تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۹، شماره ۱، فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۷ (ص ۱۲-۱) DOI: 10.22059/ijswr.2017.220607.667730

استفاده از خاکستر باگاس نیشکر و آهک برای تثبیت خاک‌های رسی

عبدالمجید کریمی[۱]، نادر عباسی*[۲]، مهدی سیاوش نیا [۳]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی

۲. دانشیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۳. استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی

(تاریخ دریافت: ۱۶/ ۶/ ۱۳۹۶—تاریخ بازنگری: ۳/ ۹/ ۱۳۹۶- تاریخ تصویب: ۲۹/ ۹/ ۱۳۹۶)

چکیده

باگاس یکی از پسماندهای کشاورزی در کشت و صنعت‌های نیشکر و صنایع جانبی است که نگهداری و مدیریت آن معمولاً مشکلاتی را برای متولیان این شرکت‌ها به وجود می‌آورد. در این تحقیق، تأثیر خاکستر باگاس نیشکر و آهک بر مقاومت فشاری خاک رسی بررسی شده است. بدین منظور، با افزودن مقادیر مختلفی از خاکستر باگاس نیشکر شامل؛ ۲، ۵، ۸ و ۱۲ درصد و آهک شامل؛ ۱، ۳ و ۴ درصد به خاک رسی، ۲۰ نوع مخلوط ساخته شد. مشخصات تراکمی هر یک از مخلوط‌ها با استفاده از آزمایش تراکم استاندارد و سپس تراکم هاروارد تعیین شد. با در نظر گرفتن دو سن عمل‌آوری (۷ و ۲۸ روزه) و سه تکرار، ۶ نمونه آزمایشی از هر مخلوط و در مجموع ۱۲۰ نمونه آزمایشی با استفاده از قالب هاروارد تهیه شد و پس از عمل‌آوری در سنین مورد نظر، مورد آزمایش‌های مقاومت فشاری محصور نشده قرار گرفتند. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که با افزایش مقدار خاکستر باگاس نیشکر و آهک به خاک رسی، وزن واحد حجم خشک کاهش و رطوبت بهینه افزایش یافته است. ترکیب ۸ درصد خاکستر باگاس نیشکر با خاک رسی، باعث افزایش ۹۲ درصدی مقاومت فشاری خاک شده است.

واژه‌های کلیدی: خاک رسی، تراکم هاروارد، خاکستر باگاس نیشکر، آهک، مقاومت فشاری محصور نشده.

مقدمه

تثبیت خاک یک اصطلاح کلی است که برای هر روش فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و یا ترکیبی از آنها که جهت بهبود خواص خاک به کار می‌رود، اطلاق می‌شود (Rahimi and *et al*, 2011; Rahimi and Abbasi, 2007). از جمله روش‌های اصلاح و تثبیت خاک می‌توان به اقداماتی نظیر؛ تراکم، تسلیح، کنترل زه‌کشی، افزودن مواد شیمیایی، طبیعی یا ترکیبی از هر نوع روش فیزیکی و شیمیایی اشاره نمود. بهبود خواص خاک ممکن است برحسب نیاز به منظور تقویت مشخصه خاصی از خاک نظیر؛ کنترل نشست، افزایش مقاومت فشاری و یا بهبود مقاومت در برابر نیروهای محیطی صورت گیرد. نظر به اینکه در طول سالیان گذشته و به ویژه در سال‌های اخیر با گسترش احداث پروژه‌های عمرانی، مشکلات متعددی نیز نظیر نشست بستر پوشش بتنی کانال‌ها و بستر جاده و به تبع آنها تخریب سازه‌های بتنی کانال‌ها و آسفالت جاده‌ها به وجود آمده است، تثبیت خاک‌های سست و ضعیف بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است (Movahedan *et al*, 2011). بهبود ویژگی‌های خاک ممکن است بر حسب نیاز در پروژه‌های عمرانی به منظور افزایش میزان باربری خاک، افزایش مقاومت فشاری، کاهش نشست، مقاومت در مقابل فرسایش به کار رود. تاکنون از مواد و افزودنی بسیار متنوعی از جمله آهک، سیمان، مواد شیمیایی و پلیمری برای تثبیت خاک استفاده شده است (Movahedan *et al*., 2012). البته عوامل مختلفی در تعیین نوع ماده افزودنی برای تثبیت خاک مؤثر می‌باشد. نوع خاک و عناصر شیمیایی موجود در خاک نقش بسیار مهمی در این خصوص دارد (Abbasi *et al*, 2011; Abbasi and Nazifi, 2013). خاکستر باگاس نیشکر (BA)[۲] از جمله موادی می‌باشد که در سال‌های اخیر برای اصلاح خاک مورد توجه قرار گرفته است. (Amu *et al*. 2011)

Siavoshnia *et al* (2011) تأثیر تغییرات دوره عمل‌آوری و درصد اختلاط بر مقاومت برشی خاک رس CH تثبیت شده با آهک و خاکستر پوسته برنج را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد افزایش زمان عمل‌آوری و درصد اختلاط، باعث افزایش

* نویسنده مسئول: nader_iaeri@yahoo.com

1- Bagasse Ash (BA)

Archive of SID
www.SID.ir

تنش برشی حداکثر، چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک می‌شود. Abbasi *et al* (2017) نشان دادند با افزودن نانو رس به خاک می‌توان خاک را تثبیت و پتانسیل واگرایی آن را به میزان زیادی کاهش داد. Osinubi *et al*. (2009) با بررسی اثر خاکستر باگاس بر خاک لاتریت به این نتیجه رسید که با افزایش ۲ درصد خاکستر باگاس میزان مقاومت فشاری محصور نشده بیش از دو برابر افزایش یافته است. Shokrani *et al* (2009) از خاکستر باگاس به عنوان جایگزین سیمان در مقایسه با سایر مواد پوزولانی را مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور آزمایش‌هایی با استفاده از ۱۹ طرح اختلاط انجام شده است از میان مخلوط‌های ساخته شده، ۹ مخلوط دارای خاکستر باگاس سوزانده شده در دماهای مختلف، ۳ مخلوط دارای خاکستر پوسته برنج، ۳ مخلوط حاوی میکرو سیلیس و ۳ مخلوط دارای تراس هستند. این مواد پوزولانی به عنوان ماده جایگزین سیمان در مخلوط‌ها استفاده شده‌اند. یک مخلوط نیز جهت کنترل فقط با سیمان ساخته شده است. نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری محصور نشده نشان داده است که استفاده از ۱۰ درصد خاکستر باگاس BG500 (خاکستر باگاس سوزانده شده در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد) به عنوان ماده جایگزین سیمان، مقاومت فشاری و خمشی را نسبت به سایر درصدها و سایر خاکسترهای باگاس بیشتر بهبود می‌بخشد و از لحاظ آزمایش‌های انجام شده، خاکستر باگاس مورد آزمایش می‌تواند به عنوان ماده جایگزین مناسب به جای سیمان مورد استفاده قرار گیرد. Amu *et al*. (2011) تأثیر خاکستر باگاس نیشکر برای تثبیت خاک لاتریت را مورد آزمایش قرار دادند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که مقاومت فشاری محصور نشده نمونه‌های تثبیت شده حدود ۱/۵ الی ۳/۵ نمونه تثبیت نشده است. Kumar sabat (2012) تأثیر خاکستر باگاس نیشکر و لجن آهک (lime sludge) برای تثبیت خاک رس متورم شونده را مورد بررسی قرار داد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که فشار تورمی خاک متورم شونده با ۸ درصد خاکستر باگاس و ۱۶ درصد لجن آهک ۱۸ کیلونیوتن بر مترمربع می‌باشد که مشکلی را برای روسازی آسفالتی ایجاد نمی‌کند. Kiran and Kiran, (2013) از خاکستر باگاس برای تثبیت خاک سست متورم شونده استفاده کرد. با انجام آزمایش‌های مقاومتی بر روی خاک سست متورم شونده (Black Cotton Soil) به این نتیجه رسیدند که استفاده از مواد ضایعاتی (خاکستر باگاس) می‌تواند باعث افزایش احتمالی مقدار مقاومت شود ولی با ترکیب باسیمان و آهک می‌توان به مقدار مقاومت‌های بالاتری دست پیدا کرد. Moaref *et al*. (2013) به بررسی مقدار مقاومت بتن تولید شده با جایگزینی درصدی از سیمان با خاکستر باگاس پرداختند. نتایج نشان می‌دهد جایگزینی درصد مناسبی از خاکستر باگاس با سیمان باعث افزایش مقاومت فشاری در بتن می‌شود به طوری که ترکیب ۵ درصد خاکستر باگاس و ۹۵ درصد سیمان، موجب افزایش مقاومت فشاری بتن به‌میزان ۱۷ و ۲ درصد، به‌ترتیب در سنین ۷ و ۲۸ روزه می‌گردد. نتایج تحقیقات Chavan and Nagakumar (2014) در مورد ارزیابی عملکرد خاک رس متورم شونده بهسازی شده با خاکستر باگاس نشان می دهد. با افزودن ۸ درصد خاکستر باگاس نیشکر و ۸ درصد سیمان مقدار مقاومت فشاری محصور نشده خاک بیش از دو برابر افزایش یافته است و استفاده از چنین مواد بازیافتی در جاده‌سازی می‌تواند باعث بهبود مقاومت خاک و کاهش هزینه‌های پروژه شود. همچنین اضافه کردن باگاس نیشکر نقش عمده‌ای در تثبیت خاک ایفا می کند. Gandhi (2014) تاثیر خاکستر باگاس و خاکستر چوب برای تثبیت خاک رس متورم شونده را مورد آزمایش قرار داد. نتایج آزمایش‌های تحکیم و مقاومت فشاری محصور نشده نشان می‌دهد خاکستر باگاس و خاکستر چوب باعث کاهش فشار تورمی می‌شوند و اضافه کردن خاکستر باگاس در درصدهای پایین، نتیجه‌ی بهتری نسبت به اضافه کردن خاکستر چوب در درصدهای بالاتر ایجاد کرده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت خاکستر باگاس در تثبیت خاک رس متورم شونده موثر می‌باشد.

در سال‌های اخیر با تحقیقات صورت گرفته در زمینه مصالح ساختمانی، توجه محققین به بازیافت ضایعات مختلف و استفاده از آنها در تولید مصالح ساختمانی معطوف شده است. هزاران تن از پسماندهای کشاورزی و محصولات جانبی صنعتی هر سال تولید می‌شوند؛ بنابراین جهت صرفه‌جویی در هزینه و مصرف انرژی و جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست، مطالعه خواص و امکان بازیافت آنها ضروری به نظر می‌رسد. ضایعات صنعتی و کشاورزی با خواص پوزولانی نظیر میکروسیلیس، خاکستر بادی، روباره کوره آهن‌گدازی، خاکستر پوسته برنج و خاکستر باگاس می‌توانند سهم عمده‌ای در تولید و بهبود مشخصات مهندسی خاک ایفا نمایند. باگاس، ضایعات نیشکر پس از استحصال شکر است که در کشور ما استفاده مطلوبی از آن به عمل نمی‌آید. در اکثر مواقع این گونه ضایعات سوزانده می‌شود که منجر به آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌گردد. خاکستر باگاس نیشکر که حاصل سوزاندن باگاس نیشکر است، دارای درصد بالایی از سیلیس می‌باشد و می‌توان از آن به عنوان ماده پوزولانی استفاده نمود. لذا استفاده از خاکستر باگاس نیشکر علاوه بر کاهش مشکلات زیست‌محیطی، صرفه اقتصادی

Archive of SID
www.SID.ir

و بهره‌وری مناسب در استفاده از ضایعات کشاورزی را نیز به دنبال خواهد داشت. از طرفی دیگر توسعه پروژه‌های عمرانی از جمله شبکه‌های آبیاری و زهکشی در مناطقی که خاک بستر آنها به دلیل ضعف خواص مهندسی آنها با محدودیت‌هایی همراه است. در چنین شرایطی تثبیت این نوع خاک با افزون مواد طبیعی و یا مصنوعی اجتناب‌ناپذیر است. علیرغم وجود تجربه‌های محدود در خصوص کاربرد خاکستر باگاس برای اصلاح خواص مهندسی خاک‌ها، در ایران تجربه کافی برای بررسی این ماده در خواص خاک‌های رسی با پلاستیسیته زیاد وجود ندارد. از این رو، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر افزودن خاکستر باگاس بر مقاومت فشاری خاک‌های رسی با پلاستیسیته زیاد که به وفور در مناطق وسیعی از شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال ساخت و یا بهره‌برداری ایران نظیر استان خوزستان و دشت مغان در استان اردبیل یافت می‌شود، انجام گرفته است. بررسی امکان استفاده از خاکستر باگاس برای کاهش مشکلات زیست‌محیطی و مدیریت پسماند آن از اهداف دیگر این پژوهش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

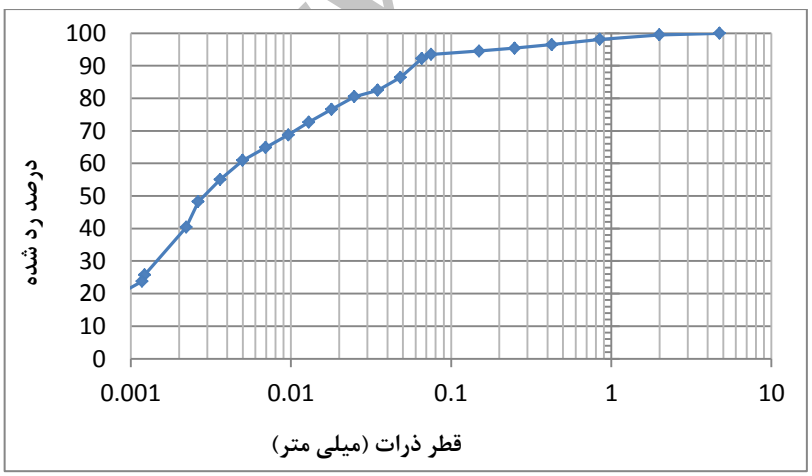
مراحل انجام تحقیق مشتمل بر تهیه نمونه خاک، اجرای آزمایش‌های شناسایی خاک مورد مطالعه، تهیه و ساخت مخلوط‌های آزمایشی مختلف و اجرای آزمایش‌های تراکم، انجام آزمایش مقاومت فشاری تک محوری و تجزیه و تحلیل آزمایش‌های مقاومت تک محوری روی نمونه خام اصلی و مخلوط‌های تهیه شده است.

آزمایش‌های شناسایی خاک و مصالح مصرفی

خاک مورد استفاده در این پژوهش از منطقه دشت مغان واقع در شمال استان اردبیل تهیه شد. تمامی آزمایش‌ها در آزمایشگاه موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی واقع در استان البرز انجام گردید. در جدول (۱) مشخصات خاک پس از انجام آزمایش‌های دانه‌بندی (ASTM D422)، حدود اتربرگ (ASTM D4318) و توده ویژه (Gs) تعیین گردید که نتایج آن در جدول (۱) ارائه شده است. همچنین منحنی دانه‌بندی خاک مورد مطالعه در شکل (۱) ارائه شده است

جدول ۱. ویژگی‌های خاک مورد آزمایش

حد انقباض (درصد)	دامنه خمیری (درصد)	حد خمیری (درصد)	حد روانی (درصد)	توده ویژه
۱۵/۹	۳۸	۲۶/۸	۶۴/۸	۲/۷۱



شکل ۱. منحنی دانه‌بندی نمونه خاک مورد بررسی

بر اساس طبقه‌بندی سیستم یونیفاید، خاک مورد مطالعه خاک رسی با خاصیت خمیری بالا (CH) تشخیص داده شد. آزمایش‌هایی برای تعیین آنیون‌ها و کاتیون‌های خاک مورد مطالعه در آزمایشگاه شیمی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی صورت پذیرفت که نتایج آن در جدول (۲) ارائه گردیده است.

همچنین میزان EC این خاک در نسبت ۲:۱ برابر با ۷/۸۴ دسی زیمنس بر متر به دست آمده است.

برای تعیین نوع کانی‌های تشکیل دهنده خاک، آزمایش XRD توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور وابسته به وزارت صنایع انجام گرفت که بر این اساس مشخص گردید کانی‌های تشکیل‌دهنده خاک ترکیبی از فلدسپار، کلسیت و کوارتز (Quartz+Calcite+Feldspar+Claymineral). به منظور آماده‌سازی نمونه برای انجام آزمایش مقاومت فشاری محصور

Archive of SID
www.SID.ir

نشده ابتدا خاک مورد مطالعه به مدت ۴۸ ساعت در هوای آزاد پخش گردید. سپس کلوخه‌های به هم چسبیده خاک با استفاده از چکش لاستیکی از هم جدا گردید. برای تهیه مخلوط‌ها، خاک و آهک مصرفی از الک نمره‌ی ۴۰ (۰/۴۲۵ میلی‌متر) عبور داده شدند. در این تحقیق از باگاس ضایعاتی کارخانه کشت و صنعت امیر کبیر جهت تولید خاکستر باگاس و سپس ساخت نمونه‌های آزمایش استفاده شده است. پس از جمع آوری باگاس نیشکر از محل دپو، باگاس در محیط باز پخش شد تا کاملا خشک شود. پس از حصول اطمینان از خشک شدن، باگاس نیشکر در محیط باز سوزانده شد و تا سرد شدن کامل توده به حال خود رها شد. بعد از ۲۴ ساعت خاکستر باگاس نیشکر از مرکز توده برداشت شد و در کیسه‌های نایلونی مشکی ریخته شد. سپس خاکستر باگاس تهیه شده از الک نمره‌ی ۴ عبور داده شد تا ناخالصی‌های احتمالی در برداشت خاکستر باگاس الک شوند. پس از آن خاکستر باگاس آسیاب شد و از الک نمره‌ی ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلی متر) عبور داده شد. در شکل (۲) باگاس و خاکستر باگاس نشان داده شده است.

جدول ۲. مشخصات شیمیایی خاک مورد بررسی

یون‌ها	غلظت (میلی اکی والان بر لیتر)
Mg^{2+}	۳۸/۷۵
Ca^{2+}	۲۸/۷۵
Na^{+}	۷۶/۹۶
HCO_3^{-}	۱۰/۵
Cl^{-}	۱۴/۲۵
SO_4^{-2}	۵۸/۱۳

شکل ۲. باگاس نیشکر و خاکستر باگاس نیشکر

پس از تهیه باگاس نیشکر و انجام مراحل استحصال خاکستر باگاس، به منظور شناسایی خاک رسی، خاکستر باگاس نیشکر و آهک آزمایش طیف‌سنجی فلوئورسانس اشعه ایکس (XRF) انجام گرفت. آزمایش اشعه ایکس در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور صورت پذیرفت. نتایج آزمایش اشعه ایکس روی خاک، خاکستر باگاس و آهک در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳. مشخصات خاک و خاکستر باگاس نیشکر و آهک مورد استفاده

ترکیبات	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	CaO	MgO	Na_2O	SO_3	P_2O_5	TiO_2	Cl	L.O.I*
غلظت مواد خاک (درصد وزنی)	۴۵/۳	۱۲/۶	۶/۶	۲/۴	۱۲/۴	۲/۶	۱/۱	۰/۶	۰/۲	۰/۹	<۰/۱	۱۵/۱۲
غلظت مواد خاکستر باگاس نیشکر (درصد وزنی)	۳۱/۶	۴/۲	۳/۱	۳/۹	۱۹/۷	۴/۲	۳/۵	۱/۸	۰/۹	۰/۴	۴/۱	۲۲/۳۸
غلظت مواد آهک (درصد وزنی)	۱/۶	۰/۴	<۰/۱	-	۶۵/۳	۵/۳	<۰/۱	۰/۲	<۰/۱	-	<۰/۱	۲۶/۹۹

بر اساس نتایج، میزان SiO_2 در خاکستر باگاس نیشکر نزدیک به ۳۲ درصد می‌باشد که این مقدار به میزان درجه حرارت خاکستر باگاس در هنگام سوزاندن و نوع نیشکر مورد استفاده بستگی دارد. در تحقیق حاضر خاکستر باگاس پس از خشک شدن در هوای آزاد، جمع‌آوری شده و در هوای آزاد سوزانده شده است؛ بنابراین با ایجاد شرایط ویژه برای سوزاندن خاکستر باگاس می‌توان درصد SiO_2 موجود در خاکستر باگاس را افزایش داد.

Archive of SID
www.SID.ir

مخلوط‌های آزمایش

این پژوهش با هدف بررسی اثر مقادیر مختلف خاکستر باگاس نیشکر بر مشخصات تراکمی و مقاومت فشاری خاک تبیین گردیده است. برای رسیدن به این هدف ابتدا، خاک رس در هوای آزاد خشک گردید و سپس مخلوط مورد نظر با در نظر گرفتن نسبت‌های معین تهیه گردیدند. نسبت‌های خاکستر باگاس نیشکر و آهک در مخلوط به صورت نسبت وزن خشک آنها به وزن خشک خاک تعریف شد. بدین منظور چهار سطح خاکستر باگاس نیشکر شامل ۲، ۵، ۸ و ۱۲ درصد و چهار سطح آهک هیدراته شامل صفر، ۱، ۳ و ۴ درصد در نظر گرفته شد. لذا با در نظر گرفتن ترکیب‌های مختلف از دو ماده مذکور ۲۰ نوع مخلوط تهیه گردید. برای سهولت در ذکر مخلوط‌ها از قواعد نام‌گذاری به شرح ذیل استفاده شده است:

S(BA,L) که در آن S نماد نمونه، BA درصد خاکستر باگاس نیشکر و L درصد آهک می‌باشد.

آزمایش PH: در این پژوهش جهت تعیین PH محیط از آزمون استاندارد ASTM D6276-99a استفاده شده است. دستگاه PH متر مورد استفاده در این پژوهش از نوع WTW-PH 7110 است. ابتدا مقدار ۵۰ گرم خاک با درصدهای متفاوتی از خاکستر باگاس نیشکر، آهک و الیاف شیشه در ظروف پلاستیکی با هم مخلوط شدند. سپس مقدار ۱۰۰ سی‌سی آب به مخلوط اضافه و آزمایش PH در نسبت ۲:۱ (خاک: آب) انجام شد. دمای ایده‌آل مخلوط نیز می‌بایست در لحظه‌ی اندازه‌گیری PH در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شود که در صورت تغییرات دما دستگاه به طور خودکار مقدار PH را تصحیح می‌کند.

آزمایش تراکم: در این پژوهش برای تعیین درصد رطوبت بهینه مخلوط‌های مختلف و بررسی ویژگی‌های تراکمی آنها از نتایج حاصل از آزمایش‌های پراکتور استاندارد بر اساس استاندارد ASTM D 698-07 و تراکم هاروارد بر اساس استاندارد ASTM 4609-00 به کار گرفته شده است. وزن چکش آزمایش تراکم هاروارد ۴۱۹/۹ گرم، ارتفاع سقوط ۱۰/۸ سانتی‌متر و حجم قالب ۶۱/۹ سانتی‌متر مکعب است.

آزمایش مقاومت فشاری محصور نشده: مقاومت فشاری در مصالح ساختمانی مهمترین و اساسی‌ترین ویژگی مکانیکی است که به طور مستقیم بیانگر ظرفیت باربری و قابلیت کاربرد مصالح برای مقاصد مختلف در پروژه‌های ساختمانی است. این ویژگی همچنین به طور ضمنی بیانگر سایر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نظیر جذب آب، دانسیته، دوام و پایداری در برابر عوامل جوی و سایر ویژگی‌ها است. به همین دلیل است که در اغلب ارزیابی‌های مربوط به ویژگی‌های مصالح از مقاومت فشاری استفاده می‌شود. در این پژوهش نیز برای ارزیابی کیفیت خاک تثبیت شده از معیار مقاومت فشاری استفاده شد.

برای ساخت نمونه‌های حاوی ترکیب خاکستر باگاس نیشکر، آهک و خاک ابتدا مخلوط‌های مختلف با درصدهای مختلف خاکستر باگاس نیشکر، آهک و خاک با هم مخلوط گشت و پس از آن به اندازه رطوبت بهینه به دست آمده از آزمایش تراکم برای هر مخلوط، به تدریج در سه مرحله اضافه شد. سپس مخلوط‌ها در کیسه نایلونی ریخته شد و در آن تا زمان ساخت نمونه‌ها بسته نگه‌داشته شد تا رطوبت آن از دست نرود. برای نمونه‌سازی، مصالح در ۵ لایه (طول نمونه ۷۲ میلی‌متر و به قطر ۳۳/۳ میلی‌متر) و هر لایه با ۲۰ ضربه با استفاده از چکش مخصوص قالب تراکم هاروارد با حداکثر وزن مخصوص خشک خاک بدست آمده از آزمایش تراکم، متراکم گردید. ۲۰ مخلوط بر اساس درصدهای مختلف مصالح موجود در این پژوهش تهیه گردید. به محض آنکه نمونه‌ها ساخته شد، هر نمونه از مخلوط‌ها در داخل کیسه نایلونی قرار گرفت. سپس به منظور اطمینان از گیرش کامل مخلوط‌های مختلف، کلیه نمونه‌ها به مدت ۷ و ۲۸ روز درون یک کلمن یونولیتی قرار گرفتند. تغییرات درجه حرارت در این کلمن در حدود ۲ درجه متغیر بود. پس از سپری شدن زمان عمل‌آوری آزمایش مقاومت فشاری محصور نشده بر اساس استاندارد ASTM D2166 به شیوه کرنش کنترل شده با سرعت ۱/۱ میلی‌متر بر دقیقه بر روی نمونه‌هایی با رطوبت بهینه انجام گرفت. بدین ترتیب با توجه تعداد ۲۰ مخلوط، دو سن عمل‌آوری (۷ و ۲۸ روزه) و ۳ تکرار برای هر مخلوط در مجموع تعداد ۱۲۰ نمونه مقاومت فشاری ساخته شد. نحوه نگهداری نمونه‌های ساخته شده در شکل (۳) نشان داده شده است.

شکل ۳- نحوه‌ی نگهداری نمونه‌های ساخته شده مخلوط‌های مختلف

Archive of SID

www.SID.ir

مدول کشسانی تیمارهای مختلف: مدول کشسانی (E) بنا به تعریف عبارت است از شیب قسمت خطی منحنی تنش-کرنش، لذا جهت بررسی تغییرات مدول کشسانی (E) در مقابل زمان عمل‌آوری برای مخلوط‌های مختلف خاک رس و خاکستر باگاس و آهک در حالت رطوبت بهینه، ابتدا باید منحنی‌های تنش-کرنش نمونه‌های مختلف ترسیم گردد. بدین ترتیب با ترسیم منحنی‌های تنش-کرنش می‌توان به بررسی تغییرات در خصوصیات شکست و رفتار مقاومتی نمونه‌های مختلف پرداخت.

نتایج و بحث

تغییرات PH

نتایج حاصل از آزمایش‌های PH مطابق استاندارد ASTM 6276-99a، در جدول (۴) ارائه شده است. جدول (۴) نشان می‌دهد که با افزایش ۵ درصد خاکستر باگاس نیشکر به خاک رسی، مقدار PH افزایش می‌یابد و محیط قلیایی‌تر و در نتیجه شرایط برای واکنش‌های پوزولانی مهیا می‌شود. با افزایش بیشتر مقدار خاکستر باگاس میزان PH به مقدار خاک طبیعی نزدیک می‌گردد.

جدول ۴. نتایج حاصل از آزمایش PH بر مخلوط‌های آزمایش

PH	نوع مصالح
۷/۹۴	خاک رس CH
۸/۶۱	مخلوط خاک رس_۵ درصد خاکستر باگاس
۷/۶۶	مخلوط خاک رس_۱۲ درصد خاکستر باگاس
۱۲/۱۱	مخلوط خاک رس_۳ درصد آهک
۱۲/۰۹	مخلوط خاک رس_۳ درصد آهک_۵ درصد خاکستر باگاس

پیوند کانی‌های رسی زمانی که PH محیط به ۱۰/۵ رسید ضعیف می‌شوند و با افزایش PH تا ۱۲/۳ کانی‌های رسی شروع به گسیخته شدن می‌کنند و آلومینیم و سیلیسیم موجود در کانی‌های رسی آزاد می‌شوند. سپس واکنش پوزولانی انجام می‌پذیرد (Rajasekaran, 2005). در این پژوهش آزمایش PH صرفاً جهت کنترل واکنش پوزولانی صورت گرفت. بر اساس شکل (۴) می‌توان نتیجه گرفت که PH مخلوط‌های (۳ و ۰)S و (۳ و ۵)S نزدیک به مقدار ۱۲/۳ می‌باشند که کانی‌های رسی شکسته می‌شوند و آلومینیوم و سیلیسیم موجود در کانی‌های رسی آزاد می‌شوند و احتمال وقوع واکنش پوزولانی در این مخلوط‌ها بالا می‌باشد. با توجه به جدول (۴) افزودن ۵ درصد خاکستر باگاس باعث افزایش مقدار PH نسبت به خاک رس CH می‌گردد این در حالی افزودن ۱۲ درصد خاکستر باگاس به خاک رس باعث کاهش مقدار PH نسبت به خاک رس گردیده است. این نشان‌دهنده‌ی این موضوع می‌باشد که خاکستر باگاس نیشکر نیز مانند آهک مقدار بهینه‌ای دارد و با افزایش مقدار خاکستر باگاس، میزان PH محیط به صورت خطی افزایش نمی‌یابد. همچنین افزودن ۳ درصد آهک به خاک رس باعث افزایش قابل‌ملاحظه‌ی PH به میزان ۱۲/۱۱ می‌گردد. این در حالی است که افزودن ۵ درصد خاکستر باگاس به مخلوط خاک رس_۳ درصد آهک باعث کاهش میزان PH نسبت به مخلوط خاک رس_۳ درصد آهک گردیده است. با توجه به اینکه برای ایجاد واکنش‌های پوزولانی،PH محیط باید تا ۱۲/۳ افزایش یابد، افزودن ۱۲ درصد خاکستر باگاس به خاک رس، PH محیط را کاهش می‌دهد و امکان ایجاد واکنش‌های پوزولانی نیز کاهش می‌یابد.

نتایج آزمایش تراکم

با توجه به اینکه نتایج حاصل از آزمایش‌های تراکم استاندارد و تراکم هاروارد بر روی خاک رس CH تفاوت ناچیزی با یکدیگر دارند، لذا از نتایج آزمایش تراکم هاروارد به جای تراکم استاندارد می‌توان استفاده نمود. نتایج حاصل از آزمایش‌های تراکم استاندارد و تراکم هاروارد برای مخلوط‌های مختلف خاک رس، خاکستر باگاس نیشکر و آهک جهت محاسبه رطوبت بهینه و وزن واحد حجم خشک حداکثر برای مخلوط‌های مختلف در قالب شکل (۳) و جدول (۵) ارائه شده است.

با توجه به جدول (۵) مشاهده می‌شود که به طور کلی افزودن خاکستر باگاس نیشکر و آهک به خاک رس سبب افزایش رطوبت بهینه و کاهش وزن واحد حجم خشک حداکثر می‌شود.

خاکستر باگاس مورد استفاده در این پژوهش پس از آسیاب شدن از الک نمره‌ی ۲۰۰ عبور داده شده است. بر این اساس داری سطح ویژه‌ی بالایی می‌باشد و هر چه مقدار خاکستر باگاس مورد استفاده در این پژوهش افزایش می‌یابد مقدار رطوبت بهینه نیز افزایش می‌یابد؛ بنابراین با افزایش درصد خاکستر باگاس به دلیل سطح ویژه بالای آن، جذب آب سطحی توسط ذرات خاکستر باگاس نیشکر افزایش می‌یابد و این عمل باعث افزایش رطوبت بهینه می‌شود. همچنین، با افزایش رطوبت بهینه، آب کم‌کم جای ذرات خاک، آهک و خاکستر باگاس نیشکر را می‌گیرد و به دلیل پایین‌تر بودن وزن حجمی آب نسبت به مصالح مصرفی، وزن واحد حجم بیشینه کاهش

Archive of SID

www.SID.ir

می‌یابد. درکل، تغییرات رطوبت بهینه بین ۲۵ تا ۲۹ درصد و تغییرات وزن واحد حجم خشک بیشینه بین ۱۴/۴ تا ۱۵ کیلونیوتن بر مترمکعب است. لذا نظر به این که معمولاً ساخت نمونه‌ها بر مبنای رطوبت بهینه دقیقاً با همان رطوبت انجام نمی‌شود و با رواداری احتمالی ۲ درصد می‌باشد، جهت ساخت کلیه نمونه‌ها از میانگین رطوبت بهینه ۲۶/۵ درصد استفاده شده است.

جدول ۵. نتایج حاصل از تراکم هاروارد روی خاک رس و سایر مخلوط‌ها

نوع مصالح	مشخصات نمونه	رطوبت بهینه (درصد)	وزن واحد حجم خشک حداکثر (کیلونیوتن بر مترمکعب)
CH	CHخاک رس	۲۵	۱۵
S(۰,۳)	و ۳ درصد آهکCHخاک رس	۲۷	۱۴/۹
S(۱۲,۰)	و ۱۲ درصد خاکستر باگاسCHخاک رس	۲۵	۱۴/۸
S(۱۲,۳)	و ۱۲ درصد خاکستر باگاس و ۳ درصد آهکCHخاک رس	۲۹	۱۴/۴

نتایج آزمایش مقاومت فشاری محصور نشده

بر اساس طرح آزمایش‌های ذکر شده، مقاومت فشاری روی ۲۰ مخلوط در دو سن عمل‌آوری ۷ و ۲۸ روزه و هر نمونه مخلوط با ۳ تکرار در حالت رطوبت بهینه خاک انجام گرفت. در شکل (۴ و ۵) تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های تثبیت شده با استفاده از خاکستر باگاس نشان داده شده است.

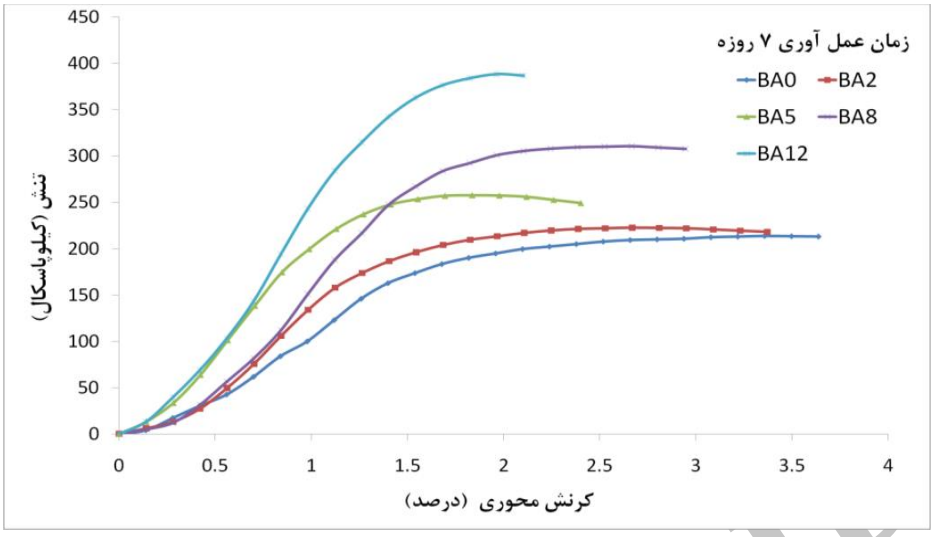
با توجه به شکل‌های (۴ و ۵) در خاک رسی تثبیت شده با خاکستر باگاس با افزایش درصد خاکستر باگاس مقدار مقاومت فشاری محصور نشده افزایش می‌یابد. با بررسی نمودار مقاومت فشاری محصور نشده برای زمان‌های عمل‌آوری ۷ و ۲۸ روزه می‌توان به این نتیجه رسید که میزان مدول الاستیسیته برای خاک رس CH و مخلوط ۲ درصد خاکستر باگاس تقریباً با یکدیگر برابر می‌باشند و مخلوط‌های داری ۵ و ۸ درصد خاکستر باگاس دارای مدول الاستیسیته‌ی بیشتری نسبت به خاک رس CH می‌باشند. این افزایش میزان مقاومت فشاری و به تبع آن افزایش میزان مدول الاستیسیته در مخلوط‌های دارای ۵ و ۸ درصد خاکستر باگاس مربوط به تغییرات PH و افزایش فعالیت‌های پوزولانی در خاک می‌باشد. بر اساس پژوهش‌هایی که در گذشته انجام گرفته است هر چه قدر میزان PH محیط افزایش یابد احتمال وقوع واکنش‌های پوزولانی افزایش می‌یابد. بر اساس نتایجی که از PH مخلوط‌های مختلف خاکستر باگاس به دست آمده میزان PH در مخلوط ۱۲ درصد خاکستر باگاس میزان کمتری نسبت به مخلوط ۵ درصد خاکستر باگاس دارد؛ بنابراین میزان مدول الاستیسیته بر اساس PH مخلوط‌های خاکستر باگاس تغییر می‌کنند. بسیاری از مواد برای انجام فعالیت‌های پوزولانی نیاز به زمان دارند. در زمان عمل‌آوری ۲۸ روزه خاکستر باگاس نیشکر دارای فعالیت پوزولانی بیشتری نسبت به زمان عمل‌آوری ۷ روزه از خود نشان داده است. به همین دلیل در زمان عمل‌آوری ۲۸ روزه افزودن ۲ درصد خاکستر باگاس به خاک رس باعث افزایش مقاومت فشاری بیشتری نسبت به زمان عمل‌آوری ۷ روزه شده است. حداکثر میزان افزایش مقاومت فشاری محصور نشده در زمان‌های عمل‌آوری ۷ و ۲۸ روزه با افزایش ۸۲٪ و ۹۲٪ برای مخلوط‌هایی با ۱۲ و ۸ درصد خاکستر باگاس رخ داده است.

در ادامه آزمایش‌ها، مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های حاوی آهک و خاک رس انجام گرفت. بر اساس پژوهش‌هایی که درگذشته انجام شده تأثیر آهک بر افزایش مقاومت فشاری مشخص شده بود. در این پژوهش نیز افزایش ۴ درصد آهک، مقدار مقاومت فشاری محصور نشده خاک را در سن عمل‌آوری ۷ و ۲۸ روزه به ترتیب بیش از ۵/۵ و ۶ برابر افزایش داده است. در شکل‌های (۶ و ۷) تأثیر خاکستر باگاس در ترکیب با آهک بر مقاومت فشاری محصور نشده ۷ و ۲۸ روزه در حالت رطوبت بهینه نشان داده شده است.

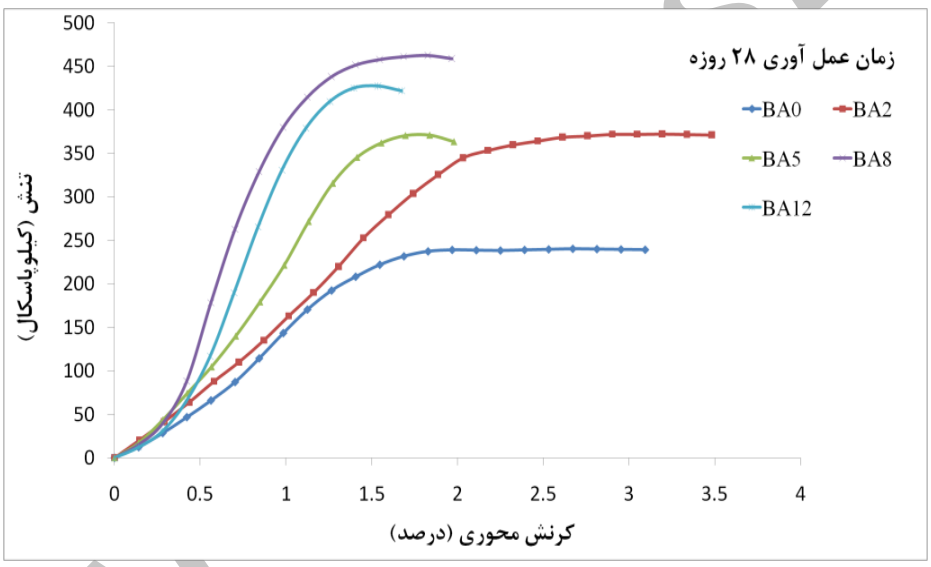
با توجه به شکل‌های (۶ و ۷) ملاحظه می‌گردد که افزایش میزان آهک تا ۴ درصد بیشترین مقدار مقاومت را در هر دو نمودار به خود اختصاص داده است. همچنین با افزایش درصد خاکستر باگاس در ترکیب با صفر و ۱ درصد آهک در زمان‌های عمل‌آوری ۷ و ۲۸ روزه باعث شده مقدار مقاومت با شیب کمی افزایش یابد. خاکستر باگاس در زمان عمل‌آوری ۲۸ روزه عملکرد بهتری داشته است و افزایش مقاومت بیشتری را نسبت به زمان عمل‌آوری ۷ روزه از خود نشان داده است. این امر به علت افزایش فعالیت‌های پوزولانی در خاکستر باگاس می‌باشد.

به منظور بررسی میزان تردی و شکل گسیختگی نمونه‌ها، مدول الاستیسیته‌ی هر نمونه محاسبه گردید. بدین ترتیب که ابتدا منحنی‌های تنش - کرنش نمونه‌های مختلف رسم و پس از آن مدول کشسانی به روش وتری محاسبه شد. (Bowles,1992). میانگین هر ۳ تکرار از مخلوط‌های مختلف در شکل‌های (۸ و ۹) آورده شده است.

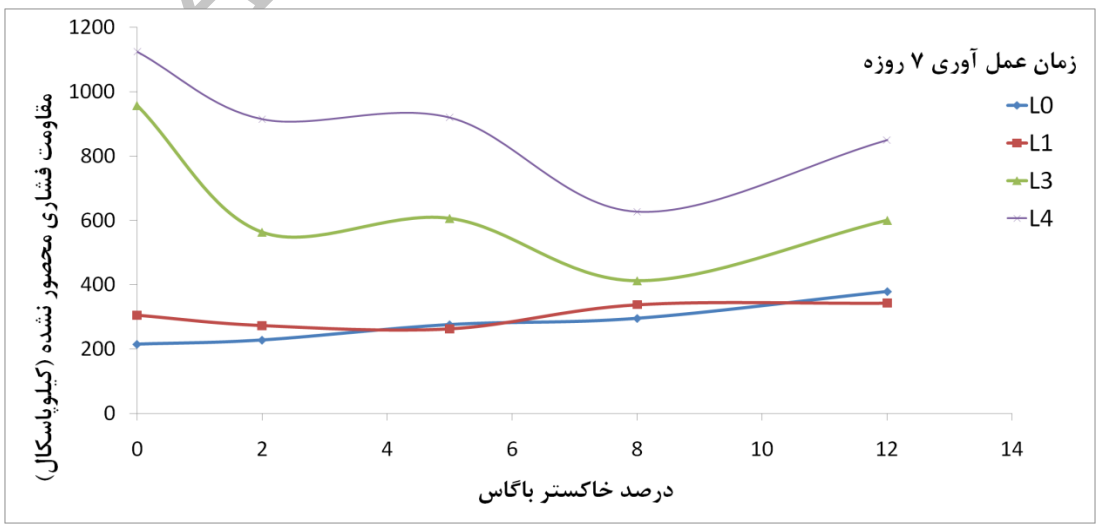
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۴. نمودار تنش_کرنش مخلوط خاک با خاکستر باگاس در زمان عمل آوری ۷ روزه

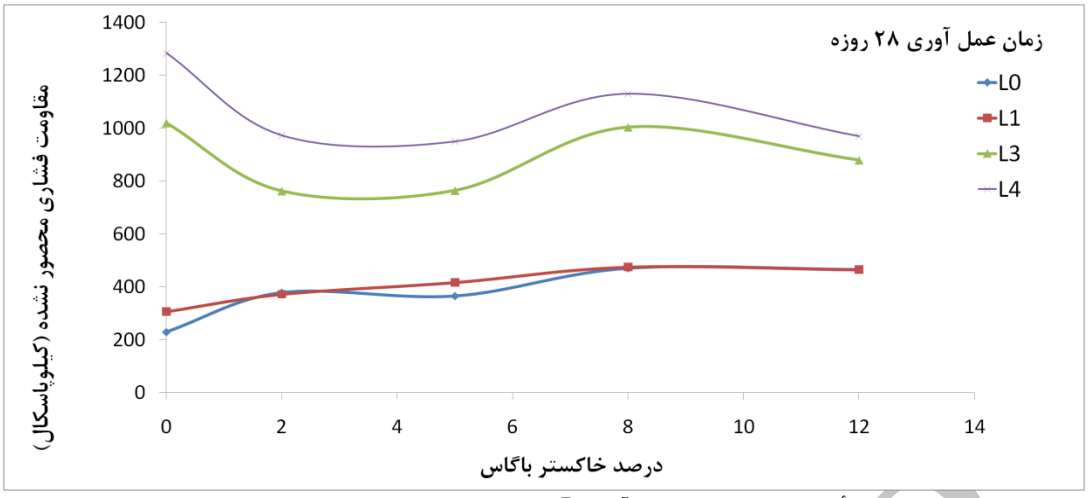


شکل ۵. نمودار تنش_کرنش مخلوط خاک با خاکستربا‌گاس در زمان عمل آوری ۲۸ روزه

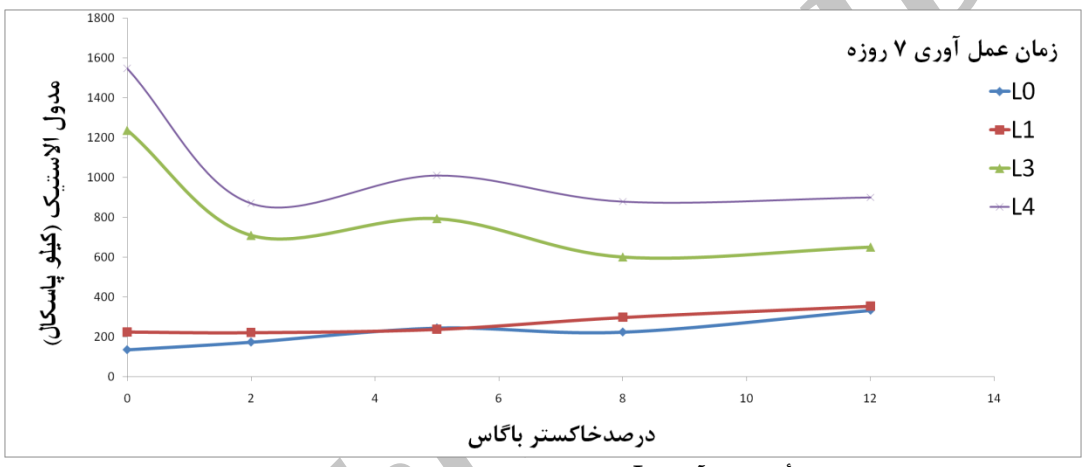


شکل ۶. تأثیر مقدار خاکستر باگاس_آهک(L) بر مقاومت فشاری محصور نشده ۷ روزه

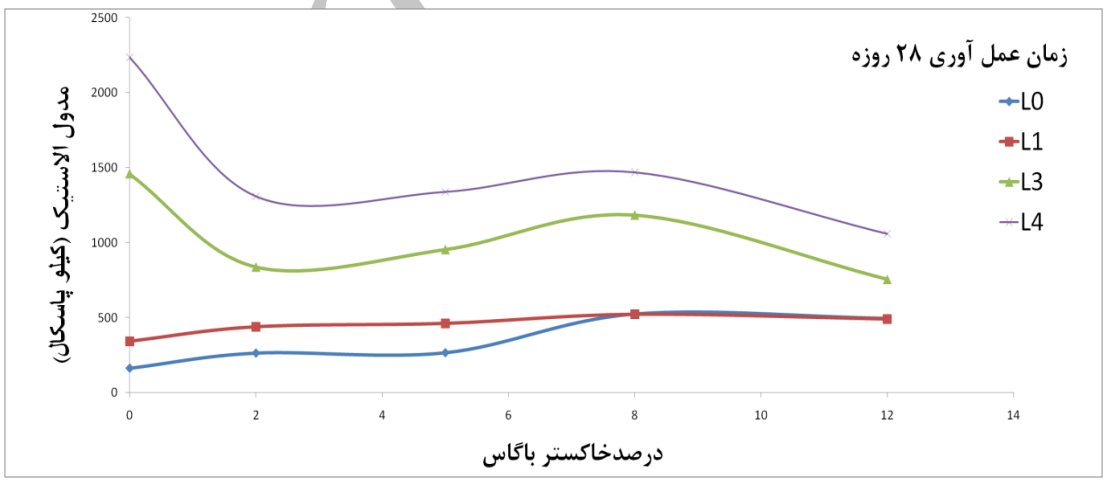
www.SID.ir



شکل ۷. تأثیر مقدار خاکستر باگاس_آهک(L) بر مقاومت فشاری محصور نشده ۲۸ روزه



شکل۸. تأثیر مقدار آهک (L) و خاکستر باگاس بر مدول الاستیک ۷ روزه



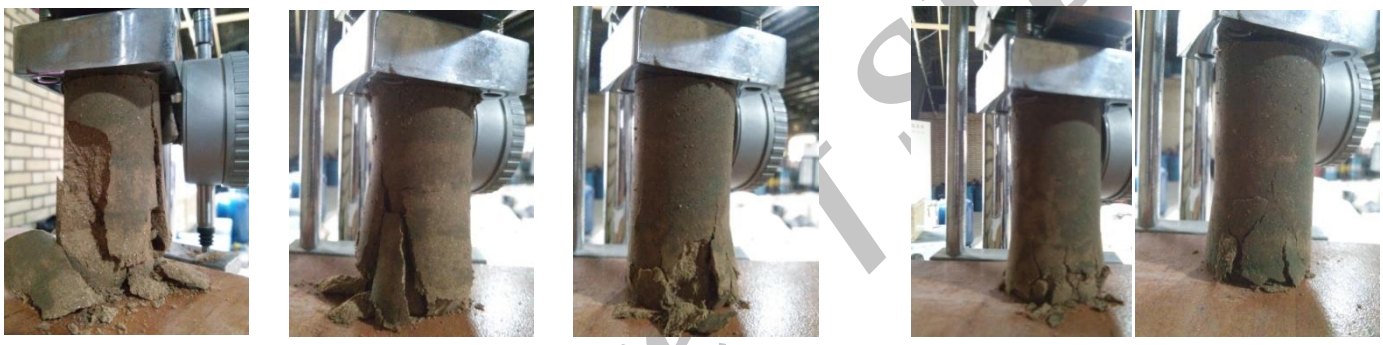
شکل۹. تأثیر مقدار آهک (L) و خاکستر باگاس بر مدول الاستیک ۲۸ روزه

با توجه به شکل‌های (۶ و ۷) در تمام نمونه‌ها با افزودن آهک در مخلوط‌ها میزان مقاومت فشاری محصور نشده نیز افزایش می‌یابد. افزایش مقاومت فشاری در مخلوط‌های دارای ۱ درصد آهک نسبتاً ناچیز و در مخلوط‌های که دارای ۳ و ۴ درصد آهک چشمگیر می‌باشد. افزودن خاکستر باگاس به مخلوط خاک رس- آهک در تمامی نمونه‌ها باعث کاهش میزان مقاومت فشاری و همچنین کاهش چشمگیر مدول الاستیسیته می‌گردد. علت کاهش مقاومت فشاری و به تبع آن مدول

www.SID.ir

الاستیسیته‌ی نمونه‌هایی که دارای خاکستر باگاس می‌باشند می‌تواند به علت کاهش میزان PH مخلوط خاک رس-آهک در مجاورت با خاکستر باگاس است. میزان شکست در نمونه‌هایی که داری ۰ و ۱ درصد آهک می‌باشند به صورت نرم می‌باشد ولی نمونه‌هایی که دارای ۳ و ۴ درصد آهک می‌باشند نسبتاً ترد می‌باشد. بیشترین مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته مربوط به نمونه‌ی خاک رس CH-۴ درصد آهک می‌باشد. افزایش مقاومت فشاری در نمونه‌ها باعث کاهش انعطاف‌پذیری نمونه می‌گردد ولی با افزایش تنها ۲ درصد خاکستر باگاس به مخلوط‌های خاک رس-آهک میزان مدول الاستیسیته به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و انعطاف‌پذیری نمونه‌ها افزایش می‌یابد. در شکل (۷) افزودن خاکستر باگاس از ۲ به ۸ درصد باعث افزایش مقاومت فشاری خاک گردیده است این تغییرات به علت افزایش PH موجود در مخلوط می‌باشد. با مقایسه تغییرات مدول کشسانی (E) نمونه‌های مختلف با تغییرات مقاومت فشاری محصور نشده نمونه‌های مختلف در حالت رطوبت بهینه می‌توان نتیجه گرفت که روند تغییرات مدول کشسانی و مقاومت فشاری محصور نشده تقریباً مشابه هم می‌باشند.

میزان درصد مصالح به کار رفته در ساخت نمونه‌های مقاومت فشاری، تأثیر بسزایی در شکل گسیختگی نمونه‌ها ایجاد کرده است. در شکل ۱۰ تصویر چند نمونه مختلف پس از شکست نشان داده شده است.



S(۰,۴) S(۲,۴) S(۵,۴) S(۸,۴) S(۱۲,۴)

شکل ۱۰. تصویر نمونه های با ۴ درصدآهک و درصد های مختلف خاکستر باگاس پس از گسیختگی در زمان عمل آوری ۲۸ روزه

با توجه به شکل (۱۰) در نمونه (۴ و ۰)S ملاحظه می‌گردد که گسیختگی با متلاشی شدن نمونه همراه می‌باشد و شکست به صورت کاملاً ترد روی داده است. به بیان دیگر تثبیت با آهک ضمن ایجاد آثار مثبت در افزایش مقاومت باعث ترد شدن رفتار گسیختگی می‌گردد. همان طور که از شکل‌های گسیختگی فوق مشخص می‌باشد افزایش خاکستر باگاس باعث هر چه بهتر شدن شکل ظاهری نمونه‌ها می‌گردد و ترک‌های ریز و طولی روی بدنه نمونه‌ها کاهش یافته و در واقع پایداری نمونه‌ها افزایش پیدا می‌کند ولی با این وجود همچنان گسیختگی کمی ترد می‌باشد.

تأثیر خاکستر باگاس بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک‌های رسی با مفاهیم مربوط به تئوری لایه دوگانه پخشیده مطابقت داشته و قابل تفسیر است. بدین‌صورت که هرچه ضخامت لایه دوگانه بیشتر شود ذرات رس از هم دورتر و موجب افزایش قابلیت تغییر حجم و در نتیجه مقاومت آن می‌شوند (Norouzian *et al.*, 2017; Abbasi, 2011). لذا هر عاملی که باعث کاهش ضخامت لایه دوگانه شود مقاومت خاک را افزایش می‌دهد. همچنین غلظت و نسبت جذب سدیم (SAR) محلول خاک از مهمترین عوامل مؤثر در ضخامت لایه دو گانه و در نتیجه تورم پذیری خاک هستند. به‌طوری که ضخامت لایه دو گانه با افزایش غلظت محلول کمتر ولی با افزایش نسبت جذب سدیم بیشتر می‌شود (Spark,2000). وقتی که ذرات خاکستر باگاس به خاک رسی افزوده می‌شود باعث افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و جایگزینی سریع یون سدیم با سایر کاتیون‌های تشکیل دهنده خاکستر باگاس می‌گردد. بدین ترتیب با خارج شدن سدیم از فاز تبادلی نسبت سدیم به سایر کاتیون‌ها و به عبارتی نسبت جذب سدیم (SAR)، کاهش و از سوی دیگر غلظت محلول خاک افزایش می‌یابد. این عوامل نهایتاً باعث کاهش ضخامت لایه دو گانه پخشیده و در نتیجه بهبود خواص مکانیکی خاک می‌گردد.

نتیجه‌گیری

بر اساس مجموعه بررسی‌ها و آزمایش‌های آزمایشگاهی مرتبط با این پژوهش، موارد زیر قابل استنتاج است:

نتایج حاصل از آزمایش‌های تراکم استاندارد و تراکم هاروارد نشان می‌دهد که به طور کلی افزودن خاکستر باگاس

Archive of SID

www.SID.ir

نیشکر و آهک باعث افزایش رطوبت بهینه و کاهش وزن واحد حجم خشک بیشینه می‌شود.

- بر اساس استاندارد ASTM C618 از خاکستر باگاس نیشکر استفاده شده در این پژوهش را نمی‌توان به عنوان پوزولان نوع C در نظر گرفت.

- افزودن خاکستر باگاس به مخلوط خاک رس_آهک باعث کاهش میزان PH می‌گردد و این امر می‌تواند میزان واکنش‌های پوزولانی را تا حدی کاهش دهد.

– در تمامی نمونه‌های حاوی آهک با افزایش درصد آهک مقدار مقاومت فشاری محصور نشده افزایش می‌یابد. این افزایش برای مخلوط‌هایی دارای ۱ درصد آهک مقداری ناچیز و نمونه‌هایی با ۳ و ۴ درصد آهک افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد به طوری که افزودن ۴ درصد آهک به خاک رس مقدار مقاومت بیش از ۵/۵ برابر افزایش می‌یابد.

– افزودن خاکستر باگاس نیشکر به خاک رس CH باعث افزایش مقاومت فشاری محصور نشده خاک می‌شود. در خاک رسی تثبیت شده با خاکستر باگاس با افزایش درصد خاکستر باگاس مقدار مقاومت فشاری محصور نشده افزایش می‌یابد. حداکثر میزان افزایش مقاومت فشاری در زمان‌های عمل‌آوری ۷ و ۲۸ روزه با افزایش ۸۲ و ۹۲ درصد برای مخلوط‌هایی با ۱۲ و ۸ درصد خاکستر باگاس رخ داده است.

- افزودن آهک به خاک رس، علاوه بر افزایش شدید مقاومت، باعث تردی نمونه و کاهش انعطاف‌پذیری خاک می‌گردد. افزودن ۲ درصد خاکستر باگاس همراه با آهک باعث شده مدول الاستیسیته‌ی خاک به میزان ۲/۸ برابر کاهش یافته است؛ بنابراین استفاده از درصد مناسبی از خاکستر باگاس باعث کاهش اثرات نامطلوب ناشی از ترد شدن نمونه به وسیله آهک می‌گردد.

- با مطالعه نمودارهای تغییرات مدول کشسانی نمونه‌های مختلف با تغییرات مقاومت فشاری محصور نشده آنها می‌توان دریافت که روند تغییرات مدول کشسانی با روند تغییرات مقاومت فشاری محصور نشده تقریباً مشابه هم می‌باشند.

– زمان عمل‌آوری نقش مثبتی در افزایش مقاومت فشاری خاک رسی تثبیت شده با مخلوط آهک_خاکستر باگاس دارد. افزایش زمان عمل‌آوری به ۲۸ روز باعث افزایش فعالیت‌های پوزولانی خاکستر باگاس در ترکیب با آهک می‌گردد اما در نمونه‌های که تنها دارای خاکستر باگاس می‌باشند زمان عمل‌آوری تأثیر محسوسی بر افزایش مقاومت فشاری خاک ندارد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مدیریت و کارکنان موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و کشت و صنعت امیرکبیر به خاطر مساعدت و ارائه امکانات لازم جهت اجرای این پروژه سپاسگزاری می‌شود.

REFERENCES

Abbasi, N. (2011). The role of anions in dispersion potential of clayey soil. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 12(3)15-30. (In Farsi)

Abbasi, N. and Nazifi, M.H. (2013). Assessment and modification of Sherard chemical method for evaluation of dispersion potential of soils. *Journal of Geotechnical and Geological Engineering*, 31: 337-346.

Abbasi, N. and Farjad, A. and Sepehri,S. (2017). The use of nanoclay particles for stabilization of dispersive clayey soils. *Journal of Geotechnical and Geological Engineering*, doi. org/ 10.1007/ s10706 - 017-0330-9

Amu, O.O.; Ogunniyi, S.A and Oladeji, O.O. (2011). Geotechnical properties of lateritic soil stabilized with sugarcane straw ash.American Journal of Scientific and Industrial Research, ISSN: 2153-649X, Issue 2, Volume 2 PP. 323-331.

ASTM, (1996)."Mannual Books of ASTM Standards", American Society for testing and Materials , Philadelphia ,Pensylvania.

Bowles, J. E. (1992). Engineering Properties of Soils and Their Measurement. 4th Ed. McGraw-Hill, New York

Chavan, P. and Nagakumar, M.S. (2014). Studies on soil stabilization by usinng bagasse ash. International Journal of Scientific Research Engineering & Technology (IJSRET), ISSN: 2278–0882, ICRTIET-2014 Conference Proceeding, 30-31 August, 2014, PP. 89-94.

Gandhi, K. (2014). Experimental study of surat region expansive soil modified using bagasse ash and wood ash. *International Journal in IT and Engineering*, Issue 12, Volume 2, December 2014, PP. 62-70.

Kiran, R.G.and Kiran, L. (2013). Analysis of strength characteristics of black cotton soil using bagasse ash and additives as stabilizer. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, ISSN: 2278-0181, Issue 7, Volume 2, July 2013, PP. 2240-2246.

Kumar Sabat, A. (2012). Utilization of bagasse ash and lime sludge for construction of flexible pavements in expansive soil areas.*Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, ISSN 1089-3032, Volume 17, PP. 1037-1046.

Moaref, V. and labibzadeh, M. and Talashojae, M. (2013). The effect of khuzestan sugar cane

Archive of SID
www.SID.ir

bagasse on the concrete compressive strength. In: the Seventh National Congress of Civil Engineering, Faculty of Engineering Shahid Nikbakht, 17 and 18 May, Zahedan, iran, pp. 1-5. (In Farsi)

Movahedan, M. and Abbasi, N. and M. Keramati. (2012). Wind erosion control of soils using polymeric materials. *Eurasian Journal of Soil Science*, 1 (2): 81 –86.

Movahedan, M. and Abbasi, N. and M. Keramati. (2011). Experimental investigation of polyvinyl acetate polymer application for wind erosion control of soils. *Journal of Water and soil (Agricultural Science and Technology)*, 25: 606-616

Norouzian,K. Abbasi, N. and Abedi koupai,J. (2017).Use of sewage sludge ash and hydrated lime to improve the engineering properties of clayey soils. *Journal of Geotechnical and Geological Engineering.*

Osinubi, K.J. and Bafyau, V. and Eberemu, A.O. (2009). Bagasse ash stabilization oflateritic soil. *Appropriate Technologies for Environmental Protection in the Developing World*, PP.271-280.

Rajasekaran. G. (2005). Sulphate attack and ettringite formation in the lime and cement stabilized marine clays, *Journal of Ocean Engineering,* 32 (17): 1133-1159

Rahimi H. and Abbasi, N. and H. Shantia. (2011). Application of geomembrane to control piping of sandy soil under concrete canal lining (case study: Moghan irrigation project, Iran).*Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 60*: 330-337 , DOI: 10.1002/ird.574

Rahimi H. and N. Abbasi. (2007). Failure of concrete canal lining on fine sandy soils (A case study for Saveh Project). *Journal of Irrigation and Drainage Engineering,* 57, 83-92, DOI: 10. 1002 /ird. 350

Siavoshnia, M. and Najafi Zadeh, A. (2011). Effect of treatment and the percentage of the shear strength of clays (CH) - a mixture of lime and rice husk ash (LRHA). In: *the Sixth National Congress of Civil Engineering*, University of Semnan, 6 and 7 May, Semnan, iran, pp. 1-8. (In Farsi)

Shokrani, H. and Bakhshi, N. and Roghanizad, A. (2009). Experimental investigation of properties of bagasse ash as a cement replacement compared to other pozzolanic materials. *Journal of Society of Civil Engineers*, on No. 24, Summer 2009, Vol. XI, pp. 72-88. (In Farsi)

Spark, Donald. 2000. Soil Physical Chemistry. CRC Press, Florida,33431

Archive of SID

www.SID.ir