IRAQI Academic Scientific Journals
Al-Rafidain Engineering Journal (AREJ)
Vol. 25, No.1, June 2020, pp. 118-125
ISSN (Print) 1813-0526;
ISSN (Online) 2220-1270

تسليح التربة باستخدام مواد تسليح طبيعية وصناعية (مراجعة)

عبدالرحمن هاني الداود*
alzubydi.1979@gmail.com

أمينة أحمد خليل*
amina.alshumam@gmail.com

إبراهيم محمود الكيكي**
ialkiki@yahoo.com

جامعة الموصل - كلية الهندسة - قسم الهندسة المدنية *
جامعة الموصل - كلية الهندسة - قسم هندسة السدود والموارد المائية **

تاريخ الاستلام: 2020/1/13 تاريخ القبول : 2020/4/6

الخلاصة

يعتبر تسليح التربة من الأمور المهمة في هندسة الجيوتكنيك ويمثل إحدى الطرائق الفعالة في تثبيت التربة, إذ يعمل التسليح على تحسين استقرارية التربة وزيادة قابلية تحملها للأثقال المسلطة عليها. إن مفهوم تسليح التربة يتضمن إضافة عناصر تسليح (قد تكون طبيعية أو صناعية) تشترك مع جزئيات التربة في مقاومة الأحمال المسلطة. إن استخدام الألياف في تسليح التربة له أهمية كبيرة من الناحية الاقتصادية والناحية البيئية, إذ لاقى تسليح التربة اهتماماً كبيرة في السنوات الأخيرة في تنفيذ الكثير من المشاريع الهندسية كالطرق, الجدران الساندة, السداد الترابية والأسس السطحية. تختلف عناصر التسليح من حيث الشكل وميكانيكية تحمل الأثقال, إذ قد تكون على شكل ألياف, شبكات أو أشرطة. يتناول البحث مراجعة لمبدأ تسليح التربة بأنواعها المختلفة (الطبيعية و الصناعية) وباستخدام مواد تسليح وطرائق متعددة. في هذا البحث تم تجميع بيانات ومصادر عديدة عن تسليح الترب بأنواع مختلفة من الألياف الطبيعية والصناعية وتم التركيز على أهم الألياف وأكثرها انتشاراً. أيضاً تم تسليط الضوء على ميكانيكية التسليح ومدى الاستفادة منه في المشاريع الهندسية.

الكلمات الدالة:

الألياف الطبيعية, الألياف الصناعية, تسليح التربة, تداخل التربة-الليف.

https://rengj.mosuljournals.com
Email: alrafidain_engjournal1@uomosul.edu.iq

==========

1. المقدمة

يعتبر تسليح التربة من الأساليب القديمة التي استخدمت في مجال تحسين خصائص التربة الهندسية. إذ تم الكشف على استخدام البابليون منذ القدم ألياف التبن (القش) في تقوية وتسليح الطين (تقليل تكون وانتشار التشققات فيه بعد الجفاف) ومن ثم إنتاج وحدات بنائية منها ساعدت على بناء حضارتهم [1]. إن تسليح التربة بالألياف واضح للعيان وممكن مشاهدته في حياتنا اليومية من خلال جذور النباتات التي تمثل ألياف طبيعية تعمل على تثبيت التربة وزيادة مقاومتها واستقراريتها ضد التعرية, خاصةً في المنحدرات. إن انتشار جذور النباتات داخل كتلة التربة يعني انتشار ألياف موزعة بصورة عشوائية داخل التربة تعمل على زيادة مقاومة القص لها من خلال زيادة الاحتكاك والالتصاق بينها وبين جزيئات التربة.

من هذا المفهوم تم وضع مبدأ تسليح التربة باستخدام الألياف الطبيعية (النباتات) والألياف الصناعية. أول من وضع تقنية تسليح التربة هو العالم الفرنسي Vidal (1963), إذ تم استخدام شرائط معدنية لتسليح التربة خلف الجدران الساندة من اجل زيادة استقراريتها وعندئذ بدأت تعرف هذه التقنية بتسليح التربة Reinforced earth [1]. بعدها انتشرت تقنية تسليح التربة انتشاراً واسعاً في العديد من دول العالم لما لها من أهمية اقتصادية كبيرة في تحسين الخصائص الهندسية للتربة وتقليل كلفة المشاريع الهندسية [2–10]. أيضاً تنوعت مواد التسليح المستخدمة في تسليح التربة منها: الألياف الطبيعية, الألياف الصناعية, مخلفات المواد كألياف, وسيتم التطرق إلى بعض هذه الموادلاحقاً.

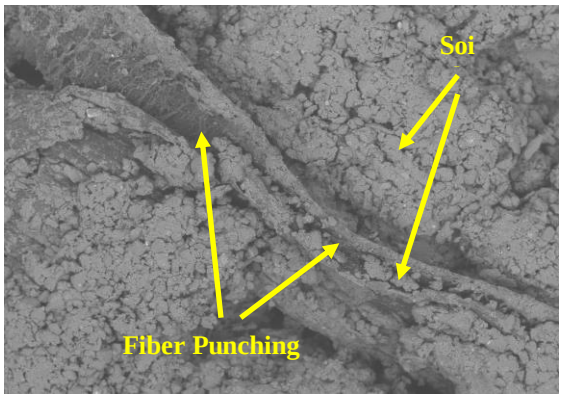
2. مفهوم التسليح

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

يُعرف الليف Fiber بأنه وحدة مادة Unit Matter تتميز بمرونتها, نعومتها وامتلاكها نسبة عالية من نسبة الطول إلى العرض أو القطر. تكون الألياف بأشكال مختلفة منها: على شكل شعيرات Filaments, غزول Yarns, مشابك Staples, خيوط, رقائق Chips وقطع صغيرة Crumbs. كما هو معلوم بان إضافة الألياف (الطبيعية أو الصناعية) إلى التربة يحسن الخصائص الهندسية لها خاصةً مقاومة الشد. إذ تتميز التربة بعدم امتلاكها أي مقاومة ضد قوى الشد المسلطة عليها, لذلك فان إضافة عناصر مقاومة للشد يحسن هذه الخاصية وعندئذ تعرف التربة المسلحة بالألياف بأنها مواد مركبة Composite Materials. إن عمل التسليح داخل التربة يكون مرتبط بشكل كبير بمقاومة القص المتداخلة Interfacial shear resistance بين الليف والتربة عند منطقة الالتقاء Interface, والتي تتأثر بأربعة عوامل رئيسية كما أشار إليها [2-a] و [3] . هذه العوامل هي الاحتكاك, قوة الارتباط, ضغط المص النسيجي Matrix Suction وشكل التداخل أو الالتقاء بين الليف والتربة Interface Morphologies. تعتمد هذه العوامل بدورها على قيمة المحتوى الرطوبي والكثافة الجافة للتربة, شكل وحجم الألياف, إذ من الممكن أن تقوم هذه العوامل بدورها بشكل منفرد أو مشترك حسب خصائص كل من الألياف والتربة. إن وجود الألياف بين جزيئات التربة يُشكل جسوراً Bridges تعمل على نقل القوى المسلطة على جزئيات التربة إليها. كذلك تعمل الألياف على تحقيق نوع من توازن القوى داخل هيكل التربة من خلال نقل الأحمال من المستويات الضعيفة إلى المستويات الأقوى بالتالي تزداد مقاومة القص والشد للتربة والتي يصاحبها زيادة في قيم الانفعال المقابلة لتلك القوى, بمعنى أن حدوث أي انفعالات داخل التربة سيؤدي إلى حدوث انفعالات في الألياف والذي بدوره يؤدي إلى إضافة في مقاومة التربة المسلحة. الشكل رقم (1) يوضح عمل الألياف كجسور داخل التربة وكما أشار إليه [4].

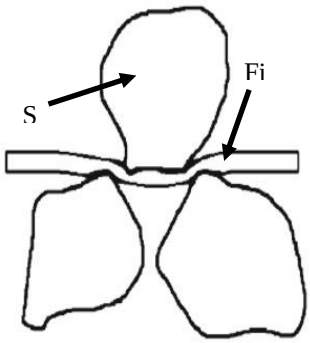
أيضاً تتعرض الألياف المضافة للتربة إلى تشوهات تزيد من مقاومة التربة للأحمال المسلطة عليها ومنها: التشوهات الحاصلة عن انبعاج سطح الألياف (بسبب جزيئات التربة الصلبة) خلال عملية الرص والتي تعمل على زيادة التداخل والاحتكاك بين الليف والتربة, وكما مبين في الشكل رقم (2) [5]. كذلك تُستهلك أجزاء من قيم القوى المسلطة على التربة المسلحة مسببة استطالة الليف Fiber Stretch بالتالي تزداد مقاومة التربة. إن استطالة الألياف تحدث عن طريق جزيئات التربة التي تضغط على مواضع مختلفة من الليف تؤدي إلى استطالته وكما موضح في الشكل رقم (3) [6], أيضاً ونتيجة استطالة الليف تزداد قوى الالتصاق بين الليف والتربة مسببة زيادة في مقاومة التربة وكما أشار إليها [6].

الشكل رقم (1) يوضح آلية عمل الألياف كجسور داخل هيكل التربة [4]



الشكل رقم (2) يوضح انبعاج ألياف التبن (القش) بسبب جزيئات التربة [5]

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



الشكل رقم (3) يوضح آلية استطالة الليف وزيادة الالتصاق بين الليف والتربة [6]

3. العوامل المؤثرة على خصائص التربة المسلحة

تؤثر العديد من العوامل (منفردة أو مشتركة) على خصائص التربة المسلحة والتي قد تنعكس سلبياً أو إيجابياً على دور الألياف في عملية تحسين خصائص التربة الهندسية. من هذه العوامل [3,4,7,8 and 10]:

أ- خصائص التربة وتشمل: نوع التربة (متماسكة أو غير متماسكة), شكل وحجم الجزئيات, التدرج الحبيبي, الكثافة, المحتوى الرطوبي, درجة الإشباع ومقاومة القص.

ب- خصائص الألياف وتشمل: نوع مادة الألياف (طبيعي أو صناعي), الشكل, الأبعاد (الطول, العرض أو القطر), مقاومة الشد, قيمة الاستطالة, الصلابة, بنية الألياف أو خواص سطح الألياف (أملس, خشن أو أي بنية أخرى), قابلية امتصاص الماء (خاصةً الألياف الطبيعية), الوزن النوعي, السطح النوعي, بالإضافة إلى خصائص أخرى.

ت- توزيع ونسبة التسليح (الألياف) وتشمل: تركيز الألياف, التوزيع فيما إذا كان منتظم أو عشوائي, الاتجاه Orientation, المسافات بين مواد التسليح, نسبة مساحة الألياف.

ث- عوامل أخرى منها: نوع ودرجة الرص, نوع ونسبة المادة المثبتة (سمنت, نورة إلى أخره), طريقة مزج الألياف, حالة وقيمة الاجهادات المسلطة, سرعة الاجهادات أو الانفعالات المسلطة, ديمومة التربة المسلحة.

4. الالياف وتسليح التربة

تناولت العديد من الدراسات السابقة إمكانية استخدام الألياف كمواد تعمل على تحسين خصائص التربة الهندسية. إذ تضمنت تلك الدراسات استخدام ألياف طبيعية (النباتات) أو صناعية (من مواد تصنيع مختلفة) تعمل على زيادة وتحسين المقاومة للتربة, كذلك شملت الدراسات معظم الخصائص الهندسية والميكانيكية للتربة سواءً كانت مشبعة أو غير مشبعة. فيما يلي نبذة عن بعض الدراسات حول استخدام الألياف في تحسين خصائص التربة.

1.4 الألياف الطبيعية.

تستخدم الألياف الطبيعية في تسليح التربة والتي تمثل النباتات أو مخلفاتها. إذ تم التركيز في الآونة الأخيرة على استخدام النباتات كمواد تسليح في مشاريع الهندسة المدنية, إذ تمثل هذه المواد مواد صديقة للبيئة كذلك لها جانب اقتصادي كبير في المشاريع الهندسية. اهتمت الكثير من الدراسات في استخدام النباتات في تسليح الترب بأنواعها المختلفة سواءً كانت ترب طبيعية أو ترب مثبتة. إذ أن هنالك أنواع مختلفة من الألياف الطبيعية التي من الممكن استخدامها كمواد تسليح منها: ألياف التبن (القش), ألياف جوز الهند, ألياف نبات السيزال Sisal, ألياف النخيل, الخيزران, الكتان وألياف نبات الجوت Jute, بالإضافة إلى أنواع أخرى. سيتم التطرق إلى بعض الدراسات التي تناولت استخدام مثل هذه المواد في تسليح التربة.

تتميز ألياف التبن بوفرتها في معظم دول العالم, إذ تمثل هذه الألياف سيقان نباتات الحنطة والشعير والتي يتم حصادها مرة أو مرتين في كل عام. استخدمت ألياف التبن في البناء منذ القدم, إذ استخدمت من قبل البابليين والمصريين في بناء حضاراتهم. كذلك يتم استخدام هذه الألياف في إنتاج وحدات البناء (خاصةً الطابوق الطيني) المسلحة والتي تستخدم في بناء المنازل في القرى والأرياف في كثير من دول العالم الثالث [7]. أشار الباحثون [8] [Bouhicha et al. 2005] إلى أن إضافة ألياف التبن له تأثير ايجابي في زيادة مقاومة الانضغاط غير المحصور, مقاومة الانثناء Flexural ومقاومة القص للتربة. كذلك تعمل هذه الألياف على تقليل نسبة الانكماش للتربة بشكل كبير فيما إذا تم إضافة النسبة المثلى من هذه الألياف. بين الباحثون [9] [Abtahi et al. 2010] أن إضافة ألياف التبن إلى التربة يزيد من مقاومة القص لها وأن النسبة المثلى التي أعطت أعلى قيمة لمقاومة القص كانت بحدود 1%. استنتج الباحثون [10] [Alkiki et al. 2012] أن النسبة 1% من ألياف التبن أيضاً تعطي أعلى مقاومة انضغاط غير محصور وأعلى مقاومة انثناء لنماذج تربة طينية. كذلك أعطت نفس النسبة أعلى قيم لتلك المقاومات في حالة تثبيت التربة بنسبة 4% نورة ومنضجة بدرجة حرارة (25 درجة مئوية) لمدة 7 أيام. اذا زادت كل من مقاومة الانضغاط والانثناء بحدود (4 , 9) اضعاف مقاومة التربة الطبيعية غير المسلحة, على التوالي. درس الباحث [11] [Mohamed 2013] تأثير إضافة ألياف التبن على خصائص الانتفاخ لتربة طينية انتفاخية, إذ تم إضافة ثلاث نسب من ألياف التبن تراوحت بين (0.5-1.5%) من وزن التربة. أوضحت النتائج المستحصلة حدوث نقصان مستمر في قيم الانتفاخ مع زيادة نسب الألياف المضافة. اذ كانت نسبة النقصان في قيم الانتفاخ حوالي (85%) من قيمة الانتفاخ للتربة الطبيعية غير المسلحة. وجد الباحثون [12] [Qu et al. 2013] أن إضافة ألياف التبن بنسبة 0.3% وبنسبة طول/عرض تتراوح بين 5-6.67 تعطى أعلى مقاومة قص للتربة الطينية.

بالنسبة لألياف جوز الهند (التي تمثل الألياف المحيطة بثمرة جوز الهند) تتميز بأنها ذات مقاومة شد عالية خاصةً عندما تكون رطبة, وتعمل على تحسين خصائص التربة فيما إذا أضيفت

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

لها. ذكر الباحثان [13] [Ravishankar and Raghavan 2004] أن كثافة التربة تقل مع إضافة ألياف جوز الهند بينما يزداد المحتوى الرطوبي الأمثل مع نسب الإضافة. كذلك تزداد مقاومة الانضغاط للتربة المسلحة مع زيادة نسب الألياف المضافة إلى حد 1% من الألياف, بعدها تقل. اذ كان مقدار التحسن في مقاومة الانضغاط اكثر من ضعفي مقاومة التربة غير المسلحة. في حين أظهرت مقاومة الشد زيادة مستمرة مع نسب الألياف المضافة ضمن حدود الدراسة والتي وصلت الى اكثر من 3 اضعاف مقاومة الشد للتربة الطبيعية. بين الباحثون [14] [Ramesh et al. 2010] إن إضافة 1% من ألياف جوز الهند لتربة معاملة بنسبة 4% نورة يزيد من قابلية التحمل لها, كذلك تعمل الألياف المضافة على زيادة المطاوعة Ductility للتربة المسلحة.

وجد الباحثون [15] [Ghavami et al. 1999] إن إضافة 4% من ألياف نبات السيزال إلى التربة يحسن من مقاومة الانضغاط غير المحصور ويزيد من قيمة المطاوعة لها. وفي دراسة أخرى قام بها الباحثان [16] [Prabakara and Sridhar 2002] حول إضافة نسب مختلفة من ألياف نبات السيزال تراوحت بين (0.25-1%) وبأطوال مختلفة تراوحت بين (10-25 ملم). وجد أن الكثافة الجافة للتربة تقل مع زيادة كل من نسب وأطوال الألياف المضافة. في حين أن مقاومة القص للتربة تزداد مع زيادة طول الألياف والى حد طول 20 ملم وبعدها تقل.أيضاً كانت النسبة المثلى للألياف والتي تعطي أعلى مقاومة هي 0.75% وكان مقدار التحسن في قيم مقاومة القص (التماسك) بحدود 60%.

من الأنواع الأخرى التي تستخدم في تسليح التربة هي ألياف نبات الجوت والذي يكثر في الصين, الهند وبنغلادش. درس الباحثان [17] [Aggarwal and Sharma 2010] تأثير إضافة ألياف نبات الجود على قيمة التحمل الكاليفورني CBR للتربة. إذ استنتج أن إضافة هذه الألياف إلى التربة يزيد من قيمة CBR لها وان طول هذه الألياف يؤثر على قيمة CBR. ووجد أيضاً أن أفضل نسبة للألياف المضافة كانت بحدود 0.8%. كذلك لاحظ الباحثان أن معاملة هذه الألياف بمادة القير Bitumen يزيد من كفاءتها في تحسين خصائص التربة ويقلل من تأثرها بالمواد البكتيرية.

بالنسبة لألياف الخيزران والتي تتميز بمقاومة شد عالية, من الممكن استخدامها في تسليح التربة كذلك ممكن استخدامها في إنتاج الوحدات البنائية من الخرسانة والألياف [-18 19] [Coutts 1995; Khedari et al. 2005]. أشار الباحثون [20] [Lin et al. 2010] أيضاً إلى أن استخدام جذور نبات الخيزران يزيد من استقرارية التربة Soil Stability ويقلل من عملية التعرية لها.

أما ألياف الكتان وكما بين الباحثون [21] [Segetin et al. 2007] أن إضافتها إلى التربة المعاملة بالسمنت تزيد من قيمة الانفعال عند الفشل أي تزيد من قيمة المطاوعة. كذلك حدد الباحثين أن نسبة 0.6% من هذه الألياف وبطول 85 ملم هي النسبة المثلى والتي تعطي أعلى مقاومة وبنسبة تحسن يصل الى 70% اذا ما قورنت مع مقاومة التربة الطبيعية.

تستخدم ألياف النخيل (الألياف وليس السعف) كسابقتها من الألياف في تحسين خصائص التربة وتكون هذه الألياف مشابهة إلى حد ما ألياف جوز الهند. تتميز هذه الألياف بأنها خفيفة الوزن وذات مقاومة شد وديمومة عالية. استنتج الباحثون [22] [Marandi et al. 2008] بان مقاومة الانضغاط وقيمة التحمل الكاليفورني للتربة الغرينية-الرملية تزداد بإضافة ألياف النخيل إليها. اذ زادت مقاومة الانضغاط للتربة المسلحة من 100 kN/m^2 الى حوالي 520 kN/m^2, تم التوصل إلى نتائج مشابهة من قبل الباحثون [23] [Sarbaz et al. 2014]. أيضاً بين الباحثون [24] [Ahmed et al. 2010] بان ألياف النخيل تزيد من مقاومة القص للتربة الغرينية خلال فحص الانضغاط ثلاثي المحاور وان نسبة الزيادة في هذه المقاومة تعتمد على نسبة وطول الألياف المضافة. ذكر الباحثون [25] [Estabragh et al. 2013] أن إضافة ألياف النخيل إلى التربة الطينية تؤدي إلى نقصان ضغط الانضمام المسبق للتربة في حين تعمل الألياف المضافة على زيادة كل من معامل الانضغاط والانتفاخ.

2.4 الألياف الصناعية.

تتميز الألياف الصناعية بأنها ألياف مصنعة من مواد صناعية مختلفة كالنايلون وغيرها, أو قد تكون كنواتج إعادة تدوير المخلفات الصناعية كالبلاستك مثلاً. يتم تصنيع هذه الألياف بأشكال وأطوال مختلفة حسب المادة المنتجة منها وحسب الغرض المعدة له. يتم استخدام هذه الألياف في معظم مجالات الهندسة المدنية, مثلاً تستخدم في تحسين خصائص التربة المستخدمة كطبقة أساس أو طبقة ماتحت الأساس أو قد تستخدم كمواد مضافة في الخرسانة لزيادة قابلية الشد لها بالإضافة إلى التطبيقات الأخرى. من أنواع الألياف الصناعية: ألياف فايبر كلاس, ألياف البولستر, ألياف البولي بروبلين, ألياف النايلون بالإضافة إلى أنواع أخرى. وفيما يلي موجز عن بعض الدراسات التي اهتمت في استخدام مثل هذه الألياف في تحسين خصائص التربة الهندسية.

وجد الباحثون [26] [Consoli et al. 2002] أن إضافة ألياف البولستر إلى التربة الرملية يحسن مقاومة القص لها وأن هذه المقاومة تعتمد بشكل كبير على نسب الألياف المضافة.اذ كانت نسبة التحسن في زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة المسلحة بحدود 65%. استخدم الباحثون [27] [Kumar et al. 2006] نسب مختلفة من ألياف البولستر تراوحت بين (0.5-2%) وبأطوال 3,6,9 ملم لتحسين خصائص تربة طينية عالية الانضغاط. إذ استنتجوا بان قيمة مقاومة الانضغاط غير المحصور تعتمد على نسب وأطوال الألياف المضافة, إذ زادت المقاومة مع زيادة كل من النسب وطول الألياف. أيضاً وجد أن الألياف من النوع المجعدة أو المموجة Crimped تعطي مقاومة أعلى من الألياف الملساء أو المسطحة Flat. ذكر الباحث [28] [Maheshwari 2011] أن إضافة ألياف البولستر بطول 12 ملم إلى التربة الطينية يحسن من قابلية التحمل لها ويقلل من مقدار الهبوط المقابل لأعلى قيمة تحمل, وأن النسبة المثلى من الألياف المضافة كانت بحدود 0.5%. ذكر الباحثون [29] [Kodicherla et al. 2018] أن إضافة ألياف البولستر إلى رمل البحر يزيد من مقاومة القص له وأيضاً يزيد من قيمة النفاذية والمسامية للتربة وذلك بسبب غياب الالتصاق بسب جزيئات الرمل والألياف.

بالنسبة للألياف الزجاجية وجد الباحثون [30] [Consoli et al. 1989] أن إضافة مثل هذه الألياف إلى التربة الرملية يحسن خصائص المقاومة لها. درس الباحثان [31] [Maher and Ho 1994] تأثير إضافة الألياف الزجاجية إلى الكاؤولينات, حين وجدا حصول زيادة في قيم مقاومة الانضغاط غير المحصور للتربة مع وجود هذه الألياف وبنسبة تصل الى اكثر من 4 اضعاف مقاومة التربة غير المسلحة. في دراسة أخرى قام بها الباحثون [32] [Consoli et al. 2004] حول تحسين الخصائص الميكانيكية لتربة مثبتة بالسمنت وذلك بإضافة الألياف الزجاجية إليها, إذ استنتجوا أن إضافة الألياف يزيد من مقاومة القص ويقلل من التقصف للتربة Brittleness.

تتميز ألياف البولي بروبلين بأنها الألياف الأكثر شيوعاً في تسليح التربة لما لها من مميزات في تحسين التربة وأنها ذات مقاومة جيدة ضد التأثيرات الكيميائية والبايولوجية

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

Puppala and Musenda 2000; Tang et al.] [34-33] 2007 b]. أجرى الباحثون [35] [Tingle et al. 2002] بعض الفحوصات الموقعية على مقاطع تربة رملية مسلحة بألياف البولي بروبلين, إذ وجدا أن إضافة الألياف التي التربة الرملية يزيد من مقاومتها وان طبقة التربة المسلحة وبسمك 203 ملم كافية لتحمل ثقل المركبات العسكرية. ولزيادة ديمومة مثل هذه الألياف اقترح الباحثان معاملة سطح طبقة التربة بمادة القير من اجل الحفاظ على ألياف البولي بروبلين تحت تأثير الأحمال المرورية. أجرى الباحثون [36] [Consoli et al. 2003] فحص التحمل الصفيحي في المختبر لتربة رملية مسلحة بألياف البولي بروبلين, إذ أظهرت نتائج الفحص أن سلوك نماذج التربة المسلحة كان من النوع المتصلب Hardening وبنسبة انفعال يصل إلى 20% إذ تم الاستدلال على هذا السلوك من علاقة الحمل المسلط مع الهبوط. في حين كان سلوك النماذج غير المسلحة من النوع اللدن Plastic. بالتالي أوصى الباحثين بإمكانية استخدام مثل هذه التربة في أعمال الأسس السطحية والسداد الترابية المقامة على الترب الضعيفة. وجد الباحثون [37] [Punthutaecha et al. 2006] أن ألياف البولي بروبلين لها تأثير واضح في تقليل قيم كل من الانتفاخ والانكماش للتربة الانتفاخية. قام الباحثون [38] [Diambra et al. 2010] بإجراء فحص الانضغاط ثلاثي المحاور على تربة رملية مسلحة بألياف البولي بروبلين. بينت النتائج أن مقاومة النماذج المسلحة عند الفشل (قيمة الضغط المحوري σ_1) ازدادت بوجود هذه الألياف مقارنة مع التربة غير المسلحة وبنسب تصل الى 75%. درس الباحثون [39] [Tang et al. 2010] سلوك التداخل بين ألياف البولي بروبلين وبين التربة, إذ استنتجوا بان مقاومة القص المتداخلة بين التربة والألياف تعتمد بشكل أساسي على خشونة سطح الليف, مساحة التلامس المؤثرة وتركيب التربة. درس الباحثون [40] [Pradhan et al. 2012] تأثير إضافة نسب مختلفة من ألياف البولي بروبلين وبنسبة طول إلى عرض تراوحت بين (75-125) على خصائص المقاومة لتربة طينية واطئة اللدونة. إذ وجدوا أن إضافة مثل هذه الألياف يحسن خصائص كل من مقاومة القص, مقاومة الانضغاط غير المحصور وقيمة التحمل الكاليفورني للتربة, اذ كانت نسب التحسن في قيم هذه المقاومات بحدود 54%, 76 و 64%, على التوالي. درس الباحثون [41] [Gong et al. 2019] تأثير دورات الانجماد-الذوبان على التربة الطينية المسلحة بألياف البولي بروبلين, إذ وجد الباحثين أن إضافة الألياف إلى التربة يزيد من قيمة التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلي للتربة. أيضاً تعمل الألياف على زيادة ديمومة التربة ضد دورات الانجماد-الذوبان مقارنةً مع التربة غير المسلحة.

بالنسبة لألياف النايلون تعمل هي الأخرى على زيادة المقاومة للتربة, إذ ذكر الباحثون [42] [Murray et al. 2000] أن إضافة ألياف النايلون والتي كانت تمثل مخلفات السجاد تعمل على زيادة مقاومة الانضغاط ثلاثي المحاور وبنسبة 200% تقريباً مقارنة مع التربة غير المسلحة, وان هذه القيمة العالية كانت تحدث عند نسبة 3%. وجد الباحثان [43] [Kumar and Tabor 2003] أن إضافة ألياف النايلون إلى التربة الطينية يزيد من مقاومة القص للتربة ولكل قيم الكثافة التي تم رص نماذج التربة عندها. حيث كانت الزيادة في قيمة التماسك للتربة المسلحة حوالي 62% مقارنة مع التربة غير المسلحة. درس الباحثان [44] [Phanikumar and Singla 2016] إمكانية تحسين خصائص الانتفاخ لتربة طينية انتفاخية بإضافة ألياف النايلون, إذ تم إضافة نسب مختلفة من هذه الألياف وصلت إلى 3% وبطول 15 و 20 ملم. بينت النتائج أن إضافة مثل هذه الألياف إلى التربة الانتفاخية تعمل على تقليل نسبة الانتفاخ وكانت أفضل نسبة هي 0.25% ولكلا قيم الأطوال المستخدمة في الدراسة. وكانت نسبة النقصان في قيمة الانتفاخ بحدود 85%.

5. صعوبات ومميزات استخدام الألياف في تسليح التربة.

إن إضافة الألياف بأنواعها المختلفة (طبيعية كانت أم صناعية) إلى التربة يصاحبها العديد من الأمور التي قد تجعل عملية التسليح باستخدام الألياف صعبة نوعاً ما. من جانب أخر تمثل إضافة الألياف إلى التربة طريقة لتحسين خصائص التربة الهندسية, الأمر الذي يزيد من ديمومة واستقرارية المنشات المقامة على مثل هذه الترب (الترب المسلحة). من الصعوبات التي تواجه مهندسي الجيوتكنيك في استخدام الألياف كمواد تسليح للتربة هي:

أ- عدم وجود مواصفات قياسية علمية لاستخدام الألياف لتسليح التربة سواءً لإجراء التجارب المختبرية أو للمشاريع الحقلية. إن وجود المواصفات القياسية (مثلاً تحديد الطول, نسبة الطول إلى العرض, الشكل) يجعل من عملية التسليح بالألياف سهلة التنفيذ ومفيدة إلى ابعد الحدود [22].

ب- عملية الالتصاق أو/و الاحتكاك بين الألياف والتربة لها الدور الكبير في عملية التسليح والتي تعتمد بدورها على خصائص التماسك للتربة, أبعاد وشكل الليف, شكل ونوع سطح الليف بالإضافة إلى مقاومة القص في منطقة الالتقاء بين الليف والتربة. إذ كلما كانت قيم الالتصاق والاحتكاك بين الليف والتربة في أعلى مستوى كلما كانت نتائج التسليح جيدة [15,21].

ت- تكتل وتراكم Clumping الألياف فوق بعضها البعض يعتبر من أهم المشاكل في عملية التسليح والتي في كثير من الأحيان تنعكس سلبياً على عملية تسليح التربة بالألياف, إذ تشكل هذه التكتلات بدورها مستويات ضعف داخل هيكل التربة المسلحة بالألياف. من أهم العوامل المؤثرة على هذه الخاصية هي طول الليف لذا من الأفضل اختيار الطول المناسب لليف في تسليح التربة [21,46].

ث- صعوبة استخدام الألياف في تحسين خصائص التربة ذات الأعماق الكبيرة.

أما بالنسبة لفوائد ومميزات استخدام الألياف كمواد تسليح للتربة هي:

أ- تعتبر الألياف (خاصةً الطبيعية منها) كمواد رخيصة نوعاً ما مقارنة مع المواد الأخرى التي تستخدم في تحسين خصائص التربة كالسمنت مثلاً. كذلك تتميز بكثرة انتشارها وفي معظم دول العالم [27,31].

ب- سهولة إضافة الألياف إلى التربة والتي قد لا تحتاج إلى تقنيات خاصة. من أهم طرائق إضافة الألياف إلى التربة والتي لها دور كبير في تحسين خصائصها هي طريقة الإضافة العشوائية [27,31].

ت- إضافة الألياف إلى التربة لها دور كبير في تحسين خصائص التربة الهندسية [22,26], وهذا ما تم توضيحه سابقاً (الفقرة 4).

6. تطبيقات التربة المسلحة

تعتبر طريقة تسليح التربة بإضافة الألياف من طرائق تحسين التربة والتي لم تنتشر بصورة واسعة في كثير من الدول, وذلك بسبب عدم وجود مواصفات وطرائق قياسية يمكن أن تُتبع في أجراء التجارب المختبرية أو التنفيذ في المشاريع الحقلية. على الرغم من ذلك, يعتبر تسليح التربة ذا أهمية كبيرة في تحسين خصائص التربة وكما مشار إليه مسبقاً ومن الممكن استخدام هذه التقنية في كثير من المشاريع الهندسية ومنها:

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

أ- مشاريع هندسة الجيوتكنيك. تستخدم التربة المسلحة في كثير من مشاريع هندسة الجيوتكنيك مثلاً كاملائيات خلف الجدران الساندة, تحسين خصائص طبقات التربة تحت الأسس, تثبيت المنحدرات الترابية, إنشاء السداد الترابية وزيادة مقاومة التربة ضد ظاهرة التميع Liquefaction. وجد الباحثان [45] [Park and Tan 2005] أن استخدام ألياف البولي بروبلين في تسليح الجدران الترابية يزيد من استقرارية هذه الجدران ويقلل من تأثير كل من ضغط التربة الجانبي والإزاحة.

ب- مشاريع هندسة الطرق. تستخدم التربة المسلحة في إنشاء طبقات الطريق مثلاً طبقة الأرض الطبيعية Sub-grade أو طبقات الأساس أو ماتحت الأساس. كذلك قد تستخدم كطبقة نفاذة في بعض الطرق لتصريف المياه, أو قد تستخدم كطبقة لتقليل تأثير الانجماد كذلك من الممكن أن تستخدم كطبقة لتخفيض وتقليل تأثير الاهتزازات تحت سكك الحديد. استنتج الباحثون [35] [Tingle et al. 2002] من خلال الفحوصات الحلقية لتربة رملية مسلحة بالألياف, أن وجود الألياف يزيد من مقاومة التربة وأيضاً من الممكن استخدام مثل هذه الترب المسلحة في الطرق ذات الأحمال المرورية القليلة أو المتوسطة. ذكر الباحثان [46] [Newman and White 2008] في تقرير عن التربة المسلحة بألياف البولي بروبلين والمثبتة بالسمنت, انه من الممكن استخدام مثل هذه التربة في مشاريع المواقف (الساحات) وكذلك طرق سيارات الأجرة Taxi-ways في شمال استراليا.

ت- أيضاً من الممكن استخدام التربة المسلحة بالألياف في مشاريع المنشات الهيدروليكية وفي مشاريع هندسة البيئة. مثلا قد تستخدم التربة المسلحة لتقليل ضغط التسرب, السيطرة على نفاذية الماء [47] [Shukla 2017], تقليل التعرية بسبب المياه وتقليل خطر ظاهرة الثقب Pinhole للتربة. أما في مشاريع هندسة البيئة قد تستخدم الألياف لتقليل قيم كل من الانتفاخ والانكماش للترب الانتفاخية المستخدمة في الاملائيات الصحية.

7. الاستنتاجات

يتضمن هذا البحث مراجعة عن استخدام الألياف الطبيعية والصناعية في تسليح التربة. من خلال ما تم ذكره في هذا البحث يمكن استنتاج ما يلي:

- بينت جميع الدراسات السابقة أن إضافة الألياف الطبيعية أو الصناعية تعمل على تحسين وزيادة مقاومة التربة, وان نسب الزيادة في المقاومة تعتمد على خصائص كل من التربة والألياف المضافة.
- لكل نسب الألياف المضافة إلى التربة, هنالك نسبة مثلى تعطي أعلى مقاومة للتربة والتي تعتمد بشكل كبيرة على نسبة الطول إلى العرض بالنسبة للألياف. أيضاً إضافة الألياف بنسب كبيرة يعمل على تقليل كفاءة عملية التسليح وأحياناً يقلل من مقاومة التربة وذلك بسبب تجمع وتراكم الألياف فوق بعضها البعض مكونة مستويات ضعف داخل هيكل التربة.
- إضافة الألياف إلى التربة بشكل عشوائي يعمل على زيادة المقاومة بشكل كبيرة من خلال زيادة الاحتكاك والالتصاق بين الألياف وجزئيات التربة.
- استخدام الألياف (خاصة الطبيعية منها) في تسليح التربة له فائدة كبيرة من حيث الاعتبارات البيئية باعتبار الألياف مواد صديقة للبيئة. يرافق هذه الاعتبارات الجانب الاقتصادي باعتبار الألياف الطبيعية مواد رخيصة الثمن مقارنة مع المواد الأخرى المستخدمة في تحسين التربة كالسمنت مثلاً.
- - إمكانية استخدام الألياف الطبيعية والصناعية في تنفيذ لمشاريع الهندسية كالطرق والسداد الترابية بالإضافة إلى المشاريع الأخرى.

من خلال عرض الدراسات السابقة حول تسليح التربة باستخدام مواد تسليح طبيعية وصناعية, من الافضل عمل دراسات اخرى ترتكز على بيان اهمية كل نوع من الالياف (كل نوع على حدا) ومدى كفائته في تحسين خصائص التربة المناسبة له. ايضاً تشمل هذه الدراسات توضيح الخلطات التي تحدد نسب الالياف المضافة, مع عمل موديلات رياضية او احصائية تعطي قيم لمقاومة التربة (مقاومة الانضغاط والشد) والتغير الحجمي لها بصورة مباشرة وذلك بالاعتماد على متغيرات بسيطة (مثل النسبة المضافة, فترة الانضاج, درجة الحرارة, الى اخره).

8. REFERENCES

[1] Vidal H., "The principle of reinforced earth", Highway research record, Vol. 282, pp1–16, 1969.

[2] Tang C., Shi B., Gao W., Cai Y., and Liu J., "Study on effect of sand content on strength of polypropylene fibre reinforced clay soil", Journal of Rock Mechanic Engineering, No.1, pp, 2968–2973, (2007-a).

[3] Gelder C., and Fowmes G. J., "Mixing and compaction of fibre- and lime-modified cohesive soil", Ground Improvement, Vol. 169, No.(GI2), pp 98–108, 2016.

[4] Zaimoglu A. S., and Yetimodlu T., "Strength behaviour of fine grained soil reinforced with randomly distributed polypropylene fibers", Geotechnical and Geological Engineering, Vol. 30, No. 1, pp 197–203, 2012.

[5] Aldaood A., Khalil A., and Alkiki I., " Characterization of hay fiber–reinforced fine–grained soil", Jordan Journal of Civil Engineering, under review.

[6] Falorca I., and Pinto M., "Effect of short, randomly distributed polypropylene microfibers on shear strength behaviour of soils", Geosynthetic International, Vol. 18, No. 1, pp 2–11, 2011.

[7] Mansour A., Srebric J., and Burley J., "Development of straw-cement composite sustainable building material for low-cost housing in Egypt", Journal of Applied Science Research, No. 3, pp 1571–1580, 2007.

[8] Bouhicha M., Aouissi F., and Kenai S., "Performance of composite soil reinforced with barley straw", Cement and Concrete Composite, No. 27, pp 617–621, 2005.

[9] Abtahi M., Okhovat N., Pourhosseini R., and Hejazi M., "Improvement of soil strength by natural fibers", From res to des Europ prac, Bratislava, Slovak Republic, pp 2–4, 2010.

[10] Al-Kiki I. M., Al-Zubaydi A. H., and Al-Atalla M. A., "Compressive and tensile strength of fibrous clayey soil stabilized with lime", Journal of Al-Rafidain Engineering, Vol. 20, No. 2, pp 66-77, 2012.

[11] Mohamed A. E. M. K., 2013. "Improvement of swelling clay properties using hay fiber", Construction and Building Materials, No. 38, pp 242-247, 2013.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

[28] Maheshwari V., "Performance of fiber reinforced clayey soil", Electronic Journal of Geotechnical Engineering, No. 16, pp 1067–1087, 2011.
[29] Kodicherla S. P. K., Muktinuthalapati J., and Revanna N., "Effect of randomly distributed fibre reinforcements on engineering properties of beach sand", Jordan Journal of Civil Engineering, Vol. 12, No. 1, pp 99-108, 2018.
[30] Consoli C., Prietto M., and Ulbrich A., "Influence of fiber and cement addition on behavior of sandy soil", Journal of Geotechnical Engineering, No. 124, pp 1211–1214, 1989.
[31] Maher H., and Ho C., "Mechanical properties of kaolinite/fiber soil composite", Journal of Geotechnical Engineering, No. 120, pp 1381–1393, 1994.
[32] Consoli C., Montardo P., Donato M., and Prietto M., "Effect of material properties on the behavior of sand–cement–fiber composites", Ground Improvement, No. 8, pp 77–90, 2004.
[33] Puppala J., and Musenda C., "Effects of fiber reinforcement on strength and volume change behavior of expansive soils", transportation Research Board, In: 79th Annual meeting, Washington, USA, 2000.
[34] Tang C., Shi B., Gao W., Chen F., and Cai Y. "Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil", Geotextail and Geomembrane, No. 25, pp 194–202, 2007-b.
[35] Tingle S., Santoni S., and Webster L., "Full-scale field tests of discrete fiber-reinforced sand", Journal of Transportation Engineering, No. 128, pp 9–16, 2002.
[36] Consoli C., Casagrande T., Prietto M., and Thome A., "Plate load test on fiber reinforced soil", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, No. 129, pp 951–955, 2003.
[37] Punthutaecha K., Puppala J., Vanapalli K., and Inyang H., "Volume change behaviors of expansive soils stabilized with recycled ashes and fibers", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, No. 18, pp 295–306, 2006.
[38] Diambra A., Ibraim E., Wood M., and Russell A., "Fiber reinforced sands: experiments and modeling", Geotextail and Geomembrane, No. 28, pp 238–250, 2010.
[39] Tang C., Shi B., and Zhao L., "Interfacial shear strength of fiber reinforced soil", Geotextail and Geomembrane, No. 28, pp 54–62, 2010.
[40] Pradhan P. K., Kumar Kar R., and Naik A., "Effect of random inclusion of polypropylene fibers on strength characteristics of cohesive soil", Geotechnical and Geological Engineering, No. 30, pp 15–25, 2012.
[41] Gong Y., He Y., Han C., Shen Y., and Tan G., "Stability analysis of soil embankment slope reinforced with polypropylene fiber under freeze-thaw cycles", Advances in Materials Science and Engineering, https://doi.org/10.1155/2019/ 5725708, 2019
[42] Murray J., Frost D., and Wang Y., "The behavior of sandy soil reinforced with discontinuous fiber inclusions", Transportation Research Record, No. 1714, pp 9–17, 2000.
[43] Kumar S., and Tabor E., "Strength characteristics of silty clay reinforced with randomly oriented nylon fibers", Electronic Journal of Geotechnical Engineering, No. 127, pp 774–782, 2003.
[12] Jili Q., Chencai L., Baoshi L., Xinxing C., Ming L., and Zhaowei Y., "Effect of random inclusion of wheat straw fibers on shear strength characteristics of Shanghai cohesive soil", Geotechnical and Geological Engineering, No. 31, pp 511–518, 2013.
[13] Ravishankar U., and Raghavan S., "Coir stabilised lateritic soil for pavements", In: Indian geotechnical conference, Ahmedabad, India, 2004.
[14] Ramesh N., Krishna V., and Mamatha V. "Compaction and strength behavior of lime coir fiber treated Black Cotton soil", Geomechanic Engineering, No. 2, pp 19–28, 2010.
[15] Ghavami K., Filho R., and Barbosa P, "Behaviour of composite soil reinforced with natural fibers", Cement Concrete Composite, No. 21, pp 39–48, 1999.
[16] Prabakara J., and Sridhar R., "Effect of random inclusion of sisal fiber on strength behavior of soil", Construction and Building Materials, No.16, pp 123–31, 2002.
[17] Aggarwal P., and Sharma B., "Application of jute fiber in the improvement of subgrade characteristics. In: Proceeding of international conference on advance in civil engineering, Trabzon, Turkey, pp 27–30 , 2010.
[18] Coutts P., "Autoclaved bamboo pulp fiber reinforced cement" Cement Concrete Composite, No. 17, pp 99–106, 1995.
[19] Khedari J., Watsanasathaporn P., and Hirunlabh J., "Development of fiber-based soil–cement block with low thermal conductivity", Cement Concrete Composite, No. 27, pp 111–116, 2005.
[20] Lin D., Huang B., and Lin S., "3-D numerical investigations into the shear strength of the soil–root system of Makino bamboo and its effect on slope stability", Ecology Engineering, No. 36, pp 992–1006, 2010
[21] Segetin M., Jayaraman K., and Xu X. H., "reinforcement of soil–cement building materials: manufacturability and properties", Building Environment, No. 42, pp 3066–3079, 2007.
[22] Marandi M., Bagheripour H., Rahgozar R., and Zare H., "Strength and ductility of randomly distributed palm fibers reinforced silty-sand soils", American Journal of Applied Science, No. 5, pp 209–220, 2008.
[23] Hossein S., Hossein G., and Ali A. H., "CBR strength of reinforced soil with natural fibres and considering environmental conditions, International Journal of Pavement Engineering, Vol. 15, No. 7, pp 577-583, 2014.
[24] Ahmad F., Bateni F., and Azmi M., "Performance evaluation of silty sand reinforced with fibers", Geotextial and Geomembrane, No. 28, pp 93–99, 2010.
[25] Estabragh A. R., Bordbar A. T., and Javadi A. A., "A study on the mechanical behavior of a fiber-clay composite with natural fiber", Geotechnical and Geological Engineering, No. 31, pp 501–510, 2013.
[26] Consoli C., Prietto M., and Pasa S., "Engineering behavior of a sand reinforced with plastic waste", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, No. 128, pp 462–472, 2002.
[27] Kumar A., Walia B., and Mohan J., "Compressive strength of fiber reinforced highly compressible clay", Construction and Building Materials, No. 20, pp 1063–1068, 2006.

www.manaraa.com

[44] Phanikumara B. R., and Singlab R., "Swell-consolidation characteristics of fibre-reinforced expansive soils", Soils and Foundations, Vol. 56, No. 1, pp 138–143, 2016.
[45] Parka T., and Tan A., "Enhanced performance of reinforced soil walls by the inclusion of short fiber", Geotextial and Geomembrane, No. 23, pp 348–361, 2005.
[46] Newman K., and White J., "Rapid assessment of cement/fiber stabilized soil using roller-integrated compaction monitoring", In: Transportation and Research Board, 87th annual meeting, Washington, USA, 2008.
[47] Shukla S. K., "Fundamentals of fiber-reinforced soil engineering", Springer Nature Singapore, 2017, DOI 10.1007/978-981-10-3063-5.

Soil Reinforcement Using Natural and Synthetic Fibers (A Review)

Abdulrahman Aldaood* alzubydi.1979@gmail.com
Amina A. Khalil* amina.alshumam@gmail.com
Ibrahim Alkiki** ialkiki@yahoo.com

* Civil Engineering Department, College of Engineering, University of Mosul
** Dams and Water Resources Engineering Department, College of Engineering, University of Mosul

Abstract

Soil reinforcement is one of the important techniques in geotechnical engineering, which is used to enhanced the engineering properties of soil. Soil reinforcement means, addition of natural or synthetic fibers to soil which act as tension members and sharing together with soil to sustain the applied loads. In soil reinforcement technique different types of fibers having different shapes can be used. The fibers used in soil can be having a shape like staples, chips, yarns, crumbs, bristles/hairs and other shapes. In the present time the using of fibers (especially natural fibers) in the earth construction works represent one of the cost-effective and environmentally friendly ground improvement techniques. The main objective of this paper, is to review the definition, mechanism, and application of using fibers in soil reinforcement through different scientific papers published in this subject. Further, the advantages and executive problems related to using fibers in soil reinforcement were discussed.

Keywords: *Soil reinforcement, natural fibers, synthetic fibers, soil-fiber interaction.*

www.manaraa.com