



## بررسی اثر الیاف پلی پروپیلن بر مقاومت فشاری و کششی خاک آلی تثبیت شده با آهک و بیوپلیمر زانتان گام

بهاره ابراهیمی علویجه، بهناز زارع، مریم مختاری\*

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۱۹  
بازنگری: ۱۳۹۸/۱۰/۰۷  
پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۸  
ارائه آنلاین: ۱۳۹۸/۱۲/۱۱

### کلمات کلیدی:

خاک آلی  
آهک  
بیوپلیمر  
زانتان گام  
الیاف پلی پروپیلن  
مقاومت فشاری و کششی

**خلاصه:** حضور مواد آلی در خاک باعث کاهش مقاومت فشاری و برشی خاک شده و مشکلات مربوط به نشست‌های تحکیمی اولیه و ثانویه را به شدت افزایش می‌دهد. استفاده از روش تثبیت و تسلیح دوراھکار معمول برای بهبود پارامترهای مقاومتی خاک برای کاربرد در پروژه‌های عمرانی است. در این پژوهش اثر الیاف ضایعات نخ پلی پروپیلن بر خاک تثبیت شده بررسی شد. بدین منظور از آهک و بیوپلیمر زانتان گام به عنوان ماده تثبیت کننده و از الیاف ضایعات نخ پلی پروپیلن برای مسلح سازی خاک استفاده شده است. برای انجام آزمایش‌ها از ۱ و ۳ درصد وزنی آهک، ۱ و ۱/۵ درصد وزنی بیوپلیمر زانتان گام و ۰/۵ درصد وزنی الیاف پلی پروپیلن استفاده شد. برای بررسی اثر این مواد بر مقاومت خاک آزمایش مقاومت فشاری تک محوری و کشش غیرمستقیم انجام شد. زمان عمل آوری نمونه‌ها ۷ و ۲۱ روز در نظر گرفته شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که افزودن آهک، بیوپلیمر زانتان گام و الیاف پلی پروپیلن مقاومت فشاری را افزایش داده است. افزایش زمان عمل آوری مقاومت خاک تثبیت شده با آهک و بیوپلیمر را افزایش داده و افزودن الیاف شکل پذیری خاک را نیز بهبود بخشیده است. بیشترین مقاومت کششی در نمونه تثبیت شده با بیوپلیمر زانتان گام مشاهده شد و در یک درصد آهک افزودن الیاف مقاومت کششی را نیز افزایش داده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد، جایگزین کردن زانتان گام به جای آهک بصورت قابل توجهی موجب افزایش و بهبود پارامترهای مقاومتی خاک شده و با توجه به اینکه این ماده دوستدار محیط زیست می‌باشد، می‌تواند جایگزین مناسبی به جای آهک باشد.

### ۱- مقدمه

و الیاف نایلون در خاک آلی [۱۴] و لایه‌های بامبو در خاک پیت [۱۵] افزایش ظرفیت باربری خاک را به همراه داشته است. با افزایش ظرفیت باربری امکان استفاده از این خاک‌ها در پروژه‌های راهسازی افزایش می‌یابد. ترکیب سیمان یا رس دیاتومیت با آهک، کلسیم کربنات و آب، مقاومت خاک پیت را افزایش داده که ترکیب شامل سیمان اثر بخشی بهتری را نتیجه داده است [۱۶]. ترکیب سیمان، آهک و متاکائولین برای تثبیت خاک دارای مواد آلی با درصد زیاد استفاده شد. نتایج حاکی از آن است که مقاومت فشاری تک محوری تحت تأثیر درصد سیمان و درصد آهک است [۱۷، ۱۸]. خاکستر بادی و خاکستر آتشفشانی از جمله تثبیت کننده‌های مناسب برای افزایش مقاومت فشاری و ظرفیت باربری خاک پیت هستند. به گونه ای که

خاک‌های حاوی درصد زیاد مواد آلی به سبب مقاومت برشی کم و قابلیت تراکم پذیری زیاد برای پروژه‌های عمرانی و راهسازی مناسب نیستند. افزایش درصد مواد آلی، مقاومت و pH خاک را کاهش می‌دهد [۱]. از جمله روش‌های پیشین برای ساخت راه بر روی بستر خاک آلی تعویض خاک و یا پیش بارگذاری برای بهبود پارامترهای مهندسی خاک بوده است [۲]. تثبیت شیمیایی خاک با استفاده از مواد سنتی مانند آهک، سیمان و خاکستر بادی [۲-۶] و یا مواد جدید مانند پلیمرها و بیوپلیمرها گزینه‌ی دیگری برای بهبود پارامترهای مقاومتی انواع خاک‌ها است [۷-۱۳]. خاکستر پوسته برنج

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: mokhtari@yazd.ac.ir



بیوپولیمیر زانتان گام<sup>۵</sup> مقاومت فشاری خاک را افزایش داده و افزایش زمان عمل‌آوری نیز باعث افزایش در مقاومت خاک شده است [۹، ۱۰]. افزایش مقاومت برشی و بهبود ضریب ایمنی در شیب از اثرات بیوپولیمیر گوارگام<sup>۶</sup> بر خاک رُس متورم شونده گزارش شده است [۲۷]. چانگ<sup>۷</sup> و همکاران اثر بیوپولیمیر گلان گام<sup>۸</sup> را بر روی خاک و رفتار مقاومتی آن بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که این بیوپولیمیر علاوه بر افزایش چسبندگی بین ذرات، زاویه اصطکاک را نیز افزایش داده است [۸]. چن<sup>۹</sup> و همکاران نیز اثر خشک شدن را بر مقاومت برشی خاک ماسه تثبیت شده با بیوپولیمیر زانتان گام بررسی کردند. نتایج نشان داد که در حالت مرطوب زانتان گام تأثیری بر مقاومت برشی ماسه ندارد و با از دست رفتن رطوبت میزان مقاومت برشی افزایش می‌یابد [۲۸].

خاک واگرا از جمله خاک‌های مسأله‌دار است که با استفاده از دو بیوپولیمیر زانتان گام و گوارگام تثبیت پذیری این خاک را بررسی کردند. افزایش چسبندگی، کاهش پتانسیل روانگرایی، افزایش رطوبت بهینه و کاهش وزن مخصوص خشک از جمله نتایج حاصل است. بیوپولیمیر گوارگام اثرپذیری مطلوب تری در مقایسه با زانتان گام از خود نشان داده است [۲۹].

هاتف و همکاران تثبیت پذیری خاک رس را با استفاده از بیوپولیمیر چیتوسان<sup>۱۰</sup> بررسی کردند. بیوپولیمیر چیتوسان پتانسیل افزایش جاذبه‌ی بین ذرات را داراست که موجب بهبود خواص مکانیکی خاک می‌شود. از جمله پارامترهای تأثیرگذار در مقاومت خاک تثبیت شده با این نوع بیوپولیمیر زمان و درصد رطوبت است [۳۰].

از دیگر راه‌های بهبود پارامترهای مقاومتی خاک‌ها استفاده از عناصر تسلیح در خاک است. الیاف و رشته‌ها یکی از عناصر تسلیح مورد استفاده در مهندسی ژئوتکنیک است. الیاف به دو دسته طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌گردد. الیاف طبیعی شامل الیاف نارگیل، سیسال، خرما، کنف، پوشال کاه و الیاف مصنوعی شامل الیاف پلی‌پروپیلن، پلی‌استر، پلی‌اتیلن، شیشه و پلی‌وینیل الکل است [۳۱]، که به طور کلی افزودن این الیاف به خاک مقاومت فشاری و برشی خاک را افزایش داد [۳۱-۳۴].

از خاک پیت تثبیت شده با پوزولان‌های طبیعی و مصنوعی می‌توان در ساخت جاده و راهسازی استفاده کرد. میزان افزایش مقاومت خاک ناشی از افزودن این تثبیت‌کننده‌ها به درصد مواد آلی، درصد رطوبت، درصد مواد تثبیت‌کننده و اندازه‌ی ذرات بستگی دارد [۱۹].

افزودن سیمان به خاک دارای مواد آلی مقاومت فشاری تک محوری را افزایش می‌دهد [۱۸، ۲۰]. درصد مواد آلی موجود در خاک و همچنین ماهیت این مواد در تثبیت خاک با سیمان تأثیرگذار است. به‌گونه‌ای که برخی از مواد آلی فرآیند هیدراتاسیون سیمان را کند و یا مختل می‌نماید [۲۱]. که در این حالت بهره‌گیری از برخی مواد مانند کریستال کلسیم سولفات یا آلومینیوم سولفات به افزایش مقاومت خاک تثبیت شده با سیمان کمک خواهد کرد [۵].

افزودن آهک به خاک ریزدانه (MH,OH) حد روانی، رطوبت بهینه را افزایش و وزن مخصوص خشک را کاهش و مقاومت فشاری تک محوری خاک را نیز افزایش داده است [۲۲]. کاربرد آهک در خاک شور، پارامترهای مهندسی خاک را بهبود داده است. با انجام آزمایش در شرایط ذوب و یخ مقاومت فشاری تک محوری کاهش می‌یابد [۲۳].

برای تثبیت خاک‌های مارن<sup>۱</sup> می‌توان از طیف گسترده‌ای از مواد تثبیت‌کننده استفاده کرد. پوزولان‌های طبیعی به دلیل سازگاری محیط زیست و مقرون به صرفه بودن گزینه مناسب برای تثبیت این نوع خاک‌ها هستند. با توجه به نتایج آزمایش‌های XRF<sup>۲</sup>، TEM<sup>۳</sup> و FTIR<sup>۴</sup>، تثبیت‌کننده‌ای که دارای ساختار مشابهی با خاک مارن است به‌دلیل اندرکنش مناسب‌تر، تثبیت خاک مارن را بهبود خواهد داد [۲۴]. افزایش درصد پوزولان‌های طبیعی و زمان عمل‌آوری نمونه‌ها، افزایش کارایی و مقاومت فشاری خاک مارن تثبیت شده را به همراه خواهد داشت. با این وجود افزایش این مواد تثبیت‌کننده در خاک، شکل‌پذیری آن را کاهش داده است [۲۵].

خاک رُس کامپوزیتی که ترکیبی از خاک رُس و مواد درشت‌دانه است در هسته سد خاکی و کف‌سازی ساختمان و راهسازی کاربرد دارد. افزایش درصد مواد درشت‌دانه به دلیل افزایش میزان قفل‌شدگی ذرات، مقاومت برشی را افزایش می‌دهد [۲۶].

5 Xanthan-Gum  
6 Guar-Gum  
7 Chang  
8 Gellan-Gum  
9 Chen  
10 Chitosan

1 Marl  
2 Transmission Electron Microscopy  
3 X-Ray Fluorescence  
4 Fourier Transform Infrared Spectroscopy

خاکستر بیشتر از ۱۵% و pH خاک بین ۵/۵-۷ است، خاک به عنوان "خاک آلی منظم" با مقدار زیاد خاکستر و میزان اسیدی کم طبقه‌بندی می‌گردد. همچنین از آنجایی که این خاک دارای درصد زیادی مواد ارگانیک و بقایای گیاهی می‌باشد، به هنگام قرارگیری در معرض آتش بخش‌های ارگانیک آن سوخته می‌شود و جهت تعیین درصد مواد ارگانیک بر طبق استاندارد ASTM D2974 آزمایش مربوطه انجام گرفت. مطابق جدول ۱ مشخص است که خاک دارای درصد مواد ارگانیک بالا با مقدار متوسط ۶۸/۱% است. همچنین به علت ظرفیت جذب و نگهداری بالای آب توسط خاک به دلیل ساختار و بافت آن، حد روانی خاک بالا می‌باشد. شکل ۲ نمودار تحکیم خاک آلی استفاده شده در این مطالعه را نشان می‌دهد.

### ۲-۲-۲ آهک

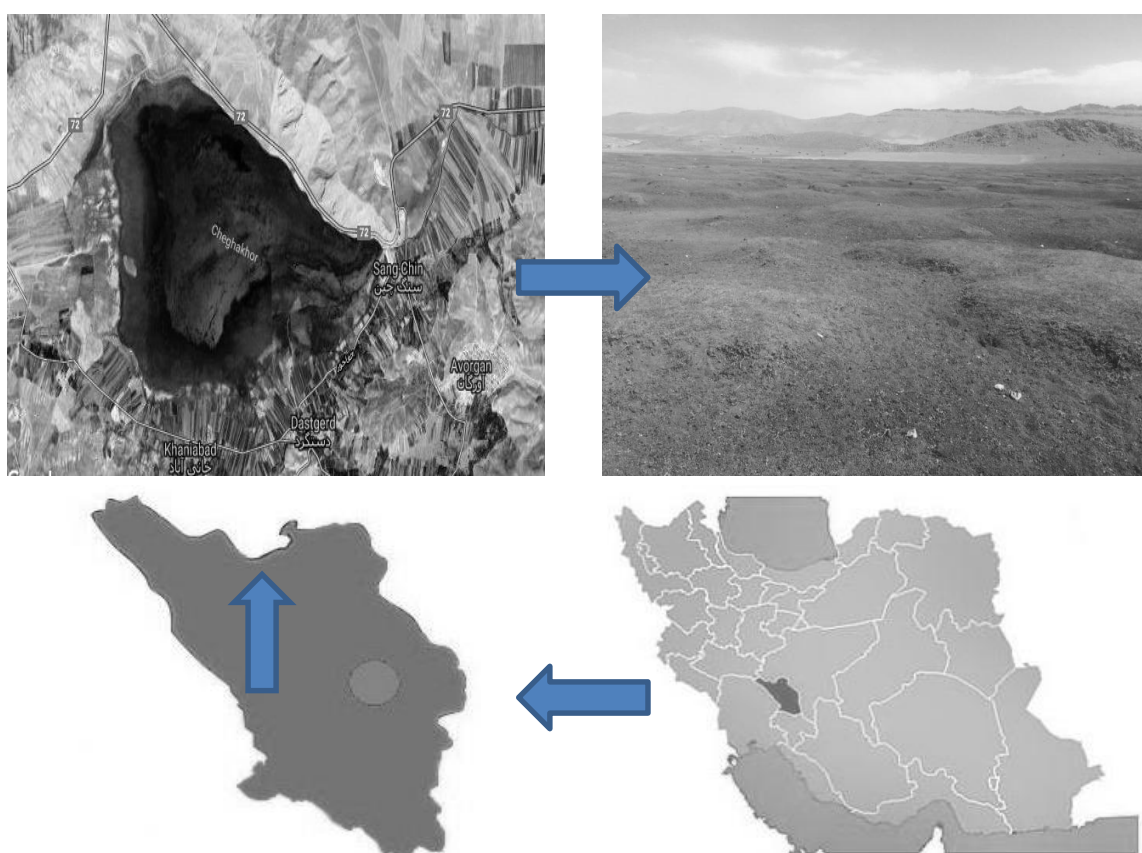
آهک یکی از مواد تثبیت‌کننده سنتی است که در بهبود پارامترهای مقاومتی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این پژوهش به منظور بهبود پارامترهای مقاومتی خاک آلی از تثبیت‌کننده‌های آهک، بیوپلیمر زانتان‌گام و همچنین الیاف ضایعات نخ به عنوان عناصر مسلح‌کننده که از جنس پلی‌پروپیلن هستند استفاده شده است. مقاومت فشاری و کششی نمونه‌های خاک آلی تثبیت شده با آهک، زانتان‌گام و نمونه‌های خاک آلی تثبیت و تسلیح هم‌زمان آهک+الیاف و زانتان‌گام+الیاف در دو زمان عمل‌آوری ۷ و ۲۱ روزه بررسی و با هم مقایسه شده است.

### ۲- مصالح

#### ۲-۱- خاک

خاک استفاده شده در این پژوهش خاک آلی است که از منطقه چغاخور واقع در استان چهارمحال و بختیاری و در عمق ۰/۵ متری نمونه‌برداری شده است. در شکل ۱ تصویری از محل نمونه‌برداری آورده شده است. در طبقه‌بندی خاک بر اساس استاندارد ASTM، با توجه به این‌که درصد مواد ارگانیک بین ۶۷% - ۶۹/۲%، میزان

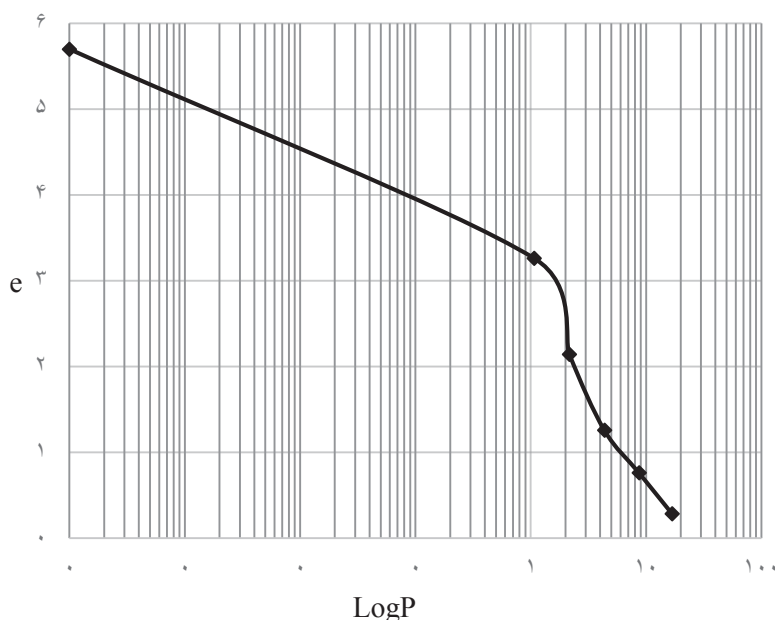


شکل ۱. محل نمونه‌برداری خاک آلی مورد مطالعه  
Fig. 1. Organic soil sampling site

جدول ۱. ویژگی‌های خاک آلی استفاده شده در پژوهش

Table 1. Properties of the Organic soil

استاندارد	مقدار	ویژگی
ASTM D-2974 Method B[35]	%۳۲۸-۲۶۲	درصد رطوبت طبیعی
ASTM D2974- Method A [35]	%۷۴	درصد رطوبت طبیعی
ASTM 2435[36]	۵/۸	نسبت منافذ اولیه
ASTM D-854[37]	۲/۱۱	چگالی ویژه
ASTM D-2974[35]	۶۹/۲-۶۷	درصد مواد ارگانیک
ASTM D-2974[35]	۲۵-۲۱	میزان خاکستر
-	۶/۵	pH
ASTM D-698[38]	۱/۱۳	چگالی خشک بیشینه (gr/cm <sup>3</sup> )
ASTM D-698[38]	۳۸/۸۹	درصد رطوبت بهینه



شکل ۲. نمودار تحکیم خاک آلی استفاده شده در پژوهش

Fig. 2. Organic soil consolidation curve

بیوپلیمرها زانتان گام است که این بیوپلیمر نوعی پلی ساکارید آنیونی بوده که ساختار شیمیایی آن (C<sub>35</sub>H<sub>49</sub>O<sub>29</sub>) است [۹]. جدول ۲ ویژگی‌های فنی بیوپلیمر زانتان گام را نشان داده است. در این پژوهش از ۱ و ۱/۵ درصد وزنی زانتان گام نسبت به وزن خشک خاک استفاده شده است. زانتان گام مورد استفاده در این تحقیق از شرکت آریان شیمی تهیه شده و تصویری از آن در شکل ۳ آورده شده است.

در این پژوهش از آهک زنده با عامل شیمیایی اصلی اکسید کلسیم و در ۱ و ۳ درصد وزنی نسبت به وزن خشک خاک استفاده شده است.

### ۳-۲- زانتان گام

پلیمرها و بیوپلیمرها از جمله تثبیت‌کننده‌هایی هستند که امروزه کاربرد فراوانی در بهبود ویژگی‌های مهندسی خاک دارند. یکی از این



شکل ۳. تصویری از زانتان گام استفاده شده در آزمایش‌ها

Fig. 3. A view of the Xanthan gum

جدول ۲. ویژگی‌های فنی بیوپلیمر زانتان گام

Table 2. Technical properties of xanthan gum biopolymer

ویژگی	واحد
خصوصیات ظاهری	پودر سفید مانند یا زرد روشن
رد شده از الک ۲۰۰، (%)	بیشتر از ۹۲
رد شده از الک ۱۰۰، (%)	۱۰۰
ویسکوزیته (۱٪ زانتان گام در ۱٪ پتاسیم کلرید، cps)	۱۷۰۰-۱۲۰۰
کاهش وزن در اثر خشک شدن، (%)	کمتر از ۱۵
pH (محلول ۱٪ زانتان گام)	۶-۸
خاکستر، (%)	کمتر از ۱۶
پیرویک اسید، (%)	بیشتر از ۱/۵
سرب، (ppm)	کمتر از ۲
مجموع نیتروژن، (%)	کمتر از ۱/۵
مجموع فلزات سنگین، (ppm)	کمتر از ۲۰
باکتری سالمونا	ندارد

جدول ۳. ویژگی‌های الیاف ضایعاتی BCF استفاده شده در این پژوهش  
**Table 3. Properties of BCF waste polypropylene fibers used**

ویژگی	مقدار	واحد
چگالی	۰/۹۱	گرم بر سانتی‌متر مکعب
قطر	۴۵	میکرون
طول	۱-۲	سانتی‌متر
مقاومت کششی	۱۰۰	مگا پاسکال



شکل ۴. تصویری از الیاف ضایعات نخ BCF استفاده شده در مسلح‌سازی نمونه‌ها  
**Fig. 2. A view of the BCF waste polypropylene fibers used in reinforcing**

اندازه‌گیری گردید. با توجه به اینکه افزودن ۰/۵ درصد الیاف مقاومت خاک را نسبت به دو درصد دیگر بیشتر بهبود داده، ۰/۵ درصد الیاف به عنوان درصد بهینه برای افزودن به خاک آلی تثبیت شده انتخاب شد. در جدول ۳ و شکل ۴ برخی از ویژگی‌های الیاف استفاده شده و تصویر آن به ترتیب آورده شده است.

### ۳- روش انجام آزمایش‌ها

#### ۳-۱- آزمایش فشاری تک محوری

آزمایش فشاری تک محوری مطابق استاندارد ASTM D-2166

#### ۴-۲- الیاف

استفاده از الیاف در خاک‌ها علاوه بر بهبود مقاومت فشاری و برشی، شکل‌پذیری خاک را نیز بهبود می‌بخشد. در این پژوهش اثر تثبیت و تسلیح همزمان بر مقاومت خاک مورد بررسی قرار گرفت. که بدین منظور از الیاف ضایعات نخ BCF<sup>۱</sup> از جنس پلی‌پروپیلن استفاده شده است. خاک آلی با ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد وزنی الیاف نسبت به وزن خشک خاک، مسلح شد و پارامترهای مقاومتی آن

1 Bulk Continuous Filament





شکل ۶. چگونگی قرارگیری نمونه در دستگاه برای تعیین مقاومت کششی  
**Fig. 6. Sample placement in the machine to determine tensile strength**

شکل ۶ به صورت افقی بین دو قطعه فلزی در بالا و پایین نمونه‌ها، برای توزیع یکنواخت بار خطی، در زیر دستگاه تک محوری قرار داده می‌شود. به طوری که خط تقارن نمونه بر خط تقارن صفحه بارگذاری دستگاه منطبق باشد. سپس، اعمال نیرو توسط دستگاه آغاز می‌شود تا زمانی که نمونه ترک خورده و گسیخته شود. بیشترین نیروی فشاری که به نمونه اعمال شده به عنوان نیروی  $P$  در رابطه (۱) قرار داده می‌شود تا مقاومت کششی نمونه حاصل شود. در رابطه (۱)،  $T$  مقاومت کششی  $\frac{N}{mm^2}$  حداکثر نیروی فشاری اعمال شده توسط دستگاه ( $N$ )،  $L$  طول نمونه ( $mm$ ) و  $d$  قطر نمونه ( $mm$ ) است.

$$T = \frac{2P}{\pi Ld} \quad (1)$$

#### ۴- نتایج و بحث

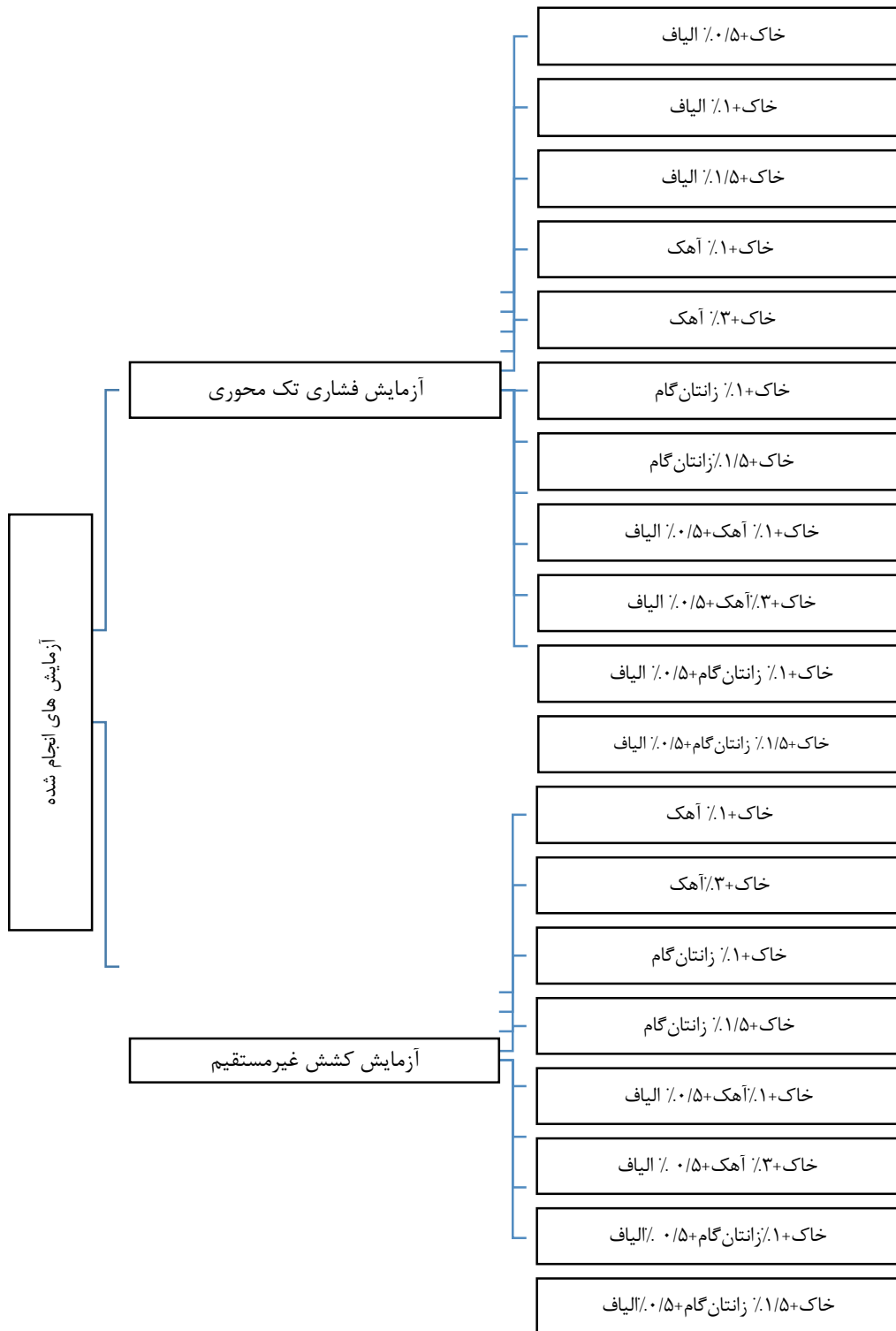
##### ۴-۱- مقاومت فشاری

خاک آلی مورد آزمایش با استفاده از آهک و بیوپلیمر زانتان گام تثبیت و مقاومت فشاری آن در زمان عمل‌آوری ۷ و ۲۱ روز مورد بررسی قرار گرفت. الیاف ضایعات نخ پلی پروپیلن ماده‌ی دیگری است که برای بهبود خواص مهندسی خاک آلی مورد استفاده قرار گرفته است. شکل ۷ اثر استفاده از الیاف را بر مقاومت فشاری خاک آلی در سه درصد وزنی ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد نسبت به وزن خشک خاک نشان داده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد استفاده از الیاف

[۳۹] بر روی خاک آلی، ترکیب خاک آلی و آهک، ترکیب خاک آلی و بیوپلیمر زانتان گام، ترکیب خاک آلی و الیاف، ترکیب خاک آلی+آهک+الیاف و ترکیب خاک آلی+زانتان گام+الیاف انجام شد. تمامی نمونه‌ها با رطوبت بهینه و چگالی خشک بیشینه به دست آمده از آزمایش تراکم، تهیه شده‌اند. با استفاده از جک هیدرولیکی، نمونه‌های استوانه‌ای در قطر ۳۸ میلی‌متر و ارتفاع ۸۰ میلی‌متر ساخته شده‌اند. نمونه‌های حاوی آهک و بیوپلیمر زانتان گام به منظور عمل‌آوری به مدت ۷ یا ۲۱ روز در محیط بسته نگهداری شده‌اند. سپس نمونه‌ها پس از طی زمان عمل‌آوری خود در دستگاه قرار گرفته می‌شوند. باید دقت شود هنگام قراردادن نمونه زیر دستگاه، بالا و پایین نمونه صاف و هموار باشد تا بار به طور یکنواخت بر سطح نمونه وارد شود. در شکل ۵ آزمایش‌ها و نمونه‌های ساخته شده در این پژوهش ارائه شده است.

##### ۳-۲- آزمایش کشش غیرمستقیم

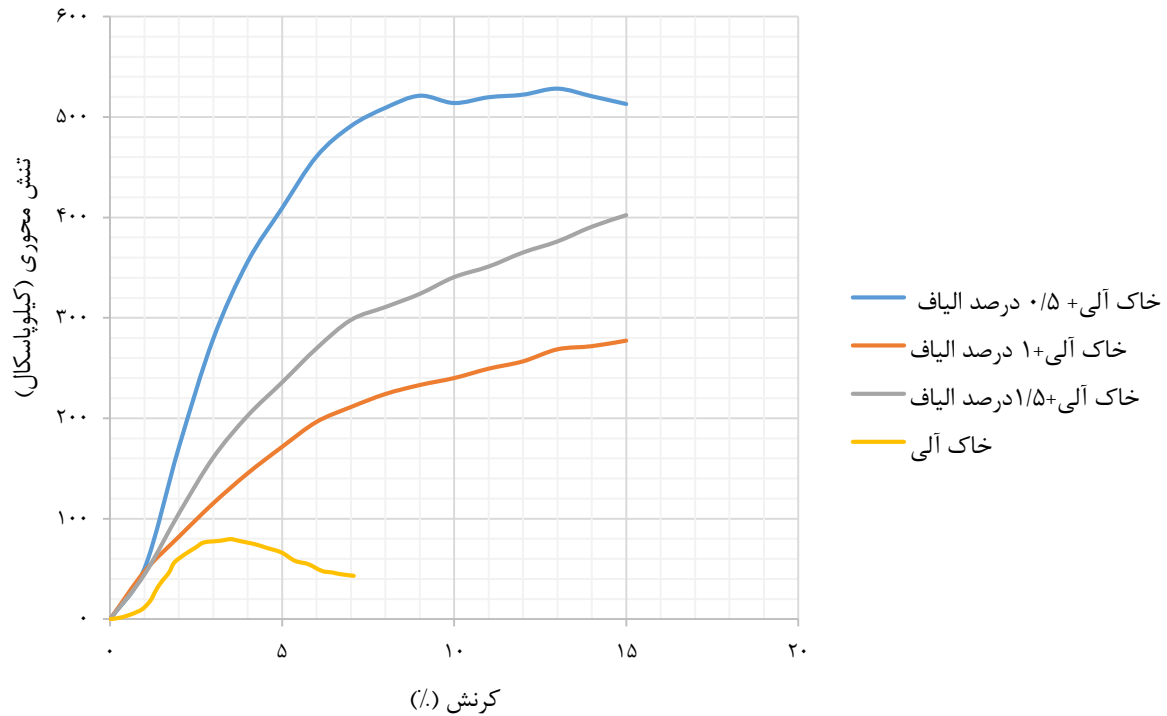
آزمایش کشش غیر مستقیم در اصل یک آزمایش فشاری قطری است که در آن نمونه استوانه‌ای شکل مصالح، تحت اثر نیروی فشاری وارد بر سطح جانبی آن قرار می‌گیرد. این نحوه بارگذاری سبب به وجود آمدن تنش‌های کششی در امتداد قطر بارگذاری شده، می‌شود. برای بدست آوردن مقاومت کششی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه تک محوری می‌توان مطابق استاندارد ASTM C-496 [۴۰] عمل کرد. نمونه‌ها مطابق آزمایش فشاری تک محوری آماده شده و مطابق



شکل ۵. فلوجارت آزمایش های انجام شده

Fig. 5. Tests performed Diagram





شکل ۷. تأثیر الیاف ضایعات نخ BCF بر مقاومت فشاری خاک آلی در درصد رطوبت بهینه

Fig. 7. The effect of BCF waste polypropylene on compressive strength in optimum moisture content

نمونه بدون الیاف پس از گسیختگی از محل صفحه برش کاملاً جدا شده که وجود الیاف ازین پدیده جلوگیری کرده و مانع از گسترش صفحه‌های گسیختگی و تغییر شکل خاک شده است [۴۳، ۴۴].

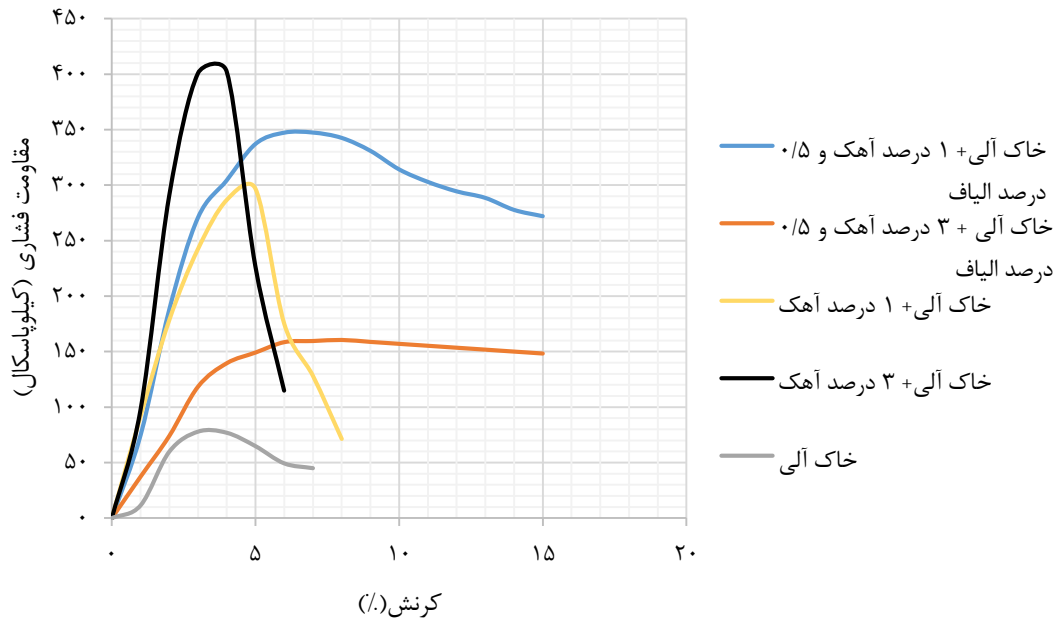
آهک یکی از تثبیت‌کننده‌های سنتی برای افزایش مقاومت فشاری خاک است. در این پژوهش مقاومت فشاری خاک تثبیت شده با آهک پس از عمل‌آوری ۷ و ۲۱ روزه در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده است. افزودن آهک مقاومت فشاری خاک را تا بیش از ۴ برابر افزایش داده است. هنگامی که آهک با خاک در حضور آب مخلوط می‌شود، در نتیجه تجزیه CaO، غلظت یون‌های کلسیم و هیدروکسید محیط افزایش می‌یابد و pH خاک بالا می‌رود. pH بالای محیط خاک تثبیت شده با آهک قابلیت حل شدن و واکنش‌پذیری ذرات موجود در خاک را بیشتر می‌کند. واکنش پوزولانی بین یون‌های کلسیم و سیلیکات‌های حل شده خاک موجود انجام می‌گیرد و باعث به وجود آمدن عناصر پایدار نظیر سیلیکات‌های کلسیم و آلومینات‌های کلسیم می‌شود. ژل‌های هیدرات تولید شده همانند چسب طبیعی

مقاومت فشاری و شکل‌پذیری خاک را به شکل قابل ملاحظه‌ای افزایش داده است. از بین سه درصد بررسی شده، مقاومت فشاری خاک ترکیب شده با ۰/۵ درصد وزنی الیاف، مقاومت فشاری بیشتری را نتیجه داده است. در آزمایش فشاری تک محوری با اعمال نیروی قائم، الیاف دچار تغییر شکل شده و در این مرحله بین الیاف و ذرات خاک قفل‌شدگی به وجود می‌آید و هم‌زمان ذرات خاکی که در تماس با الیاف هستند، باعث ایجاد نیروهای اصطکاکی در الیاف می‌شوند. مجموعه‌ی نیروهای ناشی از قفل‌شدگی و اصطکاک، تنش کششی را در الیاف بسیج می‌کند [۴۱]. بنابراین وجود الیاف در خاک به بهبود مقاومت فشاری خاک کمک خواهد کرد.

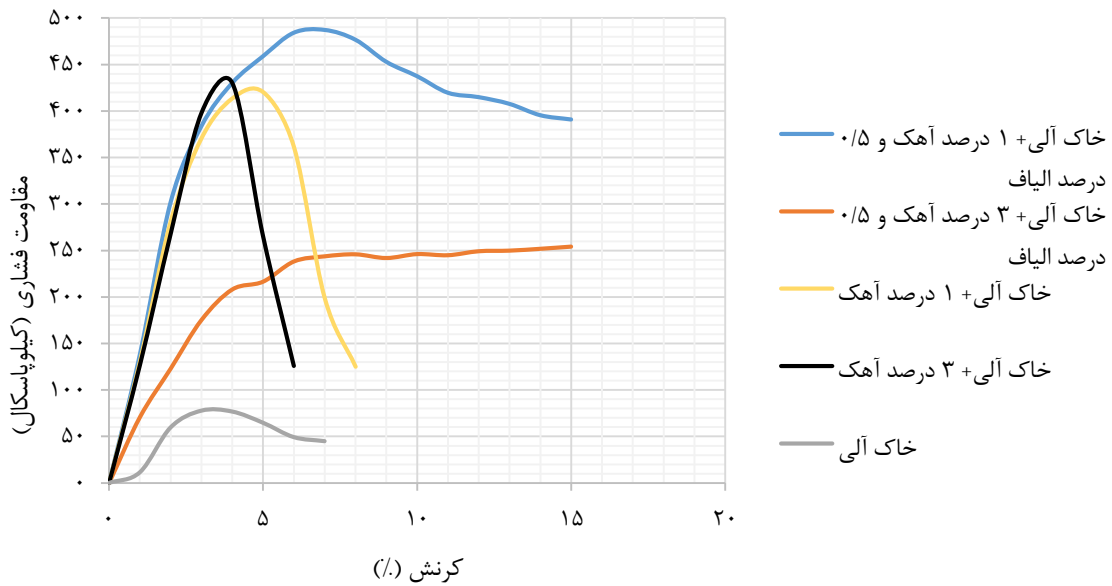
شکل ۸ چگونگی گسیختگی نمونه را برای خاک الیاف‌دار و بدون الیاف را نشان می‌دهد. در نمونه بدون الیاف، یک صفحه برش مجزا که نشان دهنده رفتار ترد نمونه است، وجود دارد. با افزودن الیاف چندین صفحه برش و تنها در بخشی از نمونه مشاهده می‌شود. چگونگی گسیختگی نمونه‌ها مطابق با پژوهش‌های پیشین است [۴۲].



شکل ۸. اثر الیاف ضایعات نخ BCF بر چگونگی شکست نمونه در آزمایش فشاری تک محوری. (الف) نمونه الیاف دار و (ب) نمونه بدون الیاف  
 Fig. 8. The effect of BCF waste polypropylene fibers on failure in uniaxial compressive strength test. a) Fibrous sample and b) Unreinforced sample



شکل ۹. تأثیر الیاف ضایعات نخ BCF بر مقاومت فشاری خاک تثبیت شده با آهک در زمان عمل آوری ۷ روز (رطوبت نمونه‌ها، رطوبت بهینه حاصل از آزمایش تراکم)  
 Fig. 9. The effect of BCF waste polypropylene fibers on the compressive strength of the soil stabilized with lime in a 7-day curing time (the optimum moisture from the compaction test)



شکل ۱۰. تأثیر الیاف ضایعات نخ BCF بر مقاومت فشاری خاک تثبیت شده با آهک در زمان عمل‌آوری ۲۱ روز (رطوبت نمونه‌ها، رطوبت بهینه حاصل از آزمایش تراکم)

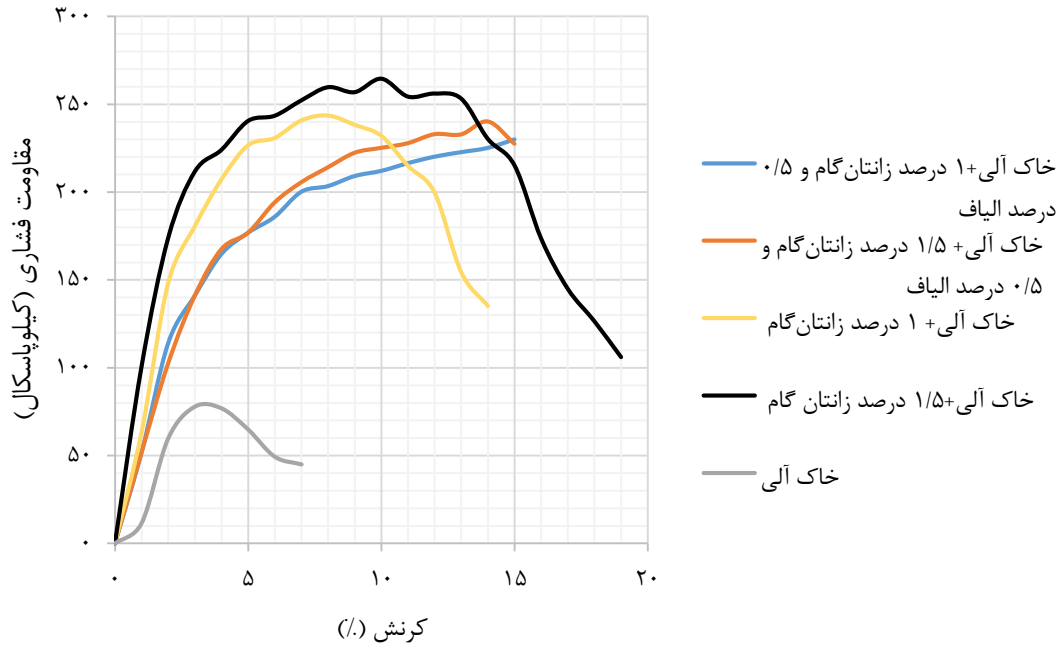
Fig. 10. The effect of BCF waste polypropylene fibers on the compressive strength of the soil stabilized with lime in a 21-day curing time (the optimum moisture from the compaction test)

شده است. افزودن بیوپلیمر زانتان‌گام نیز همچون آهک مقاومت فشاری خاک را افزایش داده است. افزایش درصد بیوپلیمر زانتان‌گام در محیط خاک نیز مقاومت خاک را افزایش داده که این اتفاق را می‌توان به افزایش چسبندگی و قفل‌شدگی ذرات، ناشی از افزودن زانتان‌گام مربوط دانست. هرچه زمان عمل‌آوری بیشتر می‌شود به دلیل واکنش بیشتر زانتان‌گام با ذرات خاک، مقاومت فشاری به صورت غیرخطی افزایش و روند رشد آن با افزایش درصد زانتان‌گام کاهش می‌یابد. در واقع رشد محصولات سیمانی در گذر زمان موجب جوش دادن ذرات خاک و پر شدن فضای حفرات در ماتریس زانتان‌گام-خاک می‌شود [۱۰]. مقدار مؤثر درصد زانتان‌گام در محدوده ۱/۵ تا ۲ درصد است، زیرا با افزایش بیشتر درصد زانتان‌گام ویسکوزیته ترکیب خاک و زانتان‌گام افزایش یافته و منجر به کاهش کارایی و صعوبت اجرای آن می‌شود. بر اساس تحقیقات پیشین الگوی مشابهی از چنین رفتار افزایشی در مقاومت فشاری برای دیگر خاک‌های تثبیت شده با زانتان‌گام، قابل مشاهده است [۳، ۴۶]. مقایسه نمودار مربوط به خاک تثبیت شده با آهک و خاک تثبیت شده با زانتان‌گام نشان

عمل نموده و باعث افزایش مقاومت و سیمانته شدن خاک تثبیت شده با آهک می‌شود [۴۵].

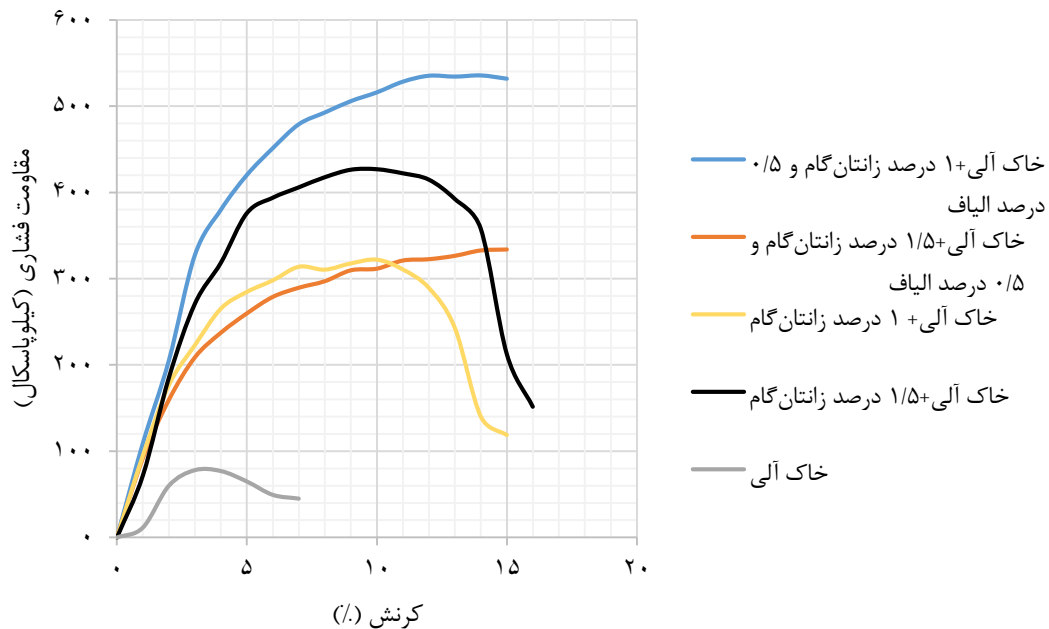
مقاومت فشاری خاک آلی با افزودن آهک افزایش یافت. اما افزودن این ماده تثبیت‌کننده تردی خاک را نیز افزایش داده است. برای افزایش شکل‌پذیری خاک از ۰/۵ درصد وزنی الیاف در خاک تثبیت شده با آهک استفاده شد. با توجه به شکل‌های ۹ و ۱۰ مشاهده می‌گردد که افزودن الیاف شکل‌پذیری خاک تثبیت شده را افزایش داده است. در نمونه خاک تثبیت شده با یک درصد آهک، افزودن الیاف پس از ۲۱ روز عمل‌آوری مقاومت فشاری تا بیش از ۱۵ درصد افزایش داده است. مقایسه شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان می‌دهد که مطابق انتظار افزایش زمان عمل‌آوری مقاومت فشاری را افزایش داده که این افزایش ناشی از ادامه واکنش‌های پوزولانی و تشکیل مواد سیمانته است. واکنش‌های پوزولانی در دراز مدت تکمیل شده و موجب افزایش مقاومت خاک تثبیت شده با آهک در درازمدت می‌شوند.

تأثیر الیاف بر مقاومت فشاری خاک تثبیت شده با زانتان‌گام در زمان عمل‌آوری ۷ و ۲۱ روز به ترتیب در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ آورده



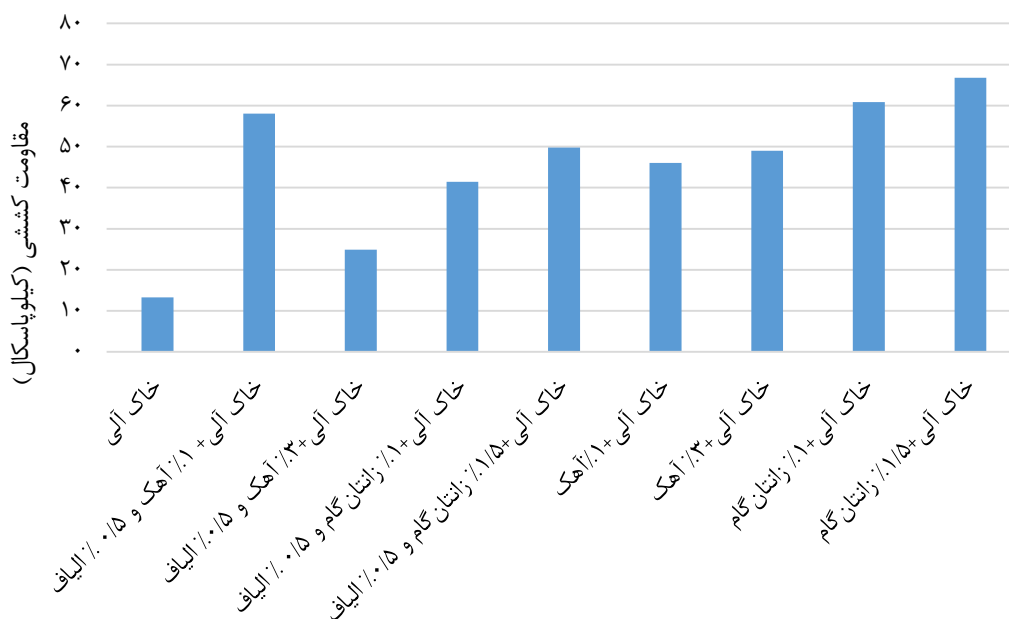
شکل ۱۱. تأثیر الیاف ضایعات نخ BCF بر مقاومت فشاری خاک تثبیت شده با زانتان گام در زمان عمل آوری ۷ روز (رطوبت نمونه‌ها، رطوبت بهینه حاصل از آزمایش تراکم)

Fig. 11. The effect of BCF waste polypropylene fibers on the compressive strength of the soil stabilized with xanthan gum in a 7-day curing time (the optimum moisture from the compaction test)



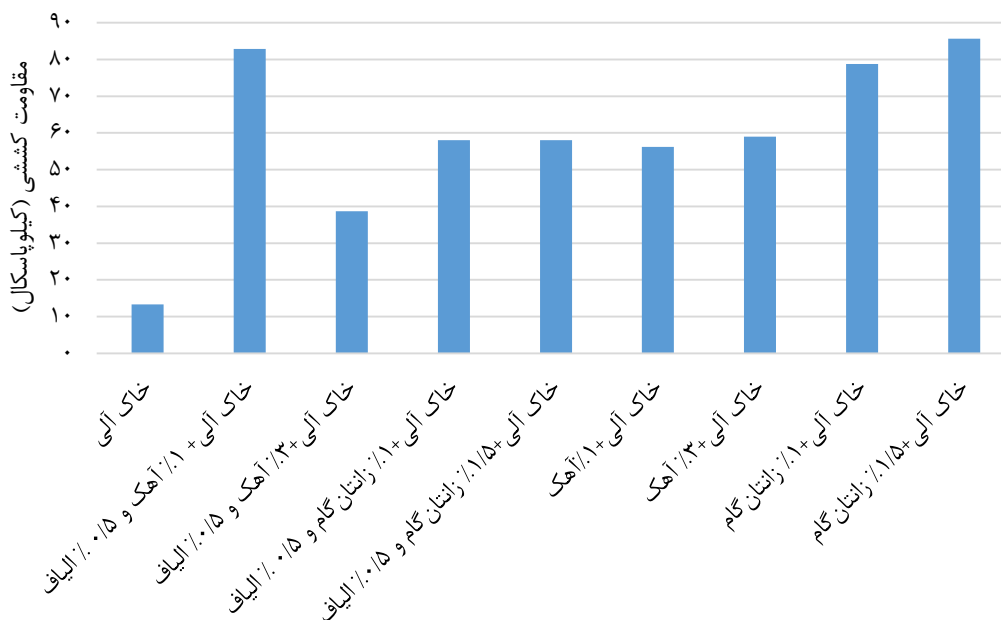
شکل ۱۲. تأثیر الیاف ضایعات نخ BCF بر مقاومت فشاری خاک تثبیت شده با آهک در زمان عمل آوری ۲۱ روز (رطوبت نمونه‌ها، رطوبت بهینه حاصل از آزمایش تراکم)

Fig. 12. The effect of BCF waste polypropylene fibers on the compressive strength of the soil stabilized with lime in a 7-day curing time (the optimum moisture from the compaction test)



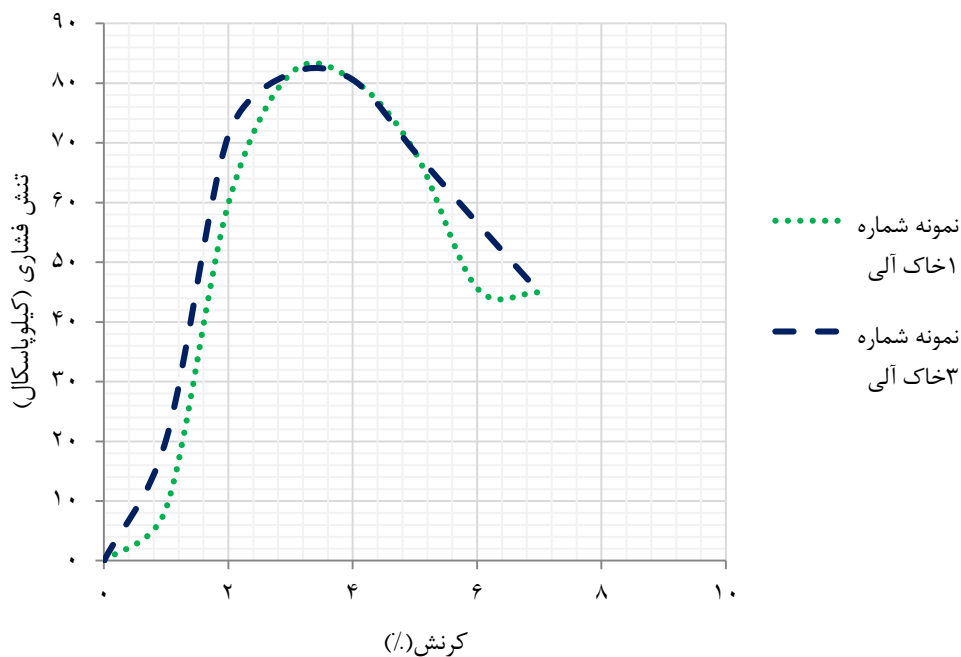
شکل ۱۳. مقاومت کششی نمونه‌های خاک، خاک تثبیت شده با آهک و زانتان گام و نمونه‌های تثبیت شده با آهک و زانتان گام و تسلیح شده با الیاف ضایعات نخ BCF در زمان عمل آوری ۷ روز (رطوبت نمونه‌ها، رطوبت بهینه حاصل از آزمایش تراکم)

Fig. 13. Tensile strength of organic soil, organic soil stabilized with lime or xanthan gum and organic soil stabilized with lime or xanthan gum and reinforced with BCF waste polypropylene fibers in a 7-day curing time (the optimum moisture from the compaction test)



شکل ۱۴. مقاومت کششی نمونه‌های خاک، خاک تثبیت شده با آهک و زانتان گام و نمونه‌های تثبیت شده با آهک و زانتان گام و تسلیح شده با الیاف ضایعات نخ BCF در زمان عمل آوری ۲۱ روز (رطوبت نمونه‌ها، رطوبت بهینه حاصل از آزمایش تراکم)

Fig. 14. Tensile strength of organic soil, organic soil stabilized with lime or xanthan gum and organic soil stabilized with lime or xanthan gum and reinforced with BCF waste polypropylene fibers in a 21-day curing time (the optimum moisture from the compaction test)



شکل ۱۵. نمودار مربوط به بررسی صحت سنجی و دقت نتایج مقاومت فشاری تک محوره برای نمونه خاک آلی

Fig. 15. Diagram for verification and accuracy of uniaxial compressive strength results for organic soil sample

کششی را افزایش داده که بیشترین افزایش در نمونه تثبیت شده با یک درصد آهک است. اما افزودن الیاف به ترکیب خاک و زانتان گام مقاومت کششی را نسبت به ترکیب خاک و زانتان گام کاهش داده است. این پدیده می‌تواند به این دلیل باشد که وجود الیاف باعث ایجاد فاصله میان ذرات خاک شده و چسبندگی ناشی از افزودن بیوپلیمر را کاهش داده است. افزایش زمان عمل‌آوری در آزمایش مقاومت کششی نیز پارامتری مؤثر بوده و افزایش آن مقاومت کششی را افزایش داده است.

#### ۴-۳- صحت سنجی

تکرارپذیری معیاری برای بیان درستی روش آزمایش محسوب می‌شود. در صورتی که با یک احتمال معین (مثلاً ۹۵ درصد) قدر مطلق اختلاف بین دو نتیجه‌ی آزمایش در شرایط یکسان از نظر نحوه‌ی آماده‌سازی نمونه‌ها، مجری آزمایش و دستگاه مورد استفاده از مقدار معینی (مثلاً ۵ درصد) کوچک‌تر باشد، آن آزمایش تکرار

می‌دهد که زانتان گام به دلیل چسبندگی بالایی که در ترکیب با آب در خاک ایجاد می‌کند، شکل‌پذیری خاک را افزایش داده است. با این حال افزودن الیاف به خاک تثبیت شده با زانتان گام علاوه بر بهبود مقاومت برشی، شکل‌پذیری خاک را نیز بهبود داده است. افزایش زمان عمل‌آوری در این نمونه‌ها نیز مقاومت فشاری را بهبود بخشید. در نمونه‌های الیاف‌دار افت مقاومتی مشاهده نشده و در طول آزمایش و در درصد کرنش‌های بالا نیز مقاومت فشاری افزایش یافته است.

#### ۴-۲- مقاومت کششی

در این بخش اثر الیاف بر مقاومت کششی خاک تثبیت شده با آهک و زانتان گام بررسی گردید. شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نتایج مربوط به مقاومت کششی را به ترتیب در زمان عمل‌آوری ۷ و ۲۱ نشان می‌دهد. مشاهده‌ها نشان می‌دهد که ترکیب خاک با بیوپلیمر زانتان گام چسبندگی بیشتری ایجاد کرده و در نهایت مقاومت کششی را بیشتر افزایش داده است. افزودن الیاف به خاک تثبیت شده با آهک مقاومت



در حدود ۴۲٪ و ۷۰٪ افزایش داده است. برای نمونه‌های تثبیت شده با ۱ و ۱/۵ درصد زانتان‌گام این افزایش به ترتیب در حدود ۳۱٪ و ۶۱٪ است. افزایش زمان عمل‌آوری بر مقاومت کششی نیز تأثیرگذار بوده و در نمونه‌های تثبیت شده با آهک بیش از ۲۰٪ و در نمونه‌های تثبیت شده با زانتان‌گام در حدود ۳۰٪ افزایش در مقاومت کششی را نتیجه داده است. ادامه واکنش‌های پوزولانی و تشکیل مواد سیمانته در خاک تثبیت شده با آهک و تکمیل واکنش‌های ایجاد شده میان ذرات خاک و بیوپلیمر زانتان‌گام موجب افزایش مقاومت فشاری و کششی خاک با افزایش زمان عمل‌آوری شده است.

۳- افزودن آهک به خاک تردی خاک را افزایش می‌دهد. افزودن ۰/۵ درصد الیاف ضایعات نخ به خاک تثبیت شده با ۱ درصد آهک علاوه بر بهبود شکل‌پذیری خاک مقاومت فشاری را نیز در حدود ۱۵ درصد افزایش داده است. وجود الیاف مانع از گسترش صفحه گسیختگی و تغییر شکل خاک خواهد شد.

۴- در هر دو زمان عمل‌آوری ۷ و ۲۱ روزه بیشترین مقاومت کششی در ترکیب خاک با ۱/۵ درصد بیوپلیمر زانتان‌گام مشاهده شد. افزودن الیاف مقاومت کششی را در نمونه‌های تثبیت شده با ۱ درصد آهک افزایش داده است. این افزایش در ۷ روز عمل‌آوری ۲۶٪ و در ۲۱ روز عمل‌آوری ۴۷٪ بوده است. در نمونه‌های تثبیت شده با زانتان‌گام، افزودن الیاف کمکی به افزایش مقاومت نکرده است. با افزودن الیاف به خاک در میان ذرات خاک فاصله ایجاد شده و این میزان چسبندگی ایجاد شده ناشی از افزودن زانتان‌گام را کاسته و در نهایت مقاومت کششی نسبت به خاک تثبیت شده با زانتان‌گام بدون الیاف کاهش یافته است.

### مراجع

- [1] Y.-T. Kim, B. Pradhan, Mechanical and germination characteristics of stabilized organic soils, Marine Georesources & Geotechnology, 34(7) (2016) 681-688.
- [2] E.O. Tastan, T.B. Edil, C.H. Benson, A.H. Aydilek, Stabilization of organic soils with fly ash, Journal of geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 137(9) (2011) 819-833.
- [3] S. Haeri, A. Hamidi, S. Hosseini, E. Asghari, D. Toll, Effect of cement type on the mechanical behavior of a gravely sand, Geotechnical & Geological Engineering,

پذیر خواهد بود [۴۷]. به منظور بررسی دقت نتایج و اطمینان از دقت اندازه‌گیری دستگاه مورد استفاده در آزمایش، برخی از آزمایش‌ها تکرار و نتایج با هم مقایسه گردید. شکل ۱۵ نمودار مقاومت فشاری دو نمونه خاک آلی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد؛ حداکثر تنش فشاری نمونه‌ها، که به عنوان مقاومت فشاری در نظر گرفته شده است، در هر دو نمونه تقریباً برابر است و اختلافی کمتر از ۵ درصد دارند.

### ۵- جمع‌بندی

به منظور بهبود پارامترهای مهندسی خاک برای کاربرد در پروژه‌های عمرانی تثبیت و تسلیح از جمله روش‌های متداول هستند. در این پژوهش امکان بهبود مقاومت فشاری و مقاومت کششی خاک آلی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از آهک و زانتان‌گام به عنوان تثبیت کننده و الیاف پلی‌پروپیلن به عنوان عناصر تسلیح استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که:

۱- افزودن آهک، الیاف ضایعات نخ پلی‌پروپیلن و بیوپلیمر زانتان‌گام هر کدام به تنهایی مقاومت فشاری را افزایش دادند. افزودن ۰/۵ درصد الیاف، ۳ درصد آهک با ۲۱ روز زمان عمل‌آوری و ۱/۵ درصد بیوپلیمر زانتان‌گام با ۲۱ روز زمان عمل‌آوری، مقاومت فشاری خاک را از ۷۷/۸ کیلوپاسکال به ترتیب به مقدار ۵۲۸/۳، ۴۲۰/۲ و ۴۲۶/۹ کیلوپاسکال رسانده است. در خاک تثبیت شده با الیاف با اعمال نیروی قائم بین ذرات خاک قفل‌شدگی ایجاد شده و مجموع این قفل‌شدگی و اصطکاک میان ذرات خاک تنش کششی را در الیاف بسیج کرده و مقاومت فشاری را افزایش می‌دهد. افزایش درصد آهک مقاومت خاک را افزایش داده که این افزایش ناشی از بهبود واکنش‌پذیری ذرات خاک به دلیل بالا رفتن کلسیم و هیدروکسید خاک است. واکنش‌های ایجاد شده بین یون‌های کلسیم و ذرات خاک باعث افزایش مقاومت و سیمانته شدن خاک آلی تثبیت شده با آهک شده است. افزودن زانتان‌گام به خاک نیز چسبندگی و قفل‌شدگی میان ذرات را افزایش داده که در نتیجه موجب افزایش مقاومت خاک گردیده است.

۲- افزایش زمان عمل‌آوری از ۷ روز به ۲۱ روز، مقاومت فشاری نمونه‌ها را برای خاک تثبیت شده با ۱ و ۳ درصد آهک به ترتیب

- [14] T.K. Brahmachary, M.K. Ahsan, M. Rokonzaman, Impact of rice husk ash (RHA) and nylon fiber on the bearing capacity of organic soil, *SN Applied Sciences*, 1(3) (2019) 273.
- [15] A. Waruwu, H. Halim, T. Nasution, Y. Hanova, Bamboo Grid Reinforcement on Peat Soil under Repeated Loading, *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(8) (2018) 2190-2196.
- [16] A.E. Abdel-Salam, Stabilization of peat soil using locally admixture, *HBRC journal*, 14(3)(2018) 294-299 .
- [17] K. Rui, W. Hongxing, T. Yunzhi, W. Lehua, Solidification of High Organic Matter Content Sludge by Cement, Lime and Metakaolin, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 63(1) (2019) 53-62.
- [18] S. Topolinski, Unconfined Compressive Strength Properties of a Cement-Organic Soil Composite, in: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 2019, pp. 042018.
- [19] H. Bahadori, A. Hasheminezhad, S. Mohamadi asl, Stabilisation of Urmia Lake peat using natural and artificial pozzolans, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, (2019) 1-10.
- [20] P.K. Kolay, M.A. Rahman, Physico-geotechnical properties of peat and its stabilisation, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, 169(3) (2015) 206-216.
- [21] H. Tremblay, J. Duchesne, J. Locat, S. Leroueil, Influence of the nature of organic compounds on fine soil stabilization with cement, *Canadian Geotechnical Journal*, 39(3) (2002) 535-546.
- [22] S. Islam, N.R. Hoque, M.A. Haque, P.N. Mishra, M. Mamun, S. Dey, Strength development in fine-grained paddy field soil by lime addition, *Journal of Building Engineering*, 26 (2019) 100857.
- [23] Y. Liu, Q. Wang, S. Liu, Y. ShangGuan, H. Fu, B. Ma, H. Chen, X. Yuan, Experimental investigation of the geotechnical properties and microstructure of lime-stabilized saline soils under freeze-thaw cycling, *Cold Regions Science and Technology*, 161 (2019) 32-42.
- [24] H. Bahadori, A. Hasheminezhad, S. Alizadeh, The 24(2) (2006) (335).
- [4] A. Bobet, J. Hwang, C.T. Johnston, M. Santagata, One-dimensional consolidation behavior of cement-treated organic soil, *Canadian Geotechnical Journal*, 48(7) (2011) 1100-1115.
- [5] H. Chen, Q. Wang, The behaviour of organic matter in the process of soft soil stabilization using cement, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 65(4) (2006) 445-448.
- [6] S. Saride, A.J. Puppala, S.R. Chikyala, Swell-shrink and strength behaviors of lime and cement stabilized expansive organic clays, *Applied Clay Science*, 85 (2013) 39-45.
- [7] A.R. Zandieh, S.S. Yasrobi, Retracted article: Study of factors affecting the compressive strength of sandy soil stabilized with polymer, *Geotechnical and Geological Engineering*, 28(2) (2010) 139-145.
- [8] Chang, G.-C. Cho, Shear strength behavior and parameters of microbial gellan gum-treated soils: from sand to clay, *Acta Geotechnica*, 14(2) (2019) 361-375.
- [9] Chang, J. Im, A.K. Prasadhi, G.-C. Cho, Effects of Xanthan gum biopolymer on soil strengthening, *Construction and Building Materials*, 74 (2015) 65-72.
- [10] N. Latifi, S. Horpibulsuk, C.L. Meehan, M.Z.A. Majid, A.S.A. Rashid, Xanthan gum biopolymer: an eco-friendly additive for stabilization of tropical organic peat, *Environmental Earth Sciences*, 75(9) (2016) 825.
- [11] S. Smitha, A. Sachan, Use of agar biopolymer to improve the shear strength behavior of sabarmati sand, *International Journal of Geotechnical Engineering*, 10(4) (2016) 387-400.
- [12] A.A.S. Correia, M.G. Rasteiro, Nanotechnology applied to chemical soil stabilization, *Procedia engineering*, 143 (2016) 1252-1259.
- [13] N. Hassan, W.H.W. Hassan, A.S.A. Rashid, N. Latifi, N.Z.M. Yunus, S. Horpibulsuk, H. Moayed, Microstructural characteristics of organic soils treated with biomass silica stabilizer, *Environmental Earth Sciences*, 78(12) (2019) 367.

- soil and soil cement reinforced with polypropylene fibers, in, American Concrete Institute, 2017.
- [35] ASTM D-2974, Standard test methods for moisture, ash, and organic matter of peat and other organic soils, (2007).
- [36] ASTM D-2435, Standard test methods for one-dimensional consolidation properties of soils using incremental loading, ASTM International, (2004).
- [37] ASTM D-854, Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer, ASTM International, (2006).
- [38] ASTM D-698, Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>)), Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, (2000) 1-7.
- [39] ASTM D-2166, Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil, American Society for Testing and Materials West Conshohocken, Pa, (2006).
- [40] ASTM C-496, Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, (2004).
- [41] S. Gowthaman, K. Nakashima, S. Kawasaki, A state-of-the-art review on soil reinforcement technology using natural plant fiber materials: Past findings, present trends and future directions, *Materials*, 11(4) (2018) 553.
- [42] S.K. Patel, B. Singh, Strength and deformation behavior of fiber-reinforced cohesive soil under varying moisture and compaction states, *Geotechnical and Geological Engineering*, 35(4) (2017) 1767-1781.
- [43] C. Tang, B. Shi, W. Gao, F. Chen, Y. Cai, Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil, *Geotextiles and Geomembranes*, 25(3) (2007) 194-202.
- [44] A.S. Zaimoglu, T. Yetimoglu, Strength behavior of fine grained soil reinforced with randomly distributed polypropylene fibers, *Geotechnical and Geological Engineering*, 30(1) (2012) 197-203.
- [45] S. Koslanant, Influence of storage conditions on geotechnical properties of Ariake clay and on its chemical stabilization, Dissertation, Saga University, Japan, 2006.
- Influence of Natural Pozzolans Structure on Marl Soil Stabilization, *Transportation Infrastructure Geotechnology*, (2019) 1-9.
- [25] H. Bahadori, A. Hasheminezhad, F. Taghizadeh, Experimental Study on Marl Soil Stabilization Using Natural Pozzolans, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(2) (2018) 04018363.
- [26] M.K. Tabari, A. TaghaviGhalesari, A.J. Choobbasti, M. Afzalirad, Large-scale experimental investigation of strength properties of composite clay, *Geotechnical and Geological Engineering*, (2019) 1-15.
- [27] S. Caballero, R. Acharya, A. Banerjee, T.V. Bheemasetti, A. Puppala, U. Patil, Sustainable slope stabilization using biopolymer-reinforced soil, in: *Geo-Chicago 2016*, 2016, pp. 116-126.
- [28] C. Chen, L. Wu, M. Perdjon, X. Huang, Y. Peng, The drying effect on xanthan gum biopolymer treated sandy soil shear strength, *Construction and Building Materials*, 197 (2019) 271-279.
- [29] M. Ayeldeen, A. Negm, M. El-Sawwaf, M. Kitazume, Enhancing mechanical behaviors of collapsible soil using two biopolymers, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9(2) (2017) 329-339.
- [30] N. Hataf, P. Ghadir, N. Ranjbar, Investigation of soil stabilization using chitosan biopolymer, *Journal of cleaner production*, 170 (2018) 1493-1500.
- [31] S.M. Hejazi, M. Sheikhzadeh, S.M. Abtahi, A. Zadhoush, A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers, *Construction and Building Materials*, 30 (2012) 100-116.
- [32] C.S. Priya, S. Archana, A.B. Albert, A. Deeraj, Stabilization of clayey soil using polypropylene fiber, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(4) (2017) 1252-1255.
- [33] C.A. Anagnostopoulos, D. Tzetzis, K. Berketis, Evaluation of the shear strength behaviour of polypropylene and carbon fibre reinforced cohesive soils, *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 7(20) (2014) 4327-4342.
- [34] A. Estabragh, S. Ranjbari, A. Javadi, Properties of clay

[47] N. Mahboobimotlagh, A. Mahboobiardakani, Evaluation of the effect of adding lime to shear strength parameters of clay-geosynthetic interface, Scientific Quarterly Journal, GEOSCIENCES, 27(108) (2018). (in persian).

[46] N. Latifi, S. Horpibulsuk, C.L. Meehan, M.Z. Abd Majid, M.M. Tahir, E.T. Mohamad, Improvement of problematic soils with biopolymer—an environmentally friendly soil stabilizer, Journal of Materials in Civil Engineering, 29(2) (2016) 04016204.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

B. Ebrahimi Alavijeh, B. Zare, M. Mokhtari., (2021). Investigation of the Effect of Polypropylene Fibers on Compression Strength and Tensile Strength of Organic Soil Stabilized with Lime and Xanthan-Gum Bio-Polymer. *Amirkabir J. Civil Eng.*, 53(5): 1853-1870.

DOI: [10.22060/ceej.2020.17185.6490](https://doi.org/10.22060/ceej.2020.17185.6490)

