وزارة التعليم العالي
جامعة البعث
كلية الهندسة المدنية

استخدام نفايات الإطارات الممزقة في تحسين خصائص التربة الناعمة

إعداد :
المهندس واصف هيثم كوسى

إشراف :
أ.د . محمد تقلا

استخدام نفايات الإطارات الممزقة في تحسين خصائص التربة الناعمة

ملخص البحث :

– يتضمن هذا البحث إجراء دراسة تجريبية لتأثير إضافة المطاط على خصائص الانتفاخ ومقاومة القص لتربة غضارية منتفخة ، ومن أجل ذلك تم استخدام المطاط بنسب 5،10،15% من الوزن الجاف للترب الغضارية ، واستخدم المطاط وفق طريقتين الطريقة الأولى قطع بطول $1cm$ ومقطع تقريبي $2-4mm^2$ ، والطريقة الثانية مطحون على شكل بودرة مارة من المنخل رقم $0.425mm$.

– حيث تم إجراء سلسلة تجارب لدراسة كل من خصائص الانتفاخ ومقاومة القص للعينات المشكلة من أجل عدة حالات من حيث الرطوبة البدائية للتربة .

– وتم إجراء تحليل رياضي للنتائج التجريبية والتوصل إلى أن قطع المطاط أعطت فعالية جيدة في تحسين خصائص الانتفاخ ومقاومة القص ، كذلك تم التوصل لعدة نتائج هامة ، وتوصيات للأبحاث المستقبلية.

الكلمات المفتاحية : ضغط الانتفاخ ، مقاومة القص ، التربة المنتفخة ، نفايات الإطارات المطاطية.

Use of Shredded Tyre Waste in Improvement the Properties of Soft Soil

Abstract :

-This research include experimental study on the effect of addition of Rubber on swelling properties and shear strength of expansive clay soil and for that Rubber was used in percentage of (5,10,15)% of dry weight of clay soil, and the Rubber was used in two methods ,the first method was pieces of $1cm$ in length and approximate section of $2-4mm^2$, the second method was as powder passing from sieve of $0.425mm$.

-Series of tests were done to study properties of swelling and shear strength of formed samples for several cases of initial moisture of the soil .

-The experimental results were analysed , and we got that pieces of Rubber give good activity in improvement the swelling properties and shear, several significant conclusions and recommendations for future researches were presented.

Key words : Swelling pressure , Shear strength ,expansive soil , Rubber tyre waste.

استخدام نفايات الإطارات الممزقة في تحسين خصائص التربة الناعمة

1- مقدمة :

الترب الناعمة هي الترب التي تكون أكثر من 50%من مكوناتها ذات حبيبات قطرها أصغر من 0.075 mm ، وبالتالي فهي تتألف من السيلت والغضار . غالباً تأتي المشاكل للمنشآت الهندسية من سلوك الغضار الذي يتصف بحساسية كبيرة تجاه الرطوبة حيث يعاني من تغيرات حجمية (انتفاخ وتقلص) بشكل متكرر تبعاً للظروف الجوية ورطوبة الوسط ، كذلك نذكر ضعف مقاومة التربة الغضارية ، حيث تكون التربة الغضارية ذات قابلية عالية للهبوط عندما تتعرض للرطوبة في حين أن مقاومة القص لها تكون عالية جداً في الحالة الجافة ، وهذا الاختلاف في مقاومة القص يؤثر بشكل مباشر على قدرة التحمل ، وتوازن المنحدرات وغيرها من المشاكل التي تسبب أضراراً كبيرةً في المنشآت الهندسية المشيدة على هذه الترب وقد تؤدي إلى خروجها من الاستثمار في بعض الأحيان**[6]** .

ومن أهم الترب الناعمة التي تسبب خطورة على المنشآت المقامة عليها هي التربة الغضارية المنتفخة ، وعند التأسيس عليها دون إجراء تحسين لمواصفات التربة سوف ينعكس ذلك سلباً على سلامة المنشآت المقامة على هذه التربة ، وتشكل التربة المنتفخة تحدياً دائماً لمهندسي الجيوتكنيك **[2]**.

وفي هذا البحث سوف نسلط الضوء على أحد الطرق المقترحة حديثاً لتحسين مواصفات التربة الغضارية المنتفخة عن طريق خلطها بالمطاط المأخوذ من بقايا الإطارات المطاطية التالفة ، حيث يتميز مطاط الإطارات باحتوائه على مواد خام عالية المقاومة ومقاومة للتأكسد والتي تزيد من المقاومة للإهتراء ، كما وأنه عديم الامتصاص للرطوبة ، ويتمتع بناقلية حرارية ضعيفة لذلك يعتبر عازل للحرارة أفضل من التربة ، كذلك يتميز بانضغاطية عالية وكافية لامتصاص الإهتزازات . وإن قطع الإطارات تمتلك خصائص ميكانيكية ممتازة ، كذلك غير قابلة للتحلل بيولوجياً **[7] [5]**.

وتتألف الإطارات المطاطية من عدة عناصر كيميائية بنسب مختلفة كما في الجدول رقم (1) منها الكربون ، ،الزنك الألمنيوم ،المنغنيز ،الكبريت ، السيليسيوم...**[4]**

الجدول رقم (1) : التركيب الكيميائي للإطارات المطاطية [4]

Composition of element	Symbols	Percentage (%)
Carbon	C	87.51
Oxygen	O	9.23
Zinc	Zn	1.76
Sulfur	S	1.08
Silicon	Si	0.20
Magnesium	Mg	0.14
Aluminum	Al	0.08

عندما يخلط المطاط مع التربة يعطي مادة إنشاء خفيفة الوزن وتؤدي إلى تحسين في الخصائص الهندسية ، فقد درس الباحث Heyer L.C (2012) تخفيف خصائص الإنتفاخ باستخدام قطع من الإطارات المطاطية بطول بين (1~4 mm) وقطع بطول (4 ~8 mm) وبحيث نسب المطاط تتراوح بين%(6 ~15) ، وشكلت العينات برطوبات بدائية مختلفة ، وجد تناقص في الإنتفاخ مع زيادة محتوى المطاط وبفعالية أكبر عند استخدام القطع بطول (4 ~8 mm) . وحسب الباحثين J.S. Yadav, S.K. Tiwari (2017) فإن إضافة قطع من نفايات الإطارات الممزقة إلى تربة منتفخة خفض ضغط الانتفاخ بنسبة 43% **[4]**. وبالنسبة لمقاومة القص وحسب دراسة من قبل الباحثين Youwai and Bergado (2003) فقد أظهرت العينات التي تم اختبارها وبنسب من قطع الإطارات المطاطية % (30 و40 و50) زوايا احتكاك وتماسك متزايد مع زيادة كل من نسبة المطاط ، وحسب الباحثين Zornberg et al. (2004) فإن تأثير محتوى قطع الإطارات على سلوك التربة الغضارية والمطاط مهم حيث ازدادت زاوية الإحتكاك الداخلي مع تغير محتوى المطاط بنسبة وصلت إلى % 30 تقريباً **[3]** . وحسب الباحث M.E Scholar, (2017) ازدادت مقاومة القص للتربة الغضارية حوالي 7.5%عند خلطها مع قطع مطاطية **[5]**. ولاتزال فكرة إضافة المطاط لتحسين مواصفات التربة الغضارية تحتاج إلى الكثير من الأبحاث المعمقة وهي من الأبحاث المطروقة حديثاً والقليلة جداً .

2-هدف البحث :

تحسين مواصفات التربة الغضارية المنتفخة ودراسة تأثير كل من قطع المطاط والبودرة المطاطية على خواص الانتفاخ ومقاومة القص للتربة الغضارية.

3-مواد وطرق البحث :

تم اختيار تربة غضارية من ريف محافظة حماه (منطقة كفربهم- محيط معمل الإسمنت) حيث تبين أنها ذات خواص انتفاخية عالية ولدونة مرتفعة ، وهي تربة ذات لون أسود محمر ، وقد تم استخراجها بالحفر اليدوي من عمق 1m من سطح الأرض وتم إجراء بعض تجارب الخواص الفيزيائية والميكانيكية ، حيث أجريت تجربة التحليل الحبي للتربة وفق الكود ASTM D422 – 63 **[1]** ، والنتائج كما في الجدول رقم (2)

الجدول رقم (2) : تصنيف التربة المدروسة حسب النظام الموحد (U.S.C.S)

تصنيف التربة حسب النظام الموحد (U.S.C.S) ASTM D422			
غضار(mm) d < 0.002	**سيلت**(mm) d = (0.002 ~ 0.075)	**رمل**(mm) d = (0.075 ~ 4.75)	**بحص**(mm) d > 4.75
70%	20.5%	4.3%	5.2%

أما نتائج تجارب حدود أتربرغ وفق الكودASTM D4318 فهي حد السيولة 81.9% ، حد اللدونة 43.5% ، قرينة اللدونة 38.4%، وتصنيف التربة وفق مخطط كاساغراندي غضار عالي اللدونة CH. وأما الوزن النوعي الوسطي للتربة المدروسة 2.70 للمواد المارة من المنخل رقم 40 للتربة المدروسة بما يتوافق مع الكودASTM D854 – 14 . كذلك تم إجراء تجربة بروكتور النظامية على التربة وفق الكودASTM D698-12 ونتجت الرطوبة المثالية 24.5% ، الوزن الحجمي الجاف الأعظميgr/cm^3 1.45 وأجريت تجارب الانتفاخ في جهاز الآدومتر وفق الكود ASTM D4546 حيث مساحة العينة $40cm^2$ ، ارتفاع العينة البدائيcm 2 ، ومن أجل ثلاثة حالات تختلف بالرطوبة البدائية للتربة مع المحافظة على الوزن الحجمي الجاف $1.45gr/cm^3$ ، وتم مراقبة انتفاخ العينات بعد بدء غمرها بالماء حتى استقرار الانتفاخ واستمر ذلك 72 ساعة

ثم تم تطبيق الإجهادات (0.25 ، 0.5 ، 1 ، 2 ، 4 ، 8) kg/cm^2 ، والنتائج النهائية لخصائص الانتفاخ للتربة المدروسة كما في الجدول رقم (3) .

الجدول رقم (3): نتائج تجارب الانتفاخ للتربة المدروسة

الحالة المدروسة	الرطوبة البدائية w=**24.5%**	الرطوبة البدائية w=**18%**	الرطوبة البدائية w=**12%**
ضغط الانتفاخ kg/cm^2	1.4	2	2.3
التشوه النسبي للانتفاخ %	-9.5	- 14.73	- 21.13

كما أجريت تجارب القص المباشر على الترب المدروسة وفق الكودASTM D3080 وبحيث مساحة العينة $36\ cm^2$، ارتفاع العينة 2 cm ، وتم غمر العينات بالماء ، وانتظار زمن 72ساعة ، ثم إجراء القص بسرعة 0.5mm/min من أجل جميع تجارب القص المباشر ، حيث أجريت التجارب من أجل ثلاثة حالات تختلف بالرطوبة البدائية للتربة مع المحافظة على الوزن الحجمي الجاف $1.45gr/cm^3$ ونتجت قيم التماسك والاحتكاك للتربة المدروسة كما في الجدول رقم (4).

الجدول رقم (4) قيم التماسك وزاوية الاحتكاك للتربة المدروسة

الحالة المدروسة	الرطوبة البدائية w=**24.5%**	الرطوبة البدائية w=**18%**	الرطوبة البدائية w=**12%**
التماسك kg/cm^2	0.37	0.42	0.48
زاوية الاحتكاك Φ°	10	14	18

وبهدف تحسين مواصفات هذه التربة تم خلطها مع المطاط المأخوذ من بقايا إطارات مطاطية تالفة وفق طريقتين ، الطريقة الأولى تم قص بقايا الإطارات المطاطية على شكل قطع مطاطية بطول $1cm$ ومقطع تقريبي $2-4mm^2$ كما في الشكل رقم (1).

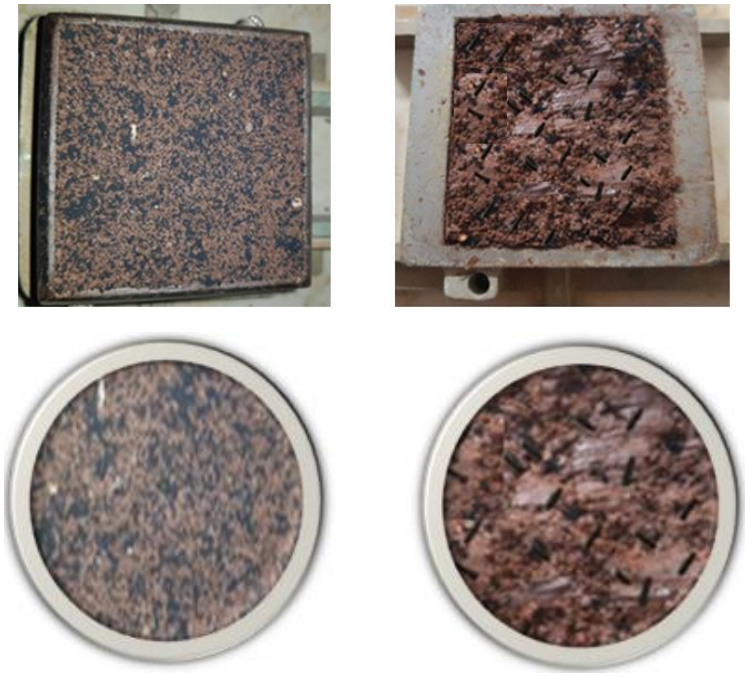
الشكل رقم (1) : المطاط المستخدم بشكل قطع

أما في الطريقة الثانية فقد تم طحن بقايا الإطارات المطاطية كما في الشكل رقم (2) حتى الحصول على بودرة مارة من المنخل $0.425mm$.

الشكل رقم (3) : طريقة طحن المطاط حتى الحصول على البودرة المطاطية

4-الدراسة التجريبية :

تم تشكيل العينات من التربة والمطاط عن طريق الخلط اليدوي للتربة الغضارية من أجل كل من الحالتين قطع المطاط والبودرة حتى الحصول على خليط متجانس ، وقد تم استخدام نسب المطاط S=(5,10,15)% مأخوذة من الوزن الجاف للتربة الغضارية ، ومن ثم تم دراسة تغير خصائص الانتفاخ للعينات المشكلة ومقاومة القص من أجل ثلاثة حالات مختلفة من حيث الرطوبة البدائية للتربة بحيث الحالة الأولى تكون الرطوبة البدائية 24.5% ، الحالة الثانية الرطوبة البدائية 18% ، الحالة الثالثة الرطوبة البدائية 12% ، ويظهر الشكل رقم (4) عينات مشكلة من أجل دراسة كل من مقاومة القص والانتفاخ في حالتي تربة مع قطع المطاط وتربة مع البودرة المطاطية .

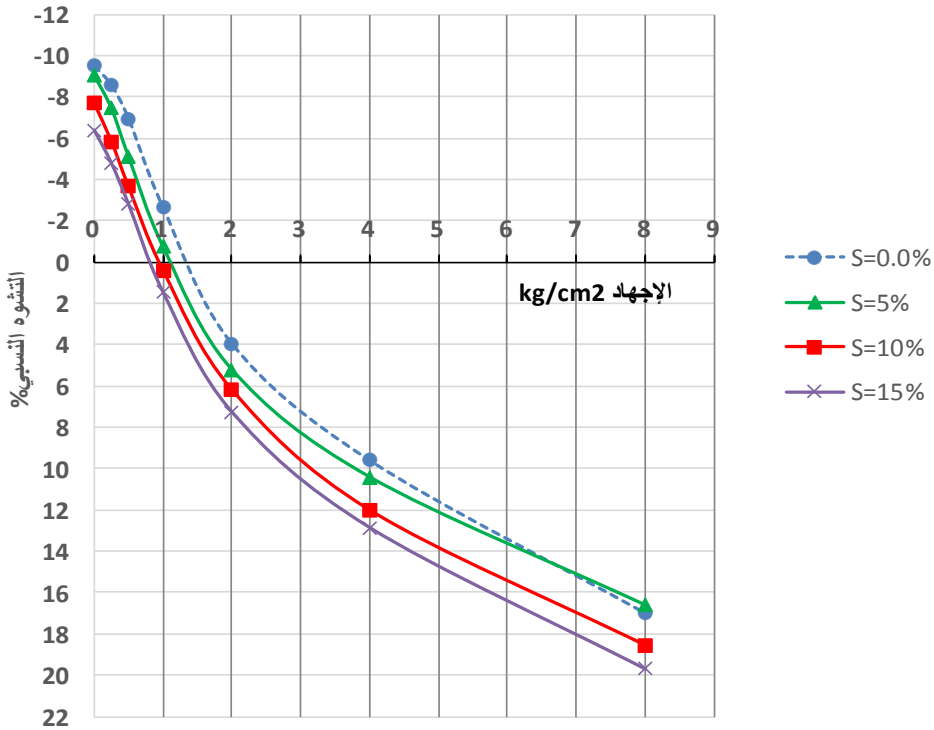


(تربة – قطع المطاط) (تربة – بودرة المطاط)

الشكل رقم (4) : عينات مشكلة من التربة الغضارية والمطاط

أولاً : دراسة تغير خواص الانتفاخ للعينات المشكلة من التربة الغضارية والمطاط :

تتوضح نتائج تجارب الانتفاخ كما في المخطط رقم (1) من أجل العينات المشكلة من التربة الغضارية مع نسب المطاط القطع S=(5,10,15)% وبحيث رطوبة العينة البدائية w=24.5%



المخطط رقم (1) نتائج تجارب الانتفاخ للعينات المشكلة مع المطاط القطع w=24.5%

وكذلك تم تكرار تجارب الانتفاخ من أجل الرطوبات البدائية (18 ،24.5، 12)% ، ومن أجل حالتي استخدام قطع وبودرة المطاط .

ويمكن تلخيص جميع نتائج تجارب الانتفاخ للعينات المشكلة من التربة والمطاط بالجدول رقم (5) والمخططين رقم (2) و(3).

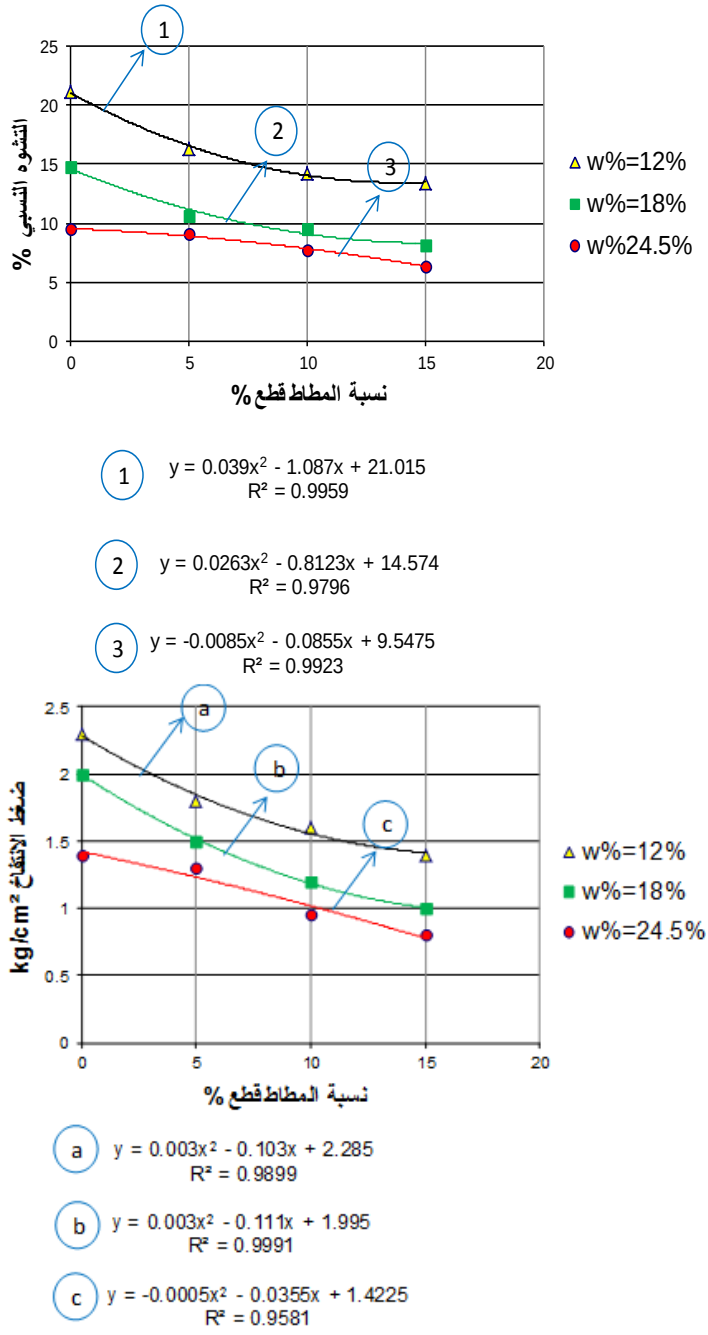
الجدول رقم (5) : نتائج تجارب الانتفاخ على العينات المشكلة مع نسب المطاط

الرطوبة البدائية w%	نسبة المطاط %S	حالة المطاط القطع		حالة المطاط البودرة	
		التشوه النسبي %	ضغط الانتفاخ kg/cm^2	التشوه النسبي %	ضغط الانتفاخ kg/cm^2
%24.5	**0**	- 9.5	1.3	- 9.5	1.3
	5	- 9.05	1.1	- 10.2	1.4
	10	- 7.7	0.95	- 9.7	1.25
	15	- 6.4	0.8	- 9.1	1.2
%18	**0**	- 14.73	2.0	- 14.73	2
	5	- 10.7	1.0	- 16.1	2.1
	10	- 9.55	0.9	- 15.2	1.9
	15	- 8.15	0.8	- 14.6	1.6
%12	**0**	- 21.1	2.3	- 21.1	2.3
	5	- 16.3	1.8	- 22.2	2.5
	10	- 14.3	1.6	- 20.3	2.1
	15	- 13.4	1.4	- 19.4	1.9

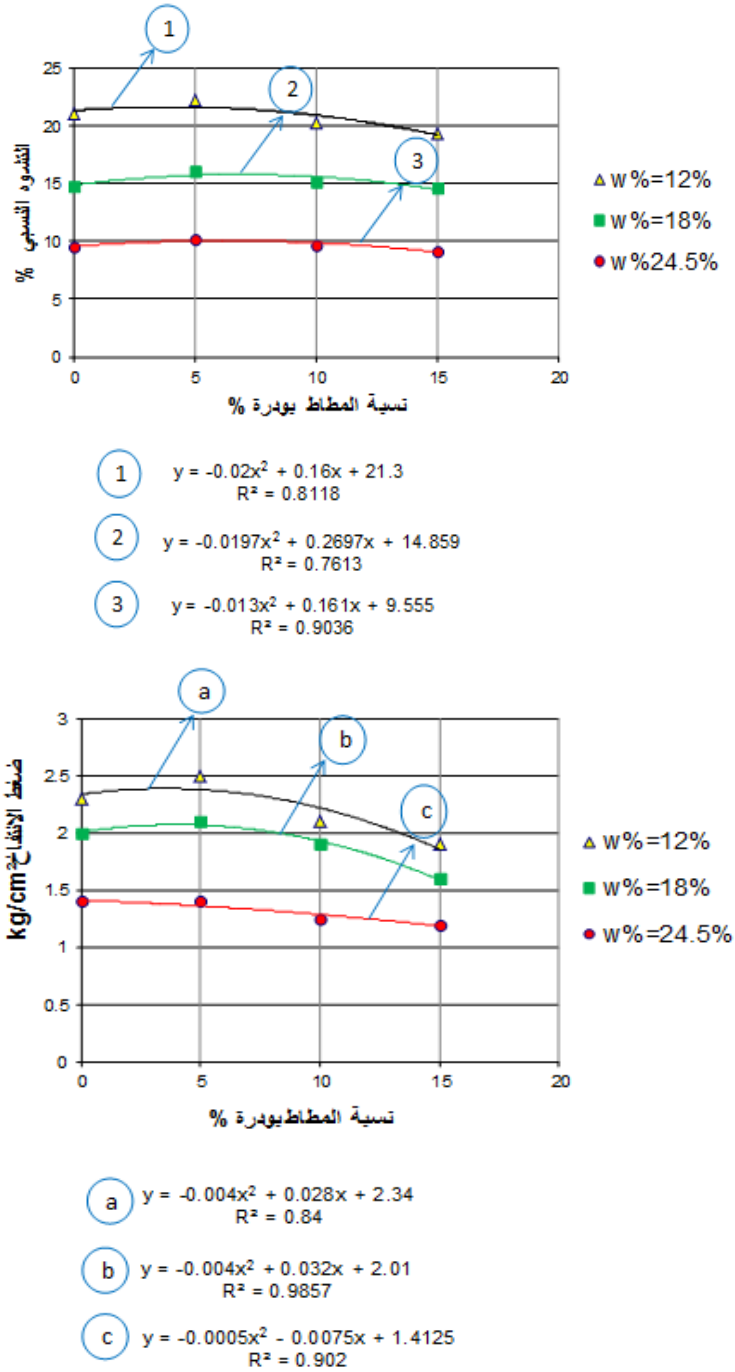
ومن المخطط رقم (2) ومن أجل حالة إضافة المطاط بشكل قطع للتربة نجد مايلي :

– يتناقص كل من التشوه النسبي للانتفاخ وضغط الانتفاخ عند إضافة قطع المطاط للتربة من أجل جميع النسب وفق علاقات منحنية . وتناقص التشوه النسبي للانتفاخ بنسب تراوحت بين %(5~45) وتناقص ضغط الانتفاخ بنسب تراوحت بين%(15~60).

– النسبة الأفضل من المطاط القطع والتي أعطت أكبر نقصان في خصائص الانتفاخ هي 15% في حالة رطوبة ابتدائية للتربة 18%.



المخطط رقم (2) : تغير خصائص الانتفاخ للعينات المشكلة بنسب من المطاط القطع



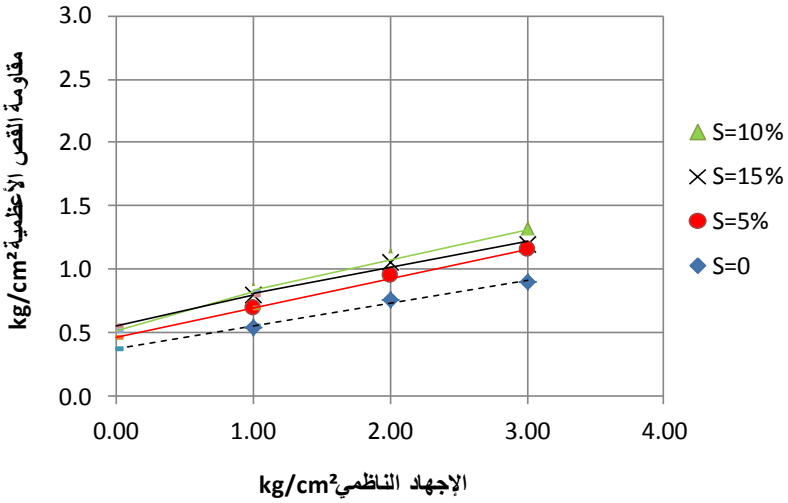
المخطط رقم (3) : تغير خصائص الانتفاخ للعينات المشكلة بنسب من المطاط البودرة

ومن المخطط رقم (3) من أجل حالة إضافة المطاط بشكل بودرة للتربة نجد مايلي :

إن إضافة بودرة المطاط للتربة قد لعبت دوراً سلبياً وزادت من خصائص الانتفاخ وخاصة من أجل النسب القليلة ، ومن أجل بعض الحالات عند إضافة بودرة يوجد تناقص في التشوه النسبي للانتفاخ بنسب تراوحت بين %(1~8) ، وتناقص في ضغط الانتفاخ بنسب تراوحت بين%(4~20).

ثانياً – دراسة تغير عوامل القص للعينات المشكلة من التربة الغضارية والمطاط :

تتوضح نتائج تجارب القص المباشر (مستقيمات مور كولومب) كما في المخطط رقم (4) من أجل إجراء التجارب على العينات المشكلة من التربة الغضارية ونسب المطاط القطع حيث رطوبة العينة البدائية 24.5% .



المخطط رقم (4) مستقيمات مور كولومب للعينات المشكلة مع قطع المطاط w=24.5%

وكذلك تم تكرار تجارب القص المباشر من أجل الرطوبات البدائية (18 ،24.5، 12)% ومن أجل حالتي استخدام قطع وبودرة المطاط . ويمكن تلخيص النتائج النهائية لجميع تجارب القص المباشر (التماسك وزاوية الاحتكاك) للعينات المشكلة مع نسب المطاط بالجدول رقم (6) والمخططين رقم (5) و(6).

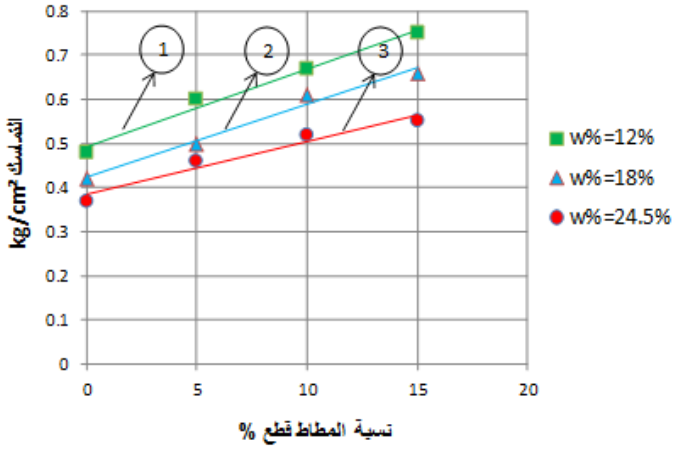
الجدول رقم (6) : تغير عوامل القص للعينات المشكلة بنسب من المطاط

الرطوبة البدائية w%	نسبة المطاط %S	حالة المطاط القطع		حالة المطاط البودرة	
		التماسك kg/cm^2	زاوية الاحتكاك (درجة)	التماسك kg/cm^2	زاوية الاحتكاك (درجة)
%24.5	**0**	0.37	10	0.37	10
	5	0.46	13	0.36	9
	10	0.52	16	0.33	7
	15	0.55	14	0.27	7
%18	**0**	0.42	14	0.42	14
	5	0.5	16	0.43	15
	10	0.61	18	0.36	12
	15	0.66	17	0.31	10
%12	**0**	0.48	18	0.48	18
	5	0.6	21	0.53	21
	10	0.67	23	0.43	17
	15	0.75	20	0.4	15

من المخطط رقم (5) نجد زيادة تماسك التربة عند إضافة قطع المطاط للتربة من أجل جميع النسب وفق علاقات خطية ، وزيادة زاوية احتكاك التربة عند إضافة قطع المطاط للتربة من أجل جميع النسب وفق علاقات منحنية .

عند إضافة قطع المطاط للتربة بالنسب %(5،10،15) زاد التماسك بنسب تراوحت بين %(12~57) ، وزادت زاوية الاحتكاك بنسب تراوحت بين%(11~60).

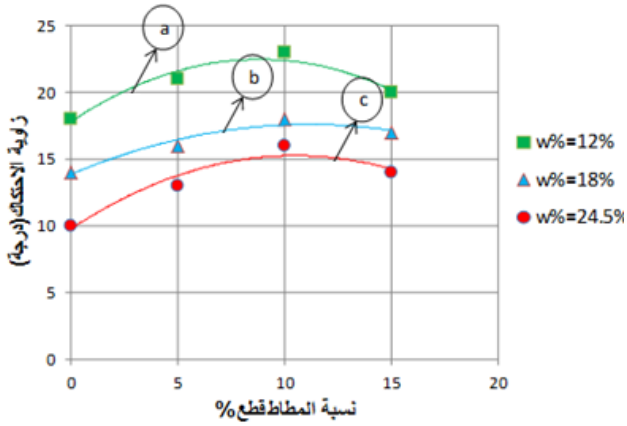
– النسبة الأفضل من المطاط القطع والتي أعطت أكبر مقاومة للقص 15% في حالة رطوبة ابتدائية للتربة 18% .



1 $y = 0.0176x + 0.493$, $R^2 = 0.9852$

2 $y = 0.0166x + 0.423$, $R^2 = 0.982$

3 $y = 0.012x + 0.385$, $R^2 = 0.9524$

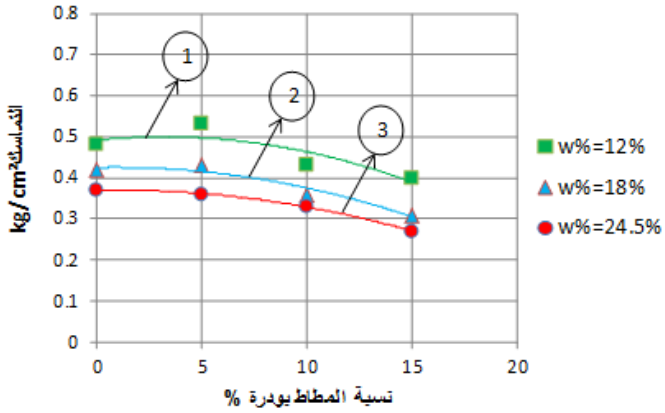


a $y = -0.06x^2 + 1.06x + 17.8$, $R^2 = 0.9385$

b $y = -0.03x^2 + 0.67x + 13.85$, $R^2 = 0.9486$

c $y = -0.05x^2 + 1.05x + 9.75$, $R^2 = 0.9333$

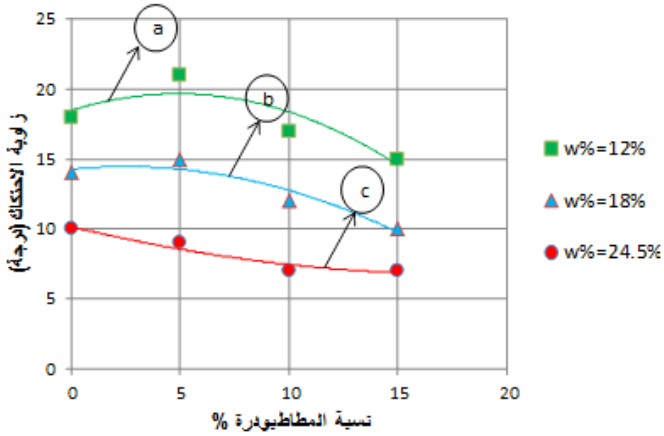
المخطط رقم (5): تغير الاحتكاك والتماسك للعينات المشكلة بنسب من المطاط القطع



1 $y = -0.0008x^2 + 0.0052x + 0.491$
$R^2 = 0.7531$

2 $y = -0.0006x^2 + 0.001x + 0.425$
$R^2 = 0.9468$

3 $y = -0.0005x^2 + 0.0009x + 0.3695$
$R^2 = 0.9992$



a $y = -0.05x^2 + 0.49x + 18.45$
$R^2 = 0.784$

b $y = -0.03x^2 + 0.15x + 14.25$
$R^2 = 0.9153$

b $y = 0.01x^2 - 0.37x + 10.15$
$R^2 = 0.9333$

المخطط رقم (6) : تغير الاحتكاك والتماسك للعينات المشكلة بنسب من المطاط البودرة

أما من أجل العينات المشكلة مع بودرة المطاط ومن المخطط رقم (6) نجد مايلي :

– يكون تغير كل من تماسك التربة واحتكاكها عند إضافة بودرة المطاط للتربة وفق علاقات منحنية تقريبية متناقصة كلما زادت النسب من البودرة .

– عند إضافة بودرة المطاط للتربة بالنسب %(5،10،15) انخفض التماسك بنسب تراوحت بين %(3~27) ، وانخفضت زاوية الاحتكاك بنسب تراوحت بين %(6~30).

4–النتائج ومناقشتها:

من المخططات السابقة لنتائج تجارب الانتفاخ يمكن التوصل بشكل وسطي للمخطط رقم (7) للمقارنة بين تأثير كل من قطع وبودرة المطاط على خصائص الانتفاخ ، ويمكن استنتاج قيمة التشوه النسبي للانتفاخ $\zeta_{sw}\%$ للعينات المشكلة من التربة المدروسة المطاط بالنسبة S% بالمعادلتين الوسطيتين التقريبيتين :

من أجل قطع المطاط :

$$\zeta_{sw}\% = 0.018 * S^2\% - 0.66 * S\% + 15.05$$

من أجل بودرة المطاط :

$$\zeta_{sw}\% = -0.018 * S^2\% + 0.2 * S\% + 15.24$$

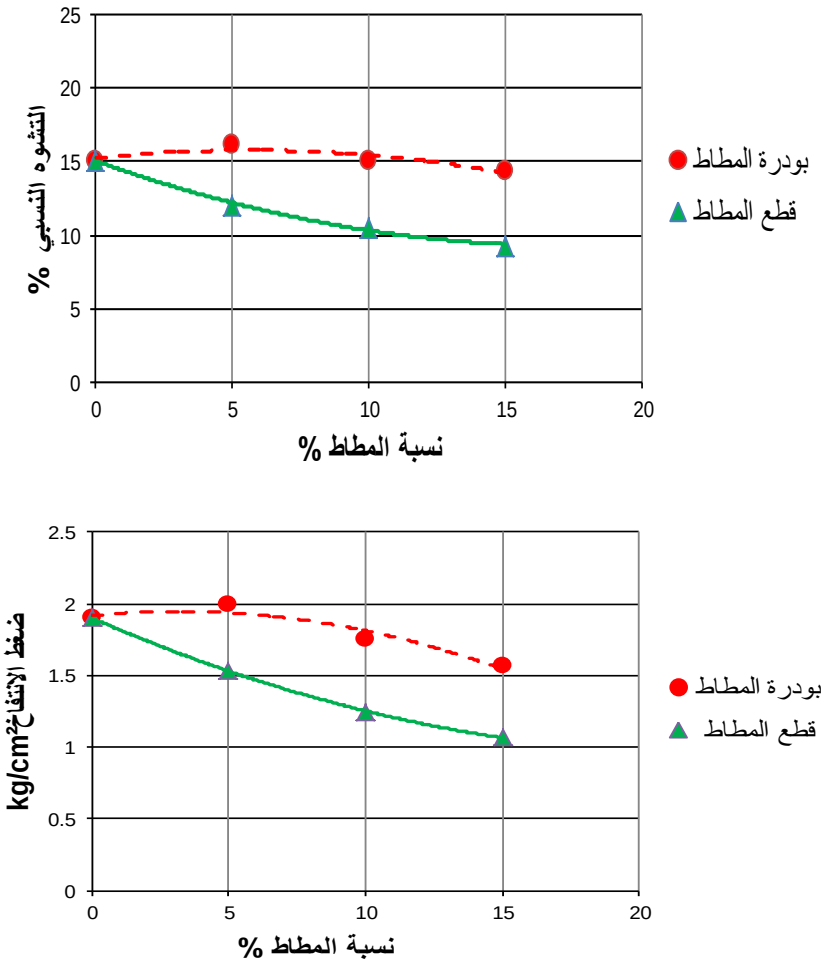
ويمكن استنتاج قيمة ضغط الانتفاخ σ_{sw} للعينات المشكلة من التربة المدروسة والمطاط بالنسبة S% من المعادلتين الوسطيتين التقريبيتين :

من أجل قطع المطاط :

$$\sigma_{sw} = 0.0018 * S^2\% - 0.083 * S\% + 1.93$$

من أجل بودرة المطاط :

$$\sigma_{sw} = -0.0028 * S^2\% + 0.018 * S\% + 1.92$$

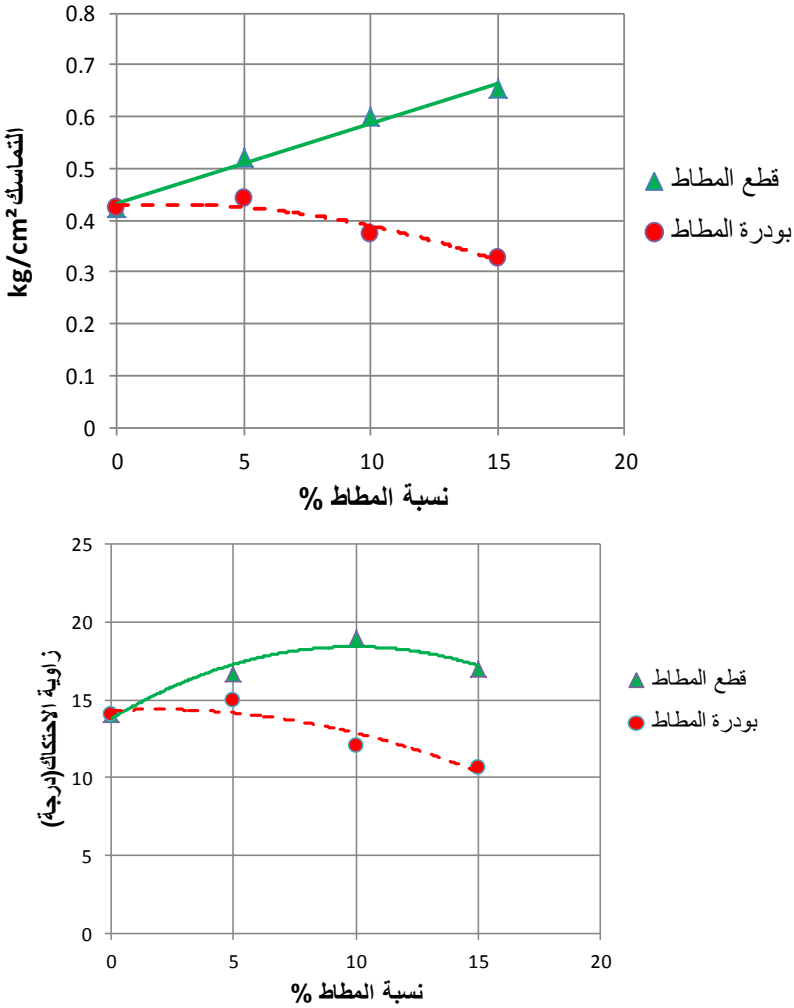


المخطط رقم (7) : تغير خصائص الانتفاخ عند إضافة المطاط للتربة (قطع ، بودرة)

ومن المخطط رقم (7) يمكن أن نستنتج أن إضافة قطع المطاط إلى التربة أكثر فعالية من البودرة في تخفيض خصائص الانتفاخ ، ويفسر ذلك بأنها تعمل على تسليح التربة مثل الألياف وتزيد من متانة الترابط بين حبيبات التربة وبالتالي تقاوم إجهادات الشد التي يسببها الانتفاخ ، فوجودها يعيق عملية الانتفاخ ، أما إضافة بودرة المطاط الناعمة فقد لعبت دور سلبي في بعض الأحيان وزادت من خصائص الانتفاخ ، ويمكن تفسير ذلك

بأن السطح النوعي للبودرة كبير وبالتالي يحتاج إلى كمية من الماء لتغليف سطوحه والتي ساهمت في إنقاص الرطوبة البدائية للتربة وبالتالي زاد الانتفاخ .

ومن المخططات السابقة لنتائج تجارب القص يمكن التوصل بشكل وسطي للمخطط رقم (8) للمقارنة بين تأثير كل من قطع وبودرة المطاط على خصائص القص .



المخطط رقم (8) : تغير خصائص القص عند إضافة المطاط للتربة (قطع ، بودرة)

– يمكن استنتاج التماسك للعينات المشكلة من التربة المدروسة المطاط بالنسبة S%بالمعادلتين الوسطيتين التقريبيتين :

من أجل قطع المطاط : $C = 0.015 * S\% + 0.43$

من أجل بودرة المطاط : $C = -0.0006 * S^2\% + 0.0024 * S\% + 0.43$

– يمكن استنتاج قيمة زاوية الاحتكاك للعينات المشكلة من التربة المدروسة والمطاط بالنسبة S%من المعادلتين الوسطيتيتن التقريبيتين :

من أجل قطع المطاط : $\phi = -0.047 * S^2\% + 0.93 * S\% + 13.8$

من أجل بودرة المطاط : $\phi = -0.023 * S^2\% + 0.09 * S\% + 14.28$

ومن المخطط رقم (8) يمكن أن نستنتج أن إضافة قطع المطاط إلى التربة أظهرت فعالية في زيادة مقاومة التربة على القص بسبب زيادة التماسك وزاوية الاحتكاك ، حيث إن قطع المطاط تعمل على زيادة الترابط بين حبيبات التربة بألياف المطاط وبالتالي زيادة التماسك ، وكذلك تؤدي قطع المطاط لحصول تداخل وتعشق بين سطوح الحبيبات وبالتالي زيادة زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة.

أما إضافة بودرة المطاط الناعمة فقد لعبت دور سلبي حيث خفضت مقاومة القص فكلما زادت في التربة أضعفت من الترابط بين الحبات وبالتالي التماسك ، وكذلك تقلل من الاحتكاك بسبب سطوحها الناعمة وكونها شغلت حيزاً في العينة بدل الغضار من دون إضافة أية خواص تسليح للعينة . ويلاحظ في بعض الأحيان عند إضافة البودرة بنسب قليلة أنه زادت مقاومة القص ويفسر ذلك بسبب أن السطح النوعي للبودرة كبير ، وبالتالي يحتاج إلى كمية من الماء لتغليف سطوحه والتي ساهمت في إنقاص الرطوبة البدائية للعينة وزيادة خواص القص لها بنسب محدودة.

5-الإستنتاجات والتوصيات :

تم التوصل إلى عدة استنتاجات فيما يخص تأثير خلط المطاط مع الترب الغضارية المنتفخة ، ويجب التنويه إلى أن هذه الاستنتاجات تتوافق مع التربة الغضارية المستخدمة في هذا البحث والتي صنفت بأنها غضار عالي اللدونة CH ، قرينة لدونتها 38.4%، وحد السيولة % 81.9، ونذكر فيما يلي أهم الاستنتاجات التي تم التوصل إليها :

1 – عند إضافة قطع المطاط للتربة بالنسب %(5،10،15) تناقص التشوه النسبي للانتفاخ بنسب تراوحت بين %(5~45) ، وتناقص ضغط الانتفاخ بنسب تراوحت بين%(15~60) ، ومن أجل إضافة النسب من البودرة تناقص التشوه النسبي للاانتفاخ بنسب تراوحت بين %(1~8) ، وتناقص ضغط الانتفاخ بنسب تراوحت بين%(5~20)، وبالتالي إضافة قطع المطاط إلى التربة أكثر فعالية من البودرة في تخفيض خصائص الانتفاخ للتربة الغضارية .

2 – عند إضافة قطع المطاط للتربة بالنسب %(5،10،15) زاد التماسك بنسب تراوحت بين %(12~57) ، وزادت زاوية الاحتكاك بنسب تراوحت بين%(11~60) ، ومن أجل إضافة النسب من البودرة انخفض التماسك بنسب تراوحت بين %(3~27) ، وانخفضت زاوية الاحتكاك بنسب تراوحت بين%(6~30)

3 – النسبة الأفضل من المطاط القطع والتي أعطت أفضل خصائص للتربة (أكبر مقاومة للقص وأقل انتفاخ) هي 15% في حالة رطوبة ابتدائية للتربة 18% .

4 – إن إضافة بودرة المطاط للتربة يمكن أن تلعب دوراً سلبياً وتزيد من خصائص الانتفاخ وكذلك يمكن أن تخفض من زاوية الاحتكاك والتماسك للتربة.

5 – تم استنتاج معادلات رياضية تعطي خصائص الانتفاخ وعوامل القص حسب نسبة المطاط ونوعية استخدامه قطع أو بودرة.

6 – نوصي بإجراء دراسة على تأثير إضافة المطاط على كل من مقاومة الضغط الحر وقيمة CBR للتربة الغضارية .

7 – نوصي بإجرء دراسة لتحسين التربة الغضارية باستخدام ألياف مطاطية ذات مقطع أقل من مقطع القطع المستخدمة في هذا البحث وأطول منها .

8– إجراء تجارب إضافة قطع المطاط على ترب ذات خصائص مختلفة للتحقق من إمكانية تعميم النتائج التي تم التوصل إليها .

6-المراجع :

[1] - ASTM, (1996),D4546,"Annual book of standards,New York,USA.

[2] - Chen, F.H. (1988)."Foundations on Expansive Soils.". Oxford, New York.

[3] - Heyer,L.C. (2012)."Swell, Stiffness and Strength of Expansive soil - Rubber (esr)Mixtures at various scales : effect of specimen and rubber particle sizes .".Colorado State University.

[4] - J.S. Yadav, S.K. Tiwari. (2017)."Effect of waste rubber fibres on the geotechnical properties of clay stabilizedwith cement"Malaviya National Institute of Technology.

[5] - M.E Scholar, (2017)."Stabilization of Clay Soil Mixed With Rubber Tyre Chips For Design in Road Construction ".

[6] - Nelson, J.D. and Miller, D.J. (1992)." Expansive Soils - First Edition.". New York.

[7] - Srivastava,A. (2014)."Use of shredded tyre waste in improving the geotechnical properties of expansiveblack cotton soil ".Geomechanics and GeoengineeringAn International Journal.