جامعة بوليتكنك فلسطين

كلية الهندسة والتكنولوجيا

دائرة الهندسة المدنية والمعمارية

مشروع تخرج بعنوان

" أثر بعض المضافات الطبيعية والصناعية على الخصائص الهندسية **لتربة الأساس**"

فريق المشروع

آلاء العمايرة　　خديجة هاشم مراد　　**نور أبو صبحة**

مشرف المشروع

د. نبيل الجولاني

فلسطين- الخليل

٢٠٠٦-٢٠٠٧

جامعة بوليتكنك فلسطين
الخليل - فلسطين

" أثر بعض المضافات الطبيعية والصناعية على الخصائص الهندسية لتربة الأساس "

إعداد

آلاء العمايرة خديجة هاشم مراد نور أبو صبحة

بناء على توجيهات الأستاذ المشرف على المشروع و بموافقة جميع أعضاء اللجنة الممتحنة، تم تقديم هذا المشروع إلى دائرة الهندسة المدنية والمعمارية في كلية الهندسة والتكنولوجيا للوفاء الجزئي بمتطلبات الدائرة لدرجة البكالوريوس.

توقيع مشرف المشروع
د. نبيل الجولاني

توقيع رئيس الدائرة
د. نبيل الجولاني

حزيران - 2007

الإهداء

إلى من لو حملتها على عاتقي طوافا بالكعبة لم أوف حق ما بذلت من الحرص علي والجهد في تربيتي.

إلى نبع سعادتي أقول:

هيهات توجد في الحياة سعادة إلا إذا جادت بـــها كفك

إلى الأم الغالية

إلى نعم المربي الذي كد وتعب من أجلي، أكتفي أن أقول له:

وما مـــــدحي لـــــه أمر جليل فإن البحر لا يحتاج قطرا

إلى الأب العزيز

إلى من شجعني على مواصلة الدرب،

إلـى مـــن سـهل لـــي الصـــعب،

إلى من دعمني ووقف إلى جانـبي.

إلى إخوتي وأخواتي

إلى من وقـــفوا وقـفة ثبـــات،

وكانوا في الأزمات كالشم الجبال.

إلى أصدقائي

الشكر والتقدير

بفضل الله وحمده تم استكمال بحث التخرج، وبناء عليه فإننا فريق البحث نتقدم بجزيل الشكر والتقدير والعرفان إلى كل من ساهم في إنجاح وتطوير وتحسين هذا العمل. ونخص بالشكر جامعة بوليتكنك فلسطين وكلية الهندسة والتكنولوجيا ودائرة الهندسة المدنية والمعمارية. كما ونتقدم بالشكر والعرفان إلى رئيس الدائرة الدكتور نبيل الجولاني الذي أشرف على هذا المشروع وقدم لنا كل مساعدة وعون وإرشاد. كما نتقدم بالشكر الجزيل أيضا إلى موظفي دائرة الاستشارات وخدمة المجتمع وبالأخص الأستاذ جبريل الشويكي على جهوده التي قدمها لنا في تحضير العينات وإجراء التجارب المعملية. ولا ننسى أن نشكر موظفي مكتبة الجامعة لتعاونهم ومساعدتهم لنا في البحث عن الكتب التي كانت مراجع لنا في هذا البحث.

إلى كل هؤلاء نسدي إليهم الشكر والتقدير والعرفان

فهرس المحتويات

	الموضوع	رقم الصفحة
	صفحة العنوان.....	i
	صفحة المصادقة على البحث.....	ii
	الإهداء.....	iii
	الشكر والتقدير.....	iv
	فهرس المحتويات.....	v
	فهرس الأشكال.....	viii
	فهرس الصور.....	xi
	فهرس الجداول.....	xii
	قائمة الاختصارات.....	xiv
	ملخص البحث.....	xv
	Abstract.....	xvii
الفصل الأول	**مقدمة**.....	1
1,1	تمهيد.....	1
1,2	الأهداف.....	4
1,3	فرضيات البحث.....	4
1,4	طريقة البحث.....	4
الفصل الثاني	**الدراسات السابقة**.....	6
الفصل الثالث	**خصائص المواد المستخدمة وأهم الفحوصات المخبرية**.....	10
3,1	متغيرات البحث.....	10
3,2	تعريف عام بتربة البحث.....	11
3,3	تعريف عام بالمضافات.....	11
3,3,1	ربو المحاجر.....	11
3,3,2	خبث الأفران.....	13
3,3,3	الشيد.....	14
3,3,4	الزجاج.....	15

3,4 وصف عام للفحوصات المخبرية..... 17
3,4,1 المحتوى المائي..... 17
3,4,2 حد السيولة..... 17
3,4,3 حد اللدونة..... 18
3,4,4 التدرج الحبيبي بالتنخيل..... 18
3,4,5 فحص الوزن النوعي..... 20
3,4,6 فحص القص المباشر..... 20
3,4,7 فحص الضغط اللامحصور..... 22
3,4,8 فحص النفاذية..... 23
3,4,9 فحص الدمك..... 26
الفصل الرابع نتائج الفحوصات المخبرية لنوعي التربة..... 28
4,1 نتائج تجربتي حد السيولة وحد اللدونة..... 28
4,2 نتائج الوزن النوعي..... 28
4,3 نتائج تجربة التحليل بالمناخل..... 29
4,4 نتائج تجربة القص المباشر..... 30
4,5 نتائج تجربة الضغط اللامحصور..... 32
4,6 نتائج تجربة النفاذية..... 33
4,7 نتائج تجربة الدمك..... 33
الفصل الخامس أثر المضافات على الخصائص الهندسية لنوعي التربة المستخدمة في البحث. 36
5,1 أثر المضافات على تربة الطين الرملي..... 36
5,1,1 نتائج تجربتي حد السيولة وحد اللدونة..... 36
5,1,2 نتائج الوزن النوعي..... 38
5,1,3 نتائج تجربة التحليل بالمناخل..... 39
5,1,4 نتائج تجربة القص المباشر..... 41
5,1,5 نتائج تجربة الضغط اللامحصور..... 43
5,1,6 نتائج تجربة النفاذية..... 45
5,1,7 نتائج تجربة الدمك..... 45

5,2 أثر المضافات على تربة الرمل الطيني..... 48

5,2,1 نتائج تجربتي حد السيولة وحد اللدونة..... 48

5,2,2 نتائج الوزن النوعي..... 48

5,2,3 نتائج تجربة التحليل بالمناخل..... 49

5,2,4 نتائج تجربة القص المباشر..... 51

5,2,5 نتائج تجربة الضغط اللامحصور..... 53

5,2,6 نتائج تجربة النفاذية..... 53

5,2,7 نتائج تجربة الدمك..... 54

الفصل السادس مقارنة النتائج ومناقشتها..... 57

6,1 حد السيولة وحد اللدونة..... 57

6,2 الوزن النوعي..... 59

6,3 التحليل بالمناخل..... 61

6,4 القص المباشر..... 64

6,5 الضغط اللامحصور..... 67

6,7 النفاذية..... 69

6,8 الدمك..... 71

الفصل السابع النتائج والتوصيات..... 75

المراجع..... 78

الملاحق..... 80

فهرس الأشكال

الشكل	رقم الصفحة
شكل (1): التمثيل الوزني والحجمي للتربة.....	2
شكل (2): التدرج الحبيبي لخبث الأفران.....	14
شكل (3): التدرج الحبيبي للشيد.....	15
شكل (4): التدرج الحبيبي للزجاج.....	16
شكل (5): أنواع منحنيات التدرج الحبيبي حسب درجة انتظامها.....	19
شكل (6): نفاذية التربة نتيجة الضغط الهيدروستاتيكي.....	24
شكل (7): المنحنى النموذجي لتجربة الدمك.....	27
شكل (8): حد السيولة لتربة الطين الرملي.....	28
شكل (9): التدرج الحبيبي لتربة الطين الرملي.....	30
شكل (10): التدرج الحبيبي لتربة الرمل الطيني.....	30
شكل (11): خط الانهيار **ل**تربة الطين الرملي.....	31
شكل (12): خط الانهيار **لتربة الرمل** الطيني.....	31
شكل (13): منحنى Stress-Strain لتربة الطين الرملي.....	33
شكل (14): منحنى الدمك القياسي لتربة الطين الرملي.....	34
شكل (15): منحنى الدمك القياسي لتربة الرمل الطيني.....	35
شكل (16): تغير حد السيولة لتربة الطين الرملي مع ربو المحاجر بالنسب المختلفة.....	37
شكل (17): تغير حد السيولة لتربة الطين الرملي مع خبث الافران بالنسب المختلفة.....	37
شكل (18): تغير حد السيولة لتربة الطين الرملي مع الشيد بالنسب المختلفة.....	37
شكل (19): تغير حد السيولة لتربة الطين الرملي مع الزجاج بالنسب المختلفة.....	38
شكل (20): التدرج الحبيبي لتربة الطين الرملي مع ربو المحاجر بالنسب المختلفة.....	39
شكل (21): التدرج الحبيبي لتربة الطين الرملي مع خبث الأفران بالنسب المختلفة.....	40
شكل (22): التدرج الحبيبي لتربة الطين الرملي مع الشيد بالنسب المختلفة.....	40
شكل (23): التدرج الحبيبي لتربة الطين الرملي مع الزجاج بالنسب المختلفة.....	40
شكل (24): خط الانهيار لتربة الطين الرملي مع ربو المحاجر بالنسب المختلفة.....	41

شكل (25): خط الانهيار لتربة الطين الرملي مع خبث الأفران بالنسب المختلفة..... 42
شكل (26): خط الانهيار لتربة الطين الرملي مع الشيد بالنسب المختلفة..... 42
شكل (27):خط الانهيار لتربة الطين الرملي مع الزجاج بالنسب المختلفة..... 42
شكل (28): منحنى Stress-Strain لتربة الطين الرملي مع ربو المحاجر بالنسب المختلفة..... 43
شكل (29): منحنى Stress-Strain لتربة الطين الرملي مع خبث الأفران بنسبة ١٠%..... 44
شكل (30): منحنى Stress-Strain لتربة الطين الرملي مع الشيد بالنسب المختلفة..... 44
شكل (31): منحنى Stress-Strain لتربة الطين الرملي مع الزجاج بالنسب المختلفة..... 44
شكل (32): منحنى الدمك القياسي لتربة الطين الرملي مع ربو المحاجر بالنسب المختلفة..... 46
شكل (33): منحنى الدمك القياسي لتربة الطين الرملي مع خبث الأفران بالنسب المختلفة..... 47
شكل (34): منحنى الدمك القياسي لتربة الطين الرملي مع الشيد بالنسب المختلفة..... 47
شكل (35): منحنى الدمك القياسي لتربة الطين الرملي مع الزجاج بالنسب المختلفة..... 47
شكل (36): التدرج الحبيبي لتربة الرمل الطيني مع ربو المحاجر بالنسب المختلفة..... 49
شكل (37): التدرج الحبيبي لتربة الرمل الطيني مع خبث الأفران بالنسب المختلفة..... 50
شكل (38): التدرج الحبيبي لتربة الرمل الطيني مع الشيد بالنسب المختلفة..... 50
شكل (39): التدرج الحبيبي لتربة الرمل الطيني مع الزجاج بالنسب المختلفة..... 50
شكل(40): خط الانهيار لتربة الرمل الطيني مع ربو المحاجر بالنسب المختلفة..... 51
شكل(41): خط الانهيار لتربة الرمل الطيني مع خبث الأفران بالنسب المختلفة..... 52
شكل (42): خط الانهيار لتربة الرمل الطيني مع الشيد بالنسب المختلفة..... 52
شكل (43): خط الانهيار لتربة الرمل الطيني مع الزجاج بالنسب المختلفة..... 52
شكل(44): منحنى الدمك القياسي لتربة الرمل الطيني مع ربو المحاجر بالنسب المختلفة..... 55
شكل(45): منحنى الدمك القياسي لتربة الرمل الطيني مع خبث الأفران بالنسب المختلفة..... 55
شكل(46): منحنى الدمك القياسي لتربة الرمل الطيني مع الشيد بالنسب المختلفة..... 55
شكل(47): منحنى الدمك القياسي لتربة الرمل الطيني مع الزجاج بالنسب المختلفة..... 56
شكل(48): حد السيولة لتربة الطين الرملي مع كل المضافات وبالنسب المختلفة..... 58
شكل(49): الوزن النوعي لتربة الطين الرملي مع كل المضافات وبالنسب المختلفة..... 60
شكل(50): الوزن النوعي لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات وبالنسب المختلفة..... 60
شكل (51): معامل الانتظام(Cu) لتربة الطين الرملي مع كل المضافات وبالنسب المختلفة 62

شكل (52): معامل الانحناء (Cc) لتربة الطين الرملي مع كل المضافات وبالنسب المختلفة..... 62
شكل (53): معامل الانتظام(Cu) لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات وبالنسب المختلفة..... 63
شكل (54): معامل الانحناء (Cc) لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات وبالنسب المختلفة..... 63
شكل (55): التماسك (C) لتربة الطين الرملي مع كل المضافات وبالنسب المختلفة..... 65
شكل (56): زاوية الاحتكاك الداخلي (ϕ) لتربة الطين الرملي مع كل المضافات وبالنسب المختلفة..... 65
شكل (57): التماسك (C) لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات وبالنسب المختلفة..... 66
شكل (58): زاوية الاحتكاك الداخلي (ϕ) لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات وبالنسب المختلفة..... 66
شكل (59): التماسك (C) للضغط اللامحصور لتربة الطين الرملي مع كل المضافات وبالنسب المختلفة..... 68
شكل (60): منحنى Stress-Strain لتربة الطين الرملي مع المضافات الأربعة بنسبة ١٠%..... 68
شكل (61): توضيح معامل المرونة " E "..... 69
شكل (62): معامل النفاذية (K) لتربة الطين الرملي مع كل المضافات وبالنسب المختلفة..... 70
شكل (63): معامل النفاذية (K) لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات وبالنسب المختلفة..... 71
شكل (64): الكثافة الجافة (γ_{dry}) العظمى لتربة الطين الرملي مع كل المضافات وبالنسب المختلفة..... 73
شكل(65): المحتوى الرطوبي الأنسب (OMC) لتربة الطين الرملي مع كل المضافات وبالنسب المختلفة..... 73
شكل(66): الكثافة الجافة (γ_{dry}) العظمى لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات وبالنسب المختلفة 74
شكل(67): المحتوى الرطوبي الأنسب (OMC) لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات وبالنسب المختلفة 74
شكل (68): منحنيات الدمك لتربة الرمل الطيني مع المضافات الأربعة بنسبة10%..... 74

فهرس الصور

الصورة	رقم الصفحة
صورة (1): ربو المحاجر بعد تجفيفه في الفرن.....	12
صورة (2): ربو المحاجر بعد طحنه.....	12
صورة (3): خبث الأفران (رماد خشبي).....	13
صورة (4): الشيد المستخدم في المشروع.....	14
صورة (5): الزجاج بعد طحنه على جهاز لوس أنجلس.....	16
صورة (6): جهاز كازاغراندي المستخدم في تجربة حد السيولة.....	18
صورة (7): مجموعة المناخل القياسية.....	19
صورة (8): القالب الخاص بتجربة القص المباشر.....	21
صورة (9): الجهاز الخاص بتجربة القص المباشر.....	21
صورة (10): جهاز الضغط اللامحصور.....	23
صورة (11): عينة الطين الرملي بعد انهيارها	23
صورة (12): تجربة النفاذية بطريقة ضغط الماء المتغير.....	25
صورة (13): تجربة النفاذية بطريقة ضغط الماء الثابت.....	26
صورة (14): أدوات تجربة الدمك القياسية.....	27
صورة (15): بعض العينات من الرمل الطيني مع الاضافات والتي انهارت أثناء تحضيرها....	53

فهرس الجداول

الجدول	رقم الصفحة
جدول (1): بيان متغيرات البحث.....	**10**
جدول (٢): نتائج تجربة التحليل بالمناخل لخبث الأفران.....	**13**
جدول (٣): نتائج تجربة التحليل بالمناخل للشيد.....	**15**
جدول (٤): نتائج تجربة التحليل بالمناخل للزجاج.....	**16**
جدول (٥): حد السيولة وحد اللدونة لنوعي التربة.....	**28**
جدول (٦): قيم الوزن النوعي لنوعي التربة.....	**29**
جدول (٧): عرض نتائج تجربة التحليل بالمناخل **لنوعي التربة**	**29**
جدول (٨): عرض نتائج تجربة القص المباشر لنوعي التربة	**31**
جدول (٩):نتائج تجربة الضغط اللامحصور لتربة الطين الرملي.....	**32**
جدول (١٠): عرض نتائج تجربة النفاذية **لنوعي التربة**	**33**
جدول (١١): عرض نتائج تجربة الدمك لنوعي التربة	**34**
جدول (١٢): ملخص الخصائص الهندسية لنوعي التربة **المستخدمة في البحث**.....	**35**
جدول (١٣): نتائج تجربتي حد السيولة وحد **اللدونة لتربة** الطين الرملي مع كل **المضافات**.....	**36**
جدول (١٤): قيم الوزن النوعي لتربة الطين الرملي مع كل **المضافات**.....	**38**
جدول (١٥): عرض نتائج تجربة التحليل بالمناخل لتربة الطين الرملي مع كل **المضافات**.....	**39**
جدول (١٦): عرض نتائج تجربة القص المباشر لتربة الطين الرملي مع كل **المضافات**.....	**41**
جدول (١٧): نتائج تجربة **الضغط اللامحصور** لتربة الطين الرملي مع كل **المضافات**.....	**43**
جدول (١٨): عرض نتائج تجربة النفاذية لتربة الطين الرملي مع كل **المضافات**.....	**45**
جدول (١٩): عرض نتائج تجربة الدمك القياسية لتربة الطين الرملي مع كل المضافات	**46**
جدول (٢٠): قيم الوزن النوعي لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات.....	**48**
جدول (٢١): عرض نتائج تجربة التحليل بالمناخل لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات.....	**49**
جدول (٢٢): عرض نتائج تجربة القص المباشر لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات.....	**51**
جدول (٢٣): عرض نتائج تجربة النفاذية لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات.....	**54**
جدول (٢٤): عرض نتائج تجربة الدمك القياسية لتربة الرمل الطيني مع **كل المضافات**.....	**54**

جدول (٢٥): مقارنة نتائج حد السيولة وحد اللدونة بعد الاضافات..... **57**
جدول (٢٦): مقارنة نتائج الوزن النوعي بعد الإضافات..... **59**
جدول (٢٧): مقارنة نتائج التحليل بالمناخل بعد الإضافات..... **61**
جدول (٢٨): مقارنة نتائج القص المباشر بعد الإضافات..... **64**
جدول (٢٩): مقارنة نتائج الضغط اللامحصور بعد الإضافات..... **67**
جدول (٣٠): مقارنة نتائج النفاذية بعد الإضافات..... **70**
جدول (٣١): مقارنة نتائج الدمك القياسية بعد الإضافات..... **72**

قائمة الاختصارات

AASHTO	American Associated of State Highway and Transportation Officials الجمعية الأمريكية للطرق	
ASTM	American Society for Testing & Materials الجمعية الأمريكية للفحوصات والمواد	
C	Soil Cohesion	معامل التماسك
Cc	Coefficient of curvature	معامل الانحناء
Cu	Coefficient of uniformity	معامل التماثل أو الانتظام
D_{10}	The value of the size of the soil at 10%passing(Effective Size) الحجم الحبيبي الفعال المقابل ل١٠% مار من الوزن الكلي للعينة	
D_{30}	The value of the size of the soil at 30% passing الحجم الحبيبي المقابل ل٣٠% مار من الوزن الكلي للعينة	
D_{60}	The value of the size of the soil at 60% passing الحجم الحبيبي المقابل ل٦٠% مار من الوزن الكلي للعينة	
K	Coefficient of permeability	معامل نفاذية التربة
LL	Liquid limit	حد السيولة
OMC	Optimum Moisture Content	المحتوى الرطوبي الأمثل
PL	Plastic limit	حد اللدونة
qu	Unconfined compressive strength	مقاومة الضغط اللامحصور
Wc	Water content	المحتوى المائي

ملخص البحث

عند القيام بإنشاء المباني المختلفة والطرق عادة ما تواجه المهندسين مشاكل التربة العضوية الطينية، لذلك يجب التفكير في كيفية تحسين خصائص تربة الأساس للمنشات المختلفة والطرق، وذلك باستخدام مضافات تضاف بنسب معينة إلى التربة لتحسين خواصها.

هذا البحث يهدف إلى تحسين خواص التربة الطينية الرملية والتربة الرملية الطينية باستخدام مضافات، طبيعية وصناعية حيث سيتم دراسة أثر إضافة كل من ربو المحاجر(مخلفات مصانع القص)وخبث الأفران والشيد والزجاج بنسب مختلفة إلى عينات من التربة الطينية الرملية والرملية الطينية ودراسة خصائصها بعد الإضافات باستخدام بعض الفحوصات المخبرية الخاصة بالتربة مثل حد السيولة وحد اللدونة ومقاومة القص والنفاذية وغيرها، لتقييم أثر تلك المضافات.

تم إحضار كميات من التربة الطينية والتربة الرملية وتم خلطها في المختبر بنسبة ٢ طين: ١ رمل في حال التربة الطينية الرملية وبنسبة ٢ رمل: ١ طين في حال التربة الرملية الطينية وتم إجراء بعض التجارب القياسية عليها وهي حد اللدونة وحد السيولة والتدرج الحبيبي والوزن النوعي والنفاذية وتجربة القص المباشر والضغط غير المحصور وتجربة الدمك، أما بالنسبة للمضافات فقد تم التعرف على خصائص التدرج الحبيبي لها.

من أجل تحقيق أهداف البحث تمت إضافة المضافات على التربة بنسب مختلفة هي ١٠%، ٢٠%، ٣٠% من وزن العينة وإجراء نفس التجارب على العينات ثم اجراء الحسابات اللازمة عليها للحصول على النتائج التي تمت مقارنتها بعد ذلك ودراسة أثر كل نوع من المضافات على نوعي التربة المستخدمة في البحث مقارنة النتائج لمعرفة أثر هذه المضافات على التربة.

يتبين في هذا البحث الى أن الربو يعمل على زيادة حد السيولة للطين الرملي وخفض حد اللدونة وتقليل معامل النفاذية لنوعي التربة وتقليل قيمة التماسك وزيادة زاوية الاحتكاك الداخلي لنوعي التربة، ويعمل ايضا علىزيادة الكثافة الجافة العظمى وتقليل محتوى الرطوبة الأمثل للطين الرملي بينما يقلل كليهما للرمل الطيني. أما الشيد فانه يقلل من حد السيولة للطين الرملي ويفقده اللدونة ويقلل من معامل

النفاذية لنوعي التربة ويزيد من قيمة التماسك ويقلل زاوية الاحتكاك الداخلي ويقلل كل من الكثافة الجافة ومحتوى الرطوبة الأمثل لنوعي التربة بينما يعمل خبث الافران على زيادة حد السيولة للطين الرملي ويفقده حد اللدونة ويعمل ايضا على تقليل قيمة التماسك وزيادة زاوية الاحتكاك الداخلي وتقليل كلا من الكثافة الجافة ومحتوى الرطوبة الأمثل لنوعي التربة. أما بالنسبة للزجاج فانه يؤدي الى تقليل حد السيولة للطين الرملي وافقاده حد اللدونة ويؤدي الى زيادة النفاذية زيادة زاوية الاحتكاك الداخلي وخفض قيمة التماسك وخفض كلا من الكثافة الجافة والمحتوى الأمثل للرطوبة لنوعي التربة.

Abstract

Given the nature of the mainly agricultural soil in our country, we must take into account the likelihood of encountering clay soil, so we must think how to improve properties of soil, this can be done by introducing certain additives to enhance the soil's properties and suitability.

In this research, we aim to improve the suitability of the clayey sand and sandy clay soil by way of introducing non-costly additives such as: Slurry waste, Fly ash, Lime and Glass in specific proportions to soil samples. Then we would examine and study properties of the mixture via specific lab tests such as: Water content, Liquid limit, Plastic limit, Grain size analysis, Specific gravity, Permeability, Direct shear test, Unconfined Compression Test, Compaction Test and California bearing ratio.

Samples of the clay and sand soil under study were mixed with two proportions clay and one proportion sand soil in the case of predominantly sandy clay soil, and two proportions of sand soil and one proportion of clay in the case of the predominantly clayey sand soil.

The findings of this research are as follows:

- Increase of stone slurry content as increased LL, ϕ and $\gamma_{dry\text{-}max}$, while decreased PL, K, C and OMC for both type of soils.
- Increase of lime contents has increased C and decreased LL, ϕ , $\gamma_{dry\text{-}max}$, PL, K and OMC for both type of soils.
- Increase of fly ash contents has increased LL and ϕ , while decreased PL, $\gamma_{dry\text{-}max}$, C , K and OMC for both type of soils.
- Increase of glass contents has increased K and ϕ, and decreased $\gamma_{dry\text{-}max}$, PL , C , LL and OMC for both soils.

الفصل الأول

مقدمـــــــــة

1,1 تمهيد

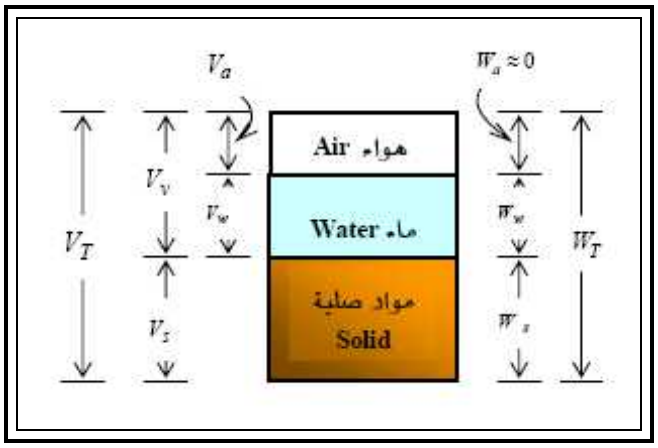
تعد التربة من أكثر الظواهر الطبيعية المؤثرة في حياتنا، فهي من أقدم مواد البناء التي عرفها الإنسان، فقد بنى عليها وبنى بها وبنى فيها، فكان البناء عليها كما هو الحال في أساسات المنشآت، وبنى بها كما هو الحال في السدود الترابية، وبنى فيها مثل الأنفاق والمناجم.

ويمكن تعريف التربة على أنها الطبقة القشرية من الأرض التي تكونت نتيجة فتات الصخور بسبب عوامل التعرية وكذلك المواد العضوية الناتجة عن تحلل النباتات والحيوانات، بالإضافة إلى ما تحتويه من هواء ومحاليل معدنية وعضوية. فهي بذلك تعد خليطا غير متجانس يحتوي على حالات المادة الثلاث : الصلبة، والسائلة، والغازية.

والتربة هي المادة التي إستطاعت أن تجمع علوم الهندسة والبيئة والجيولوجيا والكيمياء والفيزياء والنقل والبناء وغيرها، وذلك لأهميتها. لذا كان من الضروري المضي قدما في دراسة علم التربة(علم ميكانيكا التربة)، حتى يمكن التصدي للمشاكل المختلفة التي قد تطرأ من إستخدامات التربة المتعددة، خاصة إذا عرفنا أنها الأكثر وفرة في محتواها ولكنها الأكثر تعقيدا في خواصها.

مادة التربة تختلف عن غيرها من مواد البناء الأخرى ذات الصفات الثابتة مثل الاسمنت والحديد والزجاج وغيرها. فهي مادة تملك خواص طبيعية متنوعة تحتاج إلى دراسات معملية وأخرى نظرية من أجل التعرف على خواصها وسلوكياتها للحد من المشاكل الهندسية التي قد تظهر نتيجة استخدامها [1] .

بالنسبة إلى التربة الهندسية، أي التي يتعامل معها المهندس، فإنها تتكون من ثلاث مكونات رئيسية: الحبيبات الصلبة، الفراغات بين الحبيبات، الماء أو الهواء داخل الفراغات منفردين أو مجتمعين. لاحظ الشكل (1) الذي يوضح التمثيل الوزني والحجمي للتربة. وإضافة إلى تلك المكونات الأساسية، فإن بعض أشكال التربة يحتوي على مواد عضوية وبلورات معدنية مختلفة تؤثر على خصائصها.



شكل (1): التمثيل الوزني والحجمي للتربة

تعد أعمال التربة ذات طبيعة تجعل المهندس يتوقع حدوث مشكلات هندسية أثناء التحضير للمشروع، أو أثناء تنفيذه، أو حتى بعد الانتهاء منه، وخطأ المهندس يؤدي إلى خسائر بشرية ومادية. ويمكن إبراز **المشاكل** المصاحبة للأعمال الترابية في التقسيمات الرئيسية التالية [2]:

١. **مشاكل ثبات التربة (Soil Stability Problems):** مثل انجراف التربة ذات الميول، وحركة الجدران الإستنادية نتيجة الضغط الجانبي للتربة، وانهيار التربة نتيجة الإجهادات الرأسية عليها.

٢. **مشاكل هبوط التربة (Soil Settlement Problems):** مثل انضغاطية التربة مع الزمن والتغير في حجمها نتيجة الإجهادات الرأسية عليها.

٣. **المشاكل الناتجة عن البيئة (Environmental Related Problems):** والتي قد تعود إلى طبيعة الطقس من حيث الأمطار والرياح ودرجات الحرارة، والتغيرات الكيميائية للتربة نتيجة أعمال التلوث.

٤. **مشاكل تسرب المياه (Seepage Problems):** والمرتبطة بنفاذية التربة وسرعة حركة المياه وكميتها المتدفقة من خلال مسام التربة، وكذلك نوع المتكون المائي والضغوط المائية التي تتعرض لها التربة.

٥. **المشاكل الناجمة عن أعمال الحفر (Excavation Related Problems):** وما قد يحدث عنها من انتفاخ أو انكماش أو انهيار للتربة.

ويأتي حل المشاكل المصاحبة لأعمال التربة نتيجة عمل دراسة وفحص للخصائص الهندسية لتربة الموقع قبل الإنشاء عليها، ومن هنا فإن معرفة الخصائص الهندسية للتربة تعتبر ذات أهمية عظيمة لمهندس الإنشاءات وذلك لأن جميع أساسات المنشآت يتم بناءها على التربة، وإن كانت هذه التربة ضعيفة التحمل فهذا يعرض المنشأ لخطر الإنهدام الكلي أو الجزئي. ويجرى عادة فحص تربة الأساس (سواء في الإنشاءات أو الطرق)، فإن وجد أن تربة الأساس ضعيفة ولا تتحمل الأوزان الواقعة عليها، يعمد إلى معالجتها إما بالطرق الميكانيكية كالدمك واستبدال التربة الضعيفة بتربة مناسبة، أو بالطرق الكيميائية بإضافة مواد لها خصائص معينة تحسن خواص التربة وبخاصة خصائص القوة.

ومن المضافات الكيميائية التي يمكن إضافتها للتربة لتحسين خصائصها [3]:

١. **الإضافات الجيرية:**

تعمل الإضافات الجيرية على إزالة أو تقليل انتفاخ التربة بفعل بعض التأثيرات الكيميائية، وتضاف هذه المواد بنسب معينة إلى التربة وذلك بعدة طرق حسب الحالة فمثلا ممكن إضافتها بإزالة التربة ثم خلطها بالمواد الجيرية المضافة ثم إعادتها، أو ممكن إضافتها إلى التربة ثم حرثها في مكانها أو ممكن عمل حفر رأسية على أعماق وأبعاد مناسبة في التربة ثم إعادة ملئها بالمادة الجيرية، وهذه الإضافات مناسبة للطبقة السطحية بعمق متر واحد فقط من التربة.

٢. **الإضافات الإسمنتية:**

إضافة الاسمنت إلى التربة يؤدي إلى إزالة أو تقليل انتفاخ التربة بفعل التماسك و تغيير المعادن الطينية و يضاف الاسمنت إلى التربة بنسب معينة، وقد يضاف بطريقة الإزالة ثم الخلط ثم الإعادة وقد يضاف في محطة خلط أو قد يضاف إلى التربة وهي في مكانها.

٣. **إضافات كيميائية أخرى:**

هناك مواد كيميائية أخرى يمكن إضافتها للتربة حسب الحالة وتضاف بعدة طرق مثل الإزالة و الإعادة و الخلط أو تضاف بالرش أو بالحقن أو غير ذلك.

أما بحثنا فيتضمن محاولة لتحسين خواص تربة الطين الرملي (طين يحتوي على نسبة من الرمل) وتربة الرمل الطيني (رمل يحتوي على نسبة من الطين)، بواسطة بعض المضافات الطبيعية والصناعية التي يسهل الحصول عليها لتوفرها في بلادنا وهي في نفس الوقت اقتصادية غير مكلفة، ليتم إجراء الفحوصات اللازمة وتحديد الخصائص الهندسية النهائية لأنواع التربة المستخدمة.

1,2 الأهداف

التعرف على مدى تحسن الخصائص الهندسية لتربة الأساس (للمنشآت والطرق)، بعد إضافة مضافات صناعية وطبيعية لها. وتحديد مدى إمكانية الاستفادة من تلك التربة المحسنة في أعمال الإنشاءات. وتخليص البيئة من بعض المواد الملوثة مثل ربو المحاجر وخبث الأفران. وفي هذه الحالة يتم تحسين تربة الأساس باستخدام إضافات غير مكلفة اقتصاديا.

1,3 فرضيات البحث

أهم فرضيات هذا البحث هي:

- يمكن تحسين خصائص التربة الضعيفة بإضافة مواد ذات خصائص جيدة لها.
- المضافات التي تم اختيارها لها خصائص جيدة يمكن أن تساعد على زيادة التماسك والاحتكاك بين حبيبات التربة.
- يمكن تقليل الأثر البيئي لبعض المخلفات التي تنتج من الصناعات وذلك بأن تستخدم في الأعمال الإنشائية أو الصناعية.
- جميع المضافات المستخدمة في البحث يمكن الحصول عليها بسهولة ويسر ولن تزيد عن التكلفة الإجمالية لأي مشروع إنشائي أو إنشاء طريق.

1,4 طريقة البحث

١) تحضير العينات التي ستجرى عليها التجارب وهي : تربة الطين الرملي، و تربة الرمل الطيني.

٢) تحضير المضافات التي سيتم إضافتها لنوعي التربة وهي :ربو المحاجر، خبث الأفران، الشيد، والزجاج المطحون.

٣) إجراء الفحوصات الهندسية اللازمة على نوعي التربة لتحديد خصائصها الأساسية، وهذه الفحوصات هي:

- حد السيولة
- حد اللدونة
- تحليل حجم الحبيبات (التحليل بالمناخل)
- الوزن النوعي (Gs)
- اختبار مقاومة القص المباشر
- فحص الضغط اللامحصور
- فحص النفاذية

- فحص الدمك

٤) إضافة نسب محددة من كل نوع من المضافات السابق ذكرها لنوعي التربة، وعمل الفحوصات المخبرية لنوعي التربة بعد الإضافات. وقد تم تحديد النسب المضافة بـ 10% و20% و30% نسبة وزنية .

٥) تحليل نتائج الفحوصات المخبرية للتربة قبل الإضافات وبعدها.

٦) مقارنة النتائج ومناقشتها، وترتيبها بصورتها النهائية.

٧) كتابة تقرير البحث.

الفصل الثاني
الدراسات السابقة

تعتبر الدراسات السابقة من أهم الوسائل التي يعتمد عليها الباحثون في دراستهم وفى تحديد أبحاث جديدة للدراسة، فقد يكون الموضوع بحاجة لمزيد من البحث أو تأكيد النتائج السابقة.

هناك العديد من الدراسات التي تتعلق "بتحسين خواص التربة بإضافة مواد كيميائية" فهناك دراسات لتحسين خواص التربة بإضافة الاسمنت، وأخرى بإضافة مخلفات حرق الفحم (fly ash)، وغيرها بإضافة الشيد، ودراسات بإضافة الألياف ، أما أهم الدراسات السابقة فهي :

- بحث بعنوان " Use of fly ashes for the stabilization of an expansion soil "، أجري البحث في أنقرة في تركيا بجامعة الشرق الأوسط التقنية " Middle East Technical-University " نشر البحث في "Journal of Geotechnical and Geoenvironmental-Engineering, Vol. 127, No. 7, July 2001" ، بواسطة "Joakim G. Laguros"، وفي البحث تم إضافة مخلفات حرق الفحم على التربة الإنهيارية، ووجد أنه تحسنت خواص التربة الانهيارية وأصبحت أكثر تماسكا [4].

- بحث بعنوان " Behavior of cement-stabilized fiber reinforced fly ash soil-admixtures "، أجري البحث في نيودلهي في الهند سنة ١٩٩٩م، وقام بالبحث " Shenbag R.Kaniraj- and Vasant G.Havanagi ". وتمت الدراسة بإضافة مخلفات حرق الفحم على التربة المسمنتة (المضاف لها نسبة من الاسمنت) وعلى التربة المضاف لها نسبة من الألياف وكانت النتيجة أن تحسنت خواص التربة في كلا الحالتين، وتحول تصرف التربة من "brittle-" behavior إلى "ductile behavior" [5].

- بحث قام به "Puppala A. J" سنة ١٩٩٦م، بعنوان " Engineering behavior of lime-treated- Louisiana sub-grade soil "، أجري البحث بإضافة الشيد "Lime " على التربة وأجري عليها فحص نسبة تحمل كاليفورنيا "CBR "، وفحص الدمك، وتجربة الضغط اللامحصور، وحدود اتيربرغ. وكانت النتيجة أنه زادت قوة تحمل التربة، وقلت لدونة التربة

"plasticity". نشر هذا البحث في مجلة Transportation Research, record no. "1546" [6].

- دراسة بعنوان "Influence of fiber and cement addition on behavior of sandy-soil"، قام بالدراسة "Nilo C. Consoli" وزميلاه، عام ١٩٩٨م، حيث تم إضافة الاسمنت البورتلاندي العادي، و الألياف على التربة الرملية، وكانت نتيجة إضافة الاسمنت للتربة أنه زادت "Stiffness, britlness and peak strength" للتربة. أما التربة المضاف لها الألياف فقد قلت Stiffness، وتحولت التربة الى ductile، وزادت "peak and residual triaxial-strength" للتربة. وتماسكية التربة (C) زادت في الحالتين [7].

- بحث بعنوان "Combining industrial wastes with lime for soil stabilization"، نشر البحث في "Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 117, No.1, P (1-17), January 1991". بواسطة "Masashi Kamon & Supakij Nontananandh" "هذه الدراسة أجريت بإضافة خليط من الشيد ونوع من مخلفات المصانع "Sludgy-industrial waste"، تحول هذا الخليط إلى مادة تشبه في خصائصها الاسمنت البورتلاندي، وقد أدى الخليط نتائج فعالة في معالجة التربة وتحسين خصائصها [8].

- دراسة أجريت في واشنطن عام ١٩٩٤م بعنوان "Lime and fly ash admixture-improvement of tropical Hawaiian soils"، قام بالدراسة "Nicholson P.G.". وكانت النتيجة أن التربة المعالجة زادت فيها قوة الضغط اللامحصور "Unconfined-compressive strength"، وزادت نسبة تحمل كاليفورنيا، وزادت المحتوى الرطوبي الفعال في تجربة الدمك "OMC". بينما قلت لدونة التربة المعالجة، وقلت الكثافة الجافة القصوى في تجربة الدمك "$\gamma_{dry-max.}$" [9].

- إجراء دراسة تجريبية على استخدام غبار الاسمنت في تحسين خواص التربة سنة ١٩٩٨م، قام بالتجربة "طلال عبيد الرفيعي" و"عوض علي القرني"، وقد تم استخدام غبار الاسمنت في تحسين خواص التربة وهو عبارة عن ناتج ثانوي مصاحب لعمليات تصنيع الاسمنت البورتلاندي ويتكون أثناء حرق المواد الخام في التنور المخصص لإنتاج الخبث. وتم دراسة تأثير إضافة نسب مختلفة من غبار التنور الإسمنتي على الخصائص الهندسية لأنواع مختلفة من التربة ذات المشاكل الهندسية. وقد تم دراسة خصائص محددة لعينات جمعت من مصانع

الاسمنت المقامة في وسط وشرق المملكة العربية السعودية. ووجد أن معامل اللدونة وحد السيولة للتربة الطينية يقلان بحدة كلما زادت نسبة الغبار التنوري المضاف، ثم تستقر عند نسبة تساوي تقريبا ١٠٪ للغبار المضاف. وكذلك تحسنت خواص الدمك للتربة الرملية وذلك بزيادة القيمة العظمى للمحتوى المائي والقيمة العظمى للكثافة الجافة كلما زادت نسبة الغبار التنوري [10].

- بحث بعنوان " Stabilization of Clay Using Wood ash"، قام به "Celestine O. Okagbue" تم قبوله بتاريخ "29 July 2005". تم البحث بإضافة نسبة من مخلفات حرق الخشب على التربة الطينية، وأجريت تجربة الوزن النوعي وتحليل حجم الحبيبات وحدود اتيربرغ ونسبة تحمل كاليفورنيا CBRوتجربة الدمك ومقاومة الضغط. وكانت النتائج جيدة في تحسين خواص التربة المعالجة بهذا المضاف فقد قلت اللدونة بمقدار 35%، وأما مقاومة التربة ونسبة تحمل كاليفورنيا زادتا بمقدار يتراوح (49% ـ 67%) و(23% ـ 50%) على التوالي [11].

- وتم الحصول على دراستين حول تحسين خواص التربة باستخدام مخلفات نشر الحجارة (ربو المحاجر):-

الأولى: ورقة علمية للدكتور نبيل الجولاني، قام بتقديمها إلى مؤتمر علمي، وقد بحث في هذه الورقة عددا من الخصائص لمادة ربو المحاجر وهي نسبة الرطوبة و حد الليونة و حد اللدونة، و التحليل بالمناخل ونسبة الانكماش الطولي و الحجمي و الكثافة النوعية وأعلى كثافة رطبة و أعلى كثافة جافة، و تجربة القص المباشر و النفاذية، من خلال هذه التجارب توصل الباحث إلى كثير من النتائج التي يمكن الاعتماد عليها وخاصة في التغيرات على زاوية الاحتكاك الداخلي ونسبة التماسك.

بعض النتائج التي توصل إليها الباحث في دراسته، ما يتعلق بالرطوبة الطبيعية لمادة ربو المحاجر والتي تزيد عن ٦٣% وهذا يظهر كمية الماء غير المستفاد منها التي تحتويها هذه المادة، كذلك ما يتعلق بحد الليونة و اللدونة حيث إن نسبة الرطوبة عند حد الليونة لهذه المادة تقارب ٢٠%، كما أنه لا حد لدونة لهذه المادة وهو ما يدل على قرب خصائصها من خصائص الرمل، كما وجد أن تصنيف الربو هو SM حسب الطريقة الموحدة للتصنيف وهو (رمل سيلتي) [12].

والثانية: دراسة أجريت في جامعة البوليتكنك حيث تم بحث (أثر مخلفات قص الحجر على الخصائص الهندسية للتربة الطينية و الرملية). وقد تطرق البحث إلى – مخلفات مصانع الحجر- كمادة تضاف إلى التربة الطينية و الرملية، وقد تركزت الدراسة على ثلاثة اختبارات رئيسية وهي: فحص مقاومة التربة لقوى القص المباشر وفحص الهبوط، هذا بالإضافة إلى بعض الخصائص الأساسية للتربة مثل الرطوبة النسبية وتحليل حجم الحبيبات، والوزن النوعي، وحد اللدونة، و حد الانكماش الطولي والحجمي للتربة.

ومن أهم النتائج التي تم التوصل إليها في البحث، هي أن حد الليونة للتربة الطينية هو الأعلى من بين أنواع التربة الثلاث – الطينية و الرملية وربو المحاجر- وأن التربة الرملية ليس لها حد ليونة، كما أنه اثبت في هذا البحث أن مادة ربو المحاجر لا يوجد له حد ليونة وهو ما يفسر قربه من خصائص التربة الرملية، وهذا تأكيد لنتائج البحث الأول. أما فيما يتعلق بحد الانكماش الطولي لأنواع التربة الثلاث فإن التربة الطينية لها أعلى حد انكماش في حين أن حد الانكماش الطولي لربو المحاجر اقل منه للتربة الطينية وأما التربة الرملية فلا يوجد لها حد انكماش [13].

تلك كانت أهم الدراسات السابقة التي تم الحصول عليها، والملاحظ في تلك الدراسات أنها كانت مقتصرة على نوع واحد أو نوعين من المضافات فقط، كما أنها لم تشمل أنواع متعددة من التربة، وإنما اقتصرت على نوع واحد من التربة، ولم يتم الحصول على أي بحث يستخدم الزجاج كمادة لتحسين خواص التربة. وهذا هو الذي يميز هذا البحث، فبحثنا تطرق لنوعين من التربة، وأربع مضافات، والعديد من التجارب المخبرية. وإنجاز مثل هذا البحث سوف يعطي بعدا أكبر، وإضافة مهمة إلى موضوع تحسين خصائص التربة باستخدام مضافات طبيعية وصناعية، والأهم من ذلك هو إطلاعنا كفريق بحث على الأبحاث العلمية في هذا المجال وكيفية إجراؤها وكيفية الاستفادة من المخلفات المختلفة كمضافات مفيدة لتحسين خصائص التربة.

الفصل الثالث

خصائص المواد المستخدمة وأهم الفحوصات المخبرية

3,1 متغيرات البحث

في هذا البحث سيتم دراسة تحسين الخصائص الهندسية لنوعين من التربة هما: تربة الطين الرملي، وتربة الرمل الطيني، باستخدام أربعة مضافات هي: ربو المحاجر، خبث الأفران، الشيد، والزجاج، وسيتم إضافة كل مضاف من هذه المضافات على نوعي التربة بنسب تتراوح من 10% إلى 30% في كل حالة، عند نسبة رطوبة 10%، وسوف تجرى على كل حالة الفحوصات المخبرية التي سبق ذكرها في طريقة البحث من الفصل الأول وفيما يلي وصف مختصر لخصائص المواد المستخدمة و أهم الفحوصات .

جدول (1): بيان متغيرات البحث

نوع التربة	طين رملي	رمل طيني
المضافات	ربو المحاجر، خبث الأفران، شيد، وزجاج مطحون	ربو المحاجر، خبث الأفران، شيد، وزجاج مطحون
نسبة المضافات	10%، 20%، 30%	10%، 20%، 30%
الاختبارات التي ستجرى لتحقيق أهداف البحث	١. المحتوى المائي ٢. حد السيولة ٣. حد اللدونة ٤. التدرج الحبيبي بالتنخيل ٥. فحص القص المباشر ٦. فحص الضغط اللامحصور ٧. فحص النفاذية ٨. فحص الدمك ٩. فحص الوزن النوعي	١. المحتوى المائي ٢. حد السيولة ٣. حد اللدونة ٤. التدرج الحبيبي بالتنخيل ٥. فحص القص المباشر ٦. فحص الضغط اللامحصور ٧. فحص النفاذية ٨. فحص الدمك ٩. فحص الوزن النوعي

من الجدول (1) والذي يبين متغيرات البحث والتي تشمل عينتين من التربة، وأربعة مضافات، وثلاث نسب لكل مضاف، بالإضافة إلى تسع تجارب رئيسية؛ من تلك المعلومات نستطيع القول بأنه تم إجراء (216) تجربة في مختبر ميكانيكا التربة، وهذا يدل على ضخامة وشمولية هذا البحث.

3,2 تعريف عام بتربة البحث

لقد تم أخذ التربة الطينية من أرض زراعية شمال مدينة الخليل من عمق 30سم. أما الرمل فهو من النوع التجاري المستخدم في الأعمال الإنشائية. وسيأتي لاحقا عرض للخصائص الأساسية لهذه التربة، كما سيتم التعرف على كيفية تحضير تربة الطين الرملي وتربة الرمل الطيني.

3,3 تعريف عام بالمضافات

يشتمل بحثنا على أربعة مضافات هي: ربو المحاجر، خبث الأفران، الشيد، والزجاج. وسيتم وصف كل مضاف من المضافات في العناوين التالية:

3,3,1 ربو المحاجر

وهي المادة التي تنتج من صناعة قص وتشكيل الحجارة في مناشير الحجر الموزعة في أنحاء فلسطين، وتتكون هذه المادة من الماء المستخدم لتبريد منشار القص والعوالق الدقيقة من الحجارة وبعض المكونات المعدنية الثقيلة.

تم إحضار كمية من المخلفات السائلة من مصنع قص حجر من جنوب مدينة الخليل (من منطقة الفحص) ،وتم تجفيف هذه العينة في المختبر على درجة حرارة 110 درجات مئوية، لمدة أربع وعشرين ساعة، ونتجت قطع صلبة، لاحظ الصورة (1). بعد ذلك تم طحنها جيدا بمطرقة بلاستيكية، فتحولت القطع الصلبة إلى بودرة ناعمة، لاحظ الصورة (2). وهذه المادة الناتجة هي المضاف الأول الذي سيتم استخدامه في البحث.

صورة (1): ربو المحاجر بعد تجفيفه في الفرن

صورة (2): ربو المحاجر بعد طحنه

أما أهم الخصائص الأولية لمادة **ربو المحاجر** فهي كالتالي [12]:

- **حد** السيولة 23%. ولا يوجد **لربو المحاجر حد لدونة** لأنه مادة غير لدنة.
- التحليل بالمناخل: D_{10} = 0.09 **ونسبة المار من منخل رقم** 30 هو D_{30} = 0.19 **والمار من منخل رقم** 60 هو D_{60} = 0.29 ، **معامل الانحناء** Cc = 1.37 .
- **الكثافة** النوعية 2.59 .
- **نتائج تجربة القص المباشر** $\phi = 35^{o}$ ، **ومعامل التماسك** C = 0.08 **كغم/سم**^{2}.
- **معامل** النفاذية K = $2.8 * 10^{-8}$ **سم**/ثانية.

3,3,2 خبث الأفران

خبث الأفران أو ما يعرف بالرماد وهي المادة الغير قابلة للاحتراق والمتبقية بعد احتراق المواد العضوية بالكامل.

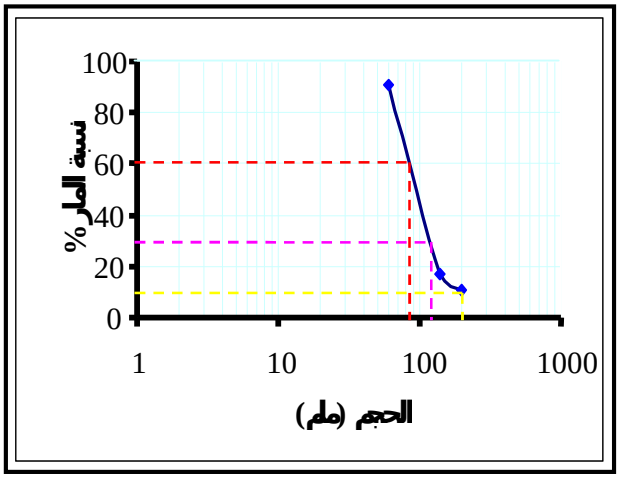
عند إجراء الفحوصات على الرماد لأغذية محرقة، يمكن التنبؤ بما كانت تحتويه المادة من مواد عضوية قبل الاحتراق. مثل على ذلك رماد الحليب المحترق يحتوي على كالسيوم، وأيضا رماد الطحالب البحرية يحتوي على نسبة كبيرة من اليود [14]. في مشروعنا أحضرنا كمية من الرماد الناتج عن حرق الخشب، لاحظ الصورة (3).

صورة (3): خبث الأفران (رماد خشبي)

وقد تم إجراء تجربة التحليل بالمناخل على خبث الأفران وكانت النتائج كما يلي:

جدول (2): نتائج تجربة التحليل بالمناخل لخبث الأفران

رقم المنخل	نسبة المار (%)	D_{10} (mm)	D_{30} (mm)	D_{60} (mm)	Cu	Cc
60	90.84	0.075	0.106	0.150	2.00	0.99
140	16.92					
200	10.87					



شكل (2): التدرج الحبيبي لخبث الأفران

٣.٣.٣ الشيد

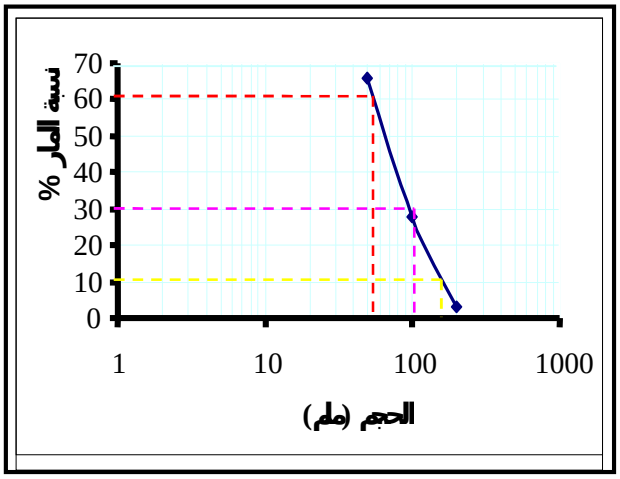
الشيد أو الجير المطفأ ينتج عن تفاعل الجير الحي مع الماء لساعات طويلة حيث يصبح بعدها المحلول غروي وبعد ذلك يجفف للحصول على مسحوق أبيض متجانس خال من الكتل. أما عن استعمالاته فيستخدم الشيد في أعمال الطينة للبطانة و الظهارة و مونة الاسمنت و الطلاء [14]. وحصلنا على الشيد المتوافر في مدينة الخليل، لاحظ الصورة (4).

صورة (4): الشيد المستخدم في المشروع

وقد تم إجراء تجربة التحليل بالمناخل على الشيد وكانت النتائج كما يلي:

جدول (3): نتائج تجربة التحليل بالمناخل للشيد

Cc	Cu	D_{60}(mm)	D_{30} (mm)	D_{10}(mm)	نسبة المار(%)	رقم المنخل
1.00	2.78	0.250	0.150	0.090	66.072	50
					27.830	100
					3.020	200



شكل (3): التدرج الحبيبي للشيد

3,3,4 الزجاج

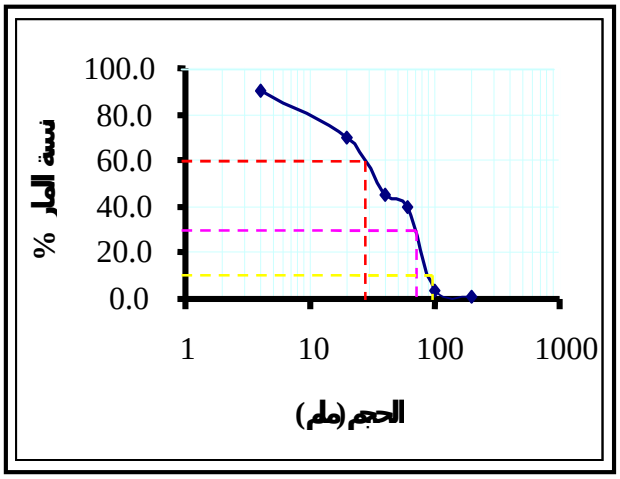
هو مادة عديمة اللون خاملة، تصنع أساسا من السليكا المصهور في درجات حرارة عالية مع حمض البوريك أو الفوسفات. والزجاج يوجد في الطبيعة كما يوجد أيضا في المواد البركانية التي تسمى الزجاج البركاني أو المواد التي تنشأ من النيازك. والزجاج ليس صلبا ولا سائلا وإنما يكون في حالة خاصة تظهر فيها جزيئاته بشكل عشوائي، ولكن يوجد تماسك كاف لإحداث اتحاد كيميائي بينها. وعندما يتم تبريد الزجاج يصل إلى حالته الصلبة ولكن بدون تبلور، ومع تعريضه للحرارة يتحول الزجاج إلى سائل. وعادة ما يكون الزجاج شفافا ولكنه قد يكون غير شفاف أو نصف شفاف أيضا، ويختلف لونه تبعا لمكوناته. والمكونات الأساسية للزجاج هي السليكا المشتقة من الرمل والصوان والكوارتز. وتصهر السليكا في درجات حرارة عالية جدا لإنتاج زجاج السليكا المصهور. ويتم إنتاج أنواع مختلفة من الزجاج باتحاد السليكا مع مواد خام أخرى بنسب مختلفة [14]. وفي هذا البحث تم احضار كمية من الزجاج الصلب بعد التبريد (من مصانع الزجاج) وتم طحنه في المختبر على جهاز لـــوس أنجلس، لاحظ الصورة (5).

صورة (5): الزجاج بعد طحنه على جهاز لوس أنجلس

وقد تم إجراء تجربة التحليل بالمناخل على **الزجاج** وكانت النتائج كما يلي:

جدول (4): نتائج تجربة التحليل بالمناخل للزجاج

Cc	Cu	D_{60}(mm)	D_{30}(mm)	D_{10}(mm)	نسبة المار(%)	رقم المنخل
0.49	5.67	0.850	0.250	0.150	90.419	4
					69.723	20
					45.549	40
					40.020	60
					3.500	100
					1.000	200



شكل (4): التدرج الحبيبي للزجاج

3,4 وصف عام للفحوصات المخبرية

3,4,1 المحتوى المائي (Water Content) : (ASTM D-2216) [15]

تعتبر تجربة المحتوى المائي من التجارب الروتينية التي تحدد كمية الماء الموجودة في كمية من التربة بالنسبة لوزنها الجاف، ويمكن تعريف محتوى الرطوبة (Wc %) بأنه النسبة بين وزن الماء داخل الفراغات إلى وزن المواد الصلبة لعينة التربة:

$$Wc = (Ww/Ws) *100 \ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث أن:

Wc: المحتوى الرطوبي.

Ww: وزن الماء.

Ws: الوزن الجاف للتربة.

يعتبر وزن الماء متغيرا حيث يمكن أن يزداد أو يقل حسب فقدان العينة للرطوبة أو كسبها له، ويتم تحديد المحتوى المائي بأخذ عينة من التربة وزنها (Wt) ثم وضعها في الفرن لمدة أربع وعشرين ساعة ثم وزنها مرة أخرى (Ws):

$$Ww = Wt-Ws \ldots\ldots\ldots (2)$$

حيث أن:

Ww: وزن الماء.

Wt: وزن عينة التربة الطبيعية (الرطبة).

Ws: الوزن الجاف للتربة.

3,4,2 حد السيولة (Liquid Limit) : (ASTM D-423, AASHTO T-89) [15][16]

يعرف بأنه حد الرطوبة الذي تحته تتصرف التربة كمادة لدنة وفوقه تتصرف كمادة سائلة. يتم إجراء التجربة لتحديد معامل السيولة باستخدام أداة موضحة في الشكل، حيث يتم تحضير عينة بمحتوى رطوبة معين وتوضع في جهاز كازاغراندي الموضح في الصورة (6). بالنسبة إلى كيفية إيجاد حد السيولة فيتم عن طريق رسم نتائج التجربة على محور أفقي لوغاريتمي يمثل عدد الضربات في جهاز كازاغراندي، ومحور عمودي ذو تدريج عادي يمثل المحتوى الرطوبي وحد السيولة يكون المحتوى الرطوبي المقابل ل25 ضربة.

صورة (6): جهاز كازاغراندي المستخدم في تجربة حد السيولة

3,4,3 حد اللدونة (Plastic Limit) : (ASTM D-424, AASHTO T-90) [15][16]

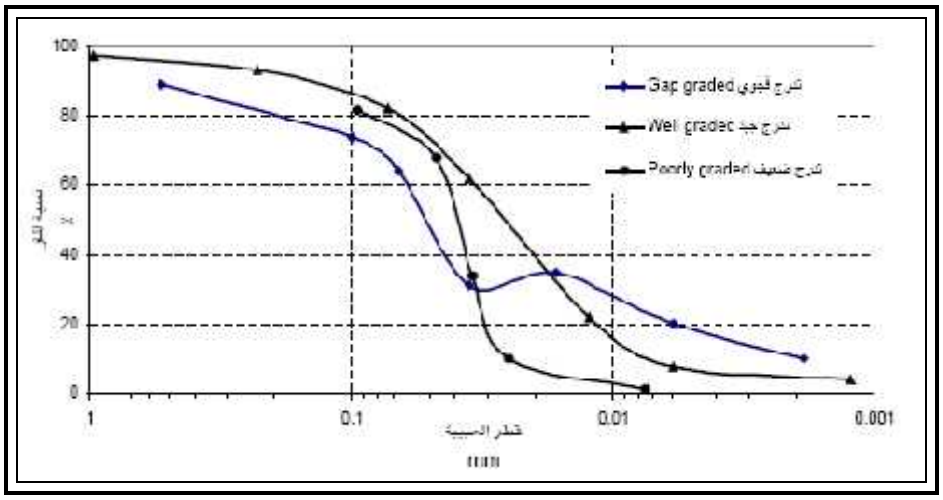
يتم إجراء هذه التجربة ببسط عينة التربة الرطبة بأصابع اليد على لوح زجاجي مخصص لذلك حتى تتحول إلى حبل قطره 3ملمترات. ثم يعاد خلط التربة وبسطها من جديد إلى خيوط بقطر3 ملم، وتتكرر هذه العملية إلى أن تبدأ التشققات بالظهور، عندها يتم اعتبار أن العينة قد بلغت حد لدونتها، ومحتوى الرطوبة لهذه العينة هو حد اللدونة لها.

3,4,4 التدرج الحبيبي بالتنخيل (Sieve Analysis) : (ASTM D-421, D-422, AASHTO T-88) [15][16]

هي إحدى تجارب التربة المهمة حيث أن المعلومات المأخوذة من هذه التجربة تستخدم في تصنيف التربة، كما أن هذه التجربة تعطي معلومات عن حجم حبيبات التربة ونسب هذه الأحجام. يتم التحليل بالمناخل عن طريق وزن العينة أوليا ثم وضعها في مجموعة المناخل القياسية، لاحظ الصورة (7)، ورجها بواسطة الرجاج الميكانيكي لمدة عشر دقائق وبعدها يتم وزن المحجوز من التربة على كل منخل ثم رسم منحنى بين نسبة المار وقطر الحبيبات ويتم الرسم على منحنى شبه لوغاريتمي ويسمى المنحنى الناتج "بمنحنى التدرج الحبيبي".

صورة (7): مجموعة المناخل القياسية

يتم الحكم على **تدرج** الحبيبات من خلال الوصف النظري بالعين للمنحنى**فإذا** كان المنحنى على **شكل حرف** S يكون التدرج **تدرجا حسنا** (Well graded) **وإذا** كان شكله عموديا يكون التدرج منتظما (Uniform graded) **أما إذا كان** أفقيا فان التدرج يكون ناقصا (Gap graded)، ويعتبر كل من التدرج **المنتظم والتدرج** الناقص تدرجا سيئا (Poorly graded)[17]، **لاحظ الشكل**(5).



شكل (5): أنواع منحنيات التدرج الحبيبي حسب درجة انتظامها [1]

- القيم العددية التي يتم أخذها من المنحنى الحبيبي هي:

معامل الانتظام أو التشابه (Cu):

$$Cu=D_{60}/D_{10}\ldots\ldots\ldots (3)$$

حيث أن:

D_{60}: الحجم الحبيبي المقابل ل60% مار من الوزن الكلي للعينة.

D_{10}: الحجم الحبيبي الفعال المقابل ل10% مار من الوزن الكلي للعينة.

معامل الانحناء (Cc):

$$Cc= (D_{30})^2/ (D_{10}*D_{60}) \text{ ..... (4)}$$

حيث أن:

D_{30}: الحجم الحبيبي المقابل ل30% مار من الوزن الكلي للعينة.

D_{10}:الحجم الحبيبي الفعال المقابل ل10% مار من الوزن الكلي للعينة.

D_{60}: الحجم الحبيبي المقابل ل60% مار من الوزن الكلي للعينة.

3,4,5فحص الوزن النوعي (Specific Gravity) : (ASTM D-854, AASHTO T-100)
[15] [16]

يمكن تعريف الوزن النوعي بأنه وزن حجم معين من التربة إلى وزن نفس الحجم من الماء عند درجة حرارة 4 مئوية.

$$Gs= \gamma_s/\gamma_w \text{ ..... (5)}$$

حيث أن:

Gs: الوزن النوعي.

γ_s: كثافة التـربة.

γ_w: كثافة المـاء.

وبشكل عام فإن كتلة التربة يمكن أن تختلف بينما وزنها النوعي لا يتغير بل يكون ثابتا والوزن النوعي لمعظم أنواع التربة يتراوح بين 2.5 إلى2.8، وقيمة الوزن النوعي مهمة لحساب نسبة الفراغات للتربة المسامية ودرجة التشبع بالماء[17].

3,4,6فحص القص المباشر (Direct Shear Test) : (ASTM D-3080)[15]

تستخدم هذه التجربة من أجل إيجاد كل من زاوية الاحتكاك الداخلي(Φ) وقيمة التماسك (C). بحيث يتم تحضير عينة من التربة المراد فحصها ذات وزن محدد ثم يتم دمكها في قالب خاص بتجربة

القص المباشر الموضح في الصورة (8)، وتدهك على ثلاث طبقات وتدهك كل طبقة بشكل جيد، ثم توضع العينة في جهاز القص، الصورة (9)، وتعرض لحمل أفقي Ph وحمل عمودي Pv وبعد أن تنهار العينة تؤخذ قيمة الحمل الأفقي والعمودي ويتم إجراء الحسابات اللازمة ثم رسم العلاقة بين إجهاد القص والحمل العمودي، بحيث يكون ميل الخط هو زاوية الاحتكاك الداخلي (Φ) ونقطة تقاطع الخط مع المحور العمودي هي قيمة التماسك (C).

صورة (8): القالب الخاص بتجربة القص المباشر

صورة (9): الجهاز الخاص بتجربة القص المباشر

- يحسب الإجهاد العمودي (σ_n) من المعادلة:

$$\sigma_n = Pv/A \ldots\ldots\ldots (6)$$

حيث أن:

Pv: الحمل العمودي. (كغم)

A: مساحة مقطع العينة. (سم^2)

- ويحسب إجهاد القص (τ) من المعادلة:

$$\tau = Ph/A \ldots\ldots\ldots (7)$$

حيث أن:

Ph: الحمل الأفقي. (كغم)

3,4,7 فحص الضغط اللامحصور (Unconfined Compression Test) : (ASTM D-2166) [15]

تعتبر هذه التجربة الأبسط والأسهل والأقل تكلفة لإيجاد مقاومة القص وذلك لأنها تستخدم تحميل عمودي دون وجود ضغوط جانبية وهذه التجربة تشبه طريقة إيجاد مقاومة الضغط للخرسانة.

يتم تحضير عينة اسطوانية الشكل بحيث يكون طولها مساو لضعف قطر مقطعها (H=2D) وبعدها توضع في جهاز الضغط، صورة (10)، ثم يتم تعريضها لحمل محوري عمودي (Vertical Load) على مقطعها العرضي مما يؤدي إلى تولد مقاومة محورية، وتبقى العينة تحت جهاز الضغط إلى أن تنهار، صورة (11) وذلك عندما يبدأ مؤشر الحمل بالتراجع بعدها يتم أخذ قيمة الاستطالة ومقدار الحمل العمودي وإجراء الحسابات اللازمة لرسم منحنى (stress- strain relation)، كما يمكن رسم دائرة موهر (Mohr Circle) والتي من خلالها يمكن الحصول على قيمة (C) والتي تساوي نصف مقاومة الضغط اللامحصور (qu).

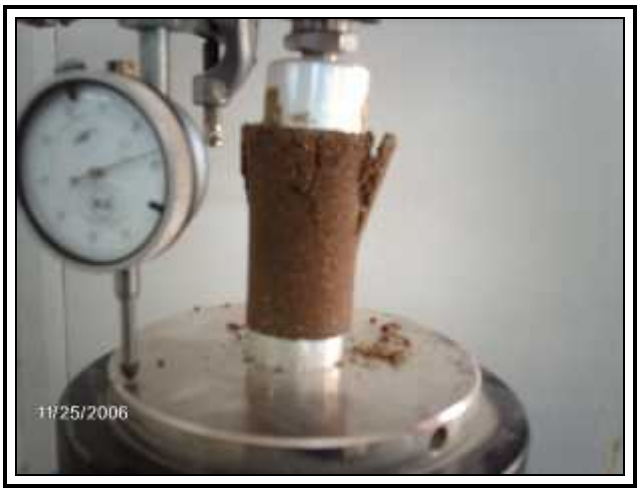
$$C = qu/2 \ldots\ldots\ldots (8)$$

حيث أن:

C: قيمة تماسك التربة. (كغم/سم^2)

qu: قوة مقاومة الضغط اللامحصور. (كغم/سم^2)

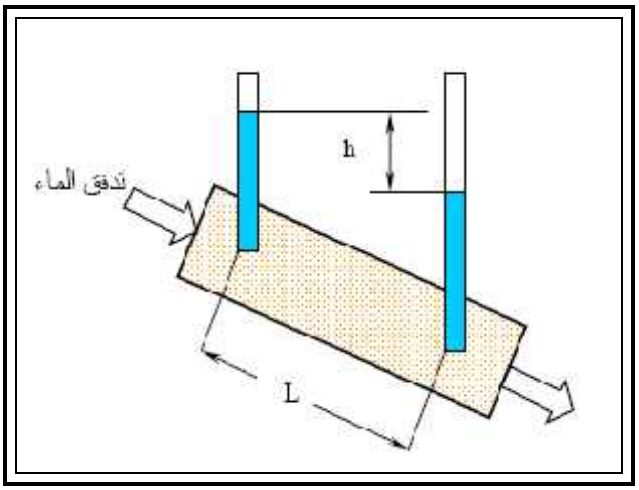
صورة (10): جهاز الضغط اللامحصور



صورة (11): عينة الطين الرملي بعد انهيارها

3,4,8 فحص النفاذية (Permeability Test) : (ASTM D-2434)[15]

تعرف نفاذية التربة بأنها قدرة التربة على السماح للسوائل بالجريان خلال فراغاتها. ويقصد بالسوائل هنا الماء. وتتبع عملية النفاذية في التربة لقانون دارسي (Darcy Law) الذي ينص على أن نفاذية الماء خلال تربة متجانسة تعتمد على الفرق في الضغط الهيدروستاتيكي [17]. **والشكل** (6) يمثل رسما توضيحيا لنفاذية الماء في كتلة من التربة المتجانسة.



شكل (6): نفاذية التربة نتيجة الضغط الهيدروستاتيكي [1]

ويتم الحكم على نفاذية التربة من خلال إيجاد معامل النفاذية (K)، عن طريق الفحوصات المخبرية التالية:

- الفحص بطريقة ضغط الماء المتغير (Falling Head Test): ويستعمل لدراسة نفاذية المواد الناعمة كالطين، صورة (12). ويحسب معامل النفاذية (K) في هذه الطريقة كالتالي:

$$K = \frac{aL}{A(t_1-t_2)} \text{Log}_{10} \frac{h_1}{h_2} \quad \ldots\ldots\ldots (9)$$

حيث أن:

K: معامل النفاذية (سم/ثانية).

a: مساحة مقطع الأنبوب المزود بالماء (سم^2).

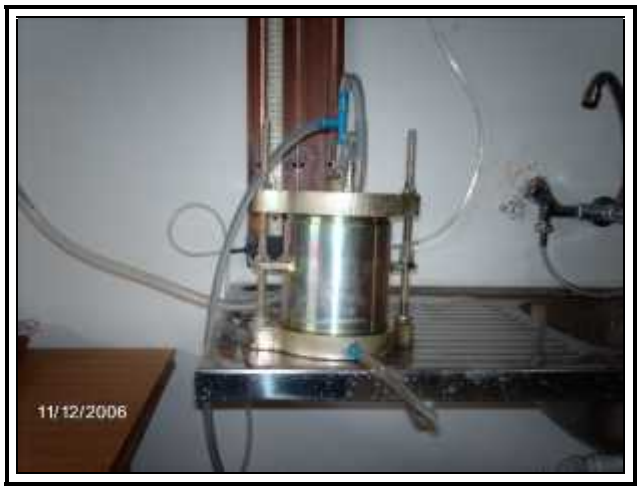
L: ارتفاع العينة (سم).

A: مساحة مقطع العينة (سم^2).

(t_1-t_2): الزمن اللازم للترشيح أو النفاذية (ثانية).

h_1: ارتفاع الماء الابتدائي في الأنبوب المزود (سم).

h_2: ارتفاع الماء النهائي في الأنبوب المزود (سم).



صورة (12): تجربة النفاذية بطريقة ضغط الماء المتغير

- الفحص بطريقة ضغط الماء الثابت (Constant Head Test) : ويستعمل لدراسة نفاذية التربة الرملية والحصوية، **صورة** (13)**.** ويحسب معامل النفاذية (K) في هذه الطريقة كالتالي:

$$K = \frac{QL}{Aht} \quad \ldots\ldots\ldots (10)$$

حيث أن:

K: معامل النفاذية (**سم**/ثانية).

Q: كمية الماء المترشحة عبر العينة (**سم**^{3}).

L: **ارتفاع** العينة (**سم**).

A: **مساحة مقطع** العينة (**سم**^{2}).

t: الزمن اللازم للترشيح أو النفاذية (ثانية).

h: الفرق في منسوب الماء في الأنبوبين (**سم**).

صورة (13): تجربة النفاذية بطريقة ضغط الماء الثابت

3,4,9فحص الدمك (Compaction Test) : (ASTM D-698, AASHTO T-90) [15][16]

الدمك عبارة عن طريقة ميكانيكية تستخدم لتحسين خواص التربة، ويمكن القول بأن دمك التربة يعمل على:

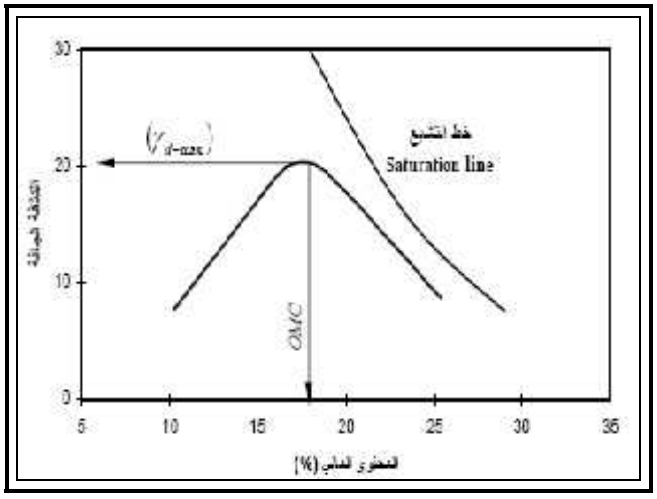
- تقليل نسبة الفراغات وتقليل النفاذية للتربة.
- زيادة قوة تحمل التربة وتقليل الهبوط المتوقع .
- التقليل من تأثير التجمد أو الانتفاخ أو الانكماش للتربة.

وهناك نوعان من الاختبارات:

أ) تجربة الدمك بطريقة بروكتور القياسي- صورة (14)، تتم بوضع ثلاث طبقات من التربة في قالب حجمه 944سم^3 وباستخدام مطرقة وزنها 2.5 كغم حيث يتم إجراء 25 ضربة عن ارتفاع 30.48سم ، وبعد إجراء الدمك نأخذ وزن العينة، وحجمها يكون مساو لحجم القالب وبالتالي يتم حساب الكثافة، ويتم تكرار نفس الطريقة على عدة عينات بمحتوى رطوبة مختلف، بعدها يتم رسم علاقة بين محتوى الرطوبة والكثافة الجافة، ومن المنحنى نحدد محتوى الرطوبة الأفضل (Optimum Moisture Content OMC) وهي القيمة التي تقابل أعلى كثافة، لاحظ الشكل (7) الذي يوضح المنحنى القياسي لتجربة الدمك والذي من خلاله يتم الحصول على قيمة المحتوى الرطوبة الأفضل وقيمة الكثافة الجافة العظمى.

صورة (14): أدوات تجربة الدمك القياسية

ب) تجربة الدمك المعدلة تتم بنفس الطريقة القياسية مع الإختلافات التالية: عدد الطبقات تكون خمس طبقات، وعدد الضربات لكل طبقة هو 56 ضربة، وارتفاع السقوط 45.72سم، ووزن المطرقة 4.54 كغم.



شكل (7): المنحنى النموذجي لتجربة الدمك [1]

الفصل الرابع

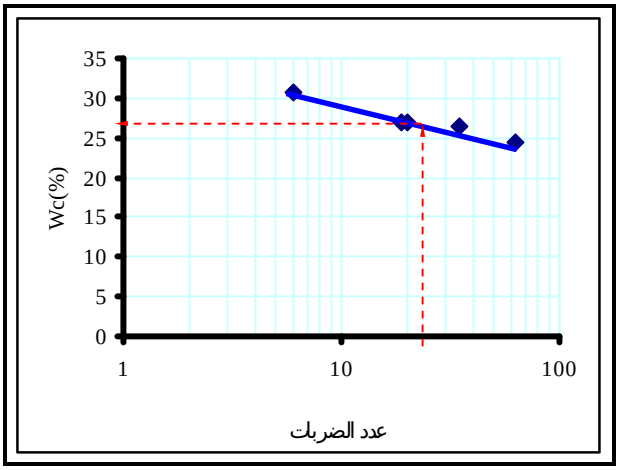
نتائج الفحوصات المخبرية لنوعي التربة

4,1 نتائج تجربتي حد السيولة وحد اللدونة

لقد تم إجراء تجربتي حد السيولة وحد اللدونة على التربة بنوعيها، ويلاحظ أن حد السيولة للطين الرملي هو 27.0 أما حد اللدونة فكان 21.13 ، و لا يوجد حد سيولة وحد لدونة للرمل الطيني كما هو مبين في الجدول (5).

جدول (5): حد السيولة وحد اللدونة لنوعي التربة

نوع التربة	حد السيولة (%)	حد اللدونة(%)
طين رملي	27.0	21.13
رمل طيني	----	----



شكل (8): حد السيولة لتربة الطين الرملي

4,2 نتائج الوزن النوعي

يستخدم الوزن النوعي في حساب نسبة الفراغات الموجودة في التربة ويتراوح عادة لمعظم أنواع التربة بين 2.5 إلى 2.8 ، وعند إجراء هذه التجربة لنوعين من التربة نتج أن الوزن النوعي للطين الرملي هو 2.579 أما للرمل الطيني فكان 2.695 كما هو مبين في جدول (6) .

جدول (6): قيم الوزن النوعي لنوعي التربة

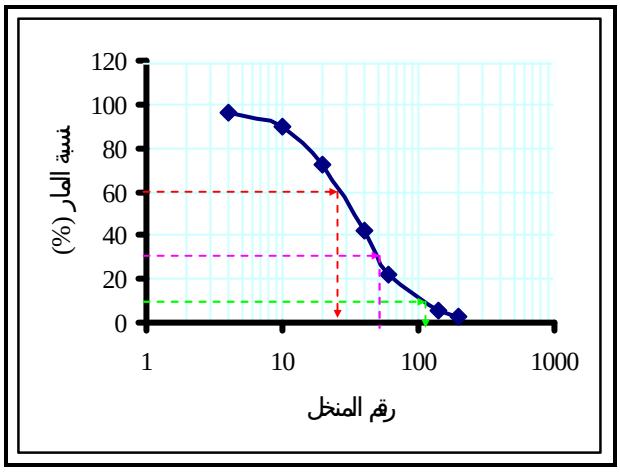
نوع التربة	الوزن النوعي
طين رملي	2.579
رمل طيني	2.695

4,3 نتائج تجربة التحليل بالمناخل

إن هذه التجربة مهمة جدا في تصنيف التربة ولقد تم اجراؤها على نوعين من التربة وتم الحصول على قيمة كل من معامل الانحناء Cc ومعامل التماثل أو الانتظام Cu للتربة ، فكانت قيمة Cc تساوي 1.16 وقيمة Cu تساوي 4.79 للطين الرملي ، أما للرمل الطيني فكانت قيمة معامل الانحناء Cc تساوي 0.82 وقيمة معامل التماثل Cu تساوي 4.5، كما هو مبين في الجدول (7). وتم كذلك تصنيف التربة حسب النظام الموحد (Unified Soil Classification System) لاحظ الملحق (أ) و (ب).

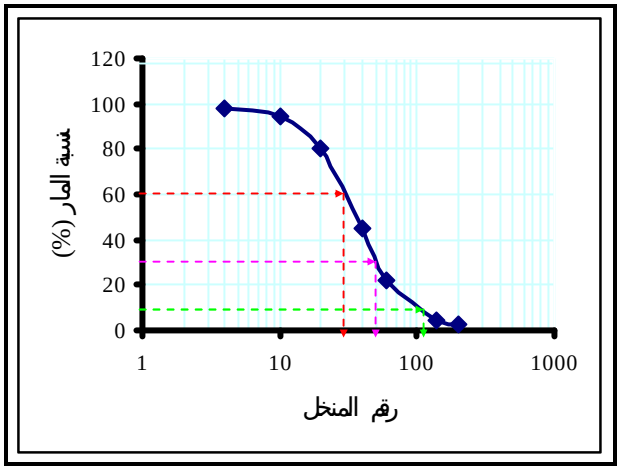
جدول (7): عرض نتائج تجربة التحليل بالمناخل لنوعي التربة

نوع التربة	رقم المنخل	قطر المنخل (mm)	نسبة المار (%)	D_{10}(mm)	D_{30}(mm)	D_{60}(mm)	Cu	Cc	تصنيف التربة
طين رملي	4	4.75	96.216	0.125	0.295	0.599	4.79	1.16	SP
	10	2	89.559						
	20	0.84	72.424						
	40	0.42	42.592						
	60	0.25	22.231						
	140	0.106	5.719						
	200	0.075	3.074						
	كفة		0						
رمل طيني	4	4.75	98.047	0.152	0.293	0.69	4.5	0.82	SP
	10	2	94.355						
	20	0.84	79.865						
	40	0.42	44.804						
	60	0.25	22.188						
	140	0.106	4.807						
	200	0.075	2.713						
	كفة		0						



شكل (9): التدرج الحبيبي لتربة الطين الرملي

نلاحظ من القيم المبينة في جدول (7): أن الاختلاف بسيط جدا بين النوعين، وتصنيف التربة هو نفسه (SP) لنوعي التربة.



شكل (10): التدرج الحبيبي لتربة الرملي الطيني

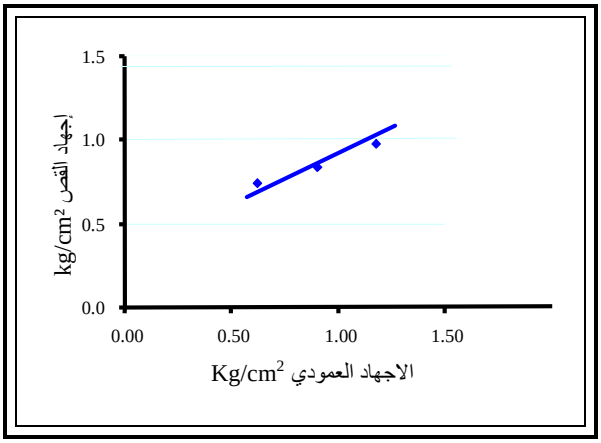
4,4 نتائج تجربة القص المباشر

تعتبر تجربة القص المباشر احدى أهم التجارب لايجاد معاملات القوة لأنواع التربة المختلفة، ومن خلال إجراء هذه التجربة على نوعي التربة في هذا البحث تبين أن معاملات القوة (C ، ϕ) كما هو مبين في الجدول (8) وفي كل من الشكل (11) للطين الرملي والشكل (12) للرمل الطيني.

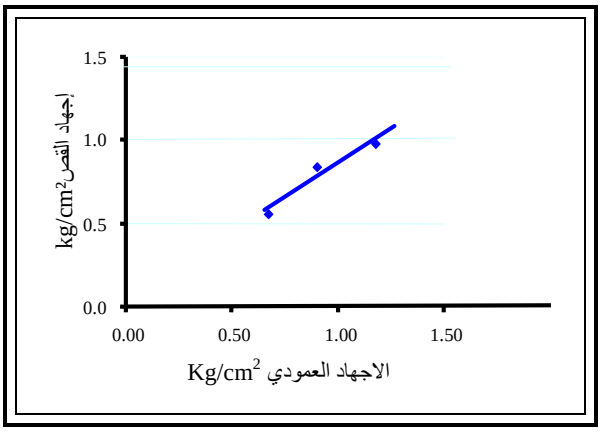
حيث كانت قيمة معامل التماسك C تساوي 0.39 وزاوية الاحتكاك الداخلي ϕ تساوي 29 للطين الرملي، أما للرمل الطيني فإن قيمة C تساوي 0.15 و قيمة ϕ تساوي 32.

جدول (8): عرض نتائج تجربة القص المباشر لنوعي التربة

نوع التربة	الإجهاد العمودي (kg/cm²)	إجهاد القص (kg/cm²)	Ø (Degree)	C (kg/cm²)
طين رملي	0.63	0.74	29	0.39
	0.90	0.83		
	1.18	0.98		
رمل طيني	0.63	0.57	32	0.15
	0.90	0.67		
	1.18	0.83		



شكل (11): خط الانهيار لتربة الطين الرملي



شكل (12): خط الانهيار لتربة الرمل الطيني

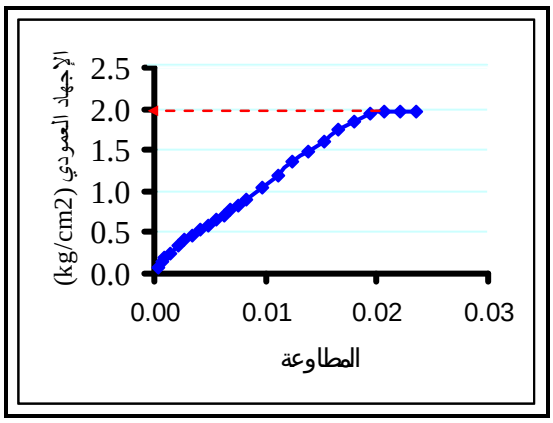
4,5 نتائج تجربة الضغط اللامحصور

يبين الجدول رقم (9) نتائج تجربة الضغط اللامحصور لتربة الطين الرملي كما يلي :

جدول (9): نتائج تجربة الضغط اللامحصور لتربة الطين الرملي

الإجهاد العمودي (kg/cm^2)	الطاوعة (£)	الإجهاد العمودي (kg/cm^2)	الطاوعة (£)
0.91	0.0083	0.06	0.0003
1.05	0.0097	0.15	0.0007
1.19	0.0111	0.20	0.0010
1.35	0.0124	0.25	0.0014
1.49	0.0138	0.34	0.0021
1.61	0.0152	0.42	0.0028
1.74	0.0166	0.47	0.0035
1.84	0.0180	0.54	0.0041
1.93	0.0194	0.59	0.0048
1.97	0.0207	0.65	0.0055
1.97	0.0221	0.70	0.0062
1.96	0.0235	0.77	0.0069
qu = 1.97 kg/cm^2		0.84	0.0076
C =0.98 kg/cm^2			

تعتبر هذه التجربة قياسية جدا للتربة الطينية الصافية أو للتربة الطينية الرملية وهي تجربة سريعة ممكن من خلالها معرفة معامل التماسك C لهذه التربة من خلال رسم علاقة بين الاجهاد العمودي σ_n والطاوعة £ كما في الشكل (13).



شكل (13): منحنى Stress-Strain لتربة الطين الرملي

4,6 نتائج تجربة النفاذية

تبرز أهمية تجربة النفاذية من خلال إمكانية تحديد الاستخدامات المختلفة لأنواع التربة وخاصة في تربة الأساس للطرق وفي بعض التطبيقات في مجال تنقية المياه العادمة عن طريق فلاتر ترابية، وفيما يلي نتائج تجربة النفاذية لتربة الطين الرملي و الرمل الطيني كما هو مبين في الجدول (10).

جدول (10): عرض نتائج تجربة النفاذية لنوعي التربة

نوع التربة	معامل النفاذية K (cm/s)	الطريقة
طين رملي	$5.33*10^{-8}$	ضغط الماء المتغير
رمل طيني	$7.50*10^{-3}$	ضغط الماء الثابت

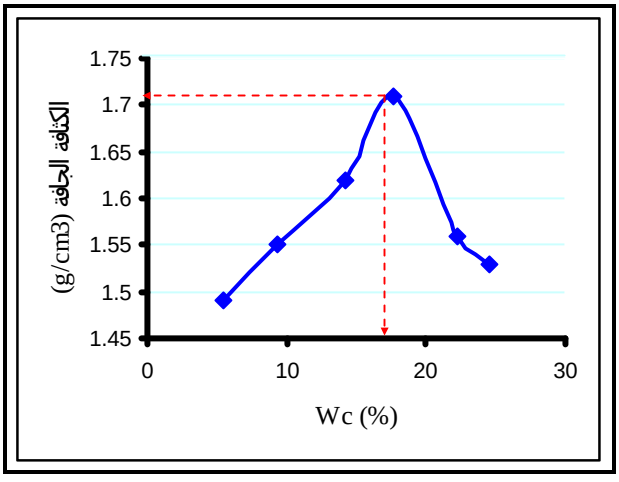
4,7 نتائج تجربة الدمك

إن نتائج تجربة الدمك لنوعي التربة تظهر في الجدول (11) وتوضح العلاقة بين الكثافة الجافة γ_{dry} والمحتوى الرطوبي Wc ، فكانت قيمة أقصى كثافة جافة $\gamma_{dry-\ max}$. لتربة الطين الرملي تساوي 1.72 وقيمة المحتوى الرطوبي الأفضل هي 17.7 ، أما بالنسبة لتربة الرمل الطيني فإن قيمة OMC تساوي 13.8 و قيمة $\gamma_{dry-\ max}$. تساوي 1.93.

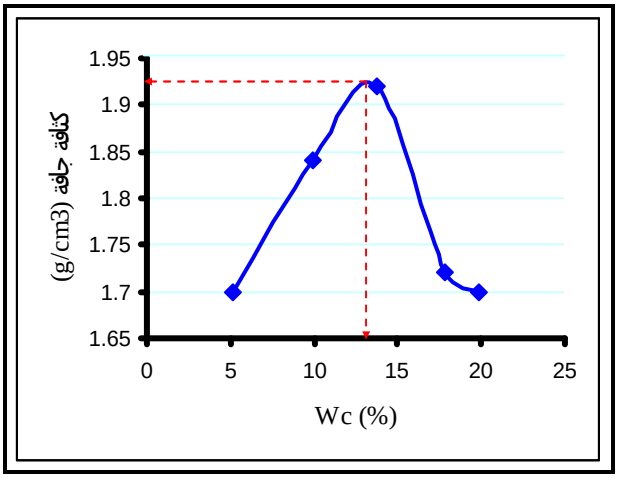
ومن خلال كل من الشكل (14) والشكل (15) يلاحظ أن الرمل الطيني قد اظهر كثافة أعلى عند نسبة رطوبة أقل .

جدول (11): عرض نتائج تجربة الدك لنوعي التربة

نوع التربة	Wc (%)	γ_{wet} (g/cm³)	γ_{dry}(g/cm³)	OMC Wc(%)	$\gamma_{dry-max.}$(g/cm³)
طين رملي	5.4	1.57	1.49	17.7	1.72
	9.3	1.69	1.55		
	14.2	1.85	1.62		
	17.7	2.01	1.71		
	22.2	1.91	1.56		
	24.5	1.9	1.53		
رمل طيني	5.1	1.79	1.7	13.8	1.93
	9.9	2.02	1.84		
	13.8	2.19	1.92		
	17.8	2.03	1.72		
	19.9	2.04	1.7		



شكل (14): منحنى الدك القياسي لتربة الطين الرملي



شكل (15): منحنى الدمك القياسي لتربة الرمل الطيني

- والجدول رقم (12) يوضح ملخص عام لأهم خصائص التربة المستخدمة في هذا البحث :

جدول (12): ملخص الخصائص الهندسية لنوعي التربة المستخدمة في البحث

الفحوصات المخبرية		الطين الرملي	الرمل الطيني
حد السيولة	LL(%)	27.00	----
حد اللدونة	PL(%)	21.13	----
الوزن النوعي	Gs	2.579	2.695
التحليل بالمناخل	D_{10}(mm)	0.125	0.152
	D_{30}(mm)	0.295	0.293
	D_{60}(mm)	0.599	0.69
	Cu	4.79	4.5
	Cc	1.16	0.82
القص المباشر	C(kg/cm^2)	0.39	0.15
	ϕ(°)	29	32
الضغط اللامحصور	q_u(kg/cm^2)	1.97	----
	C(kg/cm^2)	0.98	----
النفاذية	K(cm/s)	$5.33*10^{-8}$	$7.50*10^{-3}$
الدمك	OMC(%)	17.7	13.8
	$\gamma_{dry-max.}$ (g/cm^3)	1.72	1.93

الفصل الخامس

أثر المضافات على الخصائص الهندسية لنوعي التربة المستخدمة في البحث

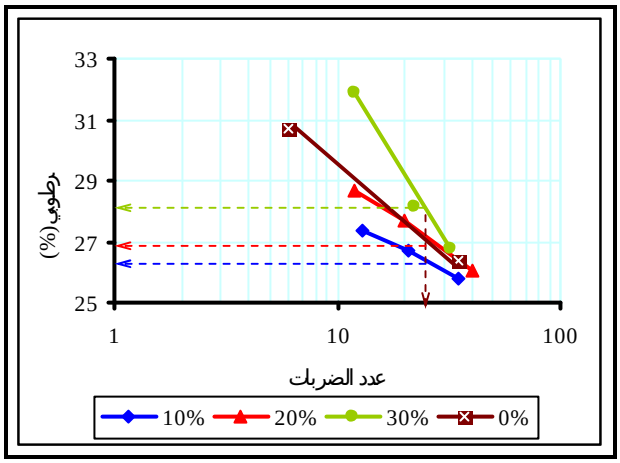
5,1 أثر المضافات على تربة الطين الرملي

5,1,1 نتائج تجربتي حد السيولة وحد اللدونة

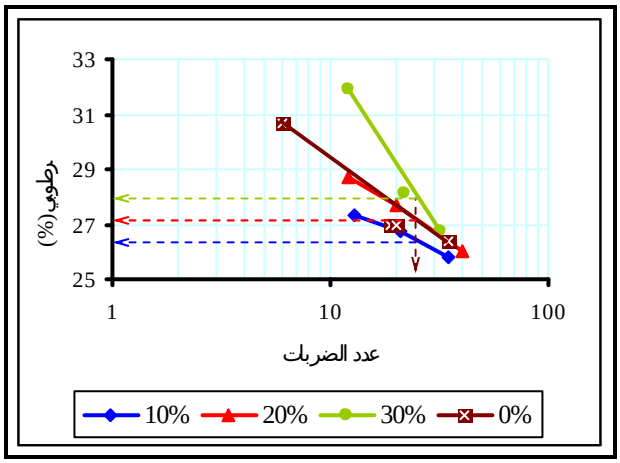
أجريت تجربة حد السيولة وحد اللدونة على تربة الطين الرملي مع كل من المضافات الأربعة وبالنسب الثلاثة، وكانت النتائج كما هو موضح في الجدول (13). مع ملاحظة أن حد السيولة واللدونة لتربة الطين الرملي قبل الإضافات 27.0 و 21.13 على التوالي.

جدول (13): نتائج تجربتي حد السيولة وحد اللدونة لتربة الطين الرملي مع كل المضافات

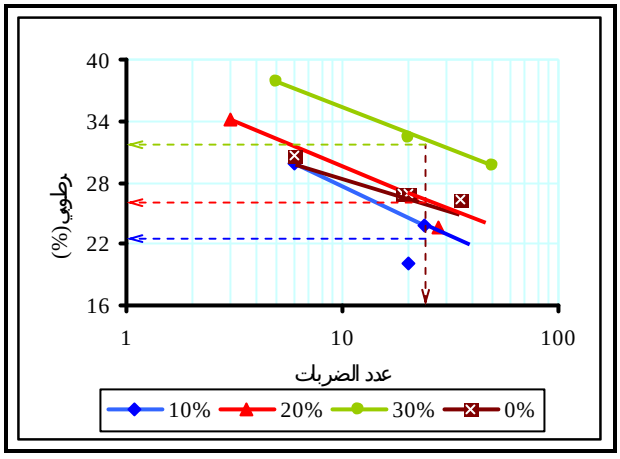
نوع المضاف	نسبة المضاف	حد السيولة (%)	حد اللدونة(%)
ربو المحاجر	%10	26.5	18.66
	%20	27.0	17.37
	%30	28.3	16.47
خبث الفرن	%10	26.5	22.42
	%20	27.0	----
	%30	27.9	----
الشيد	%10	22.8	----
	%20	25.0	----
	%30	32.0	----
الزجاج	%10	23.4	18.85
	%20	20.6	----
	%30	18.4	----



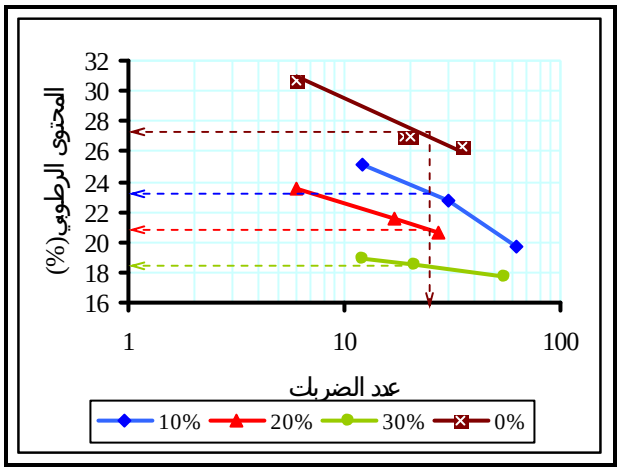
شكل (16): تغير حد السيولة لتربة الطين الرملي مع ربو المحاجر بالنسب المختلفة



شكل (17): تغير حد السيولة لتربة الطين الرملي مع خبث الافران بالنسب المختلفة



شكل (18): تغير حد السيولة لتربة الطين الرملي مع الشيد بالنسب المختلفة



شكل (19): تغير حد السيولة لتربة الطين الرملي مع الزجاج بالنسب المختلفة

5,1,2 نتائج الوزن النوعي

الجدول التالي يبين قيم الوزن النوعي لتربة الطين الرملي مع كل من المضافات الأربعة وبالنسب الثلاثة. مع ملاحظة أن قيمة الوزن النوعي لتربة الطين الرملي قبل الاضافات قد كانت 2.58 .

جدول (14): قيم الوزن النوعي لتربة الطين الرملي مع كل المضافات

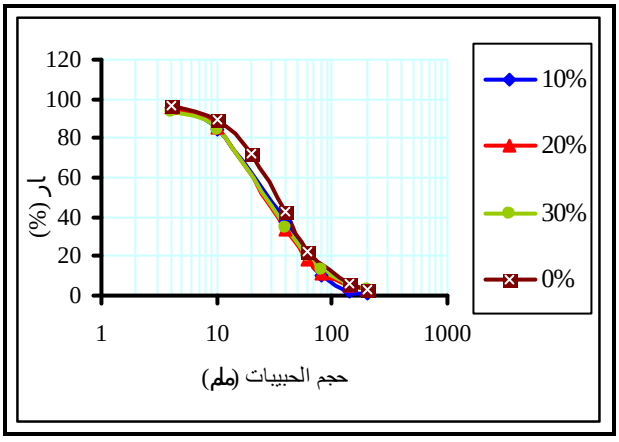
نوع المضاف	نسبة المضاف	الوزن النوعي
ربو المحاجر	%10	2.57
	%20	2.79
	%30	2.62
خبث الفرن	%10	2.53
	%20	2.72
	%30	2.65
الشيد	%10	2.63
	%20	2.73
	%30	2.62
الزجاج	%10	2.67
	%20	2.72
	%30	2.71

5,1,3 نتائج تجربة التحليل بالمناخل

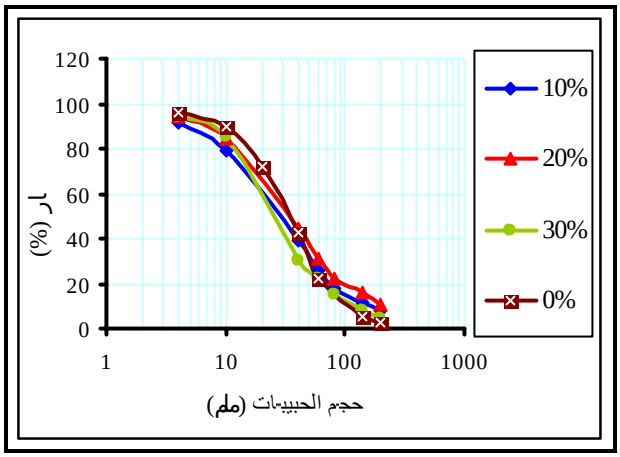
أجريت تجربة التحليل بالمناخل على تربة الطين الرملي مع كل من المضافات الأربعة وبالنسب الثلاث، وتم الحصول على قيم معامل الانحناء Cc ومعامل الانتظام Cu كما هو موضح في الجدول (15)، وقد كانت قيمة معامل الانتظام والانحناء للطين الرملي قبل الاضافات 4.79 و 1.16 على التوالي. وقد لوحظ أن تصنيف التربة المعالجة لم يختلف عن تصنيف التربة قبل الاضافات.

جدول (15): عرض نتائج تجربة التحليل بالمناخل لتربة الطين الرملي مع كل المضافات

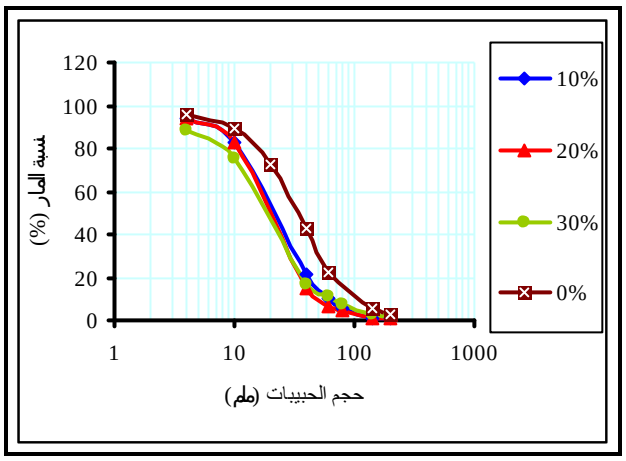
نوع المضاف	نسبة المضاف	D_{10}(mm)	D_{30}(mm)	D_{60}(mm)	Cu	Cc	التصنيف
ربو المحاجر	%10	0.180	0.300	0.710	3.94	0.70	SP
	%20	0.158	0.355	0.850	5.38	0.94	
	%30	0.138	0.355	0.850	6.16	1.07	
خث الفرل	%10	0.250	0.290	0.850	3.40	0.40	SP
	%20	0.710	0.242	0.075	2.00	0.16	
	%30	0.113	0.250	0.850	7.52	0.65	
الشيد	%10	0.250	0.328	1.000	4.00	0.43	SP
	%20	0.300	0.600	1.000	3.33	1.20	
	%30	0.186	0.600	1.180	6.34	1.64	
الزجاج	%10	0.173	0.355	0.850	4.91	0.86	SP
	%20	0.165	0.425	1.180	7.15	0.93	
	%30	0.150	0.425	1.290	8.60	0.93	



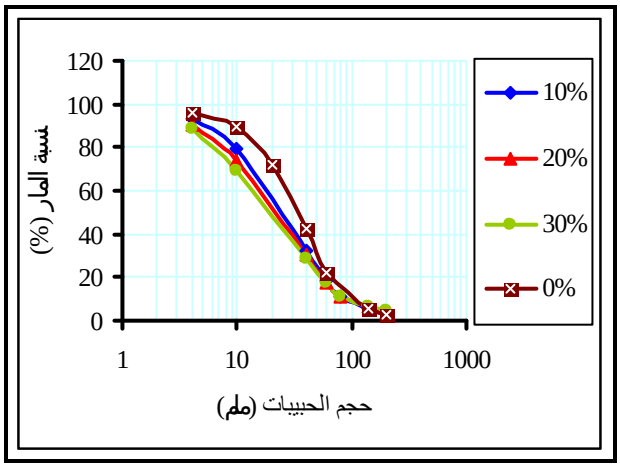
شكل (20): التدرج الحبيبي لتربة الطين الرملي مع ربو المحاجر بالنسب المختلفة



شكل (21): التدرج الحبيبي لتربة الطين الرملي مع خبث الأفران بالنسب المختلفة



شكل (22): التدرج الحبيبي لتربة الطين الرملي مع الشيد بالنسب المختلفة



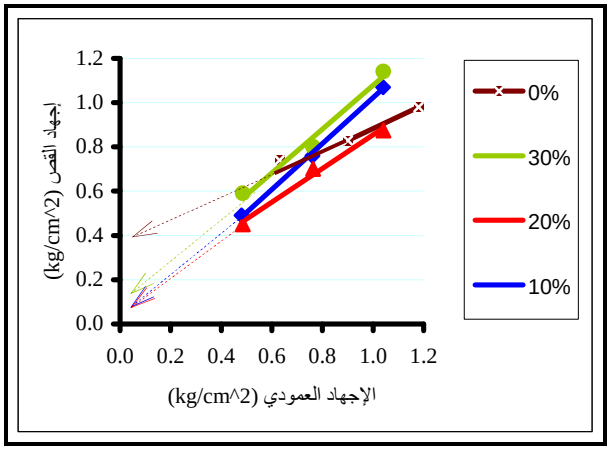
شكل (23): التدرج الحبيبي لتربة الطين الرملي مع الزجاج بالنسب المختلفة

5,1,4 نتائج تجربة القص المباشر

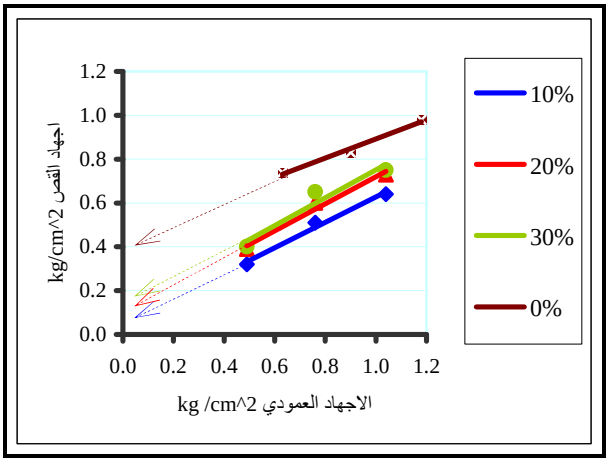
من خلال تجربة القص المباشر لتربة الطين الرملي وباستخدام المضافات المختلفة أمكن الحصول على قيمة التماسكية وقيمة زاوية الاحتكاك و بالنسب الثلاثة و يبين جدول (16) النتائج العملية للتجربة علما بأن خصائص التربة الأصلية قبل الاضافات قد كانت 0.39 كغم /سم^2 و 29^o على التوالي.

جدول (16): عرض نتائج تجربة القص المباشر لتربة الطين الرملي مع كل المضافات

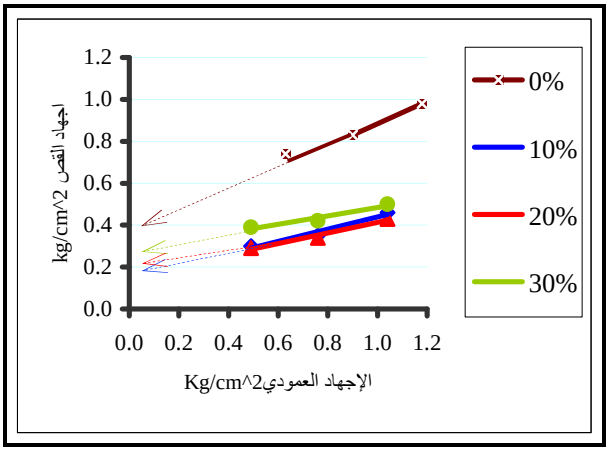
نوع المضاف	نسبة المضاف	Ø(degree)	C(kg/cm^2)
ربو المحاجر	%10	40.0	0.08
	%20	41.5	0.09
	%30	45.0	0.14
خبث الفرن	%10	28.0	0.05
	%20	27.0	0.10
	%30	27.0	0.15
الشيد	%10	16.3	0.19
	%20	14.3	0.20
	%30	12.5	0.28
الزجاج	%10	30.0	0.19
	%20	34.5	0.12
	%30	39.8	0.06



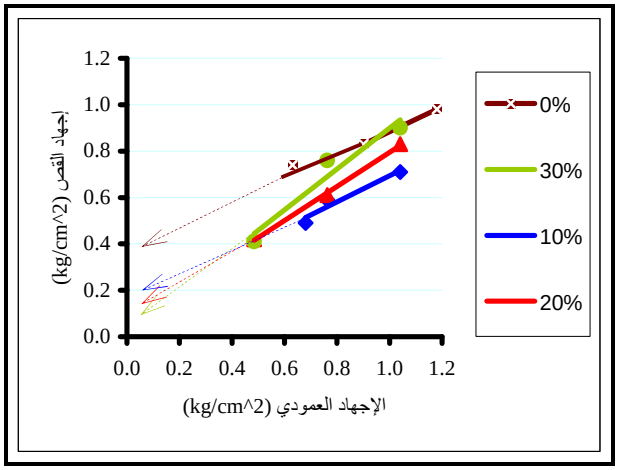
شكل (24):خط الانهيار لتربة الطين الرملي مع ربو المحاجر بالنسب المختلفة



شكل (25):خط الانهيار لتربة الطين الرملي مع خبث الأفران بالنسب المختلفة



شكل (26): خط الانهيار لتربة الطين الرملي مع الشيد بالنسب المختلفة



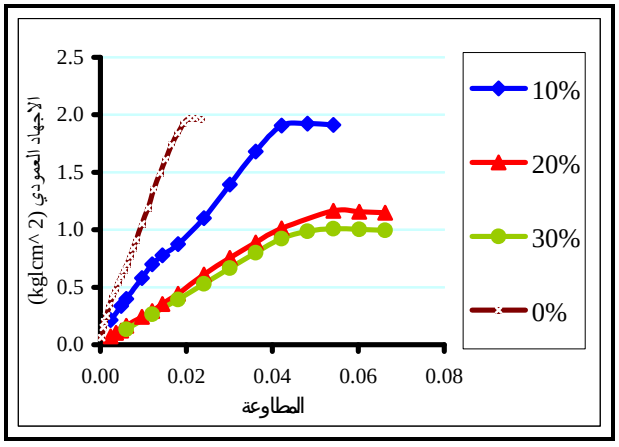
شكل (27): خط الانهيار لتربة الطين الرملي مع الزجاج بالنسب المختلفة

5,1,5 نتائج تجربة الضغط اللامحصور

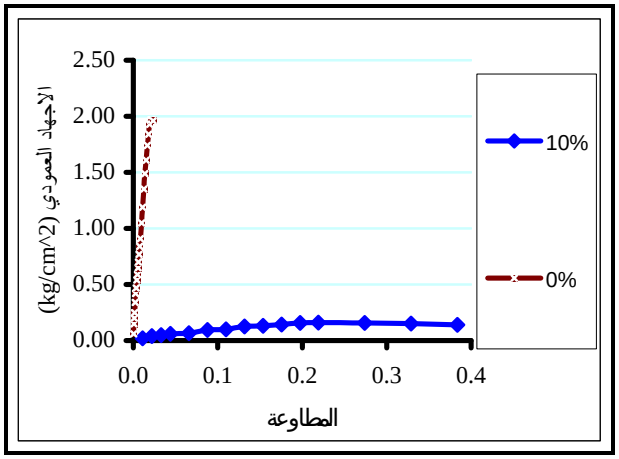
تم الحصول على قيمة التماسك من تجربة الضغط اللامحصور على تربة الطين الرملي مع كل من المضافات وبالنسب المختلفة، مع ملاحظة عدم تمكننا من الحصول على أي نتائج في حالة اضافة 20% و 30% من خبث الأفران، وفي حالة اضافة 30% من مضاف الشيد. و قيمة التماسك للطين الرملي قبل الاضافات هي 0.98 كغم/سم^{2}.

جدول (17): نتائج تجربة الضغط اللامحصور لتربة الطين الرملي مع كل المضافات

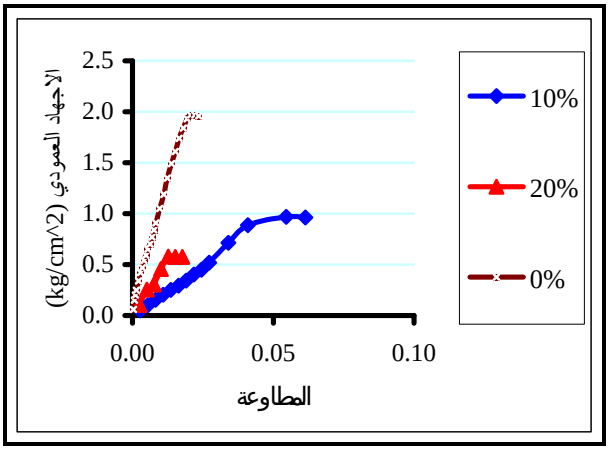
نوع المضف	نسبة المضف	qu(kg/cm²)	C(kg/cm²)
ربو المحاجر	%10	1.91	0.96
	%20	1.16	0.58
	%30	1.00	0.50
خبث الأفران	%10	0.16	0.08
	%20	---	---
	%30	---	---
الشيد	%10	0.97	0.49
	%20	0.57	0.29
	%30	---	---
الزجاج	%10	0.74	0.37
	%20	0.57	0.29
	%30	0.43	0.22



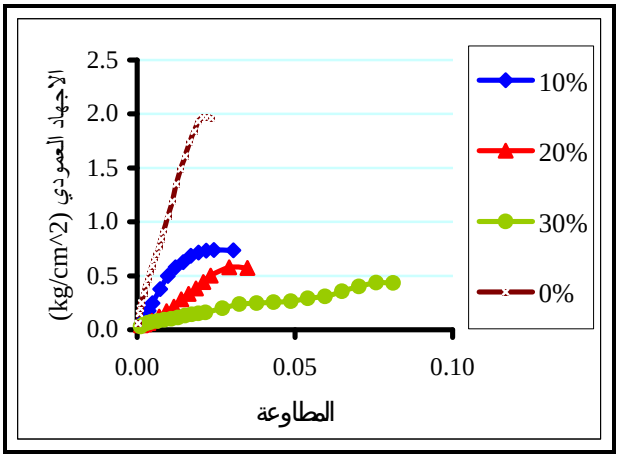
شكل (28): منحنى Stress-Strain لتربة الطين الرملي مع ربو المحاجر بالنسب المختلفة



شكل (29): منحنى Stress-Strain لتربة الطين الرملي مع خبث الأفران بنسبة ١٠%



شكل (30): منحنى Stress-Strain لتربة الطين الرملي مع الشيد بالنسب المختلفة



شكل (31): منحنى Stress-Strain لتربة الطين الرملي مع الزجاج بالنسب المختلفة

5,1,6 نتائج تجربة النفاذية

تم عمل تجربة النفاذية بطريقة ضغط الماء المتغير، وذلك لنعومة العينات الناتجة من خلط الطين الرملي مع كل مضاف من المضافات الأربعة. وتظهر النتائج في جدول (18)، مع التذكير أن قيمة معامل النفاذية للطين الرملي قبل الاضافات كانت $5.33*10^{-8}$ سم/ثانية.

جدول (18): عرض نتائج تجربة النفاذية لتربة الطين الرملي مع كل المضافات

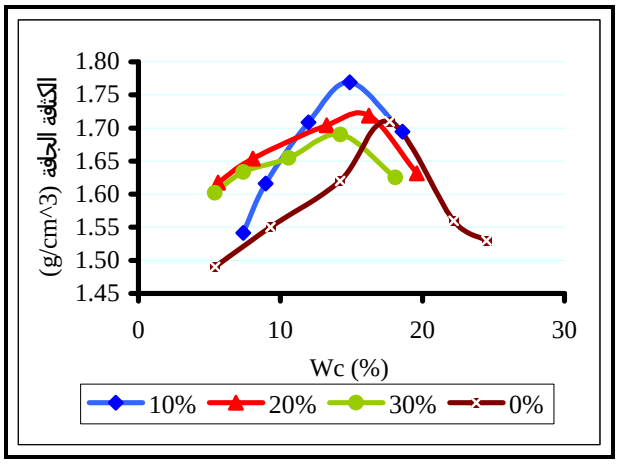
نوع المضاف	نسبة المضاف	معامل النفاذية K (cm/s)
ربو المحاجر	%10	$18*10^{-8}$
	%20	$3.8*10^{-8}$
	%30	$3.6*10^{-8}$
خبث الفرن	%10	$13*10^{-8}$
	%20	$5.4*10^{-8}$
	%30	$4.02*10^{-8}$
الشيد	%10	$0.56*10^{-8}$
	%20	$0.08*10^{-8}$
	%30	$0.05*10^{-8}$
الزجاج	%10	$57*10^{-8}$
	%20	$62*10^{-8}$
	%30	$68*10^{-8}$

٧.١.٥ نتائج تجربة الدك

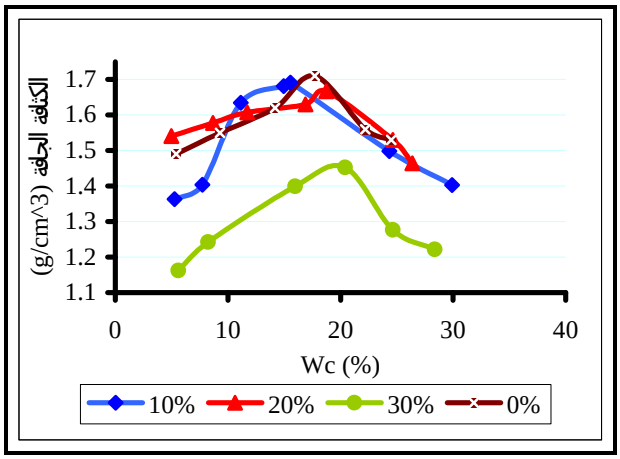
تم إجراء تجربة الدمك لبروكتور القياسي وتم الحصول على قيم الكثافة الجافة العظمى وقيم المحتوى المائي الأمثل لتربة الطين الرملي مع كل من المضافات الأربعة وبنسب مختلفة انظر جدول (19). وكانت قيمة الكثافة الجافة العظمى وقيمة المحتوى المائي الأمثل لتربة الطين الرملي قبل الاضافات 1.72 غم/سم^3 ، 17.7 % على التوالي.

جدول (19): عرض نتائج تجربة الدك القياسية لتربة الطين الرملي مع كل المضافات

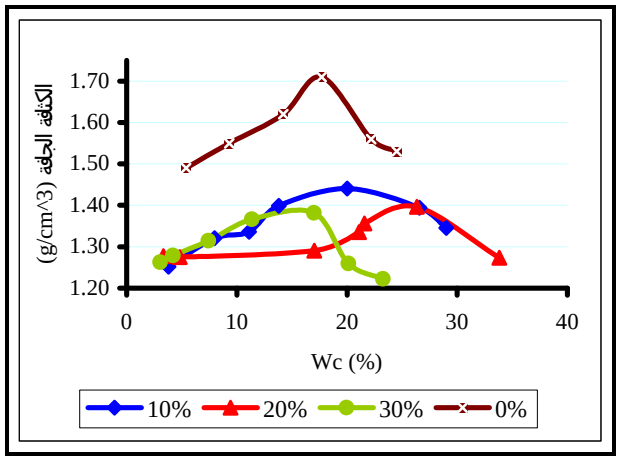
نوع المضاف	نسبة المضاف	OMC Wc(%)	$\gamma_{dry-max.}(g/cm^3)$
ربو المحاجر	%10	14.87	1.77
	%20	16.24	1.72
	%30	14.23	1.69
خبث الأفران	%10	15.56	1.69
	%20	18.73	1.67
	%30	20.42	1.45
الشيد	%10	20.0	1.45
	%20	25.1	1.40
	%30	15.3	1.39
الزجاج	%10	15.00	1.65
	%20	8.95	1.75
	%30	13.16	1.79



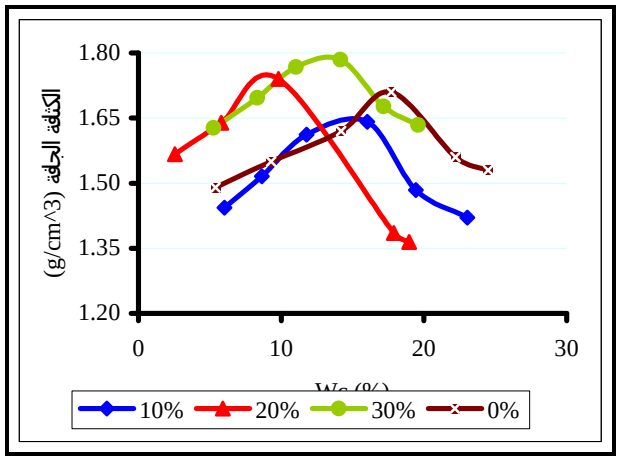
شكل (32): منحنى الدك القياسي لتربة الطين الرملي مع ربو المحاجر بالنسب المختلفة



شكل (33): منحنى الدمك القياسي لتربة الطين الرملي مع خبث الأفران بالنسب المختلفة



شكل (34): منحنى الدمك القياسي لتربة الطين الرملي مع الشيد بالنسب المختلفة



شكل (35): منحنى الدمك القياسي لتربة الطين الرملي مع الزجاج بالنسب المختلفة

5,2 أثر المضافات على تربة الرمل الطيني

5,2,1 نتائج تجربتي حد السيولة وحد اللدونة

لا يوجد حد سيولة لتربة الرمل الطيني مع أي من المضافات الأربعة، فقد كانت العينة تتفتت في قالب كازاغراندي عند عمل الشق فيها، وبالتالي لم نستطع الحصول على عدد الضربات لحساب حد السيولة، وأيضا لا يوجد لدونة لتربة الرمل الطيني مع أي من المضافات الأربعة.

5,2,2 نتائج الوزن النوعي

الجدول التالي يبين قيم الوزن النوعي لتربة الرمل الطيني مع كل من المضافات الأربعة وبالنسب الثلاثة. مع ملاحظة أن قيمة الوزن النوعي قبل الاضافة كانت 2.69 للرمل الطيني.

جدول (20): قيم الوزن النوعي لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات

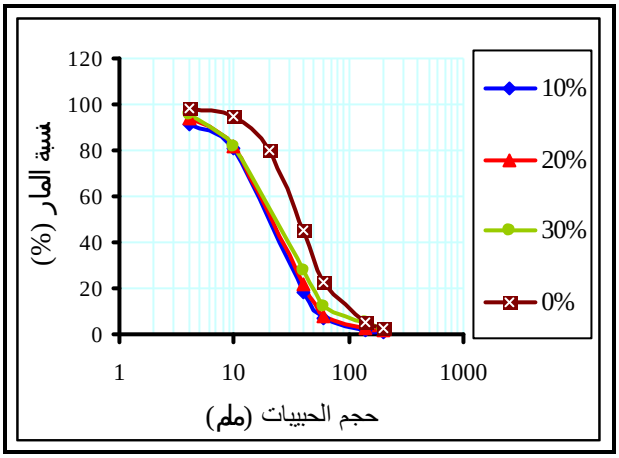
نوع المضاف	نسبة المضاف	الوزن النوعي
ربو المحاجر	%10	2.26
	%20	2.35
	%30	2.32
خبث الفرن	%10	2.61
	%20	2.74
	%30	2.65
الشيد	%10	2.28
	%20	2.35
	%30	2.24
الزجاج	%10	2.24
	%20	2.34
	%30	2.30

5,2,3 نتائج تجربة التحليل بالمناخل

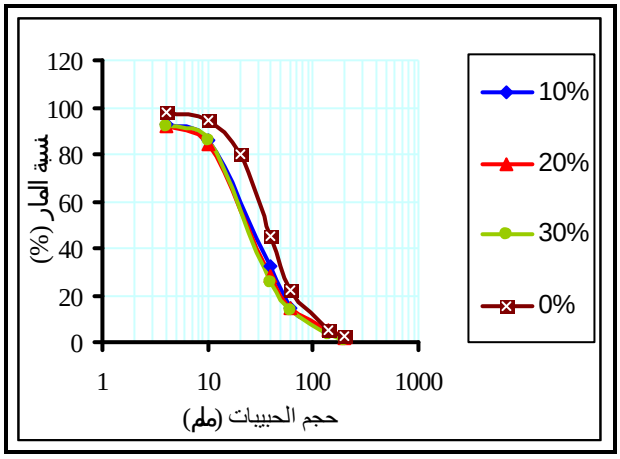
أجريت تجربة التحليل بالمناخل على تربة الرمل الطيني مع كل من المضافات الأربعة وبالنسب الثلاثة، وتم الحصول على قيم معامل الانحناء Cc **ومعامل الانتظام** Cu كما هو موضح في الجدول (21)، وقيمة معامل الانتظام **والانحناء** للرمل الطيني قبل الإضافات **قد كانت** 4.5 و 0.82 **على التوالي**.

جدول (21): عرض نتائج تجربة التحليل بالمناخل لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات

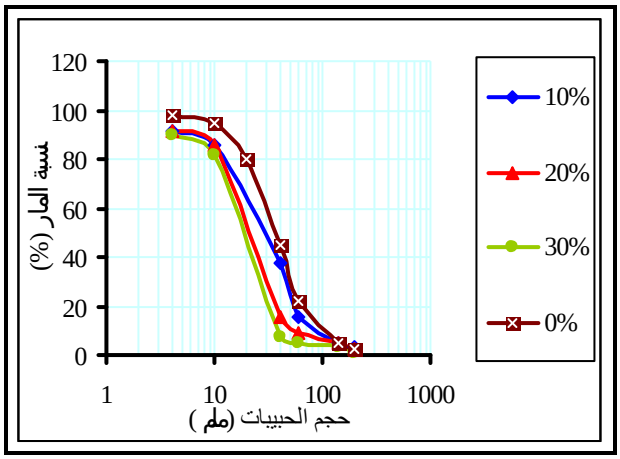
نوع المضاف	نسبة المضاف	D_{10}(mm)	D_{30}(mm)	D_{60}(mm)	Cu	Cc	التصنيف
ربو المحاجر	%10	0.300	0.600	1.027	3.42	1.17	SP
	%20	0.275	0.650	0.933	3.39	1.65	
	%30	0.180	0.465	1.072	5.96	1.12	
خبث الفرن	%10	0.379	0.165	0.850	2.24	0.08	SP
	%20	0.163	0.500	0.850	5.21	1.80	
	%30	0.180	0.710	0.850	4.72	3.29	
الشيد	%10	0.173	0.319	0.850	4.93	0.69	SP
	%20	0.300	0.600	0.933	3.11	1.29	
	%30	0.481	0.400	1.180	2.45	0.28	
الزجاج	%10	0.300	0.600	1.072	3.57	1.12	SP
	%20	0.300	0.644	1.126	3.75	1.23	
	%30	0.300	0.850	1.290	4.30	1.87	



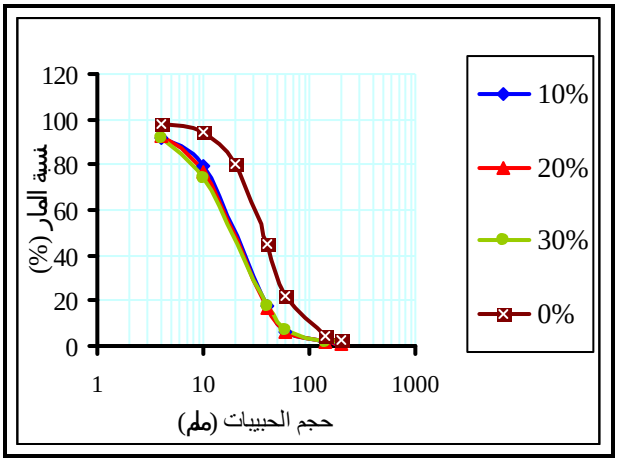
شكل (36): التدرج الحبيبي لتربة الرمل الطيني مع ربو المحاجر بالنسب المختلفة



شكل (37): التدرج الحبيبي لتربة الرمل الطيني مع خبث الأفران بالنسب المختلفة



شكل (38): التدرج الحبيبي لتربة الرمل الطيني مع الشيد بالنسب المختلفة



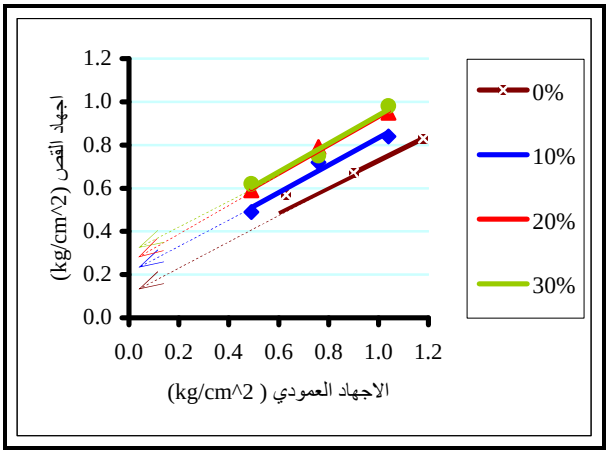
شكل (39): التدرج الحبيبي لتربة الرمل الطيني مع الزجاج بالنسب المختلفة

5,2,4 نتائج تجربة القص المباشر

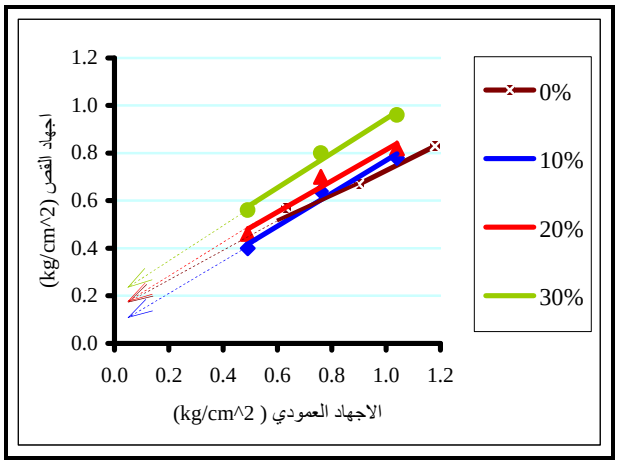
تم الحصول على قيمة التماسكية و قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي لتربة الرمل الطيني مع كل من المضافات الاربعة وبالنسب الثلاثة كما هو مبين في جدول(22).مع ملاحظة أن قيم Cو Øقبل الاضافات قد كانت 0.15 كغم /سم^2 و 32° على التوالي.

جدول (22): عرض نتائج تجربة القص المباشر لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات

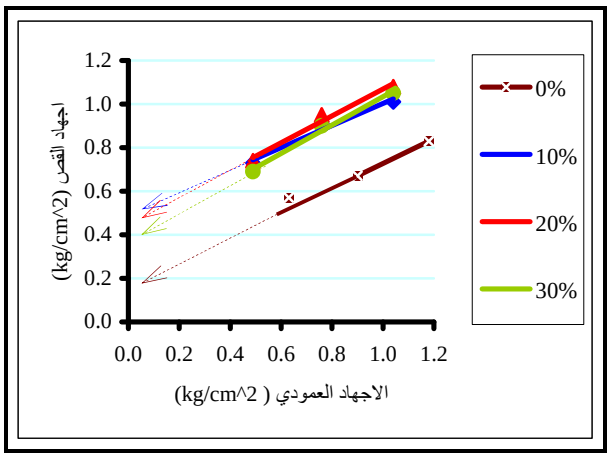
المضاف	نسبة المضاف	Ø (degree)	C (kg/cm^2)
ربو المحاجر	%10	32.4	0.23
	%20	33.2	0.29
	%30	33.3	0.31
خث الفرن	%10	32.5	0.10
	%20	33.1	0.15
	%30	36.0	0.20
الشيد	%10	30.0	0.51
	%20	32.2	0.48
	%30	33.1	0.40
الزجاج	%10	32.5	0.05
	%20	35.3	0.13
	%30	36.7	0.12



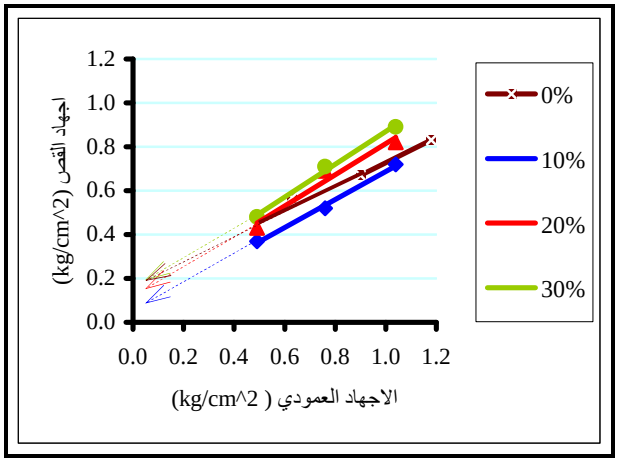
شكل (40): خط الانهيار لتربة الرمل الطيني مع ربو المحاجر بالنسب المختلفة



شكل (41): خط الانهيار لتربة الرمل الطيني مع خث الأفران بالنسب المختلفة



شكل (42): خط الانهيار لتربة الرمل الطيني مع الشيد بالنسب المختلفة



شكل (43): خط الانهيار لتربة الرمل الطيني مع الزجاج بالنسب المختلفة

5,2,5 نتائج تجربة الضغط اللامحصور

يمكن إجراء تجربة الضغط اللامحصور على التربة الطينية أو شبه الطينية ولا يمكن الحصول على نتائج من هذه التجربة لتربة الرمل الطيني مع المضافات، فقد كانت العينات التي تم تحضيرها من تربة الرمل الطيني مع المضافات تنهار أثناء تحضيرها وذلك راجع لقلة قوى التماسك بين حبيبات تربة الرمل الطيني (الذي فيه نسبة الرمل عالية بالنسبة للطين). والصورة (15) تبين بعض العينات (من الرمل الطيني مع الإضافات) التي انهارت أثناء تحضيرها:

صورة (15): بعض العينات من الرمل الطيني مع الاضافات والتي انهارت أثناء تحضيرها

5,2,6 نتائج تجربة النفاذية

هناك نوعين من التجارب يمكن إجراؤها لفحص النفاذية وهي ذو الضغط الثابت والضغط المتغير، وقد تم عمل تجربة النفاذية بطريقة ضغط الماء الثابت، وتظهر نتائج معاملات النفاذية للرمل الطيني مع كل من المضافات في جدول (23)، مع التذكير أن قيمة معامل النفاذية للرمل الطيني قبل الاضافات كانت $7.50*10^{-3}$ سم/ثانية.

جدول (23): عرض نتائج تجربة النفاذية لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات

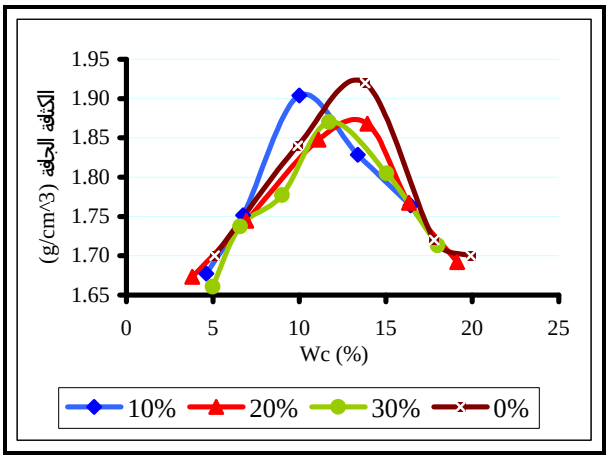
نوع المضاف	نسبة المضاف	معامل النفاذية K (cm/s)
ربو المحاجر	%10	$5.9*10^{-3}$
	%20	$2.0*10^{-3}$
	%30	$0.005*10^{-3}$
خبث الأفران	%10	$2.07*10^{-3}$
	%20	$1.02*10^{-3}$
	%30	$0.03*10^{-3}$
الشيد	%10	$5.7*10^{-3}$
	%20	$2.04*10^{-3}$
	%30	$0.008*10^{-3}$
الزجاج	%10	$8*10^{-3}$
	%20	$11*10^{-3}$
	%30	$40*10^{-3}$

5,2,7 نتائج تجربة الدك

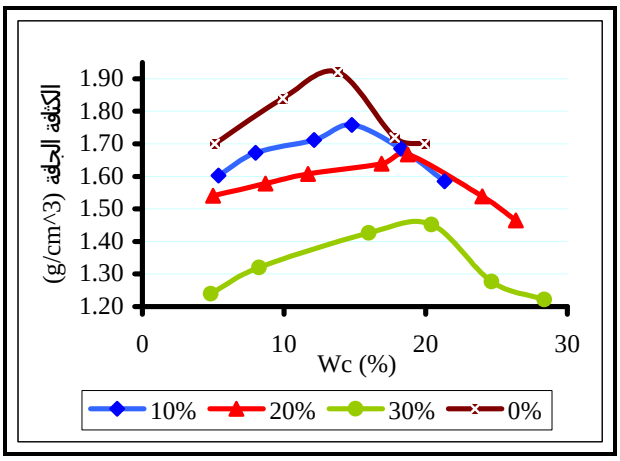
تم إجراء تجربة الدك القياسي وتم الحصول على قيم الكثافة الجافة العظمى وقيم المحتوى المائي الأمثل لتربة الرمل الطيني مع كل من المضافات الأربعة وبنسب مختلفة انظر جدول (24). وكانت قيمة الكثافة الجافة العظمى وقيمة المحتوى المائي الأمثل لتربة الرمل الطيني قبل الإضافات 1.93 غم/سم^3 ، 13.8 % على التوالي.

جدول (24): عرض نتائج تجربة الدك القياسية لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات

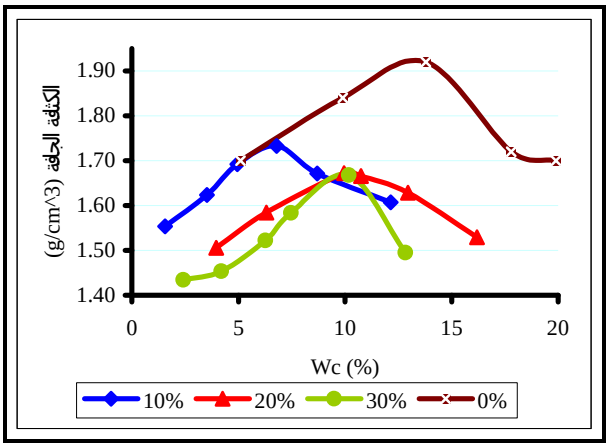
نوع المضاف	نسبة المضاف	OMC Wc(%)	$\gamma_{dry-max.}(g/cm^3)$
ربو المحاجر	%10	10.00	1.91
	%20	13.33	1.87
	%30	11.19	1.88
خبث الأفران	%10	13.61	1.76
	%20	17.78	1.66
	%30	19.72	1.47
الشيد	%10	6.79	1.73
	%20	10.00	1.68
	%30	9.95	1.67
الزجاج	%10	11.67	1.75
	%20	11.30	1.85
	%30	10.93	1.88



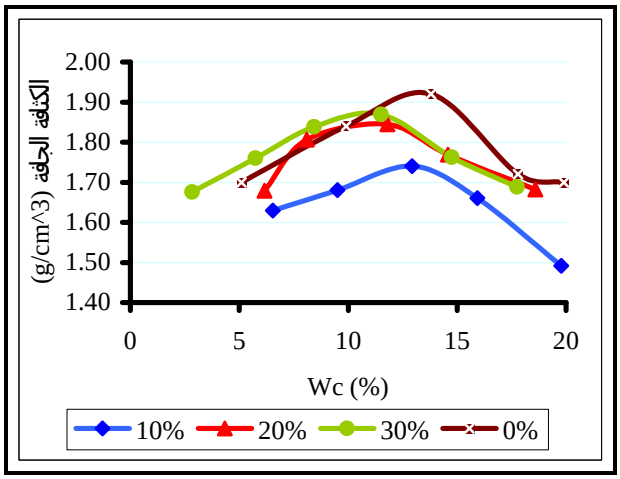
شكل (44): منحنى الدمك القياسي لتربة الرمل الطيني **مع ربو المحاجر بالنسب المختلفة**



شكل (45): منحنى الدمك القياسي لتربة الرمل الطيني **مع خبث الأفران بالنسب المختلفة**



شكل (46): منحنى الدمك القياسي لتربة الرمل الطيني مع الشيد بالنسب المختلفة



شكل (47): منحنى الدمك القياسي لتربة الرمل الطيني **مع الزجاج بالنسب المختلفة**

الفصل السادس

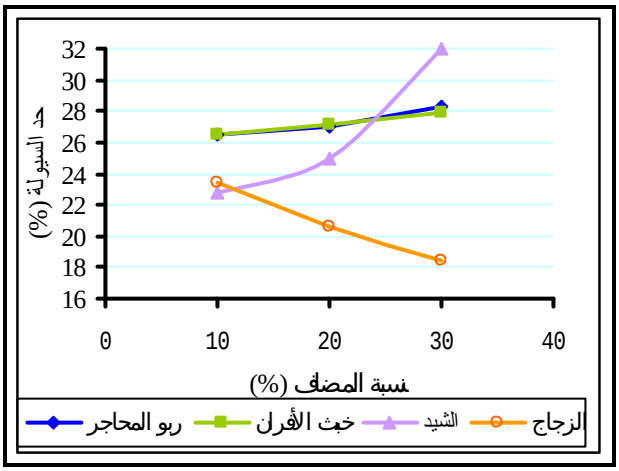
مقارنة النتائج ومناقشتها

في هذا الفصل يمكن إجراء مقارنات ومناقشة لجميع النتائج التي تم الحصول عليها وفيما يلي أهم لتلك النتائج والمقارنات.

6,1 حد السيولة وحد اللدونة

جدول (25): مقارنة نتائج حد السيولة وحد اللدونة بعد الإضافات

نوع المضاف		المتغيرات	رمل طيني	طين رملي
رو المحاجر	10%	حد السيولة	---	26.50
		حد اللدونة	---	18.66
	20%	حد السيولة	---	27.00
		حد اللدونة	---	17.37
	30%	حد السيولة	---	28.30
		حد اللدونة	---	16.47
خبث الفرن	10%	حد السيولة	---	26.50
		حد اللدونة	---	22.42
	20%	حد السيولة	---	27.00
		حد اللدونة	---	---
	30%	حد السيولة	---	27.90
		حد اللدونة	---	---
الشيد	10%	حد السيولة	---	22.80
		حد اللدونة	---	---
	20%	حد السيولة	---	25.00
		حد اللدونة	---	---
	30%	حد السيولة	---	32.00
		حد اللدونة	---	---
الزجاج	10%	حد السيولة	---	23.0
		حد اللدونة	---	18.85
	20%	حد السيولة	---	20.60
		حد اللدونة	---	---
	30%	حد السيولة	---	18.40
		حد اللدونة	---	---



شكل (48): حد السيولة لتربة الطين الرملي مع كل المضافات وبالنسب المختلفة

يعتمد قوام التربة ومدى تماسكها وارتباط حبيباتها على المحتوى الرطوبي للتربة (نسبة الرطوبة)، فكلما زادت نسبة الرطوبة في التربة قل قوامها وقل تماسكها وارتباط حبيباتها. وللتربة الطينية أربع حالات، فيمكن أن تكون سائلة أو لدنة أو شبه صلبة أو صلبة، وهناك حدود تفصل بين هذه الحالات تسمى حدود أتيربرغ، ويمكن ايجاد قيم هذه الحدود من التجارب المخبرية القياسية.

وقد تم تناول حدين من هذه الحدود هما حد السيولة وحد اللدونة، وحد السيولة هو الحد الذي يفصل بين الحالة السائلة والحالة اللدنة للتربة، أما حد اللدونة فهو الفاصل بين الحالة اللدنة والحالة شبه الصلبة. ومن المعروف أن زيادة قيمة حد السيولة واللدونة غير مرغوبة لتربة الاساس، وبالعكس فإن قلة قيمة تلك الحدود لتربة الاساس تجعلها أفضل للانشاءات والطرق. ويبين الجدول السابق رقم (25) مقارنة قيم حد السيولة واللدونة لتربة الطين الرملي بعد الاضافات، والشكل (48) يبين تغير قيمة حد السيولة للمضافات الاربعة وبالنسب المختلفة.

ونلاحظ من الجدول (25) والشكل (48) أن اضافة ربو المحاجر بنسبة 20% و 30% يزيد من حد السيولة لتربة الطين الرملي، بينما اضافته تقل من حد اللدونة.

أما خبث الأفران فإضافته تزيد كذلك من حد السيولة ولايعطي نتائج لحد اللدونة عند إضافته بنسب تزيد عن 10%.

وإضافة الشيد بنسبة 10% و 20% تعمل على تقليل حد السيولة ولاتعطي نتائج لحد اللدونة. أما تربة الطين الرملي المعالج بالزجاج فإن قيم حد السيولة له تقل بشكل ملحوظ، فقد قلت من 27.0 للتربة القياسية إلى 23.4 و 20.6 و 18.4 للطين المعالج بالزجاج بنسب 10% و 20% و 30% على التوالي.

ونلاحظ من الشكل (48) أنه عند نسبة 30% تكون أعلى قيمة لحد السيولة هي لتربة الطين الرملي المعالج بالشيد، وأقل قيمة لحد السيولة تكون لتربة الطين الرملي المعالج بالزجاج، وربما يرجع ذلك لطبيعة مادة الشيد التي تميل بصفاتها لتربة الطين (لها حد سيولة)، ولطبيعة الزجاج (المصنوع من السيليكا) المائل في صفاته لتربة الرمل.

يتبين من تلك النتائج والمقارنات ان الزجاج أعطى أفضل النتائج في هذه التجربة فقد قلل من حد السيولة وحد اللدونة بشكل كبير، وهذا يعمل على زيادة مقاومة الاحتكاك بين حبيبات التربة لزيادة المحتوى الحبيبي من نسبة الزجاج التي تم اضافتها.

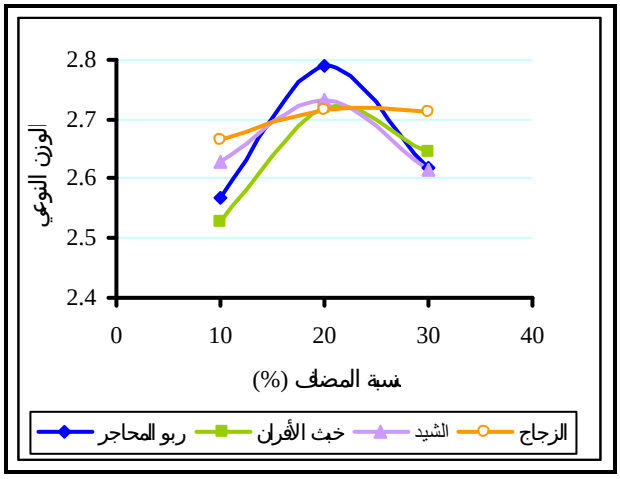
6,2 الوزن النوعي

جدول (26): مقارنة نتائج الوزن النوعي بعد الاضافات

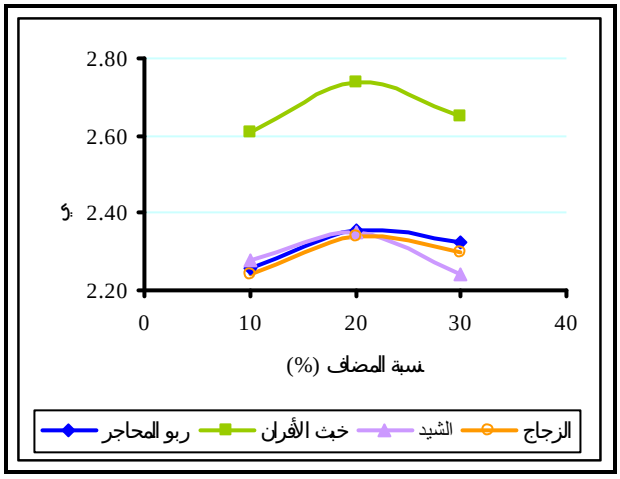
نوع المضاف		المتغيرات	رمل طيني	طين رملي
رمو المحاجر	10%	الوزن النوعي	2.26	2.567
	20%		2.35	2.789
	30%		2.32	2.618
خبث الفرن	10%	الوزن النوعي	2.61	2.527
	20%		2.74	2.718
	30%		2.65	2.647
الشيد	10%	الوزن النوعي	2.28	2.628
	20%		2.35	2.733
	30%		2.24	2.616
الزجاج	10%	الوزن النوعي	2.24	2.666
	20%		2.34	2.715
	30%		2.30	2.711

تعتبر قيمة الوزن النوعي Gs هامة جدا فهي تستخدم في معادلات لايجاد بعض خصائص التربة مثل: الكثافة الجافة (γ_{dry})، ونسبة الفراغات (void ratio "e")، ودرجة التشبع Sr .

وقد تم ايجاد قيم الوزن النوعي لتربة الطين الرملي والرمل الطيني مع المضافات المختلفة كما هو مبين في الجدول (26).



شكل (49): الوزن النوعي لتربة الطين الرملي مع كل المضافات وبالنسب المختلفة



شكل (50): الوزن النوعي لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات وبالنسب المختلفة

- نلاحظ من الشكل (49) أن قيم الوزن النوعي لتربة الطين الرملي مع المضافات تزداد بزيادة نسبة المضاف إلى أن تصل قيمة عظمى عند نسبة 20% وبعد ذلك تبدأ قيم الوزن النوعي بالانخفاض. وكذلك الحال مع تربة الرمل الطيني لاحظ الشكل (50) مع ملاحظة ارتفاع قيم الوزن النوعي في حالة خبث الأفران بالنسب المختلفة بالمقارنة مع باقي المضافات في حالة الرمل الطيني.

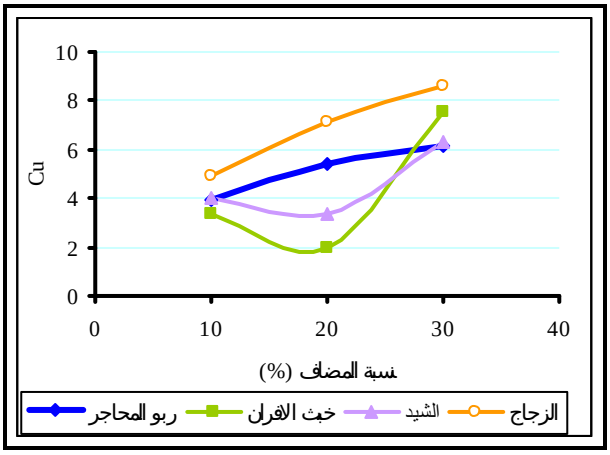
6,3 التحليل بالمناخل

جدول (27): مقارنة نتائج التحليل بالمناخل بعد الاضافات

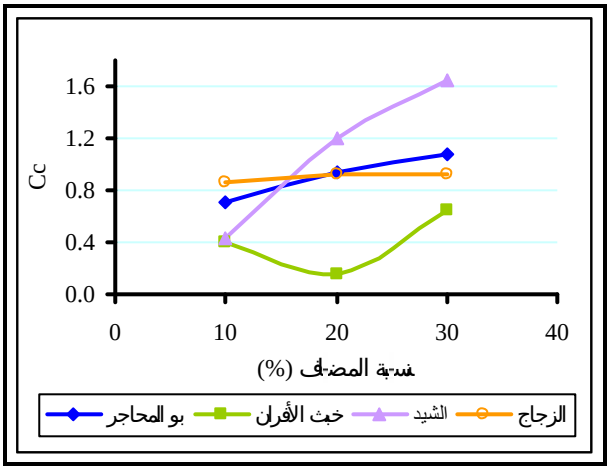
نوع المضاف		المتغيرات	رمل طيني	طين رملي	تصنيف التربة
رمو المحاجر	10%	Cc	1.17	0.7	SP
		Cu	3.42	3.94	
	20%	Cc	1.65	0.94	
		Cu	3.39	5.38	
	30%	Cc	1.12	1.07	
		Cu	5.96	6.16	
خبث الفرن	10%	Cc	0.08	0.40	SP
		Cu	2.24	3.40	
	20%	Cc	1.80	0.16	
		Cu	5.21	2.00	
	30%	Cc	3.29	0.65	
		Cu	4.72	7.52	
الشيد	10%	Cc	0.69	0.43	SP
		Cu	4.93	4.00	
	20%	Cc	1.29	1.20	
		Cu	3.11	3.33	
	30%	Cc	0.28	1.64	
		Cu	2.45	6.34	
الزجاج	10%	Cc	1.12	0.86	SP
		Cu	3.57	4.91	
	20%	Cc	1.23	0.93	
		Cu	3.75	7.15	
	30%	Cc	1.87	0.93	
		Cu	4.30	8.60	

يعتبر التدرج الحبيبي للتربة من أهم التجارب التي تساعد على تصنيف التربة، فالتدرج الحبيبي يعطي نسبة المار من كل من المناخل القياسية، ويعطي معامل الانتظام Cu ، ومعامل الانحناء Cc ، ويمكن منه رسم منحنى التدرج الحبيبي - الذي يمكن أن يكون جيدا الذي فيه تتفاوت أحجام حبيبات التربة، أو ناقصا فلا يشمل كل أحجام الحبيبات، أو فجويا في حالة كون الحبيبات لها أكثر من تدرج وانتظام – من كل تلك المعلومات يمكن تصنيف التربة حسب الانظمة العالمية المعروفة للتصنيف.

في هذا البحث تم عمل التدرج الحبيبي للتربة قبل وبعد الاضافات بطريقة التنخيل، ومن المعلومات الناتجة تم تصنيف التربة حسب النظام الموحد (Unified Soil Classification System) انظر الملحق (أ) و (ب). وقد تبين أن تصنيف التربة بعد الاضافات لم يختلف عن تصنيفها قبل الاضافات وقد كان التصنيف SP. لاحظ الجدول(27).

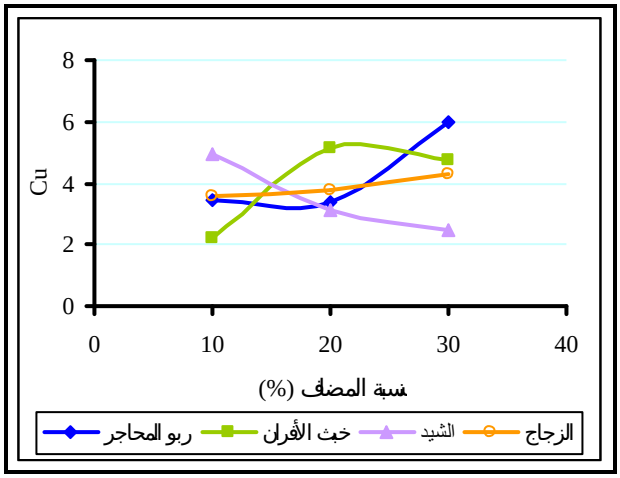


شكل (51): معامل الانتظام (Cu) لتربة الطين الرملي مع كل المضافات وبالنسب المختلفة

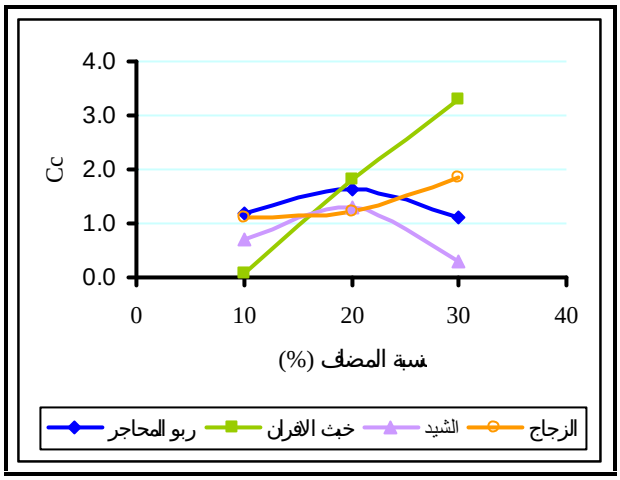


شكل (52): معامل الانحناء (Cc) لتربة الطين الرملي مع كل المضافات وبالنسب المختلفة

نلاحظ من الشكلين (51) و (52) أن أعلى قيمة لمعامل الانتظام لتربة الطين الرملي كانت عند اضافة الزجاج، بينما اعلى قيمة لمعامل الانحناء كان عند اضافة الشيد بنسبة 20% و 30%.



شكل (53): معامل الانتظام (Cu) لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات وبالنسب المختلفة



شكل (54): معامل الانحناء (Cc) لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات وبالنسب المختلفة

6,4 القص المباشر

جدول (28): مقارنة نتائج القص المباشر بعد الاضافات

نوع المضاف		المتغيرات	رمل طيني	طين رملي
رمو المحاجر	10%	C	0.23	0.08
		¤	32.4	40.0
	20%	C	0.29	0.09
		¤	33.2	41.5
	30%	C	0.31	0.14
		¤	33.3	45.0
خبث الفرن	10%	C	0.10	0.05
		¤	32.5	28.0
	20%	C	0.15	0.10
		¤	33.1	27.0
	30%	C	0.20	0.15
		¤	36.0	27.0
الشيد	10%	C	0.51	0.19
		¤	30.0	16.3
	20%	C	0.49	0.20
		¤	32.2	14.3
	30%	C	0.40	0.28
		¤	33.1	12.5
الزجاج	10%	C	0.05	0.19
		¤	32.5	30.0
	20%	C	0.13	0.12
		¤	35.3	34.5
	30%	C	0.12	0.06
		¤	36.7	39.8

يعتبر وجود قوة القص (Shear Strength) للتربة ناتج عن مقاومة التربة لاجهادات القص الواقعة عليها، وتكتسب التربة مقاومة اجهادات القص من مصدرين هما:

- الاحتكاك الداخلي بين حبيبات التربة والتي يعبر عنها بزاوية الاحتكاك الداخلي ϕ.
- التماسك بين حبيبات التربة والذي يعبر عنه بالتماسك **C**.

- ويمكن حساب قوة القص (Shear Strength) للتربة من المعادلة التالية [2] :

$$\tau = C + \sigma_n \tan \phi \text{.....(11)}$$

حيث أن:

τ: قوة القص للتربة (كغم/سم^2).

C: التماسك (كغم/سم^2).

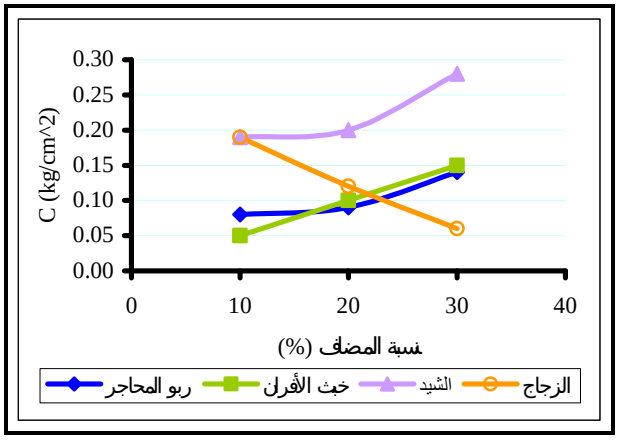
σ_n: الاجهاد العمودي (كغم/سم^2).

ϕ: زاوية الاحتكاك الداخلي.

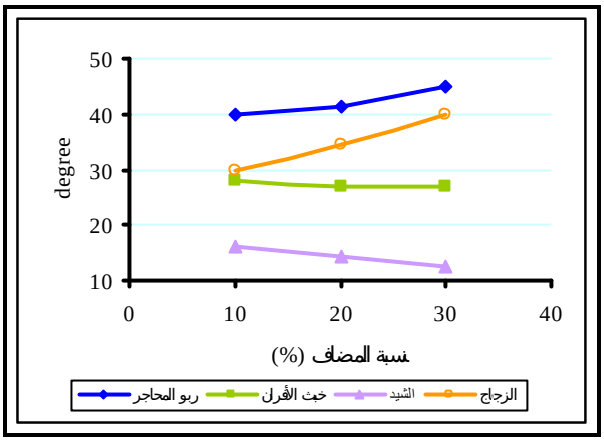
ويجب أن تبقى مقاومة القص للتربة أعلى من الاجهادات الواقعة عليها حتى لايحدث انهيار في التربة، فكلما كانت τ أكبر كانت تربة الاساس أكثر تحملا، وتزداد قيمة قوة القص للتربة (τ) بزيادة قيمة التماسك C وزاوية الاحتكاك الداخلي ϕ. والهدف من تجربة القص المباشر على نوعي التربة قبل وبعد الاضافات هي لايجاد قيمة التماسك C وزاوية الاحتكاك الداخلي ϕ .

ونلاحظ من الجدول (28) والشكل (55) و (56) أن إضافة ربو المحاجر لتربة الطين الرملي تزيد من قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ بشكل كبير فقد زادت من 29 º قبل الاضافة الى 40 º و 41.5 º و 45 º بعد اضافة ربو المحاجر بنسب 10% و 20% و 30% على التوالي. بينما ربو المحاجر عمل على تقليل التماسك لتربة الطين الرملي.

واضافة الزجاج أدت كذلك الى زيادة زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ فقد زادت من 29 º قبل الاضافة الى 30º و 34.5º و 39.8º بعد اضافة الزجاج بنسب 10% و 20% و 30% على التوالي. واضافة الزجاج كذلك قللت من التماسك C للطين الرملي. واضافة الشيد وخبث الافران قللت من ϕ وبخاصة الشيد فقد قلت ϕ بشكل ملحوظ. ويمكن القول أن مضاف الزجاج أعطى أفضل النتائج .

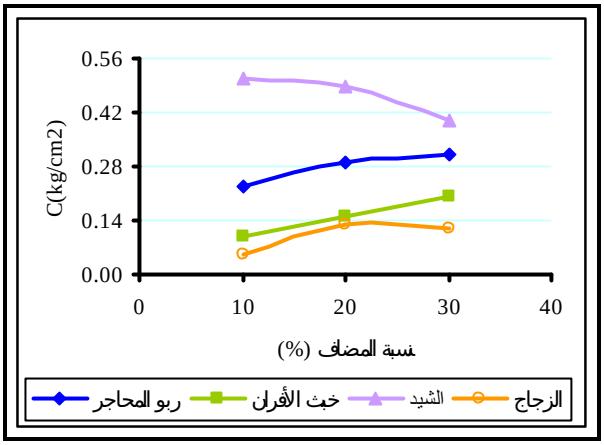


شكل (55): التماسك (C) لتربة الطين الرملي مع كل المضافات وبالنسب المختلفة

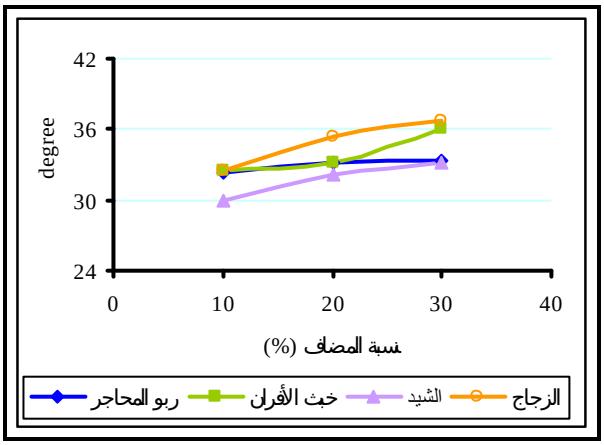


شكل (56): زاوية الاحتكاك الداخلي (¤) لتربة الطين الرملي مع كل المضافات وبالنسب المختلفة

نلاحظ من الشكل (57) و(58) أن الاضافات على تربة الرمل الطيني زادت قيم ϕ بشكل قليل نسبيا، واضافة الشيد زادت قيمة التماسك بشكل ملحوظ. ويمكن القول أن تتلك المضافات أعطت نتائج ايجابية لقوة القص للتربة.



شكل (57): التماسك (C) لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات وبالنسب المختلفة

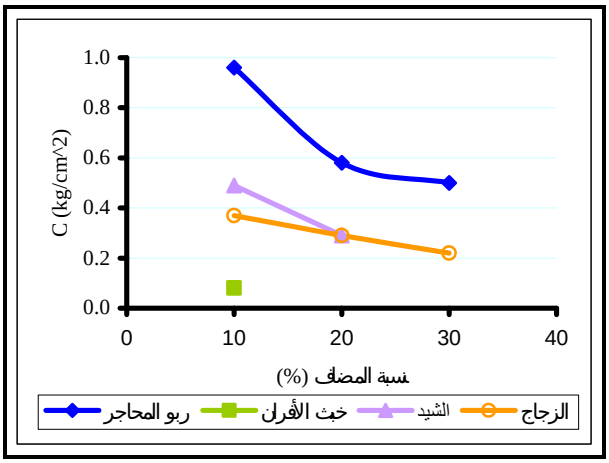


شكل (58): زاوية الاحتكاك الداخلي (¤) لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات وبالنسب المختلفة

6,5 الضغط اللامحصور

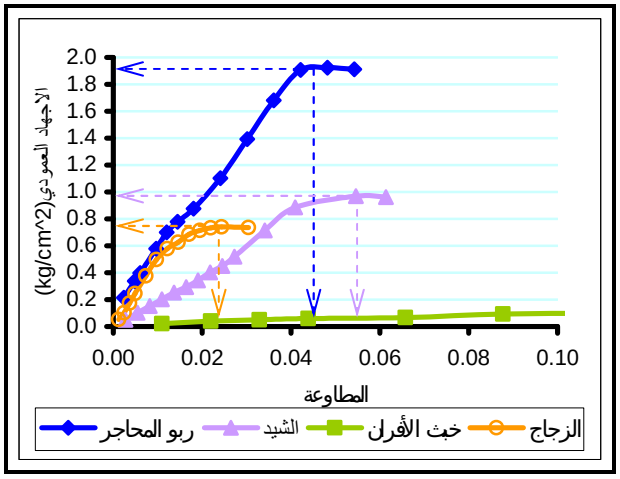
جدول (29): مقارنة نتائج الضغط اللامحصور بعد الاضافات

نوع المضاف		المتغيرات	رمل طيني	طين رملي
ربو المحاجر	10%	q_u	---	1.91
		C	---	0.96
	20%	q_u	---	1.16
		C	---	0.58
	30%	q_u	---	1.00
		C	---	0.50
خبث الفرن	10%	q_u	---	0.16
		C	---	0.08
	20%	q_u	---	---
		C	---	---
	30%	q_u	---	---
		C	---	---
الشيد	10%	q_u	---	0.97
		C	---	0.49
	20%	q_u	---	0.57
		C	---	0.29
	30%	q_u	---	---
		C	---	---
الزجاج	10%	q_u	---	0.74
		C	---	0.37
	20%	q_u	---	0.57
		C	---	0.29
	30%	q_u	---	0.43
		C	---	0.22



شكل (59): التماسك (C) للضغط اللامحصور لتربة الطين الرملي مع كل المضافات وبالنسب المختلفة

نلاحظ من الشكل السابق أن أعلى قيمة للتماسك تم الحصول عليها من تجربة الضغط اللامحصور هي عند نسبة ٢٠% من ربو المحاجر، وأقل قيمة تماسك كانت عند ٣٠% زجاج.

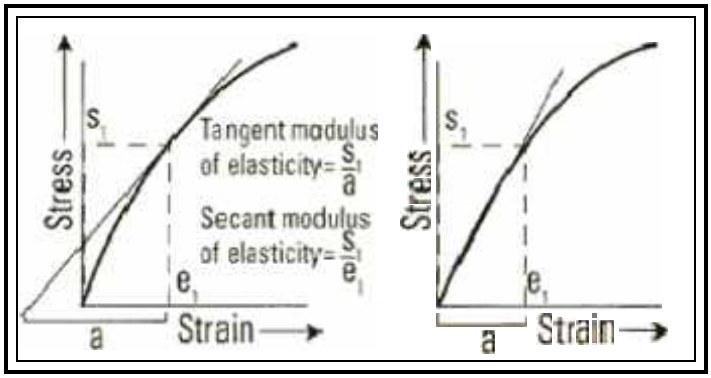


شكل (60): منحنى Stress-Strain لتربة الطين الرملي مع المضافات الأربعة بنسبة ١٠%

نلاحظ من الشكل (60) - الذي يبين منحنيات (stress- strain) لتربة الطين الرملي بعد الإضافات – العلاقة بين أعلى إجهاد رأسي تتحمله التربة قبل انهيارها والتشويه الذي تتعرض له العينة قبل انهيارها (مقدار الهبوط في العينة)، من الشكل نلاحظ أن مضاف ربو المحاجر يعطي أعلى قوة تحمل مع هبوط مقداره 0.45 % ، والتربة المعالجة بالشيد تعطي نتيجة قوة أقل وهبوط أعلى يصل الى 0.55%. أما الزجاج فإنه ينهار بشكل أسرع من المضافين السابقين وبهبوط 0.22%. بينما خبث الأفران فقد انهار بسرعة كبيرة جدا - مقاومة للإجهاد العمودي قليلة جدا – (وهذا يفسر عدم حصولنا على مقاومة الإجهاد العمودي لتربة الطين الرملي

المضاف لها 20% و 30% من خبث الأفران)، وكان هبوطه بعد الانهيار كبيرا جدا فقد وصل إلى 38%. ومن المعروف أن أعلى هبوط مسموح به لتربة الأساس هو 15% [16]، فيكون الهبوط الحاصل في تربة الطين الرملي المعالجة بربو المحاجر أو الشيد أو الزجاج مقبول، بينما الهبوط الحاصل لتربة الطين الرملي المعالج بخبث الأفران مرفوض تماما.

ومن الشكل السابق نلاحظ أيضا أن معامل المرونة (Modulus of Elasticity "E") والذي يمثل ميل الخط المستقيم لاحظ الشكل (61)، يأخذ أعلى قيمة عند مضاف ربو المحاجر وأقل قيمة عند إضافة خبث الأفران.



شكل (61): توضيح معامل المرونة " E " [1]

6,6 النفاذيـــــة

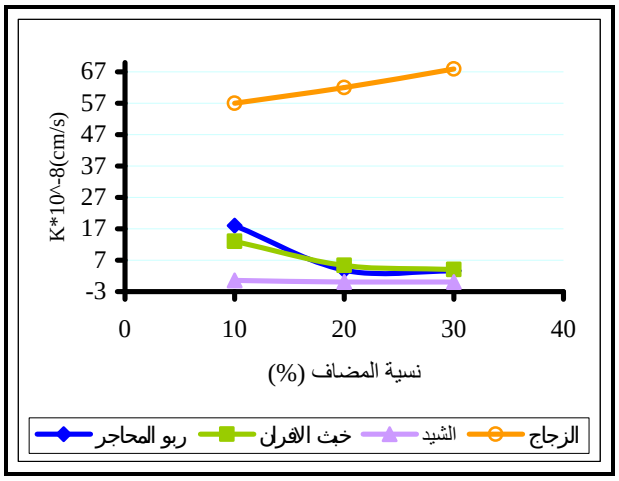
نلاحظ من الجدول (30) والشكل (62) و (63)، أنه عند إضافة كل من ربو المحاجر أوخبث الأفران أوالشيد لتربة الطين الرملي أو لتربة الرمل الطيني فإن معامل النفاذية يقل بشكل كبير وكان ذلك ملاحظا عند عمل التجربة، وكلما زدنا نسبة المضاف (ربو المحاجر أوخبث الأفران أوالشيد) قل معامل النفاذية أكثر. وذلك راجع إلى طبيعة حبيبات -تلك المضافات- الناعمة والتي تعمل على تقليل الفراغات بين حبيبات التربة.

بينما إضافة الزجاج لنوعي التربة أدى إلى ارتفاع كبير في معامل النفاذية، وكان معامل النفاذية يزداد بزيادة نسبة الزجاج، ويمكن تفسير هذه الزيادة في معامل النفاذية إلى طبيعة حبيبات الزجاج الكبيرة التي تعمل على زيادة الفراغات بين حبيبات التربة وبالتالي تزداد نفاذية التربة.

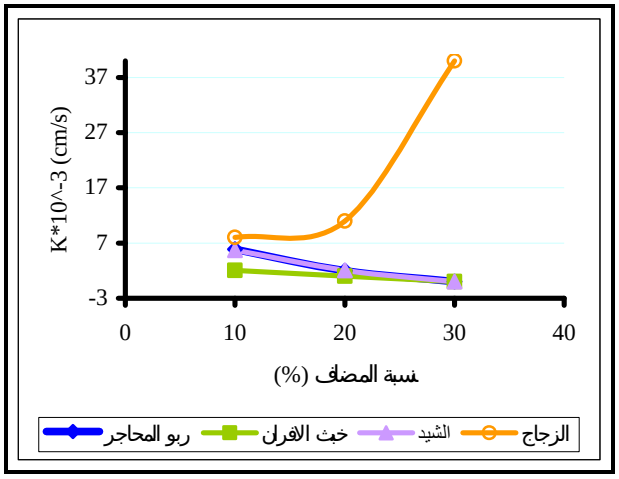
ومن المعروف أن هناك تطبيقات تحتاج لتربة قليلة النفاذية (كالتربة المستخدمة في السدود الترابية). وفي المقابل هناك تطبيقات تحتاج لتربة عالية النفاذية كالتربة الموجودة خلف الجدران الاستنادية.

جدول(30): مقارنة نتائج النفاذية بعد الإضافات

نوع المضاف		المتغيرات	رمل طيني	طين رملي
ربو المحاجر	10%	K	$5.9*10^{-3}$	$18*10^{-8}$
	20%		$2.0*10^{-3}$	$3.8*10^{-8}$
	30%		$0.005*10^{-3}$	$3.6*10^{-8}$
خبث الفرن	10%	K	$2.07*10^{-3}$	$13*10^{-8}$
	20%		$1.02*10^{-3}$	$5.4*10^{-8}$
	30%		$0.03*10^{-3}$	$4.02*10^{-8}$
الشيد	10%	K	$5.7*10^{-3}$	$0.56*10^{-8}$
	20%		$2.04*10^{-3}$	$0.08*10^{-8}$
	30%		$0.008*10^{-3}$	$0.05*10^{-8}$
الزجاج	10%	K	$8*10^{-3}$	$57*10^{-8}$
	20%		$11*10^{-3}$	$62*10^{-8}$
	30%		$40*10^{-3}$	$68*10^{-8}$



شكل (62): معامل النفاذية (K) لتربة الطين الرملي مع كل المضافات وبالنسب المختلفة



شكل (63): معامل النفاذية (K) لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات وبالنسب المختلفة

6,7 الدمـــــك

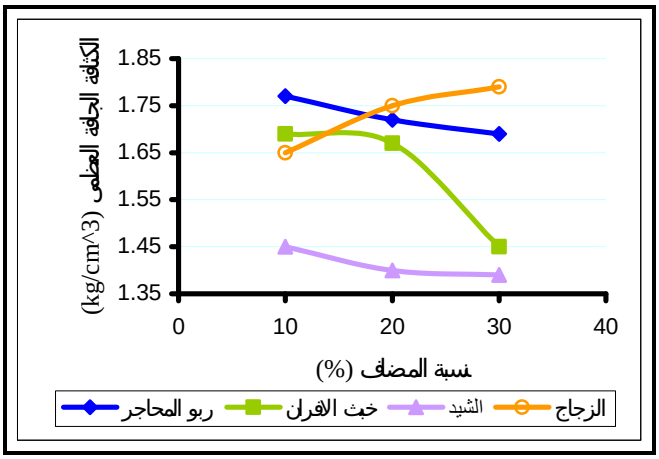
الدمك عبارة عن طريقة ميكانيكية تستخدم لتقليل الفراغات بين حبيبات التربة، ويمكن القول بأن دمك التربة يعمل على:

- تقليل نسبة الفراغات وتقليل النفاذية للتربة.
- زيادة قوة تحمل التربة وتقليل الهبوط المتوقع .
- التقليل من تأثير التجمد أو الانتفاخ أو الانكماش للتربة.

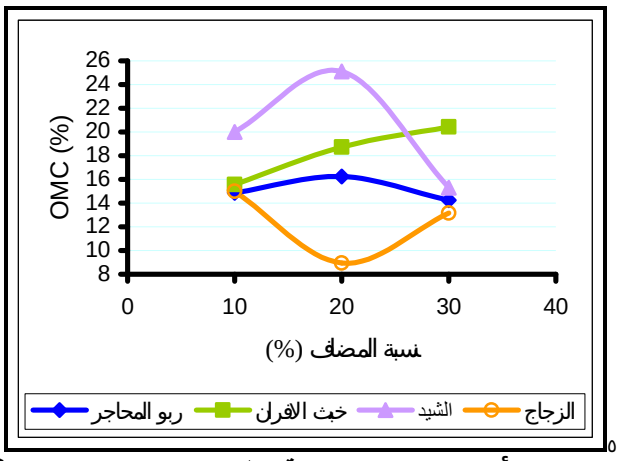
نلاحظ من خلال الجدول رقم (31) ان اضافة الاربعة انواع من المضافات الى تربة الرمل الطيني أو الطين الرملي تعمل على تقليل الكثافة الجافة العظمى والتي يتم الحصول عليها بدمك التربة عند محتوى رطوبة أمثل أقل أما في حالة اضافة ربو المحاجر الى الطين الرملي فقط أمكن الحصول على كثافة جافة عظمى عند محتوى رطوبة أمثل أقل وهذه هي الحالة الأمثل للدمك مما يعني أن اضافة ربو المحاجر للطين الرملي تسهل عملية الدمك .

جدول(31): مقارنة نتائج الدك القياسية بعد الإضافات

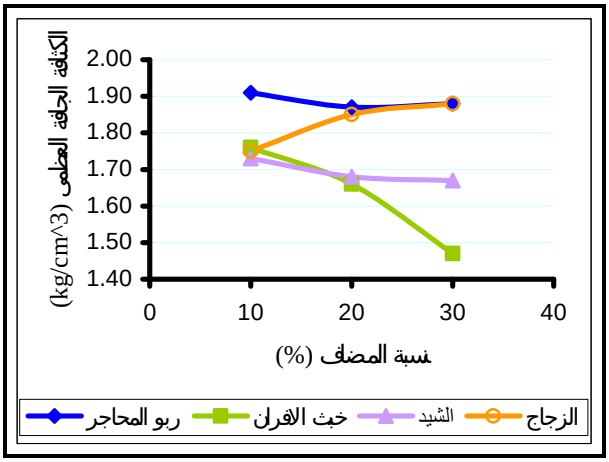
نوع المضاف		المتغيرات	رمل طيني	طين رملي
رمو المحاجر	10%	$\gamma_{dry-max.}$	1.91	1.77
		O.M.C	10.0	14.87
	20%	$\gamma_{dry-max.}$	1.87	1.72
		O.M.C	13.33	16.24
	30%	$\gamma_{dry-max.}$	1.88	1.69
		O.M.C	11.19	14.23
خبث الفرن	10%	$\gamma_{dry-max.}$	1.76	1.69
		O.M.C	13.61	15.56
	20%	$\gamma_{dry-max.}$	1.66	1.67
		O.M.C	17.78	18.73
	30%	$\gamma_{dry-max.}$	1.47	1.45
		O.M.C	19.72	20.42
الشيد	10%	$\gamma_{dry-max.}$	1.73	1.45
		O.M.C	6.79	20.0
	20%	$\gamma_{dry-max.}$	1.68	1.40
		O.M.C	10.0	25.10
	30%	$\gamma_{dry-max.}$	1.67	1.39
		O.M.C	9.95	15.30
الزجاج	10%	$\gamma_{dry-max.}$	1.75	1.65
		O.M.C	11.67	15.0
	20%	$\gamma_{dry-max.}$	1.85	1.75
		O.M.C	11.30	8.95
	30%	$\gamma_{dry-max.}$	1.88	1.79
		O.M.C	10.93	13.16



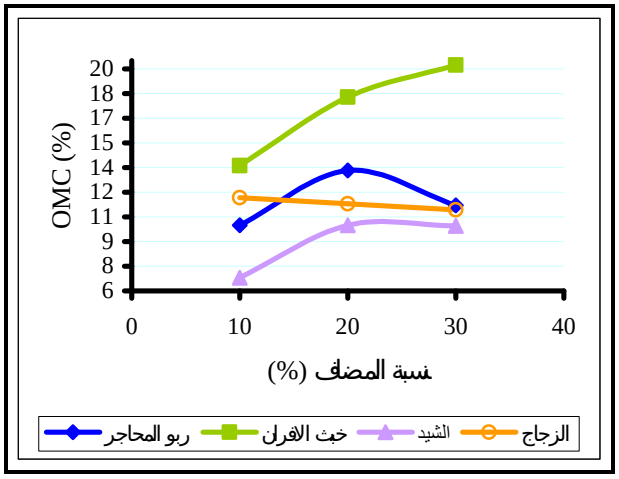
شكل (64): الكثافة الجافة (γ_{dry}) العظمى لتربة الطين الرملي مع كل المضافات وبالنسب المختلفة



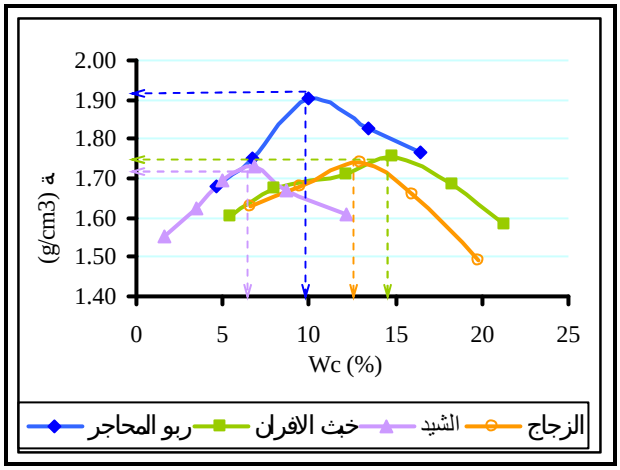
شكل (65): المحتوى الرطوبي الأمثل (OMC) لتربة الطين الرملي مع كل المضافات وبالنسب المختلفة



شكل (66): الكثافة الجافة (γ_{dry}) العظمى لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات وبالنسب المختلفة



شكل (67): المحتوى الرطوبي الامثل (OMC) لتربة الرمل الطيني مع كل المضافات وبالنسب المختلفة



شكل (68): منحنيات الدمك لتربة الرمل الطيني مع المضافات الأربعة بنسبة ١٠%

نلاحظ من الشكل (68) - الذي يبين منحنيات الدمك لتربة الرمل الطيني مع المضافات الأربعة بنسبة ١٠% - ان ربو المحاجر يعطي اعلى كثافة بالمقارنة مع المضافات الاخرى وعند محتوى رطوبي معقول (10%)، بينما الشيد يعطي اقل كثافة جافة (1.73غم/سم^3) عند نسبة رطوبة (6.8%) أما الزجاج وخبث الافران فيعطون كثافة جافة متقاربة جدا ولكن المحتوى الرطوبي لخبث الافران أعلى من المحتوى الرطوبي للزجاج عند نفس الكثافة الجافة.

الفصل السابع

النتائج والتوصيات

في هذا البحث تم إجراء الاختبارات الأساسية لفحص التربة وهي **المحتوى المائي، حد السيولة، حد اللدونة**، التدرج الحبيبي بالتنخيل، **فحص القص المباشر، فحص الضغط اللامحصور**، فحص النفاذية، **فحص الدمك، فحص الوزن النوعي**.

وقد كانت الآلية التي اتبعت في إجراء هذه الاختبارات، بأن يجري الاختبار على كل من تربة الطين الرملي و تربة الرمل الطيني كل بشكل منفصل، ثم يضاف إلى هذين النوعين من التربة المضافات التالية كل على حده. و هي ربو المحاجر، خبث الأفران، الشيد، و الزجاج المطحون بنسب مختلفة 10% - 20% - 30% **نسبة** وزنية.

وفيما يلي بعض النتائج المستخلصة من هذا البحث:

أولا: فيما يتعلق بالخصائص الهندسية الأولية للتربة:

بالنسبة الى حد السيولة و اللدونة لكل من تربة الطين الرملي و تربة الرمل الطيني، **فقد اثبتت التجارب أن** لتربة الطين الرملي حد سيولة و لدونة، وأما تربة الرمل الطيني فليس لها حد سيولة ولا حد لدونة.

بعد إجراء تجربة التحليل بالمناخل تم تصنيف التربة حسب النظام الموحد (Unified Soil Classification System) وكان تصنيف نوعي التربة SP.

وتم الحصول على قيمة التماسك C وزاوية **الاحتكاك الداخلي** ϕ لنوعي التربة من خلال تجربة القص **المباشر**.

وعند إجراء تجربة الدمك على نوعي التربة تم الحصول على أعلى قيمة للكثافة الجافة عند أقل محتوى **رطوبي مناسب** لتربة الرمل الطيني مقارنة مع تربة الطين الرملي.

ثانيا: فيما يتعلق بخصائص التربة المعالجة بالمضافات:

- **اختبار حد السيولة واللدونة:**

عند اضافة كل من ربو المحاجر أو خبث الأفران على تربة الطين الرملي فإنه أدى إلى ارتفاع قيمة حد السيولة وتقليل حد اللدونة. بينما عند اضافة الزجاج أو الشيد على تربة الطين الرملي فإنه أدى إلى انخفاض قيمة حد السيولة و حد اللدونة.

- **اختبار التحليل بالمناخل وتصنيف التربة:**

تم تصنيف نوعي التربة المعالجة بالمضافات الاربعة وقد وجد انه لم يختلف عن تصنيف نوعي التربة القياسية.

- **اختبار فحص قوى القص:**

إن إضافة ربو المحاجر لتربة الطين الرملي تزيد من قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ بشكل كبير. في حين أدى إلى تقليل التماسك لتربة الطين الرملي. وكذلك الحال بالنسبة لتربة الرمل الطيني.

واضافة الزجاج أدت كذلك الى زيادة زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ ، وإضافته قللت من التماسك C لنوعي التربة. واضافة الشيد وخبث الافران قللت من ϕ وبخاصة الشيد فقد قلت ϕ بشكل ملحوظ. ويمكن القول أن مضافي الزجاج وربو المحاجر أعطى أفضل النتائج .

- **اختبار النفاذية:**

عند إضافة كل من ربو المحاجر أوخبث الأفران أوالشيد لتربة الطين الرملي أو لتربة الرمل الطيني فإن معامل النفاذية يقل بشكل كبير وكان ذلك ملاحظا عند عمل التجربة. بينما إضافة الزجاج لنوعي التربة أدى إلى ارتفاع كبير في معامل النفاذية، وكان معامل النفاذية يزداد بزيادة نسبة الزجاج.

- **اختبار الدمك:**

ان اضافة الاربعة انواع من المضافات الى تربة الرمل الطيني أو الطين الرملي تعمل على تقليل الكثافة الجافة العظمى ويقلل المحتوى الرطوبي الأمثل. أما عند اضافة ربو المحاجر الى الطين الرملي فقط أمكن الحصول على كثافة جافة عظمى عند محتوى رطوبة أمثل أقل .

التوصيات:

- لقد تمت هذه الدراسة على نوعي التربة الموجودة داخل فلسطين وبالأخص في منطقة (الخليل) وقد تختلف النتائج التي تم الحصول عليها باختلاف مصدر التربة.

- إجراء دراسة تأثير هذه المضافات الاربعة (ربو المحاجر و خبث الأفران و الشيد و الزجاج) على نوع اخر من التربة لمعرفة امكانية الاستفادة منها وخاصة تربة البيسكورس.

- دراسة تأثير هذه المضافات على نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR)، لمعرفة مدى الاستفادة منها في انشاء الطرق.

- اجراء دراسات لتحديد نسب المضافات المثلى الملائمة لتربة الاساس.

- العمل على ايجاد وسائل وطرق عملية لاجراء عمليات الخلط في الموقع.

- فحص أثر الزمن على زيادة مقاومة التربة بعد اضافة المضافات حيث أن هذا البحث لم يعط فترة زمنية بين عملية خلط المضاف واجراء التجارب.

المـراجع

1 المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني – خواص واختبارات التربة – المملكة العربية السعودية

2 B. C. Punmia – Soil Mechanics and Foundations – Delhi – 1705

3 الموسوعة الهندسية المدنية والمعمارية – عبد اللطيف أبو العطا البقرى – الطبعة الأولى - ٢٠٠٤

4 Use of fly ashes for the stabilization of an expansion soil - Joakim G. Laguros - 2001- http://www.pubs.asce.org/WWWdisplay.cgi?0103063

5 Behavior of cement-stabilized fiber reinforced fly ash-soil admixtures - Shenbag R.Kaniraj and Vasant G.Havanagi -1999- http://www.astm.org/cgi-bin/SoftCart.exe

6 Engineering behavior of lime-treated Louisiana subgrade soil - Puppala A. J.- 1996- http://pubsindex.trb.org/document/view/default.asp?lbid=470018

7 Influence of fiber and cement addition on behavior of sandy soil - Nilo C.Consoli -1998- http://pubs.asce.org/WWWdisplay.cgi?9805145

8 Combining industrial wastes with lime for soil stabilization - Masashi Kamon & Supakij Nontananandh -1991- http://www.pubs.asce.org/WWW.cgi?9100036

9 Lime and fly ash admixture improvement of tropical Hawaiian soils - Nicholson P.G. -1994- http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=3499318

10 دراسة تجريبية على استخدام غبار الاسمنت في تحسين خواص التربة - طلال عبيد الرفيعي وعوض علي القرني"-سنة -١٩٩٨ – جامعة الملك عبد العزيز – جدة - المملكة العربية السعودية

11 Stabilization of Clay Using Wood ash - Celestine O." Okagbue – 2005- http://scitation.aip.org/getabs/servlet=84001

12 Nabil Al-joulani "Engineering Properties of Slurry Waste from Stone Cutting Industry in the West Bank", First Palestine Environmental Symposium, Hebron, Palestine Polytechnic University, 28-29 March, 2000. Hebron, West Bank.

13 هشام طنينة و رائد الفطافطة - " أثر مخلفات قص الحجر على الخصائص الهندسية للتربة الطينية و الرملية" - جامعة بولتيكنك فلسطين - ٢٠٠٣م.

14 عماد درويش - دليل المعلومات الهندسية - الجزء الثاني - الطبعة الأولى - ١٩٩٩م

15 مواصفات الجمعية الأمريكية للفحوصات والمواد ASTM – 1986 - الطبعة الأولى

16 مواصفات الجمعية الأمريكية للطرق AASHTO – 1986 – الطبعة الأولى

17 سامي احمد حجاوي - فحوصات التربة للأغراض الإنشائية - الطبعة الأولى - ٢٠٠٣م

الملاحق

ملحق (أ)

Unified Soil Classification System[2]

Major divisions			Group symbol	Group name
Coarse grained soils more than 50% retained on No.200 sieve	**gravel** > 50% of coarse fraction retained on No.4 sieve	clean gravel	**GW**	well graded gravel, fine to coarse gravel
			GP	poorly graded gravel
		gravel with >12% fines	**GM**	silty gravel
			GC	clayey gravel
	sand ≥ 50% of coarse fraction passes No.4 sieve	clean sand	**SW**	well graded sand, fine to coarse sand
			SP	poorly-graded sand
		sand with >12% fines	**SM**	silty sand
			SC	clayey sand
Fine grained soils more than 50% passes No.200 sieve	**silt and clay** liquid limit < 50	inorganic	**ML**	silt
			CL	clay
		organic	**OL**	organic silt, organic clay
	silt and clay liquid limit ≥ 50	inorganic	**MH**	silt of high plasticity, elastic silt

ملحق (ب)

Describe of letter in Unified Soil Classification System[2]

First and/or second letters	Definition	Second letter	Definition
G	gravel	**P**	poorly graded (uniform particle sizes)
S	sand	**W**	well graded (diversified particle sizes)
M	silt	**H**	high plasticity
C	clay	**L**	low plasticity
O	organic		