دراسة تجريبية لتأثير إضافة المطاط على خواص الرص للتربة الناعمة

إعداد

المهندس واصف هيثم كوسى

إشراف

د. محمد تقلا (مشرف أساسي) د.لينا كراكيت (مشرف مشارك)

أستاذ في قسم الهندسة الجيوتكنية أستاذ مساعد في قسم الهندسة الجيوتكنيكية

كلية الهندسة المدنية ـ جامعة حمص كلية الهندسة المد نية – جامعة حمص

ملخص البحث :

يتضمن هذا البحث إجراء دراسة تجريبية لتأثير إضافة المطاط على خواص الرص لتربتين الأولى غضار عالية اللدونة والثانية سيلت عالي اللدونة ، ومن أجل ذلك تم خلط الترب الناعمة المدروسة مع المطاط بالنسب %(5،10،15) من الوزن الجاف للتربة وقد استخدم المطاط وفق طريقتين الطريقة الأولى قطع بطول cm(1–1.5) ، والطريقة الثانية حبيبات mm(3–4) حيث تم إجراء تجارب بروكتور النظامية والمعدلة وتجارب CBR ومن ثم تم إجراء تحليل رياضي للنتائج التجريبية والتوصل إلى أنه بإضافة المطاط بنسب معينة للتربة الناعمة يوجد تحسين في قيمة CBR ، كذلك تم التوصل لعدة نتائج هامة ، وتوصيات للأبحاث المستقبلية.

الكلمات المفتاحية : التربة الناعمة ، خواص الرص ، مطاط القطع ، مطاط الحبيبات غضار عالي اللدونة .

Experimental Study of Effect Adding Rubber on the Compaction Properties of Soft Soil

Abstract :

This research includes an experimental study of the effect of adding rubber on the compaction properties of two soils, one clay with high plasticity and the other silt with high plasticity. To do this, the soft soils studied were mixed with rubber at ratios of 5, 10, and 15% of the dry weight of the soil. The rubber was used in two ways: the first was shred scraps rubber (1-1.5)cm long, and the second was crumb granules rubber (3-4)mm. Standard and modified Proctor experiments and CBR experiments were conducted, followed by a mathematical analysis of the experimental results. It was concluded that adding rubber in specific ratio to the soft soil improved the CBR value. Several important results and recommendations for future research were also reached.

Keywords: soft soil, compaction properties, shred scraps rubber, crumb granules rubber, clay with high plasticity.

دراسة تجريبية لتأثير إضافة المطاط على خواص الرص للترب الناعمة

1- مقدمة :

تتألف الترب الناعمة من السيلت والغضار ، وتتمز بقدرة تحمل ضعيفة وهبوطات عالية خاصة في ظروف الإشباع ، والترب الناعمة بشكل عام ذات قيم منخفضة لنسبة تحمل كاليفورنيا CBR وتسبب تشققات في الطرق مما يتطلب عندالإنشاء سماكات كبيرة في طبقات البحص الأساس وطبقات البحص ماتحت الأساس وأحيانا بلوكاج لعزل الترب الغضارية عن القميص الإسفلتي وبالتالي كلفة عالية جداً ، إضافة إلى تكاليف صيانة متكررة وتقليل العمر الاستثماري للطريق، وغالباً يتطلب الإنشاء الآمن للمشاريع الهندسية استبدال التربة الناعمة أو إضافة مواد لها لتحسين سلوكها ، وفي هذا البحث سوف نسلط الضوء على أحد الطرق المقترحة حديثاً لتحسين مواصفات التربة الناعمة عن طريق خلطها بالمطاط ، حيث إن المطاط المستخدم حالياً في الصناعات نوعان طبيعي وصناعي والمطاط الطبيعي هو مادة بوليميرية تستخرج من عصارة أشجار المطاط Hevae Brasiliensis ويتكون كيميائياً من عنصري الكربون والهيدروجين فقط C_5H_8 أما المطاط الصناعي مثل مطاط ستايرين Styrene وبوتادين Butadiene ينتج ببلمرة مشتقات البترول ، يستخدم المطاط في إطارات السيارات والجرارات والقفازات الطبية والأحذية وعوازل الأسلاك الكهربائية وغيرها من الأغراض **[1]**.

يتميز المطاط بالمرونة والمقاومة للظروف القاسية مثل درجات الحرارة العالية أو المنخفضة والزيوت والمواد الكيميائية ويحوي مواد خام عالية المقاومة مضادة للتأكسد والإهتراء وغير قابلة للتحلل بيولوجيا ومقاومة التآكل ، وكذلك يتميز المطاط بخصائص عزل جيدة وهو مادة عديمة الامتصاص للرطوبة وخفيف الوزن ، وعندما يخلط المطاط مع التربة يعطي مادة إنشاء خفيفة الوزن ويؤدي إلى تحسن في الخصائص الهندسية كالمتانة بالمقارنة مع التربة الطبيعية ، حيث تم توظيف قطع المطاط بنجاح في تطبيقات الهندسة المدنية بما في ذلك البنية التحتية للطرق وفي الردم خلف الجدران الاستنادية

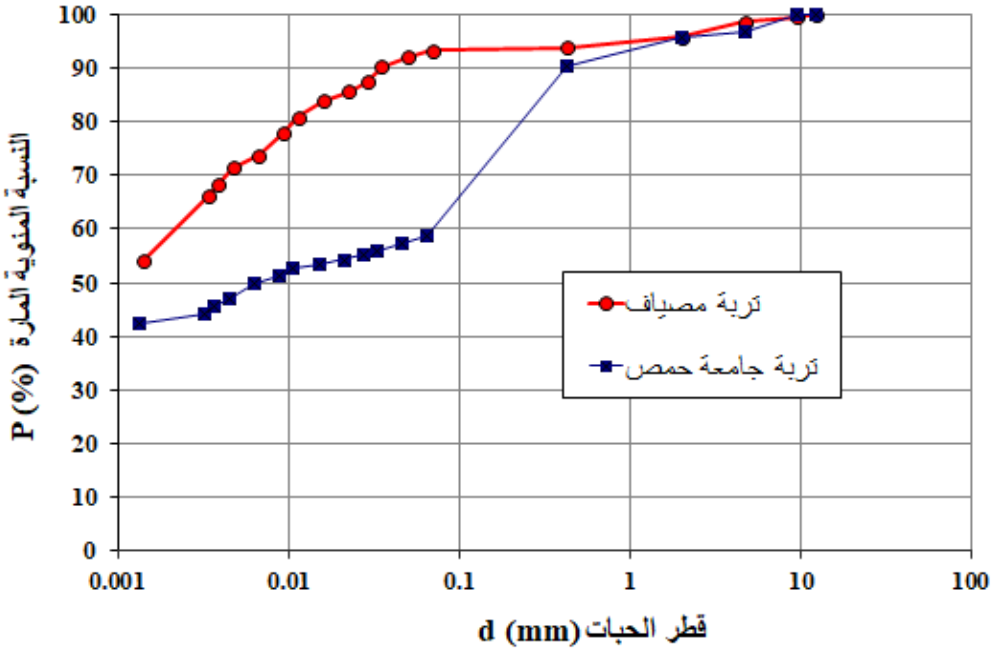
وفي السدود الركامية وكمواد ماصة للصدمات في الجسور ، ويشكل خليط التربة المنتفخة والمطاط تقنية مطورة حديثا والتي تستخدم لتحسين مواصفات التربة المنتفخة**[2]**.

حسب الباحثون Ravichandran and Shiva (2016) [3] أدى خلط تربة غضارية عالية اللدونة مع نسبة مطاط 10% إلى زيادة قيمة CBR بنسبة 161% ونتج عن ذلك تقليل السماكة الكلية للرصف بشكل كبير والكلفة الإجمالية للمشروع ، وحسب دراسة Vasavi and Prasad (2016) [3] نتج زيادة في قيمة CBR لتربة عالية اللدونة من 2.6 إلى 7.5 عند خلطها مع نسبة 9% من المطاط طول 1.18mm، استخدم الباحثون Agawane and Pachpute (2019) [4] قطع مطاط بطول 10-20mm ونتجت أكبر قيمة CBR من أجل نسبة المطاط المضافة 10% بزيادة حوالي10% عن قيمتها الأولية وعند زيادة نسبة المطاط المضافة عن 10% بدأت قيمة CBR بالانخفاض ، أوصى الباحثون Juliana and Rozaini (2020) [5] باستخدام المطاط بأبعاد مختلفة (12-50)mm, (50-305)mm وخلط المطاط مع مثبتات أخرى للتربة مثل الإسمنت ليحسن من مقاومة التربة خاصة في ظروف الإشباع ، ودرس الباحث Dumlupinar (2022) [6] نتائج خلط المطاط بأبعاد 4mm مع تربة غضارية منخفضة اللدونة CL بنسب مختلفة فوجد انخفاض الرطوبة المثالية مع زيادة نسب المطاط المضافة وكذلك انخفاض الوزن الحجمي الجاف الأعظمي ، ومن أجل مطاط بنسبة 5% حصل الباحث على أعلى زيادة في CBR بحدود 25% عن القيمة الأولية إن فكرة إضافة المطاط لتحسين مواصفات التربة الناعمة من الأبحاث المطروقة حديثاً

والقليلة جداً ولاتزال تحتاج إلى الكثير من الأبحاث ، وفي هذا البحث سوف ندرس تغير خواص الرص وقيم CBR للتربة الناعمة بعد خلطها مع نسب المطاط

2-هدف البحث : دراسة تجريبية لتأثير إضافة المطاط على الرطوبة المثالية للتربة الناعمة والوزن الحجمي الجاف الأعظمي ونسبة تحمل كاليفورنيا (CBR)

3-مواد وطرق البحث : تم اختيار تربتين ناعمتين الأولى من منطقة مصياف و الثانية من موقع جامعة حمص ، ويبين الشكل رقم (1) نتائج تجربة التحليل الحبي للترب الناعمة المدروسة والجدول رقم (1) بعضاً من خواص هذه الترب .



الشكل رقم (1) : نتائج تجربة التحليل الحبي للترب الناعمة المدروسة

الجدول رقم (1) : خواص الترب الناعمة المدروسة

خواص التربة	تربة مصياف	تربة جامعة حمص
نسبة النواعم %	94	55.2

نسبة الغضار %	58.9	43.2
حد السيولة %	81.7	60.4
دليل اللدونة %	47.9	26.5
فعالية الغضار	0.8**عادي النشاط**	0.6**غير نشط**
الوزن النوعي	2.76	2.68
الرطوبة المثالية % (بروكتور نظامية)	24.5	19.5
γd max gr /cm^3 (بروكتور نظامية)	1.58	1.67
الرطوبة المثالية % (بروكتور معدلة)	22	17.2
γd max gr /cm^3(بروكتور معدلة)	1.7	1.78
%CBR	3	4.1

تصنيف الترب المدروسة حسب النظام الموحد USCS تربة مصياف تربة غضارية عالية اللدونة CH ، وتربة جامعة حمص سيلت عالي اللدونة MH ، وبهدف تحسين خصائص الرص للترب المدروسة تم خلطها مع المطاط بالنسب %(5,10,15) حيث تم استخدام المطاط وفق طريقتين قطع مطاطية وحبيبات مطاطية ، في الطريقة الأولى تم استخدام قطع مطاطية عن طريق قص بقايا الإطارات المطاطية التالفة بشكل يدوي بطول حوالي cm(1-1.5) كما في الشكل رقم (2).

حيث إن المادة الأولية المستخدمة وهي القطع المطاطية مأخوذة من إطارات تالفة لسيارات وهي بالأصل تتكون بشكل أساسي من%(05-40) مطاط طبيعي وصناعي يمنح الإطار المرونة ،%(35-30) حشوات سيليكا وكربون أسود تعطي الإطار اللون

الشكل رقم (2) القطع المطاطية المستخدمة في هذا البحث

الأسود وتزيد المتانة ومقاومة الشد وتعطي مقاومة جيدة ضد التآكل ، 15% مواد هيكلية للتقوية وإعطاء الهيكل كالنسيج والفولاذ ، كميات أقل من الملينات زيوت وراتنجات ، نسبة من الكبريت تعطي الصلابة والقوة للخليط ، ويبلغ متوسط الوزن النوعي للمطاط المركب في الإطارات (1.1–1.25) مما يجعله مادة حشو خفيفة الوزن

أما الطريقة الثانية الحبيبات المطاطية تم الحصول عليها من مدينة بانياس وهي معدة ومجهزة للاستخدام كطبقة حشو لأرضية الملاعب ، قطرها الوسطي mm (3-4) نوع

SBR:(Styrene-Butadiene Rubber) ، ويبين الشكل رقم (3) صورة للحبيبات المطاطية المستخدمة في هذا البحث

الشكل رقم (3) الحبيبات المطاطية المستخدمة في هذا البحث

حيث إن المادة الأولية المستخدمة وهي الحبيبات المطاطية تستخدم بالأصل لتحسين أرضيات الملاعب كحشوة مع العشب الصناعي حيث توفر الحبيبات المطاطية مرونة عالية وامتصاص للصدمات مما يقلل من خطر الإصابة لدى الرياضيين ، وتعطي مقاومة للظروف الجوية المتغيرة مثل الأمطار والحرارة العالية ، وزنها النوعي بحدود (1.1-1.2)

4-الدراسة التجريبية ومناقشة النتائج :

تحضير العينات :

تم استخدام المطاط بنوعيه قطع وحبيبات وفق حالته الطبيعية بعد أخذه من المصدر دون إجراء أي عمليات غسيل أومعالجة ، حيث استخدمت نسب المطاط %(15,10,5) مأخوذة من الوزن الحجمي الجاف للتربة ، وتم تشكيل العينات للترب المدروسة بالخلط اليدوي حتى الحصول على خليط متجانس كمافي الشكل رقم (4) وتم تغليفه لمدة 24 ساعة قبل بدء التجارب ، ثم دراسة تغير بعض الخصائص الميكانيكية للعينات المشكلة من خلال إجراء تجارب بروكتور النظامية والمعدلة ونسبة تحمل كاليفورنياCBR

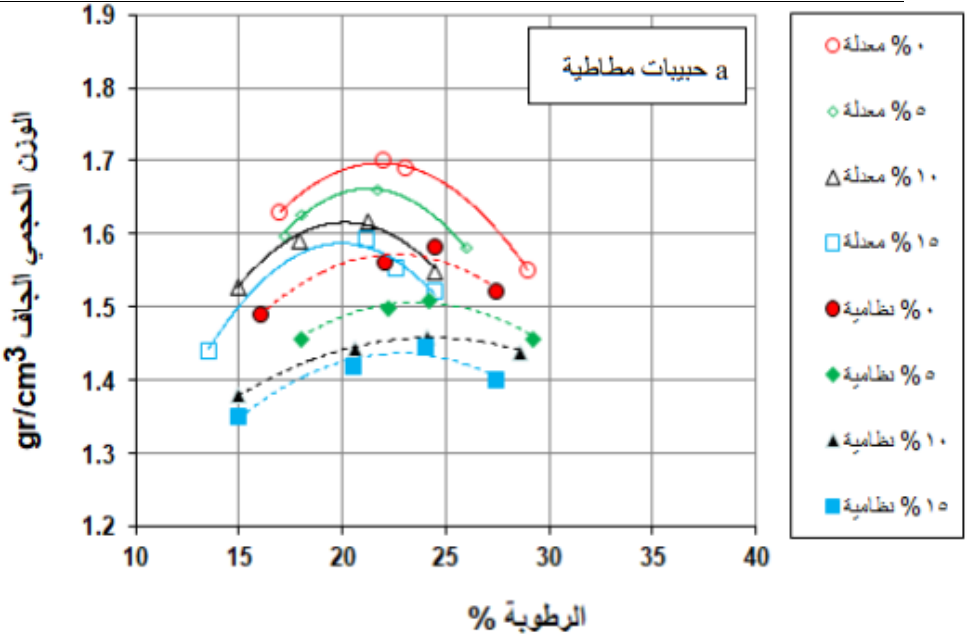
خلط التربة مع مطاط حبيبات خلط التربة مع مطاط قطع

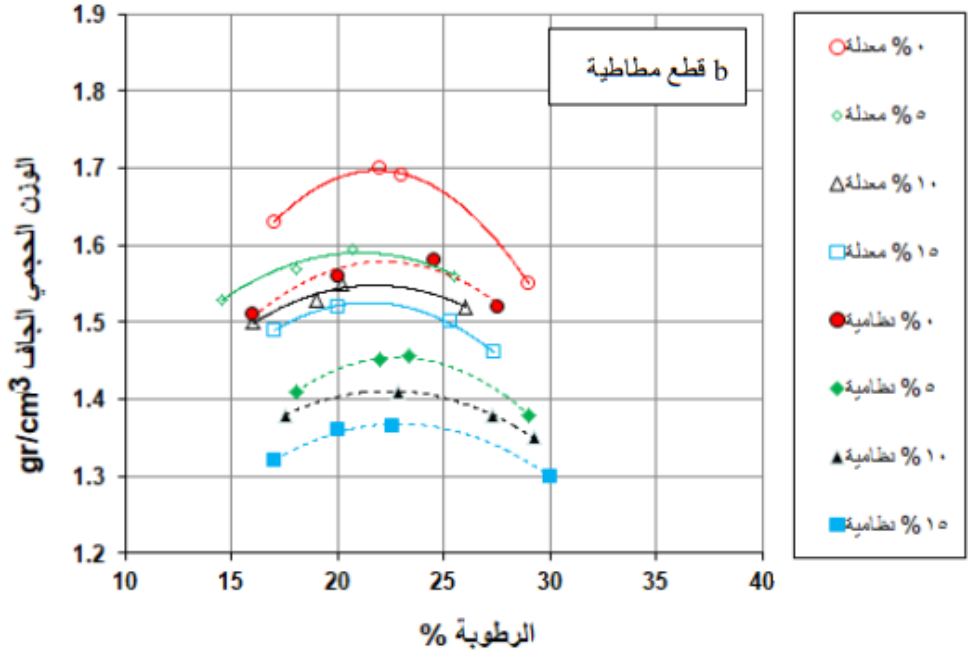
الشكل رقم (4) تحضير العينات مع المطاط الحبيبات والقطع

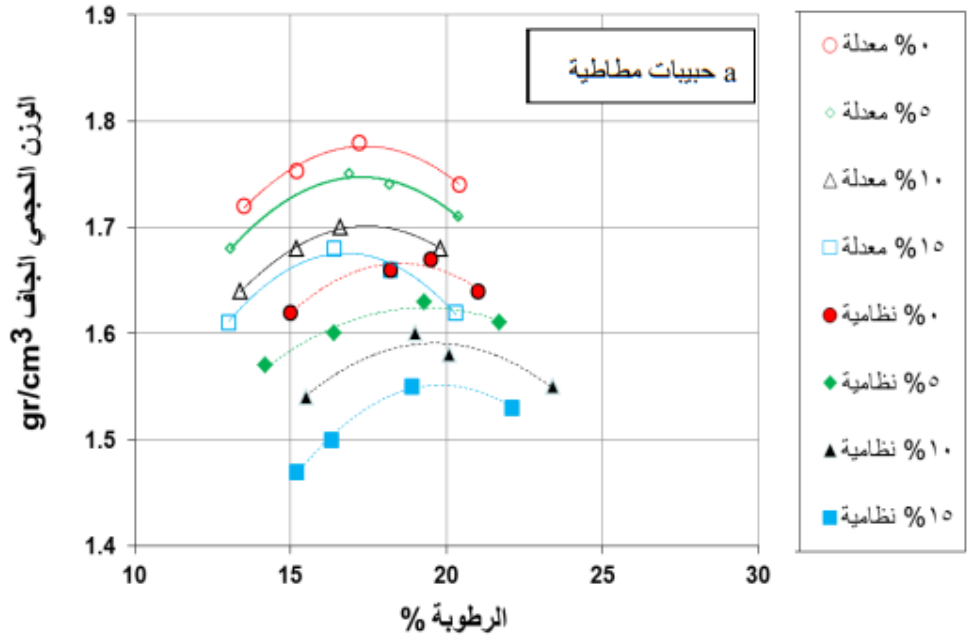
<u>أولا :</u> تجارب بروكتور:

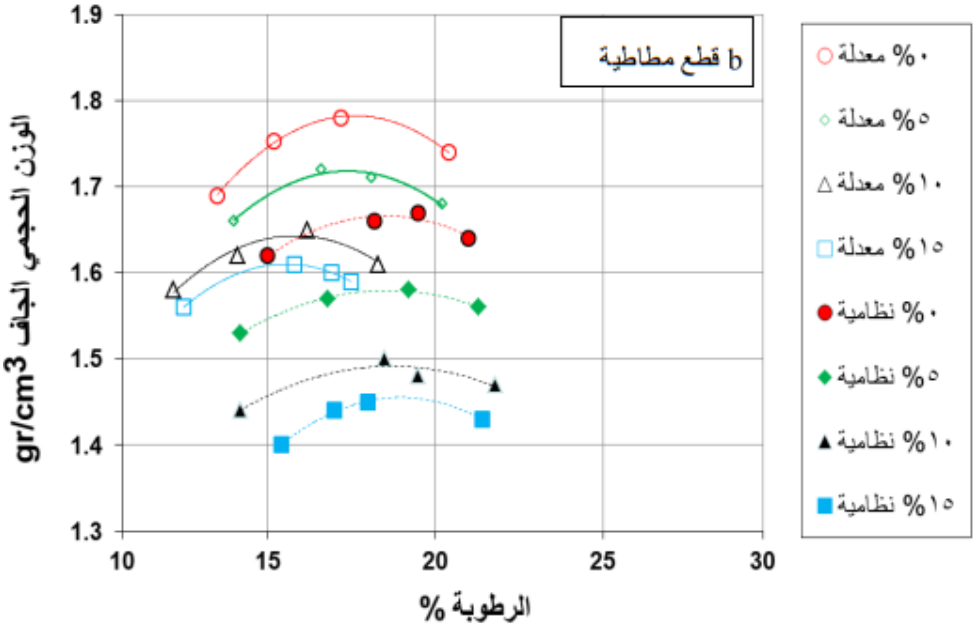
تم دراسة تغير خصائص الرص للعينات المشكلة الرطوبة المثالية والوزن الحجمي الجاف الأعظمي من أجل تجربة بروكتور وفق كل من الشروط النظامية والمعدلة ، ويبين الشكل رقم (5) والشكل رقم (6) نتائج تجارب بروكتور النظامية والمعدلة مع نسب الحبيبات و القطع المطاطية من أجل تربة مصياف وتربة جامعة حمص على التوالي .

يبين الجدول رقم (2) والجدول رقم (3) قيم الرطوبة المثالية والوزن الحجمي الجاف الأعظمي المستخرجة من تجارب بروكتور النظامية والمعدلة مع نسب المطاط المضافة من أجل كل من الحبيبات والقطع المطاطية من أجل تربة مصياف وتربة جامعة حمص على التوالي


a حبيبات مطاطية
الوزن الحجمي الجاف gr/cm3
الرطوبة %
1.9
1.8
1.7
1.6
1.5
1.4
1.3
1.2
10
15
20
25
30
35
40
٠ % معدلة
٥ % معدلة
١٠ % معدلة
١٥ % معدلة
٠ % نظامية
٥ % نظامية
١٠ % نظامية
١٥ % نظامية


b قطع مطاطية
الوزن الحجمي الجاف gr/cm3
الرطوبة %
1.9
1.8
1.7
1.6
1.5
1.4
1.3
1.2
10
15
20
25
30
35
40
٠ % معدلة
٥ % معدلة
١٠ % معدلة
١٥ % معدلة
٠ % نظامية
٥ % نظامية
١٠ % نظامية
١٥ % نظامية


a حبيبات مطاطية
الوزن الحجمي الجاف gr/cm3
الرطوبة %
1.9
1.8
1.7
1.6
1.5
1.4
10
15
20
25
30
٠% معدلة
٥% معدلة
١٠% معدلة
١٥% معدلة
٠% نظامية
٥% نظامية
١٠% نظامية
١٥% نظامية


b قطع مطاطية
الوزن الحجمي الجاف gr/cm3
الرطوبة %
1.9
1.8
1.7
1.6
1.5
1.4
1.3
10
15
20
25
30
٠% معدلة
٥% معدلة
١٠% معدلة
١٥% معدلة
٠% نظامية
٥% نظامية
١٠% نظامية
١٥% نظامية

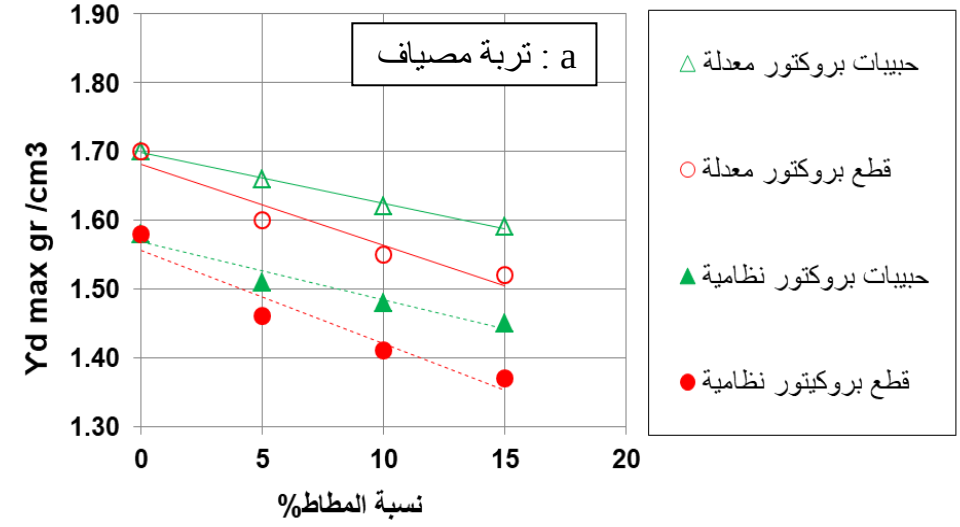
الجدول رقم (2) : قيم خواص الرص لتجارب بروكتور في تربة مصياف

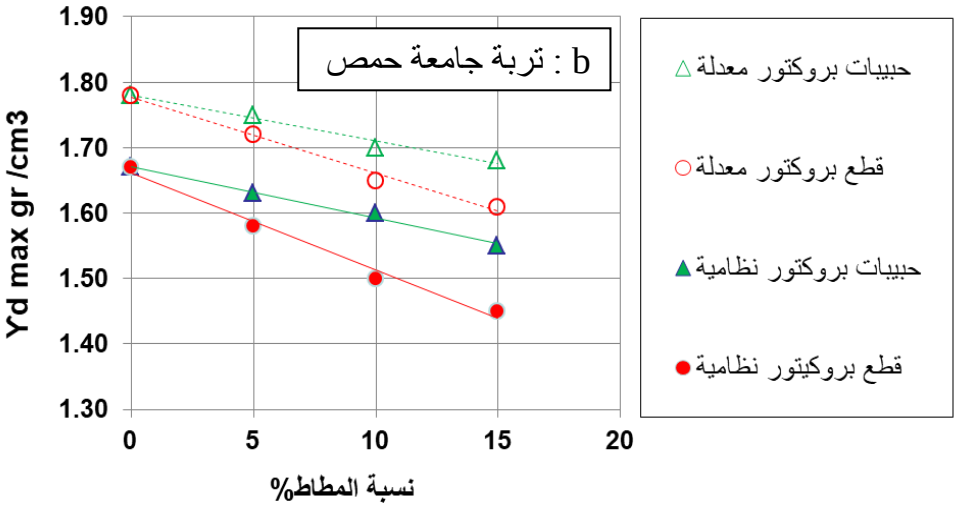
نسبة المطاط%		بروكتورنظامية		بروكتورمعدلة	
		γd_{max} gr /cm^3	W% opt	γd_{max} gr /cm^3	W% opt
0		1.58	24.5	1.70	22.0
5	**حبيبات**	1.51	24.2	1.66	21.7
10		1.48	24.1	1.62	21.3
15		1.45	24.0	1.59	21.1
5	**قطع**	1.46	23.3	1.60	20.7
10		1.41	22.8	1.55	20.2
15		1.37	22.6	1.52	20.0

الجدول رقم (3) : قيم خواص الرص لتجارب بروكتور في تربة جامعة حمص

نسبة المطاط%		بروكتورنظامية		بروكتورمعدلة	
		γd_{max} gr /cm^3	W% opt	γd_{max} gr /cm^3	W% opt
0		1.67	19.5	1.78	17.2
5	**حبيبات**	1.63	19.3	1.75	16.9
10		1.6	19	1.71	16.6
15		1.55	18.9	1.68	16.4
5	**قطع**	1.58	19.2	1.72	16.6
10		1.5	18.5	1.65	16.2
15		1.45	18	1.61	15.8

وبرسم تغير العلاقة بين نسبة المطاط المضافة (قطع ، حبيبات) والوزن الحجمي الجاف الأعظمي الناتج من تجربتي بروكتور النظامية والمعدلة من أجل تربة مصياف و تربة جامعة حمص تنتج العلاقات الخطية كما في الشكل رقم(7)





الشكل رقم (7) : العلاقة بين نسبة المطاط المضافة والوزن الحجمي الجاف الأعظمي

من الشكل السابق رقم (7) يمكن التوصل لعلاقات خطية بدقة مقبولة لمعامل الارتباط (R^2=(0.93−0.99) فمن أجل تربة مصياف نتجت العلاقات التالية :

-حبيبات مطاطبية مع بركتور معدلة: $y = -0.0074x + 1.698$: $R^2 = 0.996$

-قطع مطاطبية مع بركتور معدلة: $y = -0.0118x + 1.681$: $R^2 = 0.932$

-حبيبات مطاطبية مع بركتور نظامية: $y = -0.0084x + 1.568$: $R^2 = 0.948$

-قطع مطاطبية مع بركتور نظامية: $y = -0.0136x + 1.557$: $R^2 = 0.929$

ومن أجل تربة جامعة حمص نتجت العلاقات التالية :

-حبيبات مطاطبية مع بركتور معدلة: $y = -0.007x + 1.78$: $R^2 = 0.976$

-قطع مطاطبية مع بركتور معدلة: $y = -0.0116x + 1.777$: $R^2 = 0.989$

-حبيبات مطاطبية مع بركتور نظامية: $y = -0.0078x + 1.671$: $R^2 = 0.991$

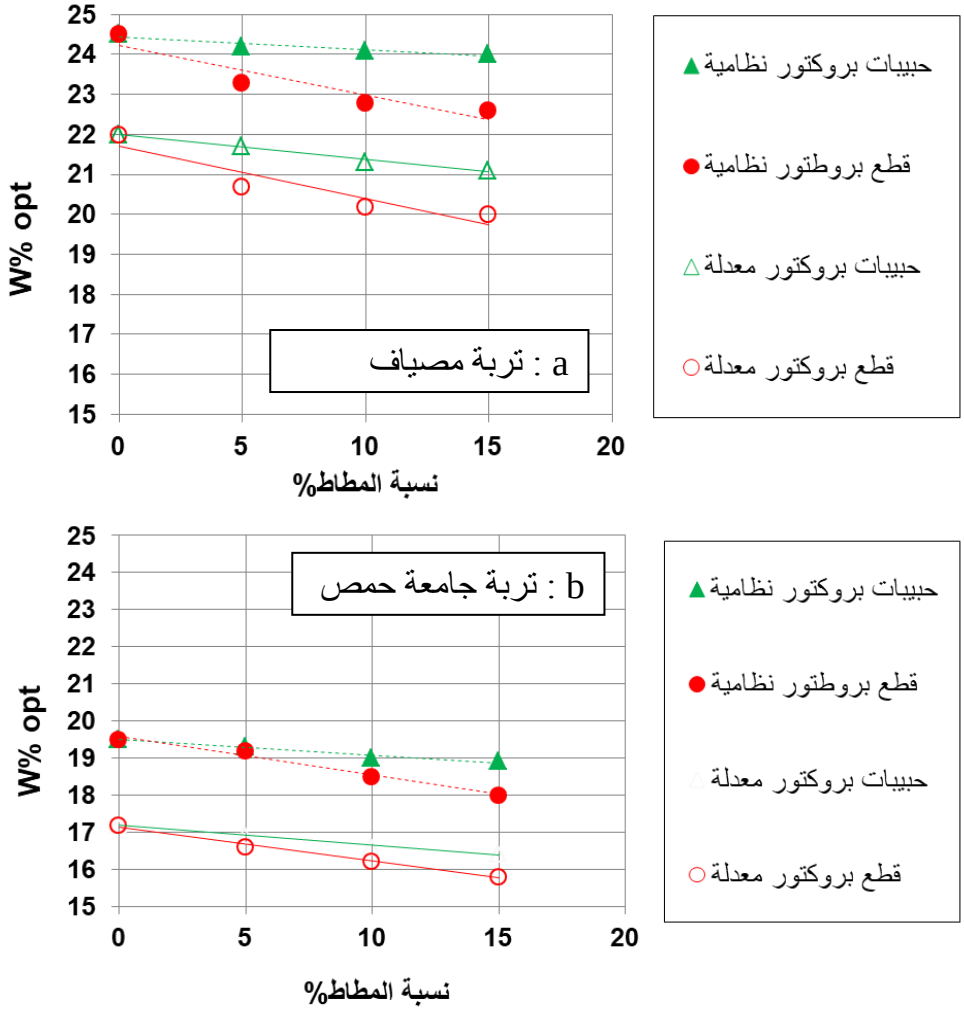
-قطع مطاطبية مع بركتور نظامية: $y = -0.0148x + 1.661$: $R^2 = 0.985$

يمكن تلخيص العلاقات السابقة والتوصل لعلاقات خطية وسطية تعطي الوزن الحجمي الجاف الأعظمي حسب نسبة المطاط S ونوعه قطع أو حبيبات :

- من أجل مطاط حبيبات : $\gamma_{d\max} = -8^{-3} * S + 1.67$
- من أجل مطاط قطع : $\gamma_{d\max} = -0.013 * S + 1.67$

مما سبق نجد انخفاض الوزن الحجمي الجاف الأعظمي كلما زادت نسبة المطاط وفق علاقات خطية ويفسر ذلك بسبب أن المطاط ذو وزن حجمي أقل من التربة الأصلية ، ويكون الانخفاض من أجل المطاط القطع بميل أكبر من المطاط الحبيبات سواء كانت شروط التجربة نظامية أو معدلة ، ويكون مقدار الانخفاض في الوزن الحجمي الجاف الأعظمي متقارب في نوعي التربة بشكل عام عند ثبات نوع المطاط وشروط التجربة .

وبرسم تغير العلاقة بين نسبة المطاط المضافة (قطع ، حبيبات) و الرطوبة المثالية الناتجة من تجربتي بروكتور النظامية والمعدلة من أجل تربة مصياف و تربة جامعة حمص تنتج العلاقات الخطية كما في الشكل رقم(8)



الشكل رقم (8) : العلاقة بين نسبة المطاط المضافة والرطوبة المثالية

من الشكل السابق رقم (8) يمكن التوصل لعلاقات خطية بدقة مقبولة لمعامل الارتباط (R^2=(0.88–0.99) فمن أجل تربة مصياف نتجت العلاقات التالية :

–حبيبات مطاطبية مع بركتور نظامية :$R^2 = 0.914$ $y = -0.032x + 24.44$

–قطع مطاطبية مع بركتور نظامية :$R^2 = 0.882$ $y = -0.124x + 24.23$

–حبيبات مطاطبية مع بركتور معدلة :$R^2 = 0.986$ $y = -0.062x + 21.99$

-قطع مطاطبية مع بركتور معدلة :$y = -0.13x + 21.7 : R^2 = 0.87$

ومن أجل تربة جامعة حمص نتجت العلاقات التالية :

-حبيبات مطاطبية مع بركتور نظامية :$y = -0.042x + 19.49 : R^2 = 0.97$

-قطع مطاطبية مع بركتور نظامية :$y = -0.104x + 19.58 : R^2 = 0.98$

-حبيبات مطاطبية مع بركتور معدلة :$y = -0.054x + 17.18 : R^2 = 0.992$

-قطع مطاطبية مع بركتور معدلة :$y = -0.092x + 17.14 : R^2 = 0.989$

يمكن تلخيص العلاقات السابقة والتوصل لعلاقات خطية وسطية تعطي الرطوبة المثالية حسب نسبة المطاط S ونوعه قطع أو حبيبات وحسب نوع التربة :

- من أجل مطاط حبيبات من أجل تربة مصياف وتربة جامعة حمص:

$\omega_{opt} = -0.05 * S + 23.22$:

- من أجل مطاط قطع :

- تربة مصياف : $\omega_{opt} = -0.13 * S + 22.97$

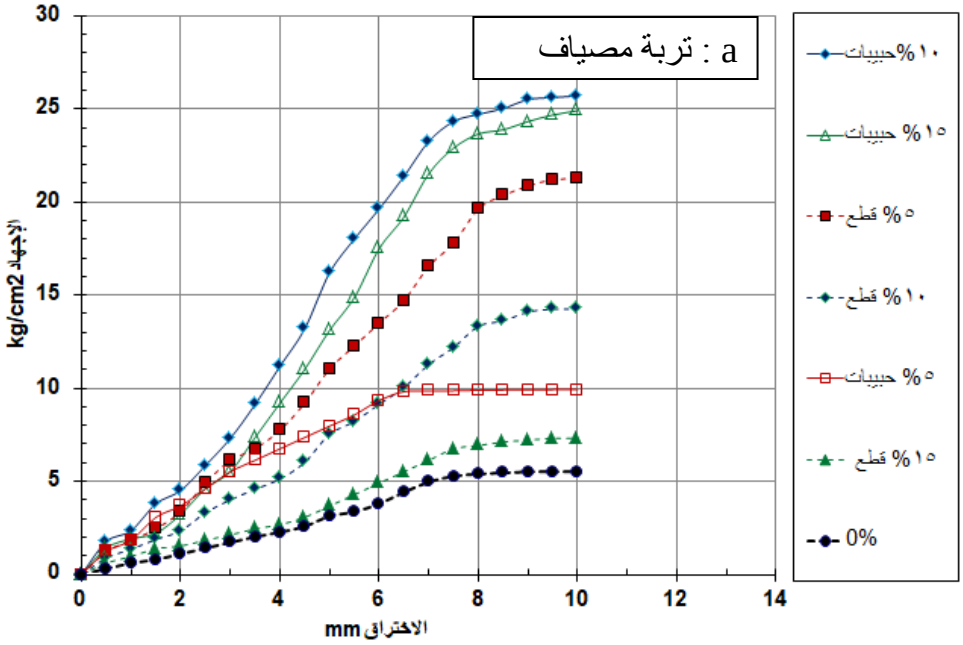
-تربة جامعة حمص : $\omega_{opt} = -0.05 * S + 23.22$

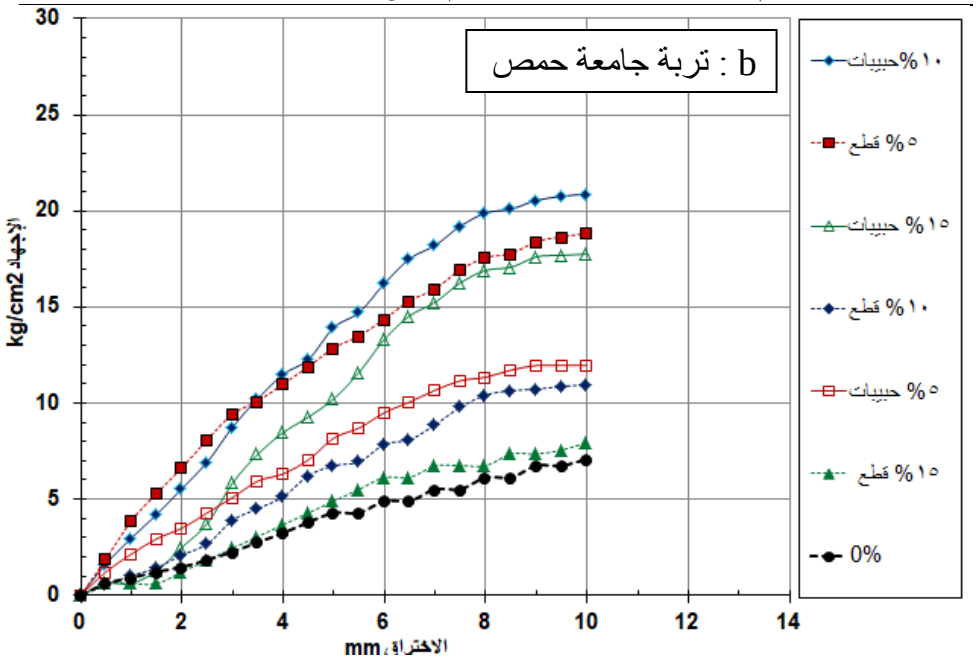
مما سبق نجد انخفاض الرطوبة المثالية كلما زادت نسبة المطاط وفق علاقات خطية ويفسر ذلك كون المطاط لايمتص رطوبة ، ويكون الانخفاض من أجل المطاط القطع بميل أكبر من المطاط الحبيبات سواء كانت شروط التجربة نظامية أو معدلة ، وكلما زادت نسبة المطاط بشكل عام يكون مقدار الانخفاض في الرطوبة المثالية أكبر في تربة مصياف غضار عالي اللدونة من تربة جامعة حمص سيلت عالي اللدونة عند ثبات نوع المطاط ونسبته وشروط التجربة نظامية أو معدلة.

ثانيا : نسبة تحمل كاليفورنيا CBR:

تم تشكيل العينات في قالب CBR وفق خصائص الرص لتجارب بروكتور المعدلة وتم غمر العينات المشكلة بالماء لمدة أربع أيام قبل التحميل ، حيث لوحظ انتفاخ العينات في تربة مصياف بتشوه نسبي قدره 12.5% تربة عالية الانتفاخ ، أما تربة جامعة حمص انتفخت بتشوه نسبي قدره 10.8% وتصنف أنها متوسطة الانتفاخ

ويبين الشكل رقم (9) نتائج تجاربCBR مع نسب المطاط المضافة (قطع وحبيبات) من أجل تربة مصياف و تربة جامعة حمص .





الشكل رقم (9) : نتائج تجاربCBR مع نسب المطاط المضافة قطع وحبيبات

ومن المنحنيات التجريبية السابقة الواردة في الشكل رقم(9) ومن أجل مقدار الاختراق 5mm تحسب قيم CBR للترب الناعمة المدروسة مع نسب المطاط المضافة قطع وحبيبات وترتب في الجدول رقم (4)

الجدول رقم (4) : تغير قيمCBR مع نسب المطاط المضافة قطع وحبيبات

CBR%		نسب المطاط%	
تربة جامعة حمص	تربة مصياف		
4.1	3.0	0	
7.8	7.6	5	**حبيبات**
13.3	15.4	10	
9.7	12.5	15	

قطع	5	10.5	12.3
	10	7.2	6.4
	15	3.5	4.7

وبرسم العلاقة بين نسب المطاط المضافة وقيم CBR للترب الناعمة المدروسة ينتج المخطط في الشكل رقم (10) يمكن التوصل لعلاقات منحنية من الدرجة الثالثة بمعامل ارتباط $R^2=1$

-حبيبات مع تربة مصياف: $y = -0.0185x^3 + 0.342x^2 - 0.3267x + 3$

-حبيبات مع تربة جامعة حمص: $y = -0.0145x^3 + 0.254x^2 - 0.1667x + 4.11$

-قطع مع تربة جامعة حمص: $y = 0.0244x^3 - 0.648x^2 + 4.27x + 4.1$

-قطع مع تربة مصياف : $y = 0.0139x^3 - 0.424x^2 + 3.2733x + 3$

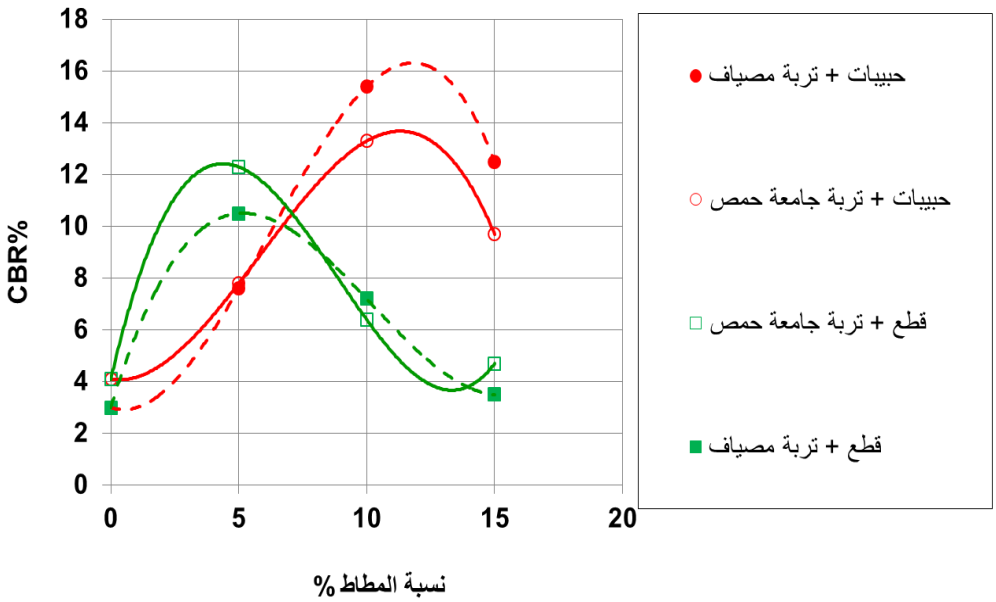
يمكن تلخيص العلاقات السابقة والتوصل لعلاقات منحنية من الدرجة الثالثة وسطية تعطي قيمCBR حسب نسبة المطاط S ونوعه قطع أو حبيبات بغض النظر عن نوع التربة وخواصها الانتفاخية :

- من أجل الحبيبات المطاطية:

$$CBR = -0.017 * S^3 + 0.3 * S^2 - 0.25 * S + 3.55$$

- من أجل القطع المطاطية :

$$CBR = 0.019 * S^3 - 0.54 * S^2 + 3.77 * S + 3.55$$



الشكل رقم (10) : العلاقة بين نسب المطاط وقيمCBR للترب الناعمة المدروسة

مما سبق نجد زيادة في قيمة CBR للتربة عند إضافة المطاط حتى نسبة معينة وبعد هذه النسبة انخفضت قيمة CBR ، ويفسر ذلك في البداية عمل المطاط على تشكيل مادة رابطة في التربة وزادت قيمة CBR ، لكن بزيادة نسبة المطاط عن حد معين بقي المطاط الفائض منعزل عن حبات التربة والمطاط بالأصل مادة ذات انضغاطية عالية وسبب ذلك تخفيض في قيمة CBR ، وإن خلط الحبيبات المطاطية مع الترب الناعمة أدى لزيادة قيمة CBR بفعالية أكبر من استخدام القطع المطاطية يفسر ذلك بسبب أن القطع المطاطية المستخدمة ناتجة من إطارات تالفة تعرضت مسبقاً للتشوهات ، بينما الحبيبات المطاطية المستخدمة أقل انضغاطاً وتشوهاً ، كذلك يمكن تفسير النتائج السابقة أن المطاط الفائض وخاصة في حالة القطع قد ساعد على دخول فقاعات هواء واحتجازها داخل العينة مما ساهم في إضعافها.

-النسبة الأفضل من المطاط الحبيبات هي 10 % ، وفي المطاط القطع هي 5%

-عند خلط الترب الناعمة مع الحبيبات المطاطية بنسبة 10% زادت قيمة CBR حوالي 5 أضعاف من أجل في تربة مصياف غضار عالية اللدونة ، كذلك زادت بمقدار 3 أضعاف من أجل تربة جامعة حمص سيلت عالي اللدونة ، وعند زيادة نسبة الحبيبات المطاطية عن 10% بدأت قيم CBR بالانخفاض.

-عند خلط الترب الناعمة مع القطع المطاطية بنسبة 5% زادت قيمةCBR حوالي 3.5 أضعاف في تربة مصياف غضار عالية اللدونة ، كذلك زادت بمقدار 3 أضعاف من أجل تربة جامعة حمص سيلت عالي اللدونة ، وعند زيادة نسبة القطع المطاطية عن 5% بدأت قيم CBR بالانخفاض .

5-الإستنتاجات والتوصيات :

تم التوصل إلى عدة استنتاجات فيما يخص تأثير خلط المطاط مع الترب 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 للترب الناعمة ينخفض كلاً من الوزن الحجمي الجاف الأعظمي والرطوبة المثالية وفق علاقات خطية حسب نسبة المطاط ونوعه قطع أو حبيبات

2- عند زيادة نسبة المطاط يكون مقدار الانخفاض في الرطوبة المثالية أكبر في تربة مصياف غضار عالي اللدونة من تربة جامعة حمص سيلت عالي اللدونة ، أما مقدار الانخفاض في الوزن الحجمي الجاف الأعظمي متقارب في نوعي التربة بشكل عام.

3- عند إضافة المطاط القطع للتربة الناعمة يكون انخفاض الوزن الحجمي الجاف الأعظمي والرطوبة المثالية بشكل أكبر من المطاط الحبيبات عند ثبات الشروط الأخرى

4- تتغير قيم CBR مع زيادة نسب المطاط وفق علاقات منحنية من الدرجة الثالثة تم استنتاجها ، وبشكل عام تزداد قيمة CBR للتربة عند إضافة المطاط حتى نسبة معينة وبعد هذه النسبة تنخفض قيمة CBR ، وتكون النسبة الأفضل من المطاط القطع هي 5% ، أما في المطاط الحبيبات النسبة الأفضل هي 10%

5- فعالية الحبيبات المطاطية في تحسين قيمة CBR أفضل في غضار عالي اللدونة من السيلت العالي اللدونة فعند خلط تربة مصياف مع الحبيبات بنسبة 10%زادت قيمة CBR حوالي 5 أضعاف ، أما من أجل تربة جامعة حمص زادت قيمة CBR حوالي 3 أضعاف .

6- فعالية القطع المطاطية في تحسين قيمة CBR متقاربة في نوعي الترب الناعمة فعند خلط تربة مصياف مع القطع بنسبة 5% زادت قيمة CBR حوالي 3.5 أضعاف أما من أجل تربة جامعة حمص زادت قيمة CBR حوالي 3 أضعاف

7-نوصي بدراسة سلوك الترب الناعمة المخلوطة مع المطاط بشكل حقلي ودراسة تأثير عوامل الحت والانجراف على التربة المعالجة وإمكانية التنبؤ بمدى استدامتها.

8-نوصي بإجراء دراسة لتحسين التربة الغضارية باستخدام ألياف مطاطية و دراسة فعالية استخدام تثبيت التربة بالمطاط مع إضافات أخرى مثل الاسمنت والكلس

6-المراجع :

[1] - 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.

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

[3] - Ravichandran, P. T. and Shiva, A.P. (2016). "Effect of Addition of Waste Tyre Crumb Rubber on Weak Soil Stabilisation Indian". Journal of Science and Technology

[4] - Vasavi, and Prasad.(2016)." Stabilization Of Expansive Soil UsingCrumb Rubber Powder And Cement"State University.

[5] - Agawane, N.and Pachpute, S.(2019)." Soil Stabilization Using Waste Rubber"International Journal of Scientifi Engineering Research

[6] - Juliana, A. R. Fatin, R. Rozaini.(2020). "Effectiveness of crumb rubber for subgrade soil stabilization".Materials Science and Engineering

[7] - Dumlupinar, K.(2022)." Evaluation of Geotechnical Behavior of Clay Soil with Crumb rubber addition"