

مدیریت محیط های مهاجم در مهندسی ژئوتکنیک با استفاده از فن آوری های نوین و پلیمرهای طبیعت دوست

امین شهنام نیا^۱، سید مهدی ابطحی^۲، سید مهدی حجازی^۳

^۱ کارشناسی ارشد عمران دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی اصفهان

^۳ استادیار دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی اصفهان

نام و نشانی ایمیل نویسنده مسئول:

چکیده

استفاده از مواد سازگار با محیط زیست و همچنین بازیافت مواد ضایعاتی از جمله مسائلی است که امروزه با گسترش صنایع عمرانی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق از یک سو اثر استفاده از پلیمر سازگار با طبیعت UF بر نسبت باربری خاک و از طرف دیگر، اثر استفاده از ضایعات سنگبری در تولید نمونه های بتنی بر استحکام فشاری و خمشی آن ها مورد بررسی قرار گرفته است. رزین پلیمری UF در درصدهای وزنی ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱ و ۱/۲ نسبت به وزن خشک خاک با خاک مورد استفاده که از نوع خاک ماسه سیلیتی بوده ترکیب گردید. سپس آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) بر روی تمامی نمونه ها در زمان های ۵، ۲۴ و ۴۸ ساعت عمل آوری نمونه ها صورت گرفت. نتایج حاصل از آزمایش CBR نشان می داد افزودن رزین UF به خاک تا درصد وزنی ۰/۸ درصد سبب افزایش نسبت باربری خاک می گردد. همچنین با افزایش زمان عمل آوری، نسبت باربری نیز افزایش می یابد. از سوی دیگر به منظور بررسی اثر افزودن ضایعات سنگبری به نمونه های بتنی، در ابتدا یک نمونه بدون استفاده از ضایعات سنگبری تولید گردید. سپس نمونه های دیگر با افزودن ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد وزنی ضایعات سنگبری تولید شدند. بر روی تمامی نمونه ها آزمایش استحکام خمشی و فشاری صورت گرفت. نتایج حاصل از آزمایش ها نشان می داد استفاده از ضایعات سنگبری جهت تولید نمونه های بتنی سبب افزایش استحکام خمشی و فشاری نمونه شده و با افزایش درصد وزنی ضایعات سنگبری استحکام نیز افزایش می یابد. از این رو با توجه به نتایج بدست آمده در این دو تحقیق می توان نتیجه گرفت استفاده از رزین پلیمری UF جهت تقویت و تثبیت خاک و استفاده از ضایعات سنگبری جهت تولید بتن دو روش مناسب جهت حفظ ویژگی های زیست محیطی خاک و همچنین بازیافت ضایعات سنگبری می باشند که می توان در صنایع عمرانی از آن ها استفاده شود.

واژگان کلیدی: رزین پلیمری UF، نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)، ضایعات سنگبری، استحکام خمشی و فشاری، محیط زیست.

مقدمه

امروزه با توجه به گسترش صنعت و افزایش روز افزون تولید ضایعات در صنایع مختلف، مدیریت استفاده از موادی سازگار با محیط زیست و بازیافت ضایعات تولیدی بسیار اهمیت دارد. از جمله صنایعی که اخیرا پیشرفت قابل توجهی داشته است صنایع معماری و

عمرانی می‌باشد. به منظور ساخت سازه‌هایی نظیر بناهای مختلف و پل‌ها لازم است بستر سازه جهت ساخت آن آماده سازی شود. این بستر که خاک بوده جهت آماده سازی لازم است تقویت گردیده و برخی ویژگی‌های آن نظیر از هم گسیختگی و قابلیت تورم خاک تثبیت شود. تحقیقات بسیاری بر روی استفاده از موادی نظیر سیمان، قلیا و خاکستر جهت تثبیت خاک انجام شده است [۵-۱]. استفاده از این مواد گاه از لحاظ زیست محیطی برای خاک مضر بوده و اثرات تخریب پذیری بر خاک می‌گذارد. از این رو استفاده از موادی سازگار با محیط زیست بسیار احساس می‌شود. مواد پلیمری از جمله موادی هستند که می‌توان با تغییر در ساختارهای آن‌ها، موادی سازگار با محیط زیست تولید نمود. از جمله مواد پلیمری که امروزه بسیار در تثبیت و تقویت کنندگی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند الیاف پلیمری می‌باشند. در سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای بر استفاده از الیاف پلیمری طبیعی و مصنوعی به صورت ممتد یا کوتاه با توزیع راندم درون خاک جهت تقویت آن شده است [۶-۱۰]. استفاده از ضایعات و مواد بدون استفاده جهت تقویت خاک به صورت توزیع راندم روشی است که علاوه بر کاهش هزینه‌های تثبیت خاک، به بازیافت ضایعات نیز کمک می‌کند. محمد (۲۰۱۳) [۱۱] به بررسی اثر توزیع راندم الیاف کاه بر میزان تورم خاک پرداخت. نتایج تحقیق نشان می‌داد افزایش میزان کاه تا ۱ درصد وزنی درون خاک سبب افزایش استحکام برشی خاک می‌شود و با افزایش به ۱/۵ درصد وزنی استحکام برشی خاک کاهش می‌یابد. در تحقیق دیگری که توسط کالکان^۱ (۲۰۱۳) [۱۲] صورت گرفت اثر ترکیبی الیاف لاستیک و فوم سیلیکایی بر پارامترهای خاک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌داد استفاده از این ترکیب درون خاک سبب افزایش استحکام و کاهش فشار تورمی خاک می‌گردد.

از مواد دیگری که جهت تثبیت خاک استفاده می‌گردد مواد سیمانی و یا مشتقات نفتی [۱۳] هستند که سبب تخریب محیط زیست می‌شوند و امکان رشد گیاهان در این خاک را تضعیف می‌کنند. استفاده از رزین‌هایی با ویژگی سازگاری با محیط زیست روشی بوده که بدین منظور پیشنهاد می‌شود. از جمله رزین‌های پلیمری که با محیط زیست سازگار می‌باشند می‌توان به پلی وینیل استات و پلی وینیل الکل اشاره کرد که جهت تثبیت خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۴]. تمرکز این مقاله نیز بر مدیریت استفاده از رزین پلیمری UF سازگار با محیط زیست جهت تثبیت خاک می‌باشد.

از سوی دیگر استفاده از مواد ضایعاتی جهت تولید محصولات عمرانی یکی از روش‌های مفید جهت بازیافت این مواد می‌باشد. از جمله این مواد می‌توان به ضایعات سنگبری اشاره کرد که در سال‌های اخیر تحقیقاتی بر روی آن به منظور استفاده از این ضایعات در تولید بتن و کامپوزیت‌های سیمانی انجام شده است.

سنگ‌های استخراج شده از معدن توسط دستگاه برش دهنده‌ی سنگ به قطعات کوچکتر تقسیم می‌شوند. پودر سنگ حاصله با آب دستگاه برش مخلوط شده و ترکیب غیرقابل استفاده‌ای را بوجود می‌آورد. این مخلوط در مناطق خارج از شهر در زیر خاک مدفون می‌گردد. به علت ماهیت قلیایی این مواد، در اثر بارندگی خاک قلیای شده و امکان رشد گیاهان برای خاک این مناطق امکان پذیر نیست [۱۵]. به همین علت مدیریت بازیافت این مواد بسیار برای محیط زیست مفید می‌باشد. در تحقیقی سانگ^۲ و همکارانش (۲۰۱۴) از ضایعات سنگبری جهت تولید پانل بتنی ساختمانی استفاده کردند. نتایج حاکی از افزایش مقاومت حرارتی پانل در برابر آتش بود [۱۶]. در تحقیق دیگری که توسط عبدالهی و حجازی (۲۰۱۵) انجام شد اثر حضور الیاف شیشه و پلی پروپیلن بر استحکام خمشی و فشاری کامپوزیت سیمانی حاوی ضایعات سنگبری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌داد افزودن ضایعات سنگبری به کامپوزیت سیمانی سبب افزایش استحکام خمشی و فشاری کامپوزیت می‌شود [۱۷].

تحقیق حاضر به بررسی اثر استفاده از رزین پلیمری سازگار با محیط زیست UF بر استحکام خاک و ضایعات سنگبری بر استحکام بتن می‌پردازد. این تحقیق با تمرکز بر مدیریت استفاده از مواد جهت بازیافت و حفظ محیط زیست انجام شده است و می‌تواند گام موثری جهت کاهش آلودگی‌های ناشی از محصولات عمرانی باشد.

۱. مواد و مصالح مورد استفاده

۱.۱ رزین پلیمری UF

رزین مورد استفاده جهت تثبیت خاک رزین پلیمری UF از خانواده پلی آمیدها بوده و دارای رنگ شیری می‌باشد. این پلیمر عایق حرارتی خوبی بوده و همچنین با محیط زیست سازگار می‌باشد. علاوه بر این برای رشد گیاهان نیز مناسب است. برخی از ویژگی‌های رزین پلیمری UF در

جدول ۱ آورده شده است.

¹ Kalkan

² Songe

جدول ۱- برخی ویژگی‌های رزین UF

| وضعیت ظاهری | مایع شیری رنگ |
|--------------------------|---------------|
| درصد جامد (%) | ۵۵-۵۰ |
| وزن مخصوص (kg/lit, 25°C) | 1.06-1.100 |
| PH (25°C) | 8-9 |
| وسکوزیته (cp, 25°C) | 140-200 |

۱,۲ خاک

نوع خاک مورد استفاده در این تحقیق از نوع ماسه سیلیتی بوده که مطابق با طبقه‌بندی یونیفاید در دسته A-2-4 قرار می‌گیرد. رطوبت بهینه خاک مورد استفاده با استفاده از استاندارد ASTM D4813 [۱۸] برابر ۱۴/۲۸ درصد محاسبه گردید.

۱,۳ سیمان

به منظور تولید بتن از سیمان پورتلند نوع دوم با سطح مخصوص 3000 g/cm^2 و وزن مخصوص $3/15 \text{ g/cm}^3$ بر طبق استاندارد ASTM C150 [۱۹] استفاده شد.

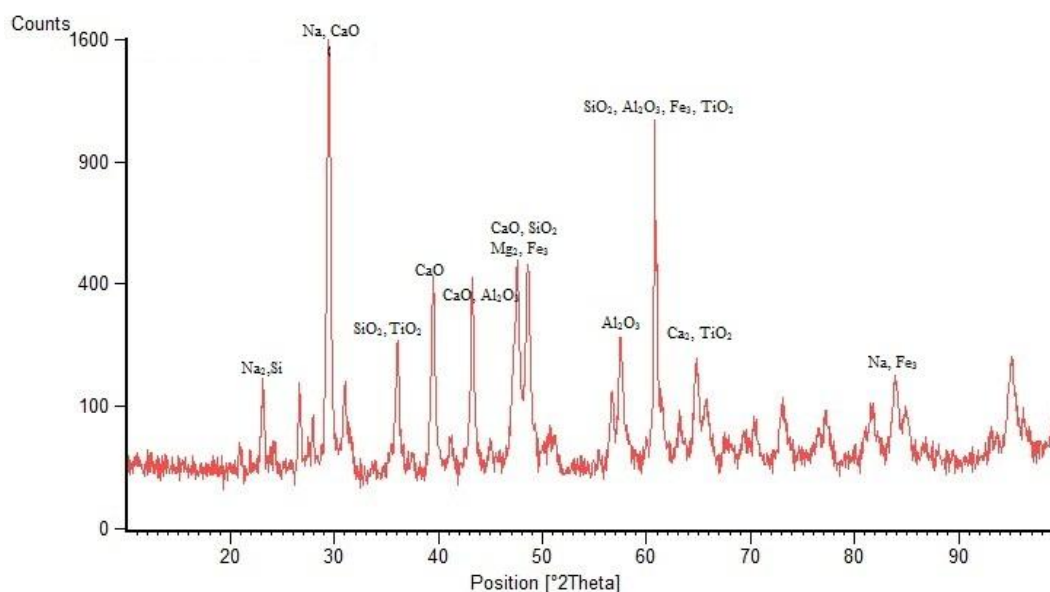
جدول ۲ اجزای تشکیل دهنده سیمان مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۲- اجزای تشکیل دهنده سیمان مورد استفاده در این تحقیق

| SiO2 % | Al-2O3 % | Fe2O3 % | CaO % | MgO % | SO3 % | Na2O % | K2O % | Los s % | In sol % |
|--------|----------|---------|-------|-------|-------|--------|-------|---------|----------|
| 86/21 | 90/5 | 20/3 | 50/63 | 80/1 | 70/1 | 20/0 | 70/0 | 24/1 | 50/0 |

۱,۴ ضایعات سنگبری

ضایعات سنگبری مورد استفاده در این تحقیق از کارخانه‌های سنگبری واقع در شهر اصفهان تهیه گردید که استفاده از این ضایعات جهت تولید نمونه‌های بتنی خود روشی به صرفه جهت کاهش هزینه‌های تولید و بازیافت این ضایعات می‌باشد. به منظور شناخت اجزای تشکیل دهنده‌ی این ضایعات آزمایش پراش اشعه ایکس بر روی نمونه انجام گرفت. شکل ۱ نتایج آزمایش پراش اشعه ایکس را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نمودار آزمایش پراش اشعه ایکس برای ضایعات سنگبری

۲. آزمایشات

۲,۱ آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) برای خاک

طبق تعریف CBR خاک نسبتی است (به صورت درصد) که با تقسیم تنش نفوذ لازم برای فرو بردن یک پیستون مدور استاندارد به مساحت $19/35 \text{ cm}^2$ و با سرعت مشخص در خاک مورد آزمایش به عمق $2/5 \text{ mm}$ به تنش لازم جهت فرو بردن همان پیستون با همان سرعت و به همان عمق در مصالح استاندارد بدست می آید [۲۰].

به منظور آماده سازی نمونه‌ها، ابتدا خاک با درصدهای وزنی $0/4$ ، $0/6$ ، $0/8$ ، 1 و $1/2$ رزین UF ترکیب شده و در قالب‌های استوانه‌ای به قطر داخلی $0/26 \pm 0/06$ اینچ و ارتفاع آن $7 \pm 0/16$ اینچ در 3 لایه ریخته و تحت 56 ضربه متراکم شد. پس از گذشت 5 ، 24 و 48 ساعت آزمایش CBR بر روی تمامی نمونه‌ها صورت گرفت.

۲,۲ آزمایش خمش سه نقطه‌ای و فشار بر روی نمونه‌های بتنی

به منظور ساخت نمونه‌های بتنی، در ابتدا نمونه‌ای بدون استفاده از ضایعات سنگبری با درصدهای وزنی مشخص شده در جدول

۳ تولید گردیده و در مرحله‌ی بعد نمونه‌ها با درصدهای وزنی مختلف ضایعات سنگبری جهت تولید نمونه‌های بتنی مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۳- درصدهای وزنی مختلف جهت تولید نمونه‌های بتنی

| نمونه | درصد وزنی سیمان | درصد وزنی آب | درصد وزنی شن | درصد وزنی ماسه | درصد وزنی ضایعات سنگبری |
|-------|-----------------|--------------|--------------|----------------|-------------------------|
| C | 10 | 9 | 56/27 | 44/53 | - |
| CS1 | 10 | 10 | 67/26 | 33/48 | 5 |
| CS2 | 10 | 66/11 | 01/30 | 33/38 | 10 |
| CS3 | 10 | 83/11 | 17/23 | 40 | 15 |
| CS4 | 10 | 66/12 | 34/19 | 38 | 20 |

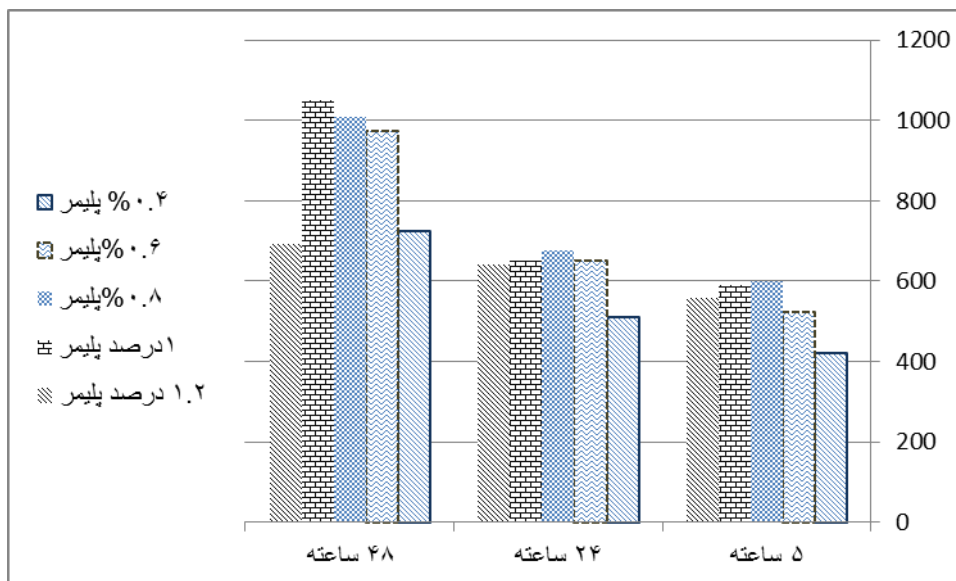
مخلوط بدست آمده درون قالبهایی به ابعاد $40\text{ mm} \times 40\text{ mm} \times 160\text{ mm}$ ریخته شده و به مدت ۱۴ روز در اتاق استاندارد $(T=20 \pm 2^\circ\text{C}$ و $RH \geq 95\%$) قرار گرفت. سپس آزمایش خمش سه نقطه‌ای مطابق با استاندارد ASTM C393 [۲۱] و آزمایش استحکام فشاری مطابق با استاندارد ASTM C349 [۲۲] بر روی تمامی نمونه‌ها انجام شد. در آزمایش خمش سه نقطه‌ای فاصله تکیه‌گاهی ۱۳۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد.

۳. تجزیه و تحلیل نتایج

۳.۱ نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) خاک

نتایج حاصل از آزمایش CBR برای نمونه‌های ترکیب شده با درصد‌های وزنی رزین پلی‌میری UF در شکل ۲ نشان داده شده

است.

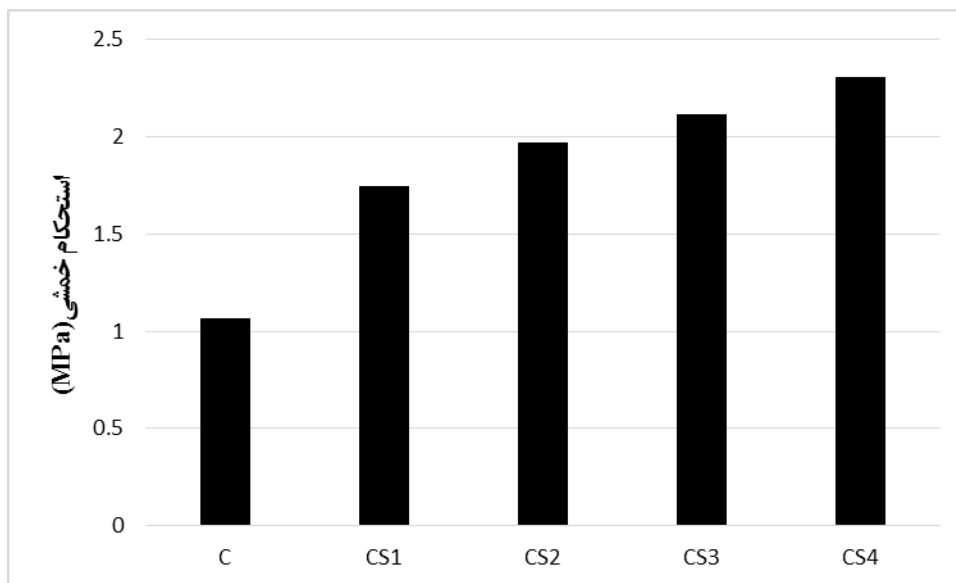


شکل ۲- نتایج آزمایش CBR بر روی نمونه خاک مخلوط شده با درصد‌های وزنی مختلف رزین UF

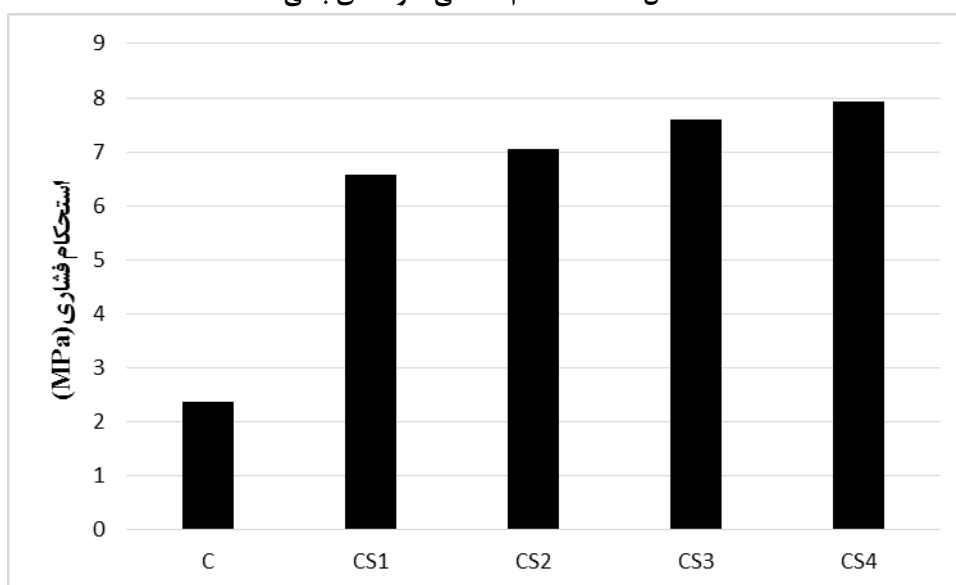
همان‌گونه که در شکل ۲ مشخص است افزودن رزین UF به خاک سبب افزایش استحکام خاک می‌شود. با افزایش درصد وزنی رزین تا ۰/۸ درصد شاهد روند افزایشی نسبت باربری بوده و از طرف دیگر با افزایش زمان ترکیب رزین با خاک، نسبت باربری خاک افزایش می‌یابد. این امر را می‌توان ناشی از افزایش قدرت چسبندگی در اثر افزایش زمان عمل آوری نمونه دانست.

۳.۲ استحکام خمشی و فشاری نمونه‌های بتنی

شکل ۳ و شکل ۴ نتایج حاصل از آزمایش استحکام خمشی و فشاری بر روی نمونه‌های بتنی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳ و ۴ مشخص است افزایش درصد وزنی ضایعات سنگبری سبب افزایش استحکام فشاری و خمشی نمونه‌های بتنی می‌گردد. با حضور ضایعات سنگبری در ماتریس سیمانی، این ضایعات نقش پرکننده را بازی کرده و سبب چسبندگی بهتر اجزا در کنار یکدیگر می‌شوند. از این رو با افزایش درصد وزنی ضایعات سنگبری، این چسبندگی افزایش یافته و در نتیجه استحکام خمشی و فشاری بتن تولیدی افزایش می‌یابد.



شکل ۳- استحکام خمشی نمونه‌های بتنی



شکل ۴- استحکام فشاری نمونه‌های بتنی

۴. نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به بررسی استفاده از رزین پلیمری UF که سازگار با محیط زیست بوده درون خاک و اثر آن بر نسبت باربری خاک و از طرف دیگر بازیافت ضایعات سنگبری با استفاده از آن جهت تولید بتن و اثر آن بر استحکام بتن تولیدی پرداخته شده است. نتایج حاصل از افزودن رزین UF بر خاک حاکی از آن است که با افزایش درصد وزنی رزین UF تا ۰/۸ درصد نسبت باربری خاک افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش زمان عمل آوری نمونه، استحکام خاک نیز بیشتر می‌شود. این نتایج نه تنها نشان دهنده‌ی افزایش باربری خاک در صورت استفاده از رزین UF بوده، بلکه با توجه به سازگاری این رزین پلیمری با محیط زیست، استفاده از این رزین نسبت به مواد شیمیایی دیگر که سبب تخریب خاک می‌گردند بسیار به صرفه تر و مفیدتر است.

همچنین استفاده از ضایعات سنگبری جهت تولید بتن سبب افزایش استحکام خمشی و فشاری بتن تولیدی می‌گردد. با افزایش درصد وزنی ضایعات سنگبری استحکام خمشی و فشاری نیز افزایش می‌یابد. این ضایعات بسیار برای محیط زیست مضر بوده و استفاده از آن‌ها جهت تولید بتن نه تنها سبب کاهش هزینه‌ی تولید گشته بلکه به بازیافت این مواد نیز کمک می‌کند

منابع و مراجع

- [1] Amu O, Fajobi A, Afekhuai S. Stabilizing potential of cement and fly ash mixture on expansive clay soil. *Journal of applied sciences*. 2005;5(9):1669-73.
- [2] Chou L. Lime stabilization: Reactions, properties, design, and construction. State of the Art Report. 1987;5:564-605.
- [3] Edral C. Effect of fly ash on swelling pressure of expansive soil. *J Geotech Eng*. 1999;4.
- [4] Ji-ru Z, Xing C. Stabilization of expansive soil by lime and fly ash. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater Sci Ed*. 2002;17(4):73-7.
- [5] Locat J, Bérubé M-A, Choquette M. Laboratory investigations on the lime stabilization of sensitive clays: shear strength development. *Canadian Geotechnical Journal*. 1990;27(3):294-304.
- [6] Akbulut S, Arasan S, Kalkan E. Modification of clayey soils using scrap tire rubber and synthetic fibers. *Applied Clay Science*. 2007;38(1-2):23-32.
- [7] Cai Y, Shi B, Ng CWW, Tang C-s. Effect of polypropylene fibre and lime admixture on engineering properties of clayey soil. *Engineering Geology*. 2006;87(3-4):230-40.
- [8] Cetin H, Fener M, Gunaydin O. Geotechnical properties of tire-cohesive clayey soil mixtures as a fill material. *Engineering Geology*. 2006;88(1-2):110-20.
- [9] Tang C, Shi B, Gao W, Chen F, Cai Y. Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil. *Geotextiles and Geomembranes*. 2007;25(3):194-202.
- [10] Tang C-S, Shi B, Zhao L-Z. Interfacial shear strength of fiber reinforced soil. *Geotextiles and Geomembranes*. 2010;28(1):54-62.
- [11] Mohamed AEMK. Improvement of swelling clay properties using hay fibers. *Construction and Building Materials*. 2013;38:242-7.
- [12] Kalkan E. Preparation of scrap tire rubber fiber-silica fume mixtures for modification of clayey soils. *Applied Clay Science*. 2013;80-81:117-25.
- [13] Al-Rawas AA, Hago A, Al-Sarmi H. Effect of lime, cement and Sarooj (artificial pozzolan) on the swelling potential of an expansive soil from Oman. *Building and Environment*. 2005;40(5):681-7.
- [14] J.Croweley, B D, B.K.Holtwieshe. Environmentally-favorable erosion control with a polyvinyl Acetate-based formulation. *American Chemical Societywwwkiwipowercom/pdf/Qei-rticlepdf*. 1988:1806-10.
- [15] Choi SJ, Jun SS, Oh JE, Monteiro PJ. Properties of alkali-activated systems with stone powder sludge. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 2010;12(4):275-82.
- [16] Song T-H, Lee S-H, Kim B. Recycling of crushed stone powder as a partial replacement for silica powder in extruded cement panels. *Construction and Building Materials*. 2014;52:105-15.
- [17] Abdellahi SB, Hejazi SM. Effect of glass and polypropylene fibers in cementitious composites containing waste stone powder. *Journal of Industrial Textiles*. 2015:1528083714567239.
- [18] Worldwide AI-S. ASTM D4318 -10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. 2008.
- [19] ASTM International West Conshohocken P. C150, A. (2012), Standard Specification of Portland Cement. 2012.
- [20] ASTM International West Conshohocken P. ASTM D 1883-2007. Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils. 2007.

[21] ASTM International West Conshohocken P. C393, A. (2000), Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions. 2000.

[22] ASTM International West Conshohocken P. C349, A., Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic-Cement Mortars. 2000.