



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

دراسة تأثير إضافة الغضار بنسب معينة على تغير عوامل المتانة
في التربة الرملية

**Investigation of effect of adding clay in fixed percentages on
the change of the Strength properties of sandy soil**

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

إعداد المهندسة علا نبيل ابوطراب

إشراف الدكتور المهندس نزيه عبود

دمشق - 2016

شكر وتقدير

الشكر كل الشكر لأستاذي المشرف الدكتور نزيه محمود للتوجيهات الهامة والمفيدة التي قدمها لي ولمساندتي في عملي هذا وتصحيح مساره للوصول الى نهايات هذا البحث.

كل الشكر والامتنان لأستاذي الدكتور ابراهيم محمود الذي لم يأل جهداً ولم يبخل بنصح أو توجيه أو تصويب وكان نعم المعين والموجه في كل خطوة من خطوات هذا العمل.

الشكر لأساتذتي الكرام في قسم الهندسة الجيوتكنيكية على كل نصيحة قدموها لي في مسيرة عملي .

الشكر الجزيل للزميل المهندس حازم بركات الذي لم يبخل بأي معلومة أو مساعدة، وللعاملين في مخبر ميكانيك التربة من أساتذة ومحضرين.

وأخيراً وليس أخراً الشكر العظيم لعائلتي التي تحملي الأعباء وساندتي بالدعم المادي والمعنوي ، حيث ما كان هذا العمل ليتم لولا وقوفهم بجانبتي وأخص بالشكر أخي الدكتور محمد .

الإهداء

يا من تتوق روعي لنيل رضاه ...

وينير حياتي بحبه وهداه ...

إلهي ومولاي نحمدك على ما أتيتنا من عظيم فضلك وكرمك ...

وعلى ما يسرتنا لنا في طريق العمر ...

نسألك أن تبارك لنا علمنا وعملنا ...

إليك ربي

يا معلم البشرية ...

يا سيد المرسلين يا خاتم النبيين ...

ويا مثلنا الأعمم ...

إليك يا إمامي وسيدي ومولاي محمد (ص)

إلى من علمني أن لا شيء مع الإرادة صعب
إلى قدوتي ومثلي الأعلى

والدي العبيد

إلى من كان دعاءها السراج المنير
وصدورها الملجأ الوحيد
وعينها أيقونة من العنان

أمي الحبيبة

إلى من أمسك بيدي لأكمل دربي
والقلب النابض كرملاً وحنان
إلى حبيبي ووتوأم روحي

شادي

إلى شقيقة الروح
إلى الوردة الليلية الفواحة عطراً وجمالاً

الدكتورة رنا

إلى من أعطى حياتنا ألوانها
شعلة النور والذكاء
إلى الكنز النادر الوجود

الدكتور محمد

ملخص البحث:

تعتبر متانة التربة من أهم العوامل التي تلعب دوراً رئيسياً في تصميم الأساسات واختيار شكلها، بما في ذلك القواعد الترابية تحت الطرق والمطارات والسدود.....الخ ، وذلك بغية الوصول إلى الطريقة الأسلم لنقل الحمولات المطبقة والمنقولة من المنشأ إلى التربة بشكل آمن. إن عملية تحديد عوامل المتانة وبالتالي قدرة تحمل التربة تتم بواسطة العديد من التجارب المخبرية والحقلية ، ونذكر منها على سبيل المثال (تجربة القص المباشر - تجربة الاختراق النظامية SPT - تجربة البروانة - تجربة نسبة تحميل كاليفورنيا CBR.....الخ ، وذلك حسب نوع التربة المختبرة.

وقد تم اعتماد تجربة القص المباشر في هذا البحث من أجل تحديد تغير عوامل المتانة في عينات خلائط (غضار - رمل) ، أي انه تم إضافة الغضار بنسب محددة من وزن الرمل إلى عينات من الرمل الصافي ، وبمعنى آخر قمنا بإجراء تجربة القص المباشر بعد إجراء التجارب الأساسية لمعرفة الخواص الفيزيائية والمصنفة ، على الغضار صافي ورمل صافي أولاً وبعدها على عينات خليطة تحوي على غضار بالنسب 10% - 15% - 20% - 25% - 30% - 40% من وزن الرمل تباعاً ، ضمن مخبر ميكانيك التربة في جامعة دمشق حسب المواصفات القياسية.

ثم تم حساب تغيرات التماسك والاحتكاك الموافقة لتغير نسبة الخلط ، ومن ثم حساب قدرة التحمل لنفس العينات الخليطة ، وأخيراً تم اعتماداً على النتائج تحديد النسبة الفعالة للخلط التي لاضرورة بعدها من الاستمرار بعملية الخلط.



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

دراسة تأثير إضافة الغضار بنسب معينة على تغير عوامل المتانة في التربة الرملية

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

إعداد المهندس علا نبيل ابوطراب

إشراف الدكتور المهندس نزيه عبود

لجنة الحكم السادة الأساتذة:

د. عبد المنير نجم الأستاذ في قسم الهندسة الجيوتكنيكية عضواً

الاختصاص : جيولوجيا هندسية

د.م. نزيه عبود الأستاذ في قسم الهندسة الجيوتكنيكية عضواً مشرفاً

الاختصاص: جيولوجيا هندسية

د.م. إبراهيم حمود الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الجيوتكنيكية عضواً

الاختصاص: الأنفاق و منشآت مظلورة

دمشق - 2016

فهرس المواضيع

1	..... عنوان البحث
2	..... شكر وتقدير
3	..... الإهداء
5	..... الملخص
6	..... فهرس المواضيع
9	..... فهرس الجداول
11	..... فهرس الأشكال
14	..... الفصل الاول
15	..... 1-1 تمهيد
15	..... 2-1 مقدمة
15	..... 3-1 عرض المشكلة
15	..... 4-1 أهداف البحث
16	..... 5-1 مخطط البحث
17	..... الفصل الثاني
18	..... 1-2 تمهيد
18	..... 2-2 الدراسة النظرية لمقاومة التربة للقص
18	..... 1-2-2 نظرية Mohr-Coulomb للانهيال
19	..... 2-2-2 مقاومة القص في التربة المفككة
20	..... 3-2-2 مقاومة القص في التربة المتماسكة
21	..... 4-2-2 تجربة القص المباشر: (Direct Shear test)
22	..... 1-4-2-2 تجربة القص المباشر في التربة المفككة(الرملية)
24	..... 2-4-2-2 تجربة القص المباشر في التربة المتماسكة (الغضارية)
25	..... 3-2 الدراسة النظرية لقدرة تحمل التربة
28	..... 4-2 الدراسات السابقة
28	..... 1-4-2 دراسة قام بها الباحث J.M.Teuten عام 2012
30	..... 2-4-2 دراسة قام بها الباحث Muawia A. Dafalla عام 2012
34	..... 3-4-2 دراسة قام بها الباحث George Rowland Otoko عام 2014
38	..... 4-4-2 دراسة قام بها الباحثون C Abhishek Rathnam, K Suresh, DR.K V Uday عام 2015
42	..... الفصل الثالث

- 43 1-3 تمهيد
- 43 2-3 الدراسة النظرية
- 43..... 1-2-3 الدراسة النظرية للرمل
- 43..... 1-1-2-3 البنية الحبيبية المبعثرة Granual
- 44..... 2-1-2-3 تصنيف الرمل وفق الأنظمة العالمية
- 45..... 3-1-2-3 الفلزات الشائعة المكونة للرمل
- 46..... 2-2-3 الدراسة النظرية للغضار
- 46..... 1-2-2-3 التربة الغضارية
- 46..... 2-2-2-3 تشكل الغضار في الطبيعة
- 48..... 3-2-2-3 أنواع الترب الغضارية وتصنيفها وتركيبها الفلزي
- 50..... 4-2-2-3 الخواص الفيزيائية والكيميائية للغضار
- 50..... 5-2-2-3 الخواص الميكانيكية للغضار
- 50 3-3 تواجد الترب الغضارية في الجمهورية العربية السورية
- 52 4-3 تواجد واستخدامات الترب الرملية في الجمهورية العربية السورية
- 53 الفصل الرابع**
- 54 1-4 تمهيد
- 54 2-4 الدراسة التجريبية
- 54..... 1-2-4 مخطط العمل التجريبي
- 57..... 2-2-4 المواصفات القياسية للتجارب
- 57..... 3-2-4 نتائج التجارب المخبرية الأساسية (الخواص الفيزيائية)
- 57..... 1-3-2-4 نتائج التجارب الأساسية التربة الرملية والتربة الغضارية المدروسة
- 58..... 2-3-2-4 نتائج تجارب الوزن النوعي على العينات الخليطة
- 60..... 4-2-4 نتائج التجارب المخبرية المصنفة
- 60..... 1-4-2-4 التربة الرملية
- 61..... 2-4-2-4 التربة الغضارية
- 64..... 3-4-2-4 تجربة حدود اتبرغ للخليط
- 65..... 5-2-4 دراسة القص في التربة
- 65..... 1-5-2-4 تجربة القص السريع المباشر
- 66..... 2-5-2-4 نتائج تجربة القص المباشر
- 80 الفصل الخامس**
- 81 1-5 تمهيد

81	2-5 تصنيف التربة
81	1-2-5 التربة الرملية.....
81	1-1-2-5 تصنيف التربة الرملية
84	2-1-2-5 ملخص الخواص الفيزيائية والمصنفة للتربة الرملية.....
84	2-2-5 التربة الغضارية.....
84	1-2-2-5 تصنيف التربة الغضارية
86	2-2-2-5 ملخص الخواص الفيزيائية والمصنفة للتربة الغضارية
87	3-5 تحليل نتائج تجارب خليط التربة
87	1-3-5 تغيرات الوزن النوعي مع نسب الخلط.....
87	2-3-5 تغيرات حد السيولة مع نسب الخلط
90	3-3-5 تغيرات مواصفات القص مع نسب الخلط.....
90	1-3-3-5 ملخص منحنيات القص لكافة نسب الخلط.....
93	2-3-3-5 العلاقة بين قيم التماسك و نسبة الخلط.....
94	3-3-3-5 العلاقة بين قيم زاوية الاحتكاك و نسبة الخلط.....
96	4-3-3-5 نسب تغيرات مواصفات القص مع تغير نسبة الخلط.....
97	5-3-3-5 العلاقة بين تماسك التربة والرطوبة.....
97	6-3-3-5 العلاقة بين زاوية الاحتكاك والرطوبة.....
98	4-5 حساب قدرة تحمل التربة
98	1-4-5 تغيرات قدرة تحمل التربة مع نسبة الخلط.....
99	2-4-5 العلاقة بين قدرة تحمل التربة و التماسك.....
100	3-4-5 العلاقة بين قدرة تحمل التربة وزاوية الاحتكاك.....
101	5-5 مقارنة بين نتائج الدراسات السابقة ونتائج هذا البحث
101	1-5-5 زاوية الاحتكاك الداخلية
102	2-5-5 التماسك
103	3-5-5 قرينة اللدونة
105	الفصل السادس
106	1-6 النتائج.....
108	2-6 التوصيات.....
109	المراجع

فهرس الجداول

- الجدول (1-2) القيم النموذجية لـ σ_{CV} و σ للترب المفككة 24
- الجدول (2-2): إضافة نسب الغضار على كل من حدي السيولة واللدونة وقرينة اللدونة للباحث J.M.Teuten 29
- الجدول (3-2) النتائج للباحث Muawia A. Dafalla 31
- الجدول (4-2) نتائج الاختبارات على الترب بنسب خلط متفاوتة للباحث George Rowland Otoko 35
- الجدول (5-2) مواصفات التربة الرملية والغضارية للباحثين Abhishek Rathnam, K Suresh, DR.K 38
- الجدول (6-2) نتائج اختبارات الباحث C Abhishek Rathnam, K Suresh, DR.K V Uday 39
- الجدول (1-3) تصنيف الرمل وفق الأنظمة العالمية 45
- الجدول (1-4) المواصفات القياسية للتجارب 57
- الجدول (2-4) نتائج تجارب الخواص الفيزيائية المجراة على الترب المدروسة 57
- الجدول (3-4) قيم الوزن النوعي لخليط الرمل مع الغضار 58
- الجدول (4-4) حدود أتريغ 63
- الجدول (5-4) قيم حد السيولة لخليط الرمل مع الغضار 64
- الجدول (6-4) المعطيات الاولية لتجربة القص على العينة الرملية 68
- الجدول (7-4) المعطيات الاولية لتجربة القص على العينة الخليطة 10% 70
- الجدول (8-4) المعطيات الاولية لتجربة القص على العينة الخليطة 15% 71
- الجدول (9-4) المعطيات الاولية لتجربة القص على العينة الخليطة 20% 73
- الجدول (10-4) المعطيات الاولية لتجربة القص على العينة الخليطة 25% 74
- الجدول (11-4) المعطيات الاولية لتجربة القص على العينة الخليطة 30% 76
- الجدول (12-4) المعطيات الاولية لتجربة القص على العينة الخليطة 40% 78
- الجدول (1-5) قيم D60 , D30 , D10 81
- الجدول (2-5) قيم C_u , C_c 82
- الجدول (3-5) تصنيف التربة 83
- الجدول (4-5) ملخص خصائص التربة الرملية 84

- الجدول (5-5) ملخص خواص التربة الغضارية..... 86
- الجدول (6-5) النسب المئوية لزيادة التماسك مع نسب الخلط..... 96
- الجدول (7-5) النسب المئوية لنقصان زاوية الاحتكاك مع نسب الخلط..... 96
- الجدول (8-5) قيم قدرة تحمل التربة مع تغير نسبة الغضار المضاف 98

فهرس الأشكال

- الشكل (1-2) مدلول مغلف الانهيار 19
- الشكل (2-2) طبيعة النتائج لنموذج من تجارب القص المباشر على رمل مخلخل، متوسط، وكثيف 23
- الشكل (3-2) انهيار قدرة التحمل للتربة تحت أساس مستمر صلب خشن..... 25
- الشكل (4-2) التدرج الحبي للتربة بعد خلطها للباحث J.M.Teuten 28
- الشكل (5-2) تغير زاوية الاحتكاك مع نسب الغضار للباحث Doolan,Author 29
- الشكل (6-2) تغير زاوية الاحتكاك مع نسب الغضار للباحث J.M.Teuten 30
- الشكل (7-2) التركيب الحبي للرمل للباحث Muawia A. Dafalla 31
- الشكل (8-2) تغير الاحتكاك والتماسك مع الرطوبة للباحث Muawia A. Dafalla 32
- الشكل (9-2) تغير الاحتكاك والتماسك مع نسبة الغضار للباحث Muawia A. Dafalla 33
- الشكل (10-2) التدرج الحبي للترب بنسب خلط متفاوتة للباحث George Rowland Otoko 34
- الشكل (11-2) تغير قيم قرينة اللدونة مع نسب الغضار للباحث George Rowland Otoko 36
- الشكل (12-2) تغير قيم زاوية الاحتكاك مع نسبة الغضار للباحث George Rowland Otoko 36
- الشكل (13-2) تغير قيم التماسك مع نسبة الغضار للباحث George Rowland Otoko 37
- الشكل (14-2) منحنيات التدرج الحبي للعينات للباحث C Abhishek Rathnam, DR.K V Uday 39
- الشكل (15-2) تغيرات التماسك مع نسب الخلط للباحث C Abhishek Rathnam, DR.K V Uday 40
- الشكل (1-3) اصطفااف الحبيبات الكروية الشكل في حالي التخلخل الأعظمي التراص الأعظم 44
- الشكل (2-3) خريطة تبين تواجد التربة الغضارية في الجمهورية العربية السورية 51
- الشكل (1-4) مخطط التجارب..... 56
- الشكل (2-4) تجربة الوزن الحجمي للغضار 58
- الشكل (3-4) تجربة الوزن النوعي للغضار 59
- الشكل (4-4) تجربة الوزن النوعي للرمل 60
- الشكل (5-4) منحنى التدرج الحبي لثلاث عينات للتربة الرملية..... 60
- الشكل (6-4) منحنى التدرج الحبي للتربة الرملية 61
- الشكل (7-4) حد السيولة للعينة (1) غضار 61
- الشكل (8-4) حد السيولة للعينة (2) غضار 62

- الشكل (4-9) حد السيولة للعينة (3) غضار 62
- الشكل (4-10) منحنى الترسيب بالهيدرومتر لثلاث عينات من التربة الغضارية 63
- الشكل (4-11) منحنى الترسيب بالهيدرومتر للعينة الغضارية المدروسة 64
- الشكل (4-12) تجربة حد السيولة عند نسبة خلط 40% 65
- الشكل (4-13) (جهاز القص في المخبر 66
- الشكل (4-14) (منحنى (تشوه - إجهاد مماسي) تربة غضارية مدروسة 67
- الشكل (4-15) (مواصفات القص تربة غضارية مدروسة 67
- الشكل (4-16) (جهاز القص ويداخله العينة 68
- الشكل (4-17) (منحنى (تشوه - إجهاد مماسي) تربة رملية مدروسة 69
- الشكل (4-18) (مواصفات القص تربة رملية مدروسة 69
- الشكل (4-19) (منحنى (تشوه - إجهاد مماسي) للخليط 10% غضار - 90% رمل 70
- الشكل (4-20) (مواصفات القص للخليط 10% غضار - 90% رمل 71
- الشكل (4-21) (منحنى (تشوه - إجهاد مماسي) للخليط 15% غضار - 85% رمل 72
- الشكل (4-22) (مواصفات القص للخليط 15% غضار - 85% رمل 72
- الشكل (4-23) (منحنى (تشوه - إجهاد مماسي) للخليط 20% غضار - 80% رمل 73
- الشكل (4-24) (مواصفات القص للخليط 20% غضار - 80% رمل 74
- الشكل (4-25) (منحنى (تشوه - إجهاد مماسي) للخليط 25% غضار - 75% رمل 75
- الشكل (4-26) (مواصفات القص للخليط 25% غضار - 75% رمل 75
- الشكل (4-27) (منحنى (تشوه - إجهاد مماسي) للخليط 30% غضار - 70% رمل 76
- الشكل (4-28) (مواصفات القص للخليط 30% غضار - 70% رمل 77
- الشكل (4-29) صورة توضيحية للعينة عند نسبة 30% بعد القص عند 8 كغ 77
- الشكل (4-30) صورة توضيحية للعينة عند نسبة 30% بعد القص عند 12 كغ 78
- الشكل (4-31) (منحنى (تشوه - إجهاد مماسي) للخليط 40% غضار - 60% رمل 79
- الشكل (4-32) (مواصفات القص للخليط 40% غضار - 60% رمل 79
- الشكل (5-1) تصنيف التربة الغضارية 85
- الشكل (5-2) تصنيف التربة الغضارية المدروسة 86
- الشكل (5-3) تغير قيم الوزن النوعي للخليط حسب نسبة الغضار 87

- الشكل (4-5) تغير قيمة حد السيولة للخليط حسب نسبة الغضار 88
- الشكل (5-5) تغير قيمة حد اللدونة للخليط حسب نسبة الغضار 88
- الشكل (6-5) تغير قيمة قرينة اللدونة للخليط حسب نسبة الغضار 89
- الشكل (7-5) منحني (الإجهاد المماسي - التشوه) كافة نسب الخلط حمولة 4KG 90
- الشكل (8-5) منحني (الإجهاد المماسي - تشوه القص) كافة نسب الخلط حمولة 8KG 91
- الشكل (9-5) منحني (الإجهاد المماسي - التشوه) كافة نسب الخلط حمولة 12KG 92
- الشكل (10-5) منحني (الإجهاد المماسي - الإجهاد الناظمي) كافة نسب الخلط 92
- الشكل (11-5) العلاقة بين قيم التماسك و نسبة الخلط من الدرجة الثانية 93
- الشكل (12-5) العلاقة بين قيم التماسك و نسبة الخلط أسي 93
- الشكل (13-5) العلاقة بين قيم زاوية الاحتكاك و نسبة الخلط من الدرجة الثانية 95
- الشكل (14-5) العلاقة بين قيم زاوية الاحتكاك و نسبة الخلط أسي 95
- الشكل (15-5) العلاقة بين تماسك التربة والرطوبة النهائية 97
- الشكل (16-5) العلاقة بين زاوية الاحتكاك والرطوبة النهائية 98
- الشكل (17-5) العلاقة بين قدرة تحمل التربة ونسب الخلط 99
- الشكل (18-5) العلاقة بين قدرة التحمل والتماسك 100
- الشكل (19-5) العلاقة بين قدرة التحمل وزاوية الاحتكاك 100
- الشكل (20-5) العلاقة بين زاوية الاحتكاك الداخلية ونسبة الخلط للباحث J.M.Teuten 101
- الشكل (21-5) العلاقة بين زاوية الاحتكاك الداخلية ونسبة الخلط للباحث George Otoko 101
- الشكل (22-5) العلاقة بين التماسك ونسبة الخلط للباحث C Abhishek Rathnam,, DR.K V Uday ... 102
- الشكل (23-5) العلاقة بين التماسك ونسبة الخلط للباحث George Otoko 103
- الشكل (24-5) العلاقة بين قرينة اللدونة و نسبة الخلط للباحث George Otoko 104

الفصل الأول

المقدمة

1-1 تمهيد:

نتناول في هذا الفصل مقدمة البحث التي تحتوي على لمحة عامة عن موضوع البحث كما نتطرق إلى الحديث عن مشكلة البحث وأهدافه ومخططه.

2-1 مقدمة:

تعتمد أغلب طرق التصميم الهندسية على دراسة الترب بحالة مثالية، كدراسة الترب ذات البنية الرملية الصافية او ذات البنية الغضارية الصافية، لكن هذه الترب نادرة الوجود في الطبيعة، مما يدفع للبحث عن السلوك المشترك للتربة المختلطة الرملية والغضارية سوية، ففي خليط من التربة الرملية والغضارية من الصعب التكهّن بالسلوك الذي سيتبعه الخليط، نظرا لأنه سيجمع بين خصائص سلوك كل من التربة الرملية والتربة الغضارية، ومع ذلك هناك نسبة معينة يصبح عندها الخليط أقرب في سلوكه بشكل أكبر إلى سلوك الغضار الصرف، وذلك عندما تدفع حبات الغضار حبات الرمل بعيدا عن بعضها وتتوضع حبات الغضار بينها، وما زالت هذه النسبة حتى الآن غير واضحة .

سيتعرض هذا البحث لدراسة سلوك خليط من غضار - رمل لمعرفة التغيرات التي ستظهر في البرامترات والمتحولات نتيجة إضافة المواد الناعمة من التربة إلى الخشنة منها، وبالتالي ستتم دراسة تأثير إضافة نسب معينة من الغضار من نسبة 10% وحتى نسبة 40% إلى تربة رملية ودراسة تغير سلوكها، وتأثير ذلك على مقاومتها للقص، مما قد يفيد في فهم سلوك التربة عند الخلط.

3-1 عرض المشكلة:

إمكانية استخدام الترب الغضارية - الرملية كطبقة تأسيس للمنشآت الهندسية وتحديد تغير عوامل المتانة بحسب نسبة الغضار المتوفرة في هذه الترب الرملية .

4-1 أهداف البحث:

يمكن أن نوجز أهداف هذا البحث بالنقاط التالية:

- دراسة تغير عوامل متانة التربة الرملية وأثر وجود الغضار عليها بإضافة نسب محددة 10%، 15%، 20%، 25%، 30%، 40% من الغضار؛ وتأثير ذلك على مقاومتها للقص .

- تأثير إضافة الغضار على تغير قدرة التحمل التربة الرملية.
- تأمين مرجع علمي للمهندس المصمم بإمكانية التأسيس على الترب الغضارية- الرملية الخليطة.

5-1 مخطط البحث:

- الدراسة المرجعية والتي تتضمن أهم الأبحاث التي تطرقت إلى إضافة الغضار إلى التربة الرملية بنسب محددة ؛ ودرست تغيرات عوامل المتانة فيها.
- جمع عينات من التربة الرملية ، جمع عينات من التربة الغضارية.
- إجراء التجارب المخبرية على عينات التربة الرملية وعينات التربة الغضارية والتي تتضمن الرطوبة الطبيعية،الوزن النوعي،الوزن الحجمي لايجاد الخواص الفيزيائية.
- إجراء التجارب المخبرية المصنفة على عينات التربة الرملية والتي تتضمن التدرج الحبي المنخلي.
- إجراء التجارب المخبرية المصنفة على عينات التربة الغضارية والتي تتضمن حدود اتريرغ ،الترسيب بالهيدرومتر .
- إجراء التجارب المخبرية على عينات التربة الرملية وعينات التربة الغضارية لإيجاد الخواص الميكانيكية .
- إضافة الغضار بالنسب المحددة إلى عينات التربة الرملية وإجراء التجارب على هذا الخليط لاستنتاج تغير مقاومة الخليط على القص(عوامل المتانة) عنها في التربة الرملية الصافية، وتحديد قدرة تحمل التربة لحالة أساسات سطحية.
- المقارنة بين النتائج وتحليلها.
- الاستنتاجات والتوصيات.

الفصل الثاني

الدراسة المرجعية

2-1 تمهيد:

يعتبر هذا الفصل مدخلاً مهماً في فهم موضوع البحث، ونعرض فيه الدراسة النظرية لمقاومة التربة على القص والتجارب التي يتم من خلالها تحديد هذه المقاومة، والدراسة النظرية لقدرة تحمل التربة، ونتطرق بعد ذلك إلى الدراسات السابقة التي تهتم بموضوع البحث وآخر ماتوصل إليه الباحثون في هذا المجال.

2-2 الدراسة النظرية لمقاومة التربة للقص:

تعتبر مقاومة التربة للقص من أهم خواصها الميكانيكية وهي تحدد متانتها ، ويمكن تعريفها كمايلي:

هي مقاومة التشوه الناتج من القوى (الإجهادات المماسية) المؤثرة في كتلة التربة او على جزيئاتها .

وتظهر أهمية مقاومة التربة للقص عند التطرق إلى حساب قدرة تحمل التربة في القواعد الترابية، وكذلك تقييم توازن المنحدرات وحساب ضغط التربة على الحواجز، وتصميم القواعد الترابية للطرق والمطارات والسدود الترابية وتصميم أساسات مختلف المنشآت الهندسية. ويشكل عام ومن أجل تحديد مقاومة القص للتربة يتم اتباع العديد من الطرق المخبرية ، وذلك تبعاً لنوع التربة المختبرة ونميز للتربة حالتين:

مقاومة التربة المفككة للقص ، مقاومة التربة المتماسكة للقص.

2-2-1 نظرية Mohr-Coulomb للانهييار:

قدم Mhor عام 1910 نظرية في انهيار المواد، وحسب هذه النظرية فإن الانهييار في المادة يحدث على طول مستوي نتيجة تراكب حرج بين الإجهادات النازمية وإجهادات القص وليس لواحد فقط من الإجهاد النازمي او إجهاد القص. إن العلاقة الوظيفية بين الإجهاد النازمي وإجهاد القص على مستوي القص تعطى بالشكل:

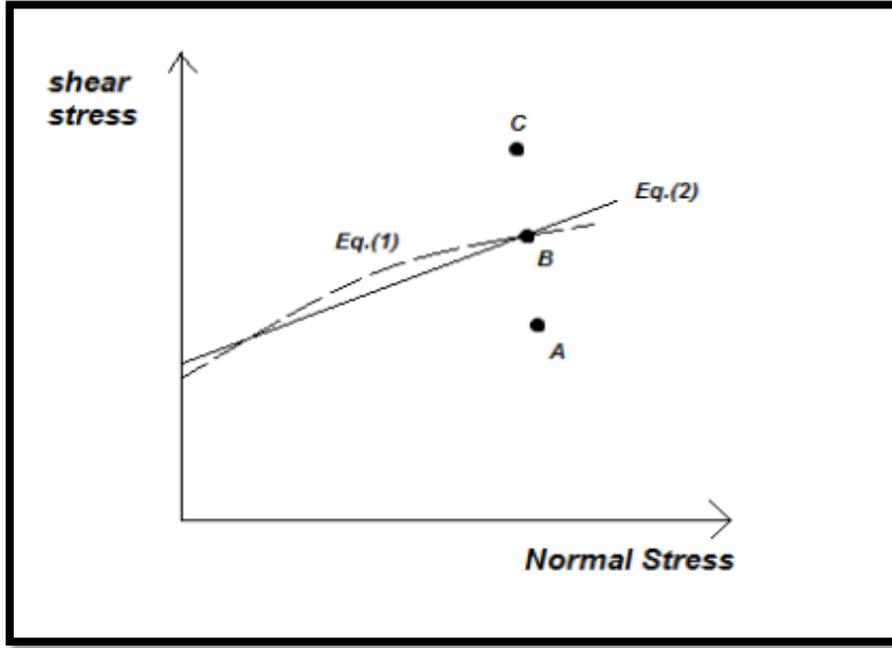
$$\tau = f(\sigma) \quad \dots\dots(1)$$

حيث τ هو إجهاد القص عند الانهييار و σ إجهاد النازمي على مستوي الانهييار. إن مثلث الانهييار المحدد بالعلاقة (1) هو خط منحن كما يظهر بالشكل (2-1). وفي عام 1776 حدد coulomb التابع $f(\sigma)$ بالشكل:

$$\tau = \sigma_N \cdot \text{tg}\theta + c \quad \dots\dots (2)$$

حيث c هو التماسك و θ هي زاوية احتكاك التربة.

وتعرف المعادلة (2) عادة باسم نظرية مور - كولومب Mohr-coulomb للانهييار. ويمكن تفسير مدلول مغلف الانهييار باستعمال الشكل (1-2)، فإذا أمكن تمثيل كلا من الإجهادات النازمية وإجهادات القص في مستو ضمن كتلة التربة بالنقطة A، فلن يحدث أي انهيار بالقص على طول هذا المستوي. بينما يحدث الانهييار بالقص حسب مستوى مفروض عندما تمثل الإجهادات بيانياً بنقطة مثل B والتي تقع على مغلف الانهييار. إن حالة الإجهادات الممتلئة بالنقطة C لا يمكن وجودها طالما أنها تقع فوق مغلف الانهييار، وسوف يحدث الانهييار بالقص قبل وصول الإجهادات إلى هذه الحالة.



الشكل (1-2) مدلول مغلف الانهييار

وفي الترب المشبعة، فإن الإجهاد المحمول بين حبات التربة هو إجهاد فعال ولذلك فالمعادلة (2) يجب تعديلها لتصبح:

$$\tau = (\sigma_N - u) \operatorname{tg}\theta + c = \sigma_N' \operatorname{tg}\theta + c \quad \dots\dots\dots (3)$$

حيث u هو ضغط الماء المسامي، σ_N' هو الضغط الفعال على المستوي، θ هي زاوية الاحتكاك المصرفة، أما c هي التماسك ومن أجل الرمل او السيلت اللاعضوي والغضار المنضغط طبيعياً فإن $c=0$ ، بينما تكون قيمة c أكبر من الصفر من أجل الغضار عالي الانضغاط.

2-2-2 مقاومة القص في التربة المفككة:

إن مقاومة التربة المفككة ومنها التربة الرملية للقص تعتمد بشكل أساسي على قوى الاحتكاك الداخلي بين جزيئات التربة.

حسب المعادلة (3). فإن مقاومة القص للتربة مفككة تحدد بالصيغة:

$$\tau = \sigma_N' \operatorname{tg} \emptyset \dots\dots\dots (4)$$

باعتبار $C = 0$.

أن تعيين زاوية الاحتكاك \emptyset بشكل عام يتم بإحدى طريقتين: تجربة القص المباشر او تجربة ثلاثي المحاور.

العوامل المؤثرة على القص بالتربة الرملية :

- ◀ التركيب الحبي : كلما كانت التربة الرملية جيدة التدرج الحبي نحصل على \emptyset أكبر .
- ◀ شكل الحبيبات وخشونة سطحها : تزداد \emptyset كلما كانت الحبيبات حادة الزوايا ومكسرة وسطوحها خشنة ، ونقل \emptyset كلما كانت الحبيبات ملساء دائرية الشكل .
- ◀ معامل المسامية : تزداد \emptyset كلما انتقلنا في الترب الرملية من حالة التخلخل الأعظمي إلى حالة التراص الأعظمي.

3-2-2 مقاومة القص في التربة المتماسكة:

تختلف مقاومة التربة المتماسكة عن مقاومة التربة المفككة للقص ، فمن المعروف أن خواص التربة المتماسكة ومنها التربة الغضارية تتأثر بدرجة كبيرة بنسبة الماء فيها. حيث يتغير قوامها من الصلب إلى اللدن إلى السائل وفقاً لتغير رطوبتها ، لهذا فتتأثر مقاومة القص ومواصفاته بنسبة الرطوبة في التربة ، او بتعبير آخر بقوام التربة.

- ففي الحالة الصلبة تكون قيم مواصفات القص للتربة عالية وخاصة قوى التماسك ، وبشكل عام فإن مقاومة التربة الصلبة للقص هي مقاومة تماسك واحتكاك ، حيث يقاوم التماسك القوى القاصة في البداية ثم يظهر تأثير الاحتكاك بعد استنفاد التماسك .

- أما في الحالة اللدنة للتربة الغضارية (حالة التربة المشبعة) فتعتمد مقاومة القص بالدرجة الاولى على نسبة الرطوبة الموجودة في التربة ، حيث تزداد المقاومة مع نقصان الرطوبة ، وإن العنصر الأكثر تأثراً بتغير الرطوبة في هذه الحالة هو الاحتكاك ، حيث تنخفض قيمته بشكل كبير وتعتمد مقاومة التربة هنا على قوى التماسك .

نستطيع تقسيم مقاومة التربة المتماسكة للقص إلى ثلاثة فئات:

1. مقاومة القص غير المصرف:(Undrained Shear Strength):

تعتمد هذه المقاومة بشكل رئيسي على تحليل الإجهادات الكلية المطبقة على التربة وفي هذه الحالة لا يتغير محتوى رطوبة التربة .

2. مقاومة القص المصرف : (Drained Shear Strength):

تعتمد هذه المقاومة بشكل أساسي على تحليل الإجهادات الفعالة المطبقة على التربة و في هذه الحالة يتغير محتوى الماء في التربة .

3. مقاومة القص المصرف المتبقي (Drained Residual Shear Strength):

تحتاج بعض المشاريع الحيوية إلى تحديد قيمة القص المتبقي للتربة المتماسكة ، والذي يعرف بأنه مقاومة القص المتبقية بعد حدوث تشوه القص في التربة . ويمكن عموماً، تعيين مقاومة القص للتربة المتماسكة في المختبر وذلك أما بواسطة جهاز تجربة القص المباشر او جهاز تجربة القص ثلاثي المحاور.

2-2-4 تجربة القص المباشر : (Direct Shear test):

تعطينا هذه التجربة مواصفات القص للتربة (C, ϕ) بحالتها المفككة او المتماسكة، والتي بواسطتها نحدد قدرة تحمل التربة . تستخدم بشكل واسع في أكثر مخابر ميكانيك التربة. هناك أجهزة مختلفة لإجراء تجارب القص المباشر، ويمكن أن نفرق بين نوعين أساسيين من أجهزة القص وذلك وفقاً لمبدأ القص فيهما:

- النوع الاول: يحدث القص فيه تحت تأثير قوة قاصة تطبق على العينة بسرعة انتقال أفقي ثابتة، لانتوقف على نوع العينة المختبرة او على مقدار الضغط العمودي المطبق عليها وتولد القوة القاصة بواسطة محرك .

- النوع الثاني: يحدث القص فيه بتأثير حمولات مية تولد قوى أفقية قاصة وتزيد الحمولات المية أثناء التجربة حتى يتم قص العينة ، وتتبع درجة تزايد الحمولات الأفقية القاصة نوع التربة وسرعة إجراء التجربة .

ونميز طريقتين لإجراء تجربة القص المباشر هما:

1- الاختبار بالطريقة المغلقة (Undrained test):

لا تتغير رطوبة العينة أثناء القص فلا يسمح بخروج الماء منها أثناء التجربة وذلك بوضع أقرص كتيمة فوقها وتحتها .

2- الاختبار بالطريقة المفتوحة (Drained test) :

يسمح في هذه الطريقة بخروج الماء من العينة أثناء القص وذلك بوضع أقرص مسامية فوقها وتحتها .

ويمكن تحقيق الاختبار بالطريقة المغلقة بتطبيق القوة القاصة بسرعة ثابتة ومرتفعة ، بحيث لا تتمكن الإجهادات العمودية المطبقة على العينة من تغيير رطوبتها ، يسمى هذا النوع من الاختبار السريع (Qwick test)، والذي يجري القص بموجبه فوراً بعد تطبيق (σ_N) دون أي فاصل زمني ويحدث القص وفقاً لهذا الاختبار خلال زمن لايزيد عن 10 دقائق.

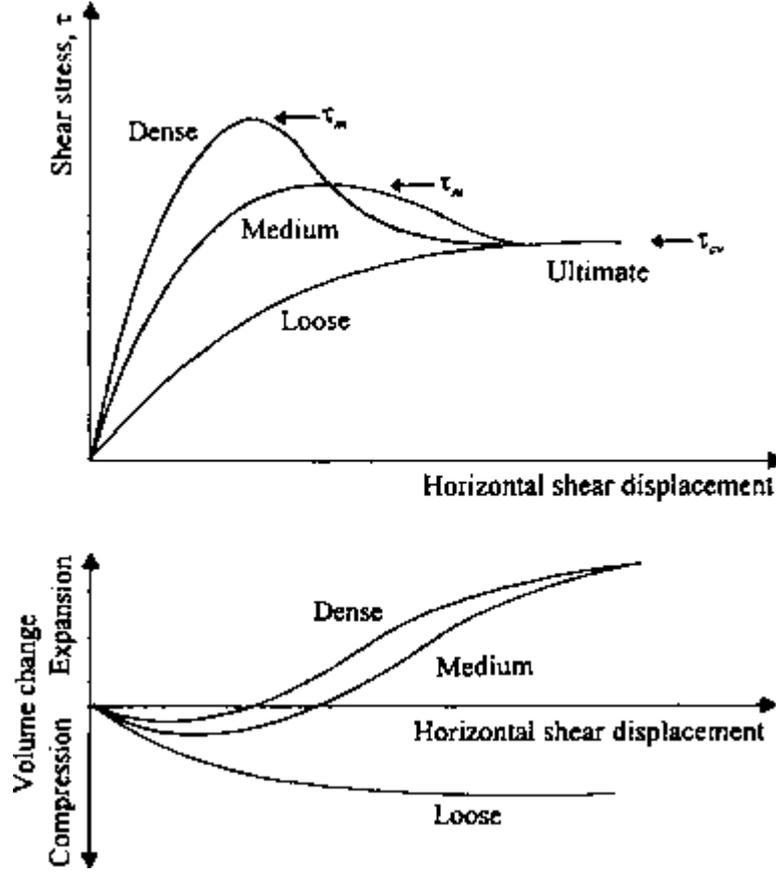
أما الاختبار بالطريقة المفتوحة فقد يكون سريعاً (Consolidated quick test) ، حيث يسمح للعينة بأن تتضغظ تحت تأثير (σ_N) المطبق خلال زمن كافي لثبات التشوه العمودي فيها ، بعد ذلك نقص العينة بسرعة خلال (5-10 min).

ويمكن أن يكون الاختبار بالطريقة المفتوحة بطيئاً (Consolidated slow test) ، حيث يسمح في هذا الاختبار لعينة التربة بأن تتضغظ كلياً تحت تأثير الحمولة العمودية ، فينقل الإجهاد الخارجي إلى هيكل التربة ولا يبقى ضغط في مسامات التربة . وتطبق القوة الأفقية القاصة ببطء وبازدياد قليل ومتدرج ، بحيث لاتزيد القوة القاصة في البداية عن 5% من قيمة القوة العمودية ثم تزداد بنفس النسبة 5% ، ومنتظر بعد تطبيق كل درجة حمولة قاصة حتى ثبات التشوه الأفقي الناتج في العينة ، لذلك يتطلب الاختبار بهذه الطريقة مدة طويلة من الزمن تصل إلى عدة أسابيع .

نحدد طريقة الاختبار انطلاقاً من شروط توضع طبقة التربة في الطبيعة تحت الحمولات المطبقة عليها ، ويراعى أن تكون الشروط الابتدائية (درجة التراص والرطوبة) واحدة في العينات المختبرة على القص .

2-2-4-1 تجربة القص المباشر في التربة المفككة (الرملية):

يظهر الشكل (2-2) طبيعة النتائج لنموذج من تجارب القص المباشر على رمل مخلخل، متوسط، وكثيف ويمكن بيان الملاحظات التالية:



الشكل (2-2) طبيعة النتائج لنموذج من تجارب القص المباشر على رمل مخلخل، متوسط، وكثيف

1- في الرمل المتوسط والكثيف يزداد إجهاد القص مع تشوه القص حتى قيمة أعظمية او عتبة τ_m ، وبعد ذلك ومن أجل انتقالات القص الكبيرة فإنه يتناقص إلى قيمة ثابتة تقريباً τ_{cu} .

هذا الإجهاد الثابت هو إجهاد القص الحدي τ_{cu} .

2- في الرمل المخلخل يزداد إجهاد القص بزيادة تشوه القص حتى قيمة أعظمية، ثم يبقى بعد ذلك ثابتاً.

3- من أجل الرمل المتوسط والكثيف، فإن حجم العينة يتناقص أولاً وبعد ذلك يزداد بازدياد انتقال القص، وعند القيم الكبيرة لتشوه القص، فإن حجم العينة يبقى ثابتاً تقريباً.

4- من أجل الرمل المخلخل فإن حجم العينة يتناقص تدريجياً حتى قيمة معينة ويبقى بعد ذلك ثابتاً تقريباً.

◀ في حالة الرمل الجاف: فإن ضغط الماء المسامي u يساوي الصفر، وبالتالي فإن الضغط الناظمي الكلي σ_N يساوي إلى الضغط الفعال σ'_N . ويمكن إعادة التجربة من أجل عدة إجهادات ناظمية. كما يمكن تحديد زاوية الاحتكاك للرمل برسم مخطط إجهادات القص الأعظمية (العتبة) بدلالة الإجهادات الناظمية المقابلة ونستطيع تعيين

مغلف مور - كولومب للانهييار برسم خط مستقيم بين المركز والنقاط التي تمثل النتائج التجريبية. إن ميل هذا المستقيم سيعطي زاوية الاحتكاك الأعظمية ϕ للتربة. وبشكل مشابه، يمكن تعيين زاوية الاحتكاك الحدية ϕ_{cv} برسم إجهادات القص الحدية بدلالة الإجهادات الناظمية المقابلة. إن زاوية الاحتكاك الحدية تمثل شرط القص تحت حجم ثابت للعيينة.

◀ في حالة الرمل المخلخل: فإن زاوية الاحتكاك الأعظمية تساوي تقريباً لزاوية الاحتكاك الحدية.

◀ في حالة الرمل المشبع: فإن الفترة الزمنية الواقعة بين تطبيق القوى الناظمية وقوى القص يجب أن تكون كافية لتصريف الماء من العينة عبر أقراص الحجارة المسامية. كما يجب أيضاً تطبيق قوى القص بمعدل منخفض للسماح بتصريف الكامل. ولما كانت التربة الحبيبية عالية النفوذية فلن يسبب ذلك أية مشكلة. وحينما يسمح بتصريف الكامل فإن ضغط ماء المسام الزائد يساوي الصفر، ولذلك $\sigma_N = \sigma'_N$.

ويعطي الجدول (1-2) بعض القيم النموذجية لـ ϕ و ϕ_{cv} للتربة المفككة

الجدول (1-2) القيم النموذجية لـ ϕ و ϕ_{cv} للتربة المفككة

Type of soil	ϕ (deg)	ϕ_{cv} (deg)
Sand: round grains		
Loose	28-30	
Medium	30-35	26-30
Dense	35-38	
Sand: angular grains		
Loose	30-35	
Medium	35-40	30-35
Dense	40-45	
Sandy gravel	34-48	33-36

2-4-2-2 تجربة القص المباشر في التربة المتماسكة (الغضارية):

إن مواصفات القص (C, ϕ) لتربة غضارية معينة ذات قوام معين ليست ثابتة ، بل تتأثر بطريقة الاختبار وسرعة القص ونوع الجهاز المستخدم .

3-2 الدراسة النظرية لقدرة تحمل التربة :

نظرية ترزاكي في قدرة التحمل :

ترزاكي 1943 هو اول من قدم نظرية شاملة من أجل تقييم قدرة التحمل الحدية للأساسات السطحية الخشنة .بالاعتماد على هذه النظرية ،فان الأساس يكون سطحيا اذا كان العمق D_f للأساس أقل او يساوي عرض الأساس .
من ناحية أخرى ،اقترح باحثون جدد بأن الأساسات ذات D_f مساوية إلى (3-4) مرات عرض الأساس يمكن ان تعرف كأساسات سطحية .

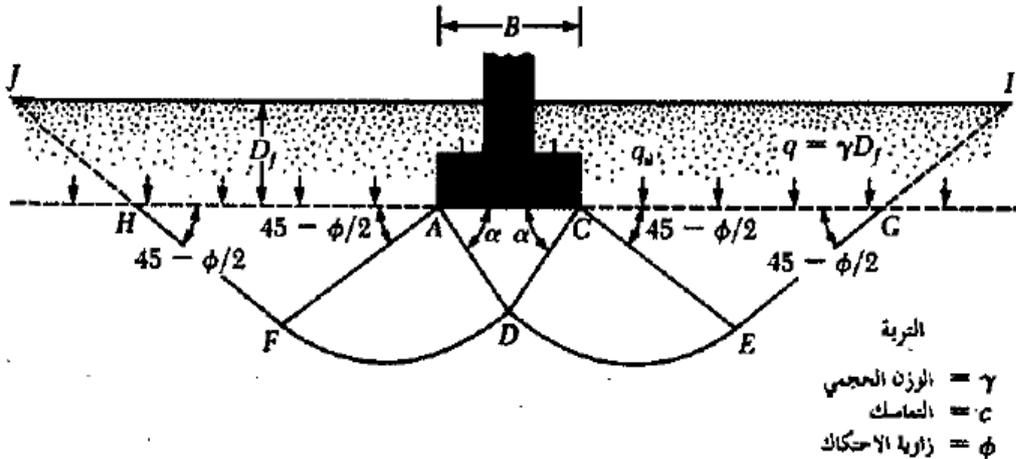
اقترح ترزاكي بأنه من أجل أساس مستمر او شريطي (الذي فيه نسبة العرض إلى الطول للأساس تقترب من الصفر)، فإن سطح الانهيار في التربة عند الحمولة الحدية يمكن ان يفترض ليكون مشابهاً لذلك الموضح في الشكل (2-3). يمكن الافتراض بأن تأثير التربة أسفل الأساس يمكن أن يعوض بحمولة اضافية معادلة ومساوية إلى $q = \gamma * D_f$ حيث γ :واحدة الوزن الحجمي للتربة .

يمكن ان تقسم منطقة الانهيار تحت الأساس إلى ثلاثة اقسام:

- 1- المنطقة المثلثية ACD تحت الأساس مباشرة .
- 2- مناطق القوس القطرية CDE ,ADF مع كون المنحنيات DE,DF أقواس لحلزون لوغارتمي .

- 3- منطقتا المثلثين السالبيين AFH,CEG (منطقتا رانكين السالبيين).

يفرض بأن الزاويتين ACD,CAD مساويتين إلى زاوية احتكاك التربة ϕ .نلاحظ باستبدال التربة فوق اسفل الأساس بمايساوي حمولة اضافية q ،فإنه يتم إهمال مقاومة القص للتربة على طول سطوح الانهيار HJ,GI.



الشكل (3-2) انهيار قدرة التحمل للتربة تحت أساس مستمر صلب خشن

باستخدام التحليل المعتمد على معادلات التوازن ،عبر ترزاكي عن قدرة تحمل الحدية بالشكل :

$$q_u = cN_c + qN_q + 0.5 \gamma BN_\gamma \quad (1)$$

حيث C: تماسك التربة .

γ :واحدة الوزن الحجمي للتربة .

$$q = \gamma D_f$$

N_c , N_q , N_γ :عوامل قدرة التحمل والتي ليس لها واحداث وإنما هي فقط توابع لزاوية

احتكاك التربة θ .

تعرف عوامل قدرة تحمل التربة N_c , N_q , N_γ في المعادلات التالية :

$$N_c = \cot \theta \left[\frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\theta}{2}\right) \tan \theta}}{2 \cos^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2}\right)} - 1 \right] \quad (2)$$

$$N_q = \frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\theta}{2}\right) \tan \theta}}{2 \cos^2\left(45 + \frac{\theta}{2}\right)} \quad (3)$$

$$N_\gamma = 0.5 \left[\frac{K_{P\gamma}}{\cos^2 \theta} - 1 \right] \tan \theta \quad (4)$$

$K_{P\gamma}$: عامل الضغط السلبي .

من أجل تقدير قدرة التحمل الحدية للأساسات دائرية او مربعة يمكن أن تعدل المعادلة

(1) لتصبح بالشكلين التاليين :

$$\text{أساس مربع} \quad q_u = 1.3 cN_c + qN_q + 0.4 \gamma BN_\gamma \quad (5)$$

=B بعدي الأساس.

$$\text{أساس دائري} \quad q_u = 1.3 cN_c + qN_q + 0.3 \gamma BN_\gamma \quad (6)$$

=B قطر الأساس.

من أجل الأساسات التي تظهر شكل انهيار قصي موضعي في الترب فإن ترزاكي اقترح

التعديلات التالية للمعادلات (1) و (5) و (6):

$$\text{أساس شريطي} \quad q_u = \frac{2}{3} cN'_c + qN'_q + 0.5 \gamma BN'_\gamma \quad (7)$$

$$\text{أساس مربعي} \quad q_u = 0.867 cN'_c + qN'_q + 0.4 \gamma BN'_\gamma \quad (8)$$

$$\text{أساس دائري} \quad q_u = 0.867 cN'_c + qN'_q + 0.3 \gamma BN'_\gamma \quad (9)$$

N'_c , N'_q , N'_γ : عوامل قدرة التحمل المعدلة.

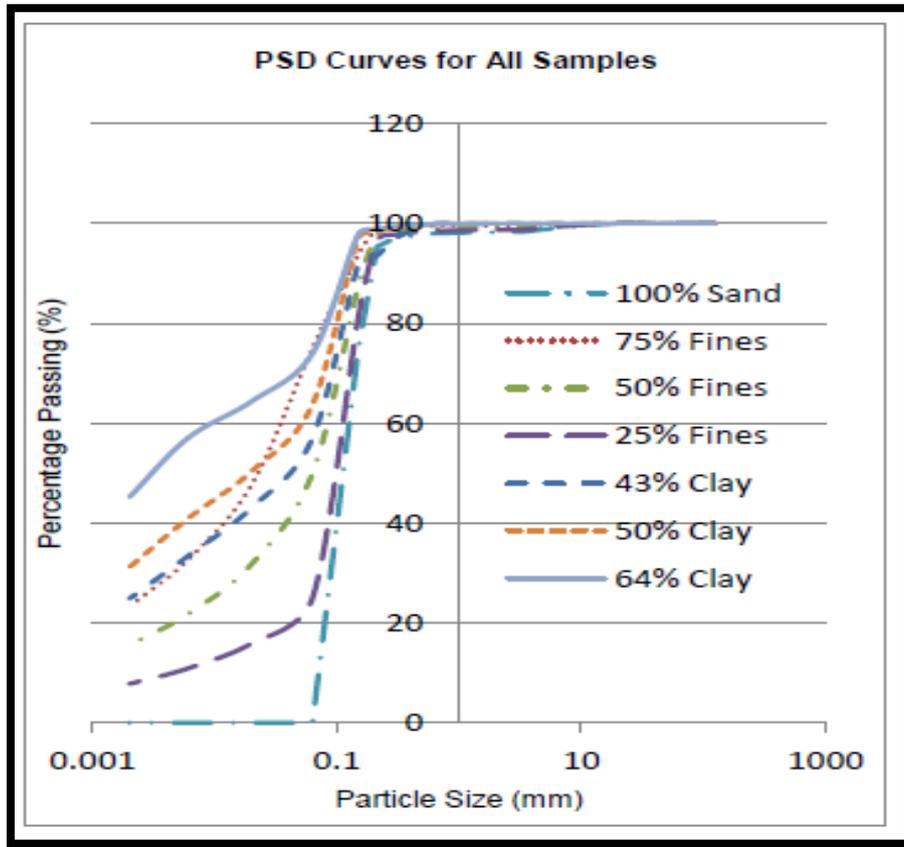
يمكن ان تحسب هذه العوامل باستخدام معادلات قدرة التحمل من أجل N_c , N_q , N_γ

باستبدال ϕ بالقيمة $\phi' = \tan^{-1}\left(\frac{2}{3} \tan\phi\right)$

4-2 الدراسات السابقة:

1-4-2 دراسة قام بها الباحث J.M.Teuten عام 2012:

تتلخص الدراسة التي قام بها الباحث J.M.Teuten بإضافة الغضار إلى تربة رملية بنسب متفاوتة ودراسة تغيرات كل من حدود السيولة واللدونة وتغيرات زاوية الاحتكاك الداخلية. تمت إضافة نسب من تربة غضارية حتى النسبة 64% ويوضح الشكل (4-2) التدرج الحبي للتربة بعد خلطها [4].



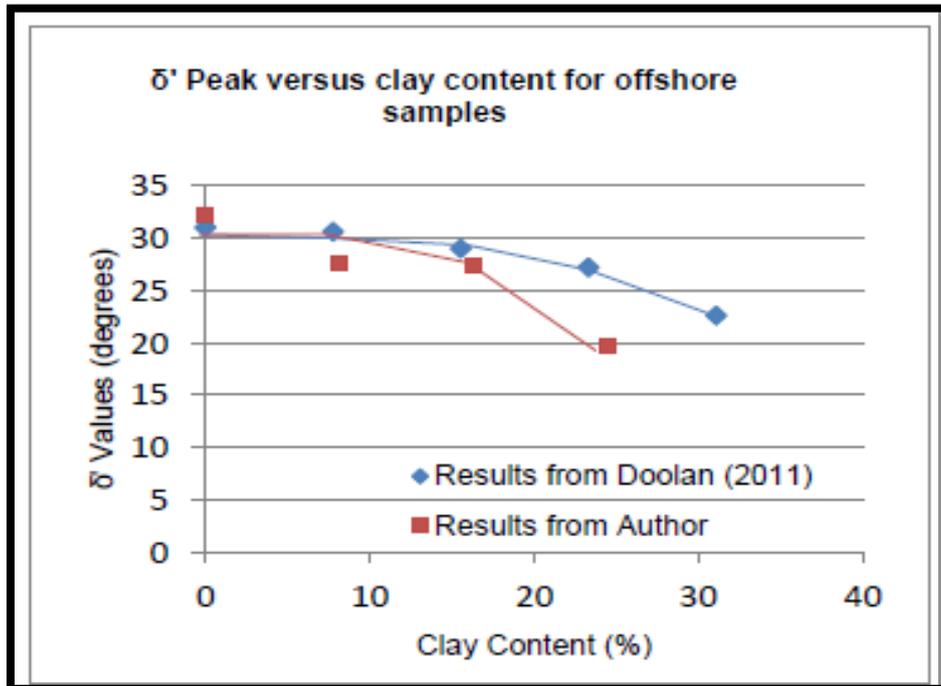
الشكل (4-2) التدرج الحبي للتربة بعد خلطها للباحث J.M.Teuten

ويظهر الجدول (2-2) تأثير إضافة نسب الغضار على كل من حدي السيولة واللدونة وقرينة اللدونة التي وجدها الباحث [4].

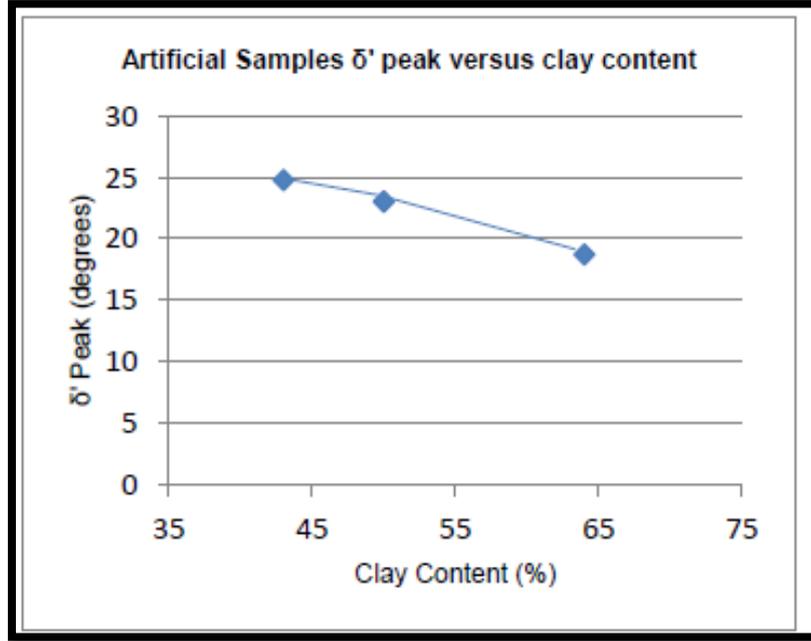
الجدول (2-2): تأثير إضافة نسب الغضار على كل من حدي السيولة واللدونة وقرينة اللدونة للباحث J.M.Teute

Soil Sample	Liquid Limit (%)	Plastic Limit (%)	Plasticity Index (%)	Off-shore/artificial sample
100% sand.	N/A	N/A	N/A	Offshore
75% sand, 25% fines	N/A	N/A	N/A	Offshore
50% sand, 50% fines.	33.64	17.40	16.24	Offshore
25% sand, 75% fines.	46.44	20.76	25.68	Offshore
43% Clay	24.94	14.13	10.81	Artificial
50% Clay	26.19	15.37	10.82	Artificial
64% Clay	28.86	17.08	11.78	Artificial

وقد توصل الباحث J.M.Teuten إلى نتيجة مفادها أن زيادة نسبة الغضار تؤدي إلى انخفاض في زاوية الاحتكاك الداخلية كما هو موضح في الشكل (2-6) [4].



الشكل (2-5) تغير زاوية الاحتكاك مع نسب الغضار للباحث Doolan, Author

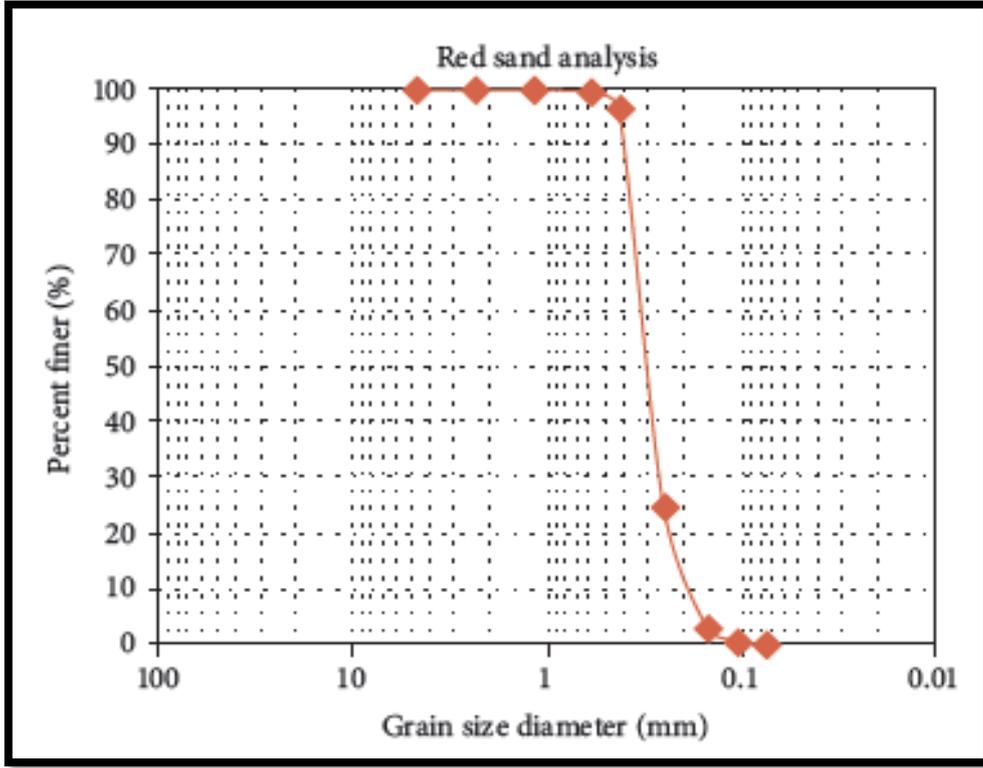


الشكل(2-6) تغير زاوية الاحتكاك مع نسب الغضار للباحث J.M.Teuten

2-4-2 دراسة قام بها الباحث Muawia A. Dafalla عام 2012 :

قام الباحث بدراسة مقاومة القص المباشر لتربة رملية مع إضافات من تربة غضارية بنسب من 5% حتى 15% وتمت الدراسة بالأخذ بعين الاعتبار تغير مقاومة القص للخليط مع تغير نسبة الرطوبة الابتدائية للخليط.

وصنف الباحث الغضار من الصنف CH (غضار عالي اللدونة). أما الرمل المستخدم فيظهر التركيب الحبي له من الشكل (2-7) [5].



الشكل (2-7) التركيب الحبي للرمل للباحث Muawia A. Dafalla

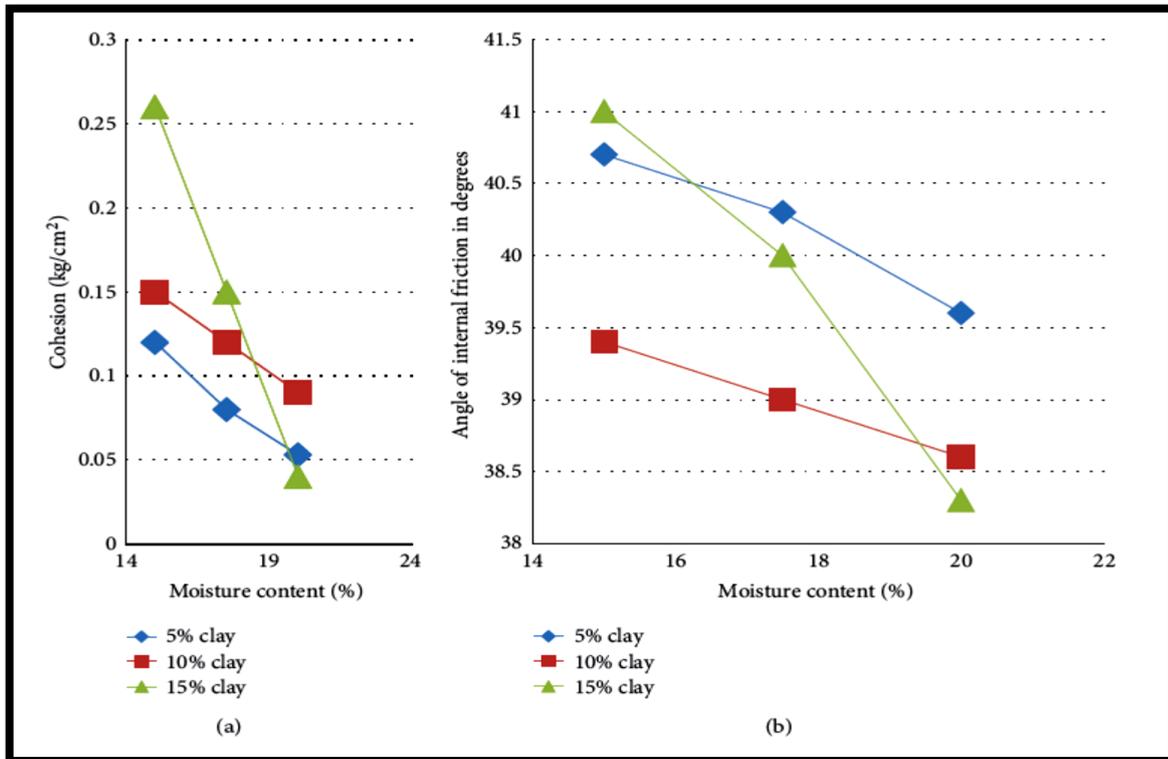
ويلاحظ من المنحني أن أقطار حبات الرمل المستخدم تتركز بين القيم $[0.14 - 0.4]mm$ ويظهر من المنحني أن النسبة الأكبر (حوالي 70% من العينة) تنحصر أقطار حباتها بين القيم $[0.25 - 0.4]mm$. واستعرض الباحث النتائج في الجدول (2-3) [5].

الجدول (2-3) النتائج للباحث Muawia A. Dafalla

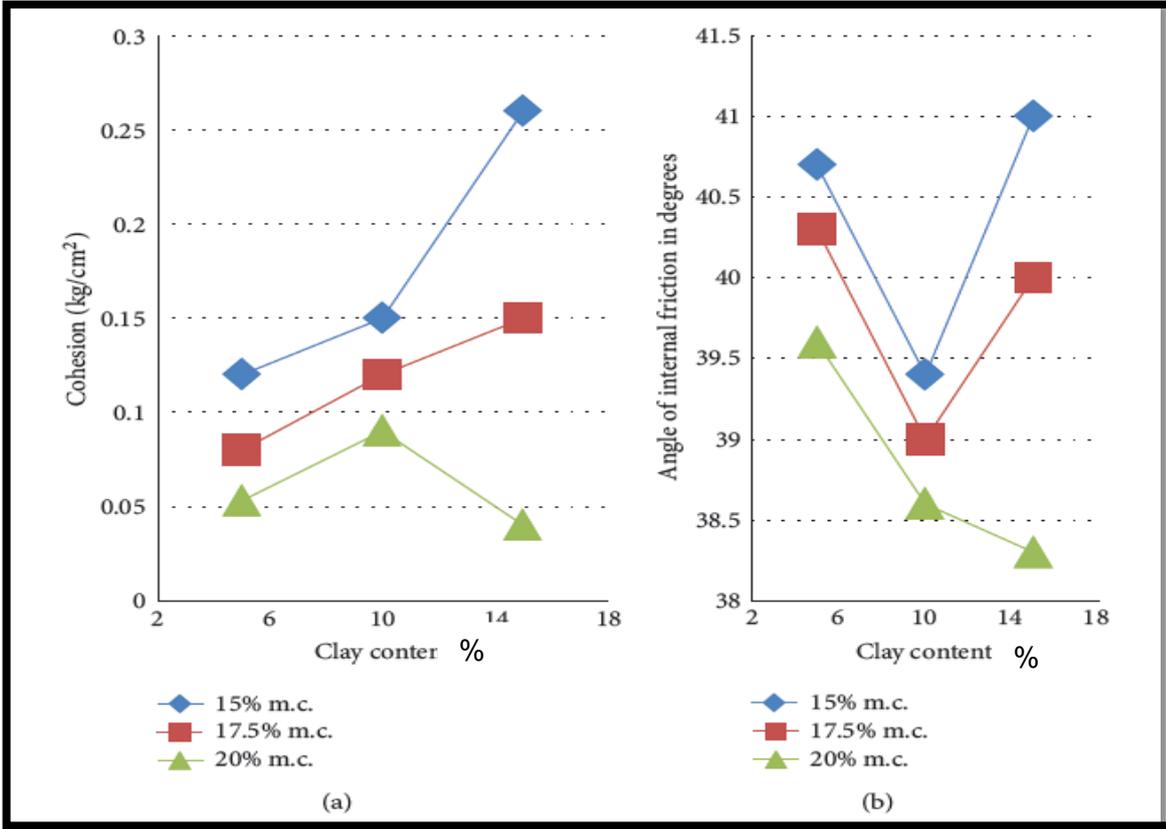
Sample no.	Clay (%)	Dry density (g/cm^3)	Moisture content (%)	Cohesion C, kg/cm^2	Angle of friction (degrees)
DS-1	5	1.73	15	0.120	40.7
DS-2	5	1.73	17.5	0.080	40.3
DS-3	5	1.73	20	0.053	39.6
DS-4	10	1.77	15	0.150	39.4
DS-5	10	1.77	17.5	0.120	39.0
DS-6	10	1.77	20	0.090	38.6
DS-7	15	1.80	15	0.260	41.0
DS-8	15	1.80	17.5	0.150	40.0
DS-9	15	1.80	20	0.040	38.3
DS-10	0	1.63	7.0	0.000	43.0
DS-11	0	1.63	10.0	0.010	41.0
DS-12	0	1.63	13.0	0.090	38.6
DS-13	100	1.20	30.0	1.140	38.7
DS-14	100	1.20	35.0	0.900	35.8
DS-15	100	1.20	40.0	0.610	33.4

وتم توضيح نتائج التجارب في الشكل (2-8) تغير كل من قيمة التماسك مع تغير قيمة الرطوبة للتربة (الشكل a) وتغير قيمة زاوية الاحتكاك الداخلية مع رطوبة العينة (الشكل b) [5]. ويلاحظ انخفاض التماسك بشكل بسيط عند نسب الخلط 5% و 10% بينما يظهر الانخفاض بشكل كبير عند نسبة الخلط 15%، ويظهر نفس التأثير تقريباً بالنسبة لزاوية الاحتكاك الداخلية حيث نلاحظ انخفاض بسيط عند نسب الخلط 5% و 10% بينما يظهر انخفاض قيمة الزاوية بشكل واضح عند النسبة 15%.

ويوضح الشكل (2-9) تأثير زيادة نسب الغضار في الخليط على كل من قيمة التماسك الشكل (2-9-a) وقيمة زاوية الاحتكاك الداخلية الشكل (2-9-b) وذلك عند قيم لنسبة الرطوبة 15% و 17.5% و 20% [5].



الشكل (2-8) تغير الاحتكاك والتماسك مع الرطوبة للباحث Muawia A. Dafalla



الشكل (2-9) تغير الاحتكاك والتماسك مع نسبة الغضار للباحث Muawia A. Dafalla

يظهر الشكل (2-9-أ) النتائج ارتفاعاً في قيمة التماسك في الخليط مع زيادة نسبة الغضار المضافة وذلك عند نسب رطوبة أقل من 20%، أما عند نسبة رطوبة 20% يلاحظ ازدياد في قيمة التماسك حتى الوصول إلى نسبة خلط 10% ومن ثم انخفاض قيمة التماسك ويفسر الباحث هذا السلوك بتأثير نسبة الرطوبة على محتوى الغضار.

كما يظهر الشكل (2-9-ب) تغيرات زاوية الاحتكاك الداخلية في التربة مع تغير نسب الخلط، ويمكن دراسة النتائج على قسمين:

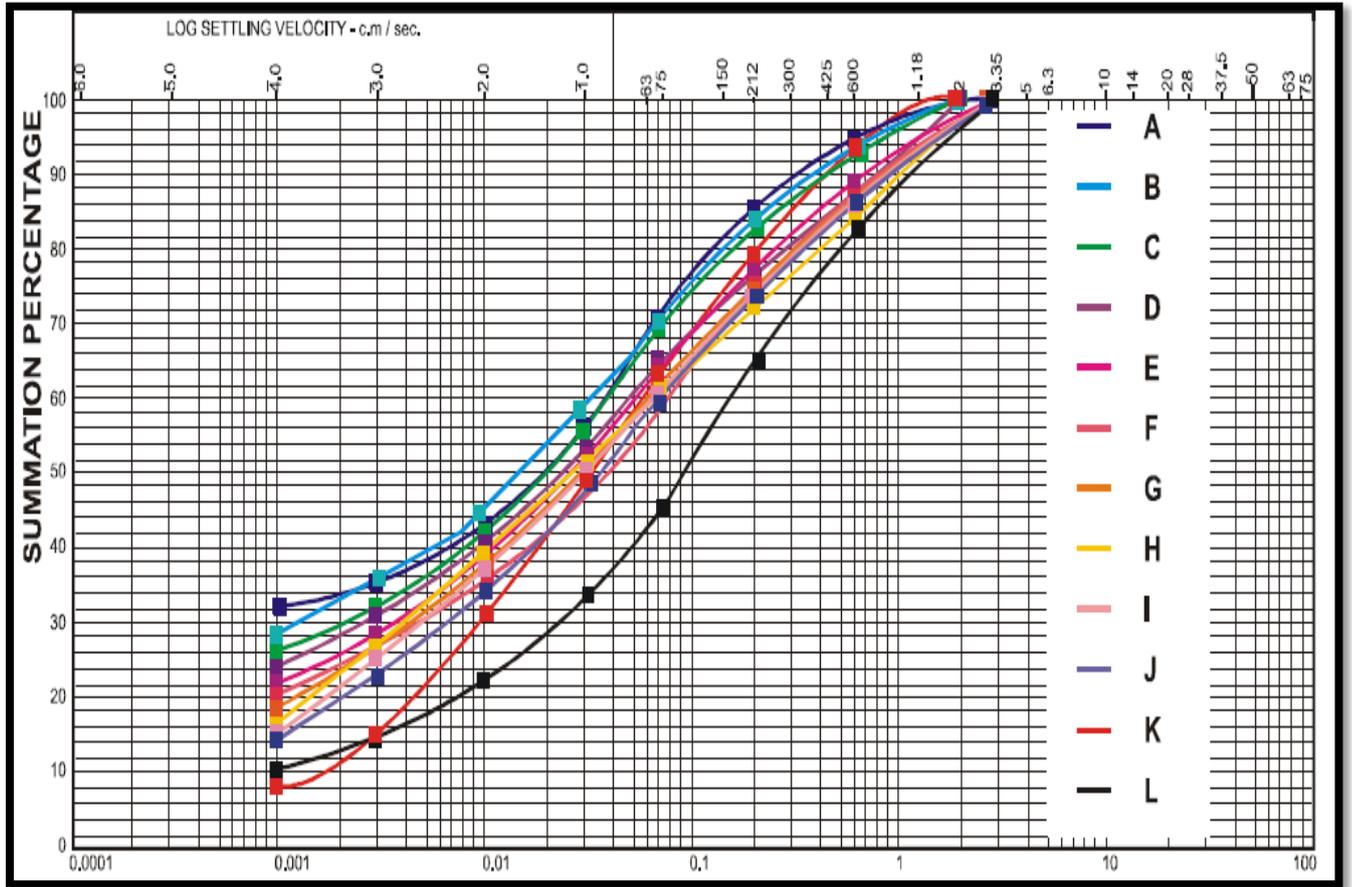
- عند نسبة رطوبة أقل من 20%: يظهر بشكل واضح حدوث انخفاض في قيمة زاوية الاحتكاك مع ازدياد نسبة الغضار المضاف حتى الوصول إلى نسبة 10% إضافة ويلاحظ بعد هذه النسبة ارتفاع قيمة زاوية الاحتكاك الداخلية مع زيادة نسبة الغضار المضاف.
- عند نسبة رطوبة 20%: نلاحظ انخفاض حاد في قيمة زاوية الاحتكاك الداخلية مع زيادة نسبة الغضار المضاف حتى النسبة 10%، وتتناقص حدة الانخفاض بعد تجاوز

هذه النسبة، حيث يستمر انخفاض زاوية الاحتكاك حتى القيمة 38.3° عند نسبة غضار مضاف 15%.

3-4-2 دراسة قام بها الباحث George Rowland Otoko عام 2014:

قام الباحث بدراسة التربة في منطقة دلتا نهر النيجر في نيجيريا ونظراً لوجود تربة مكونة من خليط رملي غضاري في المنطقة، فقد قام بدراسة تأثير نسبة الغضار على سلوك التربة الرملية، وتم ذلك بإضافة نسب معينة من التربة الغضارية إلى التربة الرملية المدروسة و دراسة تأثير نسبة الغضار على قرينة اللدونة للتربة وعلى كل من قيمة التماسك في التربة الخليط وزاوية الاحتكاك الداخلية له.

ويظهر الشكل (10-2) التدرج الحبي للتراب بنسب خلط متفاوتة [6].



الشكل (10-2) التدرج الحبي للتراب بنسب خلط متفاوتة للباحث George Rowland Otoko

وقدم الباحث نتائج الاختبارات التي قام بها على التراب بنسب خلط متفاوتة في الجدول (4-2) [6].

الجدول (4-2) نتج الاختبارات على الترب بنسب خلط متفاوتة للباحث George Rowland Otoko

Sample	Clay Content (%)	NMC (%)	LL (%)	PI (%)	CC	SG	LS	C (KPa)	θ°	C_c	e_0
A	31.7	10.1	39.5	26.5	CI	2.69	11.1	80	7	0.30	0.69
B	28.4	10.3	39.1	26.2	CI	2.70	10.8	78	8	0.27	0.71
C	26.3	10.4	38.7	25.4	CI	2.75	10.5	75	10	0.25	0.73
D	24.5	10.0	37.8	24.7	CI	2.78	10.2	70	12	0.22	0.74
E	22.1	9.9	36.6	23.3	CI	2.81	9.7	67	15	0.20	0.76
F	20.3	10.2	35.4	23.1	CI	2.84	10.1	63	15	0.19	0.77
G	18.2	10.1	34.9	22.7	CL	2.86	9.8	60	17	0.19	0.79
H	16.5	10.3	34.5	21.8	CL	2.89	10.0	55	20	0.18	0.80
I	15.1	10.2	33.8	19.4	CL	2.90	9.6	52	22	0.16	0.80
J	14.4	10.0	33.4	17.6	CL	2.91	9.5	48	21	0.15	0.81
K	10.6	10.4	32.9	14.2	CL	2.90	8.8	45	23	0.13	0.83
L	8.2	10.3	32.6	13.5	CL	2.92	9.0	42	25	0.12	0.84

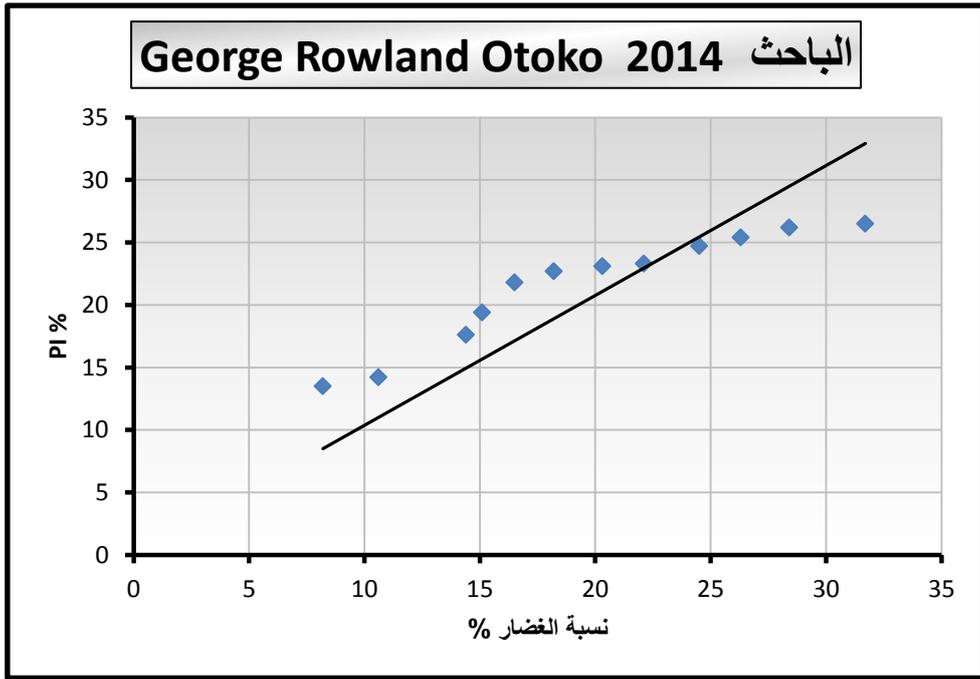
Casagrande Classification: CC : تصنيف كزاغراندني.

CL: غضار منخفض اللدونة .

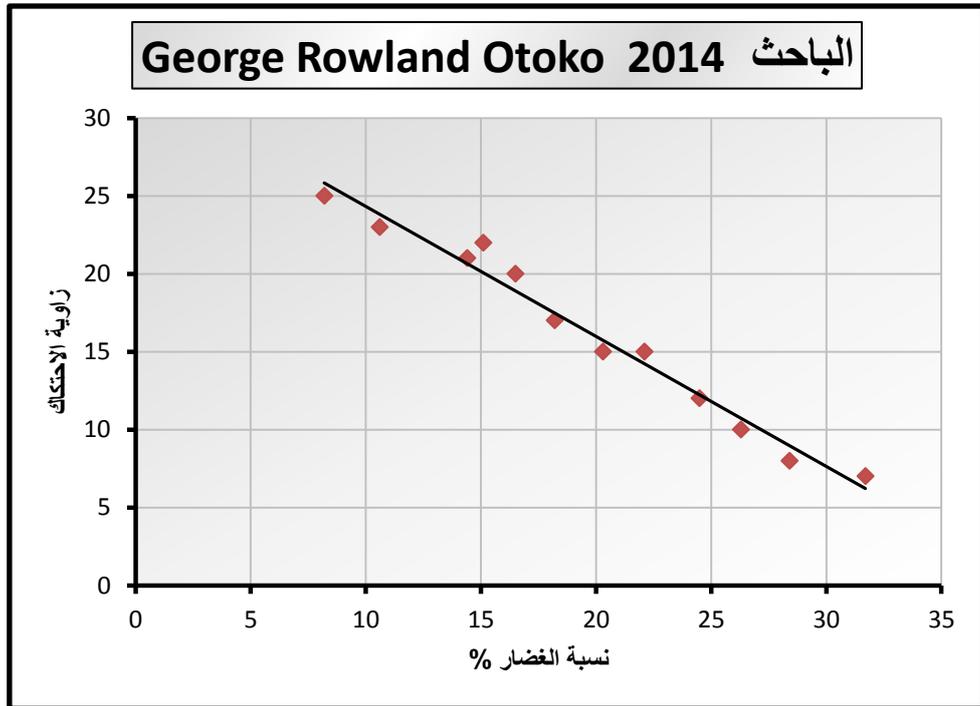
CI: غضار متوسط اللدونة.

ونلاحظ من جدول النتائج (4-2) الانخفاض الحاصل في زاوية الاحتكاك الداخلية من القيمة 25° حتى القيمة 7° وذلك مع ازدياد نسبة الغضار المضافة إلى التربة من 8% إلى 32%. كما يلاحظ أيضا ازدياد قيمة التماسك من 42 Kpa حتى القيمة 80 Kpa مع ازدياد نسبة الغضار المضافة إلى التربة من 8% إلى 32%.

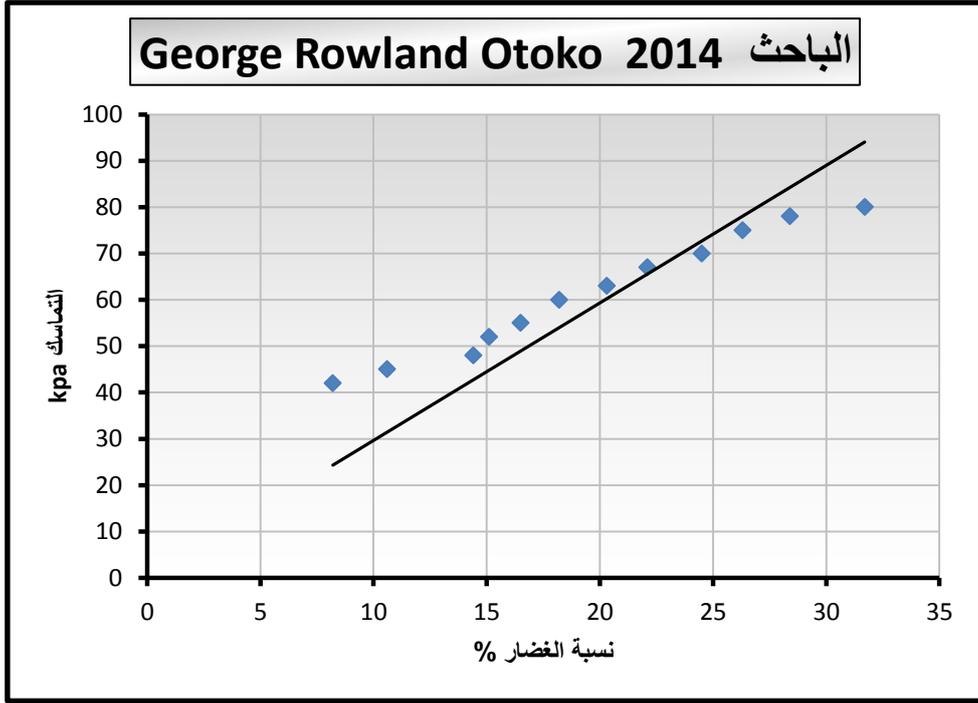
وتم توضيح النتائج المدروسة بالشكل (2-11), (2-12), (2-13) [6].



الشكل (2-11) تغير قيم قرينة اللدونة مع نسب الغضار للباحث George Rowland Otoko



الشكل (2-12) تغير قيم زاوية الاحتكاك مع نسبة الغضار للباحث George Rowland Otoko



الشكل (2-13) تغير قيم التماسك مع نسبة الغضار للباحث George Rowland Otoko

وقد اوجد الباحث علاقة خطية لتمثيل كل من التغيرات الموضحة بالأشكال حيث يمكن ملاحظة ما يلي :

- في مخطط تغير قيم قرينة اللدونة يظهر تزايد واضح في قيم قرينة اللدونة مع تزايد نسبة الغضار حتى الوصول إلى نسبة غضار 20% وبعدها تبدأ القيم بالثبات نسبياً حتى نسبة غضار 30%.
- في مخطط تغير زاوية الاحتكاك يظهر انخفاض كبير في قيم زاوية الاحتكاك الداخلية مع تزايد نسبة الغضار حتى الوصول إلى نسبة غضار 20% وبعدها تبدأ القيم بالانخفاض بشكل طفيف وتثبت نسبياً.
- في مخطط تغير قيمة التماسك يظهر ازدياد كبير في قيم التماسك مع تزايد نسبة الغضار حتى الوصول إلى نسبة غضار 20% وبعدها تبدأ القيم بالازدياد بشكل طفيف وتثبت نسبياً.

وبالتالي يلاحظ من النتائج التي قدمها الباحث حدوث تغيرات واضحة في القيم المدروسة حتى الوصول إلى نسبة غضار 20% وبعدها تبدأ القيم بالثبات تدريجياً.

4-4-2 دراسة قام بها الباحثون C Abhishek Rathnam, K Suresh, DR.K V Uday عام 2015:

تم اختيار نوعين من التربة تربة رملية وتربة غضارية يوضح الجدول (2-5) مواصفات كل منهما [7].

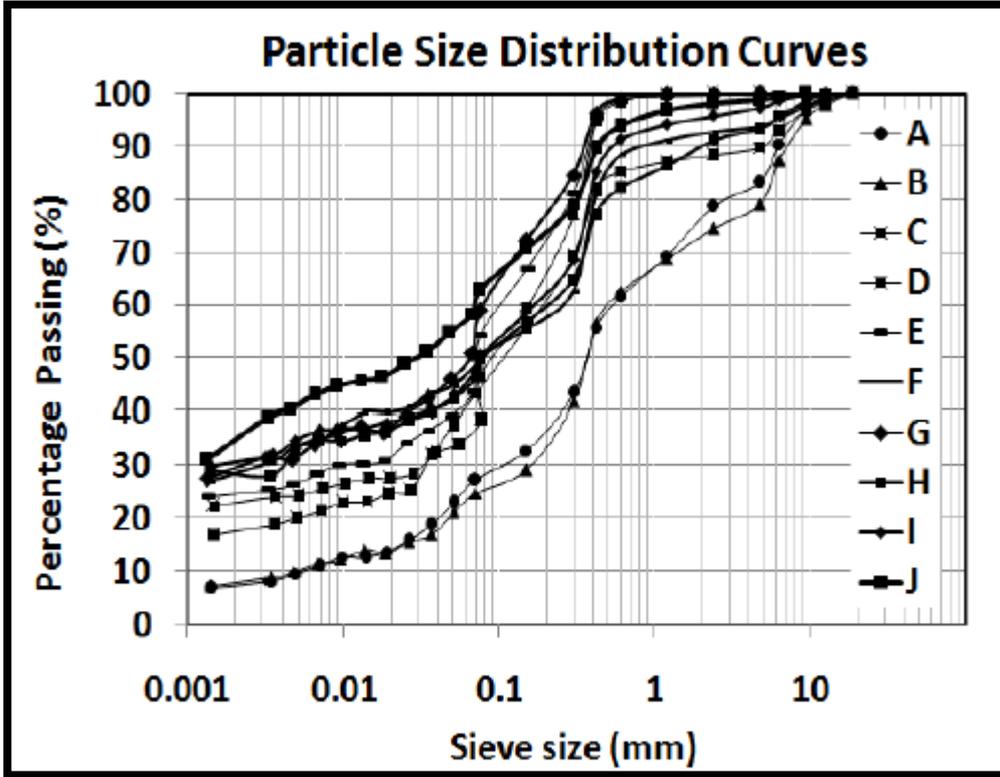
الجدول (2-5) مواصفات التربة الرملية والغضارية للباحثين C Abhishek Rathnam, DR.K V Uday

Property		Clay	sand
Specific Gravity	G	2.71	2.39
Gravel (%)		0	0
Sand (%)		18	48
Silt (%)		65	47
Clay (%)		17	5
Consistency limits			
Liquid Limit	LL	26	0
Plastic Limit	PL	21	0
Plasticity Index	PI	5	0
Classification		clay	sand
OMC (%)		16	17.54
MDD (g/cc)		1.93	1.42

MDD: الوزن الحجمي الجاف الاعظمي / OMC: الرطوبة المثالية الموافقة

و يظهر في الشكل (2-14) نتائج التدرج الحبي لخلائط الرمل والغضار التي قام بها الباحثون [7]. وتمت إضافة التربة الغضارية إلى الرملية بنسب متفاوتة لدراسة تأثير ذلك على حد السيولة ومقاومة الخليط للقص كما درست تغيرات كل من قيمة التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلية مع زيادة نسبة الغضار.

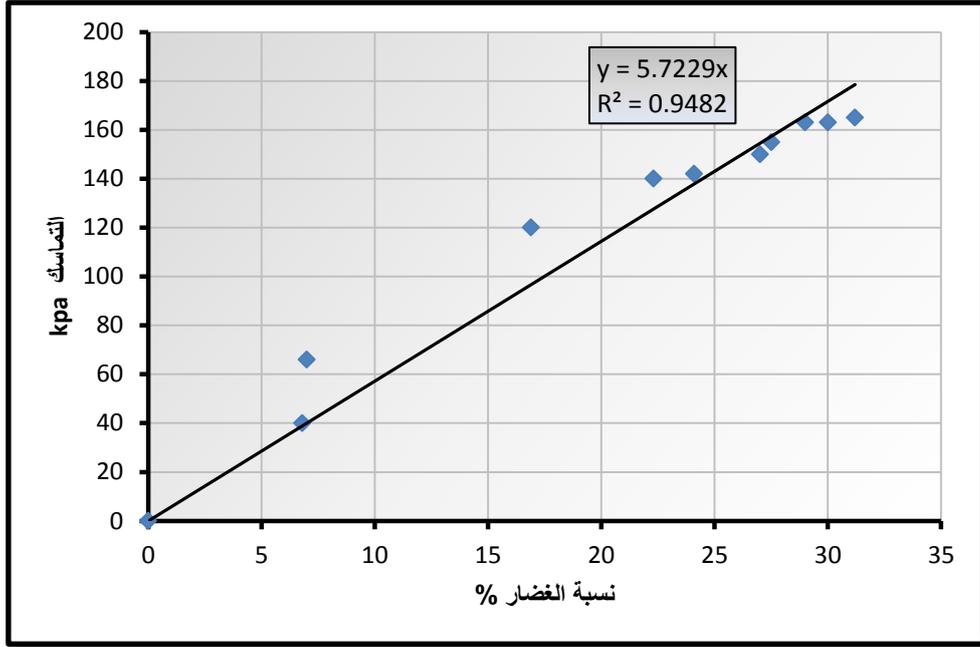
توصل الباحثون إلى أن ازدياد نسبة الغضار في الخليط أدت إلى ارتفاع قيمة قرينة اللدونة، كما أدت إلى زيادة في قيمة التماسك وانخفاض في قيمة زاوية الاحتكاك الداخلية وتظهر النتائج في الجدول (2-6) [7].



الشكل (2-14) منحنيات التدرج الحبي للعينات للباحث DR.K V Uday، Abhishek Rathnam

الجدول (2-6) نتائج اختبارات الباحث DR.K V Uday، Abhishek Rathnam

Sample	Clay Content (%)	NM C (%)	PI (%)	C (KPa)	ϕ°	C_c	e_0
A	6.8	10.2	12.1	40	28	0.05	0.42
B	7.0	10.0	13.2	66	25	0.05	0.4
C	16.9	9.9	16.7	120	24	1.0	0.38
D	22.3	10.3	18.2	140	20.2	0.12	0.35
E	24.1	10.1	20.3	142	20	0.12	0.34
F	27.0	10.0	22.1	150	17.5	0.12	0.20
G	27.5	10.4	23.2	155	15	0.2	0.19
H	29	10.3	25.0	163	15	0.18	0.15
I	30	10.0	26.6	163	12.6	0.18	0.1
J	31.2	10.2	26.6	165	12.6	0.19	0.1



الشكل (2-15) تغيرات التماسك مع نسب الخلط للباحث C Abhishek Rathnam, K Suresh, DR.K V Uday

يظهر في المخطط الزيادة الواضحة في قيمة التماسك مع ازدياد نسبة الغضار في التربة حتى الوصول إلى النسبة 20% ومن ثم تبدأ القيم بالثبات نسبياً [7].

ومن خلال الدراسات المرجعية السابقة والمخططات البيانية وجد هناك مجموعة من الملاحظات التالية :

- ◀ في العام (1990) قام كل من الباحثين Georgiannou, Burland & Hight بدراسة إضافة غضار الكاولين إلى الرمل وتوصلوا إلى نتيجة أن الزاوية الاحتكاك تتناقص مع تزايد نسبة الغضار حتى الوصول إلى النسبة 20%.
- ◀ في العام 1994 قام الباحثون Pitman, Robertson & Sego بدراسة تأثير إضافة التربة الناعمة على عينات رملية مخلخلة، وتوصلوا إلى أن العمل المؤثر على مقاومة الخليط ليس قيمة حد اللدونة للمواد الناعمة بل كميتها، واعتبرا التأثير يبدأ من نسبة أكبر من 10%.
- ◀ في العام 2007 قام الباحثان (Suresh, Rithnam) بدراسة تأثير إضافة الغضار على مقاومة القص للتربة الرملية، وقد توصلوا إلى النسبة 20% من الغضار المضاف كنسبة لا يظهر تأثير كبير في تماسك واحتكاك التربة بعدها. وقدا علاقات خطية للربط بين زاوية الاحتكاك والتماسك مع النسب المضافة.
- ◀ في عام 2009 قام الباحث Shanyoug et بدراسة تأثير محتوى الغضار على الخواص الهندسية للرمل، ووضح أن الغضار يلعب دوراً هاماً في طبيعة الاستجابة

الميكانيكية للتربة عند تعرضها للحمولات، وتوصل إلى أن قيم اللدونة ومعامل الانضغاط الثانوي تزداد مع ازدياد محتوى الغضار، بينما تنخفض قيم النفاذية وزاوية الاحتكاك الداخلية للرمل. وقام بإيجاد علاقة بين نسب الغضار المضافة إلى التربة الرملية وتغيرات قيم الاحتكاك والتماسك واعتبر العلاقة بينها علاقة خطية.

الباحثون (Mehmet and Ozden (2007), Rozalina and Yanful (2012), Naser Al Shayea (2001), Shanyoug et al (2009), Mohammad et al (2011) أظهرت معظم الدراسات التي قاموا بها التي تناولت موضوع دراسة الخواص الميكانيكية لخليط التربة المكون من الرمل والغضار تزيادا في قيمة التماسك مع زيادة نسبة الغضار المضافة إلى التربة الرملية، بينما يظهر انخفاض واضح في قيمة زاوية الاحتكاك الداخلية مع تزايد هذه النسبة.

الفصل الثالث

دراسة تعريفية بالمواد المستخدمة

3-1 تمهيد:

نعرض في هذا الفصل الدراسة النظرية للرمال والغضار، وننتقل بعد ذلك إلى توضع الغضار في الجمهورية العربية السورية .

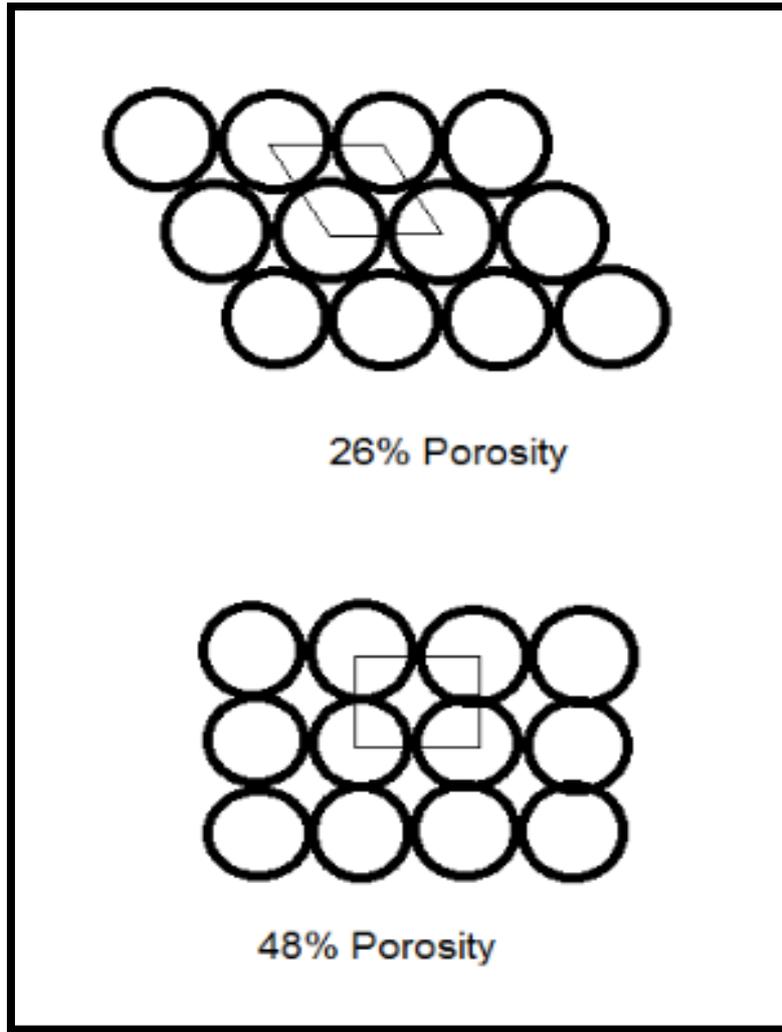
3-2 الدراسة النظرية:

3-2-1 الدراسة النظرية للرمال :

3-2-1-1 البنية الحبيبية المبعثرة Granual:

تصادف هذه البنية بشكل رئيسي في التربة الرملية المفككة التي لا تحتوي جزيئات غضارية . ويحدث هذا التأثير المتبادل بين الجزيئات في البنية الحبيبية بالاحتكاك الجاف ، ويتعلق الجزيئات ببعضها البعض . تتشكل البنية الحبيبية المبعثرة في الصحاري وعلى شواطئ البحار وفي مناطق أخرى بصورة رئيسية نتيجة التوضع العفوي للجزيئات المينرالية (سقوطها من الماء والهواء) ، ويفضل بعض العلماء تسمية هذا النوع من البنية بالبنية الجاذبية، نظراً للدور الرئيسي لقوى الجاذبية في تشكل هذه البنية ومقاومتها للحمولات الخارجية تتناسب طرماً مع تسارع قوى النقل الذاتي. تتميز هذه البنية بعدم ثبات خواصها الفيزيائية والميكانيكية، يمكن أن تكون مبعثرة مخلطة (loose) او مبعثرة مترابطة (dense) . تتوقف مواصفات البنية الحبيبية بالدرجة الاولى على شكل توضع جزيئاتها بالنسبة لبعضها البعض وعلى مقدار الحجم الذي تشغله بالنسبة للحجم الكلي للتربة الرملية (الكثافة) ، او تتوقف كثافة الوسط الحبيبي الجاف على معامل المسامية فيه وتتغير الخواص الهندسية للوسط الحبيبي وفقاً لذلك.

عند اعتبار التربة الرملية مكونة من كريات متساوية الحجم يمكن أن تصطف هذه الكريات ضمن وحدة الحجم (مكعب) باوضاع مختلفة وكل وضع يوافق قيمة معينة لمعامل المسامية. فعندما تكون الكريات مصفوفة ضمن مكعب كما يوضح الشكل (3-1) نحصل على أكبر قيمة لمعامل المسامية حيث تكون نسبة الفراغات $n = 47.7\%$ توافق $e_{max} = 0.908$ بينما نحصل على أصغر قيمة لمعامل المسامية عند اصطفاف الكريات بشكل موشور متساوي الاضلاع قاعدته معين بحيث ترتكز كل كرية على ثلاث او أربع كريات وتكون نسبة الفراغات $n = 25.95\%$ توافق $e_{max} = 0.350$ ؛ الشكل (3-1).



الشكل (1-3) اصطفاف الحبيبات الكروية الشكل في حالتها المتخلخل الأعظمي التراص الأعظم

2-1-2-3 تصنيف الرمل وفق الأنظمة العالمية:

يبين الجدول (1-3) تصنيف الرمل وفق الأنظمة العالمية.

الجدول (3-1) تصنيف الرمل وفق الأنظمة العالمية

نظام الجمعية الأمريكية لاختبار المواد (ASTM)	
اقطار الحبيبات (mm)	نوع التربة الرملية
2.0 - 4.75 mm	رمل خشن coarse sand
0.42 - 2.0 mm	رمل متوسط medium sand
0.075 - 0.42 mm	رمل ناعم fine sand
الشركة الأمريكية للطرق الحكومية الرسمية (AASHTO)	
اقطار الحبيبات (mm)	نوع التربة الرملية
2.0 - 4.75 mm	رمل خشن coarse sand
0.425 - 2.0 mm	رمل متوسط medium sand
0.075 - 0.425 mm	رمل ناعم fine sand
النظام البريطاني (BS)	
اقطار الحبيبات (mm)	نوع التربة الرملية
0.6 - 2 mm	رمل خشن coarse sand
0.2 - 0.6 mm	رمل متوسط medium sand
0.06 - 0.2 mm	رمل ناعم fine sand
نظام القواعد والأساسيات السوفيتية (SNIP)	
اقطار الحبيبات (mm)	نوع التربة الرملية
0.5 - 2 mm	رمل خشن coarse sand
0.75 - 0.5 mm	رمل متوسط medium sand
0.05 - 0.75 mm	رمل ناعم fine sand

3-1-2-3 الفلزات الشائعة المكونة للرمل :

- الكوارتز: من أكثر الفلزات انتشاراً وهو مقاوم جداً للتغيرات الجوية ، حبات رمل شافة وهو مكون من اكسيد السيلكا صيغته الكيميائية SiO_2 ولونه ابيض.
- الفيلدسبار: يكون لون الحبات وردي او بني فاتح مائل للإصفرار وهو خليط من الكالسيوم و سيلكات الألمنيوم والبوتاسيوم صيغته الكيميائية $-CaAl_2Si_2O_8$ $KAISi_3O_8 - NaAlSi_3O_8$
- المغنتيت : تكون الحبات ممغنطة لونها أسود وهو أكسيد الحديد وصيغته Fe_3O_4 .

- **ارجونيت - الكالسيت:** يسمى الرمل الذي يتكون من أحد هذين الفلزين او من خليط منهما بالرمل الكريوني والذي يتكون من جزيئات من كربونات الكالسيوم ، والتي تتشكل غالباً من نواتج العديد من الكائنات الحية ويقايا الهياكل العظمية وشظايا الشعاب المرجانية والأصداف لونه ابيض.

2-2-3 الدراسة النظرية للغضار:

1-2-2-3 التربة الغضارية:

الغضار عموماً هو التربة ذات الحبات الأصغر من 2 ميكرون (0.002 مم) ولكن لا يمكن اعتماد البعد 2 ميكرون فقط في تحديد الغضار فهناك صخور غضارية متراسة كالمارن وكذلك معادن ناعمة جداً ولها صفات الغضار، لذلك فإن التربة الغضارية هي مادة متميزة إضافة إلى أبعادها الصغيرة بالخواص التالية:

- طبيعتها الكيميائية (سيليكات الألمنيوم المميهة).
- بنيتها الورقية (الصفحية او المتطبقة).
- سلوكها المتميز بوجود الماء (شراحتها للماء وسلوكها للندن).
- فالحبة الغضارية تشكل تجمعاً غير منتظم لمجموعة من الوريقات المنتظمة التوضع إلى حد ما وهذه الوريقات هي سيليكات متعددة الاسطح.

ويشمل في تركيب الغضار على:

1. الفلزات الغضارية:

وهي متعددة ومعظمها عبارة عن سيليكات الألمنيوم المميهة او قد تكون عبارة عن فلزات الحديد او الألمنيوم وتحتوي بعض الفلزات الغضارية على القلوبات كمركبات أساسية.

2. الفلزات الحاوية على الغضار:

تشمل الكوارتز والكالسيت والدولوميت والجبس و أكسيد الحديد وأملاح القاعدية الذوابة وتشكل المركبات الأساسية للترب الغضارية غير العضوية.

3. الغرويات:

وهي الاجزاء الناعمة جداً وتشمل المعدنية والعضوية.

2-2-2-3 تشكل الغضار في الطبيعة:

التربة الغضارية تنتشر على مساحات واسعة من الكرة الأرضية وتشكلت من الحت للصخور الضخمة المكونة للقشرة الارضية وأهمها :

1. الصخور البركانية :

مثل الصخور البازلتية او الغبار المتصاعد من فوهات البراكين والذي يستقر في السهول ليشكل تربةً غضارية.

2. الصخور الرسوبية :

والتي نتجت عن حت الصخور في المناطق المرتفعة وحملت بواسطة عملية النقل إلى السهول حيث تترسب مشكلة تربةً غضارية، وهناك طرق متعددة للحت ويكون تأثيرها أكبر كلما صغرت حجم الحبات :

• الحت الفيزيائي: وتشمل تأثيرات المناخ كالحرارة والامطار والرياح والمياه الجارية وعمليات الحت والنقل.

• الحت الكيميائي: وتشمل التأكسد عند تماس الصخور مع مياه الأمطار الحاوية على الاوكسجين ويؤدي بذلك إلى تفتت الصخور وانحلال الصخور الكلسية بمياه الامطار الحاوية على غاز الفحم، كما تتحلل المواد العضوية الموجودة في التربة بالماء المار فيها وتتفاعل مع الصخور مولدة مركبات جديدة (الغضار)، ويشمل الحت الكيميائي عمليات الترشيح حيث يتفاعل الماء مع الملاط الذي يربط حبات الصخور الرسوبية فتفقد ترابطها وتصبح تربةً غضارية وغيرها.

• الحت العضوي: وتنتج عن الحياة النباتية والحيوانية، ذلك أن البكتريات تولد تغييرات كيميائية في ما يحيط به وينتج عن بعضها حمض الكبريت او الآزوت او كبريت الهيدروجين وكلها تزيد من عمليات التعرية.

• كما تعتمد شدة الحت على طبيعة الصخر والمناخ والرطوبة وشروط التعرض والحياة النباتية والنشاط البكتيري، ومجال تأثير الحت لا يقتصر على سطح الأرض بل يمتد ليشمل الصخور من الأعماق وتعتمد الحت على عامل الزمن بشكل كبير كما أنه هناك عاملين هامين جداً:

◀ ماء المطر: في مناطق الهطول القليلة يحدث الحت إلى أعماق محدودة وخصوصاً عند احتوائه (الكربونات+الكبريتات)، وفي مناطق الهطول الغزيرة يحدث الحت لأعماق كبيرة.

◀ درجات الحرارة : كلما كان تغييرات الحرارة أكبر يكون الحت تأثيره أكبر وخصوصاً في المناطق الرطبة.

3-2-2-3 أنواع الترب الغضارية وتصنيفها وتركيبها الفلزي:

يتشكل هيكل الفلزات الغضارية بشكل عام من وحدتين أساسيتين:

- الوحدة الاولى :الوحدة رباعية الوجوه (وحدة السيليكا)وتتألف من أربع ذرات أكسجين تشغل رؤوس رباعي الوجوه الذي يحتوي ذرة سيليس ويرمز لها بشبه منحرف.
- الوحدة الثانية :الوحدة ثمانية الوجوه وتتكون من ذرة ألمنيوم يحيط بها ست ذرات أكسجين.

وتتحد صفائح السيليكات مع صفائح الألمنيوم لتشكل البنية القاعدة للفلزات الغضارية والتي تختلف عن بعضها بطريقة توضع الذرات ضمن البنية الشبكية ويقسم تركيب الغضار حسب بنيته الفلزية إلى الفلزات الثلاث الأساسية التالية :

1. الكاؤولينيت:

ويتركب من شريحة مفردة من السيليكا الرباعية ملحق بها شريحة مفردة من الألمنيوم الثمانية رمزها الكيميائي $Al_4Si_4O_{10}(OH)_{10}$ ويمتاز هذا الفلز بكونه حجم حبيباته وبصغر سطحه النوعي، ويبيدي تماسك أقل ولدونة أقل ويلاحظ من صيغتها أنها محايدة كهربائياً، لكنها قد تفقد بعض ذرات (OH) عندما تكون ضمن الماء فتصبح حباتها ذات شحنة سالبة تجذب إليها شاردة موجبة من الماء حولها ومن هذه المجموعة غضار الكاولين وهو ما يعرف بغضار الخزف الصيني .

2. الإيليت :

ويتكون من شريحة مفردة من الألمنيوم الثمانية الملتصق بها شريحتين من السيليكات الرباعية ويوجد بين هذه الصفائح السيليكاتية عنصر الصوديوم وتعطى صيغته الكيميائية التقريبية $(Al_4Si_7AlO_{20}(OH)_4K_{0.8})$ ، إن الترابط بين الصفائح يعود لقوة فاندر فالس وهو أقل شدة من الرابطة الهيدروجينية بين صفائح الكاولينات ولكنه أكثر ثباتاً من مجموعة المونتموريللونات المشابهة في البنية والمغايرة في طبيعة الشوارد المنجذبة وقل منها نشاطاً سطحياً .

إن المصدر الرئيسي للإيليت هو صخور الميكا لذا يسمى أحياناً الغضار الميكائي ويتشكل في مناطق المناخ المعتدل .

3. المونتموريللونيت :

ويتكون من وحدات صفائحية كالإيليت وترتبط بين هذه الصفائح قوى فاندر فالس الضعيفة نسبياً إذا ما قورنت بروابط الهيدروجين او بالروابط الأيونية .

ويحدث في وحداته كثير من التبادل حيث تحل (Al) محل (Si) في وحدة السيليكا وكذلك تحل (Mg) او (Fe) او (Zn) محل (Al) في وحدة الجبسيات مما يؤدي إلى شحنة سالبة كبيرة .

وتقوم الشوارد الموجبة الموجودة في الماء مثل (K^+, Ca^{++}, Na^+) بإشباع معظم الشحنة السالبة وتنجذب إلى الصفحات لكنها لا تلتصق بها بل تبقى دوماً عرضة للتغيير . ويدخل الماء بين الصفحات شرائح الميكا بسبب الترابط الضعيف بين الطبقات مما يجعل هذا الفلز ينتفخ ويبيدي تماسك ولدونة اعلى، وعندما ينكمش يتشقق ويشكل سطحاً صلباً وبناء على طبيعة الشوارد المحيطة فإن النشاط يختلف من غضار لآخر، فهناك تشابه قليل بين مونتموريللونيت الكالسيوم ومونتموريللونيت الصوديوم رغم كون المواد الصلبة المشكلة لهما واحدة وتعطي صيغته بالتالي ($Al_{3.5}Mg_{0.5}Si_8O_{20}(OH)_4$) ويتشكل المونتموريللونيت من حث المركبات الحديدية المنغنيزية وخاصة في المناطق القارية والحارة والممطرة ، ومن أهم أنواعه غضار البنتونايت حيث ينتج من حث البقايا البركانية .

إن متانة الترب لا تتوقف على متانة الحبيبات الفلزية بقدر ما تتوقف على الصفات الخاصة للبنية وخاصة ترابط البنية وقوى التماسك بين الجزيئات الفلزية حيث أنه من الممكن تشكل قوى ترابط وقوى احتكاك ذات أنواع وطبيعة مختلفة حسب شروط تشكل التربة ودرجة نعومتها حيث يمكن تمييز الأنواع التالية من البنية :

◀ البنية التخثرية :

وتنشأ من تخثر المحاليل المائية للجزيئات الفلزية أي من جراء حصول تلاصق الجزيئات المنفردة مع بعضها البعض تحت تأثير القوى الكهربائية والذرية، بحيث لا يحدث تماس بين الفلزات بل تبقى طبقات رقيقة من الماء والجدير بالذكر هو إمكانية استرجاع بعض المتانة بعد تخرب البنية من هذا النوع .

◀ البنية التكتفية المتراسة :

الشيء المميز لهذه البنية هو حدوث تماس مباشر بين الجزيئات الفلزية والتأثير المتبادل بينها حيث تترايط هذه والجزيئات فيما بينها بواسطة قوى فاندرفالس . وتتأثر البنية المتراسة في حالتها الطبيعية بالماء وتفقد جزءاً كبيراً من متانتها بوجود الماء حيث تزداد متانة البنية المتراسة بنقصان المسامية في التربة وبنعومة الجزيئات الفلزية وتتصف تلك البنية بالقساوة الكبيرة وبالكسر الهش كما أنها غير قادرة على التشوه اللدن - المرن . تصادف تلك البنية في الترب الغضارية الصلبة .

من أهم أنواع الغضار:

- الغضار العضوي: وهو غضار تعزى خواصه الفيزيائية إلى وجود مواد عضوية ناعمة وعند إشباعه بالماء تصبح قابليته للإنضغاط كبيرة، وعندما يجف يصبح عالي المقاومة لونه رمادي قاتم .
- البنتونايت: هو غضار يحتوي على نسبة كبيرة من المونتموريللوناييت وهو يتقلص بشدة عند الجفاف وتنتج هذه التربة في معظم الأحيان من التحول الكيميائي للرماد البركاني. ويتم تصنيف الترب الغضارية حسب ASTM بالاعتماد على حدود اتريرغ ويستنتج من هذه الحدود مجموعة من القرائن المصنفة للتربة ومن مخطط كزاغراندي يتم تصنيف انواع الغضار المختلفة.

3-2-2-4 الخواص الفيزيائية والكيميائية للغضار:

له قوام عجيني بإضافة الماء، ويتحول إلى مادة قاسية بتعرضه للحرارة العالية. تتمتع فلزات الغضار بخاصية تبادل العناصر الكيميائية وامتصاصها والاحتفاظ بها بحالة تبادلية وتتوضع هذه العناصر عادة حول الفلز الغضاري، وبحدوث التفاعلات التبادلية فإن بنية الفلز الأساسية لا تتبدل ولكن هذه العناصر تنتقل من فلز لآخر وهذه العناصر (Ca^{++} , Fe^{++} , Mg^{++} , Na^+ , Cu^{++} , K^+ , Al^{++}) ، وتعزى عملية التبادل هذه لقدرة الفلزات الغضارية على امتصاص الأيونات الموجبة من المحلول الذي تتواجد به، وبشكل عام يكون للمونتموريللونيت قدرة عالية على التبادل وذلك بسبب الشبكة السالبة الكثيفة المحيطة به ويليه الأيليت وأخيراً الكاؤولينيت.

3-2-2-5 الخواص الميكانيكية للغضار:

- 1- انضغاضية التربة الغضارية.
- 2- مقاومة التربة الغضارية للقص .

3-3 تواجد الترب الغضارية في الجمهورية العربية السورية :

يتواجد في الجمهورية العربية السورية العديد من مصادر الثروات الطبيعية التي تشكل مورداً هاماً لاستخدامها كمواد اولية في الصناعة وأعمال البناء كالغضار والرمال والمارن والصخور الكلسية والبازلتية والمنغنيز والرصاص والنحاس.....الخ بحسب بيانات المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية في الجمهورية العربية السورية فإن التربة الغضارية تنتشر وتوزع في مناطق عديدة في أراضي القطر العربي السوري ضمن

3-4 تواجد واستخدامات الترب الرملية في الجمهورية العربية السورية :

يستخدم الحجر الرملي كأحجار ومواد بناء , تستخدم الرمال في صناعة البيتون والبلاط والطينة ومواد البناء كما تستخدم في أعمال الردم و صناعة الاسمنت والبورسلان والسيراميك ومختلف المواد الانشائية والزجاج والصناعات المتطورة .

تتواجد الرمال والصخور الرملية في سوريا بكميات كبيرة وخصوصا في وسط سوريا وهي قابلة للاستثمار.

الفصل الرابع

الدراسة التجريبية

1-4 تمهيد:

إن إنجاز هذا البحث تطلب القيام بالعديد من التجارب المخبرية ، ومن خلال تحضير عدد كبير من العينات ، وفق تسلسل منطقي وصولاً إلى النتائج المطلوبة . وقد أجريت هذه الدراسة التجريبية في مخبر ميكانيك التربة في جامعة دمشق .
نعرض في هذا الفصل مراحل العمل المخبري الذي تم من خلاله إنجاز هذا البحث ، وكافة التجارب التي تم إجراؤها لإتمام العمل.

2-4 الدراسة التجريبية :

1-2-4 مخطط العمل التجريبي:

جمع العينات:

تم القيام بالتنسيق مع الدكتور المشرف بأعمال حفريات في درعا على عمق 1.4 م من أجل جلب عينات من التربة الغضارية منها .
وقد كانت كافة العينات مضطربة بسبب صعوبة الحصول على عينات سليمة ، وبعد ذلك نقلت العينات إلى المخبر بواسطة أكياس بلاستيكية ، وتم تنسيقها ضمن المخبر .
أما التربة الرملية فقد تم جلبها من مكسر في منطقة الرينة.

ثم تم إجراء التجارب المخبرية على نوعين من التربة: التربة الرملية والتربة الغضارية :

1- التربة الرملية: اجريت التجارب التالية:

- تجارب الخواص الفيزيائية (الرطوبة الطبيعية - الوزن الحجمي - الوزن النوعي).
- تجارب مصنفة للتربة (التدرج الحبي بالمناخل).
- تجربة القص السريع المباشر غير المصرفة .

2- التربة الغضارية : اجريت التجارب التالية:

- تجارب الخواص الفيزيائية (الرطوبة الطبيعية - الوزن الحجمي - الوزن النوعي).
- تجارب مصنفة للتربة (التدرج الحبي بالمناخل - الترسيب بالهيدرومتر - حدود أتبرغ).
- تجربة القص السريع المباشر غير المصرفة.

كما تم إجراء مجموعة من التجارب على خليط من التربة الرملية والتربة الغضارية بنسب متغيرة حيث أجريت التجارب التالية:

• الوزن النوعي

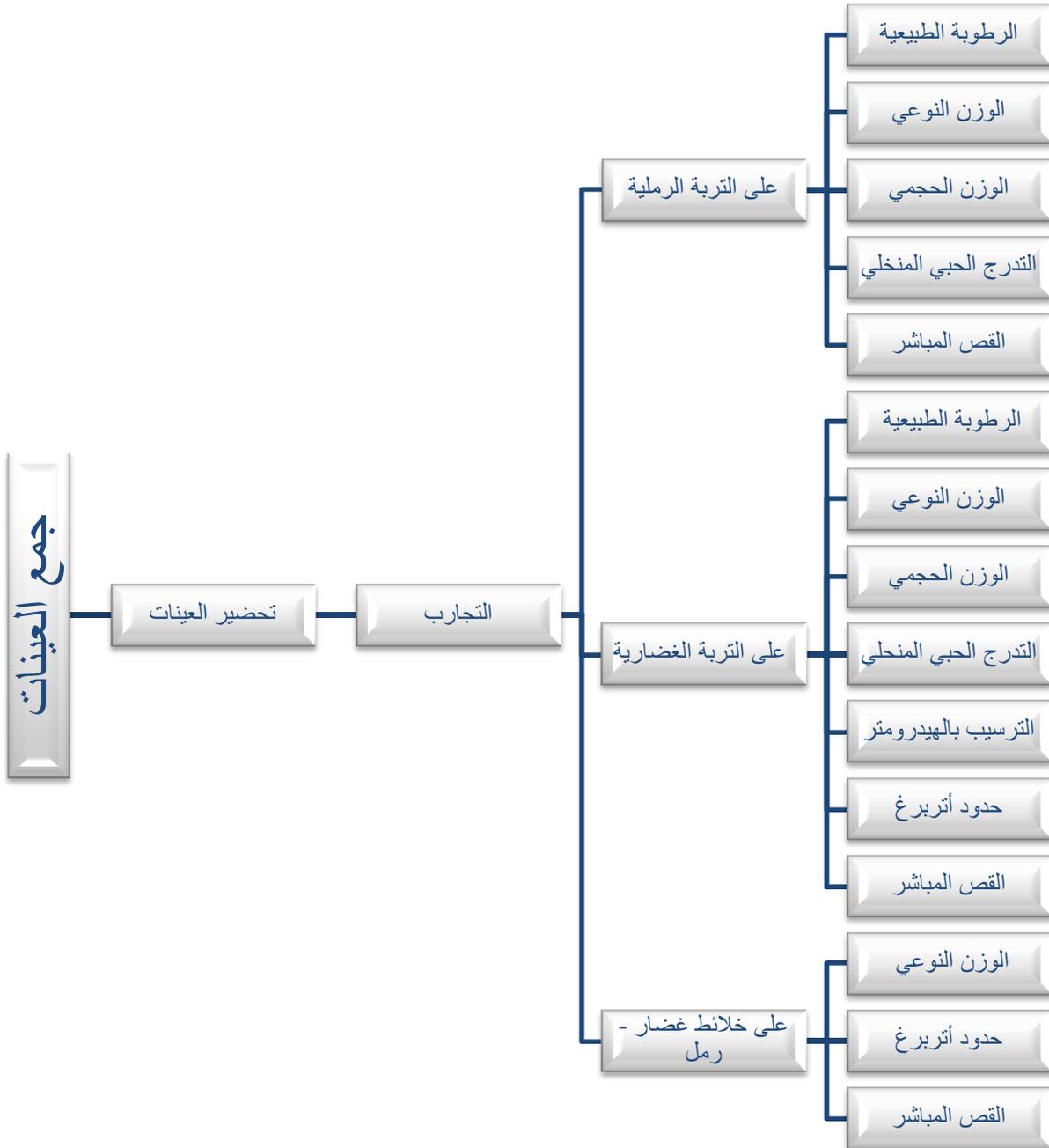
• حدود أتبرغ

• القص السريع المباشر غير المصروفة.

وتم اعتماداً على نتائج هذه التجارب دراسة التغيرات الحاصلة في كل من الوزن النوعي وحد السيولة وقيم التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلي للخليط مع تغير نسبة الخلط.

ويوضح المخطط التدفقي التالي مخطط التجارب للتربة حيث تم إجراء كافة التجارب حسب

المواصفات القياسية ASTM. الشكل (4-1)



الشكل (1-4) مخطط التجارب

2-2-4 المواصفات القياسية للتجارب :

الجدول (1-4) المواصفات القياسية للتجارب

(ASTM-D2216-05)	الرطوبة الطبيعية
(ASTM-D854)	الوزن النوعي
(ASTM-D7263)	الوزن الحجمي
(ASTM-D422)	التحليل الحبي
(ASTM-D4318-98)	حدود اتربرغ
(ASTM-D422)	تجربة الهيدرمتتر
(ASTM - D 3080)	القص السريع المباشر

3-2-4 نتائج التجارب المخبرية الأساسية (الخواص الفيزيائية) :

1-3-2-4 نتائج التجارب الأساسية التربة الرملية والتربة الغضارية المدروسة:

- تم تحضير 3 عينات لكل من الرمل والغضار لاجراء تجربة الرطوبة الطبيعية وفق المواصفة (ASTM -D2216 -05) .
- تم تحضير 3 عينات لكل من الرمل والغضار لاجراء تجربة الوزن النوعي وهي عبارة عن 150 غرام من المار من المهزة رقم 40 ثم تم متابعة التجربة حسب المواصفة القياسية (ASTM -D854).

يوضح الجدول (2-4) نتائج تجارب الخواص الفيزيائية المجراة على التربة الرملية والتربة الغضارية المدروسة:

الجدول (2-04) نتائج تجارب الخواص الفيزيائية المجراة على الترب المدروسة

الخواص التربة	التربة الرملية	التربة الغضارية
الرطوبة الطبيعية	0.45	6.08
الوزن الحجمي g/cm^3	1.6	1.79
الوزن النوعي	2.63	2.69

2-3-2-4 نتائج تجارب الوزن النوعي على العينات الخليطة:

3 عينات لخليط (غضار - رمل) لكل النسب المدروسة حوالي 150 غرام ثم تم متابعة التجربة حسب المواصفة القياسية (ASTM -D854).

كما تم إجراء تجربة الوزن النوعي على خليط التربة الرملية والغضارية بنسب محددة وبيين الجدول (3-4) نتائج هذه التجارب.

الجدول(3-4) قيم الوزن النوعي لخليط الرمل مع الغضار

نسبة الغضار	0%	10%	15%	20%	25%	30%
الوزن النوعي	2.63	2.64	2.66	2.68	2.7	2.72

ويوضح الشكل (2-4) صورة تجربة الوزن الحجمي للغضار .



الشكل (2-4) تجربة الوزن الحجمي للغضار

ويوضح الشكل (3-4) صورة تجربة الوزن النوعي للغضار .



الشكل (4-3) تجربة الوزن النوعي للغضار

ويوضح الشكل (4-4) صورة تجربة الوزن النوعي للرمل ..

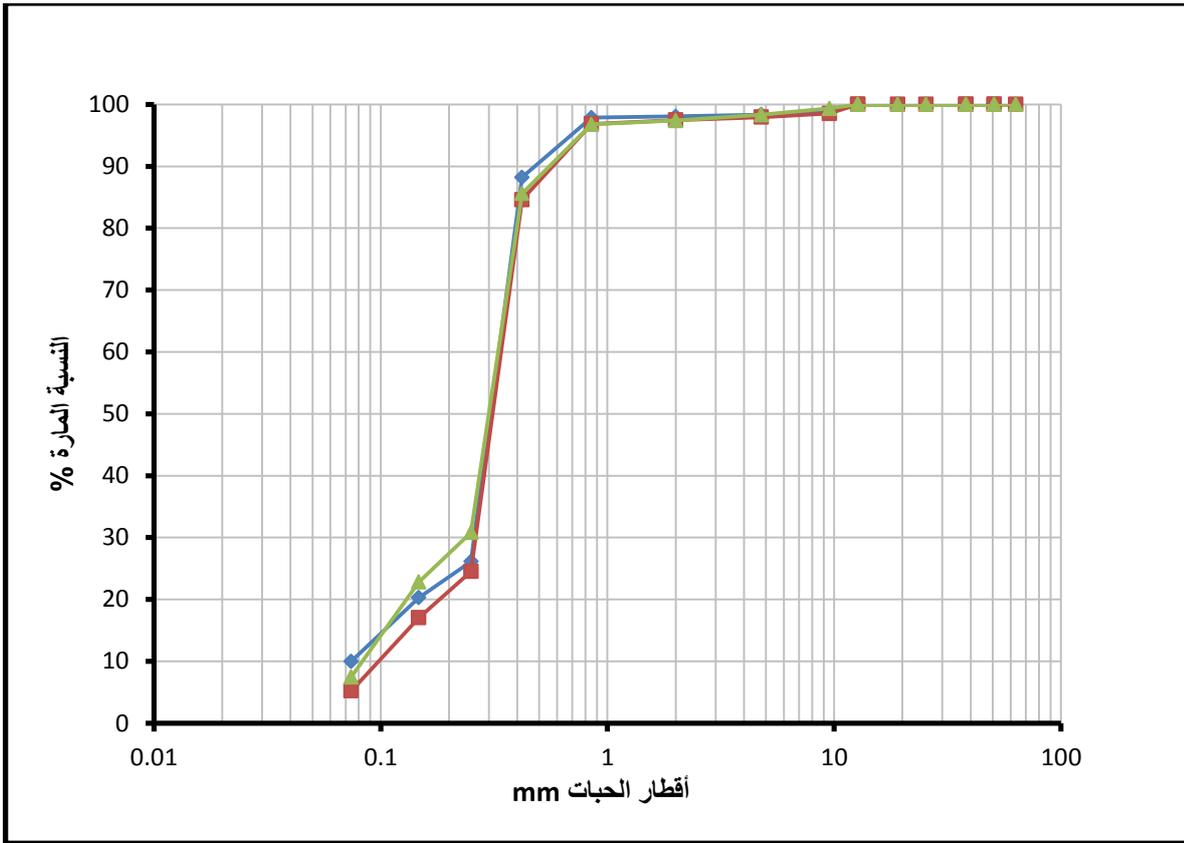


الشكل (4-4) تجربة الوزن النوعي للرمل

4-2-4 نتائج التجارب المخبرية المصنفة :

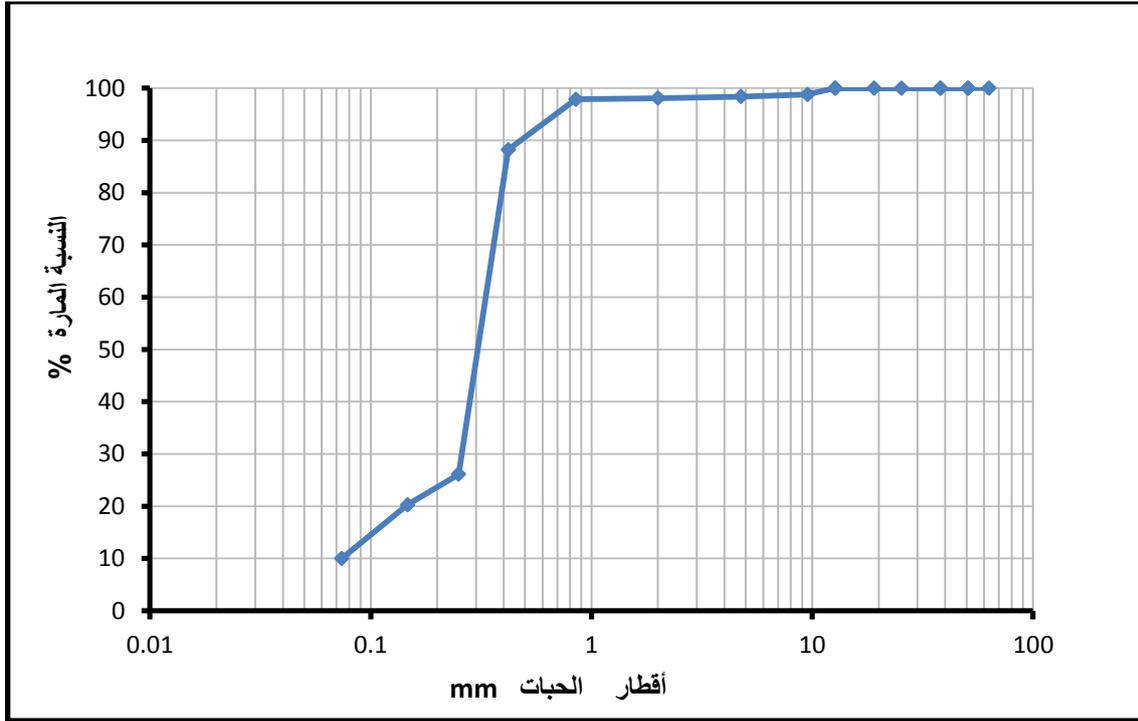
1-4-2-4 التربة الرملية:

تم تحضير 3 عينات من الرمل المدروس بعد تجفيفها في الفرن لمدة 24 ساعة بوزن حوالي 600 غرام، ثم متابعة التجربة حسب المواصفة القياسية (ASTM -D422) .
ويوضح الشكل (5-4) منحنى التدرج الحبي لثلاث عينات من الرمل المدروس:



الشكل (5-4) منحنى التدرج الحبي لثلاث عينات للتربة الرملية

ويبين الشكل (6-4) منحنى التدرج الحبي النهائي (الوسطي) .

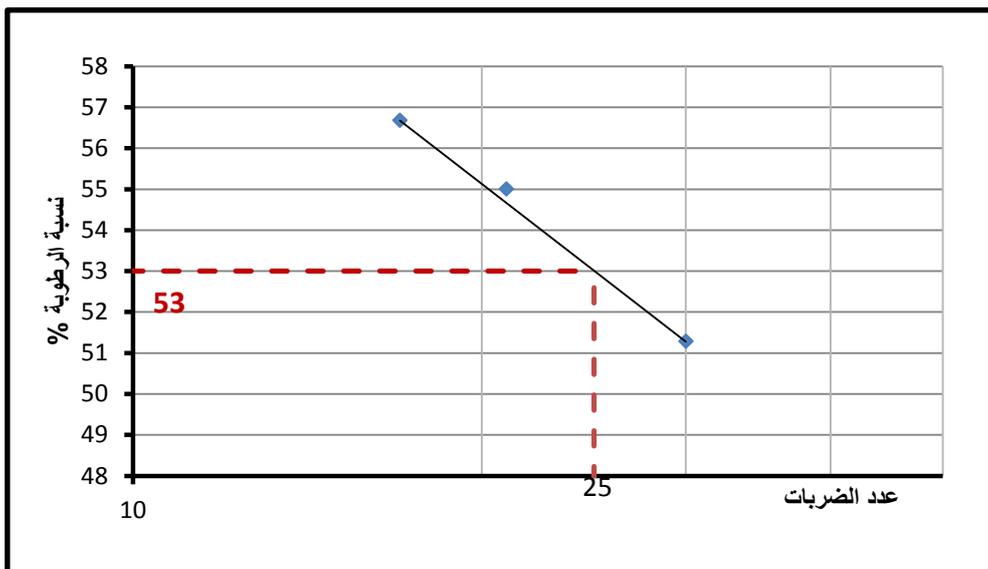


الشكل (4-6) منحنى التدرج الحبي للتربة الرملية

2-4-2-4 التربة الغضارية:

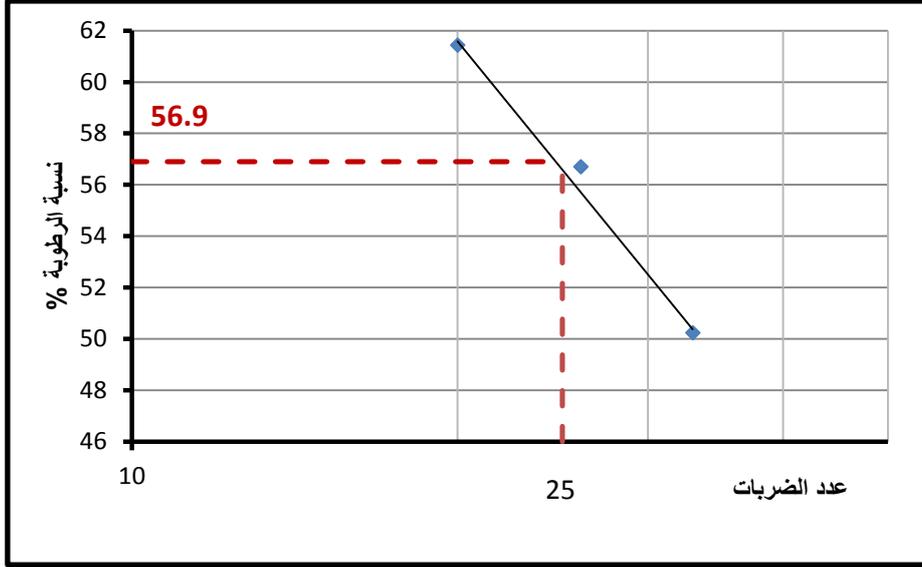
تم تحضير ثلاث عينات من التربة الغضارية المدروسة لاجراء كل من تجربة حدود أتربرغ وتجربة الترسيب بالهيدرومتر وفق المواصفة (ASTM-D4318-98) و (ASTM-D422).

وتبين الأشكال (7-4)، (8-4)، (9-4) نتائج حد السيولة لثلاث عينات من الغضار المدروس



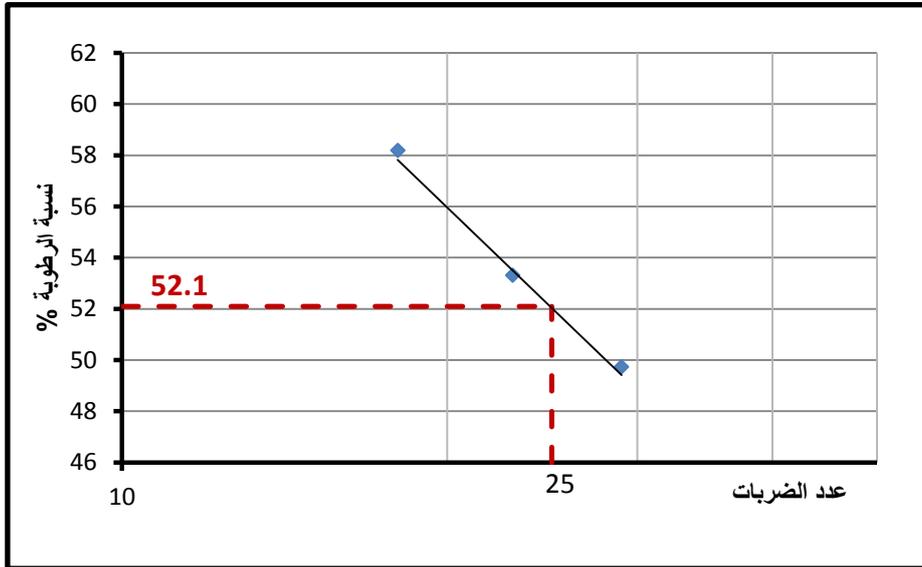
الشكل (7-4) حد السيولة للعينة (1) غضار

وحدة اللدونة الموافق للعيينة 1: $PL=28\%$



الشكل (4-8) حد السيولة للعيينة (2) غضار

وحدة اللدونة الموافق للعيينة 2: $PL=26\%$



الشكل (4-9) حد السيولة للعيينة (3) غضار

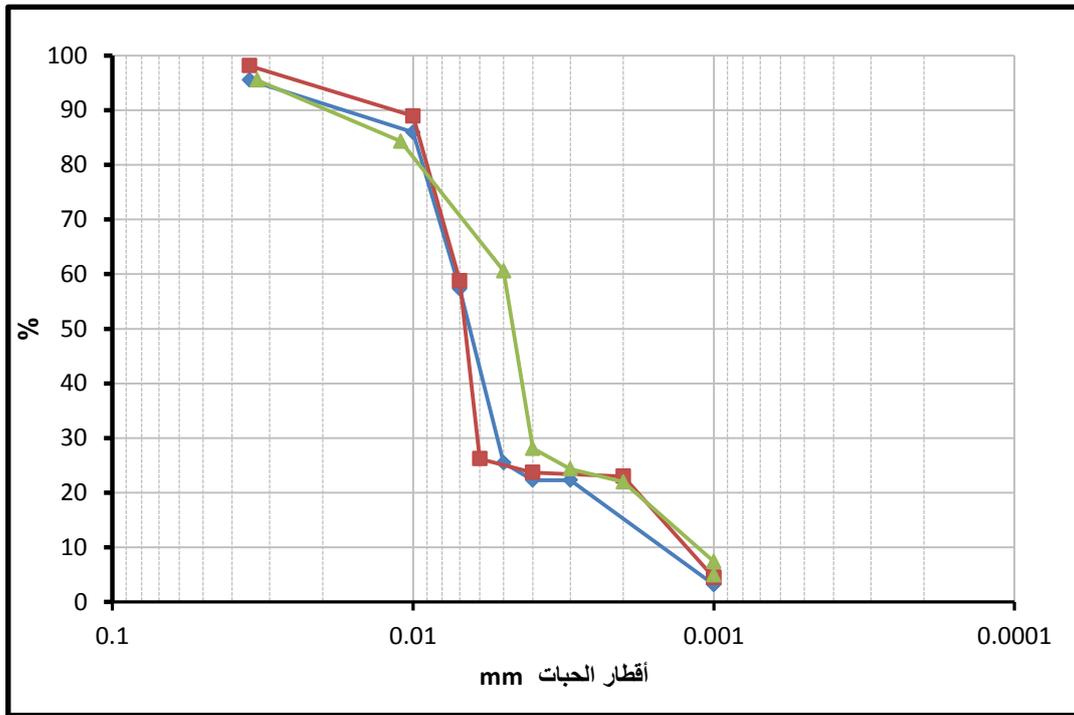
وحدة اللدونة الموافق للعيينة 3: $PL=29\%$

يوضح الجدول (4-4) قيم كلا من حدود السيولة واللدونة وقيمة قرينة اللدونة النهائية.

الجدول (4-4) حدود أتبرغ

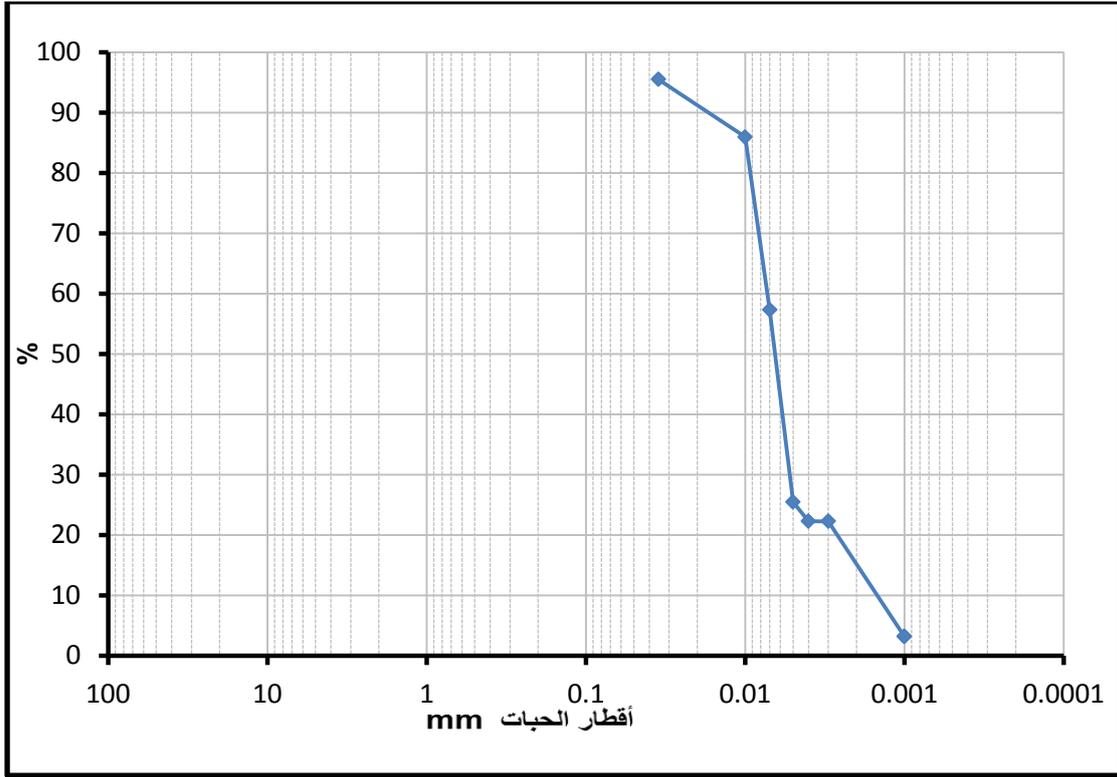
54	حد السيولة %
27.6	حد اللدونة %
26.4	قربة اللدونة %

كما يوضح الشكل (10-4) منحنى الترسيب بالهيدرومتر لثلاث عينات للتربة الغضارية المدروسة.



الشكل (10-4) منحنى الترسيب بالهيدرومتر لثلاث عينات من التربة الغضارية

كما يوضح الشكل (11-4) منحنى الترسيب بالهيدرومتر النهائي (الوسطى) للعينات الغضارية المدروسة .



الشكل (4-11) منحنى الترسيب بالهيدرومتر للعينة الغضارية المدروسة

3-4-2-4 تجربة حدود اتريغ للخليط:

تم تحضير ثلاث عينات من خلطات غضار - رمل لكافة النسب لإجراء تجربة حدود اتريغ على خليط التربة الرملية مع التربة الغضارية بالنسب المحددة ، يبين الجدول (4-5) قيم حد السيولة وحد اللدونة وقرينة اللدونة حسب نسب الخلط للغضار .

الجدول (4-5) قيم حد السيولة لخليط الرمل مع الغضار

نسبة الغضار	0%	10%	20%	25%	30%	40%
LL	0%	2%	9%	12.53%	15.10%	22.80%
PL	0%	1.1%	1.98%	3.43%	4.1%	5.21%
PI	0%	0.9%	7.02%	9.01%	11%	17.59%

ويوضح الشكل (4-12) تجربة حد السيولة عند نسبة خلط 40%.



الشكل (4-12) تجربة حد السيولة عند نسبة خلط 40%

4-2-5 دراسة القص في التربة :

4-2-5-1 تجربة القص السريع المباشر :

يتعلق موضوع البحث بشكل عام بتغير عوامل متانة التربة، لذلك يجب إجراء تجربة القص المباشر على العينات المدروسة والخليطة لاستخراج بارامترات القص (C, \emptyset) ، وذلك حسب المواصفة القياسية (ASTM - D 3080) وباستخدام جهاز القص المباشر المتوفر في مخبر ميكانيك التربة في كلية الهندسة المدنية جامعة دمشق. تم إجراء التجربة على ثلاث عينات لكل من الحالات المدروسة (رمل- غضار - خلائط رمل غضار) باعتماد الحمولات الشاقولية (4Kg-8Kg-12Kg) ، ثم تم أخذ كافة القراءات واستنتاج إجهادات القص، ومن ثم تم تحديد مواصفات القص $(C=التماسك, \emptyset=زاوية الاحتكاك الداخلي)$ لكل من الغضار والرمل والعينات الخليطة. ويوضح الشكل (4-13) صورة للجهاز الموجود في المخبر.

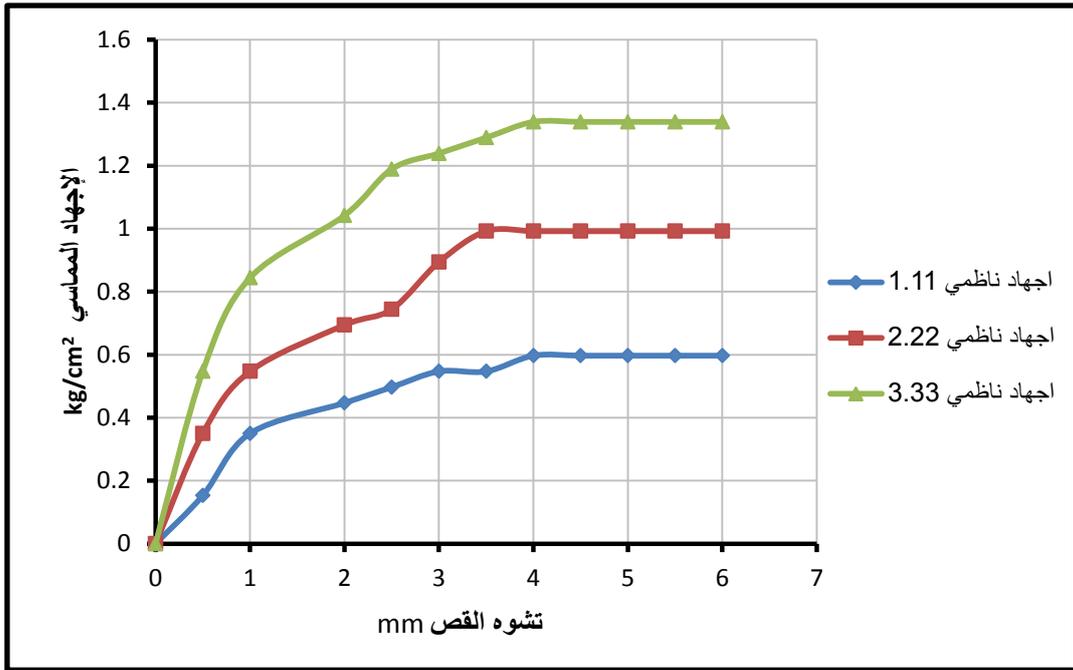


الشكل (4-13) جهاز القص في المخبر

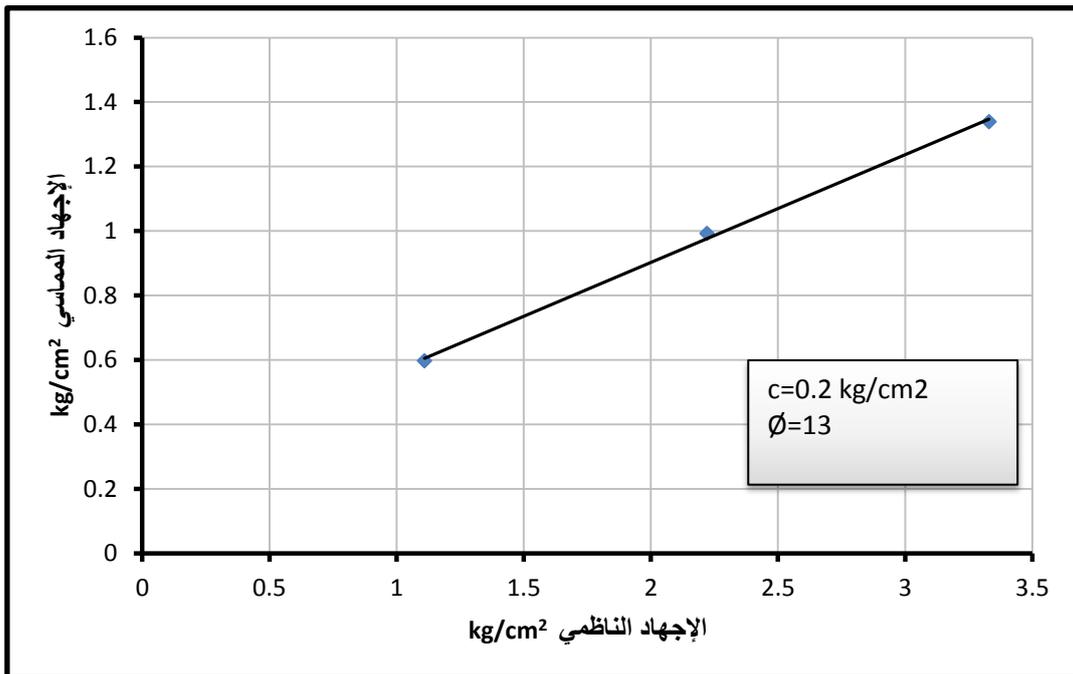
4-2-5-2 نتائج تجربة القص المباشر :

اولاً- تربة غضارية:

تم إجراء تجربة القص على العينة الغضارية المدروسة والنتائج المبينة في الشكل (4-14) ،
(4-15).



الشكل(4-14) منحنى (تشوه - إجهاد مماسي) تربة غضارية مدروسة



الشكل(4-15) مواصفات القص تربة غضارية مدروسة

يوضح الشكل (4-16) جهاز القص وداخله العينة.



الشكل(4-16) جهاز القص وداخله العينة

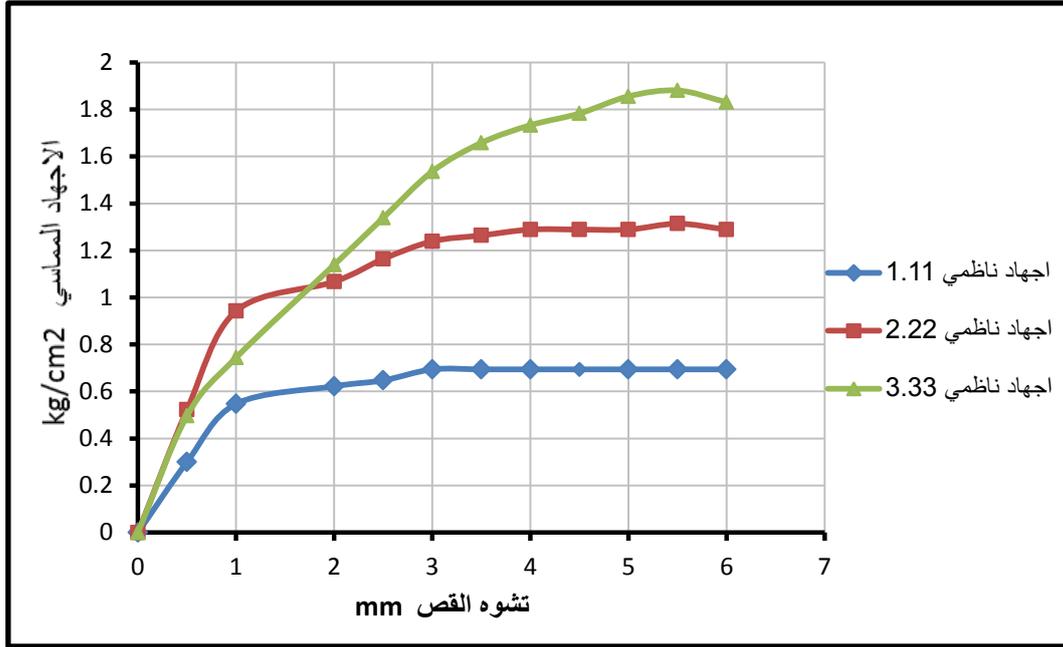
ثانياً- تربة رملية:

تم إجراء تجربة القص على العينة الرملية المدروسة وذلك حسب المعطيات الاولية المبينة في الجدول (4-6).

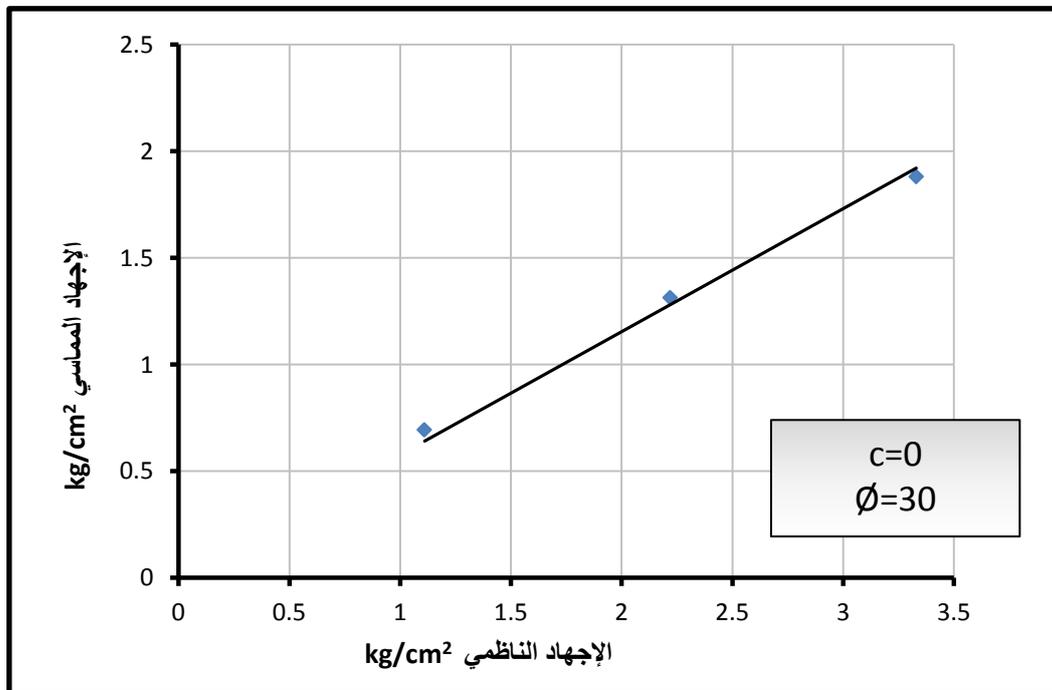
الجدول (4-6) المعطيات الاولية لتجربة القص على العينة الرملية

36 cm ²	مساحة مقطع العينة
2 cm	ارتفاع العينة
0.5 mm /min	سرعة القص

وتبين الأشكال (17-4) و (18-4) نتائج تجربة القص على التربة الرملية المدروسة:



الشكل (17-4)0 منحنى (تشوه - إجهاد مماسي) تربة رملية مدروسة



الشكل (18-4) مواصفات القص تربة رملية مدروسة

ثالثاً- خليط غضار - رمل:

تم إجراء تجربة القص المباشر على خليط من التريتين الرملية والغضارية بنسب محددة.

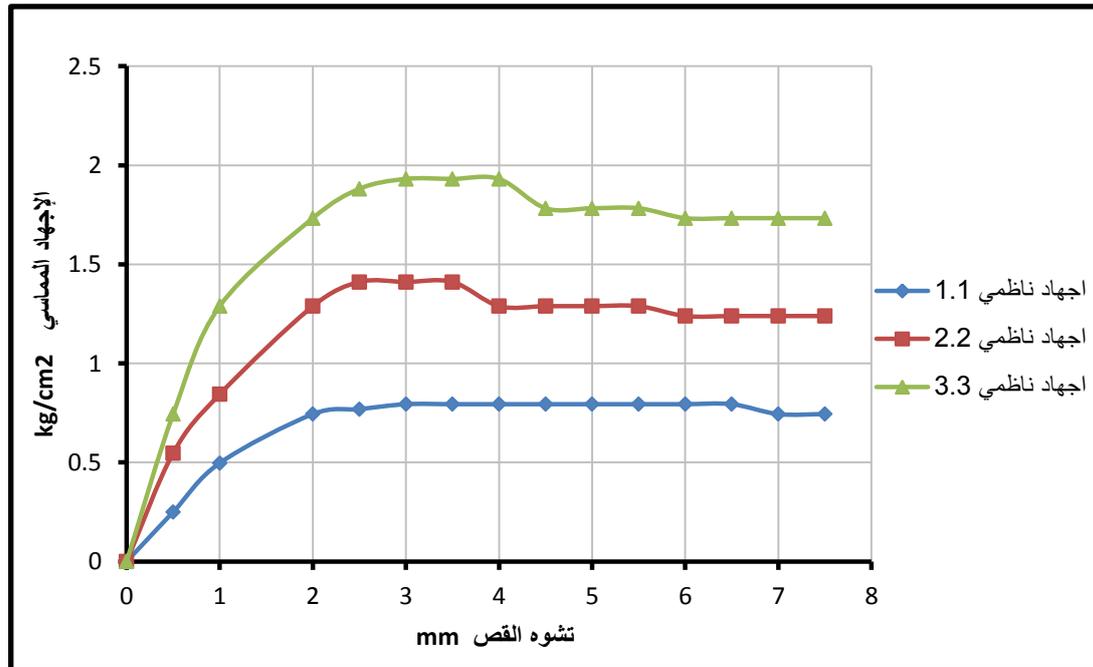
1- نسبة خلط غضار 10% ورمل 90%:

تم إجراء تجربة القص على العينة الرملية المدروسة وذلك حسب المعطيات الاولية المبينة في الجدول (7-4).

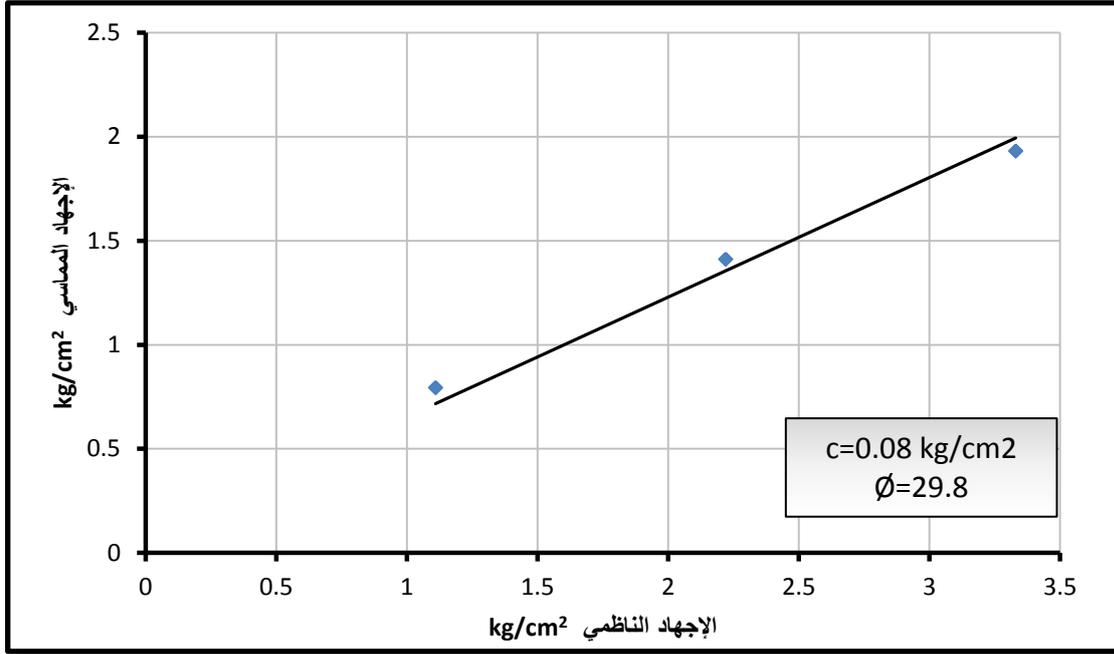
الجدول (7-4) المعطيات الاولية لتجربة القص على العينة الخليطة 10%

36 cm ²		مساحة مقطع العينة
2 cm		ارتفاع العينة
0.86 %		الرطوبة الابتدائية
نسبة الرطوبة	القوة الناظمية	الرطوبة النهائية
22.47 %	4 kg	
22.16 %	8 kg	
22.19 %	12 kg	
0.5 mm /min		سرعة القص

وتبين الأشكال (19-4) و(20-4) نتائج تجربة القص على الخليط المدروس.



الشكل (19-4) منحنى (تشوه - إجهاد مماسي) للخليط 10% غضار - 90% رمل



الشكل (4-20) مواصفات القص للخليط 10% غضار - 90% رمل

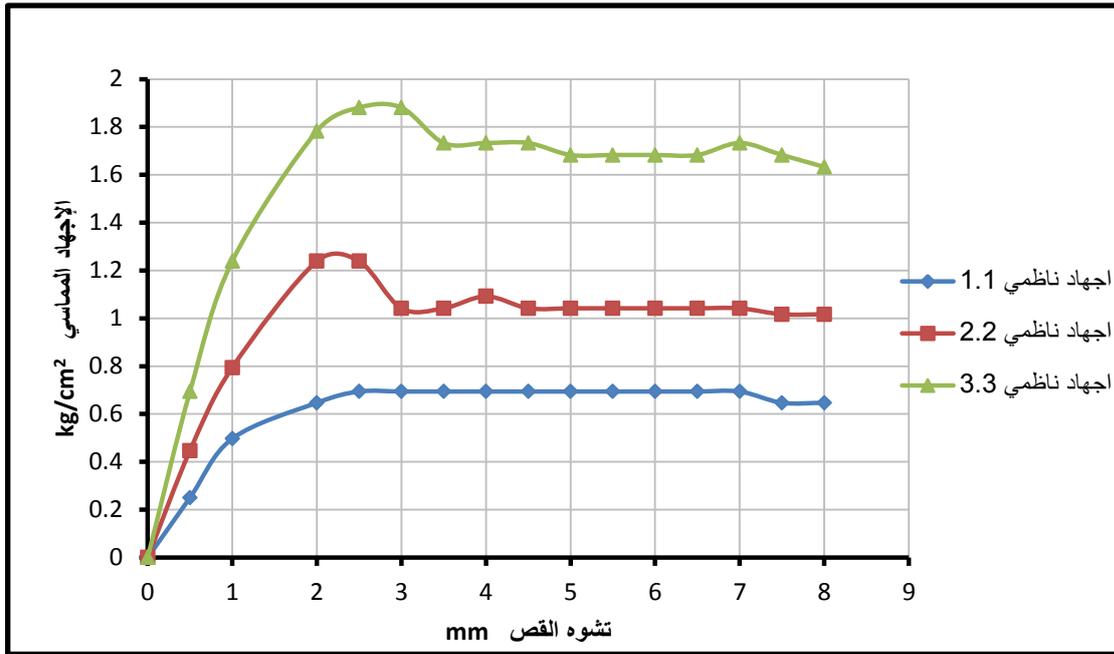
2- نسبة خلط غضار 15% ورمل 85%:

تم إجراء تجربة القص على العينة الرملية المدروسة وذلك حسب المعطيات الأولية المبينة في الجدول (4-8)

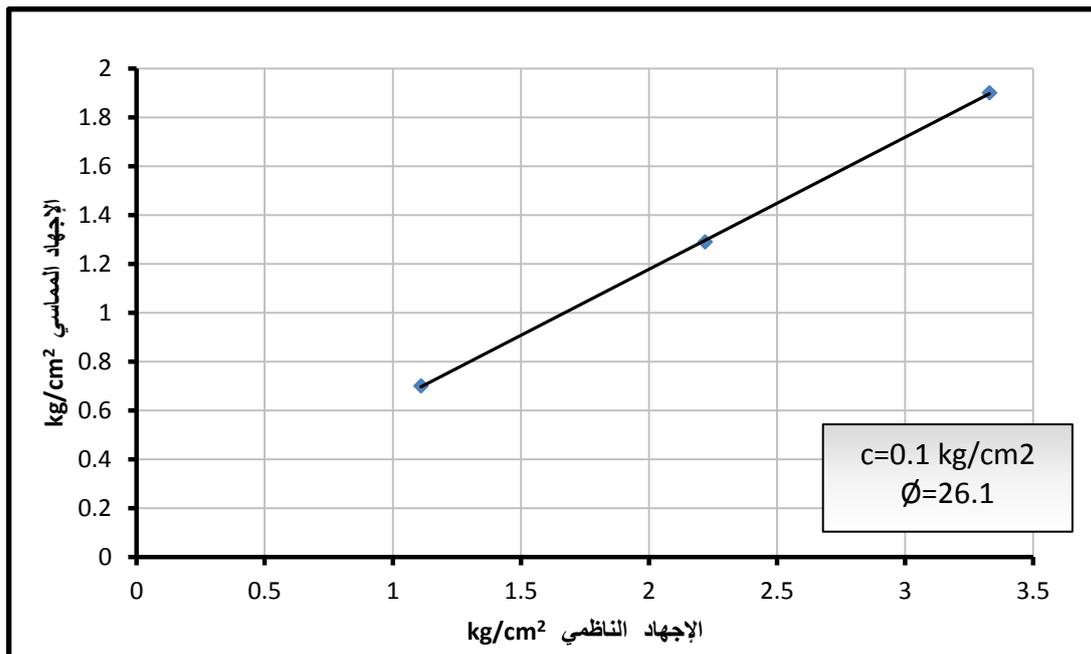
الجدول (4-8) المعطيات الأولية لتجربة القص على العينة الخليطة 15%

36 cm ²		مساحة مقطع العينة
2 cm		ارتفاع العينة
1.31 %		الرطوبة الابتدائية
نسبة الرطوبة	القوة الناطمية	الرطوبة النهائية
22.83 %	4 kg	
22.97 %	8 kg	
22.43 %	12 kg	
0.5 mm/min		سرعة القص

وتبين الأشكال (4-21) و(4-22) نتائج تجربة القص على الخليط المدروس.



الشكل (4-21) منحنى (تشوه - إجهاد مماسي) للخليط 15% غضار - 85% رمل



الشكل (4-22) مواصفات القص للخليط 15% غضار - 85% رمل

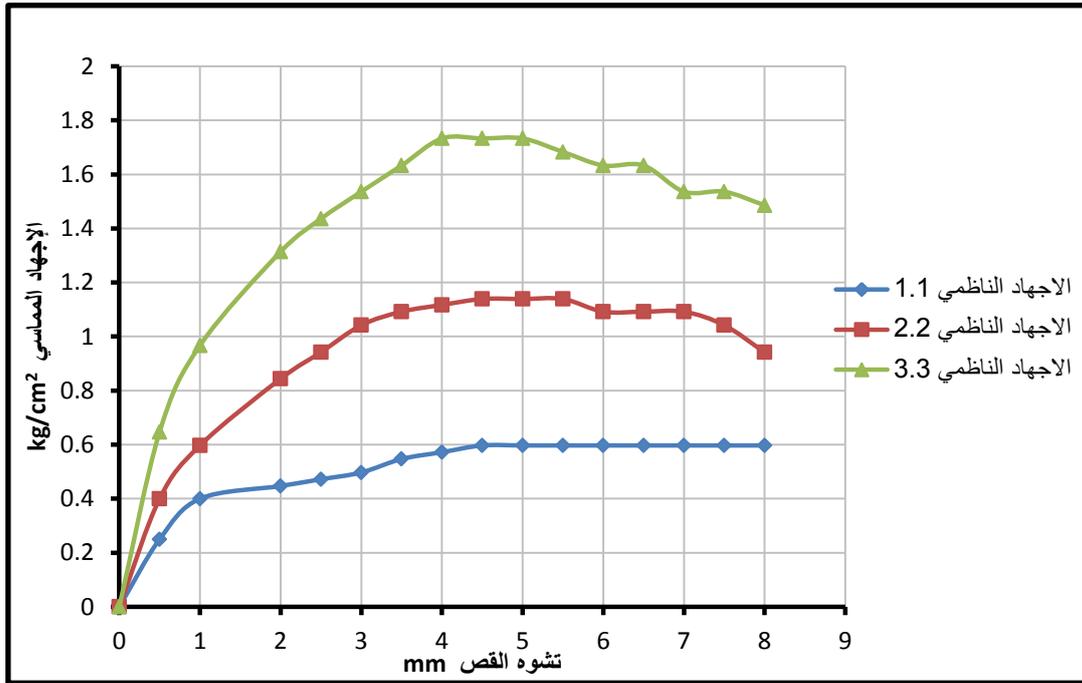
3- نسبة خلط غضار 20% ورمل 80%:

تم إجراء تجربة القص على العينة الرملية المدروسة وذلك حسب المعطيات الأولية المبينة في الجدول (4-9).

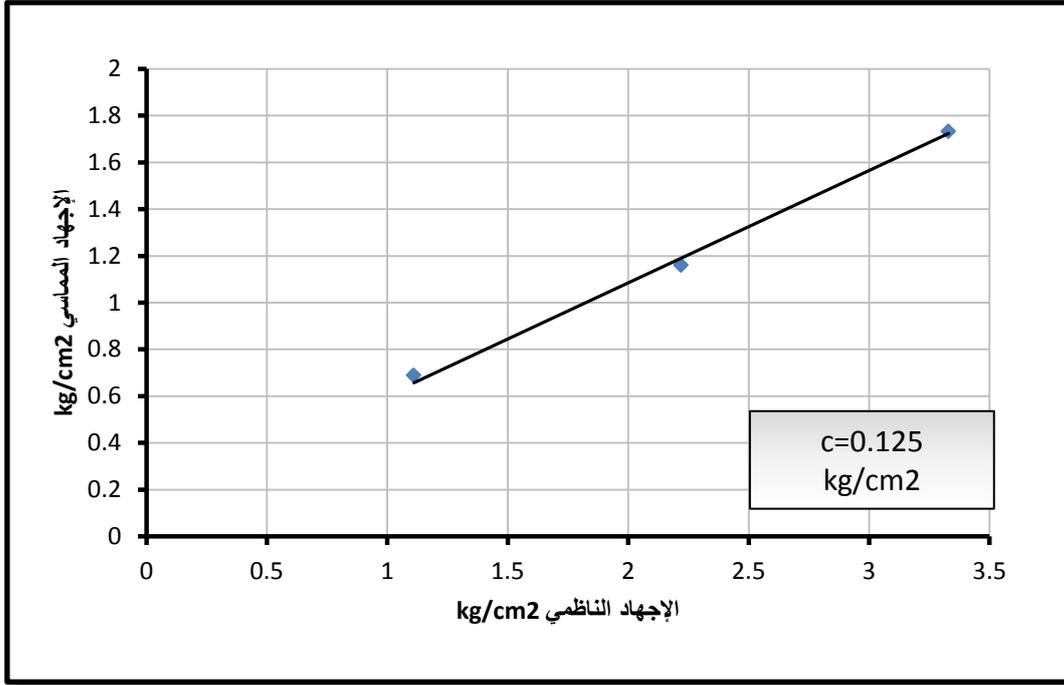
الجدول (4-9) المعطيات الأولية لتجربة القص على العينة الخليطة 20%

36 cm ²		مساحة مقطع العينة
2 cm		ارتفاع العينة
1.59 %		الرطوبة الابتدائية
نسبة الرطوبة	القوة الناظمية	الرطوبة النهائية
22.01 %	4 kg	
22.32 %	8 kg	
21.92 %	12 kg	
0.5 mm/min		سرعة القص

وتبين الأشكال (4-23) و(4-24) نتائج تجربة القص على الخليط المدروس.



الشكل (4-23) منحنى (تشوه - إجهاد مماسي) للخليط 20% غضار - 80% رمل



الشكل (4-24) مواصفات القص للخليط 20% غضار - 80% رمل

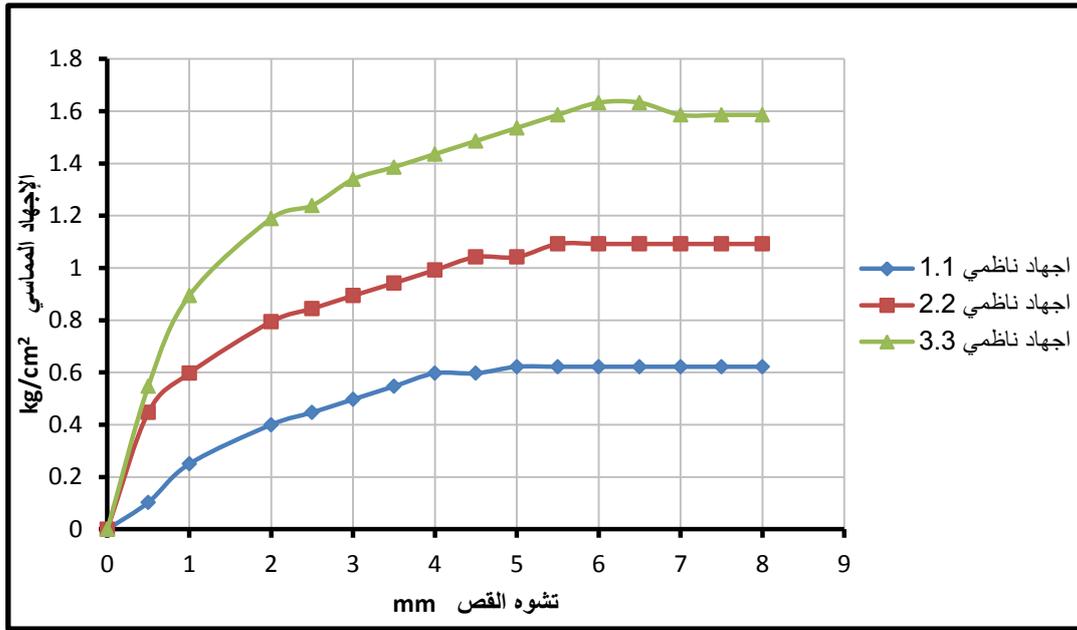
4- نسبة خلط غضار 25% ورمل 75%:

تم إجراء تجربة القص على العينة الرملية المدروسة وذلك حسب المعطيات الأولية المبينة في الجدول (4-10).

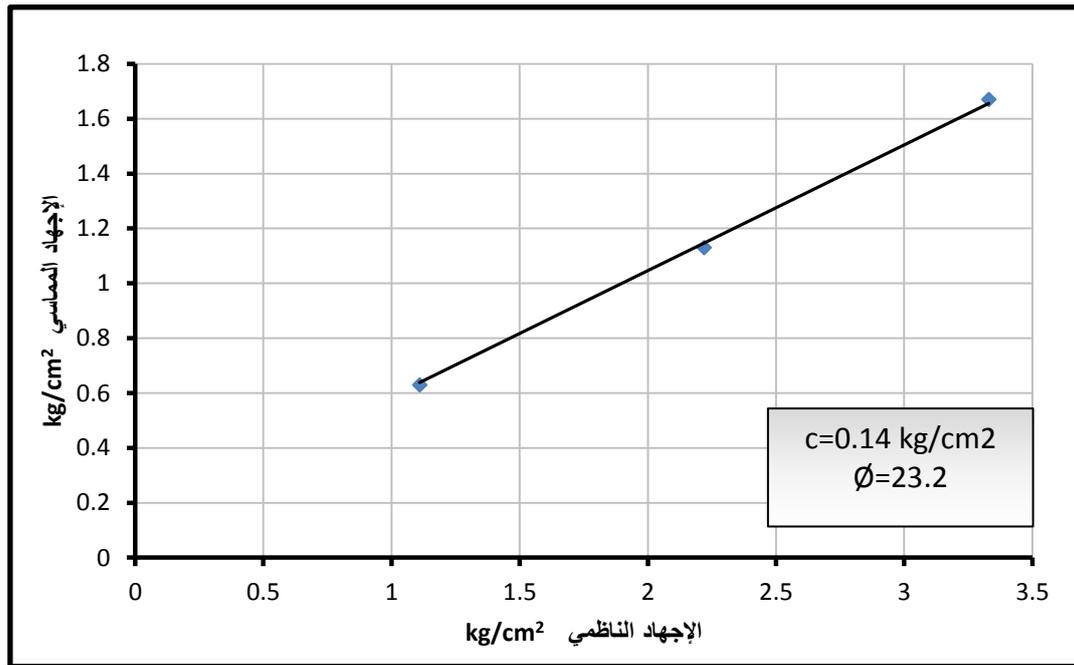
الجدول (4-10) المعطيات الأولية لتجربة القص على العينة الخليطة 25%

36 cm ²		مساحة مقطع العينة
2 cm		ارتفاع العينة
1.95 %		الرطوبة الابتدائية
نسبة الرطوبة	القوة الناظمية	الرطوبة النهائية
21.02 %	4 kg	
21.36 %	8 kg	
21.04 %	12 kg	
0.5 mm/min		سرعة القص

وتبين الأشكال (4-25) و (4-26) نتائج تجربة القص على الخليط المدروس.



الشكل (4-25) منحنى (تشوه - إجهاد مماسي) للخليط 25% غضار - 75% رمل



الشكل (4-26) مواصفات القص للخليط 25% غضار - 75% رمل

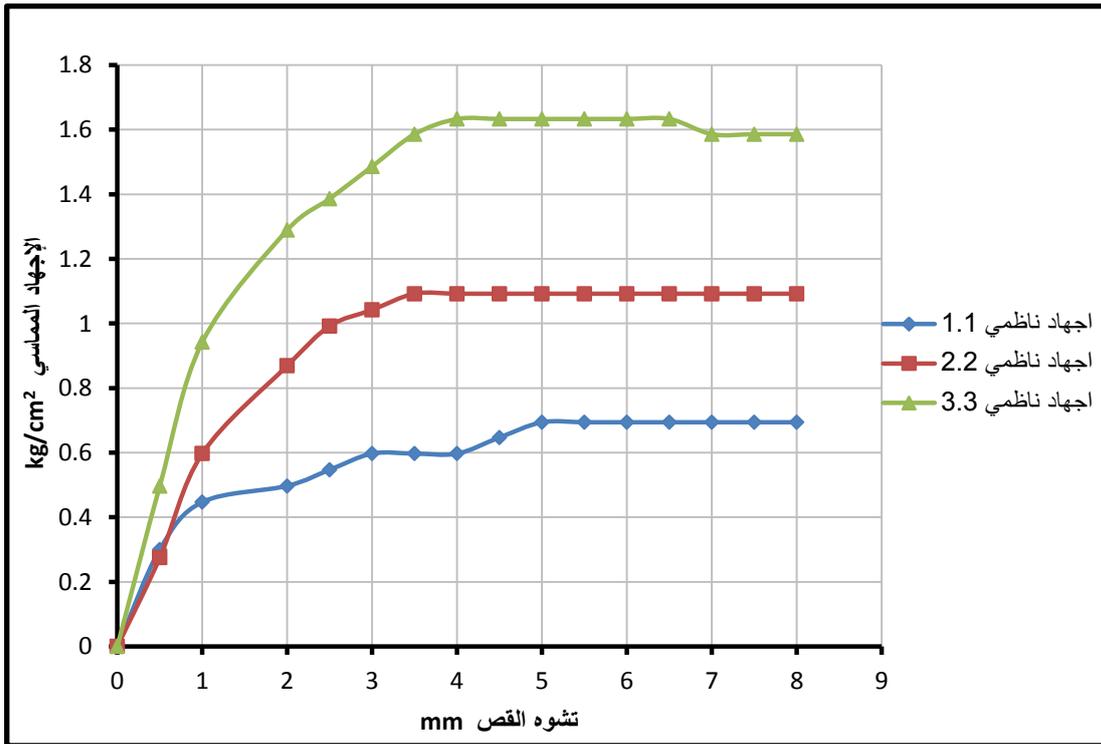
5- نسبة خلط غضار 30% ورمل 70%:

تم إجراء تجربة القص على العينة الرملية المدروسة وذلك حسب المعطيات الأولية المبينة في الجدول (4-11).

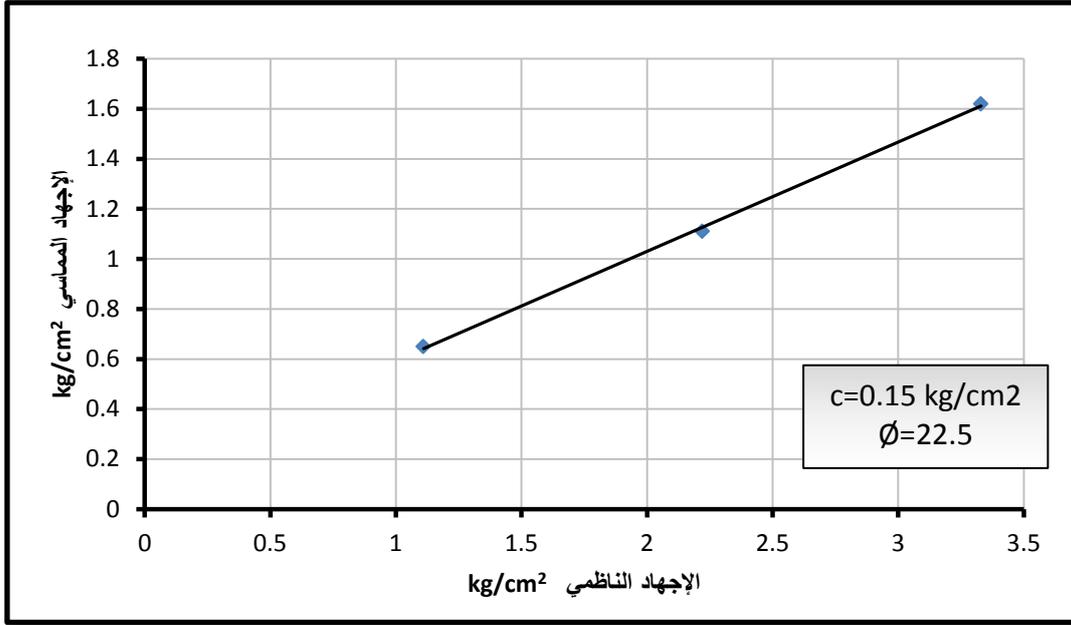
الجدول (4-11) المعطيات الأولية لتجربة القص على العينة الخليطة 30%

36 cm ²		مساحة مقطع العينة
2 cm		ارتفاع العينة
1.57 %		الرطوبة الابتدائية
نسبة الرطوبة	القوة النازمية	الرطوبة النهائية
20.37 %	4 kg	
20.54 %	8 kg	
20.16 %	12 kg	
0.5 mm/min		سرعة القص

وتبين الأشكال (4-27) و (4-28) نتائج تجربة القص على الخليط المدروس.



الشكل (4-27) منحنى (تشوه - إجهاد مماسي) للخليط 30% غضار - 70% رمل



الشكل (4-28) مواصفات القص للخليط 30% غضار - 70% رمل

ويبين الشكل (4-29) صورة توضيحية للعيينة عند نسبة 30% بعد القص عند 8 كغ



الشكل (4-29) صورة توضيحية للعيينة عند نسبة 30% بعد القص عند 8 كغ

ويبين الشكل (4-30) صورة توضيحية للعيينة عند نسبة 30% بعد القص عند 12 كغ



الشكل (4-30) صورة توضيحية للعيينة عند نسبة 30% بعد القص عند 12 كغ

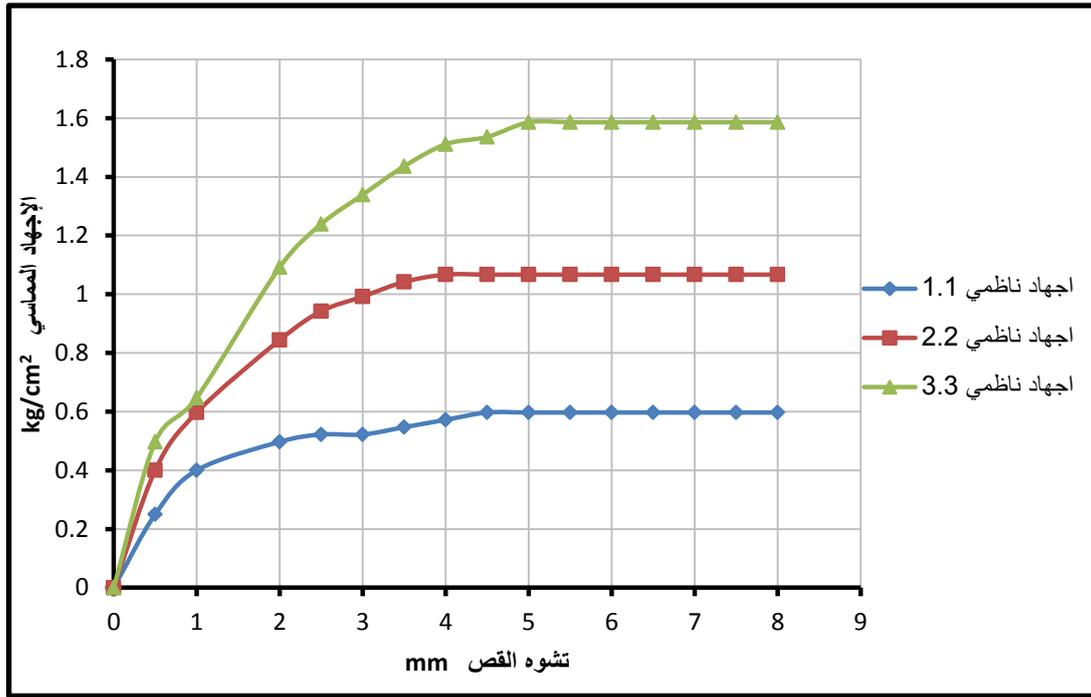
5- نسبة خلط غضار 40% ورمل 60%:

تم إجراء تجربة القص على العينة الرملية المدروسة وذلك حسب المعطيات الاولية المبينة في الجدول (4-12).

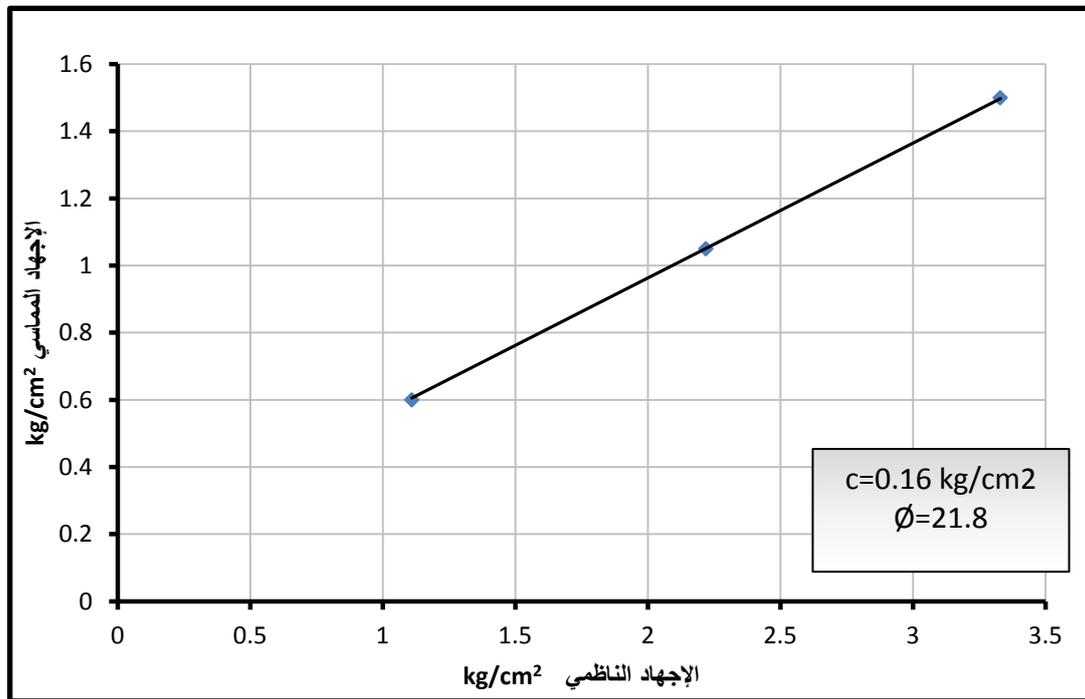
الجدول (4-12) المعطيات الاولية لتجربة القص على العينة الخليطة 40%

36 cm ²		مساحة مقطع العينة
4 cm		ارتفاع العينة
0.86 %		الرطوبة الابتدائية
نسبة الرطوبة	القوة الناظمية	الرطوبة النهائية
19.38 %	4 kg	
19.62 %	8 kg	
19.58 %	12 kg	
0.5 mm/min		سرعة القص

وتبين الأشكال (4-31) و(4-32) نتائج تجربة القص على الخليط المدروس.



الشكل (4-31) منحنى (تشوه - إجهاد مماسي) للخليط 40% غضار - 60% رمل



الشكل (4-32) مواصفات القص للخليط 40% غضار - 60% رمل

الفصل الخامس

تحليل النتائج

1-5 تمهيد:

قمنا في هذا الفصل بتحليل كافة النتائج المستخرجة من التجارب المذكورة في الفصل السابق ودراستها وربط المتغيرات ببعضها بمنحنيات وتحليلها بغية استخلاص استنتاجات البحث.

2-5 تصنيف التربة:

1-2-5 التربة الرملية:

1-1-2-5 تصنيف التربة الرملية:

يمكن من خلال دراسة منحنى التدرج الحبي المبين في الشكل (4-6) استنتاج ما يلي:

- نلاحظ أن العينة مؤلفة من رمل بنسبة 90% ومواد ناعمة مارة من المنخل رقم 200 بنسبة 10%.
- نلاحظ أن حوالي 3% من حبات العينة ذات قطر أكبر من 0.8 ميليمتر، وحوالي 10% من العينة يتراوح أقطار حباتها بين 0.8 و 0.3 ميليمتر.
- أما القسم الأكبر من العينة والذي يمثل 63% منها فيتراوح أقطار حباته بين 0.3 و 0.25 ميليمتر.
- وما تبقى من العينة الرملية والذي تبلغ نسبته 16% تقريبا فيتراوح اقطار حباته بين 0.25 و 0.075 ميليمتر.
- من نفس المنحنى نستخرج القيم التالية :

الجدول (1-5) قيم D10 , D30 , D60

D10	0.075
D30	0.25
D60	0.35

- ◀ D10: قطر الحبيبة والتي 10% من وزن العينة أقل قطراً منها .
- ◀ D30: قطر الحبيبة والتي 30% من وزن العينة أقل قطراً منها .
- ◀ D60: قطر الحبيبة والتي 60% من وزن العينة أقل قطراً منها .

ثم نوجد معامل تجانس منحنى التحليل الحبي ويعطى بالعلاقة :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

ونوجد أيضاً معامل انحلال منحنى التحليل الحبي ويعطى بالعلاقة :

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} D_{60}}$$

الجدول (2-5) قيم C_u , C_c

C_u	4.7
C_c	2.4

بناء على منحنى التدرج الحبي والقيم في الجدولين (1-5) و(2-5) ؛ و اعتماداً على الكود الأمريكي لتصنيف التربة (ASTM) الجدول (3-5)،

تصنف التربة الرملية المدروسة SP (Poorly Graded Sand) سيئة التدرج الحبي.

الجدول (5-3) تصنيف التربة

Unified Soil Classification System (Based on Material Passing 76.2-mm Sieve)				Group symbol	
Criteria for assigning group symbols					
Coarse-grained soils More than 50% of retained on No. 200 sieve	Gravels More than 50% of coarse fraction retained on No. 4 sieve	Clean Gravels	$C_u \geq 4$ and $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW	
		Less than 5% fines ^a	$C_u < 4$ and/or $1 > C_c > 3^c$	GP	
	Sands 50% or more of coarse fraction passes No. 4 sieve	Gravels with Fines	$PI < 4$ or plots below "A" line (Figure 5.3)	GM	
		More than 12% fines ^{a,d}	$PI > 7$ and plots on or above "A" line (Figure 5.3)	GC	
	Fine-grained soils 50% or more passes No. 200 sieve	Sands 50% or more of coarse fraction passes No. 4 sieve	Clean Sands	$C_u \geq 6$ and $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW
			Less than 5% fines ^b	$C_u < 6$ and/or $1 > C_c > 3^c$	SP
Silts and clays Liquid limit less than 50		Sands with Fines	$PI < 4$ or plots below "A" line (Figure 5.3)	SM	
		More than 12% fines ^{b,d}	$PI > 7$ and plots on or above "A" line (Figure 5.3)	SC	
Highly Organic Soils	Silts and clays Liquid limit less than 50	Inorganic	$PI > 7$ and plots on or above "A" line (Figure 5.3) ^e	CL	
		Organic	$PI < 4$ or plots below "A" line (Figure 5.3) ^e	ML	
	Silts and clays Liquid limit 50 or more	Organic	$\frac{\text{Liquid limit — oven dried}}{\text{Liquid limit — not dried}} < 0.75$; see Figure 5.3; OL zone	OL	
			PI plots on or above "A" line (Figure 5.3)	CH	
	Primarily organic matter, dark in color, and organic odor	Organic	PI plots below "A" line (Figure 5.3)	MH	
			$\frac{\text{Liquid limit — oven dried}}{\text{Liquid limit — not dried}} < 0.75$; see Figure 5.3; OH zone	OH	
Pt					

^aGravels with 5 to 12% fine require dual symbols: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.
^bSands with 5 to 12% fines require dual symbols: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.
^c $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$
^dIf $4 \leq PI \leq 7$ and plots in the hatched area in Figure 5.3, use dual symbol GC-GM or SC-SM.
^eIf $4 \leq PI \leq 7$ and plots in the hatched area in Figure 5.3, use dual symbol CL-ML.

2-1-2-5 ملخص الخواص الفيزيائية والمصنفة للتربة الرملية:

الجدول (4-5) ملخص خصائص التربة الرملية

TEST	Value	Specification
Moisture content %	0.45	ASTM D2216-05
Unite Weight g/cm ³	1.6	ASTM-D7263
Specific Gravity Gs	2.63	ASTM D854
Grain Size Distribution		ASTM D422
Sand %	90	
Clay and Silt %	10	
Classification According to Unified Classification System	SP (سيئة التدرج الحبي)	USCS

2-2-5 التربة الغضارية:

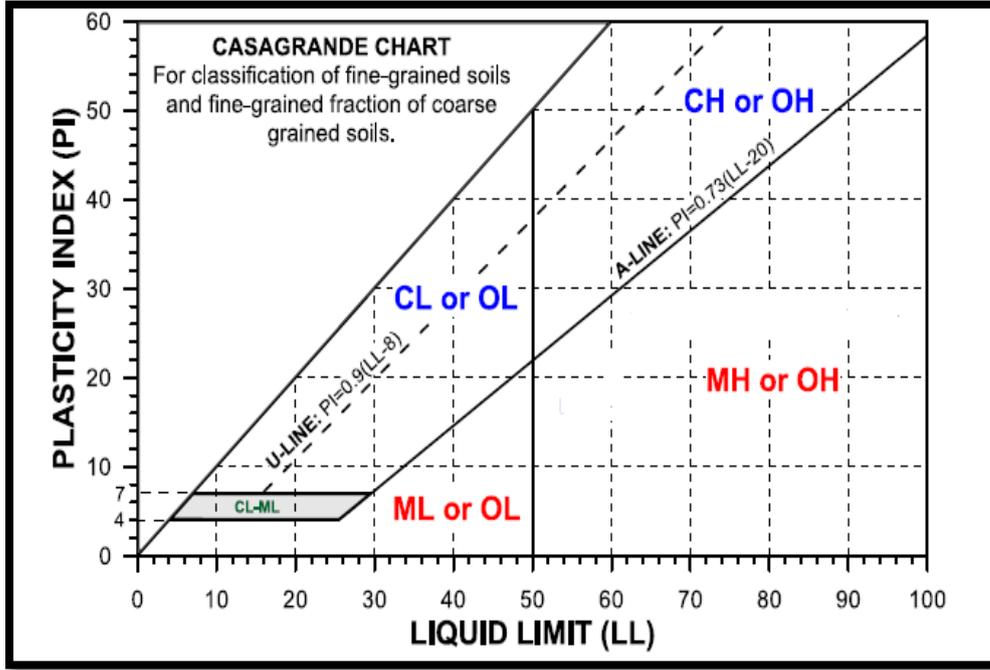
1-2-2-5 تصنيف التربة الغضارية :

يتم تصنيف التربة الناعمة اعتماداً على العلاقة بين حد السيولة وقرينة اللدونة.

يقسم الشكل (1-5) التربة الناعمة في مجموعتين اعتماداً على حد السيولة :

LL < 50 : L groups -

LL > 50 : H groups -



الشكل (5-1) تصنيف التربة الغضارية

ومن دراسة منحنى الترسيب الهيدرومتر للعيينة الغضارية الموضح بالشكل (4-11) أن العينة تقسم إلى قسمين حسب تصنيف ASTM لأقطار الحبات:

3- القسم الأول من العينة والذي تبلغ نسبته حوالي 70% من العينة تتراوح أقطار حباته

بين 35 ميكرومتر و 5 ميكرومتر. والذي يصنف بالسيلت حسب نظام ASTM.

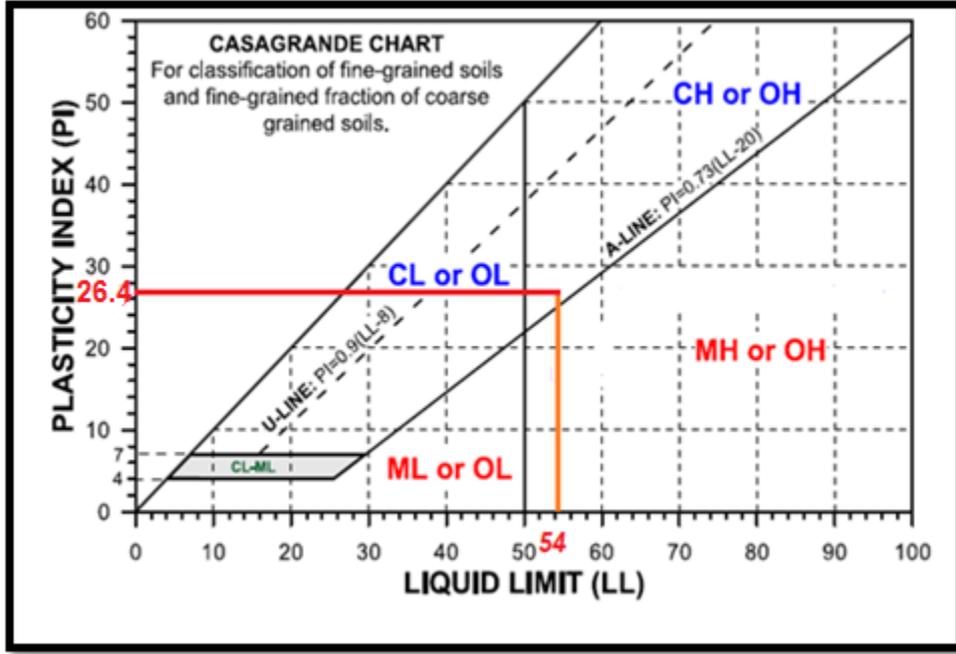
4- ونلاحظ ان القسم الثاني من المنحنى والذي يبلغ حوالي ال 22% من العينة أقطار

حباته أصغر من 5 ميكرومتر وهو يصنف كغضار حسب ASTM.

ومنه بناء على منحنى الترسيب بالهيدرومتر، وعلى نتائج تجربة حدود أتربرغ، واعتماداً على

الكود الأمريكي لتصنيف التربة (ASTM). تصنف التربة الغضارية المدروسة:

CH (غضار عالي اللدونة). ويبين الشكل (5-2) تصنيف التربة الغضارية المدروسة.



الشكل (2-5) تصنيف التربة الغضارية المدروسة

2-2-2-5 ملخص الخواص الفيزيائية والمصنفة للتربة الغضارية:

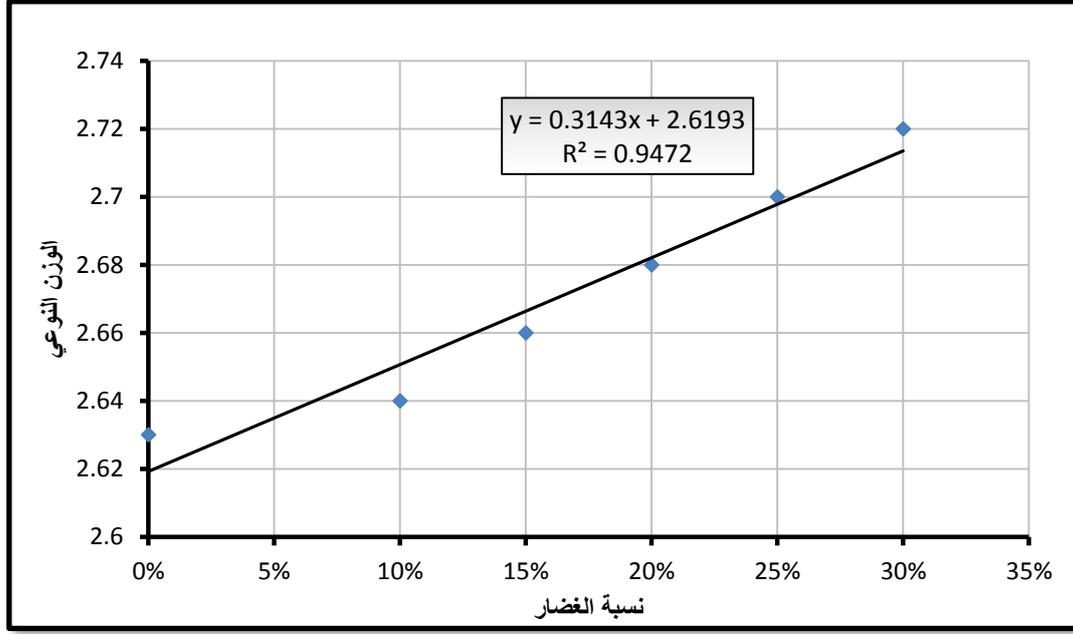
الجدول (5-5) ملخص خواص التربة الغضارية

TEST	Value	Specification
Moisture content %	6.08	ASTM D2216-05
Unite Weight g/cm ³	1.79	ASTM-D7263
Specific Gravity Gs	2.69	ASTM D854
Consistency Limit		ASTM D4318-98
Liquid limit	54	
Plastic limit	27.6	
Plasticity index	26.4	
Grain Size Distribution		ASTM D422
Sand %	8	
Clay and Silt %	92	
Classification According to Unified Classification System	CH(غضار عالي اللدونة)	USCS

3-5 تحليل نتائج تجارب خليط التربة:

1-3-5 تغيرات الوزن النوعي مع نسب الخلط:

يوضح الشكل (3-5) تغير قيم الوزن النوعي مع تزايد نسبة الغضار في الخليط:



الشكل (3-5) تغير قيم الوزن النوعي للخليط حسب نسبة الغضار

يظهر بشكل واضح التزايد الحاصل في قيمة الوزن النوعي مع زيادة نسبة الغضار المضافة إلى التربة الرملية ونلاحظ ازدياد قيمة الوزن النوعي من قيمة 2.63 الموافقة لعدم وجود أي غضار في الخليط إلى القيمة 2.72 الموافقة لنسبة 30% من الغضار المضاف. وتكون هذه الزيادة حسب المعادلة التالية:

$$y = 0.3143x + 2.6193$$

$$R^2 = 0.9472 ; x=[0\%-30\%]$$

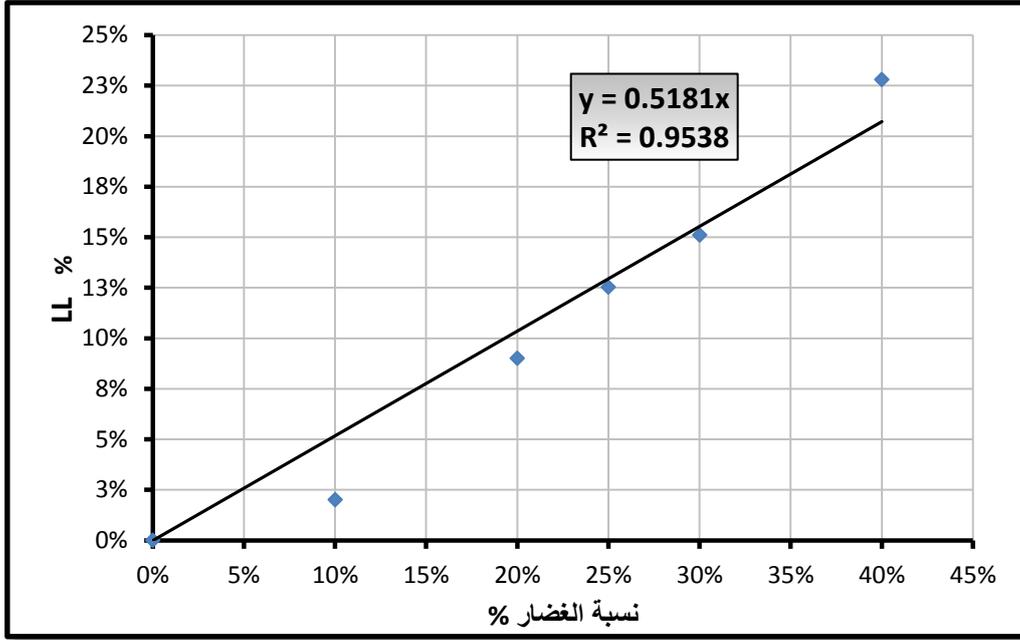
وذلك نتيجة اضافة نسب متزايدة من الغضار ذو الوزن النوعي المرتفع مقارنة بالرمل.

2-3-5 تغيرات حد السيولة مع نسب الخلط:

يوضح الشكل (4-5) تغير قيمة حد السيولة مع تزايد نسبة الغضار في الخليط.

يوضح الشكل (5-5) تغير قيمة حد اللدونة مع تزايد نسبة الغضار في الخليط.

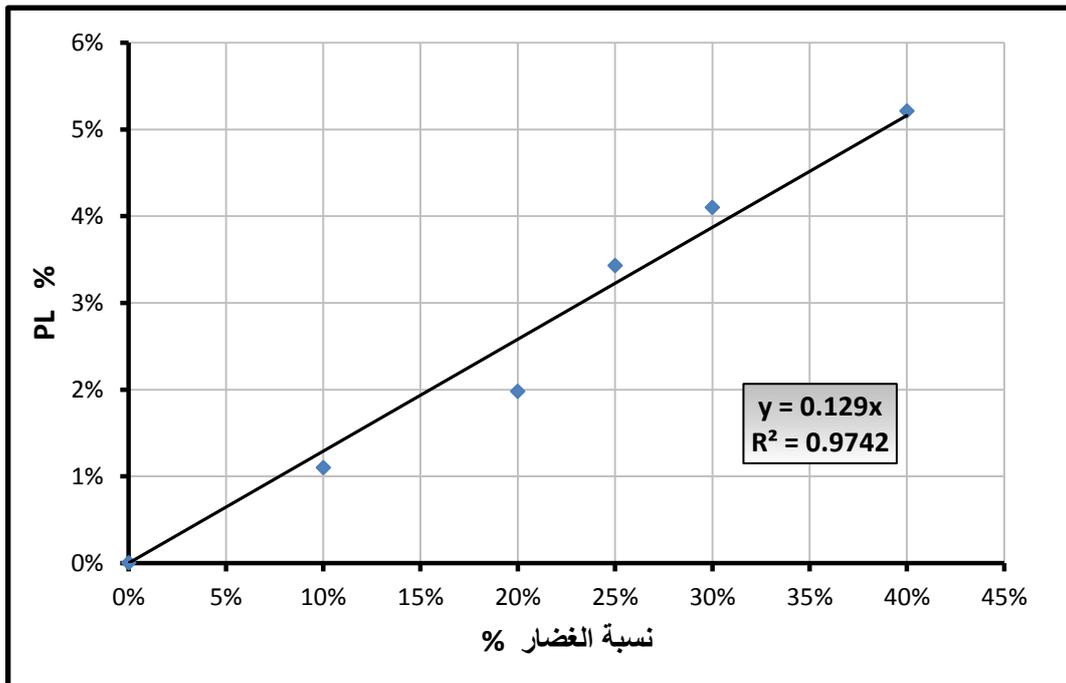
يوضح الشكل (6-5) تغير قيمة قربة اللدونة مع تزايد نسبة الغضار في الخليط.



الشكل (4-5) تغير قيمة حد السيولة للخليط حسب نسبة الغضار

يظهر من الشكل التزايد الحاصل في قيمة حد السيولة مع زيادة نسبة الغضار المضافة إلى التربة الرملية ونلاحظ ازدياد قيمة حد السيولة من القيمة صفر الموافقة لعدم وجود أي غضار في الخليط إلى القيمة 22.8% الموافقة لنسبة 40% من الغضار المضاف. وتكون الزيادة حسب المعادلة التالية :

$$R^2 = 0.9538 \quad \text{و} \quad y = 0.5181x \quad ; \quad x=[0\%-40\%]$$



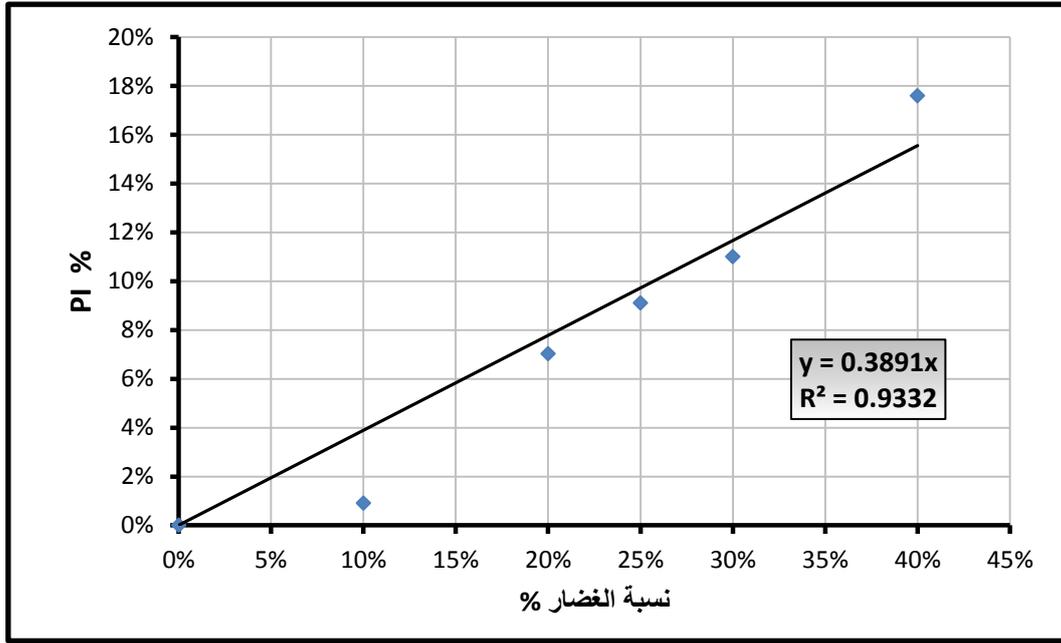
الشكل (5-5) تغير قيمة حد اللدونة للخليط حسب نسبة الغضار

يظهر من الشكل التزايد الحاصل في قيمة حد اللدونة مع زيادة نسبة الغضار المضافة إلى التربة الرملية ونلاحظ ازدياد قيمة حد اللدونة من القيمة صفر الموافقة لعدم وجود أي غضار في الخليط إلى القيمة 5.21% الموافقة لنسبة 40% من الغضار المضاف. وتكون الزيادة حسب المعادلة التالية :

$$y = 0.129x$$

$$R^2 = 0.9742 \quad ; \quad x=[0\%-40\%]$$

X: نسبة الخلط .



الشكل (5-6) تغير قيمة قرينة اللدونة للخليط حسب نسبة الغضار

يظهر من الشكل التزايد الحاصل في قيمة قرينة اللدونة مع زيادة نسبة الغضار المضافة إلى التربة الرملية ونلاحظ ازدياد قيمة قرينة اللدونة من القيمة صفر الموافقة لعدم وجود أي غضار في الخليط إلى القيمة 17.59% الموافقة لنسبة 40% من الغضار المضاف. وتكون الزيادة حسب المعادلة التالية :

$$y=0.3891x$$

$$R^2 = 0.9332 \quad ; \quad x=[0\%-40\%]$$

X: نسبة الخلط .

ونفس التغيرات الحاصلة في حد السيولة وحد اللدونة وقرينة اللدونة نتيجة إضافة نسب متزايدة من الغضار نظراً أنه لا يوجد حد سيولة وحد لدونة للرمل، ومع تزايد نسبة الغضار ظهرت قيمة

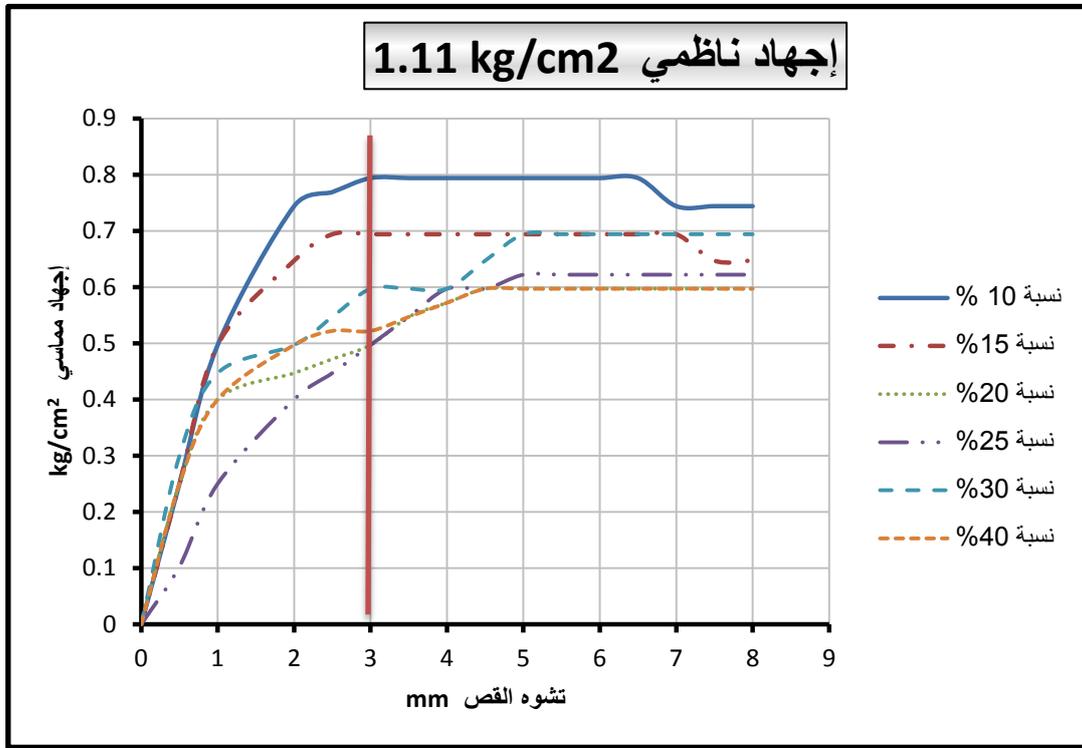
لحد السيولة ولحد اللدونة وهذا يدل أنه بتزايد نسبة الغضار يصبح سلوك الخليط أقرب لسلوك الغضار منه سلوك الرمل الصافي .

3-3-5 تغيرات مواصفات القص مع نسب الخلط:

1-3-3-5 ملخص منحنيات القص لكافة نسب الخلط:

أولاً: منحنى (الإجهاد المماسي - تشوه القص) حمولة 4kg:

(الإجهاد الناظمي = 1.11 kg/cm^2) الشكل (5-7).



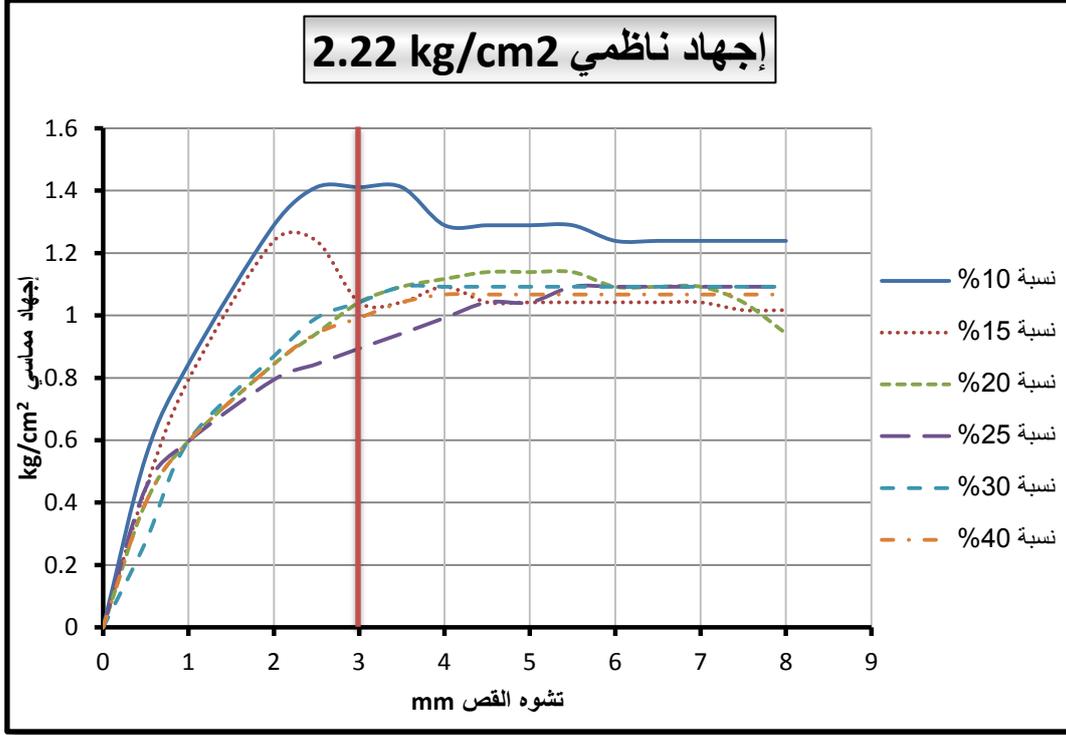
الشكل (5-7) منحنى (الإجهاد المماسي - التشوه) كافة نسب الخلط حمولة 4KG

نجد من الشكل أن المنحنيات (إجهاد مماسي - تشوه القص) الموافقة لجميع نسب الخلط وعند الحمولة 4kg، يتزايد فيها تشوه القص مع زيادة الاجهاد المماسي حتى قيمة التشوه تساوي 3mm حينها يبدأ بالثبات تقريباً، وهذا يتوافق مع السلوك المرن - اللدن التام.

ثانياً: منحنى (الإجهاد المماسي - تشوه القص) حمولة 8kg:

(الإجهاد الناظمي = 2.22 kg/cm^2) الشكل (5-8).

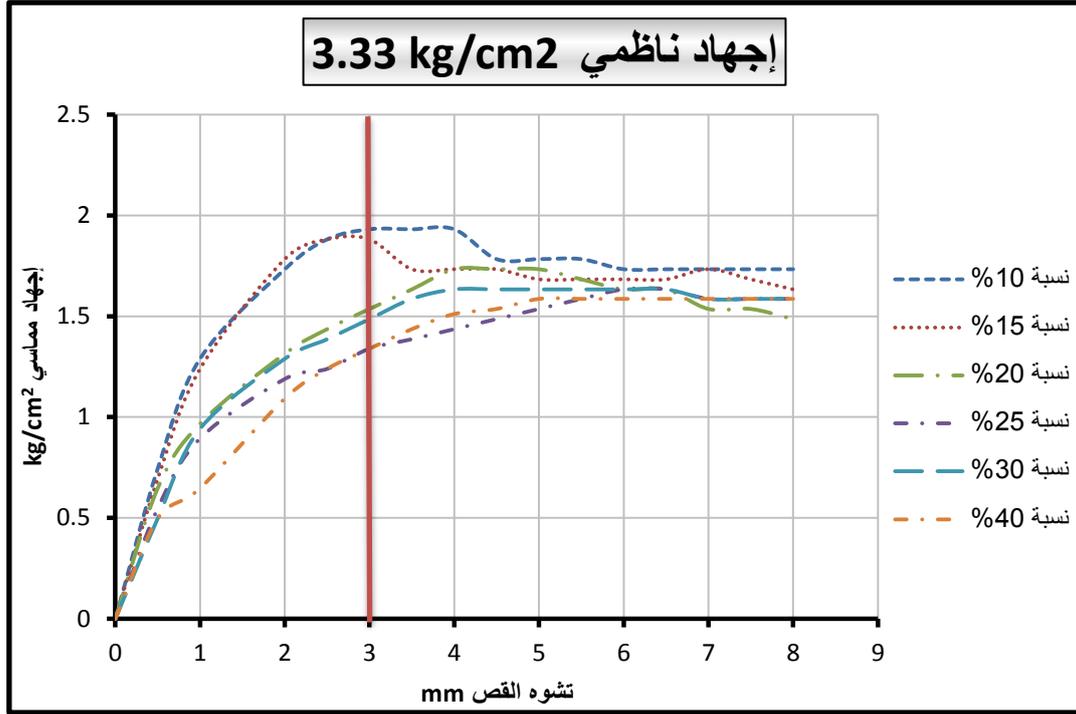
نجد من الشكل أن المنحنيات (إجهاد مماسي - تشوه القص) الموافقة لجميع نسب الخلط وعند الحمولة 8kg، يتزايد فيها تشوه القص مع زيادة الإجهاد المماسي حتى قيمة التشوه تساوي 3mm حينها يبدأ بالثبات تقريباً، وهذا يتوافق مع السلوك المرن - اللدن التام.



الشكل (5-8) منحنى (الإجهاد المماسي - تشوه القص) كافة نسب الخلط حمولة 8KG

ثالثاً: منحنى (الإجهاد المماسي - تشوه القص) حمولة 12kg:

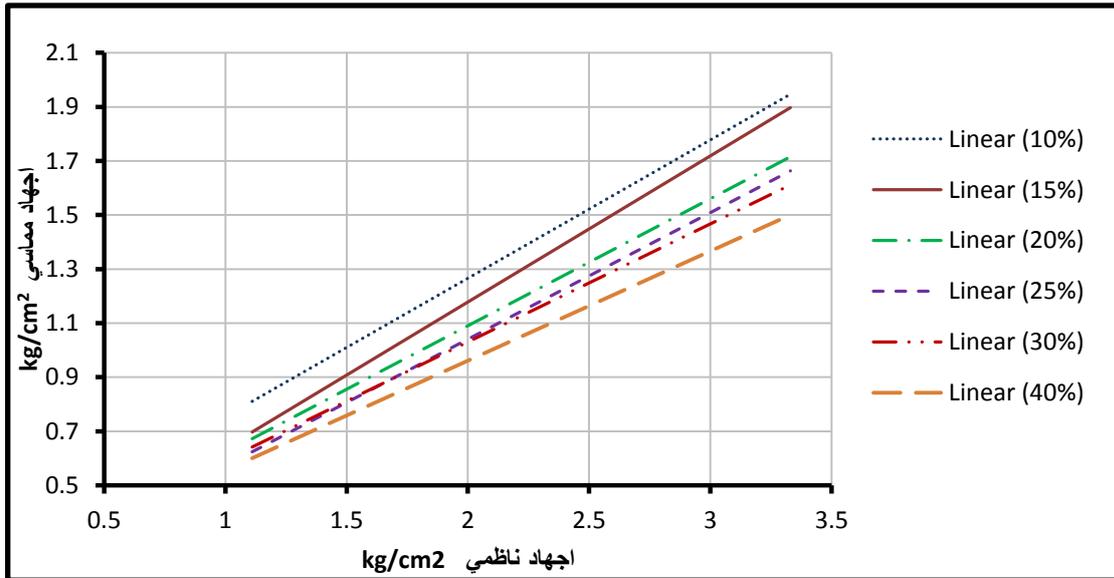
(الإجهاد الناظمي = 3.33kg/cm²)، الشكل (5-9).



الشكل (5-9) منحنى (الإجهاد المماسي - التشوه) كافة نسب الخلط حمولة 12KG

نجد من الشكل أن المنحنيات (إجهاد مماسي - تشوه القص) الموافقة لجميع نسب الخلط وعند الحمولة 12 kg، يتزايد فيها تشوه القص مع زيادة الإجهاد المماسي حتى قيمة التشوه تساوي 3mm حينها يبدأ بالثبات تقريباً، وهذا يتوافق مع السلوك المرن - اللدن التام.

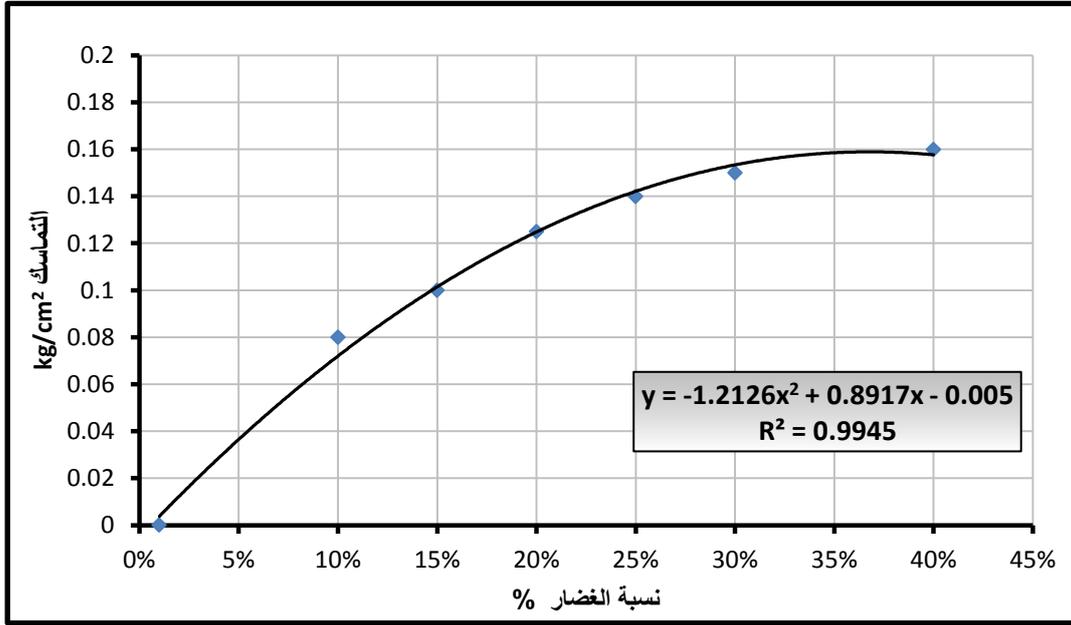
رابعاً: منحنى (الإجهاد المماسي - الإجهاد الناظمي):



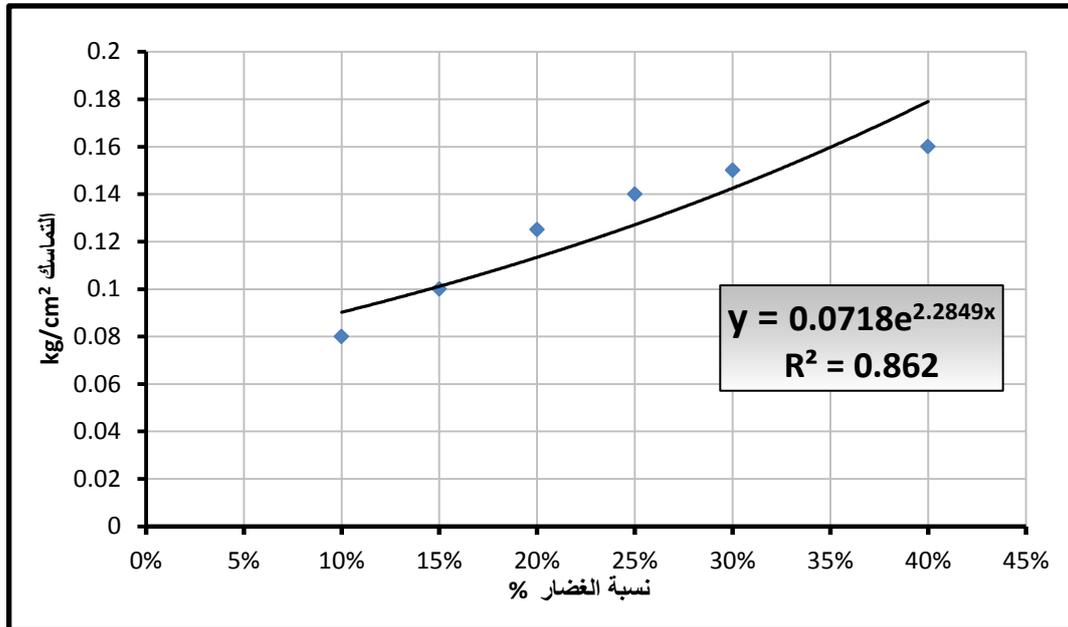
الشكل (5-10) منحنى (الإجهاد المماسي - الإجهاد الناظمي) كافة نسب الخلط

2-3-3-5 العلاقة بين قيم التماسك و نسبة الخلط:

الشكل (11-5) و(12-5) تغيرات قيم التماسك مع ازدياد نسبة الغضار المضافة للخليط .



الشكل (11-5) العلاقة بين قيم التماسك و نسبة الخلط من الدرجة الثانية



الشكل (12-5) العلاقة بين قيم التماسك و نسبة الخلط أسي

من خلال الشكل (11-5) نلاحظ ان هناك زيادة بقيمة التماسك مع زيادة النسب المئوية للخلط حيث ان المنحني يتزايد وفق المعادلة:

$$y = -1.2126x^2 + 0.8917x - 0.005 \dots(A)$$

$$R^2 = 0.9945 \quad ; x=[0\%-40\%]$$

X: نسبة الخلط .

وهي معادلة تجريبية تعبر عن العلاقة التي تربط بين إجهاد التماسك ونسب خلط الغضار مع الرمل. وهي معادلة من الدرجة الثانية بالنسبة للنسب المئوية للخلط.

او يمكن تمثيلها كما في الشكل (5-12) حيث معادلة المنحني أسية :

$$y = 0.0718e^{2.2849x}$$

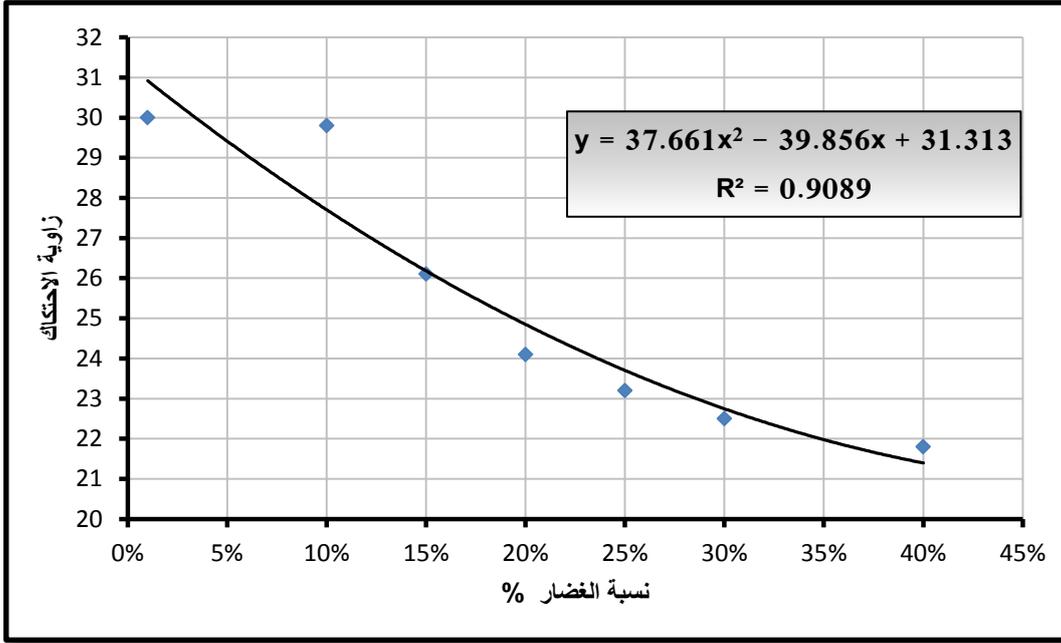
$$R^2 = 0.9945 \quad ; x=[0\%-40\%]$$

وذلك لأن عند إضافة التربة الغضارية إلى التربة الرملية ، تشغل حبات الغضار جزءاً من الحيز الذي كانت تشغله حبات الرمل وتملاً الفراغات بين هذه الحبات ، فيصبح مستوي القص ماراً من طورين من التربة ، طور الرمل المقاوم للقص بالاحتكاك وطور الغضار المقاوم للقص بالتماسك، وبالتالي انخفض دور الاحتكاك في مقاومة القص بسبب نقصان الرمل وازداد دور التماسك مع زيادة نسبة الغضار .

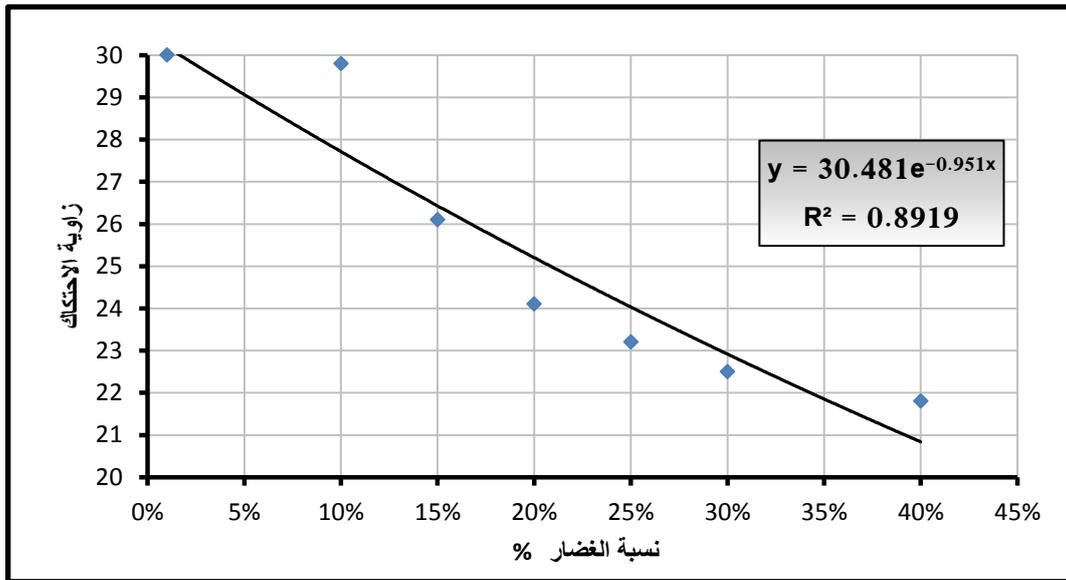
وبما انه تم ملاحظة ان قيم التماسك تستمر بالزيادة مع زيادة نسب الخلط كما ذكر آنفاً فإنه من الجدير بالملاحظة ايضاً انه من النسبة 0% وحتى 20% كانت الزيادة بقيم التماسك كبيرة حيث تظهر زيادة بنسبة 78% من القيمة النهائية، أما من نسبة الخلط 20% وحتى نسبة الخلط 40% نسبة التزايد تكون أقل حيث تقدر بحوالي 22% من القيمة النهائية، وهذا يقتضي دراسة تغير قدرة تحمل التربة لاعتماد النسبة الفعالة للخلط .

3-3-3-5 العلاقة بين قيم زاوية الاحتكاك و نسبة الخلط:

يوضح الشكل (5-13) و(5-14) تغيرات قيم زاوية الاحتكاك الداخلية مع ازدياد نسبة الغضار المضافة للخليط.



الشكل (5-13) العلاقة بين قيم زاوية الاحتكاك و نسبة الخلط من الدرجة الثانية



الشكل (5-14) العلاقة بين قيم زاوية الاحتكاك و نسبة الخلط أسّي

من خلال الشكل (5-13) نلاحظ ان هناك تناقص بقيمة زاوية الاحتكاك الداخلي مع زيادة النسب المئوية للخلط حيث ان المنحني يتناقص وفق المعادلة:

$$y = 37.661x^2 - 39.856x + 31.313 \dots\dots(B)$$

$$R^2 = 0.9089 \quad ; \quad x=[0\%-40\%]$$

X: نسبة الخلط .

وهي معادلة تجريبية تعبر عن العلاقة التي تربط بين زاوية الاحتكاك ونسب خلط الغضار مع الرمل وهي معادلة من الدرجة الثانية بالنسبة للنسب المئوية للخلط.

او يمكن تمثيلها كما في الشكل (5-14) حيث معادلة المنحني أسية :

$$y = 30.481e^{-0.951x}$$

$$R^2 = 0.8919 \quad ; \quad x=[0\%-40\%]$$

وذلك لأن عند إضافة التربة الغضارية إلى التربة الرملية ، تشغل حبات الغضار جزءاً من الحيز الذي كانت تشغله حبات الرمل وتملاً الفراغات بين هذه الحبات ، فيصبح مستوي القص ماراً من طورين من التربة ، طور الرمل المقاوم للقص بالاحتكاك وطور الغضار المقاوم للقص بالتماسك، وبالتالي انخفض دور الاحتكاك في مقاومة القص بسبب نقصان الرمل وازداد دور التماسك مع زيادة نسبة الغضار.

إن قيم زاوية الاحتكاك تستمر بالتناقص مع زيادة نسب الخلط كما ذكر آنفاً و من الجدير بالملاحظة أيضاً انه من النسبة 0% وحتى 20% كان التناقص بقيم زاوية الاحتكاك كبيراً حيث يقدر التناقص بنسبة 75% من القيمة النهائية، أما من نسبة الخلط 20% وحتى نسبة الخلط 40% التناقص بقيمة زاوية الاحتكاك يصبح أقل حيث تقدر بحوالي 25% من القيمة النهائية، وهذا يقتضي دراسة تغير قدرة تحمل التربة لاعتماد النسبة الفعالة للخلط.

5-3-3-4 نسب تغيرات مواصفات القص مع تغير نسبة الخلط:

ويظهر الجدولان (5-6) و (5-7) النسب المئوية لقيم التغيرات لكل من إجهاد التماسك و زاوية الاحتكاك الداخلية مع تزايد نسب الغضار في الخليط.

الجدول (5-6) النسب المئوية لزيادة التماسك مع نسب الخلط

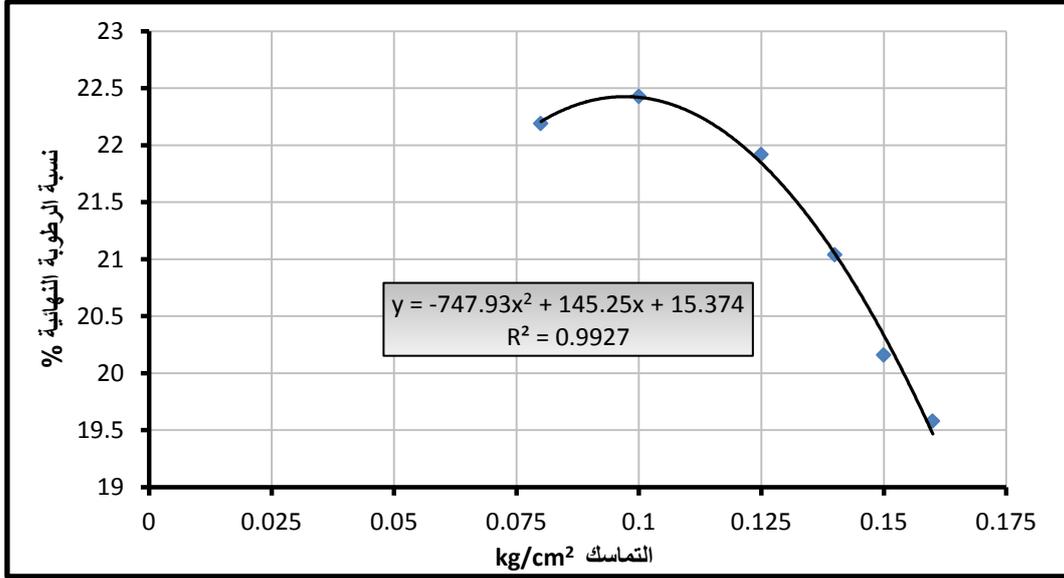
نسب الخلط	0%	10%	15%	20%	25%	30%	40%
قيمة التماسك C	0	0.08	0.1	0.125	0.14	0.15	0.16
نسبة زيادة التماسك %	0	8%	10%	12.5%	14%	15%	16%

الجدول (5-7) النسب المئوية لنقصان زاوية الاحتكاك مع نسب الخلط

نسب الخلط	0%	10%	15%	20%	25%	30%	40%
زاوية الاحتكاك α	30	29.8	26.1	24.1	23.2	22.5	21.8
نسبة نقصان الاحتكاك %	0	0.6%	13%	20%	22.6%	25%	27%

5-3-3-5 العلاقة بين تماسك التربة والرطوبة:

يبين الشكل (5-15) تغير قيمة التماسك مع نسبة الرطوبة النهائية الموافقة لنسب الخلط.



الشكل (5-15) العلاقة بين تماسك التربة والرطوبة النهائية

نلاحظ أن قيمة التماسك تزداد بازدياد الرطوبة النهائية وذلك حتى قيمة التماسك 0.1 الموافقة لنسبة الخلط 15% ثم يبدأ بالتناقص مع تناقص الرطوبة وذلك ضمن المجال [0.1, 0.16] ؛ المنحني من الشكل:

$$y = -747.93x^2 + 145.25x + 15.374$$

$$R^2=0.9927 \quad ; \quad x=[0\%-40\%]$$

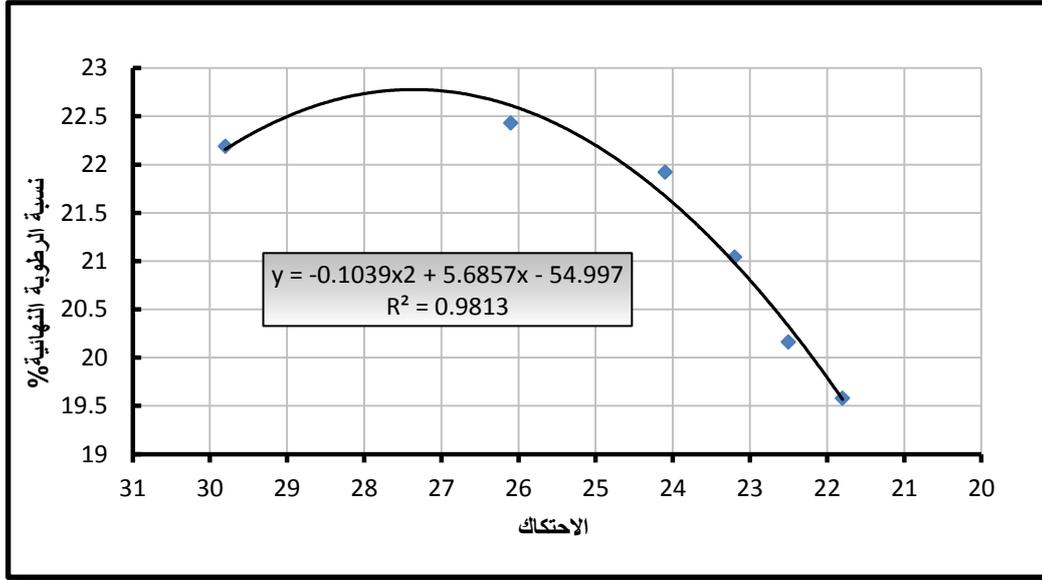
6-3-3-5 العلاقة بين زاوية الاحتكاك والرطوبة:

يبين الشكل (5-16) تغير قيمة زاوية الاحتكاك مع نسبة الرطوبة النهائية الموافقة لنسب الخلط.

نلاحظ أن قيمة زاوية الاحتكاك تتناقص بازدياد الرطوبة النهائية وذلك حتى قيمة الاحتكاك 26.1 والموافقة لنسبة خلط 15% ثم تتناقص بتناقص الرطوبة وذلك ضمن المجال [26.1, 21.8] . والمنحني من الشكل:

$$y = -0.1039x^2 + 5.6857x - 54.997$$

$$R^2= 0.9813 \quad ; \quad x=[0\%-40\%]$$



الشكل (5-16) العلاقة بين زاوية الاحتكاك والرطوبة النهائية

4-5 حساب قدرة تحمل التربة :

5-4-1 تغيرات قدرة تحمل التربة مع نسبة الخلط:

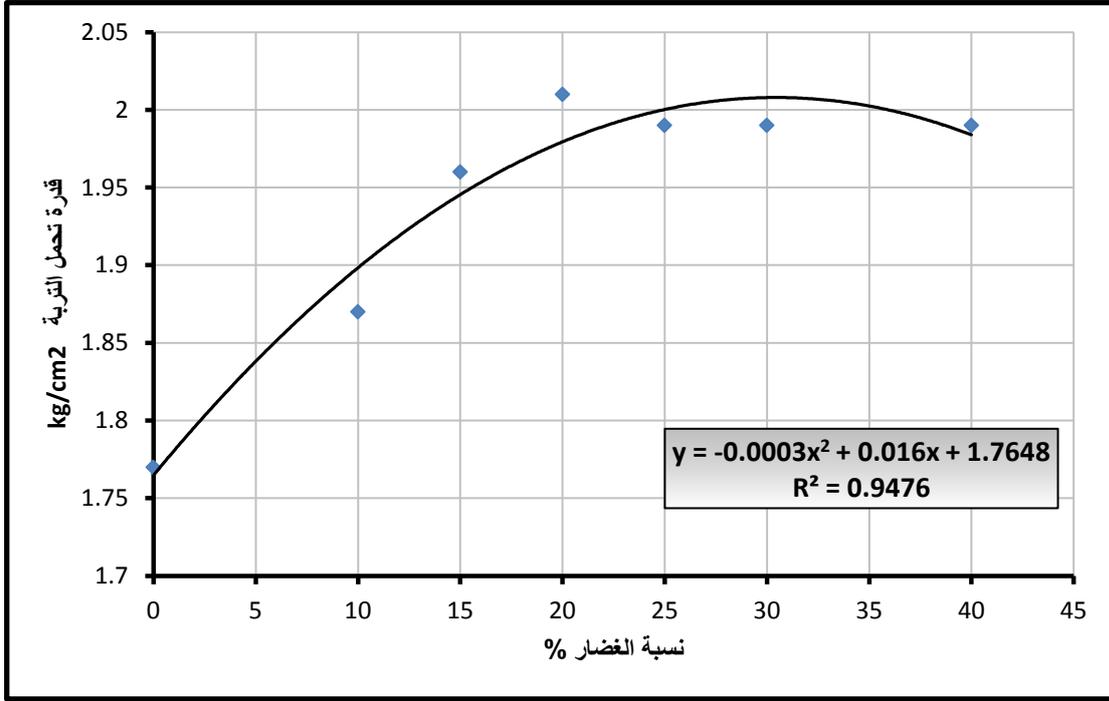
تم حساب قدرة تحمل التربة لأساس سطحي نموذجي مربع أبعاده 1×1 متر وبعمق تأسيس 1 متر، وحسبت قيم قدرة التحمل حسب تغيرات كل من قيم التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلية مع تغير نسبة الغضار المضاف إلى الرمل.

يبين الجدول (5-8) قيم قدرة تحمل التربة حسب نسبة الغضار المضاف إلى الرمل:

الجدول (5-8) قيم قدرة تحمل التربة مع تغير نسبة الغضار المضاف

نسبة الخلط %	زاوية الاحتكاك	Nc	Nq	NY	التماسك kg/cm2	الوزن الحجمي	قدرة تحمل التربة kg/cm2
0	30	37.16	22.46	19.13	0.01	1.6	1.77
10	29.8	36.7	21.8	18.7	0.08	1.62	1.87
15	26.1	27.09	14.21	9.84	0.1	1.66	1.96
20	24.1	23.36	11.4	7.08	0.125	1.7	2.01
25	23.2	21.75	10.23	6	0.14	1.71	1.99
30	22.5	20.53	9.99	5.54	0.15	1.73	1.99
40	21.8	20.11	9.12	5	0.16	1.73	1.99

ويوضح الشكل (5-17) العلاقة بين قيمة قدرة تحمل التربة وتغير نسبة الغضار المضاف إلى الرمل.

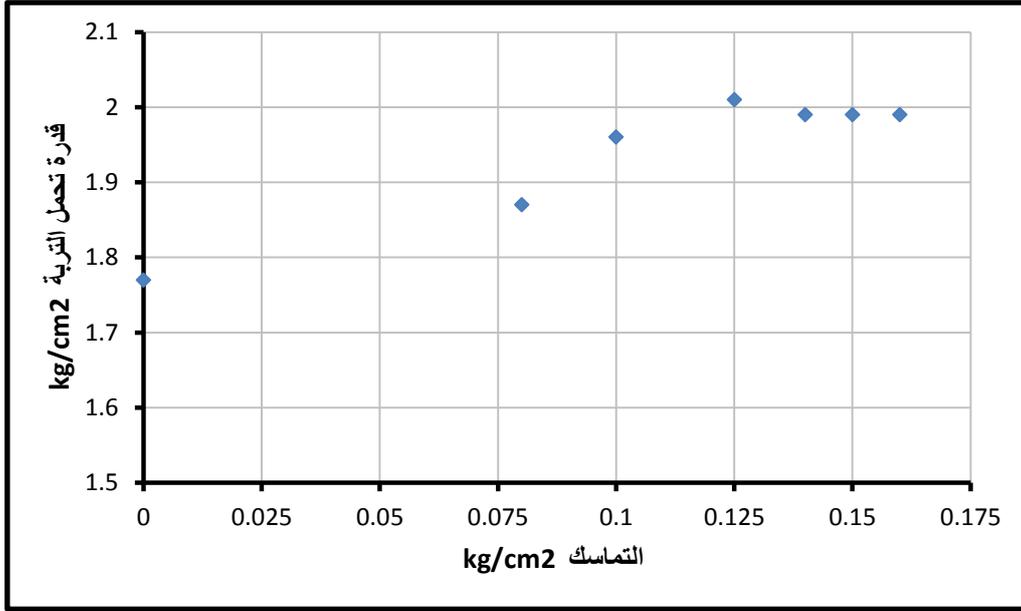


الشكل (5-17) العلاقة بين قدرة تحمل التربة ونسب الخلط

يلاحظ من المخطط تزايد قيمة قدرة تحمل التربة مع ازدياد نسبة الغضار المضافة، وذلك بسبب تأثير زيادة قيمة التماسك بشكل أكبر من تناقص قيم الاحتكاك، وتستمر الزيادة في قدرة التحمل حتى الوصول إلى القيمة 2.01 kg/cm^2 الموافقة لنسبة الخلط 20% ، بسبب أن تأثير زيادة قيم الحد $1.3cNc$ يعادل النقصان بقيم الحدين qNq و $0.4\gamma B N\gamma$ حيث يظهر من بعد هذه النسبة ثبات قيمة قدرة تحمل التربة تقريباً، ولم يظهر أي تغير ملحوظ على القيمة مع ازدياد نسبة الغضار المضاف حتى نسبة 40% ؛ إذاً نستنتج أن النسبة الفعالة للخلط هي 20%.

2-4-5 العلاقة بين قدرة تحمل التربة و التماسك:

يبين الشكل (5-18) العلاقة بين تغير قدرة التحمل مع تغير قيم التماسك الموافقة لنسب الخلط.

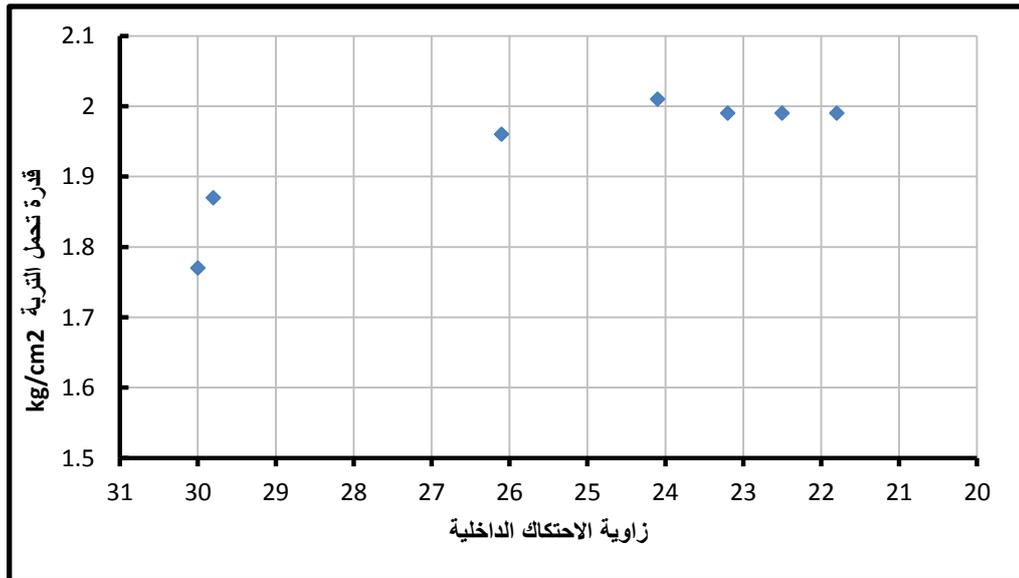


الشكل (5-18) العلاقة بين قدرة التحمل والتماسك

نلاحظ أن قدرة تحمل التربة تزداد بازدياد التماسك وذلك حتى قيمة التماسك 0.125% والموافقة لنسبة الخط 20% ثم يبدأ بالثبات تقريباً وذلك لأن الزيادة في التماسك يعادل النقصان في الاحتكاك.

3-4-5 العلاقة بين قدرة تحمل التربة وزاوية الاحتكاك:

يبين الشكل (5-19) العلاقة بين قدرة التحمل و زاوية الاحتكاك الموافقة لنسب الخط.

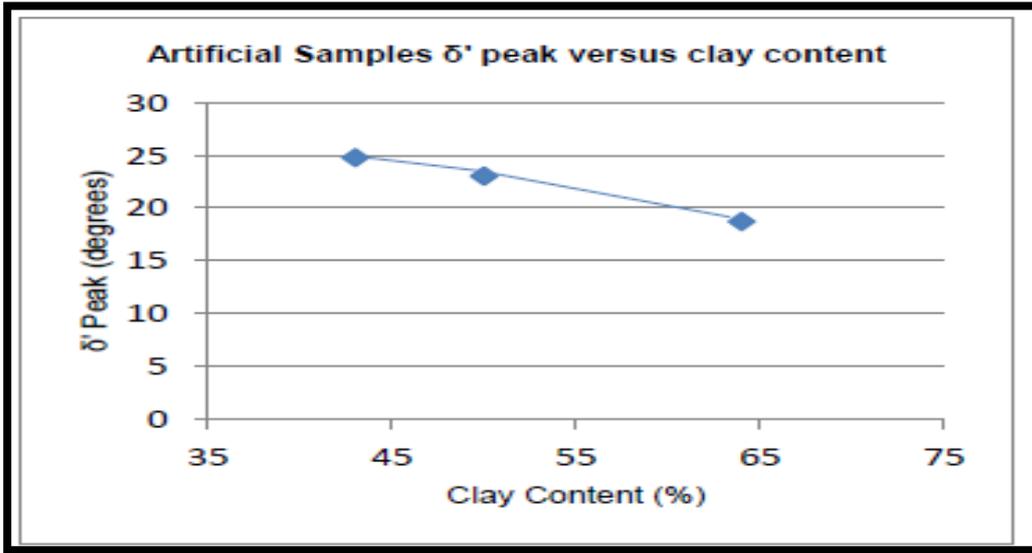


الشكل (5-19) العلاقة بين قدرة التحمل وزاوية الاحتكاك

نلاحظ أن قدرة تحمل التربة تزداد بتناقص زاوية الاحتكاك الداخلية وذلك حتى قيمة الاحتكاك 24.1% والموافقة لنسبة الخلط 20% ثم يبدأ بالثبات تقريباً، وذلك لأن الزيادة في التماسك يعادل النقصان في الاحتكاك.

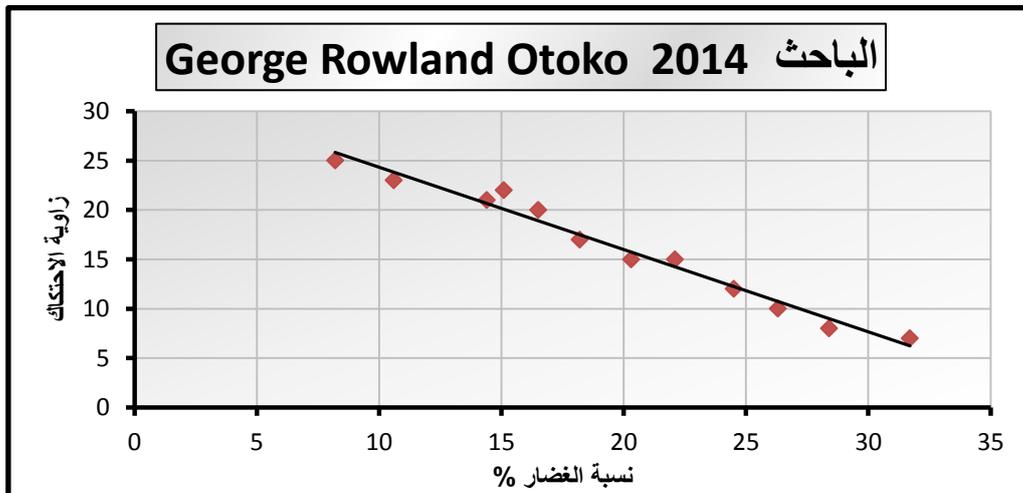
5-5 مقارنة بين نتائج الدراسات السابقة ونتائج هذا البحث:

1-5-5 زاوية الاحتكاك الداخلية:



الشكل (5-20) العلاقة بين زاوية الاحتكاك الداخلية ونسبة الخلط للباحث J.M.Teuten

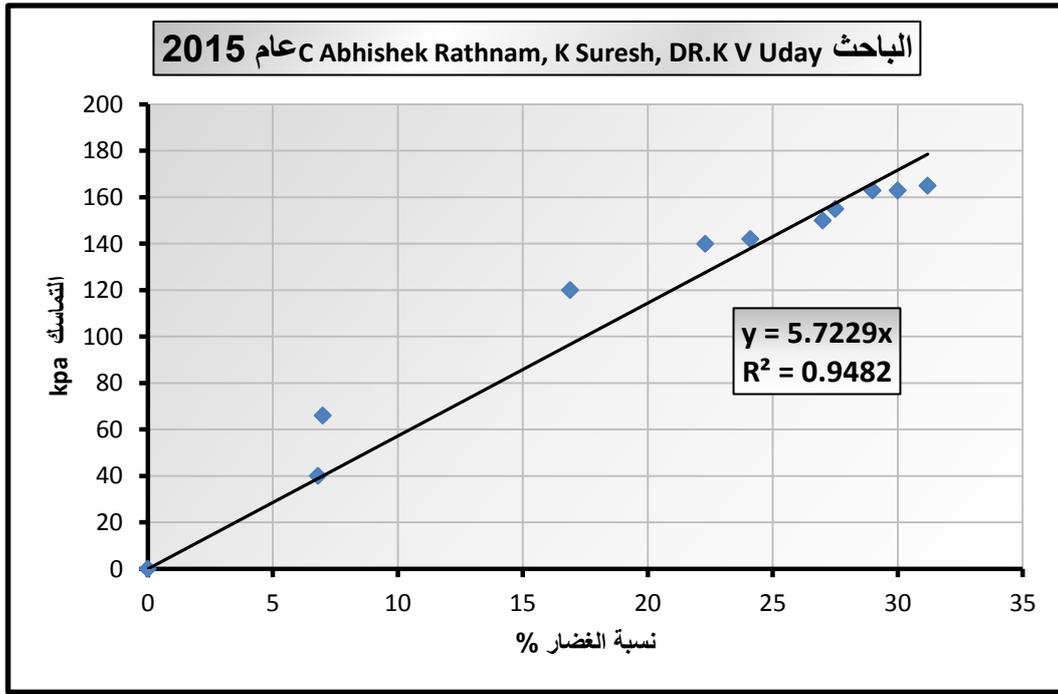
عند الباحث J.M.Teuten نسبة الخلط [40%-65%] بينما البحث الحالي [10%-40%]، هنا زاوية الاحتكاك انخفضت حوالي 6° بينما في بحثنا انخفضت 8° .



الشكل (5-21) العلاقة بين زاوية الاحتكاك الداخلية ونسبة الخلط للباحث George Otoko

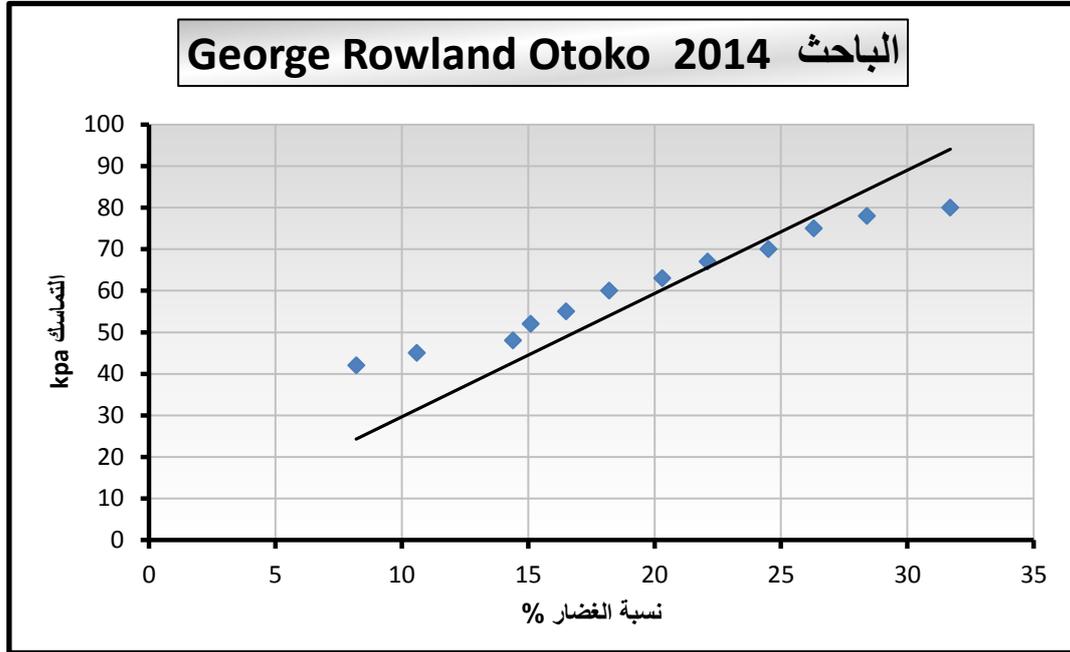
عند الباحث George Otoko نسبة الخلط [8.2%-31.7%] بينما البحث الحالي [10%-40%] ، هنا زاوية الاحتكاك انخفضت حوالي 18° بينما في بحثنا انخفضت 8° ، لكن نلاحظ أنه الانخفاض بدأ يقل تدريجياً عند النسبة 20% وهذا يتوافق مع نتائج بحثنا.

2-5-5 التماسك:



الشكل (5-22) العلاقة بين التماسك ونسبة الخلط للباحث C Abhishek Rathnam, K Suresh, DR.K V Uday

عند الباحث C Abhishek Rathnam, K Suresh, DR.K V Uday نسبة الخلط [0%-31.2%] بينما البحث الحالي [10%-40%] ، هنا التماسك ازدادت قيمته $0-1.65 \text{ kg/cm}^2$ بينما في بحثنا ازدادت قيمته $0-0.16 \text{ kg/cm}^2$ ، لكن نلاحظ أنه الزيادة بدأ بالثبات تدريجياً عند النسبة 20% وهذا يتوافق مع نتائج بحثنا.

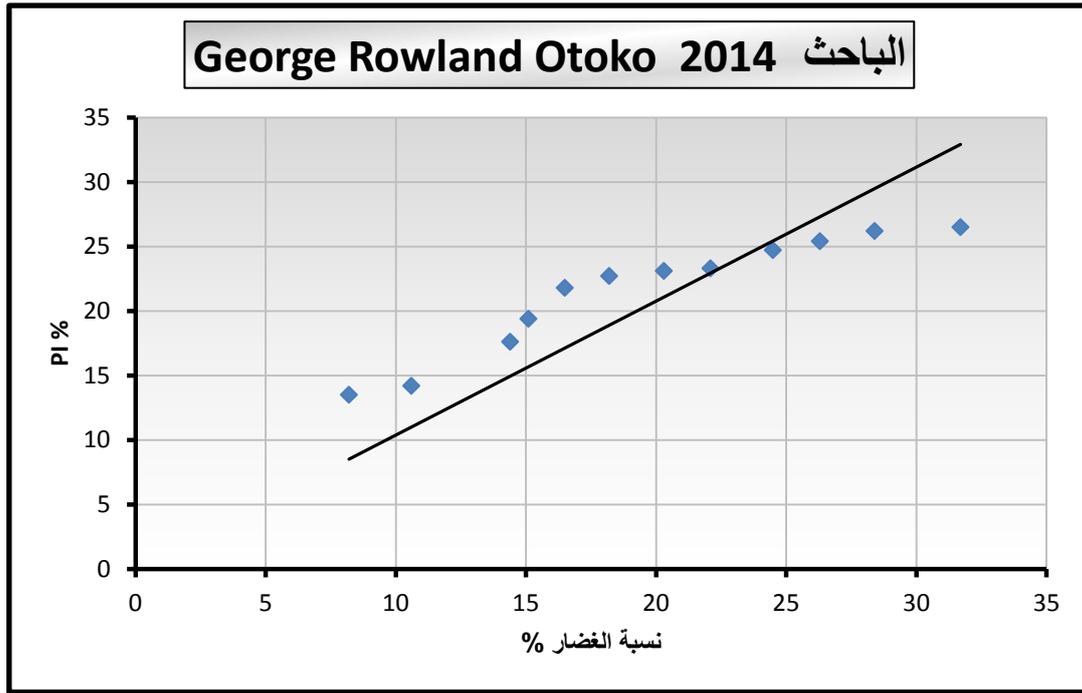


الشكل (5-23) العلاقة بين التماسك ونسبة الخلط للباحث George Otoko

عند الباحث George Otoko نسبة الخلط [8.2%-31.7%] ، بينما البحث الحالي [10%-40%] ، هنا التماسك ازدادت قيمته $0.42-0.80 \text{ kg/cm}^2$ بينما في بحثنا ازدادت قيمته $0-0.16 \text{ kg/cm}^2$ ، لكن نلاحظ أنه الزيادة بدأ بالثبات تدريجياً عند النسبة 20% وهذا يتوافق مع نتائج بحثنا.

3-5-5 قرينة اللدونة :

عند الباحث V U day قيمة قرينة اللدونة تزداد مع زيادة نسبة الغضار من القيمة 12.1% وحتى القيمة 26.6% ونسبة الخلط في المجال [6.8% -31.2%] اما في بحثنا نسبة الخلط [10%-40%] وقرينة اللدونة ازدادت قيمتها من القيمة 0.9% حتى 17.59%.



الشكل (5-24) العلاقة بين قرينة اللدونة ونسبة الخلط للباحث George Otoko

عند الباحث George Otoko نسبة الخلط [8.2%-31.7%] ، بينما البحث الحالي [10%-40%] ، هنا قرينة اللدونة ازدادت قيمته [13.5%-26.5%] بينما في بحثنا ازدادت قيمته [0.9%-17.59%].

الفصل السادس

النتائج والتوصيات

6-1 النتائج:

1- تزداد قيمة الوزن النوعي لخليط من الرمل مع الغضار مع زيادة نسبة الغضار المضاف، وتكون هذه الزيادة حسب المعادلة التالية:

$$y = 0.3143x + 2.6193$$

وهي معادلة من الدرجة الأولى بالنسبة لـ x .

x : نسبة الخلط ؛ $x=[0\%-30\%]$

2- تزداد قيمة حد السيولة لخليط من الرمل مع الغضار مع ازدياد نسبة الغضار المضاف، وتكون هذه الزيادة حسب المعادلة التالية:

$$y = 0.5181x$$

وهي معادلة من الدرجة الأولى بالنسبة لـ x .

x : نسبة الخلط ؛ $x=[0\%-40\%]$

3- تزداد قيمة إجهاد التماسك مع ازدياد نسبة الغضار المضاف إلى الرمل، ويكون هذا التزايد كبيراً حتى الوصول إلى نسبة غضار مضاف 20% ومن ثم تتناقص قيمة هذا التزايد في قيمة التماسك مع زيادة نسبة الغضار المضاف، أي يثبت تدريجياً بعد النسبة 20%.

تكون زيادة قيمة إجهاد التماسك مع نسبة الغضار المضاف حسب المعادلة التالية:

$$y = -1.2126x^2 + 0.8917x - 0.005.....(A)$$

OR

$$y = 0.0718e^{2.2849x}$$

x : نسبة الخلط ؛ $x=[0\%-40\%]$

4- تتناقص قيمة زاوية الاحتكاك الداخلية مع ازدياد نسبة الغضار المضاف إلى الرمل، ويكون هذا التناقص كبيراً حتى الوصول إلى نسبة غضار مضاف 20% ومن ثم يقل التناقص في قيمة زاوية الاحتكاك مع زيادة نسبة الغضار المضاف أي يثبت تدريجياً بعد النسبة 20%.

يكون تناقص قيمة زاوية الاحتكاك مع نسبة الغضار المضاف حسب المعادلة التالية:

$$y = 37.661x^2 - 39.856x + 31.313....(B)$$

OR

$$y = 30.481e^{-0.951x}$$

x: نسبة الخلط ؛ x=[0%-40%]

5- تزداد قيمة قدرة تحمل التربة الرملية بإضافة تربة غضارية إليها حتى الوصول إلى نسبة غضار مضاف 20% ومن بعدها يظهر ثبات في قيمة قدرة تحمل التربة مع ازدياد نسبة الغضار المضافة وتكون الزيادة وفق المعادلة :

$$y = -0.0003x^2 + 0.016x + 1.7648$$

x: نسبة الخلط ؛ x=[0%-40%]

6- استنتاج علاقة تربط بين عوامل متانة التربة ونسب الخلط وهذا يفيد المهندس الدارس بإيجاد قيمة التماسك أو الاحتكاك أو قدرة تحمل التربة بمجرد معرفة نسبة الخلط.

7- بناءً على ما سبق نستنتج أن النسبة الفعالة للخلط هي النسبة 20% ، ولإفادة من زيادة الغضار بنسبة أكبر من 20% ، وهذا يتوافق مع الدراسات المرجعية .

6-2 التوصيات:

- 1- إضافة الغضار إلى التربة الرملية بنسبة حتى 20% يحسن من خواصها وقدرة تحملها للتأسيس عليها.
- 2- التوسع في دراسة علاقة بين محتوى الرطوبة وتغير عوامل المتانة .
- 3- محاولة توسيع الأبحاث في المستقبل من أجل توثيق العلاقات المستنتجة في هذا البحث.
- 4- محاولة إجراء هذه التجارب على عينات رملية وغضارية مواصفاتها مختلفة عن مواصفات العينات المدروسة في هذا البحث ومقارنة النتائج .
- 5- نوصي باستخدام العلاقتين A, B التجريبيتين والمستنتجتين من خلال هذا البحث في إيجاد عوامل المتانة الموافقة لنسبة الخلط.
- 6- إنتاج تركيبة مزجية من الرمل والغضار بشكل تجاري ضمن اكياس مختومة وبنسب محددة مخصصة لزيادة قدرة تحمل تربة التأسيس وذلك لتوفر الرمل والغضار بكميات وافرة في بلدنا ولاختصار زمن المشروع.

References:

- [1] Yin, J.H., Properties and behaviour of Hong Kong marine deposits with different clay contents. Canadian Geotechnical Journal 36 (6) 1999, 1085–1095.
- [2] Yongshan W., Kwong J., Shear strength of soils containing amorphous clay-size materials in a slow-moving landslide. Engineering Geology, Volume 65, Issue 4, 2002. 293–303.
- [3] Braja M. Das ,Principles of Geotechnical Engineering seventh edition, (2002).
- [4] TeutenJ.M. “Shear Characteristics of Soils with Varying Silt/Clay Fractions” , 1st Civil and Environmental Engineering Student Conference, June 2012.
- [5] Muawia A. Dafalla,“Effects of Clay and Moisture Content on Direct Shear Tests for Clay-Sand Mixtures”, Hindawi Publishing Corporation Advances in Materials Science and Engineering Volume 2013, Article ID 562726.
- [6] George Rowland Otoko, DEPENDENCE OF SHEAR STRENGTH AND COMPRESSIBILITY OF TROPICAL LATERITIC SOILS ON CLAY CONTENT. International Journal of Engineering and Technology Research Vol. 2, No. 2, February 2014.
- [7] C Abhishek Rathnam , K Suresh, DR.K V Uday, Shear Strength Behaviour of Sand Clay Mixture. International Journal of Innovative

Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 4, Issue 6, June 2015.

[8] Dr. Cfa Akayuli, Bernard Oforu, Seth O. Nyako, Kwabena O. Opuni, The Influence of Observed Clay Content on Shear Strength and Compressibility of Residual Sandy Soils. International Journal of Engineering Research and Applications. Vol. 3, Issue 4, Jul–Aug 2013, pp.2538–2542.

[9] J. Antonio H. Carraro, Rodrigo Salgado, “Mechanical Behavior of Non-Textbook Soils”, Joint Transportation Research Program, April 2004.

[10] Mehmet M. M., Gurkan O., Compressional behavior of clayey sand and transition fines content. Engineering Geology, Volume 89, Issues 3–4, 2007. 195–205.

[11] Braja M. Das, “PRINCIPLES OF FOUNDATION ENGINEERING”, 6th Edition (2007).

[12] Braja M. Das, “Advanced Soil Mechanics”, Third edition (2008).

المراجع العربية:

- [13] د. ديني، حنا 1989- ميكانيك التربة ، منشورات جامعة دمشق ، عدد الصفحات 878 .
- [14] د. وليد كنعان ، 1992 منشورات جامعة دمشق ، العملي في ميكانيك التربة .
- [15] المؤسسة العامة للجيولوجيا - دليل الخامات المعدنية - في الجمهورية العربية السورية - 2010 .