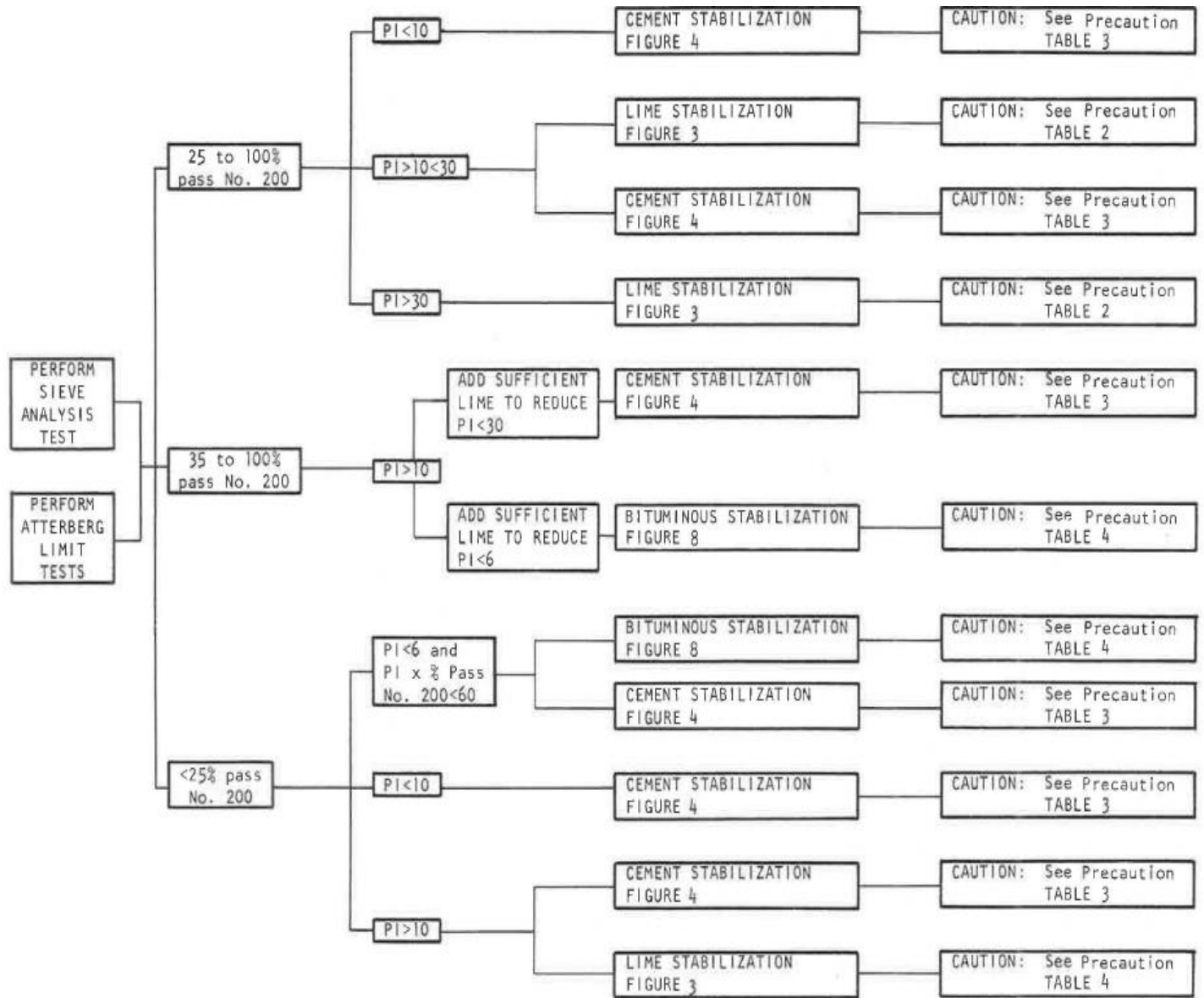
. حد السيولة .

. دليل اللدونة.

إن معرفة تحسن التربة من خلال تعديل هذه الخصائص يمكن أن يقدم للمستخدم معرفة أي مثبت سوف يكون أكثر فعالية - و أقل تكلفة .

ولقد وضعت عدة كودات لمساعدة المستخدم في عملية اختيار المثبت ، وتستند غالبية هذه الكودات إلى المعرفة بالخصائص الأساسية للتربة. يوفر دليل نظام تثبيت التربة ( SSIS ) على سبيل المثال (The Soil Stabilization Index System) ، خطوة بخطوة طريقة تحديد نوع المثبت المستخدم[63]. وتتضح هذه الطريقة في الشكل (2-6) .

نُشرت كودات أكثر تفصيلاً عن طريق وكالات مستقلة ، تقترح أساليب تثبيت لأنواع معينة من التربة على أساس مواقعها في بنية الرصيف والغرض أو الوظيفة لاستخدامها ( أي خصائص التحميل ، العزل ... الخ ) [73]. كما هو موضح في الجدول (2-7).



الشكل (2-6) طريقة تحديد نوع المثبت المستخدم حسب نظام (SSIS). [43]

الجدول ( 2-7 ) دليل اختيار المادة المضافة

Area	Soil Classification	Type of Stabilizing Additive Recommended	Restriction on LL and PI of soil	Restriction on Percent Passing No. 200 Sieve <sup>(1)</sup>	Remarks
1A	SW, SP	(1) Bituminous (2) Portland Cement (3) Lime-Cement-Fly Ash	PI not to exceed 25		
1B	SW-SM, SP-SM, SW-SC, SP-SC	(1) Bituminous (2) Portland Cement (3) Lime (4) Lime-Cement-Fly Ash	PI not to exceed 10 PI not to exceed 30 PI not less than 12 PI not to exceed 25		
1C	SM, SC, SM-SC	(1) Bituminous (2) Portland Cement (3) Lime (4) Lime-Cement-Fly Ash	PI not to exceed 10 <sup>(2)</sup> PI not less than 12 PI not to exceed 25	Not to exceed 30% by weight	
2A	GW, GP	(1) Bituminous (2) Portland Cement (3) Lime-Cement-Fly Ash	PI not to exceed 25		Well-graded material only. Material should contain at least 45% by weight of material passing No. 4 sieve.
2B	GW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC	(1) Bituminous (2) Portland Cement (3) Lime (4) Lime-Cement-Fly Ash	PI not to exceed 10 PI not to exceed 30 PI not less than 12 PI not to exceed 25		Well-graded material only. Material should contain at least 45% by weight of material passing No. 4 sieve.
2C	GM, GC, GM-GC	(1) Bituminous (2) Portland Cement (3) Lime (4) Lime-Cement-Fly Ash	PI not to exceed 10 <sup>(2)</sup> PI not less than 12 PI not to exceed 25	Not to exceed 30% by weight	Well-graded material only. Material should contain at least 45% by weight of material passing No. 4 sieve.
3	CH, CL, MH, ML, OH, OL, ML-CL	(1) Portland Cement (2) Lime	LL less than 40 and PI less than 20 PI not less than 12		Organic and strongly acid soils falling within this area are not susceptible to stabilization by ordinary means.

<sup>(1)</sup> Soil classification corresponds to MIL-STD-639B. Restriction on liquid limit, plastic limit, and plasticity index is in accordance with Method 103 in MIL-STD-621A.

<sup>(2)</sup>  $PI < 20 = [(50 - \text{percent passing No. 200 sieve})/4]$ .

## 5-2-2 التثبيت بالكلس Lime Stabilization

### 1-5-2-2 معايير التثبيت بالكلس Criteria for Lime Stabilization

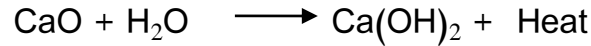
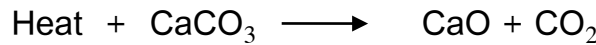
يعد الكلس أقدم عوامل تثبيت التربة المعروفة والمبدأ العام للتثبيت بالكلس هو اعتباره مثبتاً أساسياً ، أو على الأقل مثبتاً سابقاً للترب ذات دليل لدونة PI أكبر من 10 و / أو الترب التي فيها أكثر من 25 بالمئة مار من المنخل No. 200. أظهرت التجارب أن الكلس يتفاعل مع الترب الناعمة والمتوسطة النعومة مما يؤدي لتخفيض اللدونة والحد من الانتفاخ ، و زيادة المقاومة وقابلية التشغيل [70].

الترب المصنفة وفقاً للنظام الموحد إلى CH ، CL ، MH ، ML ، SM ، SC ، GM ، GP ، GW ، GP-GC ، GW-GC ، SM-SC ، SP-SC ، SW-SC تعتبر قابلة

للتثبيت مع الكلس . التربة المصنفة حسب AASSTO مثل A-7 , A-6 , A-5 , A-4 و بعض من A-2-7 و A-2-6 تكون قابلة أيضاً للتثبيت بالكلس .

## 2-5-2-2 أنواع الكلس Types of Lime

يشير مصطلح الكلس بشكل خاص لأكسيد الكالسيوم ( الكلس الحي أو الكلس السريع ) Quick Lime (CaO) ويرمز له (QL) و إلى هيدروكسيد الكالسيوم ( الكلس المطفأ ) Hydrated Lime ويرمز له (HL) ، ( الكلس المستحلب أو الكلس الطيني Lime slurry) الكلس الحي ، متاح بشكل حبيبات أو مسحوق، وغالباً ما يتم معاملته بالمياه لإنتاج الكلس المطفأ بشكل مسحوق خشن أو ناعم . تظهر المعادلتان الآتيتان تفاعل إنتاج كل من الكلس السريع والكلس المطفأ.



استخدمت عدة أشكال من الكلس بنجاح ولسنوات عديدة كعوامل تثبيت للتربة . المنتجات التجارية المستخدمة الأكثر شيوعاً هي الكلس المطفأ عالي الكالسيوم  $[\text{Ca(OH)}_2]$  ، الكلس الدولوميتي أحادي الإماهة  $[\text{Ca(OH)}_2 + \text{MgO}]$  ، الكلس الحي  $[\text{CaO}]$ ، و الكلس الحي الدولوميتي  $[\text{CaO} + \text{MgO}]$  .

تمثل نسبة الكلس الحي ما يقارب ( 35% ) من كافة أنواع الكلس المستخدم في التثبيت [65]

## 2-2-6 التثبيت بالإسمنت Cement Stabilization

### 2-2-6-1 معايير التثبيت بالإسمنت Criteria for Cement Stabilization

يعتبر الإسمنت البورتلاندي مناسباً لتثبيت مجال واسع من الترب ذات اللدونة المنخفضة إلى المرتفعة نسبياً [59] . ويمكن استخدامه لتعديل أو تحسين نوعية التربة أو لتحويل التربة إلى كتلة مسمنته مع مقاومة ومتانة متزايدة بشكل كبير ( التربة - الإسمنت ) .

جمعية الإسمنت البورتلاندي ( PCA ) Portland Cement Association تشير إلى أن جميع أنواع الترب يمكن أن تثبت بالإسمنت. [68],[69] غير أن المواد الحبيبية الجيدة التدرج التي تمتلك مواد ناعمة كافية لإنتاج بنية تجميعية تعطي نتائج أفضل. تدرجات التربة المقترحة لتلبية فكرة هذه البنية التجميعية يجب أن تقع ضمن النطاق المحدد في الجدول (2-8). [67] عادةً الحد الأقصى للقطر الإجمالي ( 5.1 Cm ) .

من المفضل بالنسبة للمواد الحبيبية ، ألا يقل المار من المنخل No. 4 عن 45 بالمئة وزناً . بالإضافة إلى ذلك ، يجب ألا يتجاوز PI للتربة ( من أجل التربة مع الإسمنت ) القيمة المشار إليها في المعادلة الآتية :

$$PI \leq 20 + [ ( 50 - \text{Fines Content} ) / 4 ]$$

تتوقف كمية الإسمنت المضافة لتربة معينة على الهدف من الإضافة - التعديل أم زيادة المقاومة الكلية - . على سبيل المثال ، إذا كان القصد من ذلك هو مجرد الحد من PI للتربة عندئذ يمكن خلط نسب مئوية صغيرة من الإسمنت ( 3% أو أقل ) . وإذا كان الهدف هو إنتاج مادة صلبة قادرة على تحقيق مقاومات عالية يمكن أن تضاف نسب أكبر، مع الانتباه لتجنب زيادة مشاكل التشققات غير المنضبطة عند إضافة كميات مرتفعة .

الجدول ( 2-8 ) حدود التدرج للتثبيت بالإسمنت للمواد الحبيبية جيدة التدرج.[67]

النسبة المارة	قطر المنخل
أقل من 55	مار من No.4
أقل من 35	مار من No.10
أقل من 25	مار من No.10 ومحجوز على No.200

## 2-2-6-2 أنواع الترب المناسبة للتثبيت بالإسمنت

### Soils Suitable for Cement Stabilization

هنالك مجموعة واسعة من أنواع الترب قد تثبت باستخدام الإسمنت البورتلاندي فالمعالجة بالإسمنت للترب الخشنة ، مثل الرمل والبحص، يكون عموماً أكثر فعالية واقتصادية نظراً لسهولة الخلط ولكميات الإسمنت الأصغر المطلوبة . الترب الحبيبية الناعمة ذات اللدونة المنخفضة إلى المتوسطة يمكن أن تثبت بشكل جيد ، ولكن ليس على نحو فعال مثل الترب الخشنة الحبيبات .

إذا تجاوز PI (30%) ، يصبح من الصعب خلط الإسمنت مع التربة . عموماً، في هذه الحالة، يضاف الكلس أولاً للحد من PI ولتحسين قابلية التشغيل قبل إضافة الإسمنت .

التربة قد تكون حمضية ، معتدلة ، أو قلوية و تستجيب بشكل جيد للمعالجة بالإسمنت . على الرغم من أن أنواع معينة من المواد العضوية مثل بقايا النباتات قد لا تؤثر سلباً على الاستقرار، فإن المركبات العضوية مثل الحمض النووي وسكر العنب تتصرف كمبطئات إماهة وتحد من المقاومة .عندما تكون هذه العضويات موجودة فهي تمتص أيونات الكالسيوم من الإسمنت المميّه مسببة تخفيض درجة الحموضة PH و ترسيب هلاماً سيليكاً الألومينا وتثبيط عملية التصلب العادية .إذا كانت درجة حموضة PH لـ 10:1 (وزناً) من التربة والإسمنت بعد الخلط



لحوالي 15 دقيقة مساوية على الأقل 12.1 ، فمن المحتمل أن العضويات ، إذا كانت موجودة لن تتداخل مع التصلب الطبيعي [62] .

وفي حال وجود مصادر للكبريتات في التربة أو الترب المجاورة أو في المياه الجوفية يكون لها تأثير سلبي على نوعية تصلب الخرسانة الإسمنتية البورتلاندية . إن مقاومة الاسمنت لتأثير الكبريتات يختلف من أجل الترب الناعمة و الخشنة المعالجة بالإسمنت وهو متعلق أيضاً بتركيز الكبريتات [61],[72] .

من ناحية أخرى ، لا تظهر التربة الخشنة المعالجة بالإسمنت حساسية لهجوم الكبريتات ، و في بعض الحالات وجود كميات صغيرة من الكبريتات في التربة في وقت الخلط قد يكون مفيداً. استخدام الإسمنت المقاوم للكبريتات قد لا يحسن من مقاومة تحمل الترب الغضارية ، ولكن قد يكون فعالاً في التربة الخشنة المعالجة بالإسمنت والمعرضة إلى تربة مجاورة أو مياه جوفية تحتوي على تركيز عالٍ من الكبريتات.

وفقاً لذلك ، ينبغي النظر إلى محتوى الكبريتات في التربة عند اختيار الإسمنت كعامل مثبت . وريثما يكون هناك معايير أكثر تحديداً ، يجب تجنب استخدام الإسمنت من أجل الترب الحبيبية الناعمة الحاوية على أكثر من 1 بالمئة تقريباً كبريتات .

## 7-2-2 التثبيت بالإسفلت Asphalt Stabilization

### 1-7-2-2 معايير التثبيت بالإسفلت Criteria for Asphalt Stabilization

التثبيت بالإسفلت هو شكل سلبي للتثبيت ، ومفاهيم منع تسرب المياه و السمنته تميز استخدام الإسفلت في تثبيت الترب ، مع خلط دقيق ورص كافٍ فإن جزيئات التربة الناعمة الحبيبات تستطيع منع التسرب باستخدام ( 3% - 2 ) من الرابط الإسفلتي . من خلال القيام بذلك، تحتفظ التربة المثبتة بمحتوى رطوبة منخفض إلى حد ما، وبالتالي تجنب الكثير من الآثار السلبية الناجمة عن المياه .

إذا كان المعيار الرئيسي هو الاستقرار الذي يتحقق من خلال السمنته ، عندئذ يمكن خلط نسب مئوية أكبر من الرابط الإسفلتي ( 7% - 5 ) . في هذه الحالة ، تُغلف المواد الحبيبية وترتبط

مع بعضها البعض بواسطة الإسفلت. يتحقق الاستقرار من خلال مقاومة الاحتكاك لحبيبات التربة والتماسك الذي يوفره الرابط .

يعمل التثبيت بالإسفلت بشكل أفضل في الترب الخشنة مع نواعم ذات PI منخفض . هذا يتضمن العديد من الترب البحصية جيدة التدرج المصنفة على أنها GW ، GM ، و GC ، والرمل في المجموعات SC ، SM ، SP ، SW. في هذه الترب ، يوفر الإسفلت التماسك للكتلة ويعزل أي محتويات غضارية قد تكون موجودة .

اعتماداً على خصائص اللدونة وكمية المواد المارة من المنخل No. 200 ، قد تثبت الترب الحبيبية الناعمة بالإسفلت. في معظم الحالات يؤدي السطح النوعي الكبير جداً للحبيبات الدقيقة إلى عدم تغليف الحبيبات بالإسفلت بشكل كافٍ و النتيجة هي ضياع المقاومة بسبب تسرب المياه .

- قدمت جمعية البناء والطرق الأمريكية ( ARTBA ) خصائص اللدونة و التدرج في الجدول (9-2) . يوصي معهد الإسفلت (TAI) بأن الترب المعالجة بالإسفلت يجب أن تمتلك الخصائص الآتية:

- أقل من 25 بالمئة مار من المنخل No. 200 .
- المكافئ الرملي أكبر من 25 .
- دليل اللدونة أقل من 6 .

المكافئ الرملي هو إشارة إلى وجود نوع من الغضار الناعم .عادةً الترب ذات قيم مكافئ رملي أكبر من 35 يمكن أن تثبت بالإسفلت .الترب مع مكافئات رملية من 20- 30 ربما تكون مناسبة للتثبيت بالإسفلت ، شريطة أن تكون جزيئات التربة مقاومة للماء بشكل فعال . تثبيت المواد مثل الحصويات الغضارية ومع معادل رملي أقل من 20 ليست ناجحة عموماً.

اقترح العديد من الباحثين مواد مناسبة للتثبيت بالإسفلت . يعرض الجدول (9-2) مدى ملائمة الترب المختلفة والحاوية على نسب مئوية متباينة مطروحاً منها المادة No. 200 ومجالات مختلفة لحد السيالان ودليل اللدونة PI . [64]

الجدول ( 2-9 ) متطلبات اللدونة و التدرج لخلائط بيتومين - التربة. [58]

Sieve Size	Amounts Finer than each Laboratory Sieve (Square Openings), percent by weight	
	Sands and/or Silty Sands	Semi-Processed, Crusher, Pit, or Bank Run
1 5 in	100	100
1 in		80 to 100
No. 4		25 to 85
No. 200	0 to 25	3 to 15
Sand Equivalent, percent or Plasticity Index	30 min 6 max	30 min 6 max

الجدول ( 2-10 ) الخصائص الهندسية للمواد المناسبة للتثبيت بالبيتومين. [64]

Sieve Size	Sand-Bitumen	Soil-Bitumen	Sand-Gravel-Bitumen
.5 in			100
1 in	100		
0.75 in			60 - 100
No. 4	50 - 100	50 - 100	35 - 100
No. 10	40 - 100		
No. 40		35 - 100	13 - 50
No. 100			8 - 35
No. 200	5 - 12	good: 3 - 20 fair: 0 - 3 and 20 - 30 poor: > 30	
Liquid Limit		good: < 20 fair: 20 - 30 poor: 30 - 40 unusable: > 40	
Plasticity Index	< 10	good: < 5 fair: 5 - 9 poor: 9 - 15 unusable: > 12 - 15	< 10

وفقاً لدراسة أجرتها جامعة ولاية Illinois، تتضمن المواد المناسبة للمعالجة بالإسفلت: [71]

## • AASHTO

A-4, A-3, A-2-6, A-2-4 , و الترب ذات اللدونة المنخفضة A-6 .

## • موحد

SW, SP, SW-SM, SP-SM, SW-SC, SP-SC, SM, SC, SM-SC, GW, GP,

GW-GM, GP-GM, GW-GC, GM, GC, and GM-GC مع متطلبات إضافية .

## 2-7-2-2 آليات التثبيت بالإسفلت Mechanisms of Asphalt Stabilization

الآليات التي تعمل على تثبيت الترب بالإسفلت تختلف اختلافاً كبيراً عن تلك المستخدمة في تثبيت الترب بالإسمنت و الكلس . الآلية الأساسية في التثبيت بالإسفلت للترب الحبيبية الناعمة هي العزل مما يحسن من المقاومة والمتانة . تُغْلَفُ حبيبات التربة بالإسفلت، مما ينتج غشاء أو غلاف من الاسفلت يمنع تغلغل ووصول المياه الى حبيبات التربة ، اما في الظروف العادية تؤدي إلى انخفاض مقاومة القص ، مقاومة الضغط ، مقاومة الشد ، مقاومة الانعطاف ، ومعامل المرونة ، إلا أن جزيئات التربة المغلفة بالإسفلت هي أكثر مقاومة لآثار الضارة للمياه ، مثل التغير الحجمي المرتبط بتغير الرطوبة .

في المواد غير المتماسكة (الترب الخشنة) ، مثل الرمال والحصى هنالك آليتان أساسيتان فاعلتان هما العزل والالتصاق (السمنتة) . فالتغليف بالإسفلت للمواد غير المتماسكة يوفر غلاف يمنع تغلغل الماء وبالتالي يقلل من ميل المواد لفقدان المقاومة وغيرها من الخصائص المرغوب فيها بوجود الماء .

الآلية الثانية هي الالتصاق (السمنتة)، حيث يعمل الإسفلت بمثابة الرابط ، يثبت حبيبات التربة مع بعضها البعض .

هذا التدعيم يؤثر على زيادة مقاومة القص عن طريق زيادة التماسك في حين أن تأثير الإسفلت على زاوية الاحتكاك الداخلي يكون بالحد الأدنى . ( قد يخفف الإسفلت أحياناً من زاوية الاحتكاك نظراً للزوجته ) .

نستطيع ان نلخص الية عمل الاسفلت :

تتكون آلية المعالجة بالمواد البيتومينية من إضافة قوة متماسكة وتقليل تغلغل الماء من خلال الوجود المادي للأسفلت (البيتومين) ؛ حيث انه لا يوجد تفاعل كيميائي في هذه العملية .

## 1- فعل عزل الماء Waterproofing action :

يمكن تفسير عزل المياه من مادة البيتومين من خلال الجمع بين نظريتين:

النظرية الأولى : هي نظرية سدادة وهذا يعني أن الكريات الحبيبية البيتومينية تعمل حرفيًا على ملئ او سد المسامات او الفراغات داخل جزيئات التربة .

النظرية الثانية : تسمى نظرية الغشاء ، التي تفترض أن طبقة رقيقة من البيتومين تعمل تغليف (تغطية ) لجزيئات التربة بشكل فردي او جماعي، اي عزل الماء عن التربة ولكن بطريقة مختلفة بعض الشيء عن تلك التي تصورها نظرية السد او ملئ الفراغات .

## 2. عمل التماسك (السمنتة) Cementing Action :

قد يكون تأثير فعل السمنته للمواد البيتومينية متعلقًا بالالتصاق ، والذي يحدث بين الرابط وجزيئات التربة. هذا الالتصاق هو التأثير المشترك لفعل الشد السطحي ، والامتصاص ، وغيرها من خصائص السطح الصلب والسائل .

## 2-2-7-3 أنواع المواد البيتومينية : Types of Bituminous Materials

الاسفلت عبارة عن مادة رابطة صلبة الى شبه الصلبة ذات لون اسود الى بني غامق يصبح سائلا عند تسخينه ويذوب في ثاني كبريتيد الكاربون  $CS_2$  او في كلوريد الكاربون  $CCl_4$  .

### A. الاسفلت الطبيعي Natural Asphalt :

يظهر في الطبيعة على شكل بحيرات Lakes (بحيرة تريندات ، بحيرة برمودا) الشكل (7-2) او داخل الصخور Rocks الشكل (8-2) او يوجد في الطبيعة بصورة مفردة او ممتزجة مع مواد معدنية لذلك قوامها يتغير من الصلب ال الضعيف.



الشكل (7-2) الاسفلت الطبيعي بحيرة الترندات



الشكل (8-2) الاسفلت الطبيعي - صخور مشبعة بالاسفلت

### B. الاسفلت المصنع Manufactured Asphalt :

ينتج هذا النوع من البيتومين عن طريق تصفيه النفط الخام ويقسم الى ثلاثة انواع  
(Young ,et al ..1998) :

#### ✓ الرابط الاسفلتي او البيتومين Asphalt cement (AC) (Bitumen) :

هو اسفلت جامد في درجة حرارة الجو العادية ولا يمكن استخدامه مباشرة دون تسخين

يحضر هذا النوع من الاسفلت بنوعية وقوام معينة يستعمل بشكل مباشر في اعمال التبليط ويستعمل بشكل حار .

#### ✓ الاسفلت المميع ( الكات - باك ) Cutback Asphalt :

هو اسفلت سائل في درجة حرارة الجو العادية ، حيث يمكن استخدامه من دون تسخين يتم تحضر هذا النوع من الاسفلت بخلط الرابط الاسفلتي مع المذيبات الهيدروكربونية مثل البنزين او الكازولين او الكيروسين او المازوت ويستعمل في تثبيت التربة (Young, et al. 1998) ويتعمد نوع وتصنيف الاسفلت المميع على نوع المذيب المستخدم الذي يتحكم بلزوجته ومعدل التطاير وبالتالي بسرعة التصاقه ويقسم الى ثلاثة انواع :

#### ❖ الإسفلت المميع سريع التطاير (Raid Curing) :

ويرمز له اختصاراً (RC) والمذيب المستخدم في تحضيره هو البنزين لذلك فإن المادة الرابطة سريعة التطاير فهي تستغرق حوال (5-10 min) فهذا النوع يؤمن سرعة التصلب والالتصاق على الحصويات.

#### ❖ الإسفلت المميع متوسط التطاير (Medium Curing) :

يرمز له اختصاراً (MC) والمذيب المستخدم في تحضيره هو الكيروسين لذلك فهو متوسط التطاير وبالتالي سرعة التصاقه على الحصويات اقل من (RC) فهو يحتاج الى بضعة ايام لتطاير وتأمين الالتصاق .

#### ❖ الإسفلت المميع بطيء التطاير (Slow Curing) :

ويرمز له اختصاراً (SC) والمذيب المستخدم في تحضيره هو المازوت لذلك فهو بطيء التطاير فهو يحتاج الى بضعة أشهر لتطاير .

#### ✓ المستحلب الاسفلتي Emulsified Asphalt :

هو اسفلت سائل في درجة حرارة الجو العادية وهو عبارة عن خليط من الرابط الاسفلتي (البيتومين) والماء وعامل استحلاب .  
ان الرابط الاسفلتي غير قابل للانحلال في الماء و بالتالي يمكن تحضير مستحلب من هذين السائلين ، وذلك بتسخين الاسفلت والماء وامرارهما عبر مضخة نابذة تعمل على توزيع

---

كريات الاسفلت ضمن الماء . ولكي لا يلتحم كريات الاسفلت مع بعضها البعض يتم اضافة عنصر الاستحلاب ال المزيج ويعتبر الصابون من افضل عناصر المستحلبات .

❖ **مستحلب اسفلتي سريع التجمد (Rapid Setting) :**

يحتوي على كمية قليلة من عنصر الاستحلاب يجعل زمن مما يجعل وقته قصير جداً فهو يتجمد خلال (5-10 Min).

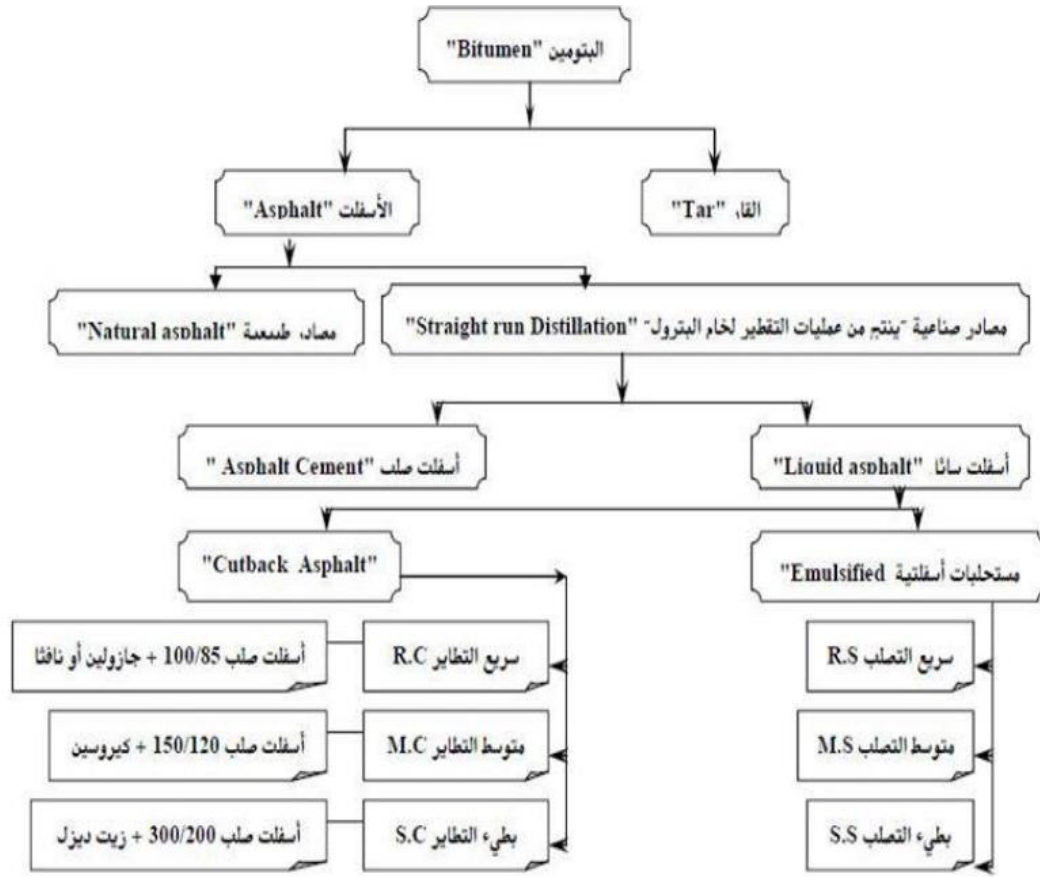
❖ **مستحلب اسفلتي متوسط التجمد (Medium Setting) :**

يحتوي على كمية كافة من عنصر الاستحلاب وهو يتجمد خلال بضعة ساعات مما يعطي الوقت الكافي لخلطه ببعض التراكيب الحبيبية .

❖ **مستحلب اسفلتي بطئ التجمد (Slow Setting) :**

يمتلك ثبات ميكانيكي وكيميائي كافي لأغلب اعمال بما فيها خلطه مع المواد الحصوية وهو يحتوي على كمية كبيرة من عامل الاستحلاب وهو يتجمد خلال بضعة أشهر .





الشكل (9-2) أنواع الرابط الاسفلتي او البيتومين

## 4-7-2-2 Soils Suitable for Asphalt Stabilization

الترب الحبيبية الناعمة قد تثبت بالإسفلت ، وهذا يتوقف على خصائص اللدونة للتربة وكمية المواد المارة من المنخل No.200 ونظراً للسطح النوعي الكبير جداً لجزيئات التربة الناعمة فهذا يتطلب نسبة إسفلت كبيرة لتغليف سطوح التربة كلها لذلك من المستحيل عملياً ، أن تغلف حبيبات الكتلة بنسب مئوية اقتصادية من الإسفلت .

تدرج الترب الحبيبية الناعمة المناسبة للتثبيت بالإسفلت مبينة بالجدول (2-11) (حقل التربة مع البيتومين ). كما هو مبين في الجدول، كمية المواد المارة من المنخل No.200 يجب أن تكون أقل من 25 بالمئة.

الجدول ( 11-2 ) الخصائص الهندسية للمواد المناسبة للتثبيت بالبيتومين . [66]

Percent Passing Sieve	Sand-Bitumen	Soil-Bitumen	Sand-Gravel Bitumen
1-1/2 in			100
1 in	100		
3/4 in			60 - 100
No. 4	50 - 100	50 - 100	35 - 100
No. 10	40 - 100		
No. 40		35 - 100	13 - 50
No. 100			8 - 35
No. 200	5 - 12	Good: 3 - 20 Fair: 0 - 3 and 20 - 30 Poor: > 30	
Liquid Limit		Good: < 20 Fair: 20 - 30 Poor: 30 - 40 Unusable: > 40	
Plasticity Index	10	Good: < 5 Fair: 5 - 9 Poor: 9 - 15 Unusable: > 12 - 15	10

بالإضافة إلى ذلك PI يجب أن يكون أقل من 10 لضمان إمكانية خلط كافٍ .

إذا كان الخلط غير جيداً فإن النواعم اللدنة قد تنتفخ عند ملامستها للماء، مما يؤدي لفقدان كبير للمقاومة . [66]

أما الترب غير المتماسكة (  $PI < 6$  ) المناسبة للتثبيت بالإسفلت مبينة في الجدول ( 10-2 ) ( حقل الرمل مع البيتومين و حقل الرمل مع البحص و البيتومين ) .

## 2-3 الدراسات السابقة حول سلوكية الترب الجبسية وطرق معالجتها (Previous Work)

درس العديد من الباحثين سلوكية الترب الجبسية تجريبياً ونظرياً ، وقد أجريت بعض الدراسات بهدف تحديد مدى تأثير انحلال الجبس وخروجه من التربة على خصائصها الجيوتكنيكية . وأجريت دراسات أخرى لمعرفة سلوكية العامة . لكن المسألة لا تزال بحاجة الى مزيد من الدراسات ، سنستعرض فيما يلي بعض أهم الدراسات التي تناولت سلوكية الترب الجبسية وكيفية معالجتها بطرق مختلفة .

➤ درس ( Araklyan , 1968 ) [2] تغير الخصائص الفيزيائية للترب الجبسية واستنتج مجموعة من المعادلات التي توصف التغيرات في وزنها النوعي ، ونسبة الفراغات اثناء انحلال الجبس وإثباتها تجريبياً :

$$\beta = \frac{x-x'}{x} \quad (5-2)$$

$\beta$  : درجة الانحلال .

$x$  : نسبة الجبس المكافئة البدائية وتمثل النسبة الوزنية للجبس في التربة الى الوزن الجاف الكلي .

$x'$  : نسبة الجبس المتبقية في التربة بعد درجة انحلال معينة وتمثل النسبة الوزنية للجبس المتبقي في التربة الى الوزن الجاف الكلي بعد طرح الوزن الجاف للجبس المنحل .

فإن الوزن النوعي للتربة الجبسية عند درجة انحلال معينة  $G_s^\beta$  :

$$G_s^\beta = \frac{G_s^0 * G_s^g (1-x)}{G_s^g [1-x(1-\beta)] - (G_s^0 * x * \beta)} \quad (6-2)$$

$G_s^0$  : الوزن النوعي للتربة الجبسية .

$G_s^g$  : الوزن النوعي للجبس .

والوزن النوعي للتربة الجبسية دون انحلال  $G_s^0$  يوصف بالعلاقة :

$$G_s^o = \frac{G_s * G_s^g}{x * G_s + G_s^g (1-x)} \quad (7-2)$$

$G_s$  : الوزن النوعي لحبات التربة الغير جبسية .

وكنتيجة لنزع الحبات الصلبة من التربة في أثناء انحلال الجبس منها فإن الاختلاف في نسبة فراغها يكون ذا طبيعة معقدة ويوصف بالعلاقة التالية:

$$e_s^\beta = \frac{(e_s^o + 1) * (1 - \theta)}{1 - \frac{G_s^o * x * \beta}{G_s^g [1 - x(1 - \beta)]} - 1} \quad (8-2)$$

حيث  $\theta$  تمثل التشوه الحجمي الإضافي الناتج في التربة عند درجة انحلال معينة. وتكون نسبة الفراغ للتربة الجبسية عند عدم تعرضها للانحلال :

$$e_s^o = \frac{G_s^o * \gamma_w}{\gamma_d} - 1 \quad (9-2)$$

باعتبار ان الوزن الحجمي للماء  $\gamma_w = 9.81 \text{ kn/m}^3$   
 $\gamma_d$ : الوزن الحجمي الجاف للتربة الجبسية.

- درس ( Al-Mohammadi , et,al ,1987 ) [1] الانضغاطية والانهدامية لتربة جبسية من موقعين مختلفين في العراق تجريبياً باستخدام جهاز الآدومتر تحت دورات متعاقبة من الترطيب والتجفيف واستنتجوا من نتائج هذه التجارب أن الجزء الأكبر من الانهدام يحدث في الحلقة الاولى من الغمر، وان انهدام التربة الجبسية يتأثر بشكل اساسي بنسبة الجبس فيها ونسبة فراغها وتدرجها الحبي ومحتواها من المينرالات الغضارية .

- قام ( Ismael,1993 ) [77] بإجراء تجارب مخبرية وحقلية على تربة رملية سلتية جبسية بهدف دراسة تأثير حل الاملاح في خصائصها الجيوتكنيكية . تضمنت الدراسة التجارب الحقلية تجربة الاختراق النظامية (SPT) وصفيحة التحميل بينما تضمنت التجارب المخبرية تحديد الخصائص الأساسية للتربة والنفاذية والتشديد ، وتجارب الضغط ثلاثي المحاور المشددة مع قياس ضغط الماء المسام ، ودلت النتائج عل ان حل الاملاح من

التربة قد أدى الى زيادة ازدياد نفاذيتها ونسبة فراغاتها وانضغاطيتها ، ودلت نتائج الضغط ثلاثي المحاور عل انخفاض معاملات القص الفعالة للتربة بالإضافة الى ذلك فقد دلت تجارب التحميل الحقلية على انخفاض قدرة تحمل التربة من اجل صحيفة نظامية بقطر ( 30 cm ) بقدار (42%).

• درس ( Al Nouri & Salem 1994 ) [80] الخصائص الانضغاطية وامكانية الانهدام لتربة سلتية جبسية في العراق . كانت العينات المستخدمة ذات محتوى جبسي ( 26,60,80 % ) وكان توزع الجبس فيها بوصفة وسيط ربط بين الحبات . بينما وجدت تكتلات جبسية منفصلة بأقطار (1-15 mm) في العينات ذات المحتوى العالي من الجبس ، وتجدر الاشارة هنا الى ان العينات التي استخدمها الباحثين كانت ذات كثافة منخفضة ، ورطوبة منخفضة أيضاً . كانت تجارب المجرة هي الانهدام (Collapse Test) وفق نظام (ASTM) وتجربة صفيحة التحميل . لقد دلت نتائج صفيحة التحميل على ان الهبوط الانهزامي الناتج من إشباع التربة بالماء قد يصل الى (50 %) من الهبوط الكلي الذي تم قياسه بينما اذا سمح بجريان الماء في التربة فإن هذا الهبوط قد يصل الى (76 - 90%) من الهبوط الكلي ، واستنتج أنه حتى صعود الماء الشعري قد يسبب انهدام مثل هذه التربة الجبسية وقد لوحظ من تجارب الانهدام حدوث انضغاط كبير وفاجئ عند غمر العينة بالماء ما يدل على ان هذه الترب هي ترب انهزامية .

➤ ( Aboud 1993, Al-Mohammadi & Nashat 1985 ) [43]، [39] تم دراسة تأثير الجبس على حدود القوام ( حدود اتربيرغ ) و وجدوا أن إضافة الجبس إلى التربة يؤدي إلى تقليل الحدود السيولة واللدونة ، وقرينة اللدونة كما ان قابلية الانهيار للترب الطينية الجبسية والتربة الرملية تزداد مع زيادة محتوى الجبس .

➤ ( Al-Ani and Hasso 1988 , Dabbagh 1990 , Al-Shalhomi 2000, Al-Shakayree 2003 ) { [46], [47] [49] [52] } أيضا درسوا تأثير محتوى الجبس على خصائص الانضغاطية للترب الجبسية واثبتوا ان الكثافة الجافة الاعظمية تتخفض مع زيادة محتوى الجبس في حين ان الرطوبة الاصولية تزداد مع زيادة محتوى الجبس.

➤ ( Richards, L.A. 1954 ) [74] توصل الى علاقة لحساب الوزن النوعي للتربة المعالجة بالإسفلت :

$$G_s (\text{treated soil}) = (G_{s.s} + b.c * G_{s.e}) / (1 + b.c) \quad (10-2) \text{ العلاقة}$$

حيث :

$G_{s.s}$  : الوزن النوعي للترب الغير معالجة

$G_{s.e}$  : الوزن النوعي للإسفلت السائل = 1.06

$b.c$  : محتوى الارتباط

➤ ( Epps et 1971 ) [63] درس خليط التربة الرملية مع الإسفلت ووجد أن 4-5 % هو النسبة المثوية المثلى Cutback Asphalt لتحقيق أقصى قدر من الاستقرار.

➤ ( Al-Obaydi and Al-Zory 1993 ) [78] عمل على تثبيت التربة الجبسية باستخدام الكلس، تم اختيار ثلاثة أنواع من التربة الجبسية ذات محتوى مختلف ( 7, 23, 40 % ) من الجبس. أُضيف الكلس بنسب ( 9, 7, 5, 3, 0 ) مع اخضاع العينات الى ظروف مختلفة في درجات الحرارة وزمن الانضاج ، فقد وجد أن محتوى الافضل للكلس هو 5 % . تزداد قوة الضغط مع زمن الانضاج ودرجة الحرارة.

➤ ( Hassan Obaid Abbas and et... ) [79] عمل على تثبيت الترب الجبسية باستخدام الاسمنت البورتلاندي المقاوم للأملاح حيث تم تشكيل ترب جبسية صناعية بمحتوى جبسي (70%) . أُضيف الاسمنت بنسب مختلفة (1.5, 4, 6, 7.5, 10%) مع رص التربة بكثافة رص مختلفة ( $11 \text{kn/m}^3$ ,  $14 \text{kn/m}^3$ ) ، تم استعمال نموذج مخبري يتألف من اسطوانة بلاستيكية ابعادها (D mm 250 \* H mm 400). بإمكانية تحسين التربة الجبسية بتقليل الانهيارية اثناء ترطيبها اظهرت نتائج الفحوصات التي اجريت على الموديل المخبري للتربة الجبسية بعد اشباع العينة بالماء ، تقليل في الانهيارية يصل الى اكثر من 95%، خاصة للنموذج المضاف له 10 % اسمنت مع كثافة رص 14  $\text{Kn/M}^3$ .

➤ ( Al-Harbawy and Al-Khashab, 2004 ) [92] درس تثبيت التربة الجبسية باستخدام أنواع الإسفلت السائل (Cutback and Emulsion) على سلوكها في مقاومة القص. إضافة الإسفلت السائل يوفر قوة تماسك لكتلة التربة ويعمل أيضاً كعامل مانع لتسرب المياه. ( Cutback Asphalt ) يزيد من مقاومة التربة الجبسية للنفاذية ، تزداد هذه المقاومة كلما زادت نسبة الفراغ.

➤ درس ( Omar M.E.Taha 2007 ) [4] فعالية الإسفلت السائل من نوع (Cutback Asphalt RC 70 في تحسين خصائص التربة الجبسية حيث استخدم تربة رملية جبسية بمحتوى جبسي (40%). تضمنت الدراسة نموذجين من المعالجة أولاً عن طريق تقنية الخلط والآخرى عن طريق تقنية الحقن ، وأُستخدِمَ الحقن العمودي والحقن المائل بزاوية (60) عن الافق و بتباعدات (3,6,9 cm) ، أُضيف الإسفلت بنسب مختلفة (0,2,4,6,8%) اظهرت النتائج ان افضل نسبة اضافة للإسفلت هي (6%) ، لوحظَ انخفاض في الوزن النوعي والكثافة الجافة الاعظمية زيادة في الرطوبة الاصلوية بزيادة محتوى الاسفلت ، مقاومة الضغط الحر و التماسك (c) تزداد بزيادة محتوى الاسفلت حتى نسبة (6%) ثم تبدأ بالانخفاض مع زيادة نسبة الاسفلت بينما زاوية الاحتكاك تبقى ثابتة واحتمالية الانهيار تتخفض بزيادة محتوى الاسفلت حتى نسبة (6%) ثم تبدأ بزيادة مع زيادة نسبة الاسفلت ، كان الحقن المائل أفضل من الحقن العمودي مع تباعد مثالي من 6cm **تقنية الخلط كانت أفضل من تقنية الحقن** لأنها تغطي الجسيمات بطبقة من الإسفلت بينما يملأ الحقن فراغات التربة بالإسفلت.

➤ ( Al-Saidi et.al, 2011 ) [93] أظهر أن استقرار التربة الجبسية باستخدام المحتوى الأمثل السائل بنسبة 16 % (5%Cutback Asphalt+11% water) أدى إلى تحسين قوة الضغط غير محصور ، والضغط ، التشديد . عمل الاضافات مثل غزل المياه للتربة الجبسية. بينما في حالة شروط الرطوبة ، تم استخدام خليط من الجير مع الاسفلت السائل (Cutback Asphalt) من أجل تلبية متطلبات البناء الأساسية.

➤ ( Hussein Yousif Aziz and Jianlin Ma 2011 ) [ 94 ] يسعى البحث الى تحسين خصائص الترب الجبسية عن طريق تقليل الرطوبة وتقليل من ذوبان الجبس ومدى ملائمة زيت الفيول في تحسين خواص الترب الجبسية. تم استخدام تريتين ذات محتوى جبسي مختلف التربة الاولى (I) عبارة عن تربة رملية جبسية ذات محتوى جبسي (51.6%) . التربة الثانية (II) عبارة عن تربة غضارية جبسية ذات محتوى جبسي (26.55%) .تم استخدام نسب مختلفة من الفيول 8% , 6% , 4% , 2% وكانت لكل عينة رطوبة فضلى موافقة لكل محتوى اضافة من الفيول اظهرت النتائج انخفاض في قابلية الانهيار والانضغاط بزيادة محتوى الفيول و انخفاض في النفاذية والرشح بسبب انخفاض نسبة الفراغ في التربة المعالجة وذلك بفعل عملية التزبييت بين جزيئات التربة ، انخفاض في التماسك للترب الغضارية مع الحفاظ على قدرة تحمل مناسبة لتحمل الحمولة ، استخدام 4 % للتربة الرملية و 3 % للتربة الغضارية من الفيول هو الحل المناسب لمعالجة التربة الجبسية من قابلية الانهيار.

➤ ( Ban H. Al – Khayat 2011 ) [34] عمل على تثبيت الترب الجبسية باستعمال الأسفلت السائل ( Cutback Asphalt MC-30 ) ومادة الكلس و ذلك لغرض استعمال مزيج من التربة والأسفلت في انشاء طبقة الاساس للطرق كبديل لاستعمال الحجر المكسر أو الحصى التي تستعمل عادة لأنشاء أساس الطرق ، تم اختيار تربة جبسية بمحتوى جبسي ( 66.65 % ) أوضحت النتائج ان افضل نسبة للسائل المضاف هي (16%) ( 5% من الاسفلت +11% من الماء ) ، و لكن بعد اشباع التربة الجبسية المحسنة بالأسفلت السائل بالماء أصبح مزيج التربة والاسفلت غير مناسب لتصميم طبقة أساس الطريق لهذا تم اضافة مادة الكلس لتحسين خواص مزيج التربة والاسفلت في حالة الاشباع بالماء، عند اشباع التربة الجبسية في الماء يؤدي إلى زيادة كبيرة في التشوه الحجمي و عند إضافة السائل إلى التربة يؤدي الى انخفاض في التشوه الحجمي بنسبة 5% ثم يزداد بزيادة محتوى السائل ، ويحدث انخفاض إضافي للتشوه الحجمي عند إضافة الكلس إلى خليط الأسفلت -التربة. كما لوحظ انخفاض في مقاومة الضغط الحر لخليط من التربة والاسفلت للحالة الرطبة مقارنة مع الحالة الجافة ولكن عند اضافة مادة الكلس تزداد مقاومة الضغط الحر للحالة الرطبة وتزداد بزيادة محتوى الكلس.



➤ ( Hawraa Hasan Mousa Alateya 2013 ) [36] درس تأثير شحم السيلكون على الخصائص الجيوتكنيكية للترب الجبسية وتأثيره كعامل تثبيت وتحسين خصائصها وتقليل من قابلية ذوبان الجبس ، تم استخدام تربة صناعية جبسية بمحتوى جبسي ( 70 % ) و ( 30% رمل ناعم) تم أُضيفَ السيلكون بنسب مختلفة ( 4,10,16% ) ، اظهرت النتائج ان افضل نسبة تحسن كانت عن (16%) لوحظ ان التماسك (c) يزداد بزيادة نسبة السيلكون وانخفاض طفيف في زاوية الاحتكاك كما انه لوحظ انخفاض في نسبة الفراغات بزيادة نسبة السيلكون

➤ ( Hussein Q. Kasim Abdulameer 2014 ) [33] درس تأثير الاسفلت المستحلب ( Asphalt Emulsion ) على خصائص الترب الجبسية من اجل ردميه ترابية تم استخدام تربة رملية جبسية بمحتوى جبسي (49%) أُضيفَ مستحلب الاسفلت بنسب مختلفة ( 3, 4, 5, 6, 7% ) عبر عن نسبة الماء المضافة الى المستحلب ب المحتوى المثالي للسائل تم اضافة الماء بنسبة ( 4,5,6,7,8% ) ، تم انشاء صندوق معدني ب ابعاد (35,35,30 mm) تم وضع التربة على 5 طبقات وكل طبقة بسماكة ( 6 cm ) تم اجراء الانضغاط على (العينات المعالجة والغير معالجة) وبتطبيق حمل ستاتيكي في الحالتين الجافة والرطبة ، اظهرت النتائج ان افضل نسبة اضافة كانت (11%) ممثلة ب (5% ماء + 6% اسفلت) ، تزداد مقاومة الضغط الحر بزيادة محتوى الاسفلت والتماسك (c) حتى نسبة (6%) ثم تتناقص ب الزيادة و عند السماح للعينات المعالجة ب بزمان انضاج لوحظ زيادة في التماسك وكلما زاد الزمن زاد التماسك حيث انه سمح للعينات بأقصى زمن انضاج هو ( 4 hours ) ، كما لوحظ ان معامل النفاذية ينخفض بزيادة نسبة الاسفلت و بزيادة زمن الانضاج في كل زيادة من نسبة الاسفلت.

➤ ( Ali J. Kadhim 2014 ) [20] درس تأثير الاسفلت السائل ( Cutback Asphalt MC 30 ) على الخصائص الجيوتكنيكية للترب الجبسية وتأثيره كعامل تثبيت وتحسين خصائصها ومن ثم بحث امكانية انشاء طريق عليها تم استخدام تربة رملية جبسية بمحتوى جبسي (34%) مستخدماً طريقة الخلط فقط ، أُضيفَ الاسفلت بنسب مختلفة (2,4,6,8,10%) اظهرت النتائج ان افضل نسبة اضافة للإسفلت هي ( 6% , 8% ) ، لُوحِظَ انخفاض في الوزن النوعي والكثافة الجافة الاعظمية وحد السيولة وحد اللدونة و

زيادة في الرطوبة الاصولية بزيادة محتوى الاسفلت ، مقاومة الضغط الحر و التماسك (C) تزداد بزيادة محتوى الاسفلت حتى نسبة (6%) ثم تبدأ بالانخفاض مع زيادة نسبة الاسفلت بينما زاوية الاحتكاك تبقى ثابتة مع زيادة طفيفة، واحتمالية الانهيار (CP) تنخفض بزيادة محتوى الاسفلت ولو يُلاحظ اي محتوى مثالي من الاسفلت عند هذا الاختبار ، كما لوحظ قدرة تحمل (CBR) تزداد بزيادة محتوى الاسفلت حتى الوصول الى نسبة (8%) وبعدها تبدأ بانخفاض. كما اكد على أن التربة الجبسية تصبح أكثر استقرارًا مع إضافة الإسفلت السائل وتزداد مقاومة اختراق المخروط ( C.P.R ) للتربة المعالجة مع زيادة محتوى الارتباط منوهاً على ان الأسفلت السائل يجعل من خليط التربة أكثر ثباتًا واستقرارًا بسبب فعل تعزيز اواصر الترابط وفعل عزل للماء للإسفلت السائل.

➤ ( Zainab Hassan Shakir 2017 ) [23] درس مدى ملائمة الاسفلت السائل ) Cutback Asphalt MC-30 لتقييم احتمالية الانهيار للترب الجبسية باستخدام جهاز الآدومتر تم استخدام عينة ترابية غير مضطربة بمحتوى جبسي (30%) واطافة الاسفلت بنسب مختلفة (3, 6, 9, 12, 15%) ، أُختيرت الترب المعالجة بنسبة (9%,12%) لتقييم مدى ملائمة الاسفلت في تحسين قدرة التحمل، تم استخدام صندوق معدني لهذا الغرض ب طول (30 cm) وعرض (30 cm) وارتفاع (35 cm) ، سماكة طبقة الترب المعالجة المستخدمة تصل الى عمق (2 B) حيث ان (B) عرض القاعدة المربعة الموضوعة على سطح التربة ، تم غمر النموذج بالماء عن طريق انابيب مرنة متصلة في قاع الحاوية . . اظهرت النتائج ان افضل نسبة اضافة للإسفلت هي (12%) ويمكن استخدام هذه المادة في تحسين خصائص قابلية الانهيار للتربة الجبسية ، لوحظ انخفاض في قدرة تحمل التربة بعد المعالجة فان هذه التربة قد لا تصلح لتحسين قدرة تحمل التربة الجبسية ، سماكة الطبقة المعالجة بمادة الإسفلت أسفل الأساس المقترح له تأثير كبير على قيمة قدرة تحمل الاساس و معدل الانهيار ( انحلال الملح ) (C.V) يتناقص بشكل كبير باستخدام جميع النسب المئوية من الأسفلت السائل (Cutback Asphalt) ، افضل نسبة مئوية لنسبة تحسن التحمل (B.I.R) وتخفيض نسبة الهبوط (S.R.R) هي (9%) و على عمق يساوي عرض الأساس .

## الفصل الثالث

### مواصفات المواد المستخدمة في البحث وطريقة إجراء التجارب

### The Properties Of The Materials Used In The Study

#### 3-1 مواصفات المواد المستخدمة في البحث

##### 3-1-1 خواص الترب المستخدمة في البحث:

##### (The Properties Of Soils Used In The Study)

أجريت التجارب على نوعين من التربة النوع الأول تربة أخذت من منطقة كباكب في ريف دير الزور صنفت تربة رملية سيلتية **SM** ذات محتوى جبسي (32%) والتربة الثانية تربة جبسية أخذت من منطقة السخنة وصنفت تربة غضارية عالية اللدونة **CH** ذات محتوى جبسي (30.6%)

تم تحديد الخواص الفيزيائية والميكانيكية للترب وفق نظام (ASTM) [88] من خلال إجراء التجارب المخبرية عليها ( وزن نوعي، وزن حجمي، تحليل حبي (مناخل وترسيب ) ، حدود أتربيرغ ، قص.....) و تصنف هذه الترب حسب نظام USCS حيث يبين الجدول ( 3-1 ) الخواص الفيزيائية و الميكانيكية للترب المدروسة .

الجدول ( 1-3 ) الخواص الأساسية للترب

الترب المختبرة	مستودعات كباكب	موقع مبنى بلدية السخنة
رمز التربة	I	II
نسبة الجبس %	32	30.6
محتوى الرطوبة البدائي w%	9.7	18.7
الوزن الحجمي الرطب $\gamma_b \text{ t/m}^3$	1.68	1.80
الوزن الحجمي الجاف $\gamma_d \text{ t/m}^3$	1.53	1.48
الوزن النوعي G	2.51	2.57
نسبة الرمل %	61.5	17.1
نسبة السيلت %	32.8	42.12
نسبة الغضار %	5.7	40.78
حد السيولة WL%	29	67.2
حد اللدونة WP %	25.2	36.4
دليل اللدونة IP %	3.8	30.8
زاوية الاحتكاك الداخلي $\Phi \text{ degree}$	28	10
التماسك C kPa	0.21	0.34
الوزن الجاف الاعظمي $\gamma_d \text{ max t/m}^3$	1.64	1.52
الرطوبة الاصلوية W <sub>opt</sub> %	11.2	18
احتمالية الانهيار C <sub>p</sub> %	10.31	14.7
التصنيف حسب نظام USCS	SM	CH

### 3-1-2 مواصفات الاسفلت و الجبس المستخدمة في البحث

#### The Properties Of Asphalt and Gypsum Used in The Study

تم احضار مادة الاسفلت من مصفاة بانياس وهو من نوع ( 70/50 ) Bitumen حيث تم تصنيفه وفقاً للمواصفات القياسية السورية كما هو مبين في الجدول (2-3) .

تم خلط مادة الاسفلت ب مادة الكيوسين القابلة للتطاير بنسبة ( 92% للإسفلت و 8% للكيوسين ) بعد تعريض الاسفلت لدرجة حرارة (80 c°) لمدة ثلاث ساعات ، وذلك لجعل مادة الاسفلت سائلة لمدة زمنية من اجل خلطها مع التربة المراد دراستها الشكل (1-3).

الجدول (2-3) الخواص الفيزيائية والكيميائية لمادة الاسفلت(البيتومين 70-50) من مصفاة بانياس [85]

الخصائص	الاصنف(70/50)	طريقة الاختبار المعتمدة
الوزن النوعي	1.05	ASTM
الغرز بدرجة 25°	( 70 – 50 )	ASTM D5
درجة التلين	( 54 – 46 )	ASTM D36
المط عند الدرجة 25° كحد ادنى	100	ASTM D113
درجة الوميض حد ادنى	230	ASTM D92
نسبة الذوبان في ثلاثي كلور الايتلين كحد ادنى	99.0	ASTM D2042
الفاقد بالتسخين عند درجة حرارة 163° ولمدة خمس ساعات كحد ادنى	1.0	ASTM D6
نسبة التغير في الغرز بعد التسخين للدرجة 163° ولمدة خمس ساعات كحد ادنى	53	ASTM D1754

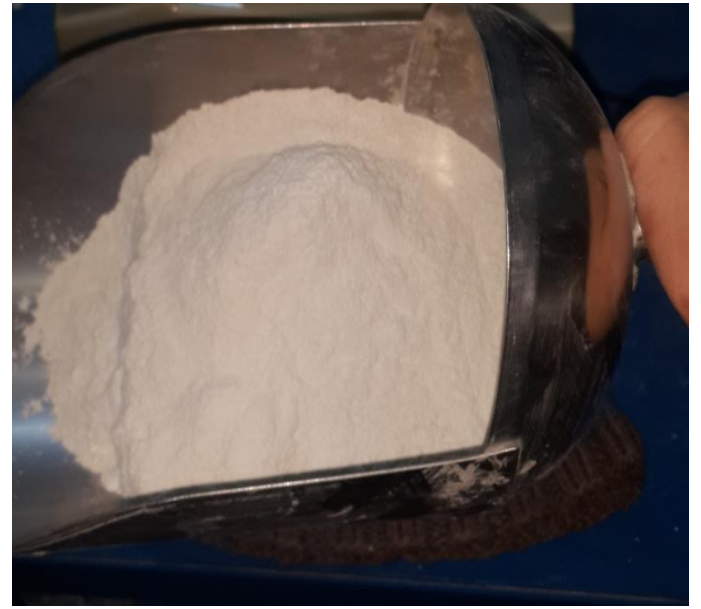


الشكل (1-3) يمثل الاسفلت قبل وبعد خلطة بمادة الكيروسين بعد تسخينه

اما خصائص الجبس فقد تم جلب مادة الجبس على شكل كتل صخرية متفاوتة في الاحجام من المنطقة الشرقية تم تنظيفها ثم طحنها وتميرها على المنخل (NO . 200 ASTM) ليصبح الجبس على شكل بودرة ويمكن خلطها بسهولة مع التربة المدروسة، كما انه تم اجراء التحاليل الكيميائية اللازمة في معمل الاسمنت ب طرطوس ولاسيما ان الجبس يستخدم كإضافات للإسمنت وتبين ان الجبس المستخدم هو الطور المائي ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ووزنة النوعي ( 2.3 ) ونسبة الشوائب ( % 8.21 ) . الجدول (3-3) يظهر التركيب المينرالي لمادة الجبس المستخدمة في الدراسة .

الجدول ( 3-3 ) التركيب المينرالي لمادة الجبس [86]

اسم المينرال	نسبة المئوية المتوسطة في الصخر
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.28 %
<b>SO<sub>3</sub></b>	47.5 %
<b>CaO</b>	33.9 %
<b>LOI</b>	10.39 %
<b>Sio<sub>2</sub></b>	1.1 %
<b>Fe<sub>2</sub>o<sub>3</sub></b>	0.23 %
<b>MgO</b>	0.7 %
<b>T.c</b>	5.2 %
نسبة CaSo <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	<b>91.79 %</b>
نسبة الشوائب	<b>8.21%</b>



الشكل ( 2-3 ) الجبس المستخدم قبل الطحن وبعده

### 3-2 خطة التجارب التي أجريت :

#### 3-2-1 تجارب أجريت على التربة بعد عملية الغسل وإضافة نسب مختلفة من الجبس .

بهدف دراسة تغير خصائص التربة تبعاً لمحتوى التربة من الجبس فقد أخذت الكمية اللازمة من كل تربة من الترب ووضعها في حوض كبير يحوي على ماء ثم حركت التربة داخل الحوض لعدة دقائق و الانتظار الى ان تترسب حبيبات التربة داخل الحوض حيث ان الحبيبات الرملية تترسب أولاً ثم السيلت وبعد ذلك الغضار اما الجبس يبقى ذائباً في الماء كررت العملية ثلاث مرات وكل مرة استمرت عملية الترسيب لمدة يومين وذلك للسماح لأكبر كمية من حبيبات الغضار بالترسيب قبل عملية سحب الماء ، تم التأكد من غسل الجبس من التريتين بشكل كامل عن طريق تحليل ماء الغسل وقياس كمية الجبس في التريتين وبعد ذلك جففنا التريتين بالفرن وأجريت على الترب التجارب التالية :

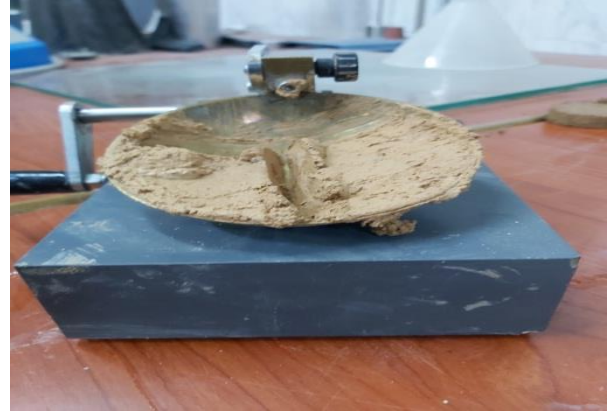
#### 3-2-1-1 تجربة بروكتور:

أخذنا خمس عينات من التربة المأخوذة من منطقة كباكب والمغسولة من الجبس والجافة وأضيفت الى كل عينة نسبة من الجبس هي على التوالي:  
( 0 - 5 - 10 - 15 - 20 - 30 ) %  $d_o =$  ، وأجريت على كل عينة تجربة بروكتور النظامية وحدد من كل تجربة قيمة الوزن الحجمي الجاف الاعظمي والرطوبة الاصلوية الموافقة لكل نسب من نسب الجبس المضافة الى التربة .

#### 3-2-1-2 تجارب حدود آتربيرغ:

أخذنا كمية مناسبة من كل تربة مجففة و مغسولة من الجبس تم تنخيلها على المنخل (0.425mm) . و بعدها شكلنا ستة عينات من كل تربة متماثلة بالوزن وبعدها أضيف الجبس لكل عينة وفق النسب التالية: ( 0 - 5 - 10 - 15 - 20 - 30 - 40 ) %  $d_o =$  ، عند إجراء التجارب أضيف الماء إلى العينات وتركها لمدة ( 24 ) ساعة لإتاحة المجال للتفاعلات الكيميائية الممكن ان حدوثها بين التربة والجبس بوجود الماء ومن ثم إجراء التجربة باستخدام جهاز غزاكراندي المبين بالشكل (3-1).





الشكل (3-3) جهاز غزاكراندي

### 3-1-2-3 تجربة التشديد لحساب الهبوط الانحلالي :

لدراسة تأثير محتوى التربة من الجبس على قابلية الانضغاط في التربة الجبسية ، تم إجراء تجربة التشديد على التربة ( التربة المأخوذة من منطقة السخنة CH ) ، و المخلوطة بنسب مختلفة من الجبس ومن أجل قيم مختلفة من الرطوبة ، وقد تم اعتماد طريقة المنحنيين لتحديد مقدار تشوهات الانحلال النسبية ، حيث أجريت تجربة التشديد على العينة الأولى برطوبتها الطبيعية ، أما العينة الثانية فقد عرضت لتيار مائي مستمر وذلك بوضعها ضمن علبة تشديد تتميز بقدرتها على تصريف الماء بغية غسلها من الجبس ، وقد استمرت عملية الغسيل بالنسبة للعينات المخلوطة بالجبس حتى استقرار التشوه بشكل كامل .

شكلت العينات بوزن حجمي جاف قيمته  $(1.55 \text{ g / cm}^3)$  للتربة المأخوذة من منطقة السخنة وكانت العينات تتكون من مجموعتين رئيسيتين المجموعة الأولى أجريت التجارب في ظروف الرطوبة الطبيعية، أما المجموع الرئيسية الثانية فقد أجريت التجارب على العينات بعد تعريضها لتيار مائي مستمر. كل مجموعة من المجموعتين الرئيسيتين تتكون من مجموعات ثانوية كل مجموعة توافق رطوبة ثابتة واحدة من القيم  $\omega = (10-15-20-25)$  % وكل مجموعة من المجموعات الثانوية تتكون من أربع عينات كل عينة توافق نسبة محددة من الجبس  $d_o = (10-15-20-30)$  .

### 3-2-1-4 تأثير محتوى التربة من الجبس على خصائص الانتفاخ للتربة

أجريت تجارب الانتفاخ وفقاً لمواصفات (ASTM,1993) باستخدام الآدومتر ذو الحلقة الثابتة ، وبالإستعانة بحلقات التشديد ذات المقطع ( $40 \text{ Cm}^2$ ) .

تم تشكيل جميع عينات التربة ( CH ) المأخوذة من منطقة السخنة برطوبة مساوية ( 15 % ) وبوزن حجمي جاف مساوي ( $1.55 \text{ g/cm}^3$ ) وأضيفت النسبة المحددة من الجبس ثم أشبعت العينات بالماء وتم قياس انتفاخ التربة النسبي .

### 3-2-1-5 تأثير محتوى التربة من الجبس على خصائص الانهيار :

تم إجراء هذا الاختبار على عينات التربة المأخوذة من كلا الموقعين ومن أجل النسب التالية للجبس : % ( 0 - 5 - 10 - 15 - 20 - 30 - 40 ) حيث يتم وضع العينة في جهاز الانضغاط وشكلت العينات بوزن حجمي جاف موافق للوزن الحجمي الجاف الاعظمي وبرطوبة توافق الرطوبة الأصلية ونسبة الجبس المحددة.

ثم حملت العينة تحيلاً تدريجياً إلى قيمة إجهاد مقدارها  $q=2 \text{ kg/cm}^2$  وعند هذا الحمل تزود العينة بالماء للتشبع وتترك لمدة (24) ساعة وتعين  $e_1$  نسبة الفراغات قبل إضافة المياه،  $e_2$  بعد إضافة المياه. وتحسب طاقة الانهيار  $C_p$  من العلاقة:

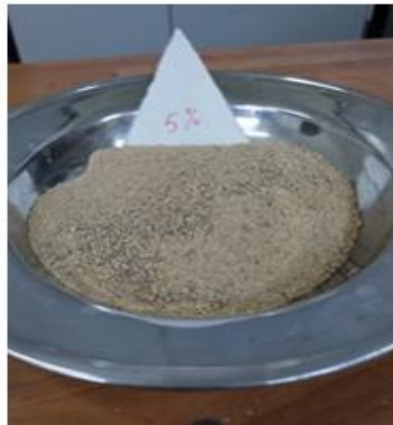
$$C_p = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_o}$$

حيث :  $e_o$  : نسبة الفراغات الأولية (الطبيعية) .

يبين الجدول ( 3-1 ) توصيف التربة انطلاقاً من وجود مشكلة في التربة من ناحية قابليتها للانهيار .

الجدول (4-3)

$C_p$ (%)	Severity of problem	خطورة المشكلة
0 – 1	No problem	لا توجد مشكلة
1 – 5	Moderate trouble	مشكلة معتدلة
5 – 10	Trouble	مشكلة
10 – 20	Severe trouble	مشكلة خطيرة
20	Very severe trouble	مشكلة خطيرة جداً



الشكل (4-3) تحضير عينات بنسب مختلفة من الجبس



الشكل (5-3) العينات بعد خلطها بنسبة مختلفة من الجبس  
واجراء تجربة التشديد

### 3-2-2 تجارب أجريت على التربة الجبسية بعد اضافة نسب مختلفة من المحلول الاسفلتي

تم تحضير العينات المراد دراستها من الترب الاساسية وخلطها بالنسب (%) 0 - 2 - 4 - 6 - 8 - 10 من السائل الاسفلتي مع زمن معالجة (72 hours) ضمن درجة حرارة الغرفة لضمان تبخر الكيوسين من الترب المعالجة كما هو موضح في الشكل (3-6).



الشكل (3-6) العينات بعد خلطها بنسب الاسفلت

### 3-2-2-1 تجربة بروكتور:

أخذت ست عينات جافة من التربة المأخوذة من كل تربة من الترب المدروسة وأضيفت الى كل عينة نسبة من محددة من المحلول الاسفلتي هي على التوالي :

$$E.A = (0 - 2 - 4 - 6 - 8 - 10) \%$$

حيث تم خلط التربة المضاف اليه المحلول الاسفلتي بشكل جيد ومن أجل كل نسبة من الاسفلت أجريت تجربة بروكتور بتقسم العينة الموافقة لكل نسبة اسفلت الى ست عينات رطبت العينات بالرطوبة الاصولية المناسبة لكل تربة حصلنا بنتيجة التجربة على الوزن الحجمي الجاف الاعظمي والرطوبة الاصولية الموافقة لكل نسبة من المحلول الاسفلتي المضاف الى التربة .

### 3-2-2-2 تجارب الضغط الحر :

نخلت التربة الجافة على المنخل (2mm. No10) لكلا نوعي التربة وقسمت العينة من كل تربة الى ست أجزاء متساوية وأضيف الى كل جزء النسبة المناسبة من المحلول الاسفلتي وهي على التوالي % (0 - 2 - 4 - 6 - 8 - 10) E.A= ، وبعدها خلطها بشكل جيد رطبت العينات بالرطوبة الاصولية المناسبة لكل تربة ومن ثم شكلت العينات بعد تجانس الرطوبة بوزن حجمي جاف يوافق الوزن الحجمي الجاف الاعظمي الخاص بكل نوع من الترب المجربة .

أجريت تجارب الضغط الحر على جهاز الضغط الحر الموجود في مخبر ميكانيك التربة وبسرعة تحميل (0.8 mm/min) و تبيين الأشكال (3-7) ، (3-8) ، (3-9) ، (3-10) الجهاز المستخدم مع أدوات تشكيل العينات .



الشكل (3-7) قالب تشكيل عينة الضغط الحر





الشكل (8-3) الكريكو الخاص لنزع عينة الضغط الحر



الشكل (9-3) جهاز الضغط الحر



الشكل (3-10) عينات الضغط الحر قبل الاختبار



الشكل (3-11) عينات الضغط الحر بعد الاختبار

### 3-2-2-3 تجربة CBR :

أجريت تجربة CBR على نوعي التربة حيث قسمت كل نوع من أنواع التربة الجافة الى ثمان أجزاء أضيف لكل جزء من اجزاء التربة النسبة المحددة من المحلول الاسفلتي هي على التوالي ( 0 - 2 - 4 - 6 - 8 - 10 - 12 - 14 ) %  $E.A =$  وشكلت العينات بالرطوبة الموافقة للرطوبة الاصولية و بوزن حجمي موافق الوزن الحجمي الاعظمي وأجريت عليها تجربة CBR .

### 3-2-2-4 تأثير أضافة المحلول الاسفلتي على خصائص الانتفاخ للتربة .

أجريت تجارب الانتفاخ وفقا لمواصفات (ASTM,1993) باستخدام الآدومتر ذو الحلقة الثابتة ، وبالإستعانة بحلقات التشديد ذات المقطع  $(40 \text{ Cm}^2)$  .

أجريت التجارب على عينات ( CH ) المأخوذة من منطقة السخنة شكلت العينات برطوبة مساوية للرطوبة الأصولية ووزن حجمي جاف مساوٍ الى الوزن الحجمي الجاف الاعظمي .وأضيف لكل عينة النسبة المحددة من المحلول الاسفلتي توافق النسب التالية على التوالي : %

$$E.A = (0 - 2 - 4 - 6 - 8 - 10 - 12 - 14)$$

أجريت تجارب التشديد على جهاز التشديد الموجود في المخبر والمبين بالشكل (3-10) حيث وضعت العينات بالجهاز و غمرت بالماء ، و قيس الانتفاخ النسبي الحر لجميع العينات . و بعد الحصول على قيمة الانتفاخ النسبي الحر تم تحميل الأجهزة بالحمولات المتدرجة للحصول على قيمة ضغط الانتفاخ لكل نسبة من المحلول الاسفلتي المضاف الى التربة .



الشكل (3-12) أجهزة التشديد





الشكل (3-13) العينات بعد اجراء تجربة التشديد

### 3-2-2-5 تأثير اضافة المحلول الاسفلتي على خصائص الانهيار :

أخذت كمية مناسبة من التربة الجافة لكل تربة من الترب وقسمت كل عينة الى ست أجزاء متساوية وأضيفت الى التربة الرطوبة الاصلوية المناسبة وتم خلط العينة من أجل تجانس الرطوبة ومرة ثم أضيفت لكل عينة النسبة المحددة من المحلول الأسفلتي المحددة كما في التسلسل التالي % (0 - 2 - 4 - 6 - 8 - 10 - 12) EA وبعد خلط العينة لضمان تجانس السائل البيتوميني في التربة شكلت العينات في حلقة التشديد حيث المقطع  $A=40 \text{ cm}^2$  وفق الوزن الحجمي الجاف الاعظمي والرطوبة الاصلوية ونسبة السائل البيتوميني المحددة ، و وضعت العينة المشكلة في جهاز التشديد ثم حمولات متدرجة حتى الوصول إجهاد مساوي  $q=2 \text{ kg/cm}^2$  وعند هذا الاجهاد تم تزود العينة بالماء لإشباعها وتركت لمدة 24 ساعة قمنا بتحديد قيمة  $e_1$  نسبة الفراغات قبل إضافة المياه، وقيمة  $e_2$  بعد إضافة المياه. بعد ذلك تم حساب قابلية الترب للانهيار  $C_p$  لكل عينة من العينات المشكلة .

## الفصل الرابع

### تغير خصائص التربة تبعاً لمحتوى التربة من الجبس و المحلول الاسفلتي

#### 1-4 تأثير محتوى التربة من الجبس على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للتربة الجبسية .

بههدف إظهار تأثير محتوى التربة من الجبس على خصائص التربة أجريت التجارب على التربة المأخوذة من منطقة كباكب بعد غسلها وتخليصها من الجبس الموجودة في التربة ثم جففت التربة وأجريت عليها التجارب التالية ..

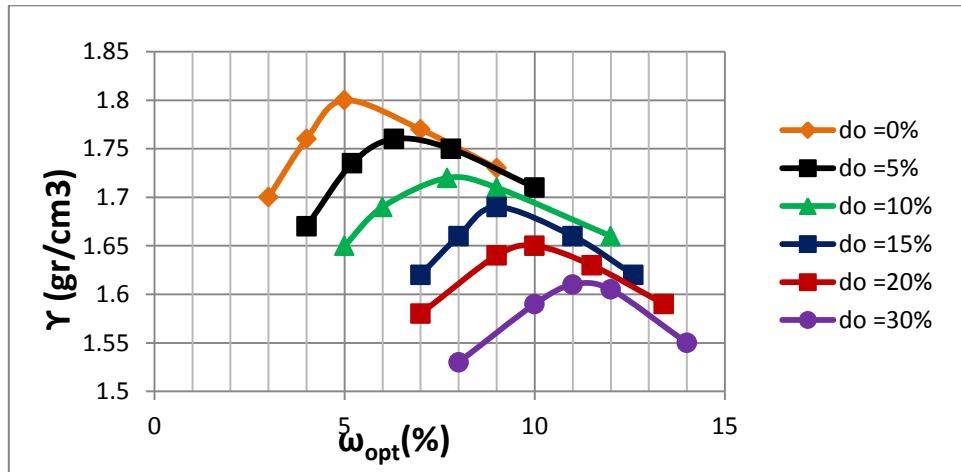
#### 1-1-4 تأثير محتوى التربة من الجبس على الكثافة الجافة الأعظمية والرطوبة الأصولية .

أجرت تجربة بروكتور على خمس عينات من التربة أضيفت لها نسب مختلفة من الجبس هي على التوالي : % ( 0 - 5 - 10 - 15 - 20 - 30 )  $do =$  وقد حصلنا على النتائج المبينة في

الجدول (4-1) و الشكل (4-1) .

الجدول (4-1)

do =30%		do =20%		$\omega =15\%$		do= 10%		do =5%		do =0%	
$\gamma$	$\omega$	$\gamma$	$\omega$	$\gamma$	$\omega$	$\gamma$	$\omega$	$\gamma$	$\omega$	$\gamma$	$\omega$
1.53	8	1.58	7	1.62	7	1.65	5	1.67	4	1.7	3
1.59	10	1.64	9	1.66	8	1.69	6	1.735	5.2	1.76	4
1.61	11	1.65	10	1.69	9	1.72	7.7	1.76	6.3	1.8	5
1.605	12	1.63	11.5	1.66	11	1.71	9	1.75	7.8	1.77	7
1.55	14	1.59	13.4	1.62	12.6	1.66	12	1.71	10	1.73	9



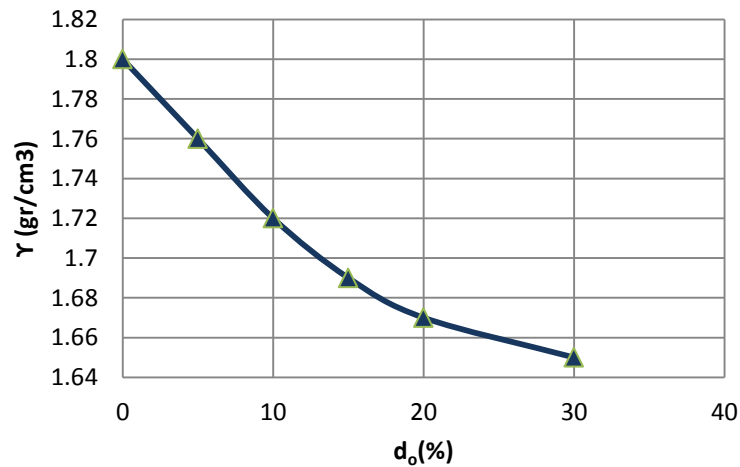
الشكل (4-1) تغير الوزن الجاف الأعظمي والرطوبة الأصولية تبعاً لمحتوى التربة من الجبس

ويلاحظ من الشكل (4-2) انخفاض الوزن الجاف الأعظمي بزيادة محتوى التربة من الجبس

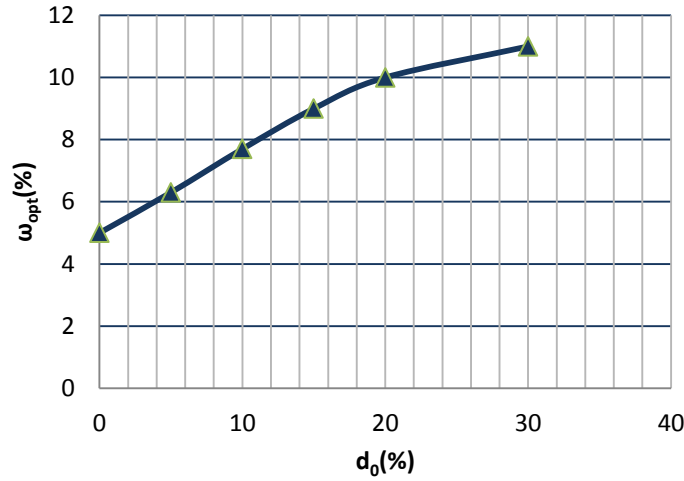
ويعزى السبب إلى أن الوزن الحجمي الجاف للملح هو أقل من الوزن الحجمي الجاف للتربة

وكذلك فإن الشكل (4-3) يظهر أن الرطوبة الأصولية تزداد بزيادة محتوى التربة من الجبس

لأن الجبس يحتاج إلى رطوبة أكبر .



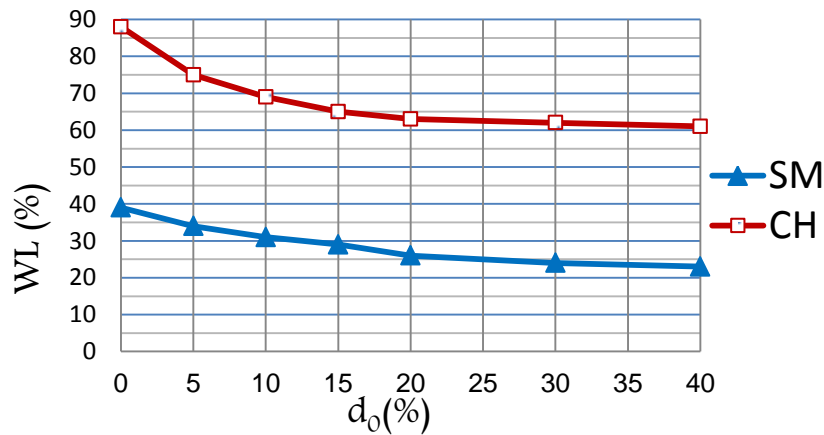
الشكل (4-2) تغير الوزن الجاف الأعظمي تبعاً لمحتوى التربة من الجبس



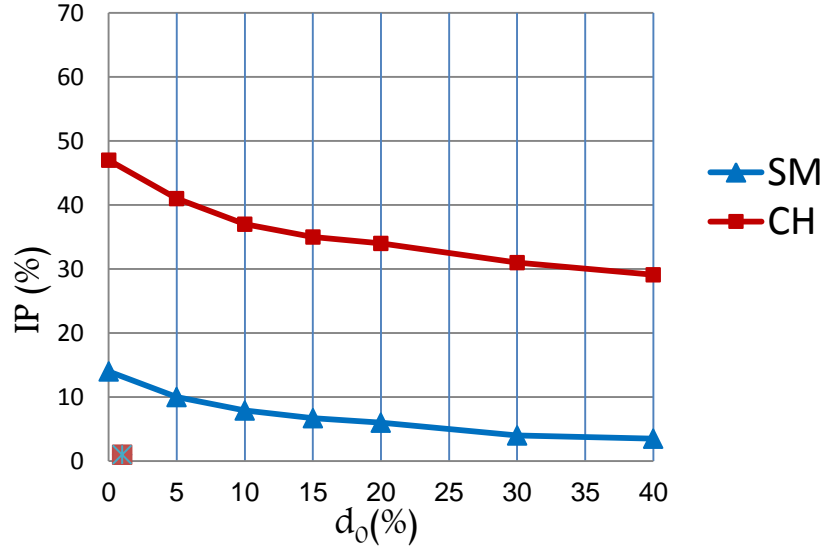
الشكل (4-3) تغير الرطوبة الاصلوية تبعاً لمحتوى التربة من الجبس

#### 2-1-4 تأثير محتوى التربة من الجبس على خصائص اللدونة .

أجريت تجربة حدود آتربيرغ على التربة المارة من المنخل  $425\mu m$  المجففة والمغسولة من الجبس ثم أضيفت النسبة المحددة من الجبس وفقاً للنسب التالية % ( 0,5 - 10 - 15 - 20 - 30 - 40 ) (نسبة من الوزن الجاف) تم اضافة الماء الى العينات وتركها لمدة (24) ساعة لإتاحة المجال للتفاعلات الكيميائية الممكن حدوثها بين التربة والجبس بوجود الماء . وكانت النتائج كما هو مبين في الشكلين (4-4) , (4-5) .



الشكل (4-4) تغير حدود آتربيرغ للتربة تبعاً لمحتواها من الجبس



الشكل (4-5) تغير دليل اللدونة للتربة تبعاً لمحتواها من الجبس

نلاحظ من الشكلين (4-4) و (4-5) أن حد السيولة ودليل اللدونة يتناقضان بشكل كبير مع زيادة نسبة الجبس حتى النسبة 10% للتربة (SM) وحتى النسبة 15% للتربة (CH) حيث يحصل تبادل شاردى كامل لشوارد الكالسيوم  $Ca^{+2}$  مع الكاتيونات الموجودة في الغضار ، ومن المعروف أن شوارد الكالسيوم  $Ca^{+2}$  تمتاز بقدرتها على تجميع حبيبات الغضار الناعم الموجودة في التربة الأمر الذي يؤدي إلى حدوث تكتلات و تجمعات لحبات الغضار و نتيجة لذلك ينقص السطح النوعي للتربة و بالتالي تقل كمية المياه المغلفة للحبات أي تتناقص الرطوبة .

بينما مع زيادة نسبة الجبس عن النسب السابقة لكلا الترتين يصبح التغير في قيمة حد السيولة و دليل اللدونة أقل حدة و قد يفسر ذلك ببقاء قسم من شوارد الكالسيوم غير متبادلة وذلك على اعتبار أنه تم تثبيت وزن التربة البدائي قبل خلطها بالجبس وبالتالي تساهم بلورات الجبس غير المنحلة في زيادة السطح النوعي ولكن بنسبة أقل من الحالة الأصلية للتربة.

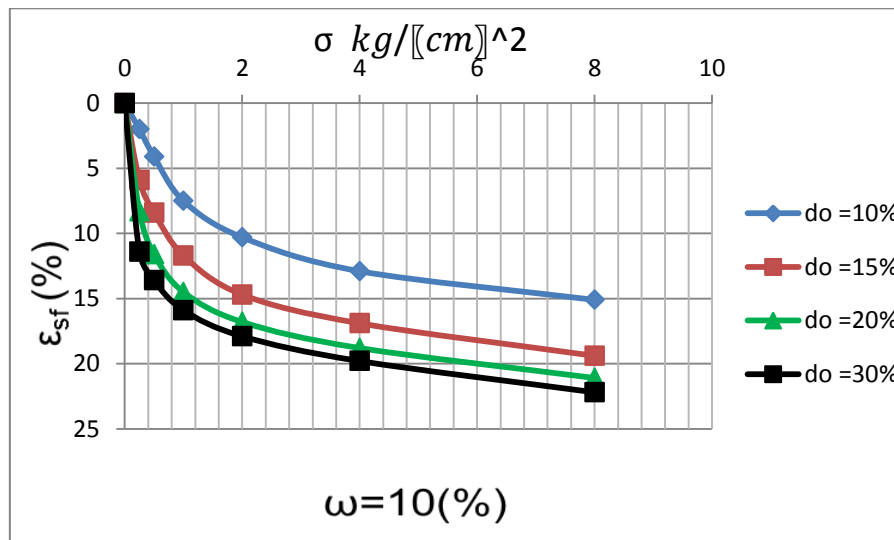
#### 3-1-4 تأثير محتوى التربة من الجبس على انضغاطية التربة الجبسية .

لدراسة تأثير محتوى التربة من الجبس على قابلية الانضغاط في التربة الجبسية ، تم إجراء تجربة التشديد على التربة (CH) ، المأخوذة من منطقة السخنة و المخلوطة بنسب مختلفة من الجبس ومن أجل قيم مختلفة من الرطوبة ، وقد تم اعتماد طريقة المنحنيين لتحديد مقدار تشوهات

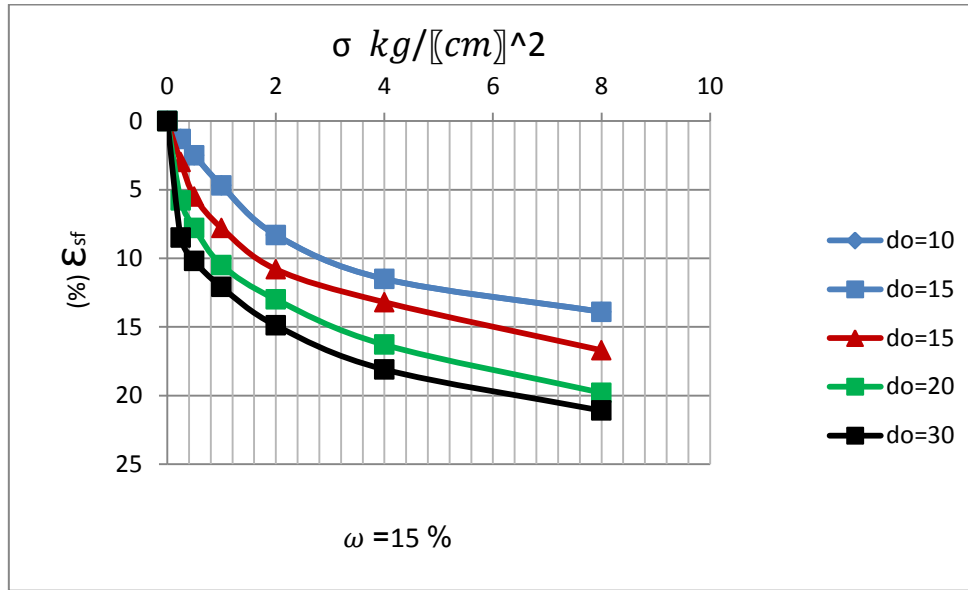
الانحلال النسبية ، حيث أجريت تجربة التشديد على العينة الأولى برطوبات اولية، أما العينة الثانية فقد عرضت لتيار مائي مستمر وذلك بوضعها ضمن علبة تشديد تتميز بقدرتها على تصريف الماء بغية غسلها من الجبس ، وقد استمرت عملية الغسيل بالنسبة للعينات المخلوطة بالجبس حوالي الشهر تقريباً وذلك حتى استقر التشوه بشكل كامل .

شكلت العينات بوزن حجمي جاف قيمته  $\gamma_d = 1.55 \text{ gr/cm}^3$  وكانت العينات تتكون من مجموعتين رئيسيتين المجموعة الأولى أجريت التجارب في ظروف الرطوبة الأولية، أما المجموع الرئيسية الثانية فقد أجريت التجارب على العينات بعد تعريضها لتيار مائي مستمر. كل مجموعة من المجموعتين الرئيسيتين تتكون من مجموعات ثانوية كل مجموعة توافق رطوبة ثابتة واحدة من القيم  $\omega = (10-15-20-25)\%$  وكل مجموعة من المجموعات الثانوية تتكون من أربع عينات كل عينة توافق نسبة محددة من الجبس  $d_o = (10-15-20-30)$  .

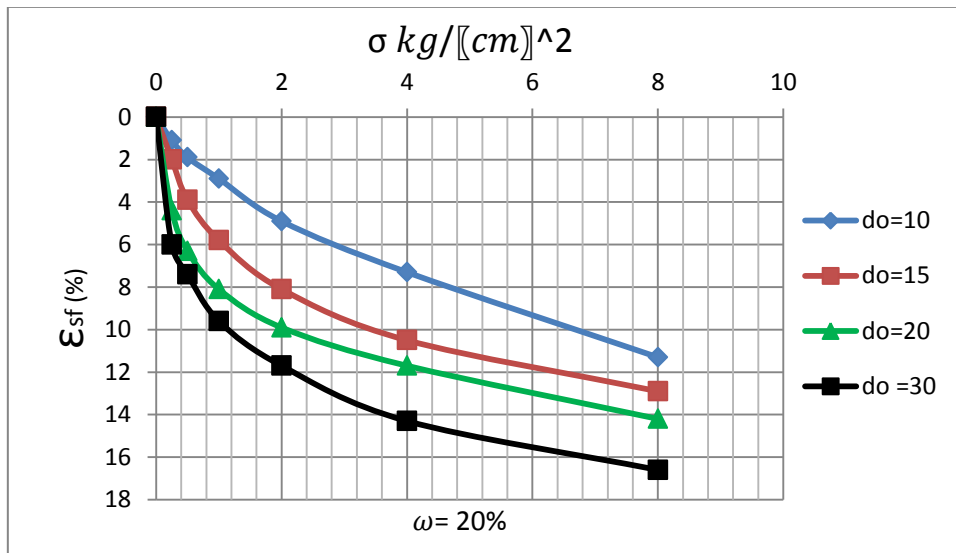
يوضح الشكل (4-6) العلاقة بين الإجهاد المطبق والهبوط الانحلالي تبعاً لمحتوى التربة من الجبس.  $\sigma \text{ kg/cm}^2$ .



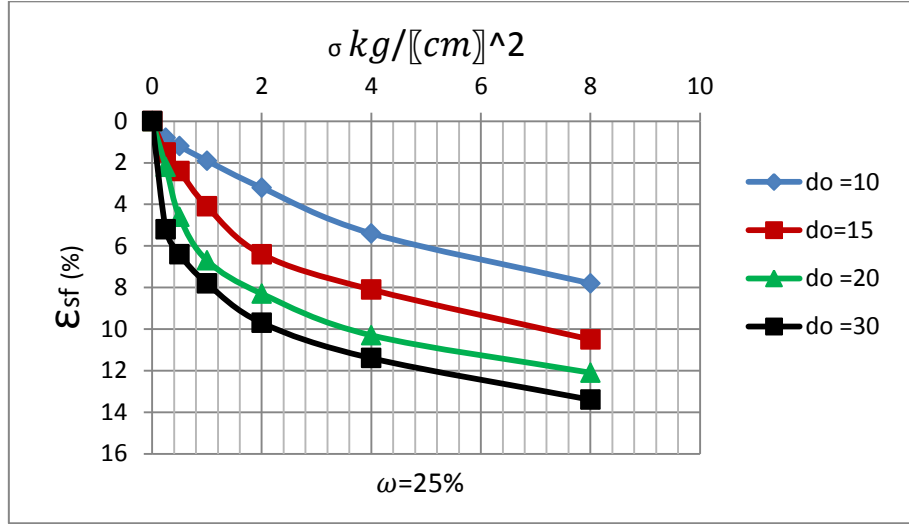
الشكل (4-6) تغير الهبوط الانحلالي تبعاً للإجهاد المطبق تحت رطوبة اولية (10%)



الشكل (4-7) تغير الهبوط الانحلاي تبعاً للإجهاد المطبق تحت رطوبة أولية (15%)



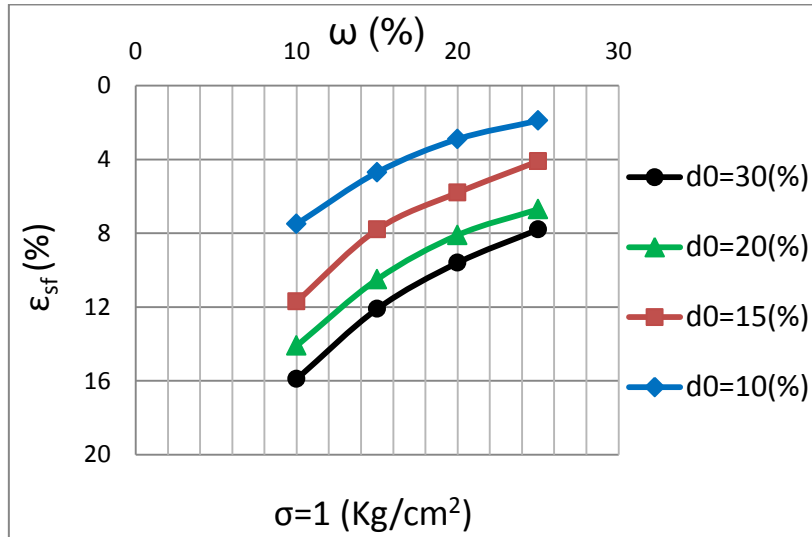
الشكل (4-8) تغير الهبوط الانحلاي تبعاً للإجهاد المطبق تحت رطوبة أولية (20 %)



الشكل (4-9) تغير الهبوط الانحلاقي تبعاً للإجهاد المطبق تحت رطوبة أولية (25 %)

ويبدو من المنحنيات أن الهبوط الانحلاقي يزداد بزيادة الإجهادات المطبقة على العينة مهما كان محتوى التربة من الجبس.

ولإبراز تأثير رطوبة التربة على قيم الهبوط الانحلاقي فقد أجريت التجربة على عينات متباينة في رطوبتها الأولية وكذلك بمحتوى ثابت من الجبس وتم الحصول على النتائج المبينة في الشكل (4-10).

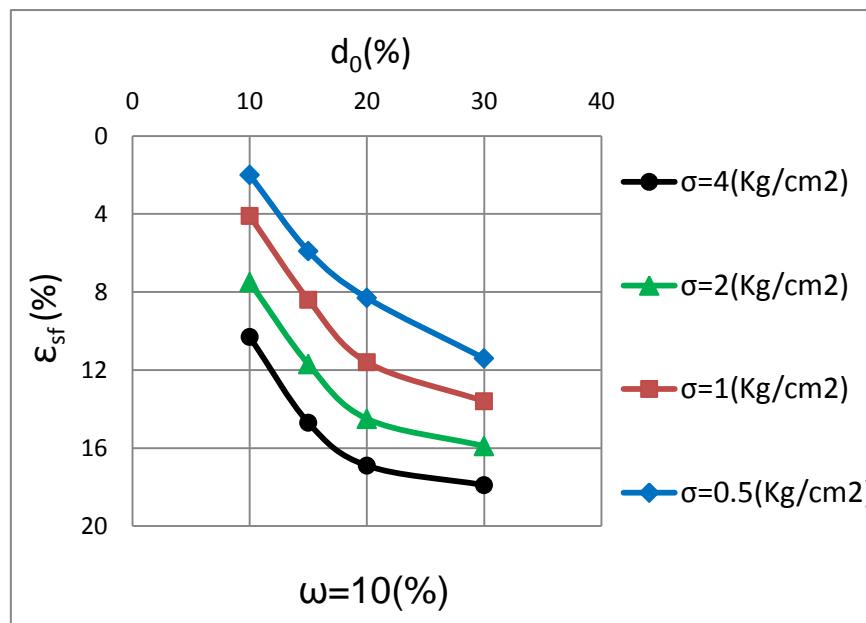


الشكل (4-10) تغير الهبوط الانحلاقي مع الرطوبة الأولية للتربة تحت إجهاد  $\sigma = 1 \text{ kg/cm}^2$



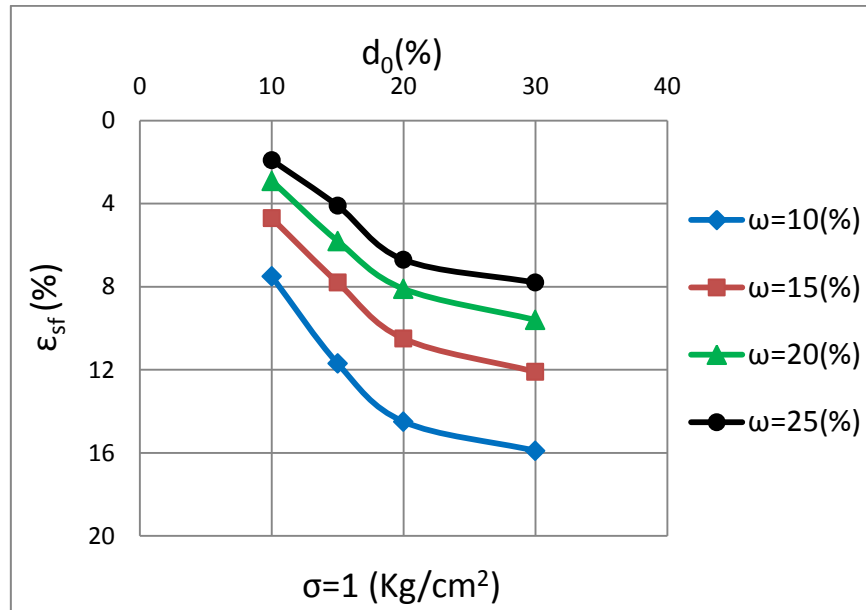
يبدو من الشكل (4-10) تناقص مقدار الهبوط الانحلالي بزيادة الرطوبة الأولية. ومن الجدير بالذكر أن جزء من الجبس يبدأ بالانحلال من أجل الرطوبة المشكلة بها العينة وتزداد نسبة الجبس المحلولة بزيادة الرطوبة المشكلة بها العينات مما يفسر انخفاض قيمة الهبوط الانحلالي مع زيادة الرطوبة الأولية للعينات .

يوضح الشكل (4-11) تأثير محتوى التربة من الجبس على قيم الهبوط الانحلالي . يلاحظ من الشكل (4-8) زيادة الهبوط الانحلالي بزيادة نسبة الجبس في التربة حيث أن الجبس عند خلطه مع التربة و برطوبات محددة يأخذ حجماً معيناً ويزداد هذا الحجم مع زيادة نسبة الجبس في التربة وعند غسيل التربة ينحل الجبس تاركاً فراغاً في التربة مما يؤدي إلى زيادة الهبوط الانحلالي .



الشكل (4-11) تأثير محتوى التربة من الجبس على قيم الهبوط الانحلالي

يوضح الشكل (4-12) تغير الهبوط الانحلالي مع محتوى التربة الغضارية من الجبس تبعاً للرطوبة الأولية للتربة الغضارية الجبسية .

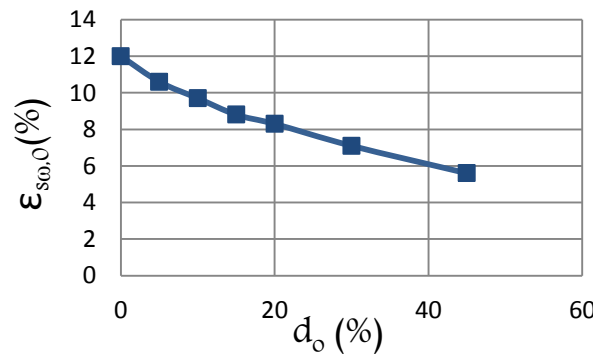


الشكل (4-12) تغير الهبوط الانحلالي مع محتوى التربة الغضارية من الجبس

#### 4-1-4 تأثير محتوى التربة من الجبس على خصائص الانتفاخ للتربة

أجريت تجارب الانتفاخ وفقاً لمواصفات (ASTM, 1993) باستخدام الآدومتر ذو الحلقة الثابتة ، وبالإستعانة بحلقات التشديد ذات المقطع (40 Cm²) .

تم تشكيل جميع عينات التربة ( CH ) المأخوذة من منطقة السخنة برطوبة أولية مقدارها (15%) و بوزن حجمي جاف مقداره (1.55 g/cm³) وأضيفت النسبة المحددة من الجبس ثم أشبعت العينات بالماء. الشكل (4-13) يوضح تغير الانتفاخ النسبي الحر للتربة تبعاً لمحتوى التربة من الجبس .

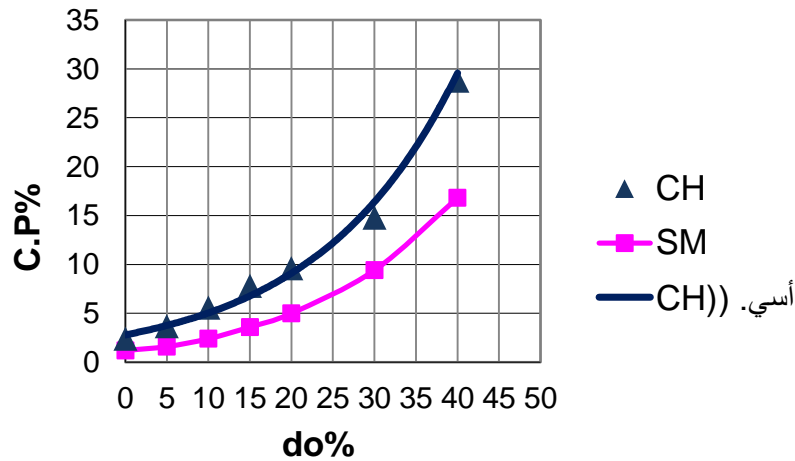


الشكل (4-13) تغير تشوهات الانتفاخ تبعاً لنسبة الجبس في التربة

ويبدو من المنحني الواردة في الشكل (4-10) الانتفاخ النسبي مع زيادة محتوى التربة من الجبس . هذا السلوك مرتبط بقابلية الانتفاخ المرتفعة للمينرالات التربة الغضارية الخالية من الجبس مقارنة مع جزيئات الجبس الخاملة باعتبارها مشبعة بالماء وسطوحها البلورية لا تحتوي على شحنات غير مرتبطة لتسمح بجذب إضافي للماء ، وبالتالي فإن كافة مظاهر الانتفاخ في التربة عائدة للمينرالات الغضارية بهذه الحالة ، ولهذا فهي تتناقص مع ارتفاع المحتوى الجبسي على حساب المحتوى الغضاري في التربة .

#### 4-1-5 تأثير محتوى التربة من الجبس على قابلية التربة للانهييار .

حيث وضعت العينة في جهاز الانضغاط المشكلة بالوزن الجاف الأعظمي والرطوبة الأصولية المناسبين واضيفت نسبة الجبس المحددة ثم طبقت حمولات متدرجة حتى الوصول إجهاد مساوي  $q=2 \text{ kg/cm}^2$  وعند هذا الاجهاد تم اشباع العينة بالماء وتم تحديد قيمة **CP** لكل نسبة من الجبس ولكلا نوعي التربة وقد حصلنا على النتائج الموضحة بالشكل (4-14) .



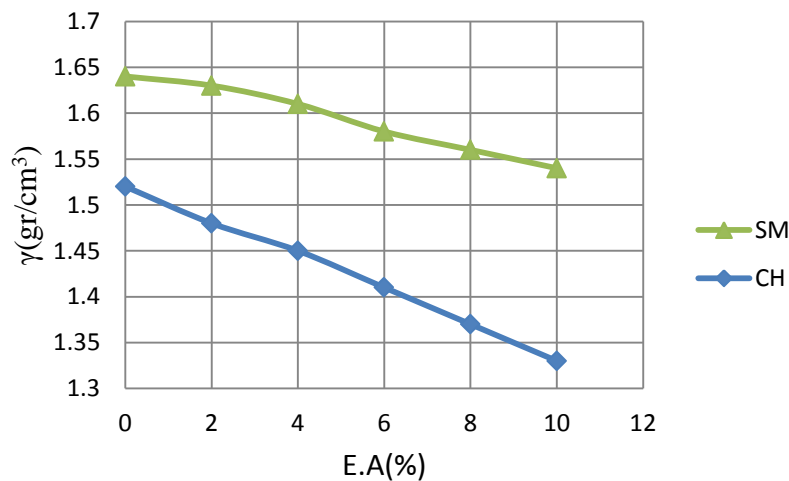
الشكل (4-14) احتمالية الانهييار للتريتين

الشكل (4-14) يبين أن زيادة نسبة الجبس في التربة تزيد من قابلية الانهييار في التربة والزيادة أكبر في الترب الغضارية عالية اللدونة 000

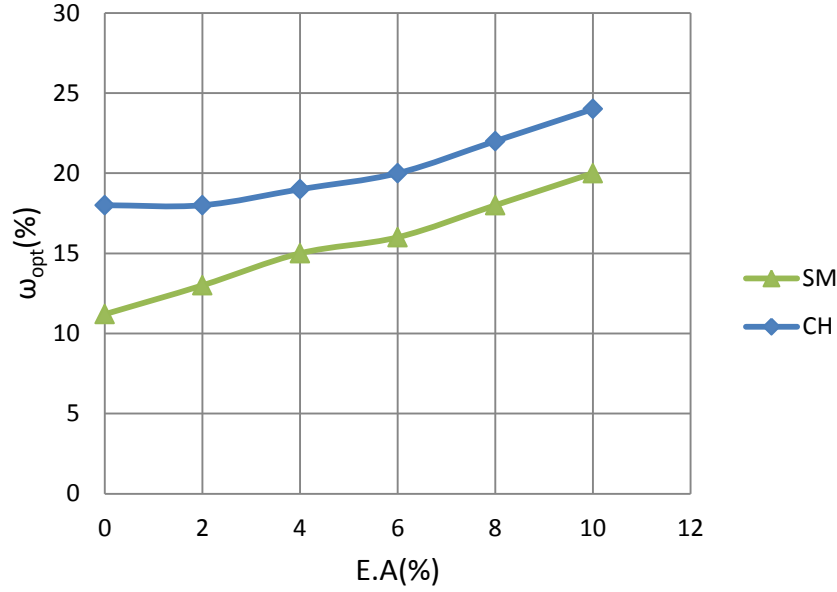
## 2-4 تأثير اضافة المحلول الاسفلتي على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للتربة الجبسية .

### 1-2-4 تأثير اضافة المحلول الاسفلتي على الكثافة الجافة الاعظمية والرطوبة الاصلوية .

أجريت تجارب بروكتور على عيني التربة SM,CH أظهرت النتائج ان اضافة المحلول الاسفلتي الى التربة ادى نقصان الوزن الحجمي الجاف الاعظمي مع زيادة نسبة المحلول الاسفلتي والى زيادة الرطوبة الاصلوية مع زيادة المحلول الاسفلتي في التربة كما هو مبين في الاشكال (4-15) ، (4-16) ويعزى انخفاض الوزن الحجمي الجاف الاعظمي بازدياد نسبة المحلول الاسفلتي الى تدني قيمة الوزن النوعي للمحلول الاسفلتي .



الشكل (4-15) تغير الوزن الحجمي الجاف الاعظمي تبعا لمحتوى التربة من المحلول الاسفلتي



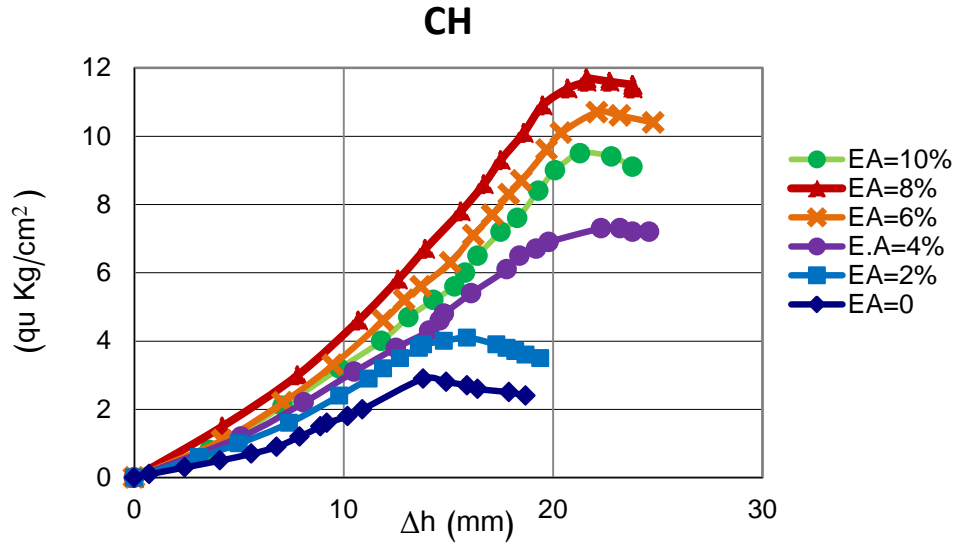
الشكل (4-16) تغير الرطوبة الاصلوية تبعا لمحتوى التربة من المحلول الاسفلتي

#### 2-2-4 تأثير اضافة المحلول الاسفلتي على مقاومة الضغط الحر .

تم تشكيل عينات من التربة بوزن حجمي جاف مساوي للوزن الحجمي الاعظمي رطوبة مساوية للرطوبة الاصلوية تبعا لكل تربة من الترب المدروسة وأضيفت نسب محددة من المحلول الاسفلتي لدراسة تأثير (السائل الاسفلتي) على قوة الضغط الحر. الشكل (4-17) يظهر تغير مقاومة الضغط الحر تبعا لمحتوى التربة من المحلول الاسفلتي والانتقال الموافق لبلوغ المقاومة القصوى ، حيث يبدو بوضوح أن قوة الضغط الحر (qu) تزداد كلما زاد محتوى التربة من المحلول الاسفلتي حتى نسبة معينة بعدها تنخفض المقاومة مع زيادة محتوى التربة من المحلول الاسفلتي .

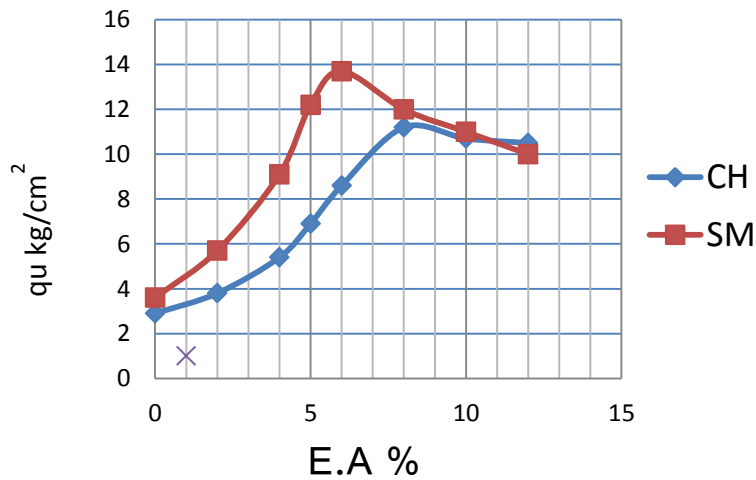
الزيادة في مقاومة الضغط الحر مع إضافة (المحلول الاسفلتي) تعود بسبب زيادة قوة التماسك بين جزيئات التربة من خلال طبقات رقيقة متواصلة من المحلول الاسفلتي الذي يغلف ذرات التربة حتى قيمة مثالية من نسبة المحلول الاسفلتي بعدها تنخفض مقاومة الضغط الحر مع زيادة محتوى التربة من المحلول الاسفلتي يعود ذلك الى زيادة في سماكة طبقة المحلول

الاسفلتي المغلف لذرات التربة حيث ينخفض تماسك التربة وتقل زاوية الاحتكاك الداخلي بين ذرات التربة .



الشكل (4-17) تغير مقاومة الضغط الحر تبعا لمحتوى التربة من المحلول الاسفلتي

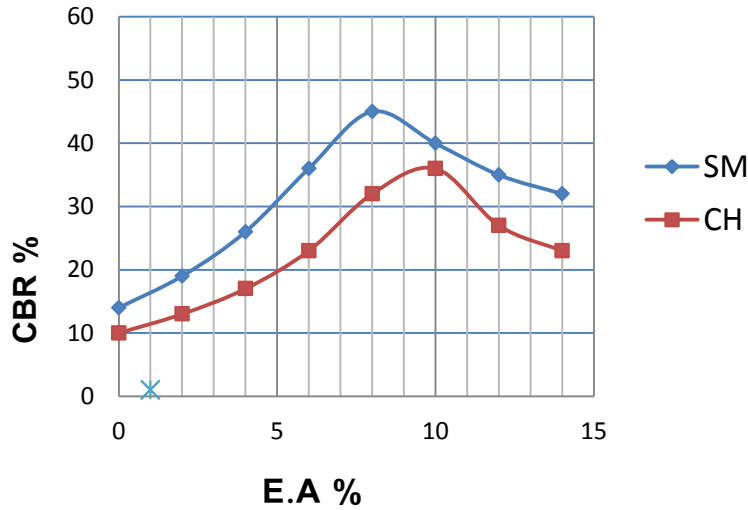
أما الشكل (4-18) يظهر تحسن مقاومة الضغط الحر لكلا نوعي التربة ،والتحسن يكون أكبر للتربة الخشنة كما النسبة المثالية للمحلول الاسفلتي المضاف للتربة ترتبط بنوع التربة وهذه النسبة تزداد كلما زادت نعومة التربة حيث نحتاج في التربة الغضارية لنسبة أكبر من المحلول الاسفلتي والتحسن يكون أقل مقارنة مع التربة الخشنة مما يجعلنا نستنتج ملائمة هذه الاسلوب تقوية الترب الجبسية للترب الخشنة .



الشكل (4-18) تغير مقاومة الضغط الحر تبعا لمحتوى التربة من المحلول الاسفلتي للتريتين

#### 3-2-4 تأثير اضافة المحلول الاسفلتي على مقاومة CBR.

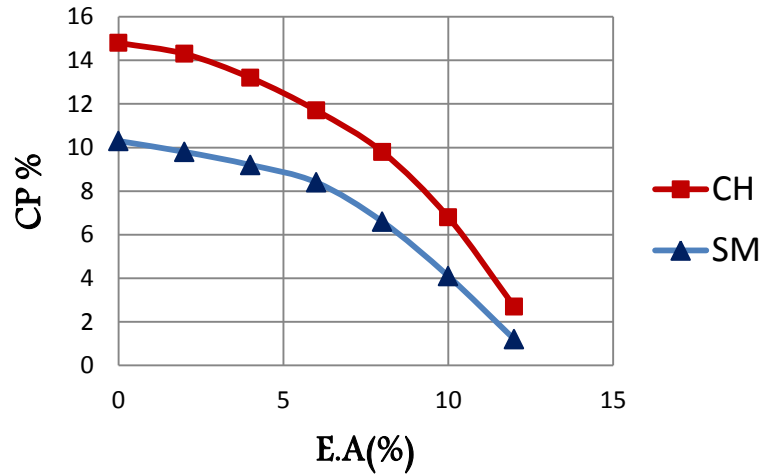
أظهرت نتائج التجارب التي أجريت علي نوعي التربة والمبينة بالشكل (4-19) قيم  $\text{CBR}\%$  حيث تظهر النتائج زيادة قيم  $\text{CBR}\%$  بزيادة محتوى التربة من المحلول الاسفلتي المضاف الى التربة حتى قيمة مساوية  $\text{EA}=8\%$  بالنسبة للتربة الخشنة المأخوذة من منطقة كباكب ( SM )  $\text{EA}=10\%$  بالنسبة للتربة الغضارية المأخوذة من منطقة السخنة ( CH ) ويلاحظ من هذه المنحنيات أن التربة الغضارية تحتاج لقيمة أكبر من المحلول الاسفلت لبلوغ القيمة القصوى ل  $\text{CBR}\%$  في حين الترب الخشنة تحتاج لقيمة أدنى من الحلول الاسفلتي لبلوغ القيمة القصوى ل CBR ، ونقصان قيمة CBR بزيادة محتوى الترب من المحلول الاسفلتي يعزى لزيادة اللدونة في التربة ، مما يؤدي إلى زيادة تغلغل المكبس في تجربة CBR .



الشكل (4-19) تغير قيم CBR تبعا لمحتوى التربة من المحلول الاسفلتي لنوعي التربة

#### 4-2-4 تأثير اضافة المحلول الاسفلتي على قابلية التربة لانهيار .

حيث وضعت العينة في جهاز الانضغاط المشكلة بالوزن الحجمي الجاف الأعظمي والرطوبة الأصولية المناسبين واضيفت نسبة البيتومين لكلا نوعي التربة وفق النسب التالية وعلى التوالي :  
 $EA = (0-2-4-6-8-10-12)\%$  ثم طبقت حمولات متدرجة حتى الوصول لإجهاد مساوي  $q=2 \text{ kg/cm}^2$  وعند هذا الاجهاد تم اشباع العينة بالماء وتم تحديد قيمة CP لكل نسبة من المحلول الاسفلتي وقد حصلنا على النتائج الموضحة بالشكل (4-20) .



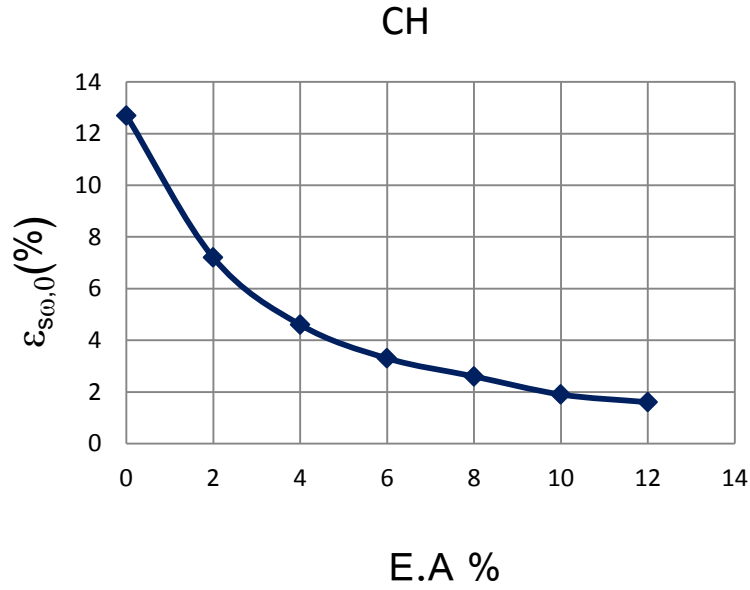
الشكل (4-20) تغير قيم CP تبعاً لمحتوى التربة من المحلول الاسفلتي لنوعي التربة

يلاحظ من الشكل (4-20) تناقص قابلية التربة لانهايار بإضافة المحلول الاسفلتي ويعود ذلك لان المحلول الاسفلتي يغلف ذرات الجبس بطبقة رقيقة وبالتالي اضعاف امكانية ذوبانها وبالتالي تقليل قابلية التربة للانهايار .

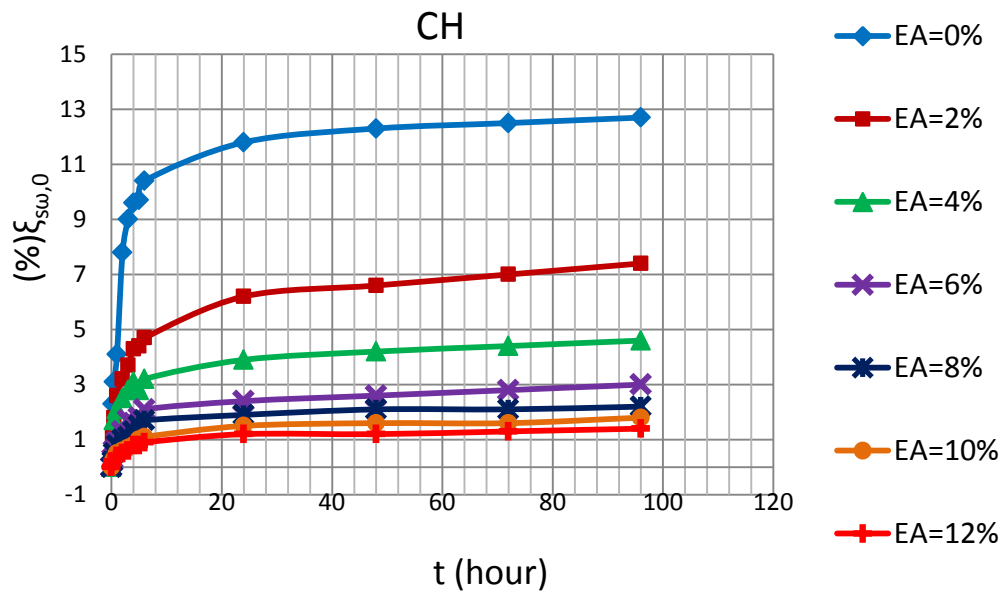
#### 5-2-4 تأثير اضافة المحلول الاسفلتي على قابلية التربة لانتفاخ .

لإظهار تأثير إضافة المحلول الأسفلتي على خصائص الانتفاخ في التربة الغضارية المنتفخة أجريت تجربة الانتفاخ الحر على التربة المأخوذة من منطقة السخنة ( CH ) حيث شكلت العينات برطوبة موافقة للرطوبة الأصولية للتربة و بوزن حجمي موافق للوزن الحجمي الجاف الاعظمي جافة و قد حصلنا على النتائج التالية المبينة في الشكل (4-21) والشكل (4-22) اللذين يوضحان تغير الانتفاخ النسبي الحر تبعاً لنسبة المحلول الإسفلتي المضاف إلى التربة ( تم إشباع التربة بالماء بعد مضي 3 أيام على إضافة المحلول الإسفلتي) .





الشكل (4-21) تغير الانتفاخ النسبي الحر تبعا لمحتوى التربة من المحلول الاسفلتي

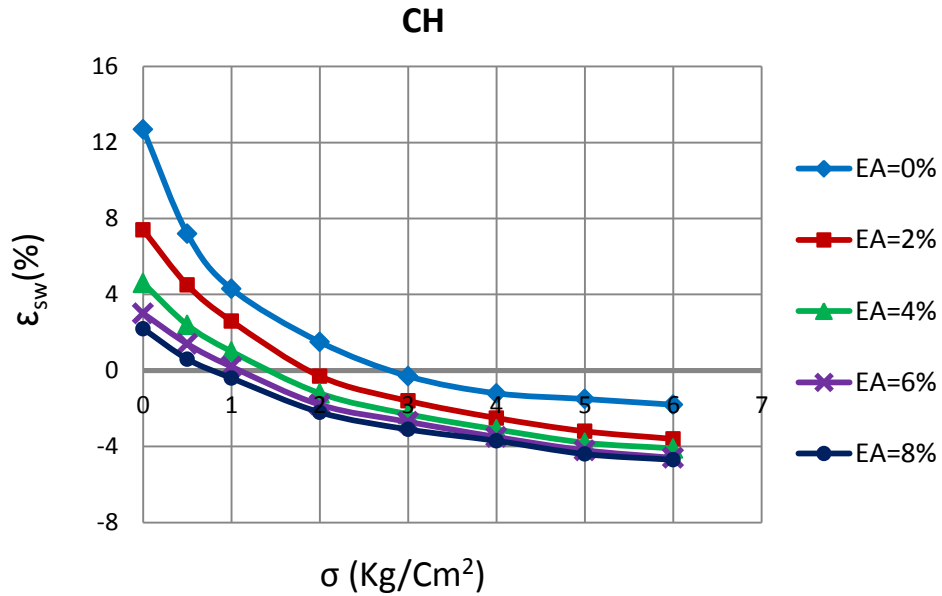


الشكل (4-22) تغير الانتفاخ النسبي الحر تبعا لمحتوى التربة من المحلول الاسفلتي

يلاحظ من الشكل (4-21) تناقص الانتفاخ النسبي الحر بزيادة نسبة المحلول الاسفلتي المضاف للتربة ويكون التحسن كبير عند النسبة  $EA=10\%$  بعد هذه النسبة يكون التحسن

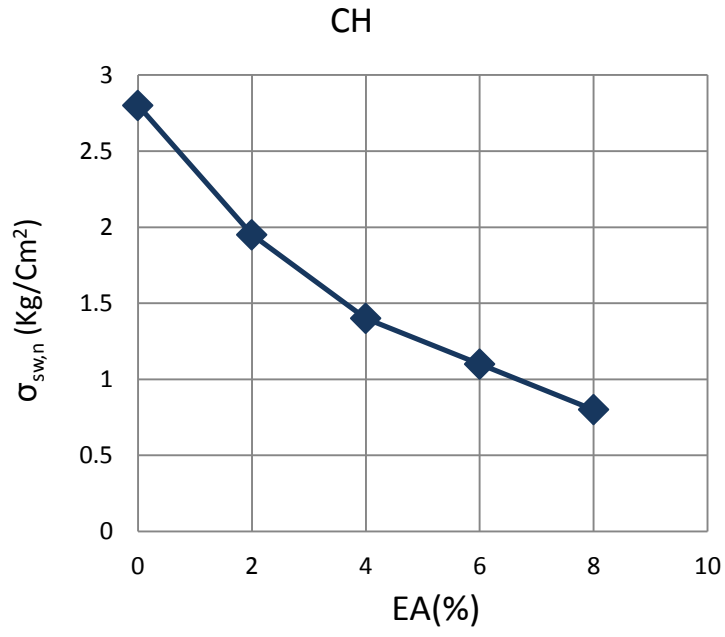
محدودا ويفسر هذا النقصان في مقدار الانتفاخ النسبي بان السائل البيتومين يملأ فراغات التربة ويغلف حبات التربة بغشاء رقيق تمنع دخول المياه الى التربة وبالتالي تقلل من قيمة الانتفاخ النسبي الحر .

لإظهار تغير تشوهات الانتفاخ للتربة المضاف إليها المحلول الإسفلتي تحت تأثير الإجهادات أجرينا تجربة التشديد على التربة وطبقت عليها حمولات متدرجة وقد حصلنا على النتائج في الموضحة في الشكل ( 4-23 )



الشكل (4-23) تغير الانتفاخ النسبي مع الاجهاد من أجل نسبة محددة المحلول الاسفلتي

نتائج التجارب المخبرية التي حصلنا عليها في الشكل (4-23) تبين أن ضغط الانتفاخ يتناقص بزيادة نسبة المحلول الإسفلتي المضافة إلى التربة .



الشكل (4-24) تغير ضغط الانتفاخ تبعا لمحتوى التربة من المحلول الاسفلتي

## الفصل الخامس

### النتائج و التوصيات

### Conclusions and recommendation

#### النتائج :

- I. يقل الوزن الحجمي الجاف الأعظمي للتربة بزيادة محتوى التربة من الجبس وتزداد الرطوبة الأصولية بزيادة محتوى التربة من الجبس .
- II. يتناقص حد سيولة التربة وكذلك قرينة اللدونة بزيادة محتوى التربة من الجبس .
- III. يزداد الهبوط الانحلالي بزيادة الاجهاد المطبق على التربة .
- IV. تتناقص قابلية التربة لانتفاخ بزيادة محتوى التربة من الجبس .
- V. تتناقص الكثافة الجافة الاعظمية بزيادة محتوى التربة من المحلول الاسفلتي في حين تزداد الرطوبة الأصولية بزيادة المحلول الاسفلتي .
- VI. تزداد قابلية التربة لانهيار بزيادة محتوى التربة من الجبس .
- VII. تزداد مقاومة الضغط الحر وقيمة **CBR** للتربة الجبسية المعالجة بالمحلول الاسفلتي بازدياد نسبة المحلول الاسفلتي المضاف للتربة حتى نسبة مثالية من المحلول بعد هذه القيمة تنخفض مقاومة الضغط الحر وقيمة **CBR** وهذه النسبة المثالية ليست بالضرورة نفسها في تجربة الضغط الحر أو في تجربة **CBR** والتحسن يكون أكبر في الترب الخشنة ونسبة المحلول الاسفلتي تكون أكبر كلما زادت نسبة المواد الناعمة الغضارية .

VIII. تتخفّض قابلية التربة لانهيار بزيادة محتوى التربة من المحلول الاسفلتي .

IX. يؤثر إضافة المحلول الإسفلتي للتربة إيجاباً على خصائص الانتفاخ حيث يؤدي إلى انخفاض كبير في مقدار الانتفاخ النسبي وكذلك انخفاض مهم في ضغط الانتفاخ والانخفاض يكون كبير حتى النسبة 6% بعدها يصبح التحسن أقل.

X. ليس بالضرورة أن تكون نسبة المحلول الاسفلتي الازم لمعالجة التربة الغضارية من مشاكل الانتفاخ هي نفسها النسبة التي تؤدي لإعطاء مقاومة عالية وبالتالي فإن نسبة المحلول الاسفلتي المناسبة لمعالجة التربة الغضارية ترتبط بالغرض من المعالجة .

### التوصيات :

i. تثبيت الترب الجبسية بأنواع مختلفة من الاسفلت و ابراز دور المثبت الأفضل.

ii. دراسة تغير معامل النفاذية بتغير نسبة الاسفلت المحسنة للترب الجبسية.

iii. تثبيت الترب الجبسية باستخدام خليط من الاسفلت ومثبتات أخرى.

iv. دراسة سلوكية الأساسات على الترب الجبسية المثبتة بالأسفلت.

---

## **References:**

1. AL-Mohammadi ,N.M , Nashat, I.H and Boko ,G.Y(1987) – **" compressibility and collapse of Gypseous Soil"** , proc. 6<sup>th</sup> Asian conference on soil Mechanics ,Tokyo .
2. Arakelyan , E.A (1986) **" Characteristics of the Determainition of the Physical properties of Gypsum Soils"** , soil Mechanics and Foundations Engineering , Vol. 23 ,No.1 ,pp:27-29 .
3. Brazanji , A.F. (1973) **" Gypsiferous Soil Of Iraq "** PhD Dissertation , University of Ghent ,Belgium .
4. Omar M.E.Taha Mohammed Y.Taha Ahmed A.H.Al-Obaydi ,2007, **" The Use Of Liquid Asphalt To Improve Gypseous Soils"** M.Sc. Thesis, College of Engineering, University of Tikret.
5. Cooper ,A.H. and Callow ,R.C.(1998) **" Avoiding Gypsum Geohazards : Guidance for planning and Construction Technical Report WC/98/5** Keyworth , Nottingham , British Geological Survey .
6. Elrashidi ,M.A; Hammer , D ; Seybold , C.A ; Engel , R.J ; Burt , R. and Jones , P (2007) : **Application of Equivalent Gypsum Content to Estimates Potential Subsidence of Gypsiferous Soil** , soil Science , Vol. 172 , No. 3 Lippinocet Williams & Wilkins , Inc pp :207 -224 .
7. FAO REPORT (1990) **" Mangements of gypsiferous soils "**, Food and Agricultural Organaziation of the United Nation , Bulletin No.62, Rome .
8. Ilaiwi , M.(1983) **" Contribution to the Knowledge of the Soils of Syria"** PhD thesis , State Univ . of Ghent , 259P.
9. Ingram , J.K (1965) **" The Development if a Free –Field Soil Stress Gage for Static and Dynamic Measurements"** , ASTM STP 392 , West Conshohocken , PA, ppa.20-34 .
10. James , A.N (1992) **" Soluble Materials in Civil Engineering Ellis Harwood "** , New York .

11. Jennings , J.E. and Knight , K (1975) " **A Guide to Construction on or with Materials Exhibited Additional Settlement Due collapse of Grain Structure**" , Proc. Of 6<sup>th</sup> Regional Conference for Africa on soil Mechanics and Foundation Engineering , Durban , South Africa , pp. 99-105 .

12. Karkush ,M.O.(2008) " **Theoretical Modeling and Expermental Investigation of th leaching Behavior Of Gypseous Soils**" . PhD Thesis , Civil Engineering Derpatment Unversity Of Baghdad .

13. Paver , G.I. (1947) " **Water supply in the Middle east campaigns – VII , Syria & Lebanon** " , Water and Engineering .

14. Petrukhin , V.P and Boldyrev , G.B. (1978) " **Investigation of the Deformability of Gypsofied Soil by A static load** " , soil Mechanics and Foundation Engineering , Vol. 15 , No.3, pp.178-182 .

15. Van Alphen , J.G and De and Los Rios Romero , F (1971) – **Gypsiferous Soils : Notes on their Characteristics and Management** Int. Inst. For Land Reclamation and Improvement , Bulletin 12, Wagening , Netherlands.

16 . عليوي ، م، والبيشي ، ل (2000) " **التربة الجبسية في سوريا توزعها نشوئها وتطبيقاتها** " ، ندوة الترب الملحية والجبسية بين الري والزراعة والاستصلاح - مطبوعات المجلس الاعلى للعلوم دمشق ص11-10.

17. وزارة الادارة المحلية (2008) " **توصيات مؤتمر الإستثمار في المنطقة الشرقية في سوريا**" (الموقع على شبكة الويب [https:// www.syrianeasternregion.org](https://www.syrianeasternregion.org))

18. Akpokodje ,1985 . " **The Engineering Classification of som Austalian Arid Zone Soil**" . Bulletin.N°31.Paris.1985.

19. Blatta et al ,1980 " **Origin of sedimentary Rocks**" 2<sup>nd</sup> ed, Prentice-Hall Inc.New York ,pp.538-567.

20. Ali J. Kadhim ,2014 " **Stabilization Of Gypseous Soil By Cutback Asphalt For Roads Construction**" Lecture Transportation and Highway Engineering Department Al-Mustansiriya University.

- 
21. Douglas E. Moran 2004 ." **Bedrock Heave** " Research comment  
INC: HTTP ://Moran-geo .com .
22. Eswaran and Zi-Tong ,1991 " **Properties Genesis Classification and Distribution of Soil with gypsum** " SSSA Special Publication no  
26,89,-119 .
23. Zainab Hassan Shakir ,2017 " **Improvement of Gypseous Soil Using Cutback Asphalt**" Assistant Lecturer Building and Construction  
Engineering Department, University of Technology/ Baghdad.
24. Ismail M.A.et al 2002 " **Effect of cement Type on shear Behavior of cemented Calcareous Soil of Geotech and Geoenvironmental Engi**  
" . June 2002 .
25. IUSS, ISRIC & FAO,2006 " **World reference Base for Soil Resources (WRB)**" , World soil resource Report No 103 FAO, Rome .
26. Jaume Porta ,1998 " **Methodologies for the analysis and characterization of Gypsum in soil**" : A review . Geoderma 87 (31-46) .
27. Jessica et al 2006 . "**Gypsum and Nnhydrite**" . 7<sup>th</sup> edition Industrial  
minerals & rocks , pp 1548 . Published by Society for mining , metallurgy  
& Exploration, Inc. (SME) Littleton, Colarado , USA 80127 .
28. Juan Herrero & Jaime Boixadera , 2006 " **Gypsic soil : Encyclopedoa of soil science**" published by Taylor & Francis . DOI :  
10, p796- 799 .
29. Mousli ,1980 " **Methods of evalution and classification of Gypsiferous soil and sutiability for irrigated agriculture** " In Proc. Of  
th 3<sup>rd</sup> Int. Soil classification Workshop . ACSAD DAMASCUS , SYRIA  
: 278-307.
30. Nabil, 1993 " **Laboratory and field Leaching test on coastal salt – bearing soil**" J.Geotech .Eng Vol 119, No3 March 1993, Pp 453 -470 .
31. R .Lal ,2006 Encyclopedia of soil science . P(800) " **Gypsum formation in Gypsicsoils** "(Ahmet R.Mermut (Canada) , H.Khademi (Iran )) Published by Taylor & Francis LLC/ CRC , Boca Raton .



32. Zambak , C . and Arthur R.C 1986 " **Geochemical and Engineering Aspects of Anhydrite / Gypsum Phase Transition** ", Bulletin of the Association of Engineering Geologists , Vol. 23, No. 4 ,pp. 419-433.
33. Hussein Q. Kasim Abdulameer , 2014 " **Studying the Behavior of Asphalt Stabilized Gypseous Soil for Earth Embankment Model**" M.Sc. Civil Engineering college of Engineering-University of Baghdad .
34. Ban H. Al – Khayat & Saad I. Sarsam and A'amal A. Al- Saidi , 2011 " **IMPLEMENTATION OF GYPSEOUS SOIL-ASPHALT STABILIZATION TECHNIQUE FOR BASE COURSE CONSTRUCTION** " Department of Civil Engineering, College of Engineering, University of Baghdad.
35. الداغر (2000) " **حماية وصيانة أفتية الري المكشوفة في الاراضي الجبسية** " ندوة التربة الملحية والجبسية بين الري والزراعة والاستصلاح - مطبوعات المجلس الاعلى للعلوم دمشق ص 110.115
36. *Hawraa Hasan Mousa Alateya* ,2013 " **Influence of the Use of Additives on the Properties of Compacted Gypseous Soils** " M.Sc., Dept. of Civil Engineering, College of Engineering, University of Kufa, Al-Najaf, Iraq.
37. Saad Issa Sarsam\*, Aamal A. Al Saidi, Afaq H. AL Taie , 2016 " **Influence of Nano Additives on Unconfined Compressive Strength of Asphaltic Soil** " Department of Civil Engineering, College of Engineering, University of Baghdad, Baghdad, Iraq .
38. Mitchell ,J.K.1993" **Foundation of soil behavior** " .2<sup>nd</sup> ed.John Wiley & Sons Inc., NewYork .
39. Abood, M. K., (1993): " **The Treatment of Gypseous Soils with Sodium Silicate**" M.Sc. Thesis, Department of Building and Construction Engineering, University of Technology, Baghdad.
40. Subhi, H. M. (1987): " **The Properties of Soil Contaminated Soils and Their Influence on the Performance of Roads in Iraq**", Ph. D. Thesis, Queen Mary Collage, University of London.

- 
41. Mikheev, V. V., Petrukhin, V. P. and Boldirev, G. V. (1977), **“Deformation of Gypseous Soils”**, Proc.9th. ICEMFE, Vol.1, PP. 211-214
42. Nashat, I. H, (1990), **“Engineering Characteristics of Some Gypseous Soils in Iraq ”**, pH. D. Thesis, Civil Engineering Dept University of Baghdad.
43. A. N. Ibrahim and T. Schanz . 2017 " **IMPROVEMENT OF GYPSIFEROUS SOIL STRENGTH BY SILICONE OIL**" Al-Iraqia University, College of Engineering (Baghdad, Iraq),
44. Al-Augailly, E. F. A. (1997): **“Consolidation of Gypseous Soils”** M. Sc. Thesis, Department of Building and Construction Engineering, University of Technology, Baghdad.
45. Ahmed, A.A. (1985). **"Lime Stabilization of Soils Containing High Soluble Salts"**. M. Sc. Thesis, Civil Engineering Department, College of Engineering, University of Mosul.
46. Al-Ani, H.M., Sherief, J.A., Mansour, S.L., and Hasso, H.G. (1988). **"An Investigation into the Effect of Gypsum on the Properties of Highway Materials"**. NCCL, Unpublished Report.
47. Dabbagh, T.H., Al-Dewachi, S.S., and Hammo, N.L. (1990). **"Effect of Increasing Gypsum Content on Some Physical Properties of Top Soils"**. Almuhandis Journal, No.104, Iraq Society of Engineers.
48. Al-Abdullah, S.F. (1996). **"The Upper Limits of Gypseous Salts in the Clay Core of Al-Adhaim Dam"**. Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Baghdad.
49. Al-Shalhomi, A.Y. (2000). **" Effect of Phosphogypsum on the Engineering Characteristics of Clayey Soil "**. M. Sc. Thesis, Civil Engineering Department, College of Engineering, University of Mosul.
50. Al-Morshedy, A.D. (2001). **"The Use of Cut Back MC-30 for Controlling the Collapsibility of Gypseous Soils"**. M. Sc. Thesis, Department of Building and Construction, University of Technology.

---

51. Al-Hadithy, D.K. (2001). **"Compressibility of Saline Soils Treated with Cement"**. M. Sc. Thesis, Department of Building and Construction, University of Technology.

52. Al-Shakayree, T.K.K. (2003). **"Improvement of Gypseous Soil below Foundation Using Quick Lime"**. M. Sc. Thesis, Department of Building and Construction, University of Technology.

53. Lagerwerff, J.V, G.W.Akin and S.W.Moses 1965. **"Detection and determination of gypsum in soils"**. Soil Sci.Soc.Am.Proc.29: 353 – 54

54. Artieda, O., J. Herrero, and P.J. Drohan.2006. **"Refinement of the differential water loss method for gypsum determination in soils"**. Soil Sci. Soc. Am. J. 70 : 1932- 1935.

55. ASTM Standards (1988), **Cement; Lime; Gypsum, Annual Book,**

56. Al-Mufty, A. A, and Nashat, E. H., 2000, **"Gypsum Content Determination in Gypseous Soil and Rock"** Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Jordanian International Mining Conference Amman, Vol.2, PP.485-492.

57. د.احمد الشلاش العبيد "دراسة تقدير الجبس بطرق حرارية بديلة" الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية – مركز بحوث دير الزور -سورية

58. American Road & Transportation Builders Association, **"Stabilization and Pavement Recycling,"** Education and Information Guide, 29 pp.

59. Arora, P.L., L. Crowther, and G. Akhter, **"Soil Stabilization for Low-Volume Roads,"** Volume. I - Executive Summary, FHWA /RD-86/096, May1986.

60. Collins, Robert J., **"Waste Products as a Potential Replacemnt for Aggtegates,"** Proceedings, Fourth International Ash Utilization Symposium, St. Louis, Missouri,1975.

61. Cordon, W.A., **"Resistance of Soil-Cement Exposed to Sulfates,"** Highway Research Board Bulletin NO. 309, pp. 37-46, 1962.

- 
62. Dunlap, W.A., J.A. Epps, B.R. Biswas, and B.M. Gallaway, "**United States Air Force Soil Stabilization Index System - A validation**"
63. Epps, J. A, W. A. Dunlap, and B.M. Gallaway, "**Basis for the Development of a Soil Stabilization Index System,**" United States Air Force Contract No. F29601-70-C-0008, Air Force Weapons Laboratory, Texas A&M University, November 1970.
64. Herrin, M., "**Bituminous-Aggregate and Soil Stabilization,**" Highway Engineering Handbook, Section III, Editor, K.B. Woods, McGraw-Hill Book Company, 1960.
65. Little, D.N., "**Fundamentals of the Stabilization of Soil with Lime,**" National Lime Association, Bulletin 332, July 1987, 20 pp.
66. Owusu-Antwi, E.B., "**A Synthesis of Cement-Treated Base Practice for Highways in Alberta,**" M.S. Thesis, University of Alberta, Department of Civil Engineering, Edmonton, Alberta, 1986.
67. Portland Cement Association, "**Lab Studies Set Coarse Grading Limits for Soil-Cement,**" Soil-Cement News, No. 84, January 1966.
68. Portland Cement Association, "**Soil-Cement Laboratory Handbook.**"
69. Robbins, E.G., personal conversations, June 22, 1970.
70. Robnett, Q.L., and M.R. Thompson, "**Stabilization of Illinois Materials - Development of Guidelines and Criteria,**" Illinois Cooperative Highway Research Program Project IHR-94, September 1969.
71. Robnett, Q. L., and M.R. Thompson, "**Soil Stabilization Literature Reviews,**" Illinois Cooperative Highway Research Program, Project IHR-94, June 1969.
72. Sherwood, P.T., "**Effect of Sulfates on Cement- and Lime-Stabilized Soils,**" Highway Research Board Bulletin No. 353.

---

73. United States Air Force, **"Soil Stabilization for Roads and Streets,"** Department of the Army, Technical-Manual 'TM 5-8224, Department of the Air Force, Manual AFM 88-7, June 1969.

74. Richards, L.A. (1954) **"Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils"**. US Department of Agriculture Handbook 60. California, USA

75. James, A., N., and Lupton, A., R., (1978) **"Gypsum and Anhydrite in Foundation Hydraulic Structures"**, Geotechnique , Vol.28 No.3.

76. Horta, G., c., (1980) **"Calcrete , Gypcrete, and Soil Classification in Algeria"** , Engineering Geology, Vol.15, No.1, Pp: 15-52

77. Ismeal , N.F (1993) **" Laboratory and Field Leaching test on Coastal Salts-Bearing Soils"** Journal of Geotechnical Engineering vol.119 , No.3 ,pp. 453-470.

78. 8. Al-Zory, E.A., & Moataz A. Al-Obaydi (1993) **"The Effect of Leaching on Lime Stabilized Gypseous Soil"**, M.Sc Thesis, Mosul University.

79. Safa H Abid Awn & Waad Abd-Alsattar and Hassan O Abbas **" Improving gypsum soil with salt-resistant Portland cement"**

80. Al-Nouri, I, and Saleam S (1994) **" Compressibility of gypseous sandy soil "** Geotechnical testing journal 17(4) :465-474 .

81. Khaled A. Al-Haddad, 2008 **"The collapse of gypsum soils in the city of Samarra in Iraq"** Department of Applied Geosciences - College of Science - Tikrit University. Iraq

82. British standards institution (BSI) ,1990 **" Method of the test for soil for Civil Engineering Purposes"**. Doc.BS 1377, part 3 London 1990.

83. Wikipedia "Gypsum in the world" <https://en.wikipedia.org/wiki/Gypsum>

84. Google maps " <https://www.google.com/maps/place/Kobajjep,+Syria/>

85. " المواصفات الفيزيائية والكيميائية لمادة الاسفلت " مصفاة بانياس رقم 173-تاريخ 2010/5/10 .

86. " مواصفات مادة الجبس المستخدمة " تحليل معمل الاسمنت بطرطوس

- 
87. M. Al-Aqaby, “**Effect of Kerosene on Properties of Gypseous Soils**”. M. Sc. Thesis, Civil Engineering Department University of Baghdad. 2001.
88. A. Al- Deffae, “**The Effect of Cement and Asphalt Emulsion Mixture on the Engineering Properties of Gypseous Soils**”, M. Sc. Thesis, Civil Eng. Dep. Al- Mustansiria University. 2008.
89. Al-Morshedy, A. D. (2001), “**The Use of Cut-back MC-30 for Controlling the Collapsibility of Gypseous Soils**”, M.Sc. Thesis, Building and Construction Department, University of Technology
90. Al-Alawee, A.B., (2001): “**Treatment of Al-Therthar Gypseous Soil by Emulsified Asphalt Using Mold Test**” M.Sc. Thesis Building and Construction Department University of Technology, Baghdad
91. Esho, B. G. (2004): “**Stabilization of Gypseous Soils by Lime and Emulsified Asphalt**”, M.Sc. Thesis, College of Engineering, University of Mousl.
92. Al-Harbawy, A.F.Q., Al-Khashab, M.N., 2004, " *The Effect of Emulsified Asphalt Addition on Some of the Engineering Properties of Expansive Clayey Soils* ", Eng. And Technology, Vol.2, No. 23, PP.51-71
93. Al-Saidi, Aamal. A., Ban, H. Al-Khayat, and Saad, I. Sarasam, 2011" *Implementation of Gypseous Soil- Asphalt Stabilization Technique for Base Course Construction*" Journal of Engineering, Vol.5, and PP.1.
94. Aziz, H. Y., 2011" *Gypseous Soil Improvement Using Fuel Oil*" International Journal of Civil, Environmental, structural, Construction and Architectural Engineering, Vol.5, No.3
95. S. Sarsam, Aamal AL-Saidi, Ban AL-Khayat "Implementation of Gypseous soil-asphalt stabilization technique for base course construction" Journal of Engineering, Vol. 17 No.5, December 2011. (P 1066-1076).
96. M. Al-Safarani, “**Improvement Ability of Gypseous Soil Characteristics Using Cutback Asphalt and Lime**”. M. Sc. Thesis, Civil Engineering Department, University of Al – Mustansiria, 2007

---

## **" Stabilization of Gypseous Soil by Emulsified Asphalt"**

### **Abstract**

Gypsum soil appears strong and stable structure in its semi-dry natural state, but it becomes weak and highly susceptible to collapse by the effect of water, which causes large and unexpected falls of the facilities established on this soil.

Experiments were carried out silty sand soils with a gypsum content (32%), high-plasticity, soils with a gypsum content (30.6%), and the physical and mechanical properties of the two soils were determined. For the soil for each added percentage of gypsum, it was found that the higher the soil content of gypsum, the plasticity properties and the susceptibility of the soil to swelling due to interactions occur between the calcium ions present in the gypsum with the clay found in the soil. Gypsum n.

In order to address the problems of this soil, we studied the addition of asphalt solution to the main soil properties with a gypsum content. Through these experiments on the two soil, it was found a decrease in the maximum volumetric dry weight and an increase in the fundamental humidity by increasing the ratio of asphalt and improving the resistance to free pressure until an ideal value of the solution Asphalt and this value reached (6%) for sandy soils and (8%) for clay soils and then decreased by increasing the solution in the soil and also the value of CBR increases until an ideal value (8%) for sandy soils and (10%) for clay soils and then decreases by increasing the asphalt content as noted Significant improvement in collapsibility and scalability Bulge, where there was a significant decrease in these properties with an increase in the asphalt solution.

We hope that this research with its results and methodology will constitute a starting point for other research with the aim of comparing our results with other results using other additions to gypsum soils.



---

Syrian Arab Republic

Ministry of Higher Education

AL-Baath University

Faculty of Civil Engineering

Geotechnical Engineering Department



## Stabilization of Gypseous Soil by Emulsified Asphalt

Research prepared for a Masters degree in Geotechnical Engineering

Prepare

Engineer Mohamed Bassam Eid

Supervisor

Professor Dr. Ali Al-Abdullah

Professor at the Department of Geotechnical Engineering

College of Civil Engineering - Al-Baath University

1441–2020