بررسی آزمایشگاهی بهسازی بستر راه با استفاده از الیاف لاستیک، زئولیت، سیمان و آهک

مقاله علمی – پژوهشی

محمدرضا یبلوئی خمسلوئی، گروه عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران
میثم بیات*، گروه عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران
محسن موسیوند، گروه عمران، واحد گنبد کاووس، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبد کاووس، ایران
امین نوذری، گروه عمران، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: bayat.m@pci.iaun.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۵- پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۸
صفحه ۶۴-۵۱

چکیده

خاک‌های ماسه‌ای سست فاقد ویژگی‌های فنی مناسب در ایجاد بستر راه‌سازی هستند. با این حال، مناطق ساحلی پوشیده از این نوع خاک‌ها می‌باشند. با توجه به اهمیت بسیار زیاد ایجاد راه‌ها در این مناطق در اقتصاد و شاه‌راه‌های مواسلاتی بین شهرهای شرقی و غربی، این نوع خاک‌ها نیازمند بهسازی هستند. یکی از روش‌های مرسوم جهت بهبود خواص مکانیکی خاک‌ها استفاده از تثبیت کننده‌هایی مثل آهک و سیمان است. روش دیگری که در سال‌های اخیر از آن بهره گرفته شده، استفاده از الیاف مصنوعی یا طبیعی برای تقویت خاک‌ها بوده است. با توجه به مشکلات زیست محیطی ایجاد شده توسط تثبیت کننده‌های مرسوم (سیمان/آهک) و نیز هزینه‌های اقتصادی آن، استفاده از پوزولان که دارای هزینه تمام شده کمتر است به عنوان جایگزین این مواد می‌تواند راهکار مناسبی باشد. با توجه به اهمیت موضوع در زمینه بهسازی، در این تحقیق تاثیر دو نوع افزودنی پوزولانی (زئولیت) و الیاف لاستیک بر روی مقاومت فشاری نمونه‌های ماسه‌ای تثبیت شده با سیمان و آهک با استفاده از آزمایش تک محوری مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آزمایش‌ها نشان دهنده اثرات موثرتر سیمان نسبت به آهک در افزایش مقاومت فشاری خاک بوده است. نسبت مقاومت فشاری نمونه‌های سیمانی به نمونه‌های آهکی در حدود ۶۵۰ درصد است. همچنین نمونه‌های آهکی الیافی و نیز نمونه‌های سیمانی الیافی نسبت به حالت نمونه‌های سیمانی و آهکی بدون الیاف دارای افزایش مقاومت فشاری به ترتیب تا حدود ۵۰ و ۱۱۰ درصد است. جایگزینی سیمان و آهک با زئولیت تغییری در مقاومت فشاری از خود نشان نمی‌دهد که این موضوع از منظر اقتصادی و محیط زیستی بیانگر رفتار مناسب‌تری دارد.

واژه‌های کلیدی: ماسه بابلسر، تثبیت شیمیایی، زئولیت، الیاف لاستیک، آزمایش تک محوری

۱-مقدمه

وجود خاک‌های ضعیف در پروژه‌های عمرانی همیشه بعنوان یک معضل در نظر گرفته شده است. اینگونه خاک‌ها معمولاً دارای وزن مخصوص کم، قابلیت تورم و نشست زیاد، دارای پتانسیل واگرایی و روانگرایی بوده و از ظرفیت باربری مناسبی برخوردار نیستند (Bhattacharya et al., 2011; Houston et al., 2001; Seiphoori & Zamanian, 2022). با این حال، به علت رشد سریع ساخت راه‌ها و پروژه‌های زیربنایی و کمبود فضای کافی برای احداث آن، مهندسان را وادار به استفاده از اینگونه خاک‌ها کرده‌اند. به این منظور روش‌های کاربردی متنوعی از جمله تراکم، تثبیت،

تسلیح و ... می‌توان بهره برد (Chu et al., 2006; Hausler & Sitar, 2001; Jaritngam, 2003; Nicholson, 2014; Van Impe, 1989). تثبیت خاک سبب بهبود شرایط ژئوتکنیکی خاک، متناسب با نوع پروژه، کاهش هزینه، زمان اجرا و افزایش طول عمر بهره‌برداری می‌گردد (Chu et al., 2006). خواص خاک نامناسب برای بستر راه، با استفاده از تثبیت دارای تخلخل و نفوذپذیری کمتری نسبت به مواد اولیه خود شده و نیز موجب افزایش مقاومت برشی و ظرفیت باربری خاک می‌شود. این موضوع سبب کاهش میزان نشست ناشی از سربار نیز خواهد شد. لذا تثبیت خاک ضعیف، می‌تواند آنرا برای بستر راه نیز بصورت موثری مناسب نموده و در نتیجه موجب کاهش هزینه‌های ناشی از جابجایی آن خاک با خاک مناسب‌تر شود (Hausler & Sitar, 2001; Van Impe, 1989). سیمان پرتلند از جمله مصالحی است که قادر به تثبیت خاک‌ها در پروژه های مختلف عمرانی مانند پروژه‌های راه‌سازی و مقاوم‌سازی بستر فونداسیون است (Davoodi et al., 2021; Hadi Sahlabadi et al., 2021; Saadat & Bayat, 2022; Salehi et al., 2021; Wei & Ku, 2020). علت این امر خاصیت چسبندگی سیمان ناشی از واکنش هیدراتاسیون سیمان بین سیمان و ذرات خاک است که این امر منجر به ایجاد یک پیوند اولیه و ثانویه سمیانی در بافت خاک می‌شود (Kamruzzaman et al., 2009; صادق‌پور منفرد و همکاران.، ۱۴۰۰). علی‌رغم بهبود عملکرد مقاومتی خاک‌های ضعیف تثبیت شده با سیمان، شکل‌پذیری خاک‌های تثبیت شده با سیمان با کاهش مواجه است. با این حال، بطور کلی خاک‌هایی جهت اختلاط با آهک مناسب می‌باشند که دارای مقدار کافی رس باشند. استفاده از آهک به عنوان ماده ثبیت کننده نیز مورد استفاده قرار گرفته است. آهک نیز همانند سیمان به علت خاصیت چسبندگی که از خود نشان می‌دهد، می‌تواند موجب بهبود عملکرد خاک سست شامل کاهش PI و افزایش مقاومت خاک است. آهک هنگامی کاربرد مناسبی در تثبیت خاک ضعیف دارد که PH خاک بیش از ۱۰ باشد و اگر PH خاک کمتر از ۱۰ بود، برای اصلاح یا تثبیت باید از سیمان استفاده کرد (Asgari et al., 2015; Mohammadi, 2015; Saadat & Bayat, 2022; Sanches et al., 2018; هادی‌زاده و قاسمی، ۱۳۹۹). سراید و همکاران (۲۰۱۳) با تثبیت خاک آلی با استفاده از سیمان و آهک نشان دادند که حضور سیمان و آهک موجب افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های تثبیت شده دارند. همچنین نتایج تحقیقات آنها بیان داشت که با افزایش سیمان و آهک، مقاومت نمونه‌ها افزایش می‌یابد. (Saadat & Bayat, 2022; Saride et al., 2013). علی‌رغم افزایش مقاومتی که خاک ضعیف در بهسازی با سیمان و آهک بدست می‌آورد، طبق مطالعات محققین مختلف، سیمان و آهک اثرات مضری بر محیط زیست داشته اند. این محقیق اذعان داشته اند که سیمان و آهک به عنوان منبع اصلی افزایش ردپای کربن در سراسر جهان می‌باشند (Bildirici, 2019; Chen et al., 2015; Saadat & Bayat, 2022; Worrell et al., 2001).

به جهت کاهش آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از تولید سیمان و آهک، استفاده از پوزولان‌ها به عنوان جایگزین این مواد مورد توجه محققین مختلفی قرار گرفته است. به این منظور محققان به بررسی اثرات جایگزینی حضور مواد پوزولانی با سیمان و آهک پرداخته‌اند که در این میان می توان به کارهای آفراکوتی و همکاران، چناربونی و همکارن و نیز ونگ و همکاران اشاره نمود. (Afrakoti et al., 2020; Chenarboni et al., 2021; Wong et al., 2020). آنها در تحقیقات خود نشان دادند که حضور این مواد به عنوان پر کننده و نیز از سوی دیگر استفاده از روش‌های مکانیکی مانند استفاده از مواد تسلیح کننده هم می‌تواند منجر به بهبود عملکرد خاک شود. الیاف‌های مصنوعی و طبیعی بخشی از این نوع تسلیح کننده‌ها هستند که شامل عناصر گسسته با توزیع تصادفی بوده که بهره گیری از آنها به عنوان المان تسلیح می‌تواند منجر به بهبود رفتار مکانیکی توده خاک شود (Hejazi et al., 2012). آزمایش‌های آزمایشگاهی و برخی از نتایج آزمایش‌های درجا انجام شده توسط محققین گذشته نشان می‌دهد که استفاده از الیاف باعث تقویت مقاومت توده خاک شده است که یک اثر مصنوعی از اثرات پوشش گیاهی را فراهم می‌آورد (Eshaghzadeh et al., 2021; Jewell & Wroth, 1987; Palmeira & Milligan, 1989). با مرور تحقیق‌های گذشته به نظر می‌رسد افزایش طول الیاف، مقاومت خاک بهسازی شده با الیاف را افزایش می دهد با این حال، آنها متذکر شدند که افزایش مقاومت پس از یک طول فیبر آستانه به صورت غیرمتعارف تعدیل می‌یابد همچنین افزایش مقاومت در نمونه‌های تقویت شده با الیاف تابعی از نسبت الیاف و نسبت ابعاد الیاف (نسبت طول به قطر الیاف) تعریف می‌شود (Gray & Ohashi, 1983; Li & Zornberg, 2013). میکالوسکی و سرماک در تحقیقات خود

بیان داشتند که جهت قرارگیری الیاف در مقاومت نمونه مسلح شده خاک متفاوت است. در نمونه‌های حاوی الیاف افقی مقاومت بسیار بیشتر از نمونه‌هایی است که الیاف بصورت قائم قرار می‌گیرد (Michalowski & Zhao, 1996).

جهت تسلیح خاک تثبیت شده با سیمان یا سایر مصالح، رفتار پیچیده‌تری قابل مشاده است.تنگ و همکاران با بررسی نمونه خاک رسی تثبیت شده با سیمان در مجاورت الیاف نشان دادند که حضور سیمان با توجه به ایجاد پیوندهای هیدراتاسیونی بین ذرات خاک، موجب درگیری بیشتر با الیاف شده و در نتیجه مقاومت خاک مسلح شده افزایش یافته است(Tang et al., 2007). حضور الیاف برای خاک‌های تثبیت شده علاوه بر بهبود رفتار مقاومتی آن، منجر به افزایش شکل‌پذیری نمونه نیز شده است (Xiao et al., 2013). رفتار این الیاف در نمونه خاکهای ماسه ای ثبیت شده با سیمان و پوزولان صورت نگرفته و نیاز به مطالعات بیشتر در این زمینه دیده می‌شود.

با این حال، یکی از دلایل استفاده از مصالح مصنوعی کمک به بهبود وضعیت ناگواری است که انسان برای محیط زیست ایجاد نموده است. مقادیر تخمین‌زده شده برای میزان تولید زباله‌های ناشی از لاستیک در جهان در حدود ۱,۱ میلیارد حلفه لاستیک است که تنها در حدود یک سوم آن قابل بازیافت بوده و مابقی آن در طبیعت رها یا دفن شده یا سوزانده می‌شوند که هریک از این موارد منجر به آلودگی محیط زیست خواهند شد. در این میان سهم کشور عزیزمان ایران، در حدود ۷,۲ میلیون حلفه لاستیک بوده است. با توجه به اینکه منابع لازم جهت بهسازی خاک در طبیعت با محدودیت‌هایی مواجه است، استفاده از منابع مصنوعی توسط محققین مختلف مورد اقبال قرار گرفته است. یکی از این نوع از مواد مصنوعی مواد بازیافتی مانند نخاله‌های لاستیک مانند سنگدانه‌ها، پودر و الیاف فلزی و پلاستیکی آن است. راهکارهای متعددی توسط محققین برای استفاده مجدد از این مواد در مصالح مصرفی صنعت راه و ساختمان یا سایر صنایع، جهت جلوگیری از آلودگی محیط زیست پیشنهاد شده است که از آن میان می‌توان به استفاده از پودر لاستیک در تولید لاستیک‌های نو یا قیرهای لاستیکی و یا ایزوگام و موکت و نیز استفاده از دانه‌های لاستیک به عنوان سنگدانه بتن (James et al., 2011) و خاک می‌باشد. با این حال، سایر موارد مانند الیاف سیمی و پلاستیکی آن بدون استفاده در طبیعت رها می‌شوند (صمدیان، ۱۳۹۱). احمدی و همکاران با استفاده از یک روش آزمایشگاهی به بررسی اثرات استفاده از الیاف سیمی در بتن الیافی پرداخته و نشان دادند که حضور این الیاف موجب بهبود برخی از رفتارهای مکانیکی بتن شده است (حمدی و همکاران، ۱۳۹٤). استفاده از این مواد به عنوان تثبیت‌کننده خاک از دو جهت مورد توجه است. حفظ محیط زیست و نیز کاهش هزینه تمام شده آن. استفاده مجدد از این الیاف‌ها موجب جلوگیری از رها شدن آن‌ها در محیط زیست و جلوگیری از آلودگی‌های ناشی از آن در محیط زیست می‌شود. هزینه ارزان بازیافت آن نسبت به تولید مجدد آن نیز از دلایل دیگر استفاده از آن در تثبیت خاک می‌باشد.

در زمینه استفاده از چندین افزودنی و نیز الیاف نیز تحقیقاتی صورت گرفته است. به دلیل گران‌قیمت بودن سیمان به نسبت پوزلان و کاهش آلودگی ناشی از کاهش مصرف سیمان و آهک با جایگزینی آن با پوزولان، رویکرد بسیاری از محققان به استفاده از این افزودنی به عنوان یک جایگزین مناسب برای سیمان و آهک بوده است که از این جمله می‌توان به کارهای ملکی و همکاران (۲۰۲۲) و رنگرزیان، همکاران (۲۰۲۲)، ایوبی‌نژاد و ذبیحیان (۲۰۲۱) و عرب‌زاده و احمدی (۲۰۲۲) اشاره نمود. نشان تحقیقات این محققان نشان از اهمیت و تاثیر موثر حضور پوزولان در کنار سیمان و آهک بوده است.

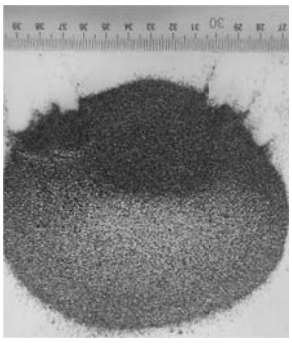
در این تحقیق با توجه به لزوم بررسی اثرات حضور تسلیح کننده در خاک‌های تثبیت شده با سیمان/آهک با پوزولان به بررسی این متغیر در رفتار خاک پرداخته خواهد شد. به این منظور با انتخاب زئولیت به عنوان یک پوزولان فراوان و ارزان در طبیعت به بررسی اثرات آن در خاک تثبیت شده با سیمان/آهک پرداخته شده است. در ادامه به مطالعه نمونه تثبیت شده فوق در مجاورت الیاف تایر لاستیک پرداخته شده است.

۲- مواد و مصالح مصرفی

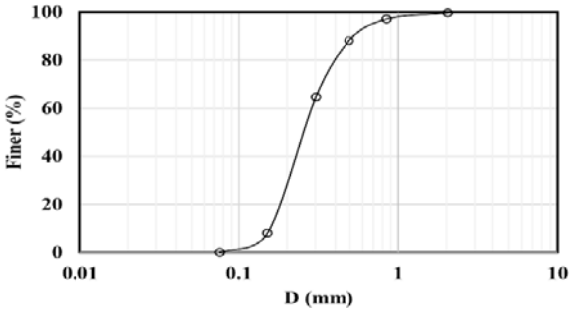
۲-۱-ماسه

ماسه مورد مطالعه در تحقیق حاضر از سواحل بابلسر استان مازندران تهیه شده و دارای دانه‌بندی یکنواخت است (شکل ۱). نمونه‌ای از این ماسه در شکل ۲ ارایه شده است. مشخصات فیزیکی خاک به همراه منحنی دانه بندی آن برطبق استاندارد ASTM-D422 در شکل ۳ و جدول ۱ ارایه شده است.

شکل ۱. محل جمع‌آوری ماسه برای این تحقیق



شکل ۲. ماسه بابلسر مورد استفاده در این تحقیق



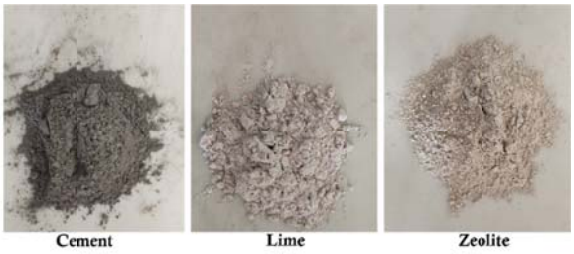
شکل ۳. منحنی دانه‌بندی ماسه بابلسر

جدول ۱. خصوصیات ژئوتکنیکی ماسه بابلسر

چگالی مخصوص	G_s	–	۲/۷۶
میانگین اندازه دانه	D_{50},	mm	۰/۲۴
ضریب انحنا	Cc	–	۱/۳۲
ضریب یکنواختی	Cu	–	۱/۸۱
وزن مخصوص خشک حداکثر	γ_{dmax} ,	kN/m^3	۱۶/۷۸
وزن مخصوص خشک حداقل	γ_{dmin}	kN/m^3	۱۴/۷۸
نسبت تخلخل حداکثر	e_{max}	–	۰/۸۳
نسبت تخلخل حداقل	e_{min}	–	۰/۶۱
نسبت رطوبت بهینه	ω_{opt}	%	۱۲/۴۰

۲-۱-۲- سیمان، آهک و زئولیت

نمونه‌ای از سیمان، آهک و زئولیت در شکل ٤ نشان داده شده و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی هر سه مصالح در جدول ۲ ارایه شده است. در این تحقیق از سیمان پرتلند تیپ ۲ استفاده شده است.



شکل ٤. سیمان، آهک و زئولیت مورد استفاده در این تحقیق

۲-۲- الیاف لاستیک

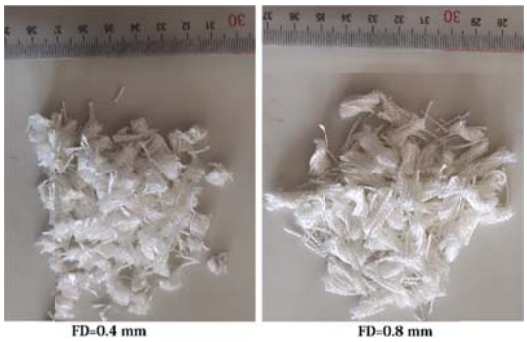
الیاف مورد استفاده در این تحقیق جهت عملیات تثبیت خاک، الیاف لاستیک می‌باشد. یکی از پرکاربردترین الیاف در صنعت خودرو، الیاف لاستیک می‌باشد. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، در این تحقیق از دو نوع الیاف لاستک با قطرهای ۰/٤ و ۰/۸ میلی‌متر استفاده شده است. خصوصیات فیزیکی الیاف مورد استفاده در جدول ۳ ارایه شده است.

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سیمان، آهک و ژئولیت

مشخصات/ترکیبات	زئولیت	آهک	سیمان
وزن مخصوص ویژه	۲/۲۲	۲/۳۳	۳/۱٤
سطح مخصوص ویژه(m^2/kg)	۳۰۰۰۰	۲۸۵	۳۲۰
SiO_2 (%)	۷۲/۱۱	۰/۵	۱۵/۹
Al_2O_3 (%)	۱۱/۵۳	۰/۲	۹/۵
Fe_2O_3 (%)	۲/۸۳	۰/۰۷	٤/۱
CaO (%)	۰/۵۱	-	٦۰/٤
$Ca(OH)_2$ (%)	-	۹٦	-
MgO (%)	۰/٦٤	۰/۸	۰/۹
SO_3 (%)	۰/٤۱	-	٦/٤
Na_2O (%)	۲/۷۲	-	-
K_2O (%)	٦/۱۲	-	۰/۷
L.O.I (%)	۳/۱۳	۲/٤۳	۲/۱

جدول ۳. خصوصیات فیزیکی الیاف لاستیک مورد استفاده

مشخصات	F2	F1
طول الیاف (میلی‌متر)	۸ و ۱٦	۸ و ۱٦
قطر الیاف (میلی متر)	۰/۸	۰/٤
مدول الاستیسیته (کیلوپاسکال)	۳/۱	۲/۹
مقاومت کششی (مگاپاسکال)	٦٤۰	٦۱۰



شکل ۵. الیاف لاستیک مورد استفاده در این تحقیق

۲-۲-آزمایش مقاومت فشاری محصور نشده

در تحقیق حاضر اثر افزودن افزودنی‌های معرفی شده در بالا در درصدهای مختلف بر روی خصوصیات ژئوتکنیکی ماسه بابلسر بررسی شده است. با هدف تهیه نمونه‌ها بر اساس مقدار وزن خاک ماسه‌ای، هر بار درصدهای مشخصی از افزودنی‌های مختلف را به خاک اضافه گردیده است. بعد از آن با اضافه کردن مقدار مشخصی آب به هر یک از نمونه‌ها تا مقدار رطوبت بهینه و دانسیته ظاهری خشک بیشینه متراکم شوند کار ادامه داده شده است. بعد از آماده سازی نمونه‌ها، همانطور که در شکل ٦ نشان داده شده است آنها در نایلون‌هایی قرار داده تا در دمای محیط عمل‌آوری شوند.

همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است، بعد از عمل‌آوری نمونه‌ها آنها را در آخر عمل‌آوری تحت بارگذاری در دستگاه تک محوری قرار داده می‌شود.

شکل ٦. عمل‌آوری نمونه‌ها در محیط آزمایشگاه

شکل ۷. انجام آزمایش تک محوری بر روی نمونه‌ها بعد از عمل‌آوری

۳-تجریه و تحلیل نتایج

برای مطالعه اثرات حضور عملکرد ماسه بهسازی شده با سیمان، آهک، زئولیت و الیاف، چهار گروه از آزمایش‌ها صورت گرفته است:

گروه یک: نمونه‌های تثبیت شده با سیمان یا آهک

گروه دوم: نمونه‌های بهسازی شده با (سیمان یا آهک) و الیاف لاستیک

گروه سوم: نمونه‌های تثبیت شده با مخلوطی از (سیمان یا آهک) و زئولیت

گروه چهارم: نمونه‌های بهسازی شده با مخلوطی از (سیمان یا آهک)، زئولیت و الیاف لاستیک

اصطلاحات بکار رفته در این در جدول ٤ ارایه شده است.

جدول ٤. علائم و اختصارات بکار رفته در مقاله

علامت	شرح
CC	درصد سیمان مصرفی
LC	درصد آهک مصرفی
CT	مدت زمان عمل آوری
FC	درصد الیاف مصرفی
FL	طول الیاف
ZC	درصد زئولیت مصرفی

۳-۱- نمونه‌های تثبیت شده با سیمان یا آهک

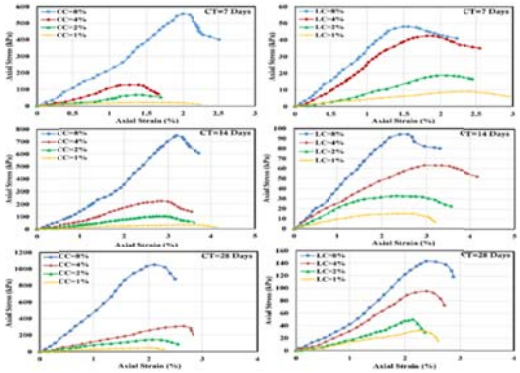
برای مطالعه اثرات حضور سیمان یا آهک در رفتار مقاومتی ماسه، درصدهای مختلفی از این مواد با ماسه بابلسر ترکیب شد. به این منظور نمونه‌ها در زمان‌های مختلفی (۷، ١٤ و ۲۸ روز) تحت شرایط محیطی عمل‌آوری شده و در پایان زمان عمل‌آوری، نمونه‌ها براساس استاندارد ASTM D 2166-87 با دستگاه تک محوری شکسته شد. نتایج بدست آمده در این گروه از آزمایش‌ها در شکل ۸ ارایه شده است. جهت بررسی اثرات جنس مصالح تثبیت در افزایش مقاومت فشاری، در یک مقدار ثابت درصد مصالح تثبیت، مقاومت خاک بهسازی شده با سیمان بسیار بیشتر از خاک تثبیت شده با آهک است. برای زمان عمل‌آوری ۷ روزه، در ۸ درصد مواد افزودنی، مقاومت فشاری نمونه سیمانی در حدود ۱۰۰۰ درصد بیشتر از نمونه آهکی است. با این حال، این تغییرات مقاومت با افزایش سن نمونه تا حدی کاهش می‌یابد. بصورتیکه در زمان عمل‌آوری ۲۸ روزه، اختلاف دو نمونه در حدود ٦٢٠ درصد است. موضوع دیگر در نمونه‌ها، این است که هرچه میزان افزودنی به مصالح بیس (ماسه) بیشتر باشد، اختلاف مقاومت نمونه سیمانی و آهکی بیشتر می شود. این موضوع از ۱ تا ٤ درصد با شیبی ملایم افزایش می‌یابد. اما در حالت ۸ درصد سیمان/آهک اختلاف‌ها به شدت افزایش می‌یابد. در نمونه با ۸ درصد سیمان/آهک در یک روز عمل‌آوری ثابت (مثلاً ۷ روزه)، نسبت به همان نمونه‌ها با ۱ درصد سیمان/آهک، اختلاف بین دو نمونه سیمانی و آهکی در حدود ٦ برابر است. این نتایج در تطابق خوبی با نتایج بدست آمده از تحقیق هادی‌زاده و قاسمی (۱۳۹۹) است.

۳-۲- نمونه‌های بهسازی شده با سیمان و الیاف لاستیک یا آهک و الیاف لاستیک

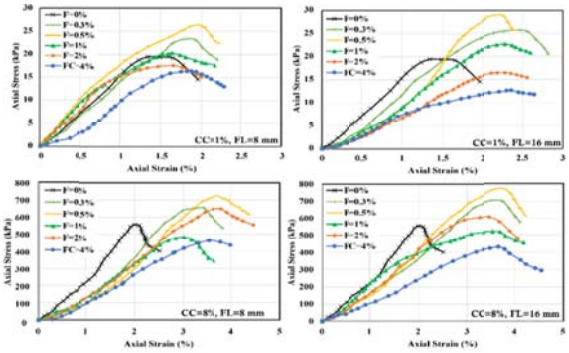
۳-۲-۱-اثرات حضور سیمان و الیاف

اثرات حضور الیاف لاستیک در نمونه‌های حاوی ۱ و ۸ درصد سیمان یا آهک در این بخش مورد بررسی قرار گرفت. لازم بذکر است از دو طول الیاف ۸ و ١٦ میلیمتر و دو قطر الیاف ۰/٤ و ۰/۸ میلی‌متر استفاده شده است. این گروه آزمایش‌ها برای نمونه‌های عمل‌آوری شده در ۷ و ۲۸ روز انجام شده است. مقدار سیمان و آهک نیز برابر ۱ و ۸ درصد در نظر گرفته شده است. در اینجا اثر درصدهای مختلف الیاف ۰، ۰/۳، ۰/۵، ۱، ۲ و ٤ درصد بررسی شده است. نتایج بدست آمده برای نمونه‌های حاوی سیمان و الیاف با قطر ۰/٤ و ۰/۸ میلی‌متر در شکل‌های ۹ و۱۰ ارائه شده است. نمودارهای تنش- کر نش افزایش کرنش متناظر با نقطه شکست را بدلیل اضافه شدن الیاف به نمونه‌های تثبیت شده با سیمان نشان می‌دهد. همانطور که نتایج نشان می‌دهد، افزایش مقدار سیمان

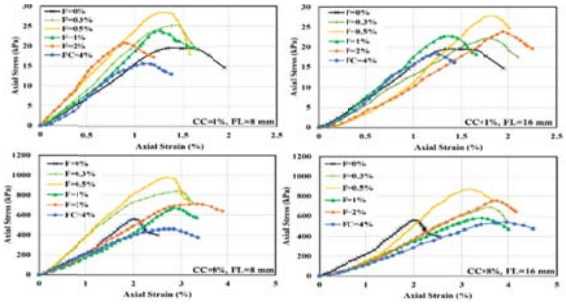
از ۱ به ۸ درصد باعث افزایش چشم‌گیری در مقاومت فشاری نمونه‌ها شده است. در تمامی آزمایش‌ها، مقدار بهینه الیاف ۰/۵ درصد بدست آمده است و بعد از آن افزایش بیشتر الیاف باعث کاهش مقاومت فشاری شده است. برای درصدهای الیاف ۱٪ و کمتر از آن، نمونه‌های حاوی الیاف با طول ۱۶ میلی‌متر مقاومت بیشتری نسبت به نمونه‌های حاوی الیاف با طول ۸ میلی‌متر نشان داده است؛ ولی برای مقادیر الیاف بیشتر از ۱٪، طول الیاف کوچکتر یعنی ۸ میلی‌متر مقاومت بیشتری نشان داده است. این نتایج، نشان دهنده تاثیر متقابل طول و مقدار الیاف دارد که علت این امر در میزان پخش‌شدگی بهتر الیاف در سایز کوچکتر در نمونه‌های با درصد کم الیاف بوده که نتیجه آن، افزایش مقاومت فشاری نمونه بوده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که قطر کوچک‌تر الیاف تقریباً عملکرد بهتری نسبت به قطر بزرگتر داشته است و مقاومت فشاری بیشتری نشان داده‌اند. در یک درصد وزنی و طول الیاف یکسان، تعداد الیاف‌ها در نمونه‌های حاوی الیاف با قطر کوچک‌تر بیشتر بوده و در نقاط بیشتری الیاف با دانه‌های سیمان و ماسه درگیر شده است و باعث شده مقاومت نمونه بیشتر شود.



شکل ۸ مقاومت فشاری حداکثر نمونه‌های تثبیت شده با سیمان یا آهک



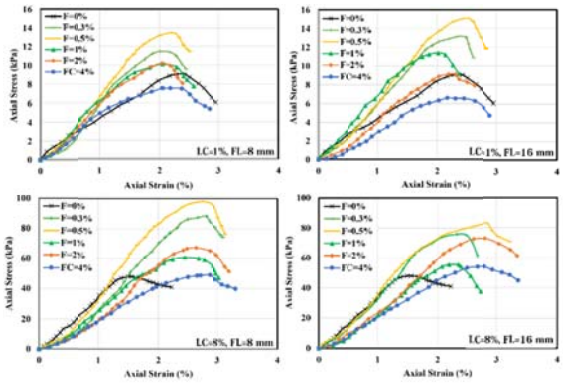
شکل ۹. نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های بهسازی شده با سیمان و الیاف با قطر ۰/٤ میلی‌متر



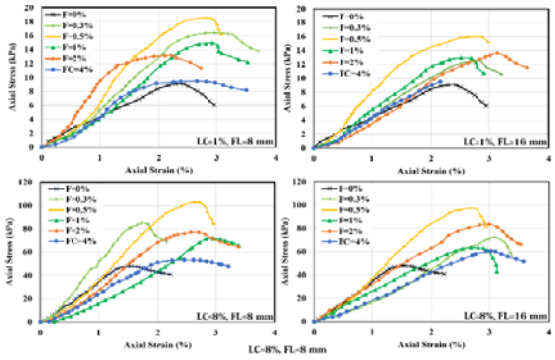
شکل ۱۰. نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های بهسازی شده با سیمان و الیاف با قطر ۰/۸ میلی‌متر

۳-۲-۱- اثرات حضور آهک و الیاف

نمودارهای تنش – کرنش بدست آمده برای نمونه‌های تثبیت شده با آهک در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ ارایه شده است. روند تغییرات نمودارها بدلیل درصدهای مختلف الیاف و آهک تقریبا مشابه نمونه‌های تثبیت شده با سیمان است. اگر چه به ازای یک درصد ثابتی از افزودنی‌ها، نمونه‌های تثبیت شده با سیمان مقاومت فشاری بیشتری نسبت به نمونه‌های تثبیت شده با آهک دارند.



شکل ۱۱. نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های بهسازی شده با آهک و الیاف با قطر ۰/٤ میلی‌متر

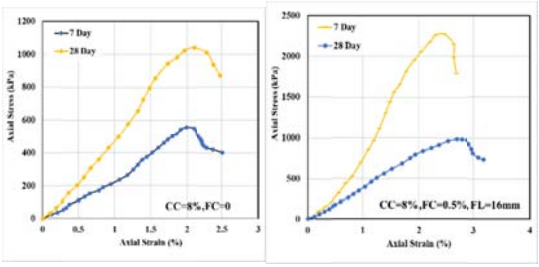


شکل ۱۲. نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه‌های بهسازی شده با آهک و الیاف با قطر ۰/۸ میلی‌متر

روند تغییراتی مشابه در نمونه‌های حاوی آهک با نمونه‌های حاوی سیمان مشاهده می‌شود. در اینجا نیز مقدار الیاف ۰/۵ درصد به عنوان مقدار بهینه شناسایی شده است. طول الیاف ۱٦ میلی‌متر نیز در درصدهای پایین عملکرد بهتری داشته است. اگر چه برای مقادیر الیاف بزرگتر از ۱ درصد روند عکسی مشاهده شده است، یعنی طول الیاف کوچک‌تر مقاومت بیشتری را نشان داده است. افزایش مقدار آهک از ۱ به ۸ درصد نیز باعث افزایش مقاومت فشاری نمونه‌ها شده است. مقایسه نتایج به دست آمده بین نمونه‌های تثبیت شده با آهک و سیمان نشان می‌دهد که در اینجا نیز نمونه‌های حاوی سیمان مقاومت بیشتری نسبت به نمونه‌های حاوی آهک به دست آورده‌اند.

۳-۲-۲-اثرات زمان عمل‌آوری

نتایج بدست آمده برای نمونه‌های بهسازی شده با سیمان و الیاف و همچنین نمونه‌های بهسازی شده با آهک و الیاف عمل‌آوری شده در ۲۸ روز در شکل‌های ۱۳ ارایه شده است. میزان افزایش مقاومت نمونه تثبیت شده با سیمان و الیاف در نمونه عمل‌آوری شده در سن ۲۸ روزه، تا حدود ۱۳٦ درصد بیشتر از نمونه ۷ روزه است. این موضوع درحالی است که نمونه عمل‌آوری شده بدون حضور الیاف این تغییرات در حدود ۸۷ درصد است. این موضوع نشان دهنده اثرات مثبت حضور الیاف در افزایش مقاومت نمونه تثبیت شده در زمان عمل‌آوری نمونه است.

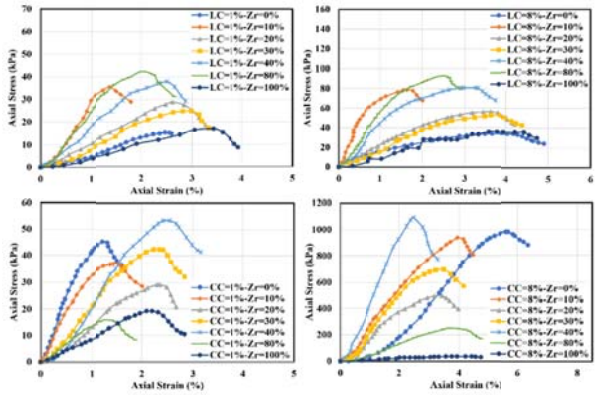


شکل ۱۳. اثرات طول مدت عمل‌آوری بر روی نمونه‌های تثبیت شده با سیمان با و بدون حضور الیاف (۸ درصد سیمان، قطر الیاف ۸ میلی‌متر)

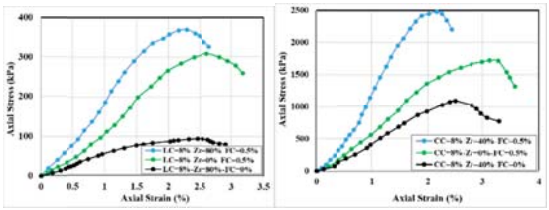
۳-۳- نمونه‌های تثبیت شده با سیمان و زئولیت یا آهک و زئولیت

در این گروه از آزمایش‌ها، مقاومت فشاری نمونه‌های تثبیت شده با سیمان و زئولیت یا آهک و زئولیت بررسی شده است. در واقع درصدهای مختلف زئولیت به جای سیمان و آهک استفاده شده است. درصد سیمان یا آهک نیز برابر ۱ و ۸ درصد در نظر گرفته شده است. آزمایش‌های این گروه در زمان عمل‌آوری ۲۸ روزه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نمودارهای تنش – کرنش این گروه از آزمایش‌ها، در شکل‌های ۱۴ ارایه شده است. همانطور که در نتایج مشخص شده است، درصد جایگزینی زئولیت تاثیر مهمی بر روی کرنش متناظر با نقطه شکست ندارد. همانطور که مشاهده می‌شود، درصدهای مختلف زئولیت اثر مثبتی بر روی نمونه‌های تثبیت شده با آهک داشته و تقریباً این نسبت همیشه بزرگتر از یک است. ولی در نمونه‌های تثبیت شده با سیمان، در بیشتر درصدها این نسبت کوچک‌تر از یک است.

برای نمونه‌های تثبیت شده با آهک تقریباً ۸۰٪ جایگزینی زئولیت به جای آهک، بیشترین مقاومت را نشان داده است. درحالی که برای نمونه‌های تثبیت شده با سیمان، مقدار جایگزینی ۴۰٪ بیشترین مقاومت را نشان داده است.



شکل ۱۴. نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های تثبیت شده با آهک و زئولیت یا سیمان و زئولیت



شکل ۱۵. نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های بهسازی شده با آهک، زئولیت و الیاف یا سیمان، زئولیت و الیاف

٤-نمونه‌های بهسازی شده با آهک، زئولیت و الیاف یا سیمان، زئولیت و الیاف

در این قسمت از آزمایش‌ها، بر اساس مقادیر بهینه الیاف و زئولیت بدست آمده در آزمایش‌های قبلی، مقاومت فشاری نمونه‌های بهسازی شده با آهک، زئولیت و الیاف یا سیمان، زئولیت و الیاف مورد بررسی واقع شده است. نمونه‌ها در این گروه از آزمایش‌ها در سن ۲۸ روزه مورد آزمایش قرار گرفته‌اند که نتایج آن در شکل ۱۵ ارایه شده است. مقدار الیاف برابر ۰/۵ درصد در نظر گرفته شده است. همانطور که نتایج نشان می‌دهد ترکیب بهینه الیاف، سیمان و زئولیت برای نمونه‌های حاوی سیمان و ترکیب بهینه الیاف، آهک و زئولیت برای نمونه‌های حاوی آهک بیشترین مقاومت را نشان داده است.

حضور ۰,۵ درصد الیاف در نمونه سیمانی و زئولیت، موجب افزایش حدود ۱۳۷ درصدی مقاومت فشاری خاک تثبیت شده نسبت به حالتی است که در خاک حاوی سیمان از الیاف استفاده نشده است. همچنین در صورتیکه همین میزان الیاف در نمونه سیمانی فاقد زئولیت، موجب افزایش حدود ٦٧ درصدی نمونه تثبیت شده نسبت به نمونه سیمانی بدون حضور الیاف شده است.

با این حال، حضور ۰,۵ درصد الیاف در نمونه آهکی و زئولیتی موجب افزایش ۲۸۰ برابری نسبت به حالتی است که نمونه آهکی در حضور زئولیت بدون الیاف باشد. در صورت حذف زئولیت این افزایش مقاومت در حدود ۲۰۵ خواهد بود که در هر دو حالت از نمونه سیمانی بسیار بیشتر خواهد بود.
این موضوع بدان معنا نیست که رفتار مکانیکی نمونه آهکی بهتر از نمونه سیمانی است. بلکه این مقایسه نسبت نمونه سیمانی با و بدون زئولیت و همچنین نمونه سیمانی-زئولیتی با و بدون الیاف است. و همچنین همین موضوع در نمونه آهکی و آهکی-زئولیتی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند که در نتیجه این موضوع، مشاهده گردید که علی‌رغم اینکه رفتار مقاومتی نمونه خاک- آهک بسیار کمتر از خاک- سیمان است، با این حال، حضور زئولیت و الیاف موجب بهبود بهتر عملکرد خاک- آهک نسبت به خاک-سیمان می‌گردد.

٥- نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی موردی بهره‌گیری از الیاف و پوزولان به عنوان عناصر بهسازی خاک ماسه‌ای سست پرداخته شده است. به این منظور اثرات پوزولان زئولیت و نیز الیاف لاستیک ماشین در بهبود رفتار مقاومت فشاری خاک ماسه‌ای سست تثبیت شده با سیمان و آهک مورد ارزیابی قرار گرفته که خلاصه نتایج این موضوع به شرح پیوست می‌باشد.

- به منظور بررسی جنس مصالح در رفتار تثبیت خاک ماسه‌ای سیمان و آهک مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج آن نشان دهنده این امر بود که نمونه سیمانی در سن ۷ روزه، در حدود ۱۰۰۰ برابر مقاومت فشاری بیشتری را نسبت به نمونه تثبیت شده با آهک از خود نشان می‌دهد. این موضوع با افزایش زمان عمل‌آوری تا حدودی تعدیل شده و مقاومت نمونه تثبیت شده با سیمان نسبت به نمونه تثبیت شده با آهک در زمان عمل‌آوری ۲۸ روز در حدود ٦٢٠ برابر شد.
- با بررسی اثرات حضور الیاف در نمونه تثبیت شده با سیمان در دو قطر ۰,٤ و ۰,۸ میلی‌متر با دو طول ۸ و ١٦ میلی‌متر، مشاهده گردید که قطر کوچک‌تر الیاف عملکرد بهتری نسبت به قطر بزرگ‌تر داشته و مقاومت فشاری بیشتری نشان داده است. در یک درصد وزنی و طول الیاف یکسان، تعداد الیاف‌ها در نمونه‌های حاوی الیاف با قطر کوچک‌تر بیشتر بوده و در نقاط بیشتری الیاف با دانه‌های سیمان و ماسه درگیر شده است و باعث شده مقاومت نمونه بیشتر شود. برای نمونه‌های تثبیت شده با آهک با شرایط یکسانی از الیاف مانند آنچه در نمونه تثبیت شده سیمانی بکار رفته شد، روند تغییرات نمودارهای مقاومت فشاری مشابه آنچه در نمونه تثبیت شده با سیمان به دست آمد. با این حال، به ازای یک درصد ثابتی از افزودنی‌ها، نمونه‌های تثبیت شده با سیمان مقاومت فشاری بیشتری نسبت به نمونه‌های تثبیت شده با آهک از خود نشان داد. در هر دو حالت سیمان و آهک، مقدار بهینه الیاف بکار رفته در بهسازی خاک، ۰,۵ درصد به دست آمد.
- با بررسی نمونه‌های تثبیت شده با آهک و سیمان در حضور الیاف لاستیک در سنین مختلف به بررسی اثرات حضور الیاف در افزایش مقاومت نمونه بهسازی شده پرداخته شد و نتایج نشان داد که حضور الیاف می‌تواند تا حدود ٥٦ درصد مقاومت نمونه تثبیت شده با سیمان را نسبت به حالتی که الیاف بکار نرفته است، افزایش دهد.
-به منظور بررسی اثرات حضور مواد پوزولان در رفتار مقاومت فشاری خاک، درصدهای جایگزینی مختلفی از زئولیت را با سیمان یا آهک در تثبیت خاک استفاده شد، نتایج نشان دهنده این موضوع است که درصد جایگزینی زئولیت تاثیر مهمی بر روی کرنش متناظر با نقطه شکست نداشته است. درصدهای مختلف زئولیت اثر مثبتی بر روی نمونه‌های تثبیت شده با آهک داشته و تقریباً این نسبت همیشه بزرگ‌تر از یک است. ولی در نمونه‌های تثبیت شده با سیمان، در بیشتر درصدها این نسبت کوچکتر از یک است. برای نمونه‌های تثبیت شده با آهک تقریبا ۸۰٪ جایگزینی زئولیت به جای آهک، بیشترین مقاومت

را نشان داده است. درحالیکه برای نمونه‌های تثبیت شده با سیمان، مقدار جایگزینی ۴۰٪ بیشترین مقاومت را نشان داده است.

- در پایان با مطالعه اثرات توامان سیمان یا آهک و زئولیت و نیز الیاف به مطالعه مقاومت فشاری خاک پرداخته شد که نتایج نمونه ها در سن ۲۸ روزه نشان دهنده حضور ۰٫۵ درصد الیاف در نمونه سیمانی و زئولیت، موجب افزایش حدود ۱۲۷ درصدی مقاومت فشاری خاک تثبیت شده نسبت به حالتی است که از الیاف استفاده نشده است. همچنین در صورتیکه همین میزان الیاف در نمونه سیمانی فاقد زئولیت، موجب افزایش حدود ۵۷ درصدی نمونه تثبیت شده نسبت به حالت بدون حضور الیاف شده است. با این حال، حضور ۰٫۵ درصد الیاف در نمونه آهکی و زئولیتی موجب افزایش ۳۰۱ برابری خاک شده و در صورت حذف زئولیت این افزایش مقاومت در حدود ۲۳۵ خواهد بود که در هر دو حالت از نمونه سیمانی بسیار بیشتر خواهد بود.

با توجه به اهمیت موضوع تثبیت خاک در رفتار مکانیکی خاک، پیشنهاد می‌گردد که مطالعات تکمیلی را با استفاده از مدل فیزیکی خاک و بررسی رفتار ترکیب‌های بکار رفته در تحقیق حاضر در فونداسیون واقعی صورت گرفته و میزان نشست و ظرفیت باربری پی در صورت موارد فوق‌الذکر مورد ارزیابی قرار گیرند. در ادامه می‌توان با مدلهای عددی و صحت‌سنجی مطالب فوق به پیش‌بینی و طرح اختلاف مناسب برای بهسازی خاک‌های مذکور پرداخت.

۶- مراجع

-هادی‌زاده.ح. و قاسمی. م.، (۱۳۹۹)، "ارزیابی و مقایسه تاثیر ضایعات کیسه پلیمری و تایر فرسوده بر خصوصیات مقاومتی ماسه رس‌دار تثبیت شده با سیمان"، جاده، ۲۸ (۱۰۵)، صص.۶۹-۹۲.

-صادق‌پور منفرد. م. رحمانی. ا، و آقایی آرایی. ع.، (۱۴۰۰)، "روش‌های گوناگون تثبیت خاک لایروبی و کربناته"، جاده، ۲۹(۱۰۶)، صص. ۴۲-۱۱.

-احمدی، م. حسنی. آ. و سلیمانی کرمانی. م.ر.، (۱۳۹۴)، "نقش الیاف فلزی بازیافتی از لاستیک خودرو بر بتن حاوی سنگ‌دانه‌های بازیافتی ناشی از نخاله‌های ساختمانی"، تحقیقات بتن، ۷ (۲)، صص. ۶۸-۵۷.

-صمدیان. م.، (۱۳۸۵)، "گزارش بازیافت لاستیک"، وزارت صنایع و معادن، معاونت امور تولید.

-ملکی. ع. رمضانیان‌پور. ا. م. و محمودزاده کنی. ا.، (۱۴۰۱)، "بررسی عملکرد مکانیکی و دوامی بتن خودتراکم حاوی سیمان آمیخته چند پوزولانی"، مهندسی عمران مدرس, ۲۲(۵).

-رنگرزیان. م. مدندوست. ر. محجوب. ر. رفتاری. م.، (۱۴۰۱)، "بررسی تجربی خواص مهندسی بتن پوزولانی تقویت شده با الیاف و ارزیابی اثر ضربه برآن: مطالعه موردی پوزولان معدنی محلی"، مهندسی سازه و ساخت.

-Afrakoti, M. T. P., Choobbasti, A. J., Ghadakpour, M., & Kutanaei, S. S., (2020), "Investigation of the effect of the coal wastes on the mechanical properties of the cement-treated sandy soil. Construction and Building Materials", 239, 117848.

-Asgari, M., Baghebanzadeh Dezfuli, A., & Bayat, M., (2015), "Experimental study on stabilization of a low plasticity clayey soil with cement/lime", Arabian Journal of Geosciences, 8(3), 1439-1452 .

-Bhattacharya, S., Hyodo, M., Goda, K., Tazoh, T., & Taylor, C., (2011), "Liquefaction of soil in the Tokyo Bay area from the 2011 Tohoku (Japan) earthquake", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 31(11), pp.1618-1628.

-Bildirici, M. E., (2019), "Cement production, environmental pollution, and economic growth: evidence from China and USA", Clean Technologies and Environmental Policy, 21(4), pp.783-793.

-Chen, W., Hong, J., & Xu, C., (2015), "Pollutants generated by cement production in China", their impacts, and the potential for environmental improvement. Journal of Cleaner Production, 1, pp.63-69.

-Chenarboni, H. A., Lajevardi, S. H., MolaAbasi, H., & Zeighami, E., (2021), "The effect of zeolite and cement stabilization on the mechanical behavior of expansive soils", Construction and Building Materials, 272, 121630.

-Chu, J., Yan, S., & Zheng, Y., (2006), "Three soil improvement methods and their applications to road construction", Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement, 10(3), pp.103-112 .

-Davoodi, A., Esfahani, M. A., Bayat, M., & Mohammadyan-Yasouj, S. E., (2021), "Evaluation of performance parameters of cement mortar in semi-flexible pavement using rubber powder and nano silica additives", Construction and Building Materials, 302, 124166.

-Eshaghzadeh, M., Bayat, M., Ajalloeian, R., & Hejazi, S. M., (2021), "Mechanical behavior of silty sand reinforced with nanosilica-coated

-Palmeira, E. M., & Milligan, G. W., (1989), "Large scale direct shear tests on reinforced soil", Soils and foundations, 29(1), pp.18-30.
-Saadat, M., & Bayat, M., (2022), "Prediction of the unconfined compressive strength of stabilised soil by Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) and Non-Linear Regression (NLR)", Geomechanics and Geoengineering, 17(1), pp.80-91.
-Salehi, M., Bayat, M., Saadat, M., & Nasri, M., (2021), "Experimental study on mechanical properties of cement-stabilized soil blended with crushed stone waste", KSCE Journal of Civil Engineering, 25(6), pp.1974-1984.
-Sanches, G. M., Magalhães, P. S., Remacre, A. Z., & Franco, H. C., (2018), "Potential of apparent soil electrical conductivity to describe the soil pH and improve lime application in a clayey soil. Soil and Tillage Research", 175, pp.217-225.
-Saride, S., Puppala, A. J., & Chikyala ,S. R., (2013), "Swell-shrink and strength behaviors of lime and cement stabilized expansive organic clays", Applied Clay Science, 85, pp.39-45.
-Seiphoori, A., & Zamanian, M., (2022), "Improving mechanical behaviour of collapsible soils by grouting clay nanoparticles. Engineering Geology", 298, 106538 .
Tang, C., Shi, B., Gao, W., Chen, F., & Cai, Y., (2007), "Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil", Geotextiles and Geomembranes, 25(3), pp.194-202.
-Van Impe, W. F., (1989), "Soil improvement techniques and their evolution".
-Wei, X., & Ku, T., (2020), "New design chart for geotechnical ground improvement: characterizing cement-stabilized sand", Acta Geotechnica, 15(4), pp.999-1011.
-Wong, J. K. H., Kok, S. T & ,.Wong, S. Y., (2020), "Cementitious, pozzolanic and filler materials for DSM binders", Civ. Eng. J, 6(2), pp.402-417.
-Worrell, E., Price, L., Martin, N., Hendriks, C., & Meida, L. O., (2001), "Carbon dioxide emissions from the global cement industry", Annual review of energy and the environment, 26(1), pp.303-329 .
-Xiao, H., Lee, F., Zhang, M., & Yeoh, S., (2013), "Fiber reinforced cement treated clay. Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
M.N. James, W. Choi, T. Abu-Lebdeh, (2011), "use of recycledaggregate and fly ash in concrete pavement", American Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 2 , No. 4, pp.201-208.
ceramic fibers", Journal of Adhesion Science and Technology, 35(23), pp.2664-2683.
-Gray, D. H., & Ohashi, H., (1983), "Mechanics of fiber reinforcement in sand. Journal of geotechnical engineering, 109, pp.335-365.
-Hadi Sahlabadi, S., Bayat, M., Mousivand, M., & Saadat, M., (2021), "Freeze–thaw durability of cement-stabilized soil reinforced with polypropylene/basalt fibers", Journal of Materials in Civil Engineering, 33(9), 04021232 .
-Hausler, E. A & ,.Sitar, N., (2001), "Performance of soil improvement techniques in earthquakes", 4th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, San Diego, USA.
-Hejazi, S. M., Sheikhzadeh, M., Abtahi, S. M., & Zadhoush, A., (2012), "A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers", Construction and Building Materials, 30, pp.100-116 .
Houston, S. L., Houston, W. N., Zapata, C. E., & Lawrence, C., (2001), "Geotechnical engineering practice for collapsible soils", In Unsaturated soil concepts and their application in geotechnical practice, Springer, pp. 333-355.
-Jaritngam, S., (2003), "Design concept of the soil improvement for road construction on soft clay", Proceedings of the eastern Asia society for transportation studies.
Jewell, R., & Wroth, C., (1987), "Direct shear tests on reinforced sand", Geotechnique, 37(1), pp.53-68 .
-Kamruzzaman, A., Chew, S., & Lee, F., (2009), "Structuration and destructuration behavior of cement-treated Singapore marine clay", Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 135(4), pp.573-589.
-Li, C., & Zornberg, J. G., (2013), "Mobilization of reinforcement forces in fiber-reinforced soil", Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 139(1), pp.107-115.
-Michalowski, R. L., & Zhao, A., (1996), "Failure of fiber-reinforced granular soils", Journal of geotechnical engineering, 122(3), pp.226-234.
-Mohammadi, S. D., (2015), "The study of workability of lime on improvement of oil materials contaminated soils around the Tabriz oil refinery", Modares Civil Engineering journal, 15, 223-234 .
-Nicholson, P. G., (2014), "Soil improvement and ground modification methods", Butterworth-Heinemann".

Laboratory Investigation of Road Bed Improvement Using Rubber Fibers, Zeolite, Cement and Lime

Mohammadreza Yabaluei Khamesluei, Ph.D., Student, Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

Meysam Bayat, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

Mohsen Mousivand, Assistant Professor, Gonbad Kavoos Branch, Islamic Azad University, Gonbad Kavoos, Iran.

Amin Nozari, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.

E-mail: bayat.m@pci.iaun.ac.ir

Received: March 2023- Accepted: August 2023

ABSTRACT

Due to the great importance of creating roads in coastal areas in the economy and connecting highways between eastern and western cities, these soils need to be improved. One of the conventional methods to improve the mechanical properties of soils is the use of stabilizers such as lime and cement. Another method that has been used in recent years is the use of synthetic or natural fibers to strengthen soils. Considering the environmental problems created by conventional stabilizers (cement/lime) and also their economic costs, the use of pozzolan, which has a lower cost, can be a suitable solution as a substitute for these materials. Considering the importance of the topic in the field of improvement, in this research, the effect of two types of pozzolanic additives (zeolite) and rubber fibers on the compressive strength of sand samples stabilized with cement and lime has been investigated using a uniaxial test. The results of the tests show that cement has more effective effects than lime in increasing the compressive strength of the soil. The ratio of compressive strength of cement samples to lime samples is about 650%. Also, lime-stabilized fiber-reinforced samples and cement-stabilized fiber-reinforced samples have an increase in compressive strength by about 50 and 110%, respectively, compared to the case of cement or lime-stabilized samples without fibers. Replacing cement and lime with zeolite does not show a change in compressive strength, which indicates a more appropriate behavior from an economic and environmental point of view.

Keywords: Babolsar Sand, Chemical Stabilization, Zeolite, Rubber Fibers, Uniaxial Test