بررسی مقاومت برشی خاک ماسه بادی غنی شده با خاکستر زائد کارخانه سیمان سبزوار

مقاله علمی – پژوهشی

غلامرضا تدین‌فر*، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: rezatadayon@yahoo.com

دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۰– پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵

صفحه ۲۶۴-۲۵۳

چکیده

وجود خاک‌های سست نظیر ماسه بادی‌ها، همواره نگرانی‌هایی را برای تحمل بار وارده بوجود آورده‌اند. عدم تحمل فشار و ضعف مقاومت برشی آنها، مهندسین را ناگزیر از جابجایی محل پروژه و یا پذیرش روش‌هایی پرهزینه همچون شمعکوبی به عنوان راه‌حل‌هایی برای عبور از آنها مجاب نموده است. امروزه مواد افزودنی زیادی مانند پلیمرها، آهک، سیمان و غیره برای بهبود خواص خاک‌ها و بهسازی زمین معرفی شده‌اند؛ اما بهرحال هرکدام با داشتن نقاط ضعف و قوت، مشکلاتی را برای بکارگیری آنها بوجود آورده است. خاکستر کوره سیمان که یکی از محصولات فرعی در فرآیند تولید سیمان است؛ در محل خروجی گازهای آزاد شده از کوره توسط فیلترهای پارچه‌ای یا رسوب کننده الکترواستاتیکی جمع‌آوری می‌شود. ترکیبات این ماده به دلیل تشابه با ترکیبات موجود در سیمان، بخشی از خواص و ویژگی‌های مثبت سیمان را همراه داشته و می‌تواند به علت ارزان بودن در تثبیت خاک‌های ضعیف بکار رود. در این پژوهش تأثیر خاکستر کوره سیمان بر خصوصیات مهندسی خاک نامناسب و ضعیف ماسه بادی مورد بررسی قرار گرفته است، به این صورت که خاکستر کوره سیمان با نسبت‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد با خاک ماسه بادی در مدت زمان‌های عمل‌آوری ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه ترکیب و آزمایش برش مستقیم بر روی آنها انجام شده است. همچنین برای ایجاد شرایط ایده‌آل از آزمایش تراکم پروکتور استاندارد برای بدست آوردن حداکثر وزن مخصوص خشک خاک و رطوبت بهینه برای هر یک از نمونه‌ها استفاده گردید. نتایج این تحقیق بیانگر آنست که نمونه‌های با مقدار ۱۰ درصد خاکستر کوره سیمان در مقایسه با سایر نمونه‌ها، ترکیب ایده‌آل‌تری را بوجود می‌آورند و مقاومت برشی را بیش از ۷ برابر نسبت به نمونه‌های بدون خاکستر کوره سیمان افزایش می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: ماسه بادی، خاکستر زائد کارخانه سیمان، مقاومت برشی، تراکم پروکتور

۱- مقدمه

در علوم مهندسی، خاک، مخلوط غیریکپارچه‌ای از دانه‌های کانی‌ها و مواد آلی فاسد شده می‌باشد که فضای خالی بین آنها توسط آب و هوا اشغال شده است. خاک به عنوان مصالح ساختمانی در طرح‌های مهمی در مهندسی عمران بکار گرفته می‌شود و همچنین شالوده اکثر سازه‌ها بر روی آن متکی است. بسیاری از پروژه‌های عمرانی با خاک‌های نرم مواجهه می‌شوند که به دلیل مقاومت برشی کم و یا نشست زیاد، اصلاح آنها ضرورت می‌یابد. لذا بهبود خواص خاک محل، ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین این هدف عمدتاً به وسیله مواد افزودنی تامین می‌گردد (وفائیان، ۱۳۷۱). لزوم کاهش هزینه ساخت سازه‌های خاکی با توجه به محدودیت در بودجه و سرعت اجرای کار، مهندسین را بر آن می‌دارد که جهت جلوگیری از جابه‌جایی حجم زیاد خاک،

از مصالح محلی، حداکثر استفاده را بنمایند. به‌طورکلی تغییر عملکرد خاک به‌منظور اصلاح کاربرد مهندسی خاک، تثبیت خاک نامیده می‌شود. تثبیت خاک به روش‌های مکانیکی، الکتریکی، حرارتی، شیمیایی و غیره امکان‌پذیر می‌باشد (رحیمی و موسوی، ۲۰۱۶). اگر در پروژه‌های عمرانی با خاک‌هایی مواجه شویم که پتانسیل ضعف و مسئله دار بودن را تحت هر شرایطی داشته باشند، نیازمند بهسازی هستند. انتخاب نوع روش بهسازی به عواملی همچون ظرفیت باربری مورد نیاز خاک بستگی دارد. از جمله روش‌های رایج بهسازی خاک استفاده از سیمان، آهک، قیر و... است که هر کدام نقاط ضعف و قوت مخصوص به خود را دارند (شفابخش و صفا، ۱۳۸٤).

برای بهسازی خاک می‌توان روش‌های گوناگونی از جمله تراکم سطحی، تراکم دینامیکی، روش‌های ارتعاشی عمیق، اختلاط عمیق، تزریق در خاک، استفاده از ریزشمع‌ها، الکترواسمزی، انجماد، خاک مسلح، انفجار و افزودن انواع مواد از قبیل سیمان، مواد نانو، پلیمر، قیر و افزودنی‌های شیمیایی نوین و سایر افزودنی‌ها پیشنهاد داد. انتخاب هریک از این روش‌ها به عوامل متعددی از جمله نوع خاک، درصد ریزدانه، وسعت و عمق بهسازی، مقاومت و تراکم‌پذیری خاک مورد مطالعه، نوع تجهیزات، مصالح و هزینه بهسازی بستگی دارد (خسروی و همکاران، ۱۳۸۹).

۲- پیشینه تحقیق

بهسازی خاک از مفاهیم بسیار مهم و کاربردی در مهندسی ژئوتکنیکی می‌باشد. امروزه از روش‌های بهسازی خاک به طور گسترده‌ای در جهان به منظور تغییر و بهبود خصوصیات خاک استفاده می‌شود. کاربرد این روش‌ها باعث بهبود پارامترهای ژئوتکنیکی خاک، کاهش هزینه، کوتاه شدن زمان اجرا و افزایش طول عمر بهره‌برداری شده و در نهایت منجر به کاهش نشست سازه، بهبود مقاومت برشی خاک و در نتیجه افزایش ظرفیت باربری، افزایش ضریب اطمینان در مقابل لغزش شیروانی خاکریزها و سدهای خاکی، کاهش خصوصیات فشرده شدن و تورم خاک می‌شوند. اگر شرایط ژئوتکنیکی زمین، برای ساخت انواع پی‌های متعارف از نظر پایداری و نشست‌پذیری و در شرایط خاصی آبگذری مناسب نباشد، ضروری است تمهیداتی جهت تثبیت و بهسازی خاک‌ها مدنظر قرار گیرد. به طور کلی در مواجهه با خاک‌های مسئله‌دار در پروژه‌های عمرانی، در صورتی که تصمیم بر آن باشد که پروژه بر روی خاک بستر موجود اجرا گردد، باید برای بهبود شرایط، خصوصیات خاک با روش‌های بهسازی اصلاح گردد. اما با توجه به نقاط ضعف برخی تثبیت‌کننده‌های رایج مثل زمان طولانی گیرش، خوردگی، مقاومت پایین و ... تقاضا برای یافتن جایگزین مناسب جهت رفع این مشکلات افزایش یافته است (اسلامی، ۱۳۹۰).

مهمترین اتفاقی که در اثر بهسازی بوجود می‌آید افزایش مقاومت برشی توده خاک است که می‌تواند برای تحلیل مسائل پایداری خاک نظیر ظرفیت باربری، پایداری شیروانی‌ها و فشار جانبی بر روی سازه‌های حایل خاک، جهت مقابله با گسیختگی یا لغزش در امتداد هر صفحه داخلی بکار آید (طاحونی، ۱۳۹۲).

جعفری و یزدی نشان دادند که با افزایش درصد وزنی ژئوفوم، زاویهٔ اصطکاک داخلی در ماسه کاهش و چسبندگی ظاهری در مخلوط خاک-ژئوفوم افزایش می‌یابد. با افزایش تنش‌های قائم در مخلوط ماسه و ژئوفوم (با درصد وزنی یک‌سان ژئوفوم) مقاومت برشی افزایش می‌یابد (جعفری و یزدی، ۲۰۲۰).

قیاسی و مداح مصالح مازاد صنعتی از قبیل خاکستر بادی و سرباره کوره ذوب‌آهن را برای تثبیت خاک رس مورد استفاده قرار داده و اثر آنها را با مواد افزودنی عرف همچون شیره آهک مقایسه کردند و نتایج خوبی بدست آوردند (قیاسی و مداح، ۱٤۰۱).

در ادامه به پیشینه استفاده از خاکستر کوره سیمان و کاربردهای آن اشاره خواهد شد.

در فرایند تولید سیمان پرتلند، در محل خروج گازها از کوره، مقادیر زیادی خاکستر جمع می‌شود که مقدار کمی از این خاکستر بازیابی شده و به جهت صرفه جویی در سوخت، مجدداً وارد کوره می‌شود و مقدار زیادی از آن دفع می‌گردد. به دلیل تشابه ترکیب این ماده با ترکیبات موجود در سیمان‌های معمولی، می‌توان انتظار داشت بخشی از خواص سیمانی و چسبندگی سیمان‌های پرتلند در این خاکستر وجود داشته باشد (اسلامی، ۱۳۹۰). این ماده شامل همان ترکیبات سیمان پرتلند (سیلیس، آهک و اکسیدهای فلزی) اما با درصدهای متفاوت است که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن به طور قابل توجهی وابسته به مواد خام و فرآیند تولید (نوع کوره، سوخت و جمع آوری خاکستر) است. صنایع تولید سیمان در دنیا حدود ۵/۲ میلیارد تن سیمان تولید می‌کنند. همانگونه که در بیشتر صنایع ساخت، فرآورده‌های فرعی تولید می‌شود، خاکستر کوره سیمان فرآورده‌های فرعی از مراحل تولید سیمان است. در طول سالیان

گذشته، پیشرفت‌های زیادی در مدیریت و استفاده از خاکستر کوره سیمان روی داده است که از جمله آن می‌توان استفاده در لایه‌های روسازی راه‌ها و لندفیل‌ها اشاره کرد. روش‌های تعیین و ارزیابی خصوصیات خاکستر کوره سیمان مناسب برای کاربردهای مختلف در راهنمای استاندارد ASTM5050 برای استفاده تجاری از این ماده داده شده است. بررسی‌های انجمن سیمان پرتلند در سال ۲۰۰۶ نشان داد بیش از نیم میلیون تن خاکستر کوره سیمان برای تثبیت خاک مورد استفاده قرار گرفته است. به دلیل وجود آهک و دیگر تثبیت کننده‌ها در این ماده، از خاکستر کوره سیمان به طور گسترده در تثبیت خاک استفاده می‌شود.

مکلارن و همکاران در تحقیقات خود متوجه شدند سربار خاکستر بادی بطور گسترده‌ای به عنوان مواد پرکننده سازه‌ها و شیروانی‌ها پذیرفته شده است (Mclaren & Digionia, 1987). اسماعیل و بلال با اضافه کردن خاکستر کوره سیمان به دو نوع خاک ریزدانه که از منطقه رود نیل استحصال گردیده بود در درصدهای ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد و انجام آزمایشات بر روی نمونه‌ها مشاهده کردند در هر دو نوع خاک با اضافه کردن خاکستر کوره سیمان، میزان PH افزایش و شاخص خمیری کاهش می‌یابد. در خاک اول که شاخص خمیری متوسطی داشت، وزن مخصوص خشک، کاهش و درصد رطوبت بهینه افزایش یافت و در خاک دوم که خاصیت خمیری بالایی داشت، وزن مخصوص خشک کاهش و رطوبت بهینه نیز کاهش یافت (Ismail & Belal, 2016). کرتی و همکارانش به مطالعه بر روی افزودن خاکستر کوره سیمان به خاک‌های رسی پرداختند. خاک مورد استفاده آن‌ها بسیار ریزدانه بود به نحوی که بیش از ۹۵ درصد خاک آن‌ها از سیلت و رس تشکیل شده بود و آن‌ها فقط از درصدهای صفر و پنجاه درصد خاکستر کوره سیمان برای انجام آزمایشات استفاده کردند. آنها مشاهده نمودند با افزایش میزان خاکستر کوره سیمان از صفر به پنجاه درصد، حداکثر وزن مخصوص خشک خاک کاهش و درصد رطوبت بهینه افزایش یافته و مقاومت فشاری محدود نشده نیز افزایش خواهد یافت (Keerthi, 2013). آل بوسودا و سالم اقدام به اضافه کردن خاکستر کوره سیمان به ماسه و استفاده از این ماده به عنوان تثبیت کننده کردند. ترکیب کردن با خاکستر کوره سیمان این امکان را می‌دهد نمونه‌ها در حداکثر وزن مخصوص خشک کمتر و درصد رطوبت بهینه بالاتر متراکم شوند و همچنین باعث افزایش ضریب چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک خواهد شد. آن‌ها همچنین مشاهده کردند تغییرات در مقاومت برشی بعد از ۱۴ روز عمل‌آوری تقریبا ثابت گردید و در نهایت استفاده از خاکستر کوره سیمان به عنوان تثبیت‌کننده توجیه اقتصادی غیرقابل انکاری دارد (Albusoda & Salem, 2012). انور حسین با اضافه‌کردن خاکستر کوره سیمان به خاک‌های رسی حداکثر تا میزان ۲۰ درصد، به بررسی و تحقیق بر روی این ترکیب پرداختند و آزمایشات حدود اتربرگ، تراکم استاندارد و مقاومت فشاری را روی نمونه‌ها نشان داد اضافه کردن خاکستر کوره سیمان باعث افزایش درصد رطوبت بهینه و کاهش وزن مخصوص خشک خاک‌های رسی می‌شود (Anwar, 2011). حسین با اضافه‌کردن خاکستر کوره سیمان و خاکستر آتشفشانی به خاک‌های رسی و بررسی مقاومت فشاری، مقاومت برشی و مدول الاستیسیته مشاهده نمود اضافه‌کردن این مواد باعث بهبود مقاومت فشاری، مقاومت برشی و مدول الاستیسیته می‌گردد و به این نتیجه رسید افزودن این مواد به خاک‌های رسی باعث بهبود خواص مهندسی آن‌ها می‌گردد (Hossain & Mol, 2011). سریع السیری و همکارانش با اضافه‌کردن خاکستر کوره سیمان به دو نوع خاک که از ایالت واشنگتن آمریکا بدست آمده بود در درصدهای صفر، ۵، ۱۰ و ۲۰ به این دو نوع خاک و انجام آزمایشات حدود اتربرگ، تراکم استاندارد و مقاومت فشاری محصور نشده و مقایسه این نتایج با نمونه‌های تثبیت شده با سیمان، مشاهده کردند هر دوی این تثبیت‌کننده‌ها باعث افزایش درصد رطوبت بهینه و کاهش حداکثر وزن مخصوص خشک می‌شوند. همچنین مشاهده نمودند نمونه‌های تثبیت شده با خاکستر کوره سیمان نسبت به نمونه‌های تثبیت شده با سیمان دارای مدول الاسیسیته و مقاومت فشاری محصور نشده کمتری بودند. با این حال آنها استفاده از آن را برای تثبیت خاک‌ها توصیه نمودند (Sariosseiri, 2011). سولانکی و زمان به مطالعه بر روی تاثیر اضافه آهک و خاکستر کوره سیمان به خاک‌های رسی پرداختند. آنها یک نمونه خاک، خاک رسی سولفاته و خاک رسی غیر سولفاته را استفاده کردند و درصدهای مختلفی از آهک و خاکستر کوره سیمان را با این دو نمونه خاک مخلوط کردند. این نمونه‌ها به مدت ۲۸ روز در حرارت و رطوبت کنترل شده نگهداری شده و در پایان ۲۸ روز آزمایشات حدود اتربرگ و مقاومت فشاری محدود نشده بر روی آنها انجام گردید. آنها مشاهده نمودند آهک در مقایسه با خاکستر کوره سیمان عملکرد بهتری در کاهش خواص خمیری خاک از خود نشان

می‌دهد درحالیکه آزمایشات مقاومت فشاری محصور نشده، نمونه‌های ترکیب شده با خاکستر کوره سیمان از خود عملکرد بهتری نشان دادند (Solanki & etc, 2009). پیتامیاران و اولک با اضافه کردن چهار درصد مختلف خاکستر کوره سیمان به رس مونت موریونیت و انجام آزمایشات حدود اتربرگ، میزان PH و مقاومت فشاری محصور نشده و مقایسه آن‌ها با خاک تثبیت نشده مشاهده کردند در هر چهار مورد، شاخص خمیری به میزان قابل توجهی کاهش و باعث افزایش کارایی رس گردیدند. همچنین آنها متوجه شدند افزایش خاکستر کوره سیمان باعث افزایش PH رس و افزایش مقاومت فشاری محصور نشده شده بود. در نهایت آنان به این نتیجه رسیدند مدت زمان عمل‌آوری تاثیر بسزایی در روند تثبیت دارد (Pethamparan & Olec, 2008). در سال ۲۰۰۸ کمیته صنایع سیمان و همکاران با توجه به تولید بسیار زیاد سیمان که بر اساس تحقیقات آنها در سال ۲۰۰۶ در ایالات متحده ۹۹/۸ میلیون تن سیمان و در کل جهان ۲۵ میلیارد تن سیمان تولید شده، به این نکته دست یافتند که مقدار خاکستر کوره سیمان تولید شده نیز بسیار زیاد و چشم‌گیر است و با بررسی این ماده راه‌هایی برای استفاده از آن پیشنهاد دادند که یکی آنها، استفاده از خاکستر کوره سیمان بجای سیمان در تثبیت خاک است (Rossi & etc, 2012). پارسون و همکاران خاکستر کوره سیمان را به عنوان یک جایگزین آهک و سیمان در نظر گرفتند و خاکستر کوره سیمان را با چند نمونه خاک ترکیب و مشاهده نمودند افزایش میزان خاکستر کوره سیمان باعث افزایش مقاومت فشاری و برشی و کاهش تورم می‌گردد. البته درصدهایی که آنها در نظر گرفتند از ۱/۵ تا ۷ درصد خاکستر کوره سیمان را شامل می‌شد (Parsons & Kneebone, 2004). میلر و آزاد با اضافه‌کردن خاکستر کوره سیمان به خاک ریزدانه به عنوان یک تثبیت‌کننده و انجام آزمایش مقاومت فشاری و دیگر آزمایشات به این نتیجه رسیدند افزودن خاکستر کوره سیمان باعث افزایش مقاومت فشاری می‌گردد. همچنین در خاک‌هایی که شاخص خمیری بالایی دارند باعث کاهش شاخص خمیری می‌گردد. آن‌ها همچنین با انجام آزمایش PH مشاهده کردند با افزایش خاکستر کوره سیمان PH خاک نیز افزایش می‌یابد (Miller & Azad, 2000). بغدادی و همکارانش با توجه به این نکته که خاکستر کوره سیمان یک ماده زائد صنعتی می‌باشد و انبار و دپو کردن آن مشکلات زیادی از لحاظ سلامتی و زیست محیطی به وجود می‌آورد، استفاده از آن را به عنوان یک ماده تثبیت‌کننده برای خاک مورد بررسی قرار دادند و درصدهای مختلفی از خاکستر کوره سیمان را با خاک مربوطه مخلوط کردند. همچنین دوره‌های عمل‌آوری ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه را در نظر گرفته و آزمایش‌های مختلفی از جمله ظرفیت باربری کالیفرنیا و مقاومت فشاری محصور نشده را انجام دادند. نتایج آنها نشان داد بین درصدهای ۱۲ تا ۵۰ درصد، خاکستر کوره سیمان ممکن است رضایت‌بخش باشد و برای درصدهای ۷۵ و ۱۰۰ درصد مقاومت بالایی را ایجاد می‌کند ولی به هیچ وجه الزامات دوام را رعایت نمی‌کند (Baghdadi & etc, 1995). بغدادی و رحمان به مطالعه تاثیر افزودن خاکستر کوره سیمان بر روی ماسه پرداختند. آزمایشات آن‌ها با ۰، ۲۵، ۷۵ و ۱۰۰ درصد خاکستر کوره سیمان انجام پذیرفت و آزمایش‌های حداکثر وزن مخصوص خشک، درصد رطوبت بهینه، مقاومت فشاری زهکشی نشده و ظرفیت باربری کالیفرنیا روی نمونه‌ها انجام پذیرفت. نتایج نشان داد به علت بهبود پارامترهای خاک می‌توان از خاکستر کوره سیمان برای تثبیت مصالح پایه در ساخت بزرگراه‌ها استفاده نمود (Baghdadi & Rahman, 1990). بررسی تحقیقات پیشین نشان می‌دهد خاکستر کوره سیمان می‌تواند تاثیرات قابل توجهی بر مشخصات خاک بگذارد لذا در این تحقیق خاکستر کوره سیمان در کارخانه سیمان سبزوار مورد بررسی قرار خواهد گرفت و تاثیر این ماده بر مشخصات ماسه بادی ارزیابی خواهد شد.

۳- مصالح مورد استفاده

۳-۱- خاک ماسه بادی

خاک مورد استفاده در این تحقیق ماسه بادی است. این خاک که در شکل شماره ۱ نشان داده شده است از روستای ثقیه شهرستان سبزوار از توابع بخش ششتمد برداشت و به آزمایشگاه منتقل شده است. خاک‌های ماسه بادی ذرات ریز سنگ هستند که توسط فرسایش طبیعت به ذرات ریزتری تبدیل شده‌اند. این سنگ‌ریزه‌ها آنقدر سبک هستند که در کویر توسط باد، جابه‌جا می‌شوند. در طبیعت معمولاً در جاهایی که نوسانات دمایی و باد و یا سایش آب، بصورت ممتد باشد (مانند کویرها، سواحل دریا و رودخانه‌ها) ماسه بادی هم فراوان خواهد بود (بهنیا و طباطبایی، ۱۳۷۸).

این خاک به صورت دست‌خورده جهت انجام تحقیقات انتخاب شده است.

شکل ۱. خاک مورد استفاده از روستای ثقیه سبزوار

۳-۲- خاکستر کوره سیمان

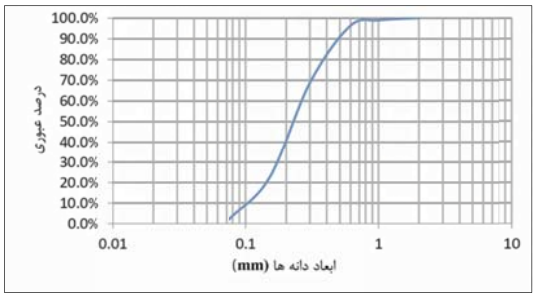
برای تهیه ماده تثبیت‌کننده، خاکستر کوره سیمان از کارخانه سیمان لار سبزوار واقع در غرب استان خراسان رضوی، شهر سبزوار، در کیلومتر ۷۰ جاده قلعه‌نو روداب در منطقه پروند استفاده شد. تولیدی سیمان این کارخانه از نوع تیپ ۲ است که در مقایسه با سیمان نوع ۱ به دلیل محدودیت فاز آلومینات و کمتر بودن فاز C_3S مقاومت فشاری اولیه و نهایی کمتری دارد. از این نوع سیمان در مواردی که حرارت هیدراتاسیون متوسط و مقاومت در برابر حمله سولفات‌های در حد متوسط، لازم باشد، به کار خواهد رفت. در این سیمان که سبب ایجاد خواص ویژه مزبور می‌شود، سیمان تیپ ۲ معمولاً کندتر از سیمان تیپ ۱ سفت می‌شود و در گیرش حرارت کمتری تولید می‌کند. از این سیمان می‌توان در ساختمان‌های حجیم استفاده نمود تا هنگام گرفتن بتن، حرارت کمتری ایجاد گردد و حجم بتن‌ریزی محدود نشود.

٤- آزمایشات

جهت شناسایی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک موردنظر، آزمایش‌هایی انجام شده که در ادامه به جزئیات و نتایج آن‌ها پرداخته می‌شود.

٤-۱- آزمایش دانه‌بندی خاک ماسه‌ای

طبق استاندارد ASTM D6913 مقدار سه کیلوگرم از خاک خشک شده انتخاب و توسط دستگاه شیکر به مدت ۱۰ دقیقه الک گردید. سپس جرم خاک‌هایی که روی هر یک از الک ها باقی مانده بود، توسط ترازویی با دقت بالا اندازه‌گیری و نتایج حاصله در شکل شماره ۲ در قالب منحنی دانه‌بندی ارائه شد. با توجه به نمودار دانه بندی، D_{60} برابر ۰/۲۷ میلیمتر، D_{30} برابر ۰/۱۷میلیمتر و D_{10} برابر با ۰/۱ میلی‌متر می‌باشد. بنابراین براساس روابط ضریب یکنواختی و ضریب انحناء خاک، این دو پارامتر بترتیب برابر ۷/۲ و ۱/۱ هستند. همچنین براساس مشخصات این خاک، نام خاک در سیستم نامگذاری متحد، SP (ماسه بد دانه‌بندی) خواهد بود.



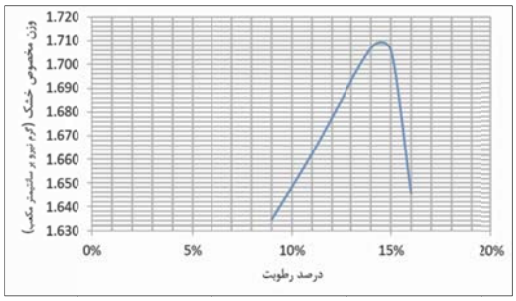
شکل ۲. نمودار دانه بندی خاک

٤-۲- حدود اتربرگ

با توجه به ماسه‌ای بودن خاک و به علت پایین بودن تعداد ضربات برای به هم رسیدن شیار در تمامی دفعات تکرار آزمایش با دستگاه کاساگرانده (کمتر از ۱۵ ضربه) نتیجه می‌شود این خاک فاقد خاصیت روانی است. همچنین به علت پایین‌بودن درصد رس درون این خاک، امکان ساخت فتیله میسر نشد؛ بنابراین خاک مذکور فاقد خاصیت خمیری نیز می‌باشد.

٤-۳- آزمایش تراکم پروکتور

جهت تعیین درصد رطوبت بهینه و وزن مخصوص حداکثر خاک، آزمایش تراکم پروکتور مطابق با استاندارد ASTM D698—87 انجام شده است. نتایج این ازمایش در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳. نتایج آزمایش تراکم

با توجه به منحنی شکل ۳، مقدار رطوبت بهینه خاک برابر ۱٤/۵ درصد و وزن مخصوص حداکثر خشک خاک برابر ۱/۷۱ گرم نیرو بر سانتیمتر مکعب بدست می‌آید.

٤-٤- آنالیز ترکیبات خاکستر کوره سیمان و ترکیبات سیمان پرتلند تیپ ۲

در جدول شماره ۱ مشاهده می‌شود میزان اکسیدهای فلزی در ترکیبات خاکستر کوره سیمان کمتر از ترکیبات سیمان پرتلند تیپ ۲ است. از آنجایی که اکسید این فلزات باعث ایجاد واکنش‌های پوزولانی می‌شود و شبیه به یک چسب طبیعی عمل می‌کنند، بنابراین نمی‌توان انتظار داشت خاکستر کوره سیمان مانند سیمان، چسبندگی قابل قبولی در ساخت نمونه ایجاد کند. بعلاوه به علت اینکه این ماده در دمای کمتر از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد تصعید می‌شود و توسط فیلترهای پارچه‌ای در کوره جمع‌آوری می‌گردد، هرگز دمای بالای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد را دریافت نمی‌کند و میزان مواد فرار (L.O.I) زیادی دارند که ۳۳ درصدکل این خاکستر را تشکیل می‌دهد. این در حالی است که در سیمان مقدار ناچیزی در حدود ۲ درصد از این مواد فرار یافت می‌شود.

جدول ۱. ترکیبات خاکستر کوره سیمان و ترکیبات سیمان پرتلند تیپ ۲

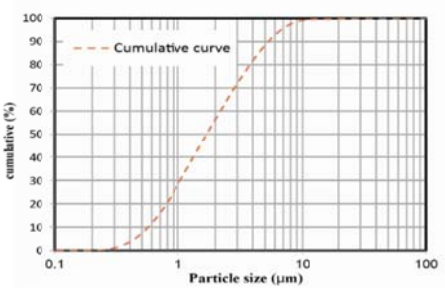
ترکیبات تشکیل دهنده	درصد وزنی	
	خاکستر کوره سیمان	سیمان پرتلند تیپ دو
SiO2	۹/۸۲	۲۱/٦۸
Al_2O_3	۳/٦٤	۵/۲۱
Fe_2O_3	۲/۱۹	۳/۰۱
CaO	٤۰/۱	٦۵/۳
MgO	۱/۹۷	۱/۵۷
SO_3	۱/۱۸	۰/۱۲
Na_2O	۲/۳۸	۰/۱۳
K_2O	٤/٦۷	۰/٤۵
C1	۰/۵۹۱	۰/٤۳
L. O. I	۳۳/٤۹	۲/۰۸

٤-۵- آزمایش آنالیز اندازه ذرات

آزمایش آنالیز اندازه ذرات، به منظور آنالیز سریع شکل و اندازه ذرات در پودرها و مواد جامد توده‌ای می‌باشد. اندازه‌گیری آن، طیف بسیار گسترده‌ای را شامل می‌شود و از ۲۰ میکرون تا ۲۰ میلی‌متر متغیر است. همچنین دقت اندازه‌گیری آن بسیار بالا و برابر یک میکرون به عبارتی برابر یک هزارم میلی‌متر است. دستگاه آزمایش آنالیز دینامیکی که در شکل شماره ٤ نشان داده شده است قادر است به شکل اتوماتیک ۳۰ تصویر در ثانیه تهیه کند. نمونه تحت آزمایش در طول انجام آزمایش، کاملاً دست نخورده باقی می‌ماند و تخریب نمی‌شود.

شکل ٤. دستگاه آنالیز اندازه ذرات

نتایج آزمایشات در قالب منحنی دانه‌بندی در شکل شماره ۵ ارائه شده است. بر اساس این شکل، اندازه ذرات خاکستر کوره سیمان از ۱۰ میکرون کمتر است.



شکل ۵. دانه‌بندی خاکستر کوره سیمان

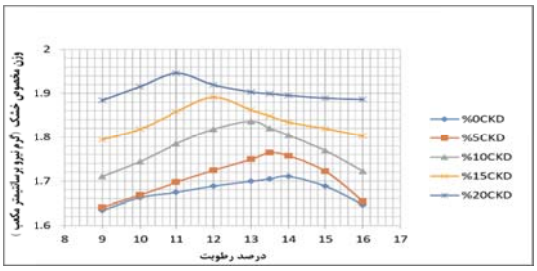
تهیه نمونه و انجام آزمایش تراکم استاندارد

با توجه به آزمایشات بخش قبل، این تحقیق در پی بدست‌آوردن مقدار بهینه خاکستر کوره سیمان در مجاورت با خاک ماسه بادی به عنوان روشی برای بهبودبخشی به ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک است. یکی از مهمترین این ویژگی‌ها بدست آوردن پارامترهای مقاومت برشی نمونه‌های ساخته شده با استفاده از آزمایش برش مستقیم در زمان‌های عمل‌آوری است. برای تهیه نمونه‌های موردنظر، ابتدا خاک ماسه بادی با مقادیر ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد خاکستر کوره سیمان ترکیب شد و به منظور تهیه نمونه‌های مورد نیاز برای آزمایش برش مستقیم، درصد رطوبت بهینه به روش تراکم استاتیکی با کمک آزمایشات تراکم استاندارد

بر روی تک‌تک ترکیب‌های خاک با درصدهای مختلف خاکستر کوره سیمان انجام پذیرفت. نتایج موردنظر در جدول شماره ۲ و شکل شماره ٦ ارائه شده است.

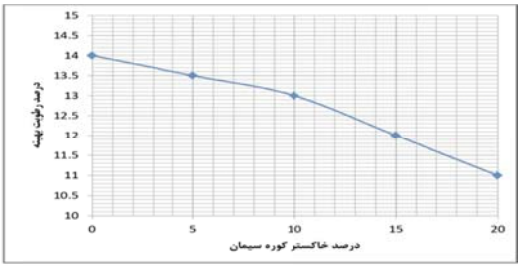
جدول ۲. تاثیر خاکستر کوره سیمان بر درصد رطوبت بهینه و وزن مخصوص خشک خاک ماسه بادی

درصد خاکستر کوره سیمان	درصد رطوبت بهینه	وزن مخصوص خشک حداکثر (گرم بر سانتی متر مکعب)
۰	١٤	١/٧١
٥	١٣/٥	١/٧٦٤
١٠	١٣	١/٨٣٦
١٥	١٢	١/٨٩١
٢٠	١١	١/٩٤٦

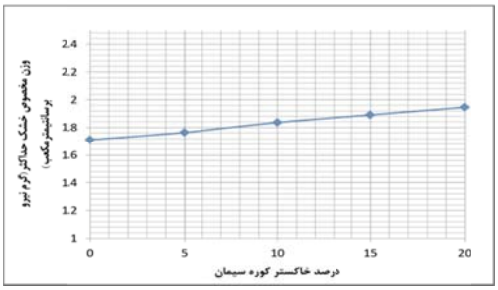


شکل ٦. تراکم نمونه‌های ترکیبی خاک ماسه بادی با خاکستر کوره سیمان

در شکل‌های ۷ و ۸ بترتیب نتایج تغییرات بهینه خاک ماسه بادی ترکیب شده با درصدهای مختلف خاکستر کوره سیمان و تغییرات وزن مخصوص خشک خاک ماسه بادی ترکیب شده با درصدهای مختلف خاکستر کوره سیمان ارائه شده است. براساس این دو شکل، می‌توان نتیجه گرفت با افزایش مقدار خاکستر کوره سیمان به خاک ماسه بادی، رطوبت بهینه خاک کاهش و وزن مخصوص آن افزایش می‌یابد.



شکل ۷. تغییرات بهینه خاک ماسه بادی ترکیب شده با درصدهای مختلف خاکستر کوره سیمان



شکل ۸. تغییرات وزن مخصوص خشک خاک ماسه بادی ترکیب شده با درصدهای مختلف خاکستر کوره سیمان

آزمایشات برش مستقیم برای نمونه‌های شاهد و نمونه‌های ترکیب شده با خاکستر کوره سیمان

آزمایش برش مستقیم که یکی از قدیمی ترین آزمایش‌های تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک است؛ می‌تواند به علت سادگی و نیز اقتصادی بودن برای خاک‌های ماسه‌ای خشک و اشباع بکار رود. در این آزمایش تنش‌های قائم و افقی وارد بر سطحی که در آن گسیختگی رخ می‌دهد در سراسر آزمایش، بطور مستقیم کنترل می‌شود و معیار گسیختگی موهر– کولمب به عنوان مدل رفتاری الاستیک، جهت تعیین پارامترهای مقاومت برشی که همان زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی خاک هستند مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای آنکه میزان انرژی تراکم اعمال شده در تمام آزمایشات یکسان باشد با بدست آوردن وزن مخصوص خشک، وزن خاک مرطوبی که باید متراکم گردد از رابطه شماره ۱ بدست می‌آید.

$$\gamma_d = \frac{W}{V * (1 + \omega)} \qquad (۱)$$

که در این رابطه، W وزن خاک مورد نظر جهت قراردادن داخل جعبه، ω رطوبت مد نظر برای انجام آزمایش و V حجم جعبه برش مستقیم است که در پژوهش حاضر برابر ٤٣٠ سانتی‌مترمکعب می‌باشد. سپس آزمایشات لازم برای سه تنش نرمال (σ_n) ٥٠، ١٠٠ و ١٥٠ کیلوپاسکال، با سرعتی برابر یک میلیمتر بر دقیقه انجام شد.

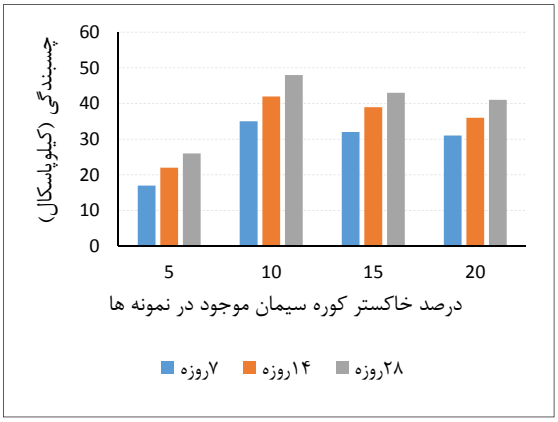
مطابق این آزمایش، مقادیر تنش برشی (τ) برای نمونه‌های شاهد برای تنش‌های نرمال فوق به ترتیب برابر ٤/٥، ٩ و ١٣/٥ کیلوپاسکال بدست آمدند. با توجه به درصد رطوبت بهینه و مقادیر مختلف خاکستر کوره سیمان، نمونه‌ها ساخته و بعد از طی زمان ۱۲ ساعت که نمونه‌ها خشک شدند؛ برای عمل آوری به مدت ۷، ١٤ و ٢٨ روز در داخل حوضچه‌های آب قرار گرفتند.

پس از سپری شدن زمان‌های فوق، تک‌تک نمونه‌ها در داخل جعبه دستگاه برش مستقیم قرار داده شدند و آزمایش بر روی آنها انجام گرفت. آزمایش برش مستقیم بصورت تحکیم نیافته‌ی زهکشی نشده (تند) انجام شد و با رسم پوش گسیختگی موهر-کلمب، مقادیر پارامترهای مقاومت برشی (زاویه اصطکاک داخلی خاک ϕ و چسبندگی خاک C) بدست آمدند. نتایج حاصل از این آزمایشات در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

در شکل‌های ۹ و ۱۰ بترتیب نتایج چسبندگی نمونه‌های تثبیت شده با درصدهای مختلف خاکستر کوره سیمان و زاویه اصطکاک نمونه‌های تثبیت شده با درصدهای مختلف خاکستر کوره سیمان در دوره‌های عمل‌آوری مختلف ارائه شده است. براساس شکل شماره ۹، مشاهده می‌شود در خاک ماسه بادی، افزایش درصد خاکستر کوره سیمان به عنوان ماده تثبیت‌کننده، موجب افزایش چسبندگی نمونه‌ها در تمام دوره‌های عمل‌آوری می‌شود.

جدول ۳. نتایج پارامترهای مقاومت برشی نمونه‌های تثبیت شده با خاکستر در دوره‌های عمل‌آوری مختلف

درصد خاکستر کوره سیمان	دوره عمل‌آوری	چسبندگی (کیلوپاسکال)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
۰	–	۰	۵
۵	۷	۱۷	۸
	۱۴	۲۲	۱۲
	۲۸	۲۶	۱۵
۱۰	۷	۳۵	۱۳
	۱۴	۴۲	۱۵
	۲۸	۴۸	۱۸
۱۵	۷	۳۲	۱۳
	۱۴	۳۹	۱۴
	۲۸	۴۳	۱۵
۲۰	۷	۳۱	۱۰
	۱۴	۳۶	۱۲
	۲۸	۴۱	۱۳



شکل ۹. چسبندگی نمونه‌های تثبیت شده با درصدهای مختلف خاکستر کوره سیمان در دوره‌های مختلف عمل آوری

اما با توجه به شکل شماره ۱۰، زاویه اصطکاک داخلی خاک ماسه بادی با افزودن خاکستر کوره سیمان تقریباً ثابت می‌ماند که دلیل آن می‌تواند عدم ایجاد قفل و بست بیشتر دانه‌ها و ذرات خاک با یکدیگر و احاطه شدن با سیمان باشد.

در این بخش به جمع‌بندی خروجی نتایج بدست‌آمده از آزمایشات برش مستقیم میزان خاکستر کوره سیمان و اثرات دوره عمل‌آوری بر روی مقاومت برشی نمونه‌های تثبیتی پرداخته خواهد شد.

شکل ۱۰. زاویه اصطکاک نمونه‌های تثبیت شده با درصدهای مختلف خاکستر کوره سیمان در دوره‌های عمل‌آوری مختلف

تاثیر دوره‌های عمل‌آوری بر پارامترهای C و ϕ نمونه‌های تثبیتی

همانطور که از نتایج بدست آمده در شکل‌های ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود چسبندگی نمونه‌ها با افزایش دوره‌های عمل‌آوری در تمام

درصدهای افزودن خاکستر کارخانه سیمان، افزایش می‌یابد ولی زاویه اصطکاک داخلی نمونه‌ها در طول این دوره‌ها تغییرات محسوسی پیدا نمی‌کنند.

تاثیر درصد خاکستر کوره سیمان بر مقاومت برشی نمونه‌های تثبیتی

با توجه به مقادیر بدست آمده برای چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی نمونه‌ها، مقاومت برشی آنها براساس رابطه موهر-کلمب محاسبه شده و نتایج حاصله برای دوره‌های عمل‌آوری ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه بترتیب در جداول ٤، ٥ و ٦ ارائه شده است. با توجه به این جداول مشاهده می‌شود مقاومت برشی نمونه‌ها در حالت بهینه فقط با افزودن ۱۰ درصد خاکستر کوره کارخانه سیمان بدست می‌آید و مقادیر کمتر یا بیشتر از این میزان، مقاومت‌های برشی کمتری را نشان می‌دهد.

جدول ٤. مقاومت برشی خاک‌های ترکیب شده با خاکستر سیمان برای دوره عمل‌آوری ۷ روزه

درصد خاکستر کوره سیمان	مقاومت برشی خاک ماسه بادی در دوره ۷ روزه (کیلوپاسکال)		
	تنش نرمال برابر ۵۰ کیلوپاسکال	تنش نرمال برابر ۱۰۰ کیلوپاسکال	تنش نرمال برابر ۱۵۰ کیلوپاسکال
۵	۲٤/۵	۲۸	۳۱/۵
۱۰	۳۷	٤٦	٦۱
۱۵	٤۰	٤۵	۵۷
۲۰	۳٦/۵	٤۱	۵۷/۵

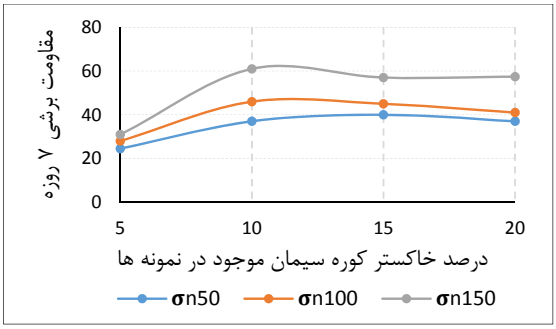
جدول ۵. مقاومت برشی خاک‌های ترکیب شده با خاکستر سیمان برای دوره عمل‌آوری ۱٤ روزه

درصد خاکستر کوره سیمان	مقاومت برشی خاک ماسه بادی در دوره ۷ روزه (کیلوپاسکال)		
	تنش نرمال برابر ۵۰ کیلوپاسکال	تنش نرمال برابر ۱۰۰ کیلوپاسکال	تنش نرمال برابر ۱۵۰ کیلوپاسکال
۵	۳۲/۵	۳۷	۵۳/۵
۱۰	۵۲	٦۹	۷٦
۱۵	۵۱	٦۵	۷۲
۲۰	٤٦/۵	٦۱	٦٦/۵

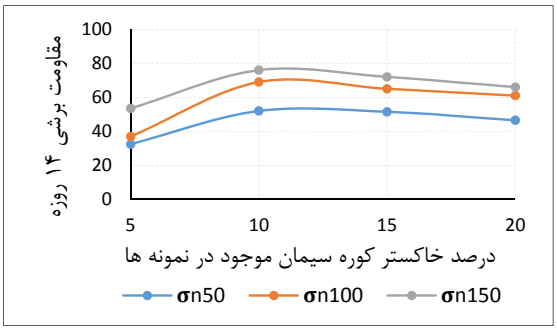
جدول ٦. مقاومت برشی خاک‌های ترکیب‌شده با خاکستر سیمان برای دوره عمل‌آوری ۲۸ روزه

درصد خاکستر کوره سیمان	مقاومت برشی خاک ماسه بادی در دوره ۷ روزه (کیلوپاسکال)		
	تنش نرمال برابر ۵۰ کیلوپاسکال	تنش نرمال برابر ۱۰۰ کیلوپاسکال	تنش نرمال برابر ۱۵۰ کیلوپاسکال
۵	۳۹/۵	٤۳	۵۱/۵
۱۰	٦٤/۵	۷۱	۸٦/۵
۱۵	٦۲	۷۲	۸۰
۲۰	٦۰	٦٤	۷۵

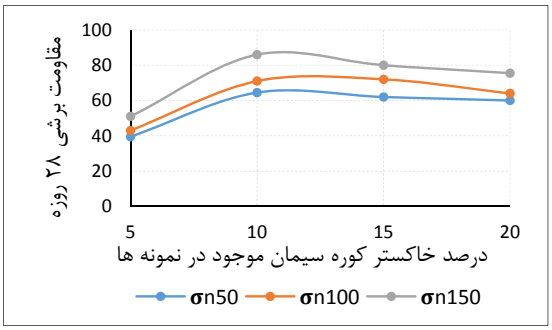
در شکل‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ مقاومت برشی نمونه‌های ترکیب‌شده‌ی خاک ماسه بادی با ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد خاکستر کوره سیمان بترتیب در دوره های عمل آوری ۷، ۱٤ و ۲۸ روزه را نشان می‌دهند. براساس این شکل‌ها، مقاومت برشی نمونه‌ها با افزودن ۱۰ درصد خاکستر کوره سیمان روند افزایشی به خود می‌گیرد و می‌تواند نشان‌دهنده عمل سیمانتاسیون و گیرش خاکستر کارخانه سیمان مخصوصاً در طول دوره عمل‌آوری ۲۸ روزه باشد. اما پس از آن شرایط متفاوت خواهد بود و با اضافه‌کردن مقدار بیشتر خاکستر سیمان به خاک، روند افزایشی مقاومت برشی نمونه‌ها متوقف می‌شود که دلیل این موضوع می‌تواند پیشی‌گرفتن مقدار موردنیاز سیمان نسبت به فضای خالی بین سنگدانه‌ها باشد و یا احتمال کربناته‌ترشدن نمونه به علت وجود آهک زنده در بخش عمده‌ای از خاکستر کوره سیمان باشد. این موضوع موجب کاهش PH محیط خاک می‌شود. همچنین دلیل دیگر می‌تواند، خرد شدن مصالح سنگی نامرغوب در اثر مخلوط خاک و آهک موجود در خاکستر کوره سیمان باشد.



شکل ۱۱. مقاومت برشی خاک‌های ترکیب شده با خاکستر سیمان برای دوره عمل‌آوری ۷ روزه



شکل ۱۲. مقاومت برشی خاک‌های ترکیب‌شده با خاکستر سیمان برای دوره عمل‌آوری ۱۴ روزه



شکل ۱۳. مقاومت برشی خاک‌های ترکیب‌شده با خاکستر سیمان برای دوره عمل‌آوری ۲۸ روزه

۵-نتیجه‌گیری

این پژوهش، به مطالعه تأثیر خاکستر کوره سیمان بر ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک ماسه بادی پرداخته است. به منظور بررسی این موضوع، خاکستر کوره سیمان با نسبت‌های مختلف ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد با خاک ماسه بادی در مدت زمان‌های عمل‌آوری ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه ترکیب و آزمایش برش مستقیم بر روی آنها انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد نمونه‌های با مقدار ۱۰ درصد خاکستر کوره سیمان در مقایسه با سایر نمونه‌ها، ترکیب بسیار ایده‌آلی را ایجاد می‌کند و مقاومت برشی را بیش از ۷ برابر نسبت به نمونه‌های بدون خاکستر کوره سیمان افزایش خواهد داد.

۶- مراجع

-اسلامی، ابوالفضل، (۱۳۹۰). مهندسی پی طراحی و اجرا، مراکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۴۱۸-۴۲۰.

-بهنیا، کامبیز، طباطبایی، امیرمحمد، (۱۳۷۸). مکانیک خاک (چاپ هشتم). تهران، *موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران*.

-جعفری، محمد، یزدی، مریم. (۲۰۲۰). تأثیر اختلاط دانه‌های ژئوفوم و خاک بر پارامترهای مقاومت برشی خاک ماسه‌ای با استفاده از آزمایش برش مستقیم، نشریه زمین شناسی مهندسی، ۱، (۱۴)، ۱۴۸-۱۳۳.

-خسروی، فریدون، فیروزی، علی اصغر و حسینی، علیرضا، (۱۳۸۹). شناسایی خاک‌های مسئله دار و روش‌های بهسازی خاک، جلد اول. *نشر نوآور*.

-رحیمی، طاهره، موسوی جهرمی، سیدحبیب. (۲۰۱۶). تأثیر رزین پلی‌یورتان A بر مقاومت برشی خاک گچی. *علوم آب و خاک*، ۱۶۵-۱۵۷.

-شفابخش، غلامعلی، صفا، ابراهیم، (۱۳۸۴). راهنمای تثبیت لایه‌های خاکریز و روسازی راه‌ها، *معاونت آموزش تحقیقات و فناوری پژوهشکده حمل و نقل*.

-طاحونی، شاپور، (۱۳۹۲). اصول مهندسی ژئوتکنیک؛ جلد اول. *نشر موسسه انتشاراتی پارس آیی*، ۱۲۰۱-۱۲۰۰.

-قیاسی، واحد، مداح، سعید. (۱۴۰۱). بررسی افزایش مقاومت برشی خاک رس واگرا با استفاده از مواد افزودنی. *نشریه جاده*.

-وفائیان؛ م.، (۱۳۷۱). خواص مهندسی خاک، چاپ اول، *انتشارات ارکان اصفهان*.

-Albusoda B. S., Salem L. A. K. (2012). Stabilization of dune sand by using cement kiln dust (CKD). *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 131-143.

-Anwar Hossain K M. (2011). Stabilized soils incorporating combinations of rice husk ash and cement kiln dust. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 1320-1327.

-Baghdadi Z, Fatani M. Sabban N. (1995). Soil modification by cement kiln dust. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 218-222.

-Baghdadi Z, Rahman M. (1990). The potential of cement kiln dust for the stabilization of dune sand in highway construction. *Building and Environment*, 285-289.

-Hossain K. Mol. L.(2011). Some engineering properties of stabilized clayey soils incorporating natural pozzolans and industrial wastes, *Construction and Building Materials*. 3495-3501.

-Pethamparan S. Olek J. (2008). Study of the effectiveness of cement kiln dusts in stabilizing Na-Montmorillonite clay. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 137-146

-Rossi dos Santos, C. Cassiano Rossi dos Santos, Juarez Ramos do Amaral Filho, Daniel Pagnussat. (2012). Use of Coal Waste as Fine Aggregates in Concrete Blocks for Paving. *10th International Conference on Concrete Block Paving,* Shanghai, Peoples Republic of China.

-Sariosseiri F. (2011). Stabilization of soils with Portland cement and CKD and application of CKD on slope erosion control, in Geo-Frontiers. *Advances in Geotechnical Engineering.*

-Solanki P. Khoury N. Zaman M. M. (2009). Engineering properties and moisture susceptibility of silty clay stabilized with lime, class C fly ash, and cement kiln dust. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 749-757.

-Ismail A. Belal Z. (2016). Use of Cement Kiln Dust on the Engineering Modification of Soil Materials, Nile Delta, Egypt. *Geotechnical and Geological Engineering*, 463-469.

-Keerthi Y. (2013). Stabilization of Clayey Soil using Cement Kiln Waste. *International Journal of Advanced Structures and Geotechnical Engineering*, 2319-5347.

-Mclaren, R. J. and A.M.Digionia, (1987). The typical engineering properties of fly ash, Proceedings of Conference on Geotechnical Practice for Waste Disposal, Geotechnical Special Publication No. 13, ASCE, R.D. Woods (ed.), 683-697.

-Miller G. A. Azad S. (2000). Influence of soil type on stabilization with cement kiln dust, Construction and building materials, 89-97.

-Parsons R. L. Kneebone E. (2004). Use of cement kiln dust for the stabilization of soils, Proceedings of Geo-Trans. *Los Angeles,* CA, 1124-1131.

Evaluation of Shear Strength of Loose Sand Soils Enriched with Waste Ash of Sabzevar Cement Factory

Gholamreza Tadayonfar, Assistant Professor, Department of Civil Engineering,
Hakim Sabzevari Niversity, Sabzevar, Iran.

E-mail: rezatadayon@yahoo.com

Received: June 2023- Accepted: February 2024

ABSTRACT

The existences of loose soils such as soft sands have always created concerns for bearing the load. Their inability to withstand pressure and weak shear resistance have forced engineers to move the project site or accept expensive methods such as pile driving as solutions to overcome them. Today, many additives such as polymers, lime, cement, etc. have been introduced to improve soil properties and land improvement; however, each of them, having their strengths and weaknesses, has created problems for their use. Cement factory furnace ash, which is one of the by-products in the cement production process; at the outlet, the gases released from the furnace are collected by fabric filters or electrostatic precipitators. Due to its similarity with the compounds found in cement, the compounds of this material have some of the positive properties and characteristics of cement and can be used to stabilize weak soils due to its cheapness. In this research, the effect of cement furnace ash on the engineering properties of unsuitable and weak sand-blasted soil has been investigated, in such a way that cement furnace ash with proportions of 5, 10, 15 and 20% with sand-blasted soil in the periods of 7, 14 and 28 days processing of the combination and direct cutting test have been done on them. Also, in order to create ideal conditions, the standard Proctor compaction test was used to obtain the maximum dry weight of the soil and the optimum humidity for each sample. The results of this research show that the samples with 10% cement furnace ash compared to other samples create a more ideal composition and the shear strength is more than 7 times compared to samples without cement furnace ash.

Keywords: Loose Sand, Cement Manufactory Ash, Shear Strength, Proctor Compaction