تأثير الألياف البولميرية على خواص الترب السيلتية

* د محمود تلج

(الإيداع: 30 كانون الأول 2023، القبول: 11 آذار 2024)

الملخص:

تعتبر تقنية تسليح التربة بالألياف البولميرية واحدة من الإجراءات الحديثة والتي تهدف إلى تحسين خصائص التربة.
اعتمد البحث على إجراء اختبارات مخبرية على ثلاثة أنواع من الترب السيلتية ،وتمت إضافة الألياف البولميرية إليها بنسب مختلفة ومعرفة التغيرات الحاصلة في الترب وتأثيرها على مقاومة التربة على القص ،واعتمدت نتائج الاختبارات في محاولة إيجاد علاقة تربط بين زاوية الاحتكاك الداخلية والتماسك وعامل المرونة للترب السيلتية عن طريق ربط تلك المواصفات بنسبة الرمل أو الغضار الموجودة في تلك العينات.

الكلمات المفتاحية:الألياف البولميرية–تسليح التربة– تحسين التربة

*الصفة العلمية: دكتوراه في الهندسة المدنية

The Effect of Polymeric Fibers on The Properties of Silty Soils

[1] DR. Mahmoud Toloj

(Received: 30 December 2024, Accepted: 11 March 2024)

Abstract:

The technique of soil reinforcement by polymer fibers considered one of the recent procedures which aims to improve the soil specifications the research was based on conducting laboratory tests on three different types of silty soils mixed with polymer fibers at different proportions the results of the experiments were adopted in an relationship between the friction angle ,cohesion and modulus of elasticity by linking these specifications to the percentage of sand or clay present in silty soils.

Keyword: polymer fibers, soil reinforcement, improvement soil

[1] Scientific character: DR. in civil engineering

1-مقدمة:

تعتبر التربة من أهم المواد الإنشائية في كثير من المشاريع الهندسية حيث تستخدم بكميات كبيرة لتنفيذ مشاريع الطرق والسكك الحديدية والسدود الترابية ، فقد استخدمها الإنسان القديم في بناء المنازل والأسوار والسدود وعرف الإنسان في ذلك الوقت أن التربة ذات مقاومة ضعيفة مقارنة مع المواد الإنشائية الأخرى كالصخور مما دعت به الحاجة إلى تحسين مقاومتها على اجهادات الشد بطرق مختلفة كإضافة الكلس أو تسليحها بالقصب أو التبن وبأغصان الأشجار، ومن هذه المنشآت التي لاتزال قائمة حتى الآن كهف آغار الواقع على بعد خمسة كيلومترات شمال بغداد والذي تم إنشاؤه من بلوك غضاري مسلح بالقصب ، كما يعتبر جدار الصين مثالا لخلط الغضار مع الحصى باستخدام أغصان الأشجار ، وقد أنجز بحدود عام 200ق.م .

ومع تطور العلوم تطور مبدأ تحسين التربة ويندرج تحت هذا المبدأ مفهوم تسليح التربة، ثم تطور مبدأ تسليح التربة إلى تسليح التربة بشرائح قماشية والتي تنفذ ضمن التربة المردومة على طبقات متناوبة لزيادة مقاومة التربة ويدعى هذا المفهوم جيوتكستيل ،

ويمكن تعريف مركبات البولميرات المسلحة بالألياف (FRP) على أنه نوع من اللدائن تم تقويتها بالألياف وتختلف مركبات(FRP) عن مواد البناء التقليدية مثل الحديد والألمنيوم بأنها متبانية الخواص لذلك، فإن خصائصها اتجاهية وهذا يعني أن أفضل خصائص ميكانيكية تكون في اتجاه وضع الألياف وهذه المواد لديها نسبة عالية من القوة مقابل الكثافة.[2]

تقوم الألياف البولميرية بعمل التسليح للتربة فتزداد بذلك خصائص المقاومة(التشوهات تقل وتوزع بانتظام) وتتحسن مقاومة التربة على القص[1]

مفهوم تسليح التربة بالألياف:

إن إضافة الألياف إلى التربة يؤدي إلى تحسين في خواص اللدونة، وفي مقاومة التربة على القص وذلك من خلال رفع قيمة كل من زاوية الاحتكاك والتماسك في التربة.[4]

وفي معظم المراجع العلمية نجد أن الزيادة في قيمة مقاومة التربة على القص مرتبط بزيادة نسبة الألياف في التربة وبطول الألياف المستخدمة وبالخلط المتجانس مع التربة .[3].[4]

ويعتمد تحسن مقاومة التربة على القص على تحقيق شرطين أساسيين [4]

- تولد اجهادات شد في الألياف أثناء تعرض التربة للإجهادات.
- تولد ترابط واحتكاك بين التربة والألياف المستخدمة.

تقدم المراجع العلمية نظريتين لشرح مفهوم زيادة مقاومة التربة على القص ،حيث تعتمد النظرية الأولى على إجهاد تطويق مكافئ لوجود الألياف في التربة ويصبح عندئذ إجهاد الانهيار معطى بالعلاقة

$$\sigma_1 max = (\sigma_3 + \Delta\sigma_3) \times tan^2\left(45 + \frac{\emptyset}{2}\right)$$

والنظرية الثانية تعتمد على نشوء تماسك في التربة مكافئ لوجود الألياف فيها قيمته C_P ناتج عن طاقة تحمل الألياف للقوى الشادة في التربة وعندئذ فإن مقاومة الانهيار للتربة المسلحة بالألياف تعطى بالعلاقة.

$$\sigma_1 max = \sigma_3 \times tan^2\left(45 + \frac{\emptyset}{2}\right) + 2C_p \times \sqrt{tan^2\left(45 + \frac{\emptyset}{2}\right)}$$

2–هدف البحث:

إن الهدف من الدراسة هو محاولة إيجاد علاقة تربط بين زاوية الاحتكاك الداخلية والتماسك وعامل المرونة للترب السيلتية عن طريق ربط تلك المواصفات بنسبة الرمل أو الغضار الموجودة في تلك العينات، كما تم دراسة تأثير إضافة البوليميرات على كل من زاوية الاحتكاك والتماسك وعامل المرونة، والتعرف على التغيرات الحاصلة في التربة وتأثيرها على مقاومة التربة على القص وتفسير ذلك بالاستناد إلى نتائج التجارب المخبرية، فقد تم اختيار ثلاث مناطق للترب السيلتية في محافظة حماه.

الموقع الأول يقع في منطقة عقرب جنوب غرب مدينة حماه وأما الموقع الثاني يقع في منطقة السقيلبية شمال غرب مدينة حماه وأما الموقع الثالث يقع في منطقة صوران شمال مدينة حماه، حيث تم تحديد الخواص الفيزيائية والميكانيكية للعينات المختارة وذلك برطوبتها الطبيعية وتم إجراء تجربة القص المباشر مع الغمر بالماء لمدة 24 ساعة واعتمدت تجربة القص من النوع **CU–Test** وبسرعة قص مقدارها 0.5m.m/min كذلك تم إجراء تجربة الانضغاطية بالآدومتر وقمنا بتحديد نسبة الرطوبة الأصولية والكثافة الجافة العظمى وذلك بإجراء تجربة بروكتور المعدلة وبالتالي تحديد كمية الماء اللازم إضافتها والموافقة للرطوبة الأصولية بتجربة بروكتور المعدلة ، ولمعرفة سلوكية الترب السيلتية بالألياف البولميرية فقد تم خلط المزيج (تربة، ماء ،ألياف)بشكل جيد وتترك لمدة 48 ساعة محفوظة ضمن كيس نايلون بشكل جيد بحيث تتجانس رطوبتها داخليا ومن ثم تم إجراء تجربة بروكتور المعدلة بوجود الألياف وتم استخدام الألياف بالتربة بنسب وزنية مساوية إلى القيم التالية.1%–0.75%–0.5%–0.25%

3–المواد وطرائق البحث:

1–خواص الألياف المستخدمة:

إن الألياف المستخدمة هي ألياف صناعية باسم تجاري POLYSTEEN وهي ألياف بولميرية من مادة polypropy lene وهي مادة غير ضارة بالبيئة وغير قابلة للانحلال بالماء وهي بيضاء اللون وعديمة الرائحة وبطول 26mm

الجدول رقم (1) الخواص الأساسية لهذه الألياف .

درجة الاحتراق	الوزن الحجمي	الوزن الحجمي الأصغري	التشوه النسبي
C^O	Kg/m^3	Kg/m^3	%
350	900	140~250	4.79

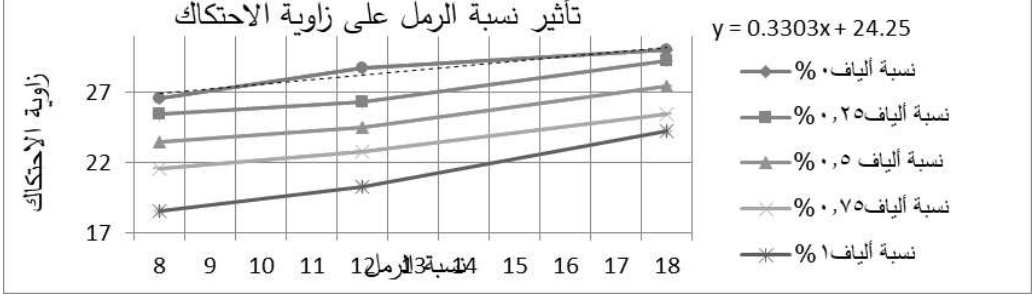
2–خواص الترب المدروسة:

تم اختيار ثلاثة أنواع من الترب السيلتية من مناطق مختلفة لمدينة حماه وهي : عقرب ، السقيلبية ،

صوران الجدول (2) الخواص الهندسية للترب المدروسة

الخواص المدروسة	عقرب	السقيلبية	صوران
عمق العينة m	3.5	2.5	2.5
الرطوبة الطبيعية %	22.31	20.43	27.39
الوزن الحجمي الرطب Kn/m^3	18.5	17.8	19.4
الوزن الحجمي الجاف Kn/m^3	15.1	14.8	15.2
الوزن النوعي	2.85	2.73	2.6
نسبة الفراغ %	88.67	85.28	71.26
درجة الإشباع %	71.77	65.49	100
زاوية الاحتكاك	28.7	26.6	30
تماسك التربة Kg/cm^2	0.1	0.12	0.07
حد السيولة %	64.6	36.94	63
حد اللدونة %	37.53	22.55	32.67
دليل اللدونة %	27.07	14.39	30.33
نسبة الحصويات %	4.8	3.45	5.1
نسبة الرمل %	12.5	8.91	18.4
نسبة السلت %	67.2	71.14	62
نسبة الغضار %	15.5	16.5	14.5
الكثافة الجافة العظمى Kn/m^3	17.2	17.47	15.4
الرطوبة الأصولية %	20.64	15.68	20.4
تصنيف التربة	MH	ML	MH

وبعد إجراء تجارب القص المباشر على العينات الثلاث، وبما أن نسبة الحصويات في العينات الثلاث لا تتجاوز نسبتها 5% فقد رسمنا العلاقة بين نسبة الرمل وزاوية الاحتكاك للعينات الثلاث كما في الشكل(1)

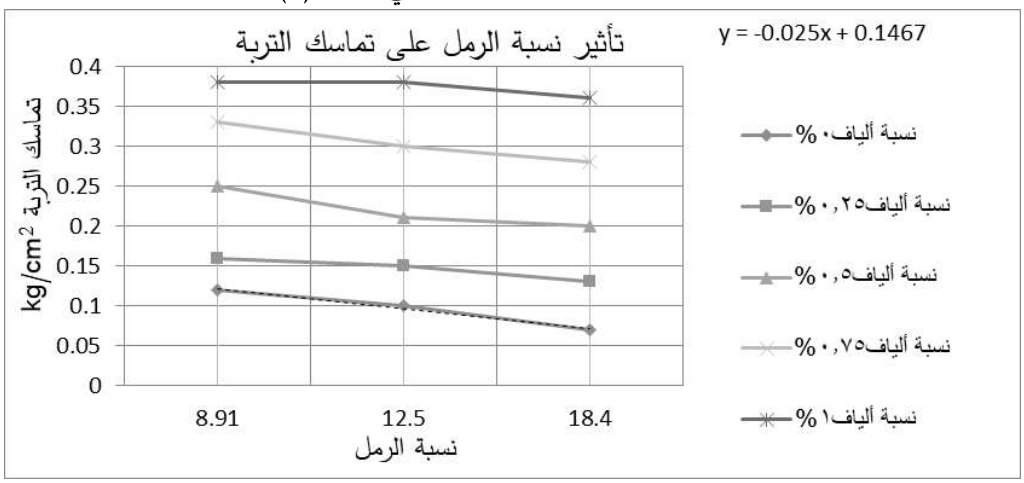


الشكل رقم (1): العلاقة بين نسبة الرمل وزاوية الاحتكاك للعينات الثلاث

ويتضح أن العلاقة خطية بين زاوية الاحتكاك ونسبة الرمل بدون وجود ألياف (وكذلك بوجود ألياف) ويمثلها الخط المنقط الموضح أعلاه وبنسبة ارتياب وسطية مقدارها 1.5% هي $\phi=0.3303X1+24.25$

حيث X1 تمثل نسبة الرمل في العينة ونلاحظ من أجل نسبة ألياف1% وبزيادة نسبة الرمل بحوالي 200% فإن زاوية الاحتكاك تزداد بحوالي30%

ومن خلال العلاقة بين نسبة الرمل والتماسك للعينات الثلاث كما في الشكل (2)

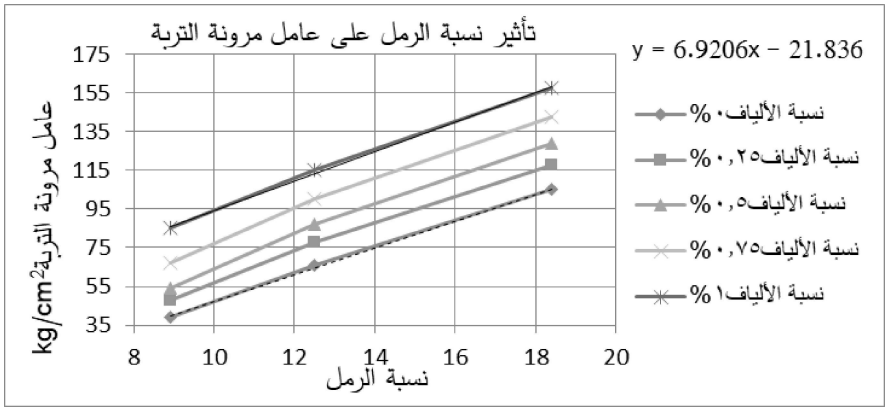


الشكل رقم (2): العلاقة بين نسبة الرمل والتماسك للعينات الثلاث

وتم استنتاج أيضا علاقة خطية بين تماسك التربة ونسبة الرمل بدون وجود ألياف (وكذلك بوجود ألياف) ويمثلها الخط المنقط الموضح اعلاه وبنسبة ارتياب وسطية مقدارها 3.27% وهي

$$C=-0.025X1+0.1467$$

حيث X1 تمثل نسبة الرمل في العينة، ويتضح أنه من أجل نسبة ألياف1% وبزيادة نسبة الرمل بحوالي 200% فإن تماسك التربة ينخفض بحوالي8% وتمكنا أيضا من إيجاد العلاقة بين نسبة الرمل وعامل مرونة التربة للعينات الثلاث كما في الشكل (3)

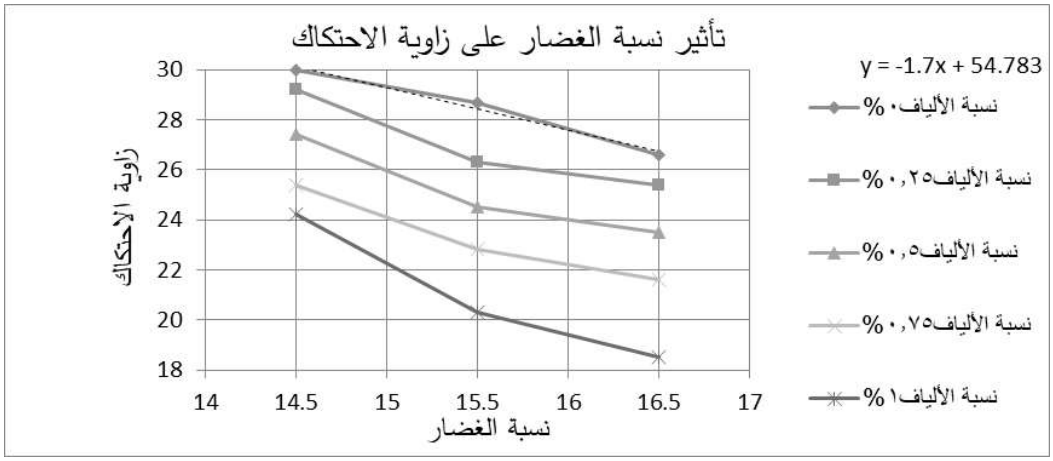


الشكل رقم (3): العلاقة بين نسبة الرمل وعامل مرونة التربة للعينات الثلاث

وتم استنتاج علاقة خطية بين عامل مرونة التربة عند إجهاد(Kg/cm^2)4~2 وبين نسبة الرمل بدون وجود ألياف(وكذلك بوجود ألياف) ويمثلها الخط المنقط الموضح اعلاه وبنسبة ارتياب وسطية مقدارها 1.5% وهي

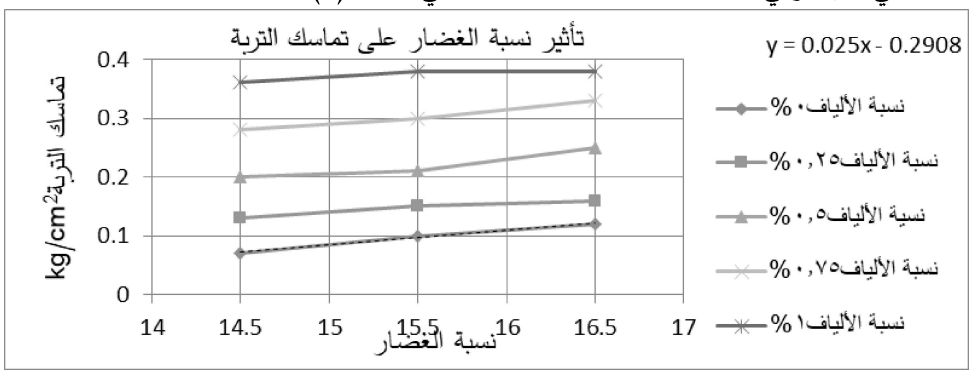
$$E=6.9206X1-21.836$$

حيث X1 تمثل نسبة الرمل في العينة. ويتضح أنه من أجل نسبة ألياف1% وبزيادة نسبة الرمل بحوالي 200% فإن عامل مرونة التربة يزداد بحوالي85% وكذلك تم الحصول على علاقة تربط بين نسبة الغضار في العينات الثلاث ومواصفات الميكانيكية للتربة فقد تم استنتاج علاقة بين نسبة الغضار وزاوية الاحتكاك للعينات الثلاث كما في الشكل (4)



الشكل رقم (4): العلاقة بين نسبة الغضار وزاوية الاحتكاك للعينات الثلاث

والعلاقة التي تربط بين زاوية الاحتكاك الداخلية للتربة ونسبة الغضار هي علاقة خطية بدون وجود ألياف(وكذلك بوجود ألياف) ويمثلها الخط المنقط الموضح اعلاه وبنسبة ارتياب وسطية مقدارها 0.62% في التربة $\phi=-1.7X2+54.783$ حيث X2 تمثل نسبة الغضار في العينة ويتبين أنه بزيادة نسبة الغضار بمقدار درجتين ومن أجل نسبة ألياف 1% فإن زاوية الاحتكاك تنخفض بحوالي25% وكذلك تم استنتاج علاقة خطية تربط بين تماسك التربة ونسبة الغضار وبدون وجود ألياف(وكذلك بوجود ألياف) ويمثلها الخط المنقط الموضح اعلاه وبنسبة ارتياب وسطية مقدارها 2.4% في العينة وهي $C=0.025X2-0.2908$ كما في الشكل (5)

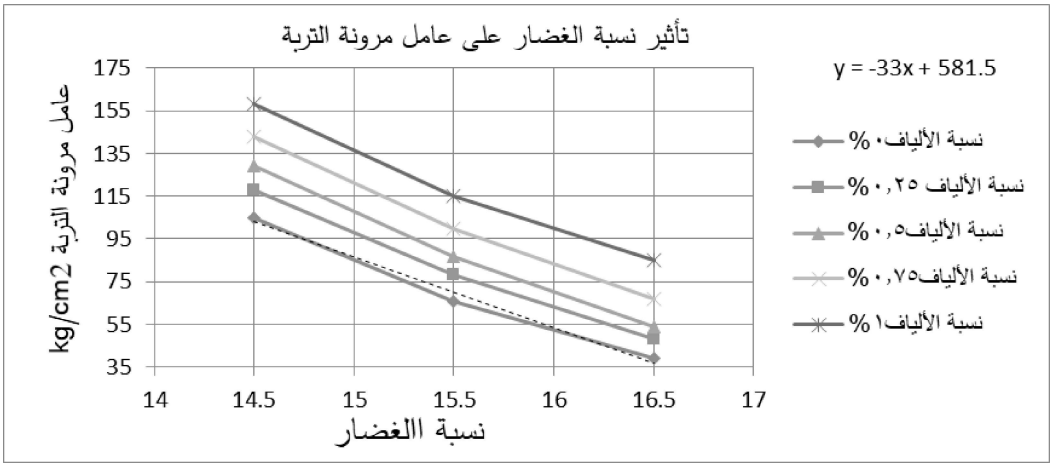


الشكل رقم (5): العلاقة بين تماسك التربة ونسبة الغضار للعينات الثلاث

حيث X2 تمثل نسبة الغضار في العينة

ويتبين أنه بزيادة نسبة الغضار بمقدار درجتين ومن أجل نسبة ألياف 1% فإن تماسك التربة يزداد بحوالي5%

وتم إيجاد العلاقة بين نسبة الغضار وعامل مرونة التربة للعينات الثلاث كما في الشكل (6)



الشكل رقم(6): العلاقة بين نسبة الغضار وعامل مرونة التربة للعينات الثلاث

والعلاقة الخطية التي تربط بين عامل مرونة التربة عند إجهاد(Kg/cm^2)2~4 ونسبة الغضار بدون وجود ألياف(وكذلك بوجود ألياف) ويمثلها الخط المنقط الموضح اعلاه وبنسبة ارتياب وسطية مقدارها 3.7% هي E=−33X2+581.5 حيث X2 تمثل نسبة الغضار في العينة

3–تأثير الألياف على عوامل قص التربة وعامل المرونة:

لبيان تأثير الألياف على عوامل قص التربة فقد تم إجراء تجارب القص المباشر**CU–Test** على عينات التربة المثبتة بالألياف بعد الغمر للعينات الثلاث وكذلك تم إجراء تجارب الانضغاطية للحصول على عامل المرونة عند إجهاد عند(Kg/cm^2)2~4

الجدول رقم(3) :عوامل قص التربة مع عامل المرونة لعينة عقرب مع نسب مختلفة من الألياف

نسب الألياف%	زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ	التماسك(Kg/cm^2)c	عامل المرونة عند إجهاد(Kg/cm^2)E 2~4(Kg/cm^2)
0	28.7	0.1	66
0.25	26.3	0.15	78
0.5	24.5	0.21	87
0.75	22.8	0.30	100
1	20.3	0.38	105

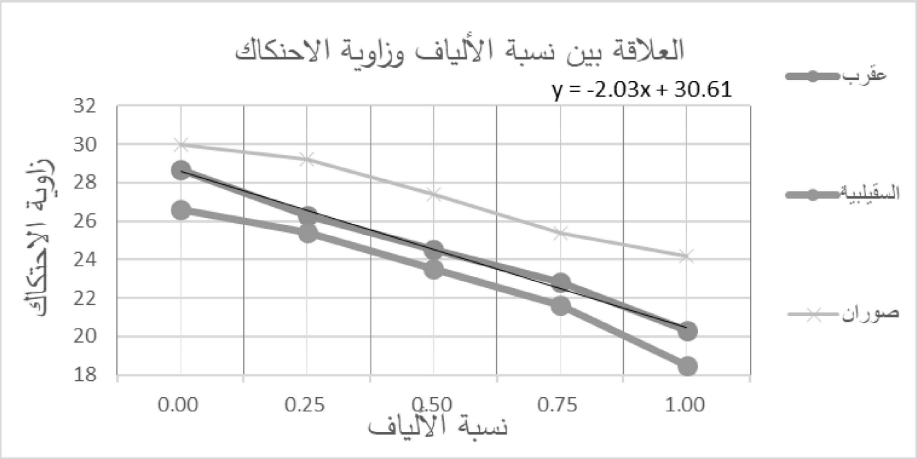
الجدول رقم(4) :عوامل قص التربة مع عامل المرونة لعينة السقيلبية مع نسب مختلفة من الألياف

نسب الألياف%	زاوية الاحتكاك الداخلية ϕ	التماسك(Kg/cm^2)c	عامل المرونة عند إجهاد(Kg/cm^2)E 2~4(Kg/cm^2)
0	26.6	0.12	39
0.25	25.4	0.16	48
0.5	23.5	0.25	54
0.75	21.6	0.33	67
1	18.5	0.38	85

الجدول رقم(5):عوامل قص التربة مع عامل المرونة لعينة صوران مع نسب مختلفة من الألياف

نسب الألياف	زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ	التماسك(Kg/cm^2)c	عامل المرونة عند إجهاد(Kg/cm^2)E 2~4(Kg/cm^2)
0	30	0.07	105
0.25	29.2	0.13	118
0.5	27.4	0.20	129
0.75	25.4	0.28	143
1	24.2	0.36	158

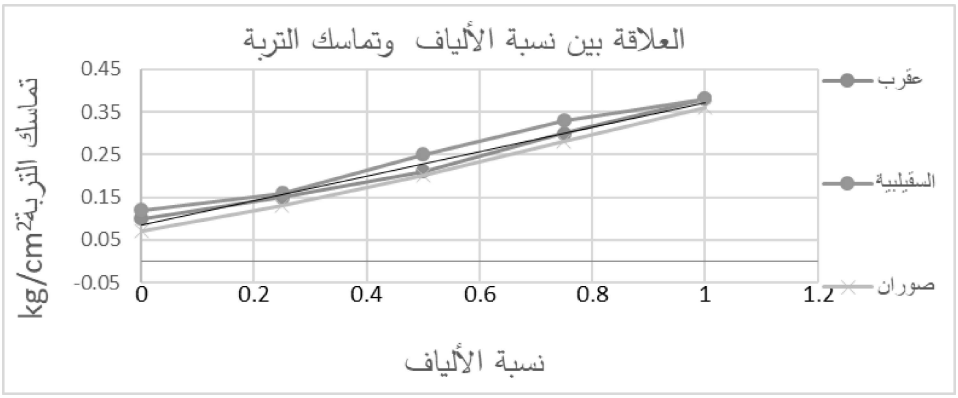
ويبين بالشكل (7) العلاقة بين نسبة الألياف وزاوية الاحتكاك للعينات الثلاث



الشكل رقم (7): العلاقة بين نسبة الألياف وزاوية الاحتكاك للعينات الثلاث

ونلاحظ من خلال الشكل(7) انخفاض زاوية الاحتكاك مع زيادة نسبة الألياف في التربة حيث أن الألياف البولميرية ذات وزن حجمي صغير بالنسبة للتربة وبالتالي حتى بإضافة نسبة ضيئلة من الألياف يكون حجمها كبير فبدلاً من احتكاك حبات التربة مع بعضها البعض يتم احتكاك نسبة كبيرة من حبات التربة مع الألياف فإن قوى الاحتكاك ما بين الألياف والتربة أقل من الاحتكاك ما بين حبات التربة مع بعضها البعض.

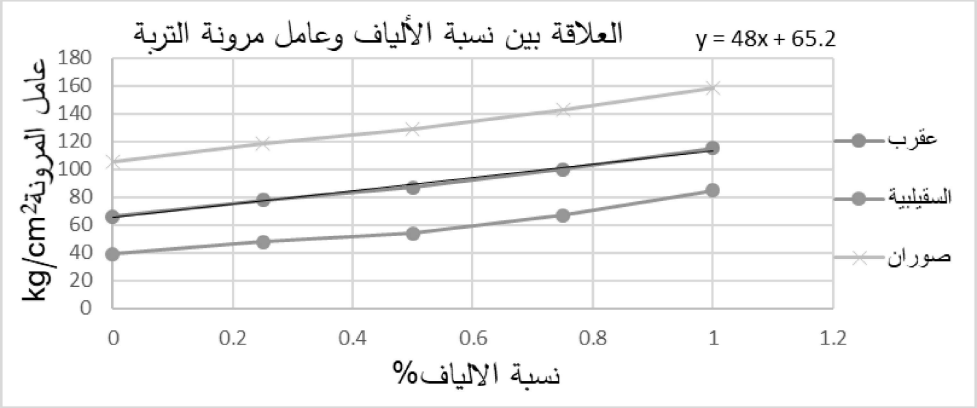
ويبين الشكل رقم(8) العلاقة بين نسبة الألياف وتماسك التربة للعينات الثلاث.



الشكل رقم(8) : العلاقة بين نسبة الألياف وتماسك التربة للعينات الثلاث.

ويتضح من الشكل (8) ازدياد التماسك في التربة مع زيادة نسبة الألياف في التربة حيث أن هذه الألياف ذات الطول26mm تزيد من تماسك التربة عن طريق امتصاص الألياف للإجهادات الشادة ضمن عينات التربة وتضاف هذه الإجهادات إلى تماسك التربة.

ونبين بالشكل(9) العلاقة بين نسبة الألياف وعامل المرونة للعينات الثلاث.

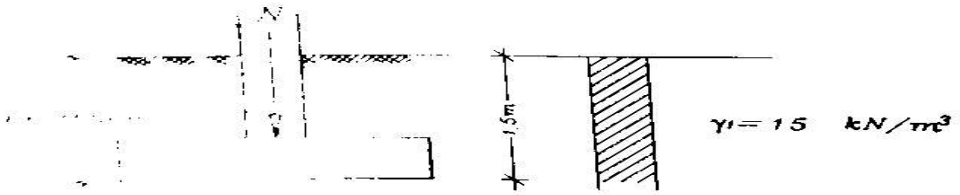


الشكل رقم(9): العلاقة بين نسبة الألياف وعامل المرونة للعينات الثلاث

ونلاحظ من خلال الشكل (9) ازدياد عامل مرونة التربة عند إجهاد(Kg/cm^2)4~2 مع زيادة نسبة الألياف وهذا يفسر بأن الألياف تزيد من مقاومة التربة للانهيار عن طريق إجهادات الشد التي تنشأ في الألياف البولميرية مما يزيد من صلابة التربة. تعتبر مقاومة التربة على القص من أهم الخواص الميكانيكية المحددة لصلاحية استخدام التربة كمادة إنشائية في تنفيذ منشآت السدود والطرق وهي تتحكم أيضا بشكل كبير في تصميم الأساسات وتنفيذ الجدران الاستنادية، وبما أن زاوية الاحتكاك للعينات الثلاث المدروسة تتناقص مع زيادة نسبة الألياف بينما تماسك التربة يزداد بزيادة نسبة الألياف في التربة للعينات المدروسة ولمعرفة آثر إضافة الألياف البولميرية على قدرة تحمل التربة وتصميم الجدران الاستنادية.

4–تأثير الألياف البولميرية على قدرة تحمل التربة.

فقد تم حساب قدرة التحمل المسموح الكلي لأساس مربع أبعاده (2m*2m) وعمق تأسيسه D_f=1.5m و$\Upsilon 1 = 1.5t/m^3$ حسب مايرهوف وبنسب مختلفة من الألياف وباختيار عامل الأمان FS=3 فقد تم حساب التحمل الكلي المسموح للعينات الثلاث المدروسة بنسب مختلفة من الألياف.



ويبين الجدول رقم (6) التحمل الكلي المسموح لأساس مربع أبعاده(2m*2m) مع نسب مختلفة من الألياف لعينة عقرب

نسب الألياف%	زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ	التماسك $c(Kg/cm^2)$	$\Upsilon 1$ gr/cm^3	$\Upsilon 2$ gr/cm3	التحمل الكلي المسموح $quall(Kg/cm^2)$
0	28.7	0.1	1.5	1.85	5.36
0.25	26.3	0.15	1.5	1.85	4.76
0.5	24.5	0.21	1.5	1.85	4.65
0.75	22.8	0.30	1.5	1.85	4.88
1	20.3	0.38	1.5	1.85	4.58

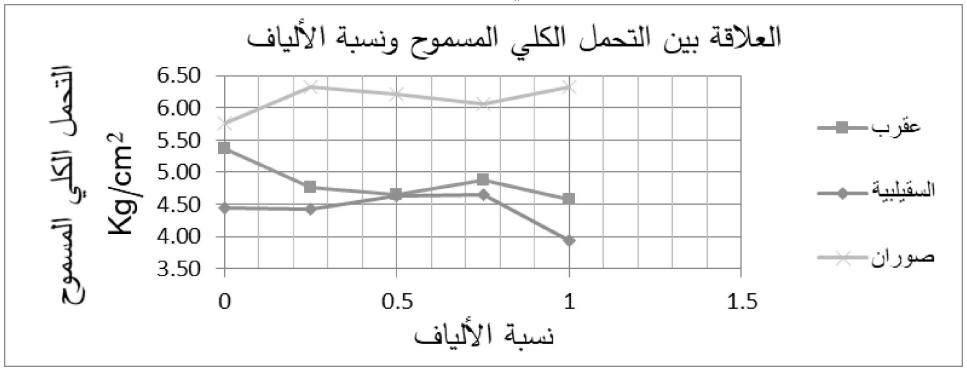
الجدول رقم (7): التحمل الكلي المسموح لأساس مربع أبعاده(2m*2m) مع نسب مختلفة من الألياف لعينة السقيلبية

نسب الألياف%	زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ	التماسك $c(Kg/cm^2)$	$\Upsilon 1$ gr/cm^3	$\Upsilon 2$ gr/cm3	التحمل الكلي المسموح $quall(Kg/cm^2)$
0	26.6	0.12	1.5	1.78	4.45
0.25	25.4	0.16	1.5	1.78	4.42
0.5	23.5	0.25	1.5	1.78	4.64
0.75	21.6	0.33	1.5	1.78	4.64
1	18.5	0.38	1.5	1.78	3.93

الجدول رقم (8): التحمل الكلي المسموح لأساس مربع أبعاده(2m*2m) مع نسب مختلفة من الألياف لعينة صوران

نسب الألياف%	زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ	التماسك $c(Kg/cm^2)$	$\Upsilon 1$ gr/cm^3	$\Upsilon 2$ gr/cm3	التحمل الكلي المسموح $quall(Kg/cm^2)$
0	30	0.07	1.5	1.94	5.76
0.25	29.2	0.13	1.5	1.94	6.32
0.5	27.4	0.20	1.5	1.94	6.21
0.75	25.4	0.28	1.5	1.94	6.06
1	24.2	0.36	1.5	1.94	6.32

ويبين الشكل(10) العلاقة بين نسب الألياف والتحمل الكلي المسموح للعينات الثلاث



الشكل رقم (10): العلاقة بين نسب الألياف والتحمل الكلي المسموح للعينات الثلاث

ونلاحظ من خلال الشكل (10) أن تأثير ازدياد نسبة الألياف على التحمل الكلي المسموح هو تأثير غير واضح ويتعلق بنوع التربة فمن أجل نسبة ألياف 1% يتبين انخفاض التحمل الكلي المسموح بحوالي 15% وذلك لعينتي عقرب والسقيلبية بينما يزداد من أجل نفس نسبة الألياف التحمل الكلي بحوالي 10% لعينة صوران

5–تأثير الألياف البولميرية على الجدران الإستنادية

تؤثر التربة المحجوزة على الجدران الاستنادية ومنشآت دعم التربة الحاجزة لها بدفع يدعى دفع التربة ولتبيان تأثير إضافة الألياف البولميرية في مادة الردم خلف الجدران الاستنادية فقد تم اختيار نوعين من الجدران الاستنادية فقد تم حساب الإجهادات الأعظمية لجدار استنادي ارتفاعه H1=3m وكذلك تم حساب الإجهادات الأعظمية لجدار استنادي ارتفاعه H2=6m وبنسب مختلفة من الألياف

الجدول رقم (9): الإجهادات الأعظمية لجدار استنادي $(H_2 = 6m, H_1 = 3m)$ بنسب مختلفة من الألياف لعينة عقرب

نسب الألياف%	زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ	التماسك c	ϒ	ارتفاع الجدار H1	ضغط التربة الفعال σH1	ارتفاع الجدار H2	ضغط التربة الفعال σH2
		Kg/cm^2	gr/cm^3	m	T/m^2	m	T/m^2
0	28.7	0.1	1.85	3	0.76	6	2.71
0.25	26.3	0.15	1.85	3	0.28	6	2.42
0.5	24.5	0.21	1.85	3	لا يوجد دفع	6	1.89
0.75	22.8	0.30	1.85	3	لا يوجد دفع	6	0.91
1	20.3	0.38	1.85	3	لا يوجد دفع	6	0.09

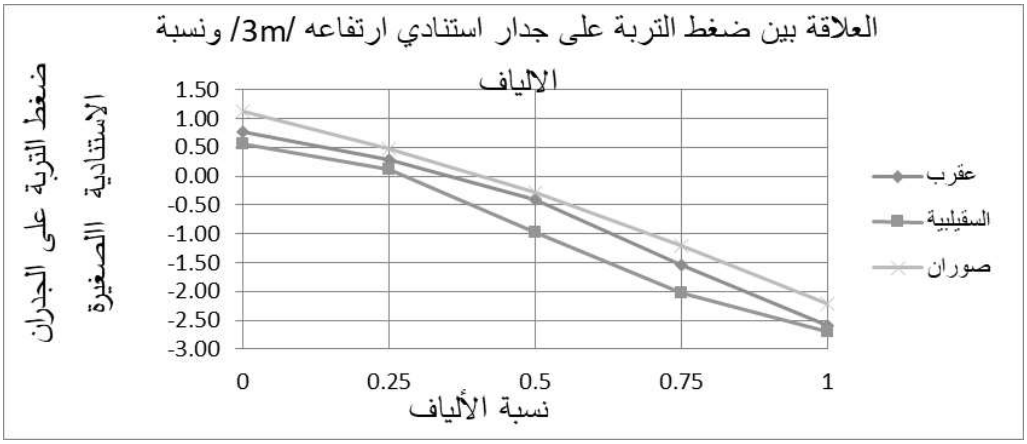
الجدول رقم (10) الإجهادات الأعظمية لجدار استنادي $(H_2 = 6m, H_1 = 3m)$ بنسب مختلفة من الألياف لعينة السقيلبية

نسب الألياف%	زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ	التماسك c	ϒ	ارتفاع الجدار H1	ضغط التربة الفعال σH1	ارتفاع الجدار H2	ضغط التربة الفعال σH2
		Kg/cm^2	gr/cm^3	m	T/m^2	m	T/m^2
0	26.6	0.12	1.78	3	0.55	6	2.59
0.25	25.4	0.16	1.78	3	0.11	6	2.25
0.5	23.5	0.25	1.78	3	لا يوجد دفع	6	1.31
0.75	21.6	0.33	1.78	3	لا يوجد دفع	6	0.45
1	18.5	0.38	1.78	3	لا يوجد دفع	6	0.06

الجدول رقم (11) الإجهادات الأعظمية لجدار استنادي $(H_2 = 6m\ , H_1 = 3m)$ بنسب مختلفة من الألياف لعينة صوران

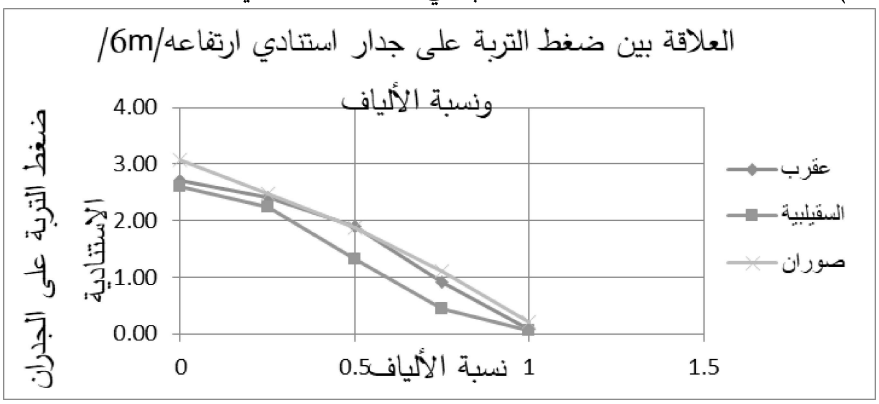
نسب الألياف%	زاوية الاحتكاك الداخلي ϕ	التماسك c Kg/cm^2	ϒ gr/cm^3	ارتفاع الجدار H1 m	ارتفاع الجدار H2 T/m^2	ضغط التربة الفعال σH1 m	ضغط التربة الفعال σH2 T/m^2
0	30	0.07	1.94	3	6	1.13	3.07
0.25	29.2	0.13	1.94	3	6	0.48	2.48
0.5	27.4	0.20	1.94	3	6	لا يوجد دفع	1.87
0.75	25.4	0.28	1.94	3	6	لا يوجد دفع	1.11
1	24.2	0.36	1.94	3	6	لا يوجد دفع	0.21

ونبين بالشكل(11) العلاقة بين نسب الألياف وضغط التربة في حالة جدار استنادي ارتفاعه 3m للعينات الثلاث



الشكل رقم(11) العلاقة بين نسب الألياف وضغط التربة في حالة جدار استنادي ارتفاعه 3m للعينات الثلاث

ونبين بالشكل(12) العلاقة بين نسب الألياف وضغط التربة في حالة جدار استنادي ارتفاعه 6m للعينات الثلاث



الشكل رقم (12): العلاقة بين نسب الألياف وضغط التربة في حالة جدار استنادي ارتفاعه 6m للعينات الثلاث

ويتبين أنه في حالة الجدران الاستنادية ذات الارتفاع الصغير فأن ضغط التربة ينعدم عند نسبة ألياف0.5% وأما في حالة الجدران الاستنادية ذات الارتفاع المتوسط أو الكبير فأن ضغط التربة ينخفض بشكل كبير مع زيادة نسبة الألياف في التربة، وبالتالي تعطي هذه الألياف دوراً إيجابياً دوماً في تثبيت الجدار الاستنادية.

النتائج والتوصيات

- أظهرت نتائج التجارب على كافة الترب السيلتية المختبرة وجود علاقة خطية بين نسبة الرمل أو الغضار الموجودة في العينات المختبرة مع كل من زاوية الاحتكاك وتماسك التربة وعامل المرونة التربة، وذلك سواء بوجود نسب مختلفة من الألياف أو بعدم وجود ألياف
- زيادة نسبة الرمل في الترب السيلتية المختبرة بحوالي 40% ومن أجل زيادة بنسبة ألياف مقداره0.5% تزداد زاوية الاحتكاك للتربة بحوالي5% ويزداد عامل مرونة التربة بحوالي60% وينخفض التماسك بحوالي16%
- زيادة نسبة الغضار في الترب السيلتية المختبرة بمقدار درجتين ومن أجل زيادة بنسبة ألياف مقدارها 1% تنقص زاوية الاحتكاك للتربة بحوالي25%وينقص عامل المرونة للتربة بحوالي56% بينما يزداد تماسك التربة بحوالي 5%
- تنخفض زاوية الاحتكاك للتربة في كافة أنواع الترب المختبرة بزيادة نسبة الألياف فمن أجل زيادة بنسبة ألياف مقدارها 0.5% انخفضت زاوية الاحتكاك التربة بنسبة تتراوح %(14~10)
- أدت زيادة نسبة الألياف البولميرية إلى تحسين في قيمة التماسك في كافة أنواع الترب المختبرة فمن أجل زيادة بنسبة ألياف مقدارها 0.5% تحسن تماسك التربة بنسبة تتراوح %(300~100)
- إن إضافة الألياف البولميرية تحسن بشكل عام من عامل مرونة التربة لكل أنواع الترب المختبرة وذلك حسب نوع التربة فمن أجل زيادة بنسبة ألياف 1% يزداد عامل المروتة بنسبة تتراوح بحوالي %(220~50)
- إن تأثير الألياف البولميرية على قدرة تحمل التربة غير واضح و يتعلق بنوع التربة، بالنسبة لتربة عقرب والسقيلبية كان له تأثير سلبي فمن أجل نسية ألياف 1% انخفض التحمل الكلي المسموح بحوالي 15%، بينما لتربة صوران كان له تأثير إيجابي فمن أجل نسية ألياف 1% ازداد التحمل الكلي المسموح بحوالي 10%.
- تؤدي الألياف البولميرية المضافة إلى تربة الردم خلف الجدران الاستنادية دوراً ايجابياً دوماً بحيث تخفض من ضغط التربة الفعال ، فمن أجل الجدران الاستنادية ذات الارتفاع الصغير وبنسبة 0.5% يتم انعدام الدفع على تلك الجدران ،وأما من أجل الجدران الاستنادية ذات الارتفاع المتوسط والكبير تعطي مردود ممتاز في تخفيض الدفع على تلك الجدران.
- بينت نتائج التجارب على كافة أنواع الترب السيلتية المختبرة أنه عند الرغبة بتحسين زاوية الاحتكاك الداخلية فقط فإنه من المفضل عدم اضافة الألياف البولميرية إلى التربة وعندما يكون المطلوب هو تحسين تماسك التربة وعامل مرونتها فعندئذ تكون نسبة الألياف المثالية هي % 1 .

المراجع العلمية

1. **سراج، دعبدالسلام،(1992): التأسيس على الترب الصعبة، دار المعرفة دمشق**
2. **Https://www.hansa.xyz2020/5/Fiber-Reinforced polymer.html?**
3. **FENZ,Gerhard؛GREGORI,Hubert؛KRZEMIEN,Randolf:WALDHANS,Herbert:Hochstandfeste bituminoese Tragschichten aus Strassenbaubitumen mit Faserzusats In Mitteilungen/Bundesministerium fuer Wirtschafttliche Angelegenheiten Wien,Strassenforschung,1992,Nr>403**
4. **WEISEMANN,Ulrike:Untersuchungen zur Verbeserung von Planungsshutzschichten im Eisenbahanunterbau insbesondere durch Geokunststoffe.Dresden,techische Universitaet,Dissertation,1994**