

جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

الجامعة التكنولوجية

قسم البناء والانشاءات

فرع طرق وجسور

R

معالجة التربة الجبسية باستخدام البنتونايت ودراسة الانهيارية

Treatment of Gypseous soil by Bentonite with
studying their collapsibility

مشروع مقدم الى قسم البناء والانشاءات في الجامعة التكنولوجية كجزء
من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في هندسة البناء والانشاءات

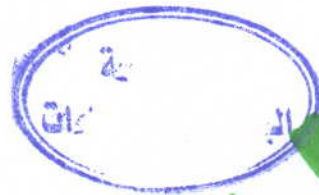
إعداد الطالبتين

براءة عدنان جواد

سحر سامي داود

بإشراف

الأستاذ الدكتور: حسين حميد كريم



2010م

طرق وجسور

اللهمراء

يا ذا الذي سعى وسقى للأنعم بالراحة والهناء والذي لم يبتخل علمي بشيء
من أجل وعي في طريق النجاح والسعادة ويا ذا من علمني يا ذا رفقني سلم الحياة
بحكمة وصبر ويا ذا من طيبته بلا حدود

يا ابي العزيز

يا ذا بلسم القواء واللؤلؤ المكنون يا ذا من تحت اقدامها الجناح والعبود يا ذا
لب قلبي ورحمته حيا نبي يا ذا من رضاها بغلاني وسعادتها لامني يا ذا من
حنانها وطيبتها اللؤلؤ صفها الكون

يا امي الحنون

شكر وتقدير

الحمد لله الذي لا يبلغ مدحه القائلون

ولا يؤدي حقه المجتهدون

حمدا يكون لعق قضائه وشكر أداءه وبعد.....

نتوجه بالشكر والتقدير

إلى الأستاذ الدكتور حسين كريم المشرف على هذا

المشروع الذي منحنا من وقته الثمين

وما قدمه من توجيهاته سديدة التي ساهمت في انجاز

هذا المشروع

المحتويات

الجزء النظري:-

مقدمة عن التربة الجبسية	الفصل الأول
المقدمة	1-1
ما هي التربة الجبسية	2-1
مشاكل الترب الجبسية	3-1
المقدمة من هذه الدراسة	4-1

خصائص ومشاكل الترب الجبسية	الفصل الثاني
الجبس والترب الجبسية	1-2
الخصائص الفيزيائية للترب الجبسية	2-2
مشاكل الترب الجبسية الهندسية المقامة على الترب الجبسية	3-2
تحسين الترب الجبسية	4-2

الجزء العملي:-

التجارب والاستنتاجات	الفصل الثالث
ايجاد المحتوى الجبسي	1-3
التجارب الخاصة بحساب الانهيارية	2-3
اختيار نسبة البنتونايت المثلى	3-3
الاستنتاجات والتوصيات	4-3

المفصل الأول

مقدمه عن التربيه الجبسيه

INTRODUCTION

1- المقدمة: - Introduction

هناك مساحات كبيرة من سطح الكرة الأرضية مغطاة بتراب سريع التآثر بالتغيرات الكبيرة بمقدار الحجم الكلي لها عندما تصبغ مشبعة بالماء بالنهاية تدعى هذه المواد بالتراب الأنهياريه واحده من اهم هذه التراب الأنهياريه تسمى بالتراب الجبسيه. تتكون الصخور الجبسيه نتيجة لتبخر المياه المالحة للبحيرات المتكونه في المناطق الصحراويه او شبه الصحراويه. بصوره عامه تنتشر الصخور الجبسيه في بقاع كبيره من الكرة الأرضيه مثل الولايات المتحده الامريكيه حيث تستعمل هذه المساحات الكبيره لصناعه الجص وكذلك كمواد مالئه. وكذلك فان التراب الجبسيه يمكن ان تتواجد في المناطق الجافه وشبهه الجافه حيث تغطي مايقارب 6.7% مساحات العالم الكليه ومايقارب (20-31.7) من مساحه العراق حيث تحوي ترابه العراق على حوالي (10-70) (نشأت ، 1993). هذه النسبه العاليه التي تحتويها ترابه العراق من الصخور الجبسيه تمثل تحديا للمهندسين المدنيين من حيث صعوبه التعامل معها نتيجة لسلوكها المتغير والخطير.

1-2 ماهي الترابه الأنهياريه: - Collapsible Soils

تعرفه الترابه الأنهياريه على انها الترابه الغير المشبعه والتي تعاني من اعاده ترتيبه في جزيئاتها وحصول تغيير كبير في حجمها عندما تتعرض الى الترطيب سواء كانت تحت احمال او بدونها. وتعتبر الترابه الجبسيه حسب هذا التعريف من الترابه الأنهياريه والتي تتكون اساسا من كبريتات الكالسيوم المائيه حيث يتواجد معدن الجبس في تركيب الترابه

كما انه رابطة عندما تكون التربة جافة وعادة تكون الصخور والتربة
الجبسية قوية جدا اذا كانت جافة ولكن اذا ما تعرضت الى الترطيب
سيحصل اذابة فيها وتصبح التربة هشة وضعيفة جدا وهذا هو سبب
ظهورها (Mitchell, 1976).

٣-١ مشاكل التربة الجبسية: - Problems of Gypseous Soils

للتربة الجبسية العديد من المشاكل التي تهدد المنشآت الهندسية والتي
تشكل تحديا للمهندسين المسؤولين عن هذه المشاريع المنشاه على هذه
النوعيه من التربة. في ما يلي استعراض لبعض المشاكل الناتجه عن النسبه
العاليه للصخور الجبسيه في تربه العراق :-

١. مشاكل ناتجه عن انهيار التربة الجبسيه مثل فندق سامراء السياحي و
خزان الماء المرتفع في سامراء.

٢. مشاكل ناتجه عن زياده ترشح الماء الى داخل التربة كما في سد
الموصل .

٣. مشاكل ناتجه عن تليين التربة كالذي حدث في معمل تكرير بيجي.

٤. مشاكل ناتجه عن هجوم الكبريتات كالذي حدث في سد بنايات
في العبايه.

1-2 الهدف من هذه الدراسة - Aim of the Study

ان الهدف من هذا المشروع هو دراسة التربج الجبسيه وذلك من خلال حساب المحتوى الجبسي لعدد من نماذج التربج الجبسية في منطقة الثرثار غرب العراق وتبيان مدى تأثيرها على المنشآت الهندسيه وذلك من خلال دراسته معالجتها وذلك باستخدام البنتونايت وتحديد نسبة البنتونايت المثلى التي تحقق افضل تحسن للتربج الجبسيه التي سنعالجها وذلك من خلال حساب الانهيارية لها Collapsibility .

المفصل الثاني

خصائص ومشاكل الترب الجبسية

PROPERTIES OF GYPSEOUS
SOILS & THEIR PROBLEMS

٢-١ الجبس والتربة الجبسية: - Gypsum & Gypseous Soils

الصخور الجبسية عبارة عن املاح معدنية ابي كبريتات الكالسيوم او كبريتات الكالسيوم المائية وكلاهما ذات تشكيل بلوري. اختلف الفن وروميرو (Alfen and Romero, 1971) ان التربة تعتبر جبسية في حاله احتوائها على نسبة اقل من ٢% من الجبس . بينما وصف البرزنجي (١٩٧٣) (التربة بحسب محتوى الجبس كالآتي

جدول (٢-١) تصنيف التربة الجبسية (البرزنجي ١٩٧٣).

GYP SUM CONTENT	CLASSIFICATION
٠.٠-0.3	Non-Gypsiferous
٠.٣-٣.٠	Very-slightly gypsiferous
٣.٠-١٠	Slightly gypsiferous
١٠-٢٥	Moderately gypsiferous
٢٥-٥٠	Highly gypsiferous
٥٠	Gypsiferous soil to be described by other fraction such as clayey or sandy gypsiferous soil

٢-٢ الخصائص الفيزيائية للتربة الجبسية. - Physical Properties of Gypseous Soils

من الضروري معرفة الخواص الفيزيائية والهندسية للتربة الجبسية لمعرفة سلوك هذه التربة وكيفية التعامل معها بالنسبة للمشاريع الهندسية. (Neaimi, 2001). ومن أهم الخواص الفيزيائية والهندسية للتربة الجبسية يمكن أن نتلخص بما يلي (كريم ٢٠٠٩; Ibrahim, 2007)

٢-٢-١ النفاذية: - Permeability

يمكن تعريف النفاذية بأنها المواد المسامية والتي تسمح بمرور أو نزوح الماء أو السوائل الأخرى خلال الفراغات الداخلية المترابطة والمادة التي تحتوي على فجوات مستمرة تسمى نفاذه.

٢-٢-٣ مقاومة القص للتربة الجبسية: - Shear Strength

تتكون إجهادات القص بالتربة نتيجة لتحميل التربة وعندما تصل إجهادات القص إلى قيمة محددة فإن ذلك يسبب حدوث تشوه القص مما يسبب فشل كتلة التربة لذا يمكن تعريف مقاومة القص على أنها مقاومة التشوه الحاصل نتيجة حركة جزيئات التربة المستمرة أو كتلة التربة بتأثير إجهادات القص. تعتمد مقاومة القص في التربة بشكل أساسي على أحد المركبات التالية:

١. المقاومة الانشائية لحركة التربة تكون بسبب تشابك الجزيئات فيما بينها.
٢. المقاومة الجزيئية لتغيير موقع جزيئات التربة المنفردة في نقاط الاتصال.
٣. التماسك والتلاصق بين سطوح جزيئات التربة.

٢-٣ مشاكل التراكيب الهندسية المقاومة على التربة الجبسية. -

ان المشكله الحقيقيه البتوي تواجه المنشآت المقامه على التربه الجبسيه هي ذوبان الجبس عند تعرضه للماء مسببا قلقا في الهيكل الحبيبي للتربه لذا يمكن تلخيص مشاكل التربه الجبسيه بالنقاط التاليه:

١. التربه الجبسيه ذات قابليه كبيره للانتفاخ:-

ان نسبه الانتفاخ للتربه الجبسيه قد تصل او تتجاوز (١٥%) في حاله عدم وجود اثقال تذكر عليها وبمسجه موقع النموذج من السطح اذ كلما اقتربت المسافه من السطح قل الانتفاخ وهذه الظاهره تشير الى عدم صواب الاسلوب الشائع حاليا في حفر الاسس في مناطق التربه الجبسيه والتي يفضلها الكثيرون لسهولته وسرعته ورخص كلفته والمتضمنه نمر الموقع بالماء تمهيدا لحفر مواقع الاسس السببه يعود الى ان الغمر بالماء يسببه ارتفاعا في مستوى قاع حفره الاسس ولذا فان الاساس الذي ينشأ بعد فترة وجيزه سيكون معرضا لهبوط يعادل مقدار الانتفاخ مضافا اليه الهبوط

٢. وجود الانفاق وكهوفه صغيره قريبه من سطح التربه الجبسيه :

ان وجود الانفاق وكهوفه صغيره قريبه من السطح والتي حفرتها مياه الامطار والسيول او الازواء الغير منتظم تحت سطح التربه وغير الظاهره للعيان يشكل مشكله يجب التحري عنها اضافه لما تسببه القوارض والحشرات من انفاق قبل البدء الفعلي للأعمال الهندسيه المدنيه لذا فان استخدام الطرق الجيوفيزيائيه يكون ضروريا قبل البدء بالعمل هي طريقه فعاله ومفيده ورخيصه الكلفه نسبيا لما توفر من معلومات عن التربه الجبسيه

٣. تظفر المباني والمنشآت على التربه الجبسيه

تعاينى المنشآت والمباني القائم على التربة الجبسيه من تشققات بعد سنوات من انشائها وذلك بسبب مشاكل المطول التي تعاينى منها التربة الجبسيه حيث تنضغط التربة عند تسليط القوى عليها وهي مغموره بالماء ولا يتوقفه الانضغاط عمليا بعد فترة من الزمن تكون نسبة الهبوط طرديه مع الثقل المسلط فيما اذا استمر الثقل او الاساس حتى لو كانت التربة يابسه وتتضاعف في حاله الانحمار بالماء

٤. مشاكل زياده نزوح الماء خلال التربة الجبسيه

ان استمراريه تدفق الماء سواء كانت من انبوج مَكسور او نزوح مستمر من قناة خرسانيه او سده ترابييه غير مكسوه مستقاة تربتها من منطقه تربتها جبسيه تؤدي الى زياده ذوبان التربة الجبسيه وهناك امثله واقعيه حديثه حدثت خلال السنوات الماضيه في مختلفه مواقع التربة الجبسيه كما في التعليقات الترابيه في سامراء

٥. مشاكل في الطرق والمطارات المقامه على التربة الجبسيه

ان الحاجه انشاء طرق حديثه في الشرق الاوسط بحيث تغطي مساحات واسعه بضمنها تلك المناطق التي تحوي تربتها على نسبة عاليه من الجبس ادى الى خلق مشاكل كبيره حيث يؤدي ذوبان الاملاح ومن ضمنها الجبس من التربة المراد انشاء الطرق عليها عند تعرضها للغمر بالماء لفترات طويله الى انخفاض كبير في مقاومه تلك التربة.

هنالك العديد من الطرق التي تهدف الى تحسين التربة الجبسية نذكر
منها:

١- المعالجة باستخدام المضافات الكيميائية:

وهدفها تقليل اذابة التربة الجبسية خلال الغمر بالماء.

٢- المعالجة باستخدام السمنت:

باستخدام السمنت المقاوم للكبريتات والذي يضاف بنسب مختلفة وهذا
سيؤدي الى تحسين مقاومة الانضغاط وتحسين الانضغاطية
Compressibiliy وكذلك معامل المرونة E و Stiffness

٣- المعالجة باستخدام النورة Lime

باستخدام النورة Lime والتي تضاف بنسب مختلفة وهذا سيؤدي الى
تحسين مقاومة الانضغاط وتحسين الانضغاطية وتقليل النفاذية.

٤- المعالجة باستخدام المعدن الطينية (الكاولين Kaolin)

باستخدام الكاولين والبننتونايت والتي تضاف بنسب مختلفة وهذا سيؤدي
الى تحسين الانهيارية ومقاومة القص.

وهنالك العديد من الدراسات التي اجريت في قسمنا ومنها على سبيل
المثال لا الحصر

(Younan,1980: Kattab,1986,Abood, 1994:
Al- obaidi,1992; Al-Zory,1993Al-Hadithy

وفي مشروعنا هذا سيتم استخدام البننتونايت بنسب مختلفة ودراسة كل
من الانهيارية في كل نسبة للتوصل الى النسبة المثلى..

الجزء العملي

الفصل الثالث

الاحتياجات الغذائية للإنسان
سنتائج التجارب والاحتياجات

1- إيجاب المحتوي الجبرسي في النظام (نسبة GC%):

لايجاد المحتوى الجبسي نعتمد على الخطوات التالية:-
الخطوة الأولى: نأخذ تربة وزنها ٣٦.٧٩ غم من التربة الجبسية الجافة بالصواء
الخطوة الثانية: نضع النموذج من التربة في الفرن الحراري في درجة ٤٥ درجة
منوية لمدة ٢٤ ساعة ثم نزنها ولتكن 1x
الخطوة الثالثة: نفس النموذج من التربة الجافة نضعها في فرن درجة حرارته ١٠٠ درجة
منوية ولمدة ٢٤ ساعة ثم نزن النموذج ٢x
ملاحظة:- يجب التأكد من ثبوت وزن النموذج في درجة ٤٥ درجة سيليزية وذلك
بوضعه مرة ثانية في الفرن لتأكد من ثبوت الوزن وهذا خاص بالتربة الطينية

الحسابات:-

لمعرفة النسبة المئوية لمحتوى الجبسي نستخدم المعادلة التالية:

$$100 * 4.7778 * \{(tin - وزن 1x) \setminus (2x - 1x)\} = \%Gc$$

٤.٧٧٧٨:- النسبة العكسية بين وزن الماء الى وزن النموذج

١- التربة الأولى من ذرايح الترتار:-

$$100 * 4.7778 * \{(32.8 - 32.5) \setminus (32.8 - 32.8)\} = \%Gc$$

= ١٥%

٢- التربة الثانية من ذرايح الترتار:-

$$100 * 4.7778 * \{(32.8 - 50.9) \setminus (49.2 - 50.9)\} = \%Gc$$

= ١٣%

٣- التربة الثالثة من الترتار:-

$$100 * 4.7778 * \{(32.8 - 69.1) \setminus (67.8 - 69.1)\} = \%Gc$$

= ١٤%

٤- التربة الرابعة من الترتار:-

$$100 * 4.7778 * \{(32.8 - 56.4) \setminus (55.3 - 56.4)\} = \%Gc$$

= ١١%

٥- التربة الخامسة من الترتار:-

$$100 * 4.7778 * \{(32.8 - 58.0) \setminus (58.3 - 59.59)\} = \%Gc$$

= ٢١%

وسوف يتم الاعتماد على النموذج ذو المحتوى الجبسي ٢١% لأنها التربة الحاوية على أكثر انهيارية وأكثر خطورة وسوف يتم معالجتها بالبيتونايته والجدول التالي يوضح المحتوى الجبسي للتربة الجبسية

جدول (٣-١) لتوضيح موقع ومحتوى التربة الجبسية الخمسة

محتوى الجبسي	الموقع	معد
١٥%	من ذرايح التفرار	التربة الأولى
١٣%	من ذرايح التفرار	التربة الثانية
١٤%	من التفرار	التربة الثالثة
١١%	من التفرار	التربة الرابعة
٢١%	من التفرار	التربة الخامسة

٣- التجارب الخاصة بحساب الانهيارية *Collapseability*

١- إعداد وتحضير النموذج بالاعتماد على الكثافة:-

الخطوة الأولى: تم تحديد الكثافة ومقدارها $m^3 \setminus kn14$

الخطوة الثانية: أخذت إبعاد الحلقة (Ring)



٧٥ ملم

١٩ ملم

لغرض إيجاد حجمه

الخطوة الثالثة: احتساب وزن التربة التي يستوعبها

(Ring) باستخدام المعادلة التالية:-

$$\text{وزن} = \text{كثافة} * \text{الحجم} = 14 \setminus m^3 \setminus KN * 3.94 \setminus cm^3 = 55.16 \setminus kg$$

$$= 55.16 \setminus kg \setminus N \setminus 1000 \setminus N \setminus kg$$

$$= 55.16 \setminus gm$$

الخطوة الرابعة: تحضير (Ring) وذلك بوضع ورقة الترشيع من الأسفل مقصوفة على مسافة (Ring) ومن الأعلى نضع غطاء الحلقة (Ring) وبعدها نضع النموذج المحضر (تربة + Ring المحضر) في جهاز الضغط ونبدأ بتحرك عجلة الجهاز لضغط النموذج وحتى يصل إلى كثافة المطلوبة وذلك لوصوله إلى حافة (Ring) وبعدها نأخذ النموذج الضغوط ونرفع الغطاء الحلقة عنة ونضع ورقة ترشيع من الأعلى مقصوفة على مسافة (Ring) ويوضع في خلية الجهاز (الأوديوميتر).

ب- فحص الانهيارية (*Collapsibility*)..

لأجل القيام بفحص الانهيارية تم اخذ النسب التالية:

- 1- بدون إضافات والفحص جافه وطبع
- 2- بإضافة ٥% بنتونايت والفحص جافه وطبع
- 3- بإضافة ١٠% بنتونايت والفحص جافه وطبع
- 4- بإضافة ١٥% بنتونايت والفحص جافه وطبع
- 5- بإضافة ٢٠% بنتونايت والفحص جافه وطبع

الأدوات المستخدمة في فحص الانهيارية:-

- 1- جهاز الأوديوميتتر
- 2- مقياس النزول
- 3- إيثقال العمل
- 4- ساعة توقيت
- 5- معدات وأدوات مختبريه لغرض تسوية النموذج

طريقه الفحص:-

يوضع النموذج المحضر داخل خليه الانضمام مع وجود وضع العجر المسامي الجافه أسفل والعلوي النموذج ووضع ورقه ترشيح مناسبة لغرض حماية الجهاز من الجبس الذي سوف يذوب بعد أضافه الماء مع ملاحظة تطابق العجر العلوي مع قطر النموذج وتجنب تماسه مع قطر الحلقة ثم يثبت طوق خليه الانضمام وقرص التحميل الدائري وتشد كفافه البرانخي الموجودة. توضع خليه الانضمام في مكانها الصحيح في جهاز الانضمام ويثبت ذراع التحميل ويثبت مقياس النزول على القرص الدائري ويتم تصفير مقياس الجهاز استعدادا لبدا الفحص. يوضع النموذج في جهاز فحص الانضمام وبمحتوى رطوبته الطبيعي بعد ذلك نبدأ بتسليط الأحمال وبصوره تراكمية حيث يتم مضاعفه العمل المسلط في كل مره وكالاتي : (٢٥-٥٠-١٠٠-٢٠٠-٤٠٠-٨٠٠) kPa يبدأ التحميل حيث يترك لمده ساعة للأحمال من (٢٥ kPa) إلى (٢٠٠kPa)

عندما نصل إلى (٢٠٠kPa) يترك النموذج تحت هذا الحمل لمدة ١ ساعة، بعد ذلك يتم إضافة الماء إلى النموذج ويترك لمدة ٤ ساعة يتم تسجيل التغيير بالحجم نتيجة نقصان الماء ويحسب الانهيار من خلال المعادلة:

$$C_p = (e_1 - e_0) / e_0 * 100$$

بعد ذلك يتم إكمال الفحص حتى يتم الوصول إلى أقصى حمل (٨٠٠ kPa) بعد هذا يتم رفع الحمل بصورة منتظمة وذلك بتقسيم الأحمال على أربعة وتعاد نفس العملية بعد إضافة النسب التالية من مادة البنتونايت وهي: (٥% - ١٠% - ١٥% - ٢٠%).

التجربة الأولى بدون إضافة :-

تأخذ التربة بدون أي إضافات ويكون الفحص جاف في البداية وبعدما رطب تحويل من قراءة الجواز إلى ملم:-

(قراءة الجواز الكلية - قراءة الجواز بعد وضع الحمل) * الدقة الجواز

١- عند وضع ثقل مقداره ٢٥ نيوتن وهي جافة

$$mm \cdot 11 = 0.02 * (2445 - 2500)$$

٢- عند وضع ثقل مقداره ٥٠ نيوتن وهي جافة

$$mm \cdot 222 = 0.02 * (2389 - 2500)$$

٣- عند وضع ثقل مقداره ١٠٠ نيوتن وهي جافة

$$mm \cdot 338 = 0.02 * (2331 - 2500)$$

٤- عند وضع ثقل مقداره ٢٠٠ نيوتن وهي جافة

$$mm \cdot 43 = 0.02 * (2285 - 2500)$$

٥- عند وضع ثقل مقداره ٢٠٠ نيوتن وهي رطب

$$mm \cdot 223 = 0.02 * (1385 - 2500)$$

حساب ارتفاع النموذج بعد وضع كل ثقل من الأثقال علما ان سمك الحلقة

(Ring) هو ١٩ ملم وذلك من خلال المعادلة التالية:-

$$2H_0 = \text{الارتفاع الحقيقي} - \text{قراءة الجواز ب ملم}$$

١- في حالة عدم وجود أي ثقل:-

$$mm19=0.19$$

٢- في حالة إضافة ثقل مقداره ٢٥ نيوتن ومقدار هبوطه هو mm٠.١١

$$mm18.89=0.11-19$$

٣- في حالة إضافة ثقل مقداره ٥٠ نيوتن ومقدار هبوطه هو mm٠.٢٢٢

$$mm18.778=0.222-19$$

٤- في حالة إضافة ثقل مقداره ١٠٠ نيوتن ومقدار هبوطه هو mm٠.٣٣٨

$$mm18.662=0.338-19$$

٥- في حالة إضافة ثقل مقداره ٢٠٠ نيوتن ومقدار هبوطه هو mm٠.٤٣

$$mm18.57=0.43-19$$

٦- في حالة إضافة ثقل مقداره ٢٠٠ نيوتن ومقدار هبوطه هو mm٢.٢٣

$$mm16.77=2.23-19$$

لحساب سمك التربة بعد استخراج الفجوات منه نستخدم المعادلة التالية

$$2H_s = \text{وزن التربة الحقيقي} / (\text{مساحة } ring * Gs * \text{كثافة الماء})$$

$$2H_s = 117.57 / (1 * 2.56 * 24.18)$$

$$mm10.4 = 2H_s$$

لحساب نسبة الفجوات في التربة يجب تقسيم حجم الفجوات على حجم التربة الصلد

بدون فجوات وذلك موضع في المعادلة التالية

$$2H_s \setminus (2H_s - 2H_o) = e_o$$

١- احتساب نسبة الفجوات قبل اضافة أي ثقل وهو جافه

$$0.82692307 = 10.4 \setminus (10.4 - 19) =$$

٢- احتساب نسبة الفجوات بعد اضافة ثقل مقداره ٢٥ نيوتن وهو جافه

$$0.816326153 = 10.4 \setminus (10.4 - 18.89) =$$

٣- احتساب نسبة الفجوات بعد اضافة ثقل مقداره ٥٠ نيوتن وهو جافه

$$0.8055769 = 10.4 \setminus (10.4 - 18.778) =$$

٤- احتساب نسبة الفجوات بعد اضافة ثقل مقداره ١٠٠ نيوتن وهو جافه

$$0.794423 = 10.4 \setminus (10.4 - 18.662) =$$

٥- احتساب نسبة الفجوات بعد اضافة ثقل مقداره ٢٠٠ نيوتن وهو جافه

$$0.7855769 = 10.4 \setminus (10.4 - 18.57) =$$

٦- احتساب نسبة الفجوات بعد اضافة ثقل مقداره ٢٠٠ نيوتن وهو رطب

$$0.6125 = 10.4 \setminus (10.4 - 16.77) =$$

وبعد ايجاد نسبة الفجوات في كل ثقل من الأثقال نقوم باحتساب نسبة الانهيارية الموجودة في التربة الجبسية وهي خالية من الوحدات وذلك من خلال المعادلة التالية:

$$C_p \% = \{(e_0 - e_f) / (1 + e_0) * 100\}$$

$$= \{(0.7855769 - 0.6125) / (1 + 0.7855769) * 100\}$$

$$= 9.693052145$$

حيث ان:-

e_0 :- نسبة الفجوات في التربة للثقل مقداره ٢٠٠ نبت وهو جاف

e_f :- نسبة الفجوات في التربة للثقل مقداره ٢٠٠ نبت وهو رطب

وفي الجدول التالي توضيح للحسابات اعلاه

جدول (٢-٣) يوضح الاحمال والقراءات ونسبة الفجوات الانهيارية بدون اضافة

الأحمال المضافة	القراءات النهائية	تغير dial إلى (mm)	$2H_0$	e_0	$C_p \%$
٠	٢٥٠٠	٠	١٩	٠.٨٢٦٩٢٣	
٢٥	٢٤٤٥	٠.١١	١٨.٨٩	٠.٨١٦٣٤٦	
٥٠	٢٣٨٩	٠.٢٢٢	١٨.٧٧٨	٠.٨٠٥٥٧٦٩	
١٠٠	٢٣٣١	٠.٣٣٨	١٨.٦٦٢	٠.٧٩٤٤٢٣	
٢٠٠	٢٢٨٥	٠.٤٣	١٨.٥٧	٠.٧٨٥٥٧٦٩	٩.٦٩
٢٠٠	١٣٨٥	٢.٢٣	١٦.٧٧	٠.٦١٢٥	