عنوان البحث

تحسين خواص التربة باستخدام المضافات

(كاربونات الصوديوم)

الاعداد: المهندس علاء عادل عناد

التسلسل	الموضوع	الصفحة
الفصل الاول		
	المقدمة	1
1-1	رص التربة	1
2-1	تحسين خواص التربة بادخال مواد اخرى في التربة	1
1-2-1	الحقن	1
2-2-1	انشاء اعمدة في الموقع من مواد مختلفة	2
3-2-1	وضع الشبكات بين الترابية	2
3-1	معالجة الفراغات المملوءة بالماء في التربة	3
1-3-1	الابار النقطية	3
2-3-1	القوى الكهربائية	3
3-3-1	التجميد	3
4-1	تثبيت التربة بالمضافات	3
1-4-1	خلط الطين _ حصى	3
2-4-1	خلط التربة مع الاسمنت	4
3-4-1	اضافة القير او الاسفلت الى التربة	4
4-4-1	اضافة الجير الحي للتربة	4
5-4-1	اضافة الأملاح الى التربة	4
الفصل الثاني		
1-2	لدونة التربة و حدود القوام	10
1-1-2	حد السيولة	12

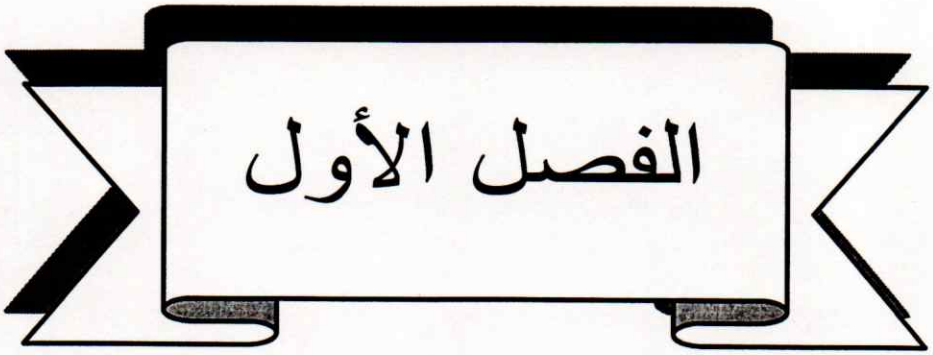
2-1-1- أ	طريقة كازاكراندي	12
2-1-1- ب	طريقة المخروط	14
2-1-2	حد اللدونة	15
2-1-3	دليل اللدونة	15
2-1-4	دليل السيولة	16
2-1-5	العوامل التي تؤثر على حدود اتربرك	16
2-1-6	بعض الاستخدامات الهندسية لحدود اتربرك	17
2-2	فحص بروكتر القياسي	17
2-3	فحص الضغط الغير محصور	17
2-4	مقاومة القص للتربة	18
2-5	التثبيت الميكانيكي(الرص)	19
2-6	ميكانيك الرص و دور الماء في ذلك	19
الفصل الثالث	المقدمة	21
3-1	التربة المستخدمة	22
3-2	المادة المضافة المستخدمة	22
3-3	الفحوصات المختبرية	22
3-3-1	فحص حدود القوام	22
3-3-2	فحص الضغط الغير محصور	23
3-3-3	فحص الرص	23

4-3	نسبة المواد المضافة	23
5-3	النتائج والمناقشة	23
1-5-3	فحص حدود القوام	23
2-5-3	فحص الضغط الغير محصور	24
3-5-3	فحص رص التربة	24
الفصل الرابع		
1-4	الاستنتاجات	27
	المصادر	28
	الملحق	29

الخلاصة

تم دراسة اضافة مادة مطحون حجر الكلس(كاربونات الكالسيوم Ca Co3) (الغبرة) كمادة مضافة وذلك لتوفرها في الأسواق ورخص ثمنها , , وهي مادة خاملة لا تتفاعل مع الماء , حيث تم دراسة اضافة هذه الماده على تربة طينية غرينية بنسب مختلفة وتاثيرها على حدود القوام(consistency limits),اجهاد القص (shear stress) ورص التربة(soil compaction) .

لقد أظهرت النتائج ان هناك تحسن في خواص التربة باضافة المادة المذكورة اليها وأعطت نسبة الأضافة (6%) أفضل النتائج حيث أنخفضة قيم حدود القوام لتصل الى 28, 18 , 10 لكل من حدي السيولة (LL) واللدونة (PL) ومؤشر اللدونة (PI) على التوالي وكان هناك تحسن كبير في أجهاد القص حيث تزداد النسبة المؤية للتحسن عند نسبة الأضافة أعلاه لتصل بحدود 54.8% ونسبة زيادة في الكثافة الجافة بحدود 2%


الفصل الأول

الفصل الاول

المقدمة

في بعض الاحيان تكون حالة التربة في الموقع (الخواص الهندسية للتربة) غير مناسبة لتنفيذ المشاريع المختلفة عليها (ابنية ، سدود ، تعليات ترابية ، طرق ... و غيرها) مما يستوجب تحسين خواص هذه التربة قبل التنفيذ أثناء اعداد الموقع و بأقل كلفة مكنة . هناك طرق عديدة لتحسين التربة (Ground Improvement) التي تعمل على تقليل نفاذية التربة (Permeability) و زيادة قوة التربة (Shear Strength) و تقليل انضغاطيتها (Consolidation) حيث يتم اختيار الطريقة حسب نوع التربة في الموقع و طبيعة المنشأ المنفذ و الخواص المطلوب تحسينها للتربة و عمق الطبقة المراد تحسين خواصها و يمكن حصر طرق تحسين التربة ضمن المجاميع الرئيسية المبينة أدناه و يبين الجدول (1 – 1) ملخص طرق تثبيت التربة :-

1-1- رص التربة (Soil Compaction)

حيث يمكن رص تربة الموقع او رص التربة الجديدة في الموقع بعد استبدال تربة الموقع الأصلية غير المرغوب بها باستعمال معدات الحدل المختلفة المعروفة و تستعمل هذه الطريقة في انشاء السدود و التعليات الترابية و الطرق حيث يتم فرش التربة على طبقات ثم حدلها الى الحد المطلوب بعد اجراء الفحوصات المختبرية الخاصة بالرص لها .

كما يمكن رص التربة الطينية (Clay) باستعمال الأحمال الثابتة و ذلك بتحميل التربة الضعيفة (Weak Soil) بوسائل مختلفة (تعليات ترابية مؤقتة ، كتل كونكريتية وغيرها) لفترة من الزمن ثم ازالة هذه الأحمال و ثم الشروع بالتنفيذ لغرض الحصول على الهبوط المطلوب قبل التنفيذ و كذلك هناك طرق أخرى مثل رص التربة الرملية في الموقع بالأهتزاز و هناك طريقة رص بضخ مزيج من السمنت و الرمل في التربة الضعيفة حيث تعمل هذه المواد على انضغاط التربة و زيادة كثافتها .

1-2-تحسين خواص التربة بادخال مواد أخرى في التربة

1-2-1- الحقن (grouting)

هي مادة سائلة تضخ الى الارض تحت ضغط لأملاء الفراغات في التربة بعد تصلبها . و تستعمل هذه الطريقة للسيطرة على الماء الارضي (Ground Water) و النضح (Seepage) و عادة يستعمل خليط الاسمنت و الرمل لأعمال الحقن لتقليل نفاذية التربة الحصوية و الرملية .

و يتم الحقن بعدة وسائل هي :
(1) الحقن بالاسمنت (Cement Grout) : ان الهدف الاساسي من الحقن بمادة الاسمنت هو عمل حاجز مائي يمنع مرور الماء من موقع لاخر و يمكن اضافة بعض المواد الكيمياوية الى خليط الاسمنت و الماء لغرض تقليل نسبة الاسمنت الى الماء W/C .
(2) الحقن بالمواد الكيمياوية (Chemical Grout) : ان حقن مادة كيمياوية او اكثر تعتبر من اكثر الطرق شيوعا مثل ضخ محلول سليكات الصوديوم في الماء و هو ما يعرف بماء الزجاج (Water Class) و يستخدم للتثبيت الوقتي حيث يتصلب بعد فترة و يبدأ بالتشقق.

1-2-2- انشاء اعمدة في الموقع من مواد مختلفة
Columns Formed in Situation

أ-انشاء أعمدة من الحجر (Stone Columns)
اعمدة من الحجر الخشن المتدرج بين القياس "2/1 الى 3 " تنشأ خلال طبقات التربة القابلة للانضغاط مثل الترب الطينية الضعيفة و الترب العضوية لتقليل مقدار الهبوط الحاصل ضمن حدود معينة .

ب- انشاء أعمدة من الرمل (Sand Columns)
يمكن استخدام هذه الطريقة في التربة الخشنة و الناعمة . ان احد أساليب التنفيذ هو دفع أنبوب مغلق من النهاية الى العمق المطلوب ثم تفتح الفتحة السفلى للأنبوب و يسكب الرمل او الحصو داخل الأنبوب و يرص بينما يتم سحب الأنبوب الى الخارج نحصل على تحسين في كثافة التربة المعالجة من ناحيتين ، الأولى نتيجة دفع التربة أثناء نزول الأنبوب و الثانية نتيجة وضع مادة مسيطر على كثافتها و خواصها بدلا من التربة المزاحة ، و اعمدة الرمل تستعمل لتقوية الترب تحت الاسس الضحلة .

ج- انشاء أعمدة من الجير (Lime Columns)
تتضمن خلط التربة موقعيا و تضغط داخل عمود أسطواني في التربة الطينية الرخوة و تخلط مع مادة ملائمة مثل النورة و عمق العمود المستخدم بحدود (0.5-15m) و تعتمد هذه الطريقة على خواص التربة و خواص النورة و طريقة المزج .
لقد لوحظ عند أستخدام النورة ان قيمة تماسك التربة (Cu) تزداد بمقدار (40-10) مرة و النفاذية تزداد كذلك و لذلك يستفاد منها في عمل المبازل الرملية و تستعمل هذه الأعمدة تحت الأبنية الخفيفة و الطرق و التعليات الترابية لتقليل الهبوط الحاصل في التربة .

1-2-3- وضع الشبكات بين الترابية (Geotextiles)
و تتم بوضع أطوال كبيرة من مشبكات مصنوعة من البلاستيك بين طبقات التربة لغرض السيطرة على التعرية للتربة ويتم تسليح التربة لغرض زيادة قوة التربة(Shear Strength) و عادة تستعمل مع الترب الرملية تحت الاسس الضحلة و في التعليات و الجدران الساندة .

1-3- معالجة الفراغات المملؤة بالماء في التربة (Pore-Water Treatment)

1-3-1- الابار النقطية (Well Points)

عملية خفض مستوى الماء في التربة الرملية بطريقة الابار النقطية فينتج عنها القوى الشعرية (Capillary Forces) التي تعمل كقوى تلاصق بين حبات التربة عند أعمال قطع المنحدرات و تعمل على استقرار التربة .

1-3-2- القوى الكهربائية (Electroomosis)

و تعمل على زيادة القوة بين حبيبات التربة الغرينية المشبعة بالماء (Saturated Silts) في اعمال الحفر و المنحدرات و الانفاق .

1-3-3- التجميد (Freezing)

عملية تجميد التربة المشبعة تعطي استقرار مقبول للتربة عند اعمال الحفر و عمل الانفاق و تقلل من نفاذية التربة و يتم زيادة زاوية الاحتكاك (Ø) و التماسك (C) للتربة و ايضا تزداد مقاومة القص .

1-4- تثبيت التربة بالمضافات

Soil Stabilization with Admixtures

هي عملية تغيير خواص التربة لتحسين ادائها الهندسي و ذلك بخلط مواد معينة معها و اعادة رصها عندما تكون اعمال الرص الميكانيكي لوحدها غير كافية او عندما تكون عملية استبدال تربة الموقع الغير جيدة باخرى جيدة غير ممكنة او مكلفة ، و تتم هذه العملية بـ:-

1- اضافة مواد خاملة لزيادة قوى التلاصق (Apparent Cohesion) وزيادة الاحتكاك الداخلي (Friction Resistance) للتربة .
2- اضافة مواد ذات تأثير كيمياوي او تغيير فيزياوي في مادة التربة .

و يبين الجدول (2-1) طريقة أختيار نوع المضافات حسب نوع تربة الموقع و كذلك يبين الشكل (1-1) و الجدول (3-1) طريقة اختيار نوع المواد المضافة اعتمادا على نوع التربة و التحليل الحبيبي لها .

1-4-1- خلط الطين _ حصى (Clay – Gravel)

تعتبر هذه الطريقة من اقدم الطرق في تثبيت التربة و هي خلط ترب خشنة مع الطين الذي يعطي تلاصق للتربة و هذه الطريقة تساعد على تحسين قوة التربة و تقلل من انضغاطيتها و تفتيتها . و النسبة المستعملة في الخلط هي :

Clay + Silt	22% - 38%
Sand	26%
Gravel	36% - 50%

و عادة تستعمل هذه الطريقة في تحسين التربة في الطرق (Pavement) .

1-4-2- خلط التربة مع الاسمنت (Soil – Cement)

تستعمل هذه الطريقة في الطبقات السفلى من الطرق و كذلك في الطبقة السطحية منها و كذلك تستعمل لحماية التربة من التعرية و تستخدم هذه الطريقة بخلط التراب المسحوق مع نسبة من السمنت و الماء و ثم رص المادة الناتجة بعد فرشها في المكان المهيء لها .

1-4-3- اضافة القير او الاسفلت الى التربة
Soil-Bitumen (Soil-Asphalt)

الترب الرملية و الطينية تثبت باستعمال المواد القيرية و الاسفلتية بعد خلطها بهذه المـــواد ، ففي التربة الرملية تعمل هذه المواد كمادة رابطة مما تزيد من قوة التربة اما في الترب الطينية كمانع للماء (Water Proofed) مع قليل او عدم اي زيادة في قوة التربة.
ان نسبة المواد المضافة للتربة الرملية لغرض زيادة قوتها تتراوح بين 2% الى 10% فـــي حين تضاف الى الترب الطينية بنسبة 1%-2% فقط لعملها كمانع للرطوبة .

1-4-4- اضافة الجير الحي للتربة (Soil-Lime)

تستعمل هذه الطريقة لتثبيت الترب الطينية و خليط الترب الطينية الرملية . و بينت التجارب انه باضافة 2%-4% من هذه المادة Ca(OH)2 من وزن التربة سوف تعمل على تثبيـــت التربة الطينية الحصوية المستعملة في الطبقات السفلية من الطرق (Base) امـــا بالنســـبة للتربـــــة الطينية فقط فتستعمل بنسبة 5%-10% من وزن التربـــة عند استعمـــــال الخليط (Bases of Pavement) و بنسبة 1%-3% عند استعماله كـــــ (Subbese) .

1-4-5- اضافـــــة الأمـــــلاح الى التربـــــة
Calcium and Sodium Chlorides (Salts)

تستعمل عادة الأملاح لتهدئة الغبار و كذلك تستعمل كمضافات لتثبيت الطبقات السطحية للتربة الخشنة في الطرق و كذلك تستعمل لتقليل او منع انتفاخ التربة بسبب الانجماد و ذلك بتخفيض درجة انجماد الماء ، تضاف الأملاح عادة بنسبة 5% من وزن التربة .

* تم في بحثنا هذا دراســـة تأثير اضافـــــة مسحوق حجر الكلس و هي كاربونات الكالسيوم (CaCO3) و التي تسمى بالغبرة على حدود القوام / قوة الانضغاط الغيـــر محصـــور و رص التربة حيث تم اختيار هذه المادة لقلة ثمنها و توفرها في الاسواق و عادة تستعمل هذه المادة في صناعة الكاشي الموزائيك و نثر الواحهات بالسنت و كمادة مالئة (Filler) فـــي صناعة الاصباغ و تستعمل في التربة لأغراض الزراعة *

جدول رقم (1-1)

TABLE 5.2
GROUND-STRENGTHENING TECHNIQUES SUMMARIZED

Conditions	Technique	Application
Low grades	Compacted sand fill	Minimize structure settlements*
Miscellaneous fill		
Shallow	Excavate-backfill	Minimize structure settlement
Deep	Dynamic compaction	Reduce structure settlement†
	Sand columns	Reduce structure settlement
Organics		
Shallow	Excavate-backfill	Minimize structure settlement
	Geotextiles	Support low embankments
Deep	Surcharge	Reduce structure settlement
	Geotextiles	Support low embankments
	Sand columns	Reduce structure settlement
Buried	Surcharge	Reduce structure settlement
	Dynamic compaction	Reduce structure settlement
	Compaction grouting	Arrest existing structure settlement
	Sand columns	Reduce structure settlement
Soft clays		
Shallow	Excavate-backfill	Minimize structure settlement
	Geotextiles	Support low embankments
Deep	Surcharge	Reduce structure settlement
	Geotextiles	Support low embankments
	Sand columns	Reduce structure settlement
	Lime columns	Reduce structure settlement
Buried	Surcharge	Reduce structure settlement
	Dynamic compaction	Reduce structure settlement
	Compaction grouting	Arrest existing structure settlement
	Sand columns	Reduce structure settlement
	Lime columns	Reduce structure settlement
Clays, surface	Gravel admixture	Base, subbase, low-quality pavement
	Lime admixture	Stabilize roadway base and subbase
	Freezing	Temporary arrest of settlement
Loose silts		
Shallow	Excavate-backfill	Minimize structure settlement
	Salts admixture	Dust palliative
	Surface compaction	Increase support capacity‡
Deep	Surcharge	Reduce structure settlement
	Stone columns	Increase support capacity
	Electroosmosis	Increase slope strength temporarily
Buried	Vacuum wellpoints	Improve excavation bottom stability

(continued)

تكملة جدول رقم (1-1)

TABLE 5.2
GROUND-STRENGTHENING TECHNIQUES SUMMARIZED

Conditions	Technique	Application
Loose sands		
Shallow	Surface compaction	Increase support capacity
	Cement admixture	Base, subbase, low-quality pavement
	Bitumen admixture	Base, subbase, low-quality pavement
Deep	Vibroflotation/Terra-probe	Increase support capacity
	Dynamic compaction	Increase support capacity
	Stone columns	Increase support capacity
	Wellpoints	Increase stable cut-slope inclination
	Freezing	Temporary stability for excavation
Buried	Penetration grouting	Arrest existing structure settlement
	Freezing	Temporary stability for excavation
Collapsible soils		
Shallow	Excavate-backfill	Minimize structure settlement
Deep	Hydrocompaction	Reduce structure settlement
	Dynamic compaction	Increase support capacity
	Lime stabilization	Arrest building settlement
Liquefiable soils	Dynamic compaction	Increase density
	Stone columns	Pore-pressure relief
Expansive soils	Lime admixtures	Reduce activity in compacted fill
Rock masses		
Fractured	Compaction grouting	Increase strength
	Penetration grouting	Increase strength
	Bolts and cable anchors	Stabilize slopes and concrete dam foundations
	Shotcrete or gunite	Reinforce slopes
	Subhorizontal drains	Stabilize slopes

*Minimize structure settlement signifies that settlement will be negligible under moderate foundation loads if the technique is applied properly.

†Reduce structural settlement signifies that after application of the technique significant settlement which must be anticipated in the design of the structure may still occur.

‡Increase support capacity signifies that proper application of the technique will result in an increase in bearing capacity and a decrease in compressibility on an overall basis.

جدول (2 - 1)

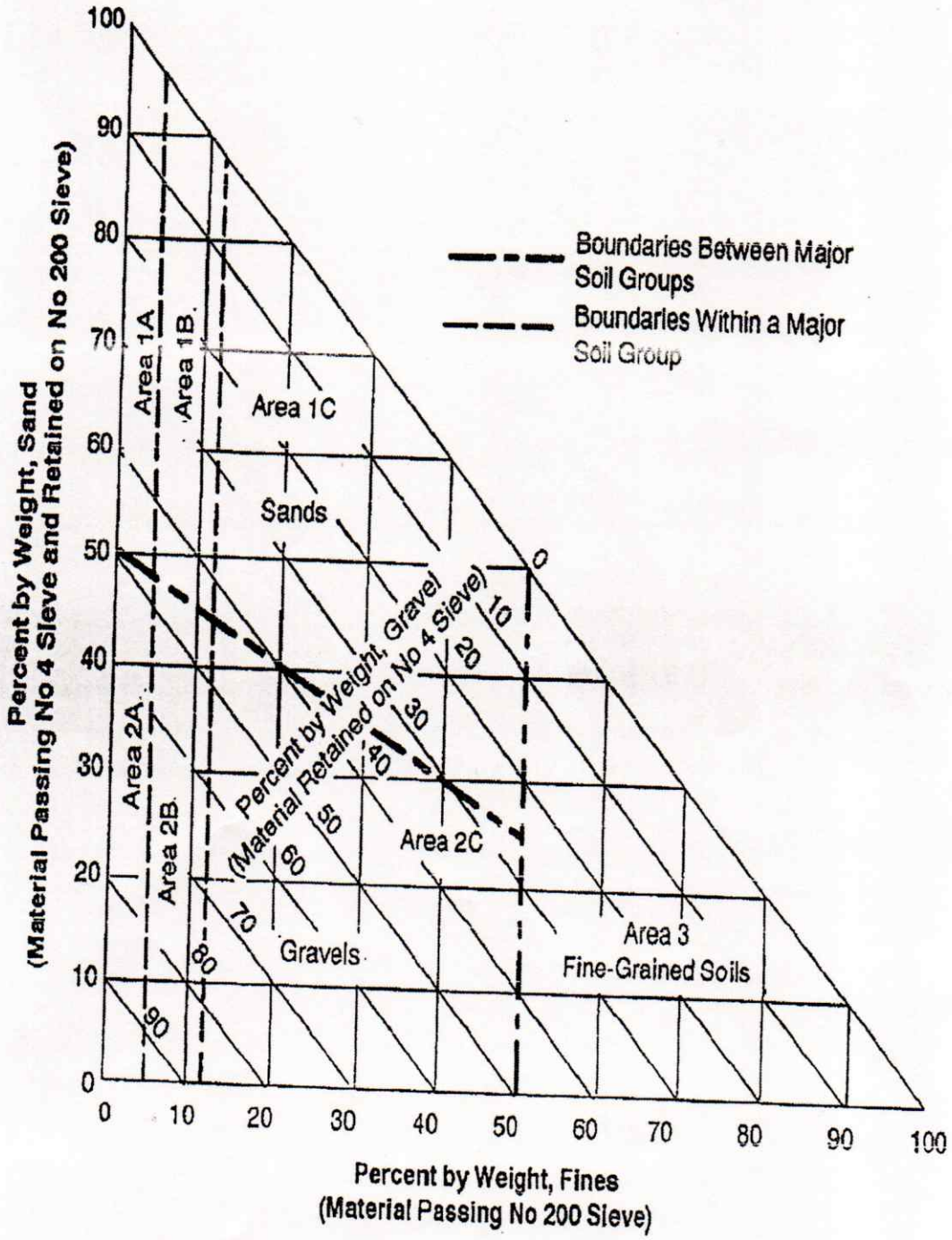
Table 9-2. Stabilization methods most suitable for specific applications.

Purpose	Soil Type	Method
Subgrade Stabilization Improves load-carrying and stress-distribution characteristics	Fine-grained	SA, SC, MB, C
	Coarse-grained	SA, SC, MB, C
	Clays of low PI	C, SC, CMS, LMS, SL
	Clays of high PI	SL, LMS
Reduces frost susceptibility	Fine-grained	CMS, SA, SC, LF
	Clays of low PI	CMS, SC, SL, LMS
Improves waterproofing and runoff	Clays of low PI	CMS, SA, LMS, SL
Controls shrinkage and swell	Clays of low PI	CMS, SC, C, LMS, SL
	Clays of high PI	SL
Reduces resiliency	Clays of high PI	SL, LMS
	Elastic silts or clays	SC, CMS
Base-Course Stabilization Improves substandard materials	Fine-grained	SC, SA, LF, MB
	Clays of low PI	SC, SL
Improves load-carrying and stress-distribution characteristics	Coarse-grained	SA, SC, MB, LF
	Fine-grained	SC, SA, LF, MB
Reduces pumping	Fine-grained	SC, SA, LF, MB, membranes
Dust Palliative	Fine-grained	CMS, SA, oil or bituminous surface spray, APSB
	Plastic soils	CMS, SL, LMS, APSB, DCA 70

Legend:
The methods of treatment are—

APSB	=	Asphalt penetration surface binder	LMS	=	Lime-modified soil
C	=	Compaction	MB	=	Mechanical blending
CMS	=	Cement-modified soil	SA	=	Soil-asphalt
DCA 70	=	Polyvinyl acetate emulsion	SC	=	Soil-cement
LF	=	Lime-fly ash	SL	=	Soil-lime

شكل (1 – 1)


Boundaries Between Major Soil Groups
Boundaries Within a Major Soil Group
Area 1A
Area 1B
Area 1C
Sands
Area 2A
Area 2B
Area 2C
Gravels
Area 3
Fine-Grained Soils
Percent by Weight, Gravel (Material Retained on No 4 Sieve)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Percent by Weight, Sand (Material Passing No 4 Sieve and Retained on No 200 Sieve)
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Percent by Weight, Fines (Material Passing No 200 Sieve)

جدول (1 – 3)

Table 9-3. Guide for selecting a stabilizing additive.

Area	Soils Class	Type of Stabilizing Additive Recommended	Restriction on LL and PI of Soil	Restriction on Percent Passing No 200 Sieve	Remarks
1A	SW or SP	(1) Bituminous (2) Portland cement (3) Lime-cement-fly ash	 PI not to exceed 25		
1B	SW-SM or SP-SM or SW-SC or 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 to exceed 12 PI not to exceed 25	PI 30 or less PI 12 or greater	
1C	SM or SC or SM-SC	(1) Bituminous (2) Portland cement (3) Lime (4) Lime-cement-fly ash	PI not to exceed 10 ------* PI not less than 12 PI not to exceed 25	Not to exceed 30 percent by weight	
2A	GW or 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 percent by weight of material passing No 4 sieve
2B	GW-GM or GP-GM or GW-GC or CP-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 percent by weight of material passing No 4 sieve
2C	GH or GC or GM-GC	(1) Bituminous (2) Portland cement (3) Lime (4) Lime-cement-fly ash	PI not to exceed 10 ------* PI not less than 12 PI not to exceed 25	Not to exceed 30 percent by weight	Well-graded material only Material should contain at least 45 percent by weight of material passing No 4 sieve
3	CH or CL or MH or ML or OH or OL or HL-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

* $PI \leq 20 + \frac{50 - \text{percent passing No 200 sieve}}{4}$

الفصل الثاني

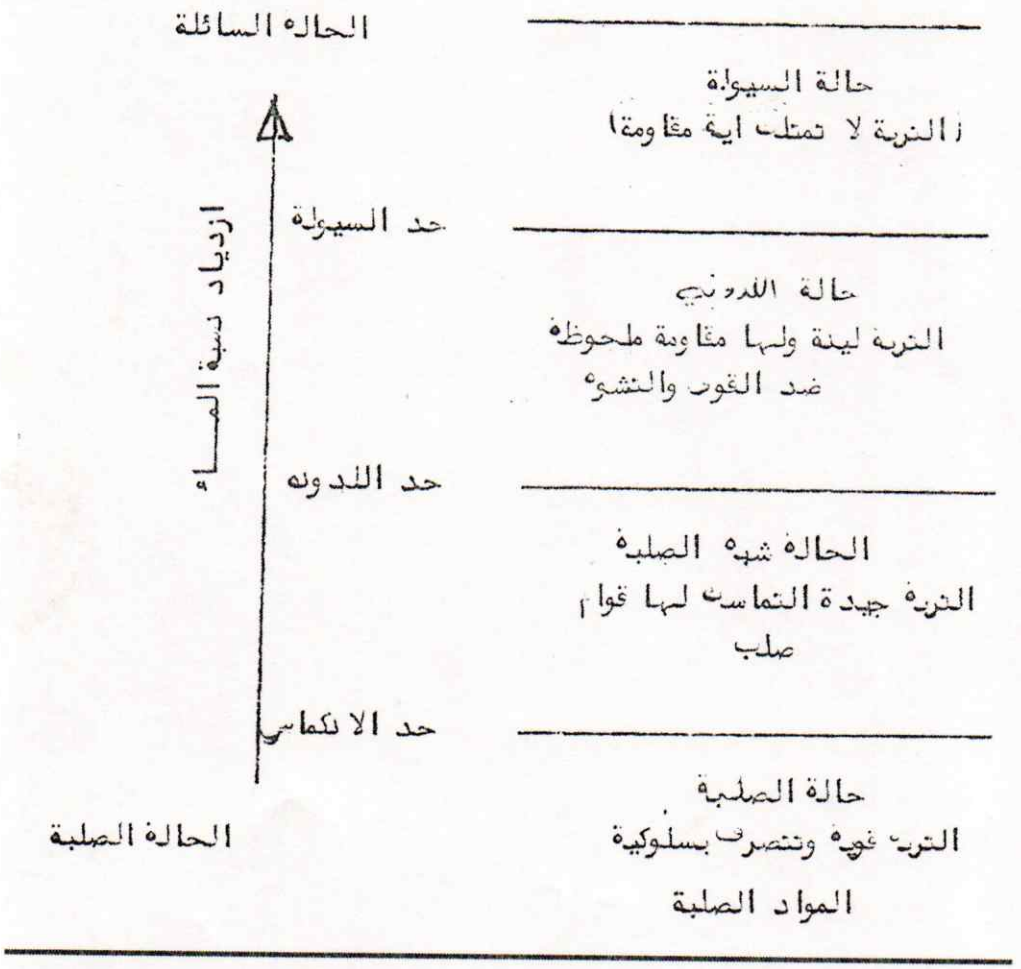
الفصل الثاني

2 – 1- لدونة التربة و حدود القوام
Plasticity of soils and limits of consistency (Atterberg limits)

تظهر جميع انواع التربة تأثيرا واضحا و سلوكا مختلفا عند تغير نسبة الرطوبة فيها و بصورة خاصة التربة الطينية حيث تتأثر بصورة واضحة جدا ، اذ قد يكون الطين كالسائل او قد يكون قويا جدا و ذلك حسب محتواه المائي .
و للتعبير عن قوام التربة و وصف طبيعتها فقد اعتمدت لدونتها كمعيار لذلك و وضعت حدود معينة لوصف حالات التربة تبعا لأختلاف نسبة الماء فيها و التي يمكن ان تقع ضمن احد الاطوار التالية :-

1- عند مزج كمية من التربة مع مقدار كبير من الماء فانها ستتحول الى محلول و لا تمتلك أي مقاومة ضد التشوه deformation اذا ما تعرضت الى ابسط قوة و تم تعريف هذه الحالة بأنها حالة السيولة Liquid State .
2- مع نقصان نسبة الماء في التربة فأنها ستكتسب نوع من القوة و يصبح لها مقاومة ضد التشوه عند تعرضها لقوة ما . و التربة في وضعها هذا تكون لينة و يقال عنها انها في حالة اللدونة plastic state و بناء على ذلك تم تعريف نسبة الرطوبة التي تمثل الحد الفاصل بين حالة السيولة و الحالة اللدنة بالحد المائي Liquid Limit و يرمز له بالرمز .L.L .
2- بازدياد جفاف التربة تبدأ بالتصلب حيث يزداد تماسكها و تبدي مقاومة واضحة ضد
3- القوى المؤثرة عليها و تعرف هذه الحالة بالحالة الصلبة Semi – Solid State .
و يطلق على نسبة الرطوبة التي تمثل الحد الفاصل بين الحالة اللدنة و الحالة شبه الصلبة بحد اللدونة plastic limit و يرمز له بالرمز .P.L .
4- و بأستمرار نقصان كمية الماء تتحول التربة من حالة شبه الصلبة الى حالة الصلبة Solid State حيث تبلغ قوة تماسكها الحد الاقصى و يصبح قوامها صلبا و يطلق على نسبة الرطوبة التي يتوقف عندها النقصان في حجم التربة على الرغم من زيادة جفافها بحد الانكماش Shrinkage Limit و يرمز له بالرمز S.L .

ان اول من وضع حدود القوام للتربة المذكورة انفا هو العالم السويدي اتربرك Atterberg حيث اقترحها عام 1911 و قد اعتمدت كخواص اساسية للتربة الطينية و لا تزال تستعمل للدلالة على ماهية التربة . و تعرف حدود القوام الثلاثة (S.L, L.L , P.L) باسم هذا العالم حيث يطلق عليها اجمالا حدود اتربرك Atterberg Limits . و يبين الشكل (2 – 1) حدود اتربرك و تغاير حالة التربة مع المحتوى الرطوبي لها .



شكل (2 – 1) حالات التربة الطينية من تغاير محتوى الرطوبة

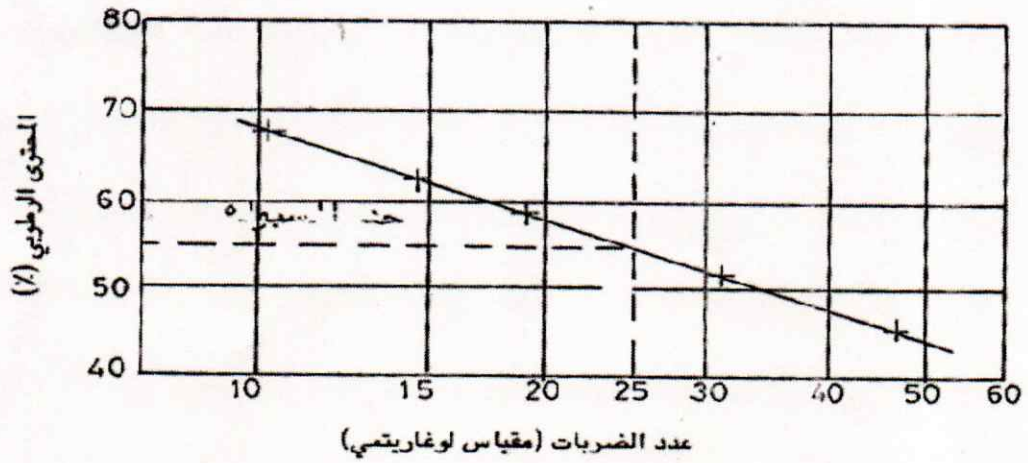
كما ذكر انفا فأن مجموعة حدود القوام و هي حد السيولة ، حد اللدونة ، و حد الانكماش اصبحت تعرف الان بحدود اتربرك الذي اقترح الخطوط العريضة لتعين هذه الحدود (التي هي عبارة عن نسبة الماء في التربة ثم جاء من بعده العالم كاسا كراندي Casagrande الذي صمم جهاز قياس حد السيولة و حدد طريقة تعيينه بدقة اضافة الى تعيين بقية حدود القوام الاخرى) .

2 – 1 – 1- حد السيولة Liquid Limit

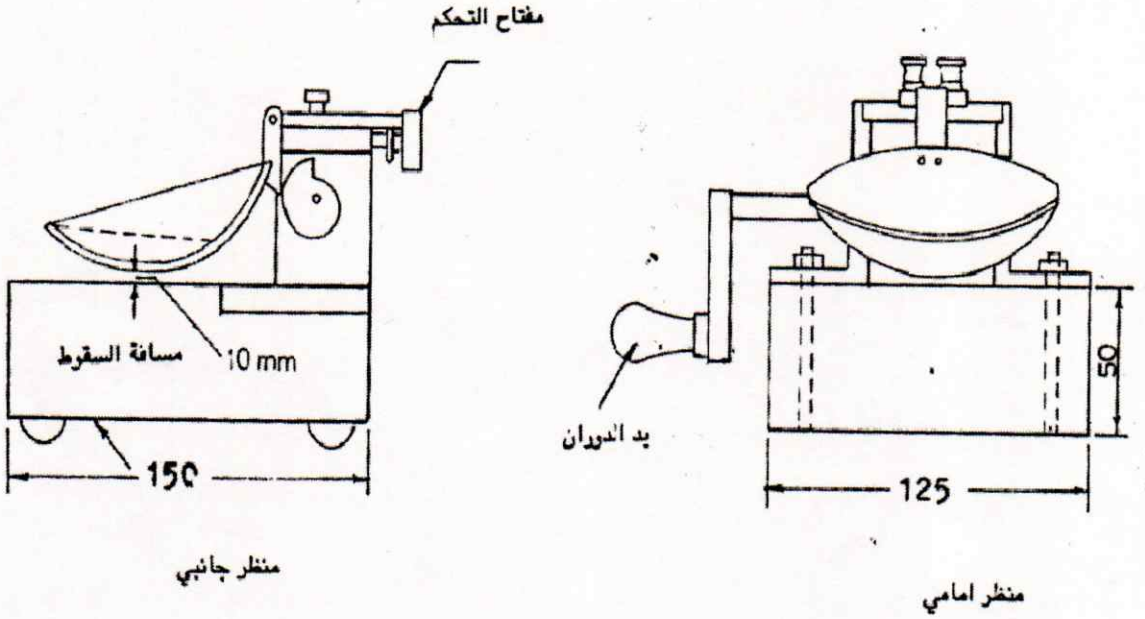
2-1-1- أ - طريقة كازاكراندي

ان حد السيولة كما عرفه اتربرك هو نسبة الماء التي تكون فيها التربة على شكل سائل لزج لا يمتلك اية مقاومة و اذا قلت نسبة الماء عن ذلك المقدار اصبحت التربة لدنة اما التعريف الذي وضعه كازاكراندي لتعيين هذا الحد بأنه الرطوبة التي يلتحم عندها اخدود Groove في عجينة من التربة لمسافة نصف عقدة (1.27 سم) تحت تأثير 25 ضربة في جهاز تعيين السيولة بحيث تكون مسافة سقوط الاناء الذي يحوي التربة (1 سم) و بسرعة ثابتة مقدارها 2 ضربة (ضربتان) لكل ثانية .

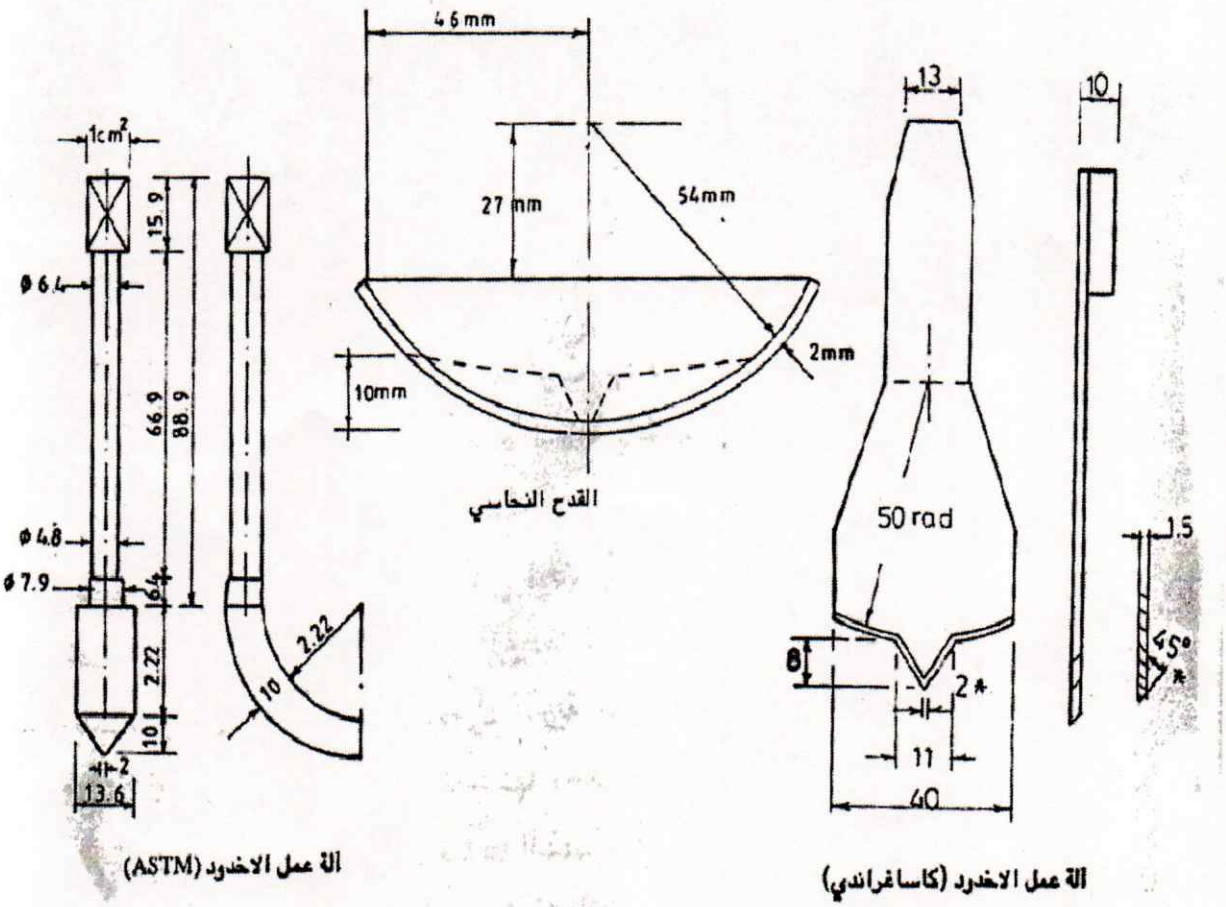
ان الاناء الذي توضع فيه عجينة التربة هو عبارة عن قدح نحاسي كروي الشكل متصل بالة تدوير و يرتطم بقاعدة من المطاط الصلب . كما ان كازاكراندي اوجد اداة خاصة لعمل الاخدود و تحديد سمك العجينة اضافة للاستفادة منها في ضبط مسافة سقوط الكأس . و قد تم تطوير هذه الاداة فيما بعد من قبل الجمعية الامريكية للفحص و المواد A.S.T.M لكي تكون اكثر ملائمة للتربة الغرينية و للتربة ذات المحتوى الرملي و يبين الشكل (2 – 3) تفاصيل الجهاز و ادوات عمل الاخدود Grooving Tools و لقياس حد السيولة تمزج كمية من التربة بحدود 120غم بماء مقطر لعمل عجينة ذات قوام متجانس ثم توضع العجينة في قدح النحاس و تسوى بسكين Spatula لتصبح افقية . ثم يقص الاخدود (الشق) بالاداة الخاصة . و بتدوير الجهاز فان القدح سيرتفع مسافة 1سم و يسقط على القاعدة و يتم ذلك بسرعة ثابتة (ضربتان في الثانية) مع حساب عدد الضربات اللازمة الى ان يتلامس جانبي الاخدود بمسافة 1سم عندئذ يتم اخذ عينة من التربة (من نقطة التلامس) و يتم ايجاد المحتوى الرطوبي لها . يعاد الفحص على التربة بمحتوى رطوبي مختلف ثم ترسم العلاقة بين عدد الضربات على مقياس لوغاريتمي على المحور الافقي و المحتوى الرطوبي بمقياس اعتيادي على المحور العامودي و يفضل ان يجري الفحص خلال خمسة او اربعة محاولات اثنتان منها تعطي عدد ضربات اقل من 25 و اثنتان بعدد ضربات اكثر من 25 كي يكون رسم العلاقة رصينا . و قد وجد ان هذه العلاقة تعطي خطا مستقيما كما مبين في الشكل (2- 2) و يطلق عليه منحني السيلان Flow Curve بعد ذلك يصبح من السهل تعيين حد السيولة و ذلك بقراءة نسبة الرطوبة التي تقابل 25 ضربة و يعبر عنها بأقرب عدد صحيح .



شكل (2 – 2)



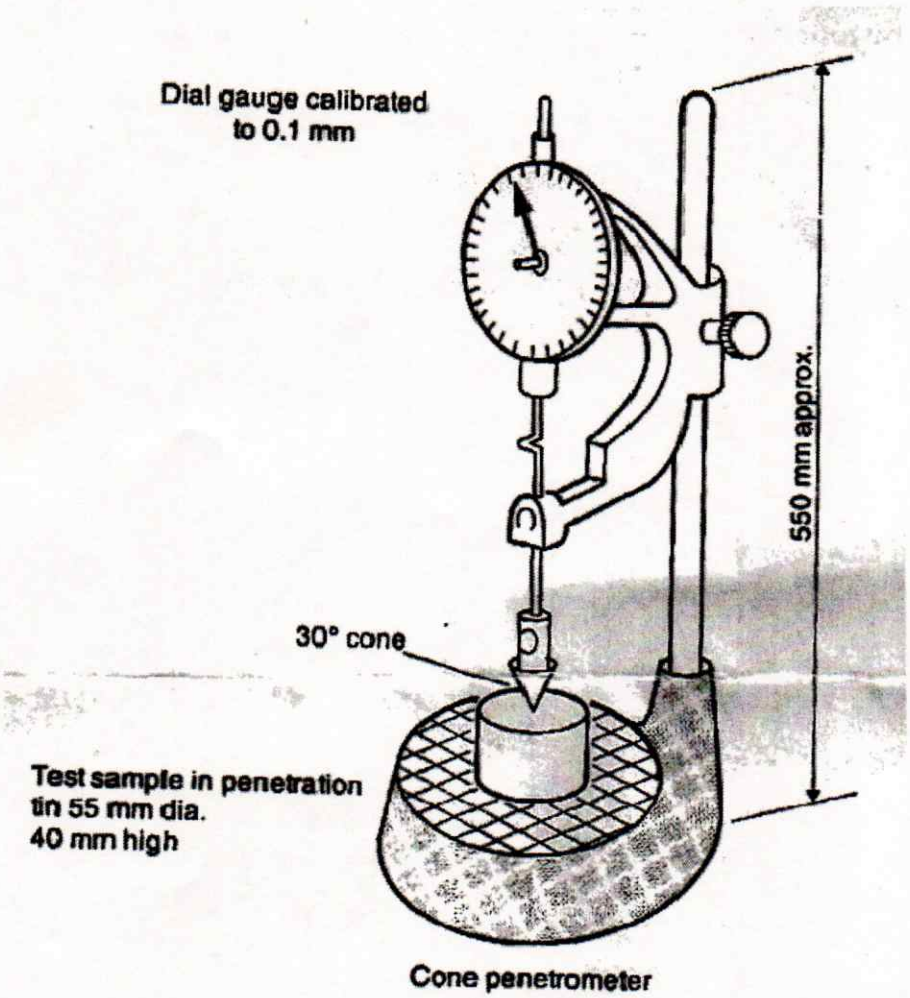
جهاز قياس حد السيولة



شكل (2 – 3) تفاصيل جهاز قياس حد السيولة

2 – 1 – 1 – ب طريقة المخروط Cone Pentrometer

يبين الشكل (2 – 4) تفصيل الجهاز المستعمل في هذه الطريقة ، و يتم الفحص بتهيئة 200 غم من تربة مارة خلال المنخل قطر 420Mm و خلطها مع نسبة من الماء على لوح زجاجي ومن ثم وضع هذه التربة الرطبة في قالب معدني بقطر حوالي 55 ملم و ارتفاع 40 ملم و تساوى التربة مع سطح القالب بالسكين و ثم يتم انزال المخروط و تثبيته عند سطح التربة في مركز القالب ، يبدأ الفحص بالسماح للمخروط الذي وزنه 80 غم بالنزول حرا تحت تأثير وزنه و بحسب مقدار الاختراق (النزول) الذي يحصل خلال مدة 5 ثواني . و يتم اعادة الفحص لنفس التربة بعد رفع المخروط و تنظيفه و مساوات سطح التربة بالسكين بعد اضافة كمية من نفس التربة و في حالة كون الفرق بين قراءة محاولتين متكررتين اقل من 0.5 ملم يعتبر الفحص جيد . تكرر العملية اعلاه اربع مرات على الأقل مع زيادة المحتوى المائي للتربة . ان كمية الماء المستعملة يجب ان تكون بحيث ان عمق الاختراق للمخروط في جميع الفحوص يتراوح بين 15 ملم – 20 ملم و بعدها يتم رسم العلاقة بين مقدار الاختراق (على المحور العمودي) و المحتوى المائي (على المحور الافقي) بقياسات اعتيادية متساوية و تكون قيمة حد السيولة (L.L) هي مقدار المحتوى المائي الذي يقابل اختراق قدره 20 ملم .



شكل (2 – 4)

2 – 1 – 2 – حد اللدونة Plastic Limit

ان حد اللدونة حسب تعريف اتربرك هو المحتوى الرطوبي الذي تتحول عنده التربة من الحالة البلاستيكية الى الحالة شبه الصلبة .
اما حسب تعريف كازاكراندي فهو المحتوى الرطوبي (نسبة الرطـوبة) التي تبدأ عنده فتيلة (خيط) من التربة قطرها 1 / 8 عقدة (3 ملم) بالتشقق او تتناثر (التفتت) . و يتم تعين ذلك بدحرجة قطعة كروية من التربة على لوح زجاجي كي يقل المحتوى المائي لها الى ان يصل الحد المذكور و يتم ذلك خلال عدة محاولات الى ان تأخذ الفتيلة بالتفتت عندها يكون قطرها (3 ملم) فيحسب المحتوى الرطوبي لهل و الذي يمثل حد اللدونة .

2 – 1 – 3 – دليل اللدونة (P.I) Plasticity Index

هو مدى المحتوى الرطوبي الذي تبقى فيه التربة في الحالة (اللدنة) اي انه الفرق بين اعلى و اوطأ نسبة للماء تبقى ضمنها التربة في حالة اللدونة و عليه فأن معامل اللدونة يساوي عدديا الفرق بين حد السيولة و حد اللدونة .

$$P.I. = L.L. - P.L$$

و يعتبر دليل اللدونة من الخواص المهمة للتربة حيث يمكن تصنيف التربة تبعا لذلك كما مبين ادناه .

دليل اللدونة	صنف التربة
صفر	تربة غير لدنة
من 1 الى 5	تربة لدنة نوعا ما
من 5 الى 10	تربة واطئة اللدونة
من 10 الى 20	تربة متوسطة اللدونة
من 20 الى 40	تربة عالية اللدونة
اكثر من 50	تربة ذات لدونة عالية جدا

2 – 1 – 4 –دليل السيولة Liquidity Index l(L.I.)

هو نسبة الفرق بين المحتوى الرطوبي الطبيعي للتربة و حد اللدونة الى الفرق بين حد السيولة و حد اللدونة اي انه نسبة الفرق بين نسبة الرطوبة الطبيعية و حد اللدونة الى الى دليل اللدونة ، و ذلك يبين مدى اقتراب حالة التربة الطبيعية من الحالة اللدنة و يتم حساب دليل السيولة كما يلي :

$$L.I. = \frac{w/c - P.L.}{L.L. - P.L.} = \frac{w/c - P.L.}{P.I.}$$

$$\text{دليل السيولة} = \frac{\text{نسبة الرطوبة الطبيعية – حد اللدونة}}{\text{دليل اللدونة}}$$

2 – 1 – 5 – العوامل التي تؤثر على حدود اتربرك

1- حجم و شكل الحبيبات
كلما قل حجم جسيمات التربة كلما زادت لدونتها لزيادة مساحة السطح النوعي مما يؤدي الى زيادة قابليتها لامتصاص الماء . كما ان لدونة التربة تزداد عند اقتراب شكل الجسيمات من الشكل القرصي او الرقائقي .

2- مقدار المعادن الطينية
تزداد لدونة التربة مع زيادة ما تحتويه من المعادن الطينية نسبة الى المعادن غير الطينية الموجودة فيها .

3- نوع المعادن الطينية
يؤثر نوع المعادن الطينية على لدونة التربة تأثيرا بليغا فمعدن المونتموريلونايت يسبب زيادة في لدونة التربة في حين يعطي معدن الالايت لدونة متوسطة و يسبب معدن الكاؤلينايت انخفاضا نسبيا في لدونة التربة التي يتواجد فيها .

4- نوع الايونات الموجبة الممتزة
يؤثر نوع الايونات الموجبة على مقدار اللدونة فبينما تسبب ايونات الصوديوم و المغنيسيوم على سبيل المثال لدونة عالية نسبيا نرى ان ايونات اخرى مثل الكالسيوم تسبب لدونة منخفضة .

5- كلما زاد مقدار المواد العضوية في التربة كلما زادت قابلية امتصاصها للماء و ذلك يؤدي الى زيادة لدونتها .

2 – 1 – 6 – بعض الاستخدامات الهندسية لحدود اتربرك

على الرغم من ان حدود اتربرك لا تستخدم مباشرة في حل اية مسألة فأن ذلك لا يقلل من فائدتها في اعطاء فكرة عن ماهية التربة في الاستعمالات المختلفة و اهمها :

1- كلما زادت حدود اتربرك كلما كانت نفاذية التربة اقل و ذلك له اهميته في اعمال السدود و حسابات سرعة الانضمام و فحوصات قوة التحمل .
2- تقل مقاومة القص للتربة عند زيادة حدود اتربرك في حالة بقاء بقية العوامل ثابتة و ذلك لانخفاض مقدار زاوية الاحتكاك الداخلي بين الجسيمات .
3- تعطى حدود اتربك انطباعا فيما اذا كانت التربة تتعرض للانكماش او الانتفاخ و ذلك بمقارنة الرطوبة الطبيعية اثناء التنفيذ مع حدي اللدونة و الانكماش .
4- يمكن استعمال حد اللدونة في تقدير نسبة الرطوبة المثلى لرص التربة في اعمال الاملائيات حيث تقدر بـــ 6% – 3 % اقل من حد اللدونة .
5- يمكن التحري عن وجود مواد عضوية من خلال مراقبة التغيرات في حد السيولة قبل و بعد تجفيف التربة في درجة حرارة 110 مئوية .
6- ان حدود اتربرك لها اهميتها الكبيرة في تصنيف التربة الطينية وفق نظم التصنيف الحديثة .
7- تستخدم حدود اتربك في كثير من النظريات الافتراضية لتصميم الطرق .
8- تستخدم حدود اتربك و خاصة دليل اللدونة في وضع المواصفات الهندسية لبعض انواع المواد او اختيارها او السيطرة على خواصها من حيث استعدادها للانتفاخ او الانكماش .

2 – 2 – فحص بروكتر القياسي Standard Procter Test

يستخدم في هذا الفحص قالب اسطواني قطره 4 انج و ارتفاعه 4,6 انج و يتم اجراء الفحص بمزج التربة بنسبة معينة من الماء و ثم رص هذه التربة في القالب بثلاث طبقات بواسطة مطرقة خاصة و ذلك باسقاط المطرقة اسقاط حر لـــ25 مرة لكل طبقة و ثم اعادة الفحص لخمس مرات بنسب ماء مختلفة و رسم العلاقة بين المحتوى المائي W% و بين الكثافة الجافة على ورق بياني و تحديد نسبة المحتوى المائي لاعلى كثافة جافة تم الحصول عليها و الذي يمثل المحتوى المائي الامثل Optimum Water Content .

$$\alpha d = \frac{\alpha Wet}{1 + w\%}$$

2 – 3 – فحص الضغط الغير محصور Unconfined Compression Test

يعتبر هذا الفحص حالة خاصة من فحص الانضغاط الثلاثي المحاور حيث تقاس مقاومة القص تحت تأثير ضغط عمودي فقط (б1) مع غياب الضغط الجانبي (б3=0) و يتم هذا الفحص على اساس عدم فقدان الرطوبة خلال الفحص و يعتبر هذا الفحص من الفحوص البسيطة و السريعة لايجاد مقاومة القص للتربة الطينية المشبعة .

2 – 2 – مقاومة القص للتربة Shear Strength of Soil

ان معرفة و تحديد مقاومة القص للتربة يعد امرا اساسيا في مختلف تطبيقات ميكانيك التربة مثل تصميم الاساسات و استقرارية المنشأت و تصميم الجدران الساندة بالأضافة الى استقرارية التربة نفسها ، لان وصول الاجهاد المسلط على التربة الى مستوى مقاومة القص لها يؤدي الى حصول ما يطلق عليه بفشل التربة Failure of Soil و الذي يؤدي الى انزلاق جء من التربة نفسها لما يحيط به من كتلة التربة . و من ابرز المسائل التي تعتمد على مقامة القص للتربة :-

1- استقرارية المنحدرات الترابية Slope Stability بما في ذلك الحفريات التي تتطلبها اعمال فتح الطرق في المناطق الجبلية .
2- حساب التحمل الاقصى للتربة تحت المنشأت .
3- تقدير مقاومة الاحتكاك بين الركائز و التربة المحيطة بها . و يمثل ذلك العمود الفقري في تصميم الاساسات العميقة .

تعرف مقاومة القص في التربة بأنها اكبر اجهاد يمكن ان تبديه التربة ضد الانزلاق (الازاحة) داخل كتلة التربة تحت تاثير القوى الخارجية المؤثرة فيها . اما المتغيرات او العوامل التي تتحكم في قوة القص للتربة فهي كثيرة و لا تتوفر صيغة مبسطة لها خاصة في التربة الطينية ، و التي تشكل الاحتكاك بين جزيئات التربة جزءا منها . و من الجدير بالذكر ام مقاومة القص للتربة الواحدة غير ثابتة كثيرا بالعوامل الاتية :

1- المحتوى الرطوبي في التربة .
2- طبيعية الاثقال المسلطة على التربة من حيث كونها ثابتة ام مكررة .
3- مدى تأثير هيكل التربة و درجة التخلخل التي تعرضت لها .
4- طريقة الفحص حيث تلعب دورا مهما في تقدير مقاومة القص في التربة .

تتولد قوة القص في التربة نتيجة لتعرضها اما الى ضغط مباشر او الى قوة شد لسبب او لاخر . و لكن من الناحية العملية قلما يتم وضع التربة تحت تاثير السحب لان ذلك سيؤدي الى حدوث تشققات فيها مما ينعكس بوضوح على استقراريتها . و لذلك فأن تولد قوة القص داخل التربة يكون سببه الرئيس و في معظم الاحيان تعرضها الى الضغط المباشر .
ان تجاوز الاجهاد المسلط على التربة الحد الاعلى لقوة القص يؤدي في بداية الامر الى تحريك او انزلاق Sliding حبيبات التربة بعضها على الاخر (يصاحب ذلك تغيير في حجم التربة) و بالتالي الى حدوث ازاحة لجزء من التربة بالنسبة لمل يحيطه من كتلة و هذا ما يسمى بفشل القص في التربة .
و على هذا الاساس يمكن تصنيف التربة الى نوعين رئيسين حسب اختلاف مصدر قوة القص في كل منهما . فالتربة المتماسكة (الطينية) تمتلك قوة تجاذب بين ذراتها و ذلك بسبب طبيعة سطح الذرات و الاواصر الالكترونية المنتشرة بينها كما مر سابقا . اما التربة غير المتماسكة (الرملية) فتتألف من حبيبات مفككة و غير متلاصقة مع بعضها . لذلك فأن قوة القص فيها تعتمد كليا على الاحتكاك بين الحبيبات .

و يمكن تلخيص الاهداف او الفوائد من عملية الرص بالنقاط التالية :

1- ان عملية الرص تزيد من كثافة التربة .
2- زيادة مقاومة القص في التربة .
3- زيادة قوة تحمل التربة .
4- تقليل نفاذية التربة و تقليص تسرب الماء في الردميات الترابية .
5- تقليل مقدار الهبوط في التربة تحت تأثير المنشأت عليها .

2 – 3 – التثبيت الميكانيكي (الرص)
Mechanical Stabilization (Compaction)

يعرف الرص بأنه عملية زيادة كثافة التربة و ذلك بطرد الهواء من بين فجواتها و الذي يؤدي الى تقليص حجم هذه الفجوات . و تتم عملية الرص بتسليط اثقال قد تكون ساكنة او متحركة بالاضافة الى الطرق او الاهتزاز . و نتيجة لذلك ستترسب جزيئات التربة بحيث تصبح اكثر تقاربا او تتلامس مع بعضهما .

2 – 3 – 1 – ميكانيك الرص و دور الماء في ذلك
Mechanism of Compaction and Role of Water

يلعب الماء دورا اساسيا في عملية الرص حيث يساعد على انزلاق جزيئات التربة و تقاربها من بعضها . فعند وجود الماء بمقدار قليل داخل التربة يكون على شكل طبقة رقيقة تحيط بجزيئات التربة و بزيادته يزداد سمك طبقة الماء حول ةالجزيئات فتصبح اكثر زلقا .
و عند تعرض التربة الى الطرق (او اثقال اخرى) اثناء عملية التقارب هذه تؤدي الى طرد الهواء و تقليص حجم الفجوات في جسم التربة فتزداد بذلك كثافتها . و تستمر الزيادة بالتقارب مع ازدياد مع ازدياد كمية الماء و تأثير الاثقال لحين الوصول الى حالة تمتلئ الفراغات بين جزيئات التربة بالماء ، و عندها تصل التربة كثافتها العظمى . و عند الاستمرار في زيادة نسبة الماء فأن هذه الزيادة ستولد تأثيرا عكسيا حيث ستؤدي الى تباعد جزيئات التربة عن بعضها نتيجة لاشغال الماء الزائد حجما اكبر من الفراغات . كما ان تأثير الاثقال سيتوقف فعله حيث سيتحول الى ضغط معاكس في ماء الفجوات Pour Pressure و هكذا تبدأ الكثافة بالتناقص مع الاستمرا في زيادة الماء .

ياتي تعريف المصطلحين الرئيسين اللذين تعرف بواسطتهما عملية الرص و هما :

أ- نسبة الرطوبة المثلى (المفضلة) (Optimum Moisture Content (O.M.C

هي عبارة عن نسبة الماء التي تعطي اعلى كثافة للتربة و تتغير هذه النسبة تبعا لنوع التربة و الجهد المستعمل في الرص .

ب – الكثافة الجافة العظمى ($\gamma_{d\,max}$) Maximum Dry Density

و هي اعلى كثافة يمكن ان تصلها التربة اثناء عملية الرص . و قد اصبح تقليدا اعتماد الكثافة الجافة بدلا من الكثافة الكلية Bulk density لان الاخيرة متغيرة تبعا لقابلية امتصاص التربة للماء بينما تكون الكثافة الجافة ثابتة لاعتمادها على وزن الجزيئات الصلبة فقط . و لكل نوع من التربة قيمة ثابتة للكثافة الجافة العظمى . و هذه الكثافة تتغير حسب الطاقة المعروفة اثناء عملية الرص .

الفصل الثالث

الفصل الثالث

3-1-المقدمة :

تثبيت التربة هي عملية تغيير واحد أو اكثر من خواص التربة الهندسية باستخدام طرق عديدة لزيادة قوة ومتانة التربة و تحسين خواصها الأخرى مثل الكثافة الجافة والنفاذية وأن جميع هذه الطرق تندرج ضمن حقلين رئيسيين هما :

1ـ التثبيت بالطرق الميكانيكية .

2ـ التثبيت بالمضافات , وتكون هذه المضافات أما مواد كيميائية أو مواد خاملة .

في بحثنا هذا تم أختيار مادة مطحون حجر الكلس(كاربونات الكالسيوم Ca Co3) (الغبرة) كمادة مضافة وذلك لتوفرها في الأسواق ورخص ثمنها , وهي مادة خاملة لا تتفاعل مع الماء , حيث تم دراسة اضافة هذه الماده على تربة طينية غرينية بنسب مختلفة وتاثيرها على حدود القوام(consistency limits),اجهاد القص (shear stress) ورص التربة(soil compaction)

3-2- التربة المستخدمة :

تم استعمال تربة طينية غرينية (Silty clay) واطئة اللدونة (CL) ذات وزن نوعي قدره 2.69 وحدود قوام (consistency limit) قدرها 41 , 21 , 20 لكل من حدي السيولة (LL) واللدونة (PL) ومؤشر اللدونة (PI) على التوالي .

3-3- المادة المضافة المستخدمة :

أستخدمت في بحثنا المضافات مادت مطحون حجر الكلس (Crush limestone) كاربونات الكالسيوم (Calcium carbonate CaCO3) والتي تسمى بالغبرة , يتراوح وزنها النوعي بين 2.6- 2.7 (مواصفات الأعمال الأنشائية) , وهي مادة خاملة لا تتفاعل مع الماء , وتعتبر المادة الأولية لصناعة النورة (الجير الحي CaO) و الجص وذلك بعد حرق هذه المادة بدرجة حرارة 800 م° , وعادة يستعمل مطحون حجر الكلس في صناعة الكاشي ويدخل في صناعة الأصباغ (filler) وكغذاء للدواجن ويخلط مع التربة لأغراض زراعية , لقد تم اختيار هذه المادة وذلك لتوفرها و رخص ثمنها و سهولة استعمالها .

3-4-الفحوصات المختبرية :

لغرض تقويم مدى تاثير اضافة مادة مطحون حجر الكلس على التربة تم اجراء الفحوصات المختبرية المبينة ادناه :

3-4-1- فحص حدود القوام (consistency limits test)

تم أجراء هذا الفحص بموجب مواصفات المجمع الأمريكي لفحص المواد(ASTM) , لفحص السيولة (ASTM 423-66) , و لفحص اللدونة (ASTM D424-59) .

3-4-2- فحص الضغط الغير محصور (Unconfined compressive strength test)

تم اجراء هذا الفحص بموجب مواصفات المجمع الأمريكي لفحص المواد (ASTM 2166-66) ,بعدخلط النسبة المحددة من مادة مطحون حجر الكلس مع التربة ثم رص المخلوط بطريقة بروكتر القياسية (standard proctor test) و من ثم تحضير النموذج الخاص بالفحص .

3-4-3- فحص الرص (Soil compaction test)

تم اجراء هذا الفحص بطريقة بروكتر القياسية (standard proctor test) , بموجب مواصفات المجمع الأمريكي لفحص المواد (ASTM D698-70 and D1557-70) .

3-5- نسبة المواد المضافة :

تم اجراء الفحوصات المختبرية بعد اضافة النسب 3% , 6% , 9% , 12% من مادة مطحون حجر الكلس كنسبة من وزن التربة الجافة واجراء نفس الفحوصات لتربة بدون اضافات لغرض المقارنة في النتائج .

3-6- النتائج والمناقشة :

3-6-1- فحص حدود القوام (Consistency limits test) :

يبين الشكل رقم (1) العلاقة بين نسبة المادة المضافة و حدود السيولة (LL) و اللدونة (PL) و مؤشر اللدونة (PI) , من خلال الشكل اعلاه نلاحظ مقدار الأنخفاض في قيم حدود السيولة (LL) و اللدونة (PL) و بالأخص قيمة مؤشر اللدونة (PI) بزيادة نسبة مادة مطحون حجر الكلس المضافة الى التربة مقارنة مع هذه الحدود لتربة بدون اضافات حيث تصل لاكبر مقدار من الأنخفاض عند نسبة اضافة قدرها 6% من المادة المضافة ليصبح حدي السيولة (LL) و اللدونة (PL) و مؤشر اللدونة (PI) 28 , 18 , 10 على التوالي , وبزيادة النسبة للمادة المضافة بعد هذه النسبة تبدأ هذه الحدود بالتزايد، يمكن تعليل ذلك الى ان مادة مطحون حجر الكلس وهي مادة ناعمة الحبات عند اضافتها الى التربة تشغل الفجوات الموجودة بين جزيئات التربة والتي كانت مشغولة بالماء في التربة بدون اضافات وبذلك تعمل على تقليل نسبة الماء المطلوبة للوصول الى حدي السيولة (LL) و اللدونة (PL) والى حد نسبة الأضافة 6% حيث تشغل المادة المضافة معظم الفجوات وبزيادة نسبة الاضافة عن هذه النسبة يبدا مطحون حجر الكلس باشغال حجوم اضافية خارج هذه الفجوات مما يتطلب الزيادة في كمية الماء لغرض ترطيب سطوح هذه الحبيبات. ان انخفاض حدود القوام من المؤشرات الجيدة للتربة المستخدمة كطبقة اساسية في الطرق و المطارات حيث ان مقاومة القص للتربة تزداد عند نقصان هذه الحدود .

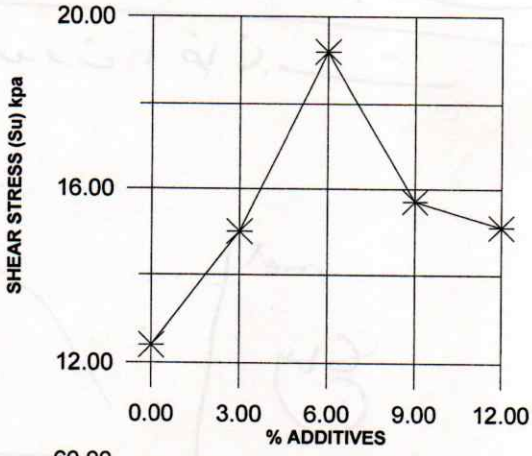
3-6-2- فحص الضغط الغير محصور (Unconfined compressive strength) :

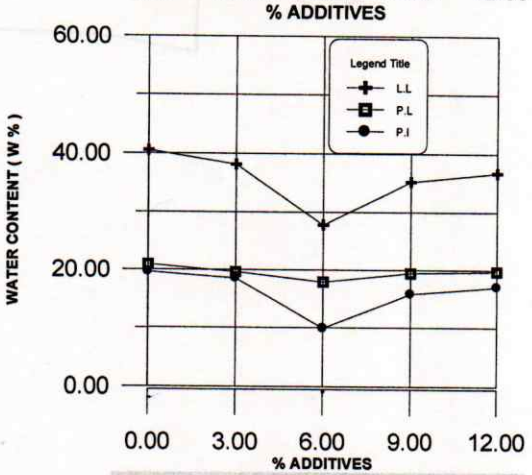
تاثيراضافة مادة مطحون حجر الكلس الى التربة في هذا الفحص موضحة في الشكل رقم (2) الذي يبين العلاقة بين نسبة المادة المضافة و بين مقدار اجهاد القص (Shear stress Su) , حيث يبين الشكل ان هناك زيادة كبيرة في قيمة اجهاد القص بزيادة نسبة المادة المضافة الى

حد النسبة 6% و بعدها يبدا اجهاد القص بالتناقص بزيادة نسبة المادة المضافة فنلاحض ان اجهاد القص (Su) يكون بمقدار 12.4 كيلو باسكال لتربة بدون اضافات ويزداد مقدار هذا الاجهاد ليصل الى اعلى قيمة وقدرها 19.2 كيلو باسكال لتربة بنسبة اضافة قدرها 6% وبزيادة النسبة للمادة المضافة بعد هذه النسبة يبدأ اجهاد القص بالتناقص , ويوضح الشكل رقم (3) العلاقة بين نسبة المادة المضافة والنسبة المؤية للتحسن في اجهاد القص نسبة الى تربة بدون اضافات حيث تصل النسبة في التحسن الى 54.8% عند نسبة اضافة 6% . ويمكن تعليل سبب هذه الزيادة ومن ثم النقصان في قيم الأجهاد الى ان مادة مطحون حجر الكلس عند اضافتها الى التربة تعمل على زيادة قوة الأحتكاك او قوة التلاصق او القوتين معا بينها و بين جزيئات التربة في حين لا توجد مثل هذه القوى بين حبيبات المادة المضافة نفسها لذلك عند اضافة النسب 3% , 6% تكون المادة المضافة منتشرة بين جزيئات التربة بدون ان يكون هناك تلامس بمساحات كبيرة بين ذرات هذه المادة , وبزيادة النسبة للمادة المضافة بعد 6% سوف يكون هناك تلامس بمساحات كبيرة بين ذرات مادة مطحون حجر الكلس نفسها مما يؤدي الى تناقص في قيم اجهاد القص وذلك لعدم وجود قوى الأحتكاك او التلاصق بين ذرات هذه المادة .

3-6-3- فحص رص التربة (Soil compaction) :

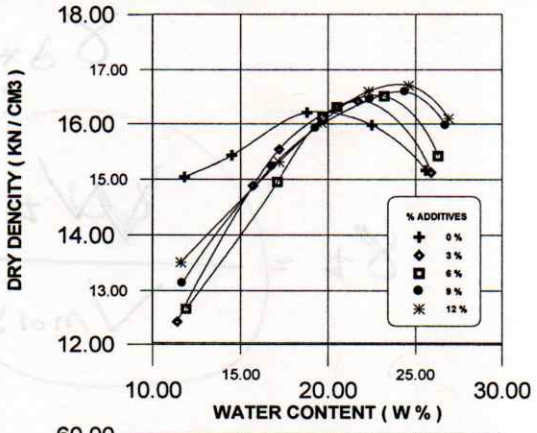
من خلال الشكل رقم (4) الذي يبين العلاقة بين المحتوى المائي (w%) والكثافة الجافة (Dry density) لتربة بدون اضافات مع الترب المخلوطة بنسب الاضافات المبينة في البحث نلاحض هناك زيادة في الكثافة الجافة (γdry) بزيادة نسبة المادة المضافة , حيث يبين الشكل رقم (5) العلاقة بين النسبة المؤية للمادة المضافة و قيمة الكثافة الجافة العضمى (Maximum dry density) ويبين الشكل رقم (6) العلاقة بين النسبة المؤية للمادة المضافة وبين النسبة المؤية للتحسن في الكثافة الجافة العضمى (Max.γDry) مقارنة مع قيمتها بدون اضافات. وبنفس الوقت نلاحض هناك زيادة في نسبة المحتوى المائي الأمثل (Optimum Water Content) بزيادة نسية المواد المضافة . يبين الشكل رقم (7) العلاقة بين نسبة المادة المضافة ونسبة المحتوى المائي الأمثل (O.W.C) حيث تكون نسبة المحتوى المائي الأمثل لتربة بدون اضافات 18.8 % لتصل الى نسبة 24.5 % عند نسبة مواد مضافة قدرها 12% , و كذلك يبين الشكل رقم (8) العلاقة بين النسبة المؤية للمادة المضافة و النسبة المؤية للزيادة في المحتوى المائي الأمثل مقارنة مع تربة بدون اضافات . ويمكن تعليل سبب الزيادة في قيمة الكثافة الجافة العضمى (Maximum dry density) والتي ترافقها زيادة في نسبة المحتوى المائي الأمثل هو ان المادة المضافة سوف تعمل على مليء الفراغات الهوائية الموجودة بين جزيئات التربة و بذلك سوف تعمل على زيادة كثافة الخليط وبنفس الوقت فان هذه الحبيبات سوف تحتاج كمية ماء اضافية لغرض تزييت سطحها للحصول على رص افضل .



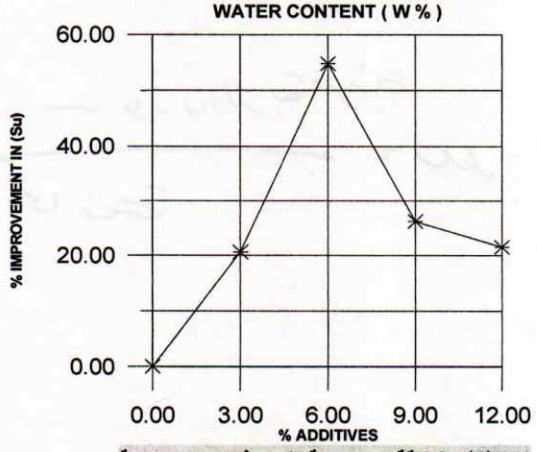


شكل(1)-العلاقة بين نسبة المضافات وبين حدود السيولة و اللدونة ومؤشر اللدونة .

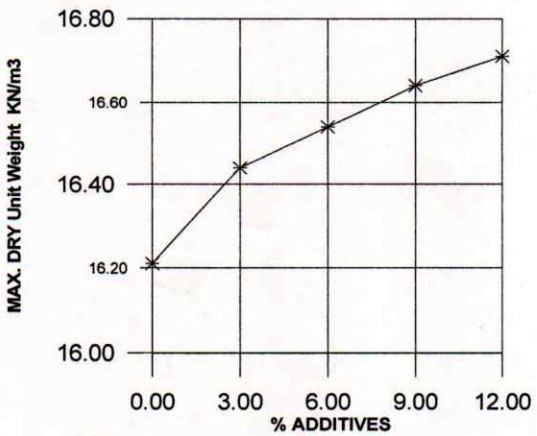
شكل(2)-العلاقة بين نسبة المضافات وبين اجهاد القص .



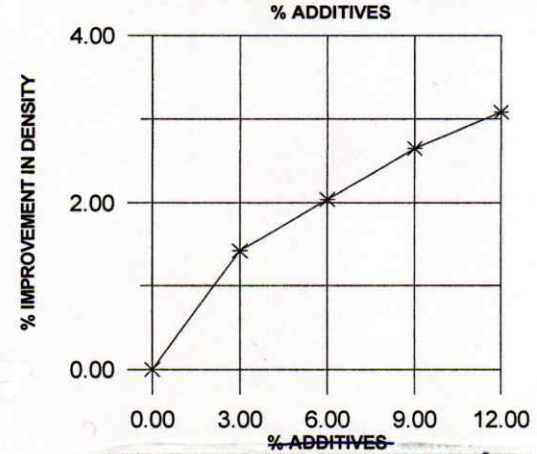
شكل(3)-العلاقة بين نسبة المضافات وبين نسبة التحسن في اجهاد القص .



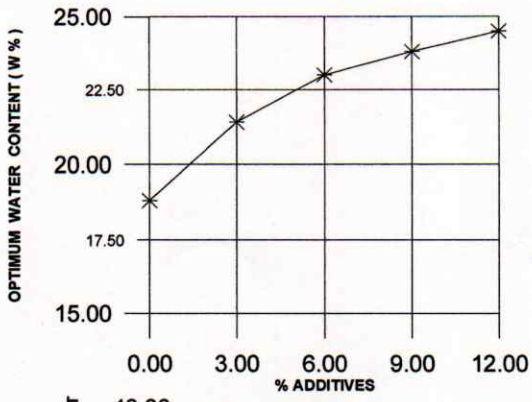
شكل(4)-العلاقة بين المحتوى المائي وبين الكثافة الجافة العضمى لنسب اضافات مختلفة .



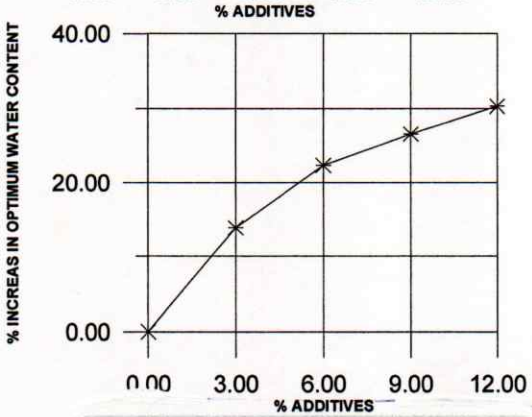
شكل(5)-العلاقة بين نسبة المضافات وبين الكثافة الجافة العضمى لنسب اضافات مختلفة .



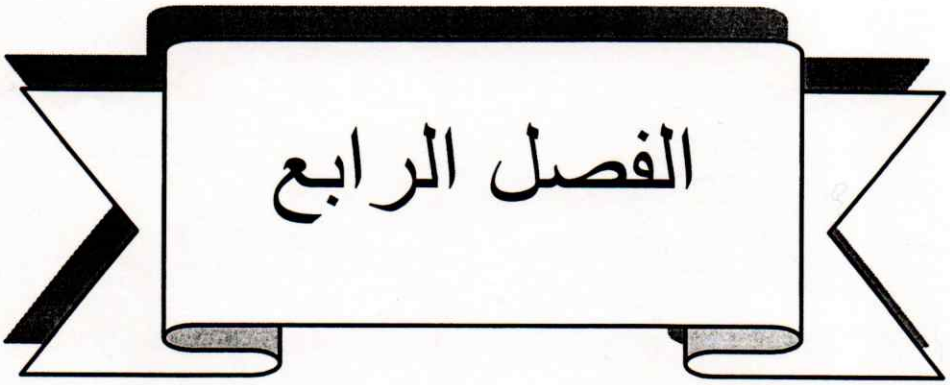
شكل(6)-العلاقة بين نسبة المضافات و بين نسبة التحسن في الكثافة الجافة العضمى لنسب اضافات مختلفة



شكل(7)-العلاقة بين نسبة المضافات وبين المحتوى.



شكل(8)-العلاقة بين نسبة المضافات وبين نسبة الزيادة


الفصل الرابع

الفصل الرابع

الأستنتاجات:

من خلال النتائج المبينة اعلاه يمكن اعتبار ان نسبة 6% من المادة المضافة هي افضل النسب التي يمكن تطبيقها عمليا وذلك للأسباب المبينة في ادناه :

1. لأعطائها حدود قوام (Consistency limits) قليلة تتناسب مع متطلبات المواصفات المطلوبة في تنفيذ طبقة الأساس للطرق و المطارات .
2. عند هذه النسبة من المادة المضافة يتم الحصول على اعلى قيمة لأجهاد القص (shear stress) .
3. هناك نسبة تحسن في قيمة الكثافة الجافة العضمى (Maximum dry density) قدرها 2% .
4. من الناحية الأقتصادية يعتبر الكمية المستعملة من المادة المضافة عند هذه النسبة معقول .
5. ان باستعمال هذه المادة التي نحصل باضافتها على كثافة اعلى مقارنة مع التربة بدون اضافات تغنينا عن اللجوء الى استعمال معدات حدل متخصصة ذات طاقة اعلى التي تكون كلفتها عالية .
6. من الناحية الأقتصادية ان استعمال هذه المضافات تعمل على تقليل كمية التربة المستعملة في التعليات الترابية وذلك لزيادة قوى القص التي تساعد على تقليل نسبة الأنحدار المطلوب لأستقرارها.

المصادر :-

- العشّو , محمد عمر (1991) , مباديء ميكانيك التربة , وزارة التعليم العالي و البحث العلمي .
- مواصفات الأعمال الأنشائية , وزارة الأسكان و التعمير , المركـــز القـــومي للمختبرات الأنشائية.
- Bowles, J.E. (1984) Physical and Geotechnical Properties of Soil, McGraw-Hill Book Co.
- Hunt, R.E. (2005) Geotechnical Engineering Investigation HandBook, Taylor& Francis.
- Hunt R.E. (1986) Geotechnical Engineering Techniques and Practices, McGraw-Hill Book Co.
- Military Soils Engineering, FM 5-410.
- Smith, G.N. and Smith, G.N, (1998) Elements of Soil Mechanics, Blackwell Science

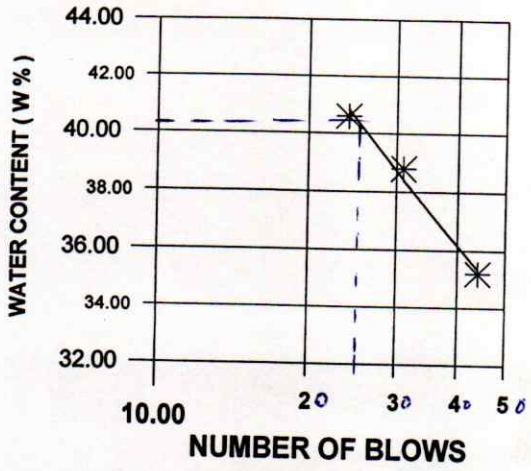
الملحق

الأشكال الخاصة بنتائج فحص حدود القوام

L.L = 41

P.L = 21

P.I = 20



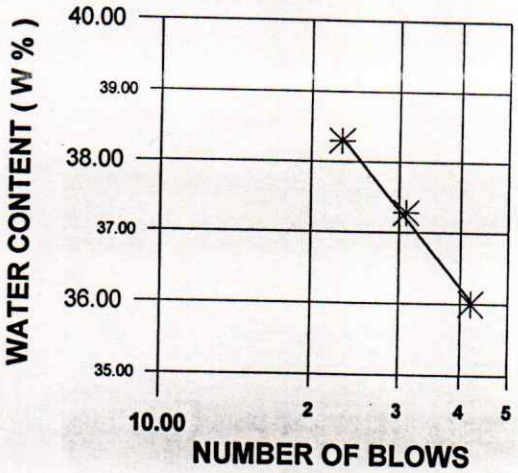
نسبة اضافات (0 %)

شكل رقم (1)

L.L = 38

P.L = 20

P.I = 18



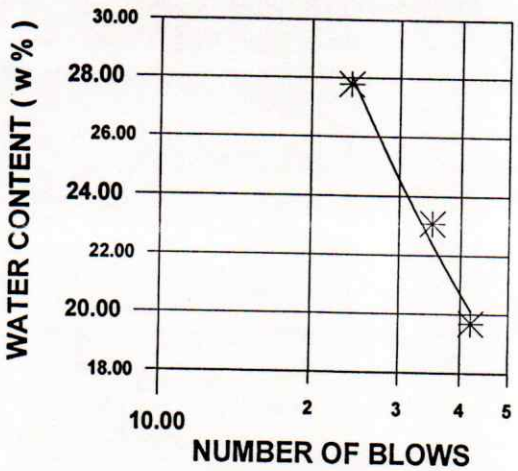
نسبة اضافات (3 %)

شكل رقم (2)

L.L = 28

P.L = 18

P.I = 10



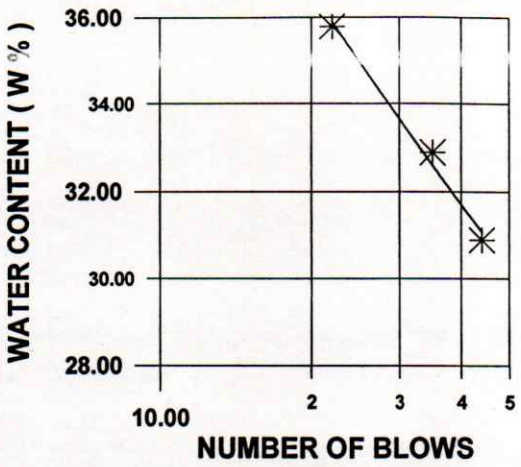
نسبة اضافات (6 %)

شكل رقم (3)

L.L = 35

P.L = 19

P.I = 16



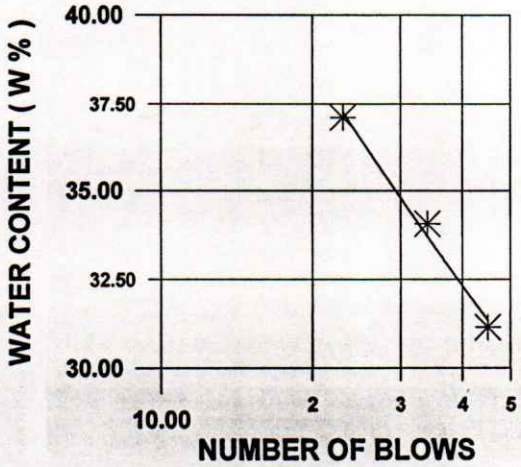
نسبة إضافات (9 %)

شكل رقم (4)

L.L = 37

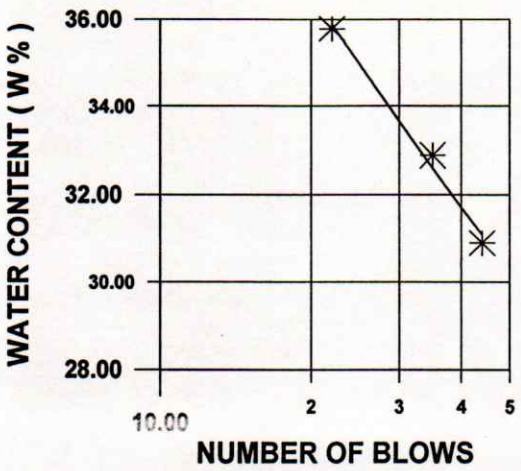
P.L = 20

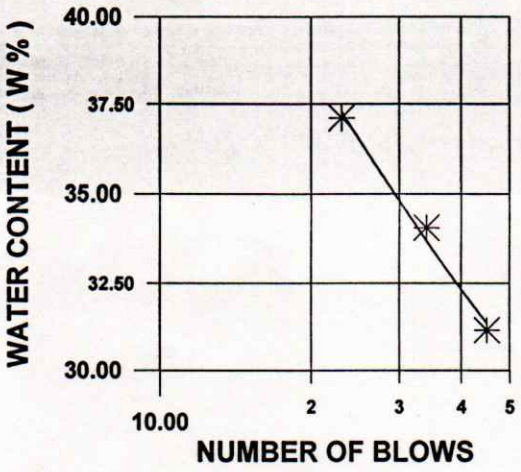
P.I = 17



نسبة إضافات (12 %)

شكل رقم (5)


WATER CONTENT (W %)
36.00
34.00
32.00
30.00
28.00
10.00
2
3
4
5
NUMBER OF BLOWS


WATER CONTENT (W %)
40.00
37.50
35.00
32.50
30.00
10.00
2
3
4
5
NUMBER OF BLOWS