دراسة تغير خواص الانتفاخ والقص للترب الناعمة بعد خلطها مع المطاط

إعداد
المهندس واصف هيثم كوسى

إشراف

د. محمد تقلا (مشرف أساسي)
أستاذ في قسم الهندسة الجيوتكنية
كلية الهندسة المدنية – جامعة حمص

د.لينا كراكيت (مشرف مشارك)
أستاذ مساعد في قسم الهندسة الجيوتكنيكية
كلية الهندسة المد نية – جامعة حمص

ملخص البحث :

يتضمن هذا البحث إجراء دراسة تجريبية لتأثير إضافة المطاط على خواص الانتفاخ والقص لنوعين من الترب الناعمة ، وقد تم خلط الترب الناعمة المدروسة مع المطاط وفق نسب محددة باستخدام نوعين للمطاط النوع الأول قطع مطاطية بطول cm (1.5–1) ناتجة عن قص يدوي لإطارات تالفة ، والنوع الثاني حبيبات مطاطية تستخدم في الملاعب بقطر mm(3-4) ، وتم إجراء تجارب الانتفاخ وتجارب القص المباشر للعينات المشكلة ، ومن ثم تم إجراء تحليل رياضي للنتائج التجريبية ، وتم التوصل إلى أن استخدام المطاط القطع في الترب الناعمة يخفض انتفاخها ويزيد من تماسكها ، كذلك تم التوصل لعدة نتائج هامة ، وتوصيات للأبحاث المستقبلية.

الكلمات المفتاحية : تربة منتفخة ، مقاومة القص ، ضغط الانتفاخ ، الإطارات المطاطية

Study of Changes in the Swelling and Shear Properties of Soft Soils After Mixing with Rubber

Abstract :

This research includes an experimental study of the effect of adding rubber on the swelling and shear properties of two types of soft soils. The studied soft soils were mixed with rubber in specific ratios using two types of rubber, the first type consisted of rubber pieces (1-1.5 cm long) resulting from the manual cutting of damaged tires, and the second type consisted of rubber granules used in sports fields with a diameter of (3-4) mm. Swelling tests and direct shear tests were performed on the resulting samples. A mathematical analysis of the experimental results was then performed, revealing that the use of rubber pieces in soft soils reduces their swelling and increases their cohesion. Several important results and recommendations for future research were also reached.

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

1- مقدمة :

إن إقامة المشاريع الهندسية على الترب الناعمة والغضارية يشكل تحدياً مستمراً لمهندسي الجيوتكنيك ، حيث تتميز التربة الغضارية الطرية المشبعة بقابلية عالية للهبوط ومقاومة قص ضعيفة ، ويؤثر ذلك بشكل مباشر على قدرة تحملها وعلى توازن المنحدرات ، مما يسبب أضراراً كبيرة في المنشآت الهندسية المشيدة على هذه الترب ، و أهم الترب الناعمة التي تسبب مشاكل للمنشآت المقامة عليها هي التربة الغضارية المنتفخة التي تتميز بحساسية كبيرة تجاه الرطوبة وتغيرات حجمية انتفاخ وتقلص بشكل متكرر تبعاً للظروف الجوية ورطوبة التربة ، وهذا التغير في الحجم يؤدي إلى تشوهات في التربة ، تكون على شكل هبوط بسبب انكماش التربة إثر الجفاف أو على شكل نهوض بسبب انتفاخ التربة إثر امتصاصها للماء وزيادة رطوبتها ، هذا

الاختلاف في السلوك يؤثر بشكل مباشر على تصميم المنشآت الهندسية المشيدة على هذه الترب ، وعند التأسيس دون إجراء تحسين لمواصفات التربة سوف ينعكس ذلك سلباً على سلامة المنشآت، وقد لجأ الإنسان إلى تحسين خواص التربة الغضارية بالفطرة منذ القديم قبل أن يتوصل إلى ذلك علمياً فخلطها مع القش للتخفيف من الشقوق التي يمكن أن تظهر فيها .

تحسين التربة هو العمل على زيادة مقاومة التربة للقص وقدرة تحملها وتقليل قابلية الانضغاط وتقسم طرق تحسين التربة إلى طرق ميكانيكية وكيميائية وحرارية ، وتعتمد الطرق الميكانيكية على الرص المناسب أو تحسين التدرج الحبي بخلط نوعين أو أكثر من الترب المختلفة للحصول على مواد تلبي الشروط المطلوبة ، والطرق الكيميائية تكون بإضافة مواد كيميائية للتربة حيث تحصل تفاعلات بين منرلات التربة والمواد المضافة وتتشكل مواد جديدة ، وفي هذا البحث تم استخدام المطاط مع التربة الناعمة ودراسة خصائص القص والانتفاخ اعتماداً على مقترحات بعض الدراسات الحديثة في هذا المجال .

أجرى الباحث [1] Srivastava,A.(2014) تجاربه على تربة غضارية عالية اللدونة مع إضافة مطاط أبعاده mm(2–4.75) فوجد انخفاض ضغط انتفاخ التربة حوالي 84% عند إضافة المطاط بنسبة 30% ، بينما ازداد التماسك للتربة حوالي 63% من أجل إضافة المطاط بنسبة 5% .

استخدم الباحثون [2] Solanki, D.and Dave, M. (2017) قطعاً مستطيلة من مطاط إطارات السيارات وزنها النوعي (0.9–1) لتحسين خواص تربة غضارية ، طول القطع المطاطية mm(50–3) والعرضmm(25–1) ، وتوصل الباحثون من نتائج التجارب إلى أنه تزداد مقاومة التربة للقص مع زيادة نسبة المطاط حتى النسبة 25% وبزيادة نسبة قطع المطاط عن 25% تناقصت مقاومة القص للتربة .

استخدم الباحث [3] Soltani,A.(2018) المطاط بنوعين النوع A أبعاده 75– 1.18 mm µm ، النوع B أبعاده mm(1.18–4.75) مع تربة غضارية منتفخة عالية اللدونة ، وجد

الباحث تناقص في قيم دليل الانتفاخ الرئيسي مع زيادة نسب المطاط ، فمن أجل نوع المطاط A بنسبة 30% تناقص دليل الانتفاخ الرئيسي بنسبة 46% ، أما من أجل نفس نسبة المطاط من النوع B حصلنا على تناقص بنسبة 56%، كذلك تناقص قيم دليل الانتفاخ الثانوي مع زيادة نسب المطاط ، فمن أجل نوع المطاطA بنسبة 30% تناقص دليل الانتفاخ الثانوي بنسبة 42% ، أما النوع B حصلنا على تناقص بنسبة 64% لدليل الانتفاخ الثانوي ، حيث إن التناقص الأكبر في خواص الانتفاخ وافق دوماً استخدام المطاط من النوع B الخشن.

استخدم الباحثون L.N.Snodi and I.S. Hussein.(2019)[4] تربة سيلتية مع قطع مطاط بمساحة مربعة ($1cm^2$) سماكة (3mm) ونسب المطاط المضافة %(2،4،6،8) نتج ازدياد التماسك مع زيادة نسب المطاط حتى وصلت نسبة الزيادة بحدود 50% من أجل نسبة المطاط المضافة 8% وكذلك ازدادت قيمة زاوية الاحتكاك حتى وصلت نسبة الزيادة 65% من أجل نسبة المطاط المضافة 8% ، وبزيادة نسبة المطاط عن 8% بدأت تنخفض خواص القص

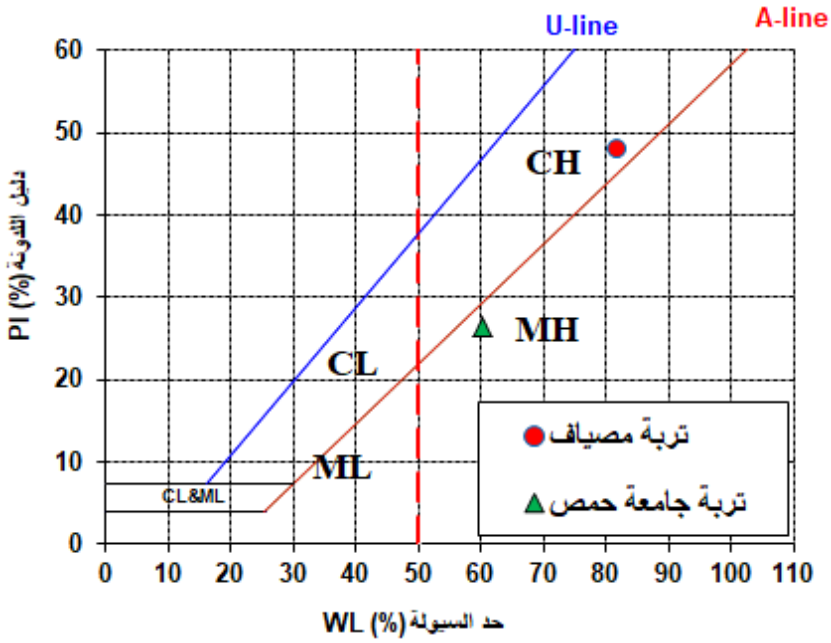
2-هدف البحث :

دراسة تأثير إضافة المطاط على خصائص الانتفاخ والقص للترب الناعمة ، وإجراء مقارنة بين تأثير إضافة كل من القطع المطاطية الناتجة من الإطارات التالفة والحبيبات المطاطية التي تستخدم في الملاعب.

3-مواد وطرق البحث : تمإجراء البحث باستخدام نوعين من الترب الناعمة التربة الأولى غضارية والثانية سيلتية حيث التربة الأولى من منطقة مصياف تم استخراجها أثناء الحفر لبئر من عمق 5 m تصنيفها تربة غضارية عالية اللدونة CH وزن نوعي 2.76 حد سيولة 82% دليل اللدونة 48% ، نسبة النواعم 94% ونسبة الغضار 59% ، زاوية الاحتكاك°17، التماسك $0.5\ kg/cm^2$ ، ضغط الانتفاخ $4.5kg/cm^2$ والانتفاخ النسبي الحر 12.5%.

التربة الثانية من منطقة جامعة حمص تم استخراجها من موقع حفريات بعمق 1m تصنيفها سيلت عالي اللدونة MH وزن نوعي 2.68 حد سيولة 60% دليل اللدونة % 27، نسبة النواعم 55.2% نسبة الغضار 43% ، زاوية الاحتكاك°26، التماسك $0.25\ kg/cm^2$ ، ضغط

الانتفاخ $3.2kg/cm^2$ والانتفاخ النسبي الحر 10.8%، ويتوضح تصنيف التربة الناعمة السابقة المستخدمة في هذا البحث على مخطط كاساغراندي كما في الشكل رقم (1)

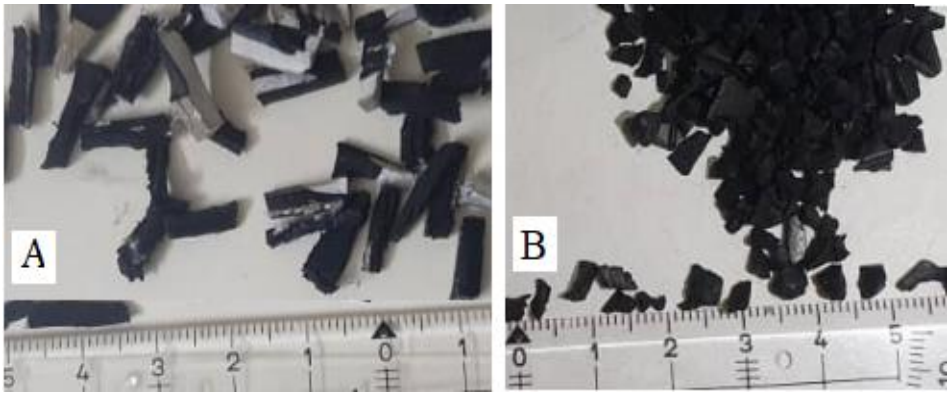


الشكل رقم (1) : مخطط كاساغراندي لتصنيف التربة المدروسة

وبهدف دراسة تغير خواص الانتفاخ والقص للتربة الناعمة المدروسة تم خلطها مع المطاط بالنسب (5,10,15)% مأخوذة كنسبة من الوزن الجاف للتربة ، حيث استخدم المطاط وفق طريقتين :

الطريقة الأولى A قطع مطاطية ناتجة عن قص يدوي لإطارات تالفة (قصاصات طولها1–1.5cm) وزنها النوعي1.1 وهي تتكون بشكل أساسي من حوالي(40–50)% مطاط طبيعي وصناعيStyrene ،(30–35)% سيليكا وكربون أسود والنسب المتبقية زيوت وكبريت .

الطريقة الثانية B حبيبات مطاطية بقطر mm(4–3) وزنها النوعي1.2 وهي حبيبات صناعية نوع SBR:(Styrene–Butadiene Rubber) ناتجة من إعادة تدوير الإطارات والأنابيب المطاطية القديمة وتقطيعها إلى حبيبات صغيرة متجانسة بعد التخلص من عناصر الحديد والألياف وغيرها من الشوائب ، ويوضح الشكل رقم (2) صوراً لأنواع المطاط المستخدم في هذا البحث.



الشكل رقم (2) : أنواع المطاط المستخدم في هذا البحث

تم استخدام المطاط بنوعيه قطع وحبيبات وفق حالته الطبيعية بعد أخذه من المصدر دون إجراء أي عمليات غسيل أومعالجة ، وتم تشكيل العينات للتربة المدروسة بالخلط اليدوي حتى الحصول على خليط متجانس وتغليفه لمدة 24 ساعة قبل بدء التجارب

4–الدراسة التجريبية ومناقشة النتائج :

<u>أولا :</u> تجارب الانتفاخ :

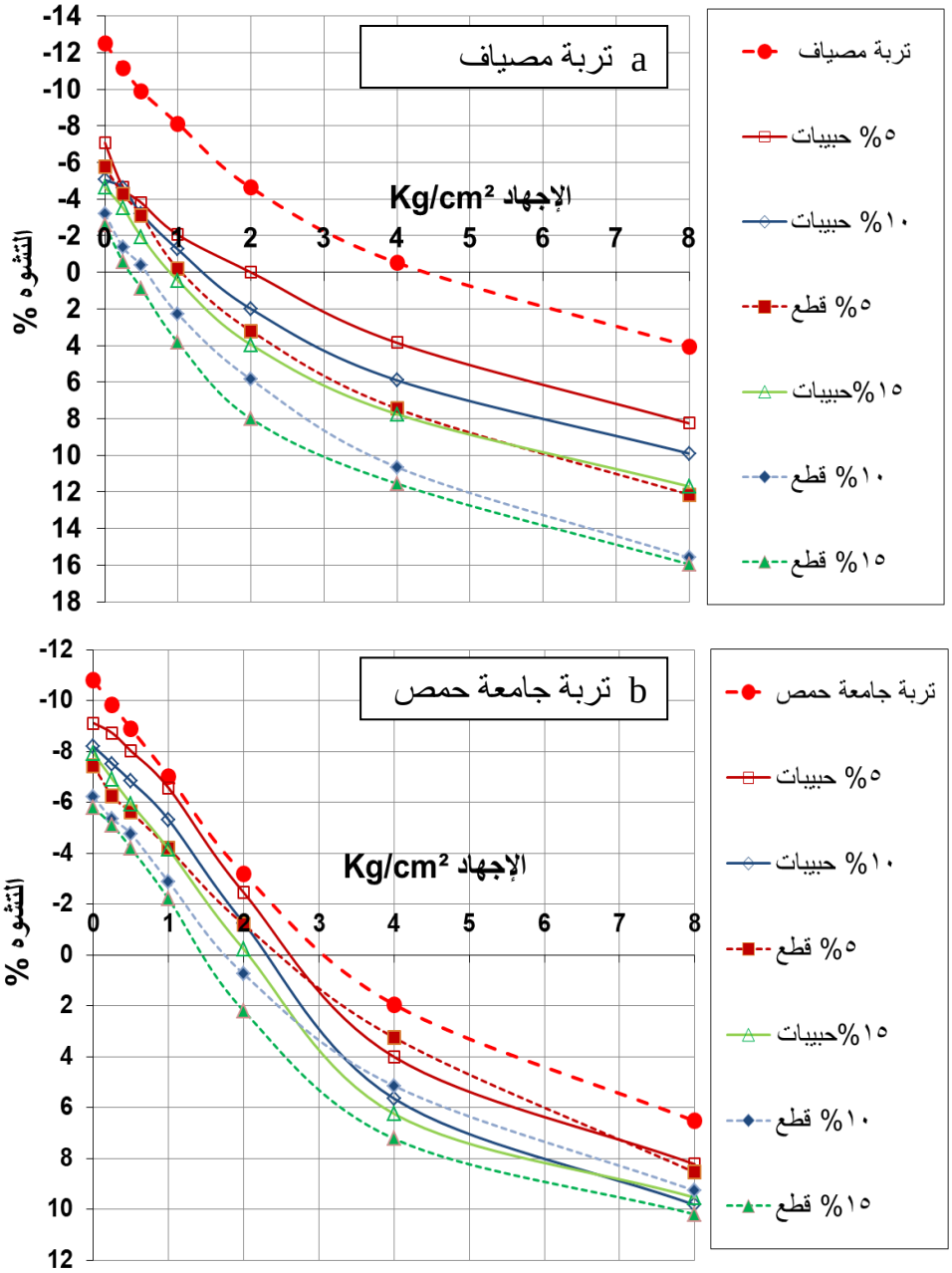
أجريت تجارب الانتفاخ على التربة الناعمة المدروسة في جهاز الآدومتر وفق الكود ASTM D4546 وفق الشروط البدائية بحيث ارتفاع العينة 20 mm ومساحة العينة $A=40cm^2$ وتم مراقبة انتفاخ العينات بعد بدء غمرها بالماء حتى استقرار الانتفاخ مدة 48 ساعة ثم طبقت الإجهادات $(0.25,0.5,1,2,4,8)kg/cm^2$ ، ويبين الشكل رقم(3) صورة لعينات مشكلة في حلقة تشديد لجهاز الآدومتر من أجل تجارب الانتفاخ في مخبر ميكانيك التربة جامعة حمص

a(تربة + حبيبات مطاطية)

b(تربة + قطع مطاطية)

الشكل رقم (3) : عينات مشكلة من التربة الناعمة والمطاط لتجارب الانتفاخ في جهاز الآدومتر بجامعة حمص

ويبين الشكل رقم (4) نتائج تجارب الانتفاخ مع نسب المطاط (حبيبات وقطع المطاطية) a من أجل تربة مصياف ، b من أجل تربة جامعة حمص.



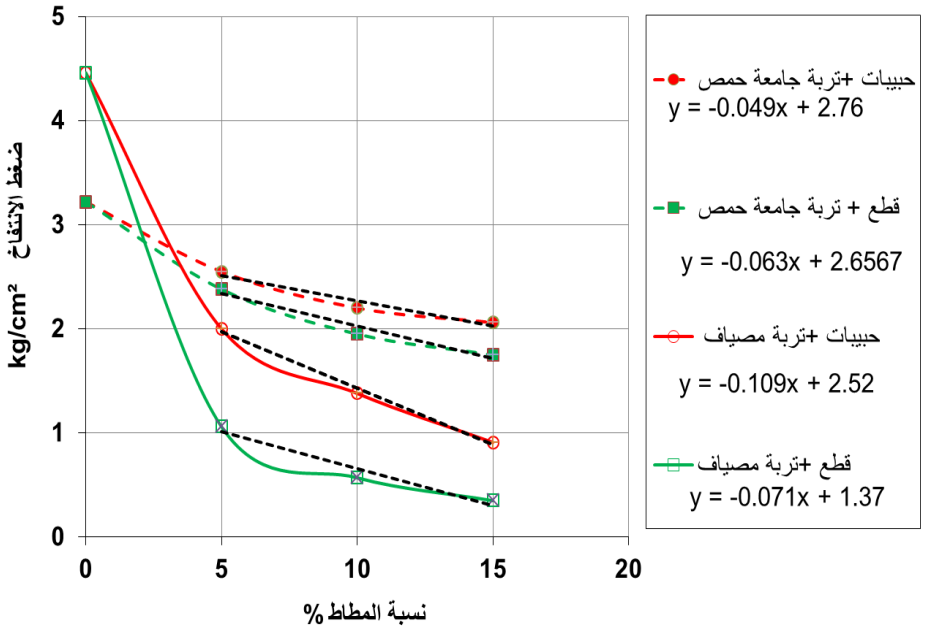
الشكل رقم (4) : نتائج تجارب الانتفاخ على الترب المدروسة المخلوطة مع نسب الحبيبات والقطع المطاطية

ويبين الجدول رقم (1) قيم خواص الانتفاخ (ضغط الانتفاخ والانتفاخ النسبي الحر) المستخرجة من تجارب الانتفاخ من أجل تربة مصياف وتربة جامعة حمص

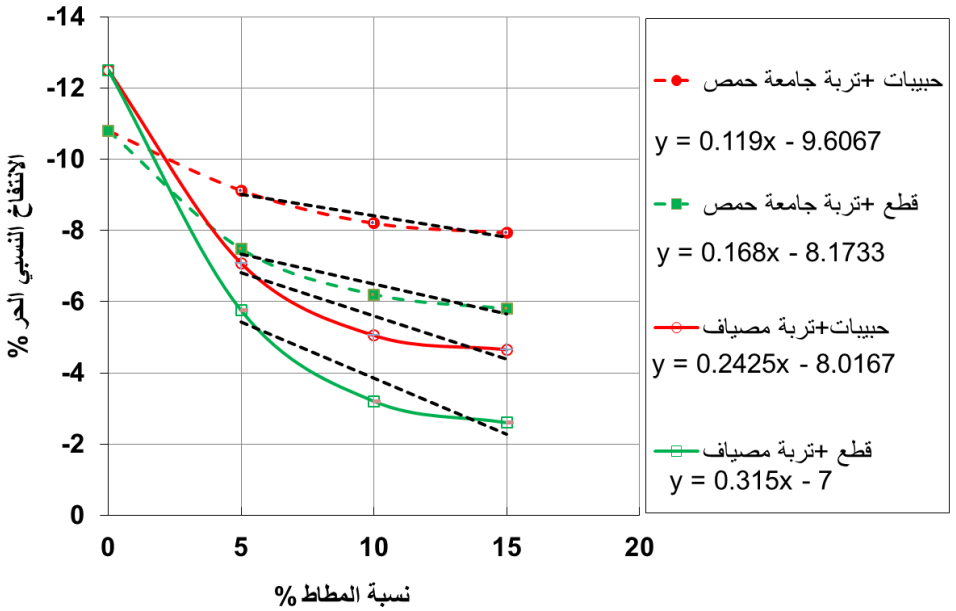
الجدول رقم (1) : قيم خواص الانتفاخ للترب المدروسة المخلوطة مع المطاط

1-تربة مصياف:			
نسبة المطاط%		ضغط الانتفاخ σ_{sw} kg/cm²	الانتفاخ النسبي الحر ε_{sw} %
0		4.46	-12.5
قطع	5	1.06	-5.75
	10	0.57	-3.20
	15	0.35	-2.60
حبيبات	5	2.00	-7.08
	10	1.38	-5.05
	15	0.91	-4.65
2-تربة جامعة حمص:			
نسبة المطاط%		ضغط الانتفاخ σ_{sw} kg/cm²	الانتفاخ النسبي الحر ε_{sw} %
0		3.22	-10.80
قطع	5	2.38	-7.48
	10	1.95	-6.20
	15	1.75	-5.80
حبيبات	5	2.55	-9.12
	10	2.20	-8.20
	15	2.06	-7.93

ويوضح الشكل رقم (5) العلاقة بين نسبة المطاط المضافة (قطع ، حبيبات) وضغط الانتفاخ للترب المدروسة ، والشكل رقم (6) العلاقة بين نسبة المطاط المضافة (قطع ، حبيبات) والانتفاخ النسبي الحر للترب المدروسة



الشكل رقم (5) : العلاقة بين نسب المطاط المضافة وضغط الانتفاخ للترب المدروسة



الشكل رقم (6) : العلاقة بين نسب المطاط المضافة والانتفاخ النسبي الحر للترب المدروسة

عند إضافة نسب المطاط (القطع ، الحبيبات) انخفضت خواص الانتفاخ ضغط الانتفاخ والانتفاخ النسبي الحر للترب الناعمة المدروسة وفق علاقات خطية تقريباً ، وتكون نسب تخفيض خواص الانتفاخ للترب المدروسة المخلوطة مع المطاط كما في الجدول رقم (2)

الجدول رقم(2) : نسب تخفيض خواص الانتفاخ للترب المدروسة المخلوطة مع المطاط

نسبة المطاط%		نسبة تخفيض ضغط الانتفاخ %		نسبة تخفيض التشوه لانتفاخي%	
		مصياف	جامعة حمص	مصياف	جامعة حمص
قطع	5	76	26	54	31
	10	87	39	74	43
	15	92	46	79	46
حبيبات	5	55	21	43	16
	10	69	32	60	24
	15	80	36	63	27

ويفسر انخفاض خواص الانتفاخ عند إضافة المطاط للتربة بزيادة نسبة الجزء الصلب غير المنتفخ في العينة المختبرة على حساب الفراغات والتربة الناعمة وتكون القطع المطاطية أكثر فعالية في تخفيض خواص الانتفاخ من الحبيبات المطاطية وتتوافق هذه النتائج مع نتائج الباحثين Heyer,L.C. (2012) و Solanki, D. and Dave, M. (2017) التي تفيد أن المطاط الخشن أدى لتخفيض خواص الانتفاخ بشكل أكبر من المطاط الناعم.

ثانيا : تجارب القص المباشر:

أجريت تجارب القص المباشر وفق الكود ASTM- D3080 وتم تشكيل العينات بحيث ارتفاع العينة 20 mm ومساحة العينة $A=36cm^2$ مع غمر العينات بالماء وانتظار زمن 24 ساعة ثم تطبيق قوة قص بسرعة 0.5mm/min وفق الشروط المصرفة للعينة ويبين الشكل رقم(7) صورة لعلب تشكيل العينات لتجارب القص المباشر في مخبر ميكانيك التربة جامعة حمص

(تربة + حبيبات مطاطية)

(تربة + قطع مطاطية)

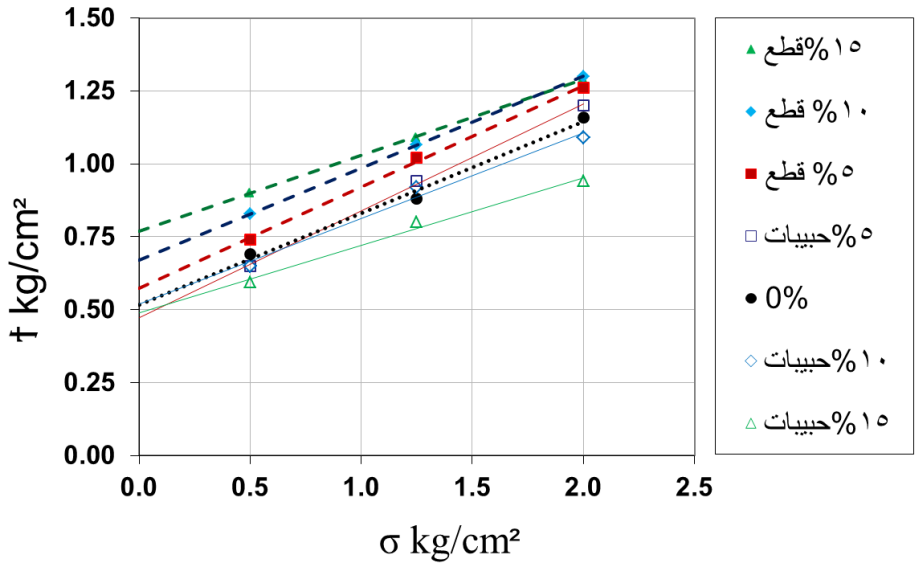
الشكل رقم (7) : عينات مشكلة من التربة الناعمة والمطاط

لتجارب القص المباشر في جامعة حمص

ويبين الجدول رقم(3) والشكل رقم (8) نتائج تجارب القص المباشر على تربة مصياف مع المطاط (قطع ، حبيبات)

الجدول رقم(3) : نتائج تجارب القص المباشر على تربة مصياف مع المطاط

تربة مصياف	مقاومة القص t kg/cm^2					
	نسبة الحبيبات المطاطية			نسبة القطع المطاطية		
σ kg/cm^2	5%	10%	15%	5%	10%	15%
0.50	0.65	0.65	0.48	0.74	0.83	0.90
1.25	0.94	0.92	0.80	1.02	1.06	1.09
2.00	1.20	1.09	0.48	1.26	1.30	1.29

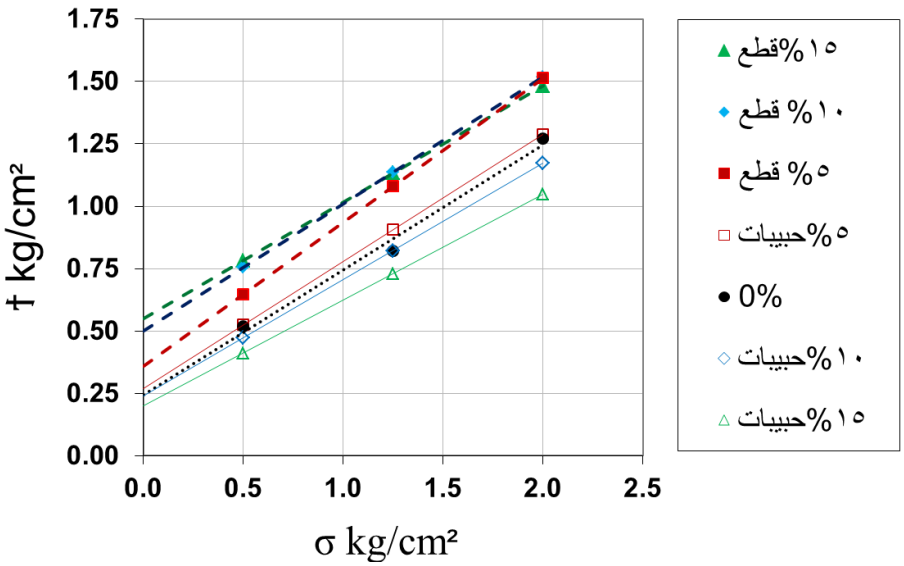


الشكل رقم (8) : نتائج تجارب القص المباشر على تربة مصياف مع المطاط

ويبين الجدول رقم(4) والشكل رقم (9) نتائج تجارب القص المباشر على تربة جامعة حمص مع المطاط (قطع ، حبيبات)

الجدول رقم(4) : نتائج تجارب القص المباشر على تربة جامعة حمص مع المطاط

تربة جامعة حمص	مقاومة القص t kg/cm²					
	نسبة الحبيبات المطاطية			نسبة القطع المطاطية		
σ kg/cm²	5%	10%	15%	5%	10%	15%
0.50	0.52	0.47	0.41	0.65	0.75	0.78
1.25	0.91	0.82	0.73	1.08	1.14	1.13
2.00	1.29	1.17	1.05	1.51	1.52	1.48



الشكل رقم (9) : نتائج تجارب القص المباشر على تربة جامعة حمص مع المطاط

من الشكلين السابقين رقم (8) و(9) يمكن استنتاج قيم زاوية الاحتكاك الداخلي وقيم التماسك للترب الناعمة المدروسة عند خلطها مع نسب المطاط المختلفة حبيبات وقطع كما في الجدولين رقم(5) ورقم (6)

الجدول رقم(5) : قيم زاوية الاحتكاك للترب المدروسة عند خلطها مع المطاط

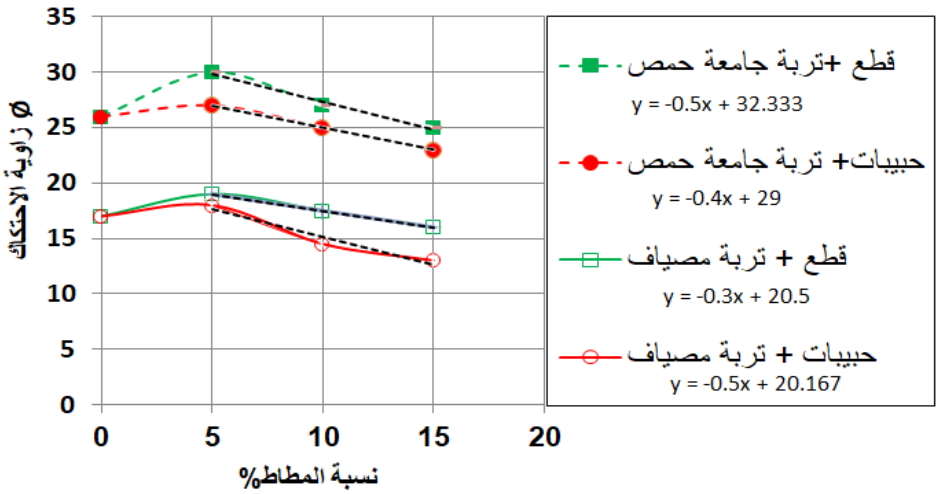
نسبة المطاط%		زاوية الاحتكاك	
		تربة مصياف	تربة جامعة حمص
حبيبات	0	17	26
	5	18	27
	10	14.5	25
	15	13	23
قطع	5	19	30
	10	17.5	27

	15	16	25

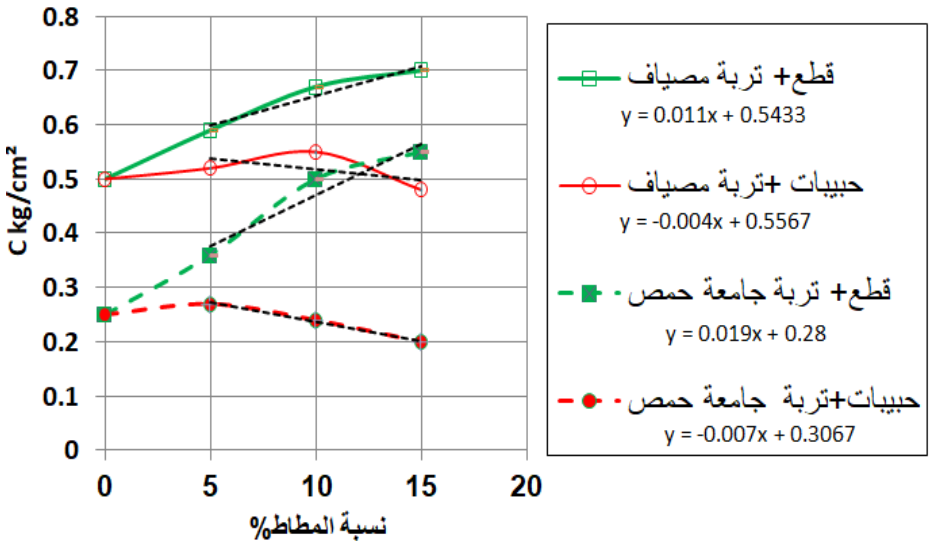
الجدول رقم(6) : قيم التماسك للتربة المدروسة عند خلطها مع المطاط

نسبة المطاط%		التماسك kg/cm^2	
		تربة مصياف	تربة جامعة حمص
حبيبات	0	0.50	0.25
	5	0.52	0.27
	10	0.55	0.24
	15	0.48	0.20
قطع	5	0.59	0.36
	10	0.67	0.50
	15	0.70	0.55

ويبين الشكلين رقم (10) ورقم (11) العلاقة بين كل من زاوية الاحتكاك والتماسك للتربة المدروسة مع نسب المطاط المضافة (قطع ،حبيبات)على التوالي.



الشكل رقم (10) : تغير زاوية الاحتكاك للتربة المدروسة مع نسب المطاط



الشكل رقم (11) : تغير التماسك للترب المدروسة مع نسب المطاط

وتكون نسب تغير خواص القص للترب المدروسة المخلوطة مع المطاط كمافي الجدول رقم (7)

الجدول رقم(7) : نسب تغير خواص القص للترب المدروسة المخلوطة مع المطاط

نسبة تغير التماسك%		نسبة تغير زاويةالاحتكاك %		نسبة المطاط%	
جامعة حمص	مصياف	جامعة حمص	مصياف		
44	18	15	12	5	قطع
100	34	4	3	10	
120	40	-4	-6	15	
8	4	4	6	5	حبيبات
-4	10	-4	-15	10	
-20	-4	-12	-24	15	

من النتائج السابقة نجد زيادة زاوية الاحتكاك من أجل إضافة نسبة المطاط 5% سواء قطع أو حبيبات من أجل نوعي الترب الناعمة المدروسة وسجلت أكبر زيادة بمقدار 15% من أجل إضافة 5% قطع مطاطية لتربة جامعة حمص ، وبشكل عام مع زيادة نسب المطاط عن 5% تناقصت زاوية الاحتكاك ، والسبب في ذلك السطوح الناعمة للمطاط سواء القطع أو الحبيبات والتي بعد نسبة معينة 5% شغلت حيزاً في العينة بدل التربة من دون إضافة خواص تداخل أو تعشيق مع حبات التربة .

عند إضافة القطع المطاطية ازداد التماسك للترب المدروسة بشكل فعال فمن أجل إضافة 15% قطع مطاطية وصلت الزيادة في التماسك إلى 120% لتربة جامعة حمص و40% لتربة مصياف ، وعند إضافة الحبيبات حصلنا على أكبر زيادة في التماسك بمقدار8% عند إضافة نسبة 5% لتربة جامعة حمص ، و زيادة بمقدار10% عند إضافة نسبة 10% لتربة مصياف.

-إن إضافة قطع المطاط إلى التربة الناعمة أظهرت فعالية أكبر من الحبيبات المطاطية في زيادة مقاومة التربة على القص ويفسر ذلك بأن التصاق حبيبات التربة الناعمة على سطح القطع أكبر منه على الحبيبات وبالتالي زيادة التماسك وزيادة مقاومة القص بشكل فعال .

-تتوافق النتائج السابقة مع نتائج الباحث Solanki, D. and Dave, M. (2017) التي تفيد بوجود نسبة معينة من المطاط تزيد الاحتكاك وتختلف هذه النسبة حسب نوع التربة وحجم المطاط ، كذلك تتوافق مع نتائج الباحث Srivastava,A. (2014) بزيادة التماسك بشكل فعال بمقدار وصل 63% عند إضافة مطاط خشن mm(2-4.75)بنسبة 5% .

5-الإستنتاجات والتوصيات :

تم التوصل إلى عدة استنتاجات فيما يخص تأثير إضافة المطاط على خصائص الانتفاخ والقص للترب الناعمة ، ويجب التنويه إلى أن هذه الاستنتاجات تتوافق مع الترب الناعمة والمطاط المستخدم في هذا البحث ، ونذكر فيما يلي أهم الاستنتاجات التي تم التوصل إليها :

1- عند إضافة المطاط بنوعيه للترب الناعمة المدروسة تناقصت خواص الانتفاخ وفق علاقات خطية تختلف حسب نوع التربة ونسبة المطاط المستخدم ونوعه قطع أو حبيبات.

2-النسبة الأفضل للمطاط التي خفضت خواص الانتفاخ هي15% في هذا البحث مع فعالية للقطع المطاطية أكبر من الحبيبات في تخفيض خواص الانتفاخ .

3- النسبة الأفضل للمطاط التي زادت زاوية الاحتكاك هي 5% مع فعالية للقطع المطاطية أكبر من الحبيبات في زيادة زاوية الاحتكاك

4-عند إضافة القطع المطاطية النسبة 15% أعطت أكبر قيمة للتماسك من أجل نوعي التربة المستخدم

5-عند إضافة الحبيبات المطاطية النسبة 5% أعطت أكبر قيمة للتماسك لتربة جامعة حمص بزيادة حوالي 8% ، وأعطت النسبة 10% أكبر قيمة للتماسك لتربة مصياف بزيادة حوالي 10%

6-بشكل عام إن إضافة القطع المطاطية أدى إلى تحسين في خصائص القص والانتفاخ للترب الناعمة المدروسة بشكل أكبر من الحبيبات المطاطية

7-نوصي بدراسة سلوك الترب الناعمة المخلوطة مع المطاط على المدى الطويل بإدخال تأثير تشوهات الزحف مع الزمن وتأثير دورات التجفيف والترطيب وتأثير عوامل الحت والانجراف على التربة المعالجة وإمكانية التنبؤ بمدى استدامتها، وإجراء دراسة الجدوى الاقتصادية لإجراء تحسين خواص التربة الناعمة بالمطاط ومقارنته مع حل استبدال الترب الناعمة في موقع المشروع قبل تطبيقها

6-المراجع :

[1] - Srivastava,A. (2014)."Use of shredded tyre waste in improving the geotechnical properties of expansive black cotton soil ".Geomechanics and Geoengineering An International Journal.

[2] - Solanki, D. and Dave, M. (2017) "Stabilization of Clay Soil Mixed With Rubber Tyre Chips ForDesign in Road Construction" International Journal of Engineering Science Invention

[3] - Soltani,A.(2018)." Mechanical Behavior of TireRubber–Reinforced Expansive Soils". The University of Adelaide

[4] - L. N. Snodi and I. S. Hussein.(2019). "Tire Rubber Waste for mproving Gypseous Soil"International Conference on Civil and Environmental Engineering Technologies. Tikrit University.