

بررسی تاثیر مواد افزودنی بتن بر مشخصات فیزیکی خاک تثبیت شده با آهک

آرمان صداقت^{۱*}، جواد سوداگری^۲، احمد فهیمی فر^۳

۱- کارشناسی ارشد، گروه خاک و پی، دانشگاه امیرکبیر

۲- استادیار، گروه خاک و پی، دانشگاه امیرکبیر

۳- استاد، گروه خاک و پی، دانشگاه امیرکبیر

arman.sedaghat@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۷/۳۰

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۱/۱۸

چکیده- خاک‌های ریزدانه رس‌دار با گسترش زیاد در سطح کشور، مشکلات زیادی در پروژه‌های عمرانی ایجاد کرده است. یکی از روش‌های اصلاح و یا بهبود خواص این خاک‌ها، تثبیت آن‌ها است. آهک به عنوان یک ماده تثبیت کننده مناسب برای خاک‌های ریزدانه شناخته شده است. در این مقاله تاثیر چهار ماده افزودنی بتن بر مشخصات فیزیکی خاک تثبیت شده با آهک مورد بررسی قرار گرفته است. این چهار ماده افزودنی با نام‌های Panplast R، RB-PC 386، RB-PC 375 و Planicrete SP به عنوان روان‌کننده و فوق روان‌کننده‌های بتن تاثیر مطلوبی بر خواص فیزیکی بتن دارند و از آنجا که عمل سیمان‌تاسیون تثبیت خاک با آهک مشابه سیمان است در این پژوهش تاثیر این مواد بر خاک تثبیت شده با آهک مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا چهار ترکیب مختلف از خاک و درصدهای مختلف آهک ساخته شد. از نتایج این ترکیب‌ها درصد آهک بهینه به دست آمده و سپس با استفاده از درصد آهک بهینه و درصدهای مختلف از مواد افزودنی مذکور اقدام به ساخت نمونه‌های مختلف شده است. برای جلوگیری از خطای ساخت و آزمایش از هریک از ترکیب‌ها ۲ نمونه ساخته شده و نتایج مورد نظر همگی به صورت میانگین اعداد به دست آمده از ۲ نمونه ارائه شده است. در مجموع ۴۹ نمونه ساخته و مورد بررسی قرار گرفته و همچنین برای بررسی تاثیر زمان عمل‌آوری بر ترکیب‌ها، ۲ نمونه با زمان عمل‌آوری ۷ روزه و ۲ نمونه با زمان عمل‌آوری ۱۴ روزه ساخته شده است. برای حفظ رطوبت، نمونه‌ها در زمان عمل‌آوری در کیسه‌های نایلونی ضخیم به صورت دربسته نگهداری شده و پس از گذشت زمان‌های عمل‌آوری هر نمونه به مدت ۹۶ ساعت در حوضچه‌های آب با دمای ثابت برای بررسی میزان تورم و جذب آب نگهداری شده است. پس از گذشت زمان یاد شده نمونه‌ها تحت آزمایش CBR قرار گرفته و نتایج آن‌ها با یکدیگر مقایسه شده است. در پایان مواد افزودنی "Panplast-R" و "RB-PC 375" تاثیر مطلوبی بر خواص یاد شده داشته، به شکلی که CBR آن‌ها به ترتیب ۹۰ و ۹۹ درصد به دست آمده و ماده افزودنی "RB-PC 386" تقریباً بی‌تاثیر و "Planicrete-SP" تاثیر نامطلوبی بر خواص خاک مورد مطالعه از خود نشان داده، به شکلی که مقدار CBR آن ۶۵ درصد اندازه گیری شده است.

واژگان کلیدی: خاک، آهک، تثبیت، مواد افزودنی بتن، CBR، تورم، جذب آب، چگالی، زمان عمل‌آوری

۱- مقدمه

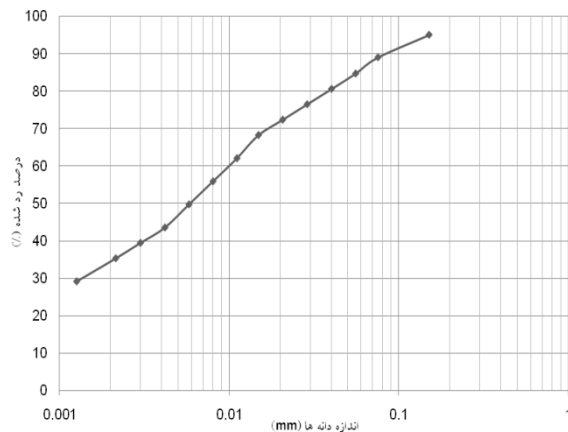
در ایران معمولاً از مصالح شن و ماسه‌ای برای زیرسازی و روسازی جاده‌ها استفاده می‌شود. شن و ماسه از بستر رودخانه‌ها و معادنی که غالباً از محل احداث راه دور است تامین می‌شود. این عملیات ضمن تخریب محیط زیست، هزینه قابل توجهی را نیز در بردارد. عمده هزینه‌ها مربوط به استخراج و حمل مصالح و تصحیح دانه‌بندی آن‌ها است که نیاز به نیروی انسانی، سوخت و ماشین‌آلات دارد. پژوهش‌هایی که در کشورهای مختلف جهان انجام شده نشان می‌دهد در مواردی که خاک مناسب باشد، تثبیت مخلوط خاک می‌تواند جایگزین شن و ماسه شود. با توجه به این که خاک از نزدیکی مسیر راه تامین می‌شود و نیازی به اصلاح دانه‌بندی وجود ندارد، بدین وسیله صرفه‌جویی قابل توجهی در ساخت راه‌ها صورت می‌گیرد. اما در خاک‌های ریزدانه دو پارامتر مقاومتی و تورمی خاک، نقش مهمی را ایفا می‌کنند. باید توجه داشت که این دو پارامتر، بیشتر اوقات از عوامل مساله ساز در سازه‌ها است. بنابراین با توجه به مقاومت و ظرفیت باربری کم و مشکلات تورمی این نوع خاک‌ها، باید به فکر چاره‌ای برای رفع این نواقص بود، یکی از روش‌های مقابله با این مشکلات، تثبیت خاک رس است. تثبیت خاک شامل فعالیت‌هایی است که در نتیجه آن‌ها مشخصات مهندسی خاک بهبود یافته و به ویژگی‌های مورد نظر نزدیک می‌شود. این اقدامات باعث افزایش مقاومت، کاهش تورم، کاهش نفوذپذیری، افزایش کارایی و اثرات بسیار سودمند دیگر می‌شود. روش‌های بسیاری برای اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک، با استفاده از تلفیق محدوده وسیعی از عوامل تثبیت، مواد افزودنی و مواد حالت‌دهنده ایجاد شده است. یکی از موادی که به شکل متعارفی بیشترین استفاده برای تثبیت خاک را دارد، آهک است. خاک‌های عمل‌آوری شده با آهک بیشتر به

عنوان مصالح بستر برای ساخت بزرگراه‌ها، فرودگاه‌ها و شالوده ساختمان‌ها استفاده می‌شوند. آهک به دلیل دامنه وسیع برای انواع خاک‌ها، قیمت مناسب، در دسترس بودن و آثار دائمی کاربرد زیادی دارد. با توجه به فراوانی خاک و وجود ذخایر عظیم سنگ آهک در کشور و همچنین قیمت مناسب آهک، تثبیت خاک با آهک روش مناسبی به نظر می‌رسد. علاوه بر این لایه‌های زیرسازی و روسازی راه‌هایی که با آهک تثبیت یا اصلاح شده‌اند در صورت طراحی و ساخت صحیح، قدرت باربری بیشتری نسبت به شن و ماسه داشته و در مقابل رطوبت نیز مقاوم‌ترند. همواره تثبیت خاک با آهک با مشکلاتی همراه بوده است. نیاز به آب زیاد برای عمل‌آوری و حفظ رطوبت خاک تثبیت شده در زمان عمل‌آوری یکی از این مشکلات به شمار می‌رود. امروزه در راهسازی علاوه بر تثبیت کننده‌های متعارف یعنی آهک، سیمان و قیر، مواد شیمیایی و معدنی جدیدی جهت بهبود خواص خاک‌ها عرضه می‌شوند که لازم است چگونگی کاربرد و میزان کارایی آن‌ها در هر پروژه خاص با انجام آزمون‌های دقیق مورد بررسی قرار گیرد. نمک‌ها، اسیدها، آنزیم‌ها، لیجنین سولفونیت، فرآورده‌های نفتی، امولسیون‌ها و چسب درختی از جمله گروه‌های اصلی تثبیت کننده‌های نامتعارف محسوب می‌شوند. (Vvedenka (۱۹۷۱) سعی کرد با استفاده از کوپلیمرها ماسه، سیلت و رس را تحکیم کند. بر مبنای مشاهدات وی، یکپارچگی و گیرش خاک در مدتی کمتر از ۱۰ روز کامل می‌شود. پیشنهاد وی برای میزان مصرف ماده افزودنی برای به دست آوردن مقاومتی قابل قبول، چیزی در حدود ۵ الی ۱۰ درصد بود. در پژوهشی که به وسیله Tingle و همکاران (۲۰۰۲) انجام شد، تاثیر مواد تسریع کننده (زودگیر کننده) افزوده شده به تثبیت کننده‌های امولسیون قیر، لیجنین سولفونیت، ۶ پلیمر متفاوت، سیلیکات و یک تثبیت کننده چسب درختی مورد

برشی و CBR خاک تثبیت شده از خود نشان داده است. در این پژوهش سعی شده است با استفاده از مواد افزودنی شیمیایی بتن که تاثیر مثبت کاهندگی آب آن‌ها روی بتن مشخص است، نسبت به ساخت نمونه‌های مختلف با درصدهای مختلفی از این مواد افزودنی پرداخت و با استفاده از آزمایش‌های CBR و تورم به بررسی تاثیر این مواد افزودنی روی خاک تثبیت شده با آهک پرداخت. همچنین به دلیل تاثیر روان کنندگی که این مواد دارند می‌توان با بررسی تاثیر آن‌ها بر روی تراکم خاک تثبیت شده، تاثیر آن‌ها را بر کارایی مخلوط پرداخت. این امر در صورت داشتن نتیجه مثبت باعث کاهش در هزینه پخش و کوبیدن این گونه خاک‌ها خواهد شد، که در اجرای عملیات‌های عمرانی بسیار مطلوب خواهد بود، زیرا کندی در پخش کردن و کوبیدن خاک تثبیت شده همواره یکی از معضلات پروژه‌های عمرانی بوده است. زیرا با گذشت زمان ترکیب خاک و آهک در معرض هوا قرار گرفته و آهک شکفته تبدیل به سنگ آهک می‌شود که برای تثبیت مضر است.

آزمایش CBR برای ارزیابی و بررسی افزایش مقاومت آبی خاک‌ها و همچنین تعیین درصد تورم خاک‌های اصلاح شده با آهک که حتی پس از عمل آوردن نیز واکنش خوبی با آهک ندارند مناسب است (طباطبایی، ۱۳۷۹). این آزمایش باید براساس دستورالعمل ASTM D3668 انجام شود. انجام این آزمایش با در نظر گرفتن اهداف تثبیت خاک با آهک روی نمونه‌های اشباع شده و یا اشباع نشده مناسب‌تر است. این آزمایش می‌تواند بلافاصله پس از تعیین وزن مخصوص مخلوط، که با ترسیم منحنی تغییرات وزن مخصوص - درصد رطوبت، اندازه‌گیری می‌شود انجام شود (Little, 1987 و همکاران). همین آزمایش‌ها نشان داده است که اگر نمونه خاک‌های تثبیت شده به مدت ۴۸ ساعت در گرمای ۴۸ درجه سانتیگراد عمل آورده شوند عدد

بررسی قرار گرفت. زودگیر کننده‌ها سیمان پرتلند و یک پلیمر بودند. در این آزمایش‌ها، علاوه بر آزمایش تک محوری آزمایش pH نیز مورد استفاده قرار گرفت Santoni و همکاران (۲۰۰۰). Santoni و همکاران (۲۰۰۳) پژوهش دیگری به منظور بررسی تاثیر محدوده وسیعی از تثبیت کننده‌ها روی خصوصیات خاک سیلتی - ماسه‌ای انجام دادند. ۳ تثبیت کننده متعارف (آهک، سیمان، امولسیون‌های آسفالتی) و ۱۳ تثبیت کننده نامتعارف از قبیل لیجنین سولفونیت، اسید، آنزیم پلیمر و امولسیونهای نفتی و ترکیبات چسب درختی در دو حالت ۲۸ روز عمل آوری در فضای آزاد (خشک) و ۲۸ روز عمل آوری در فضای آزاد سپس ۵ دقیقه غوطه وری مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که بعضی از تثبیت کننده‌ها توانایی افزایش مقاومت فشاری تک محوری را دارند، و بعضی از آن‌ها این قابلیت را ندارند. فرزانه (۱۳۹۰) در پژوهشی نشان داد افزودن پلیمرها در حالت خشک و در زمان‌های عمل-آوری مختلف موجب افزایش سریع و بسیار زیاد مقاومت نمونه می‌شود، اما پس از غوطه ور شدن، این مقاومت به چند صدم مقدار اولیه کاهش می‌یابد. درصدهای مختلف RRP نیز در هر دو حالت مرطوب و غوطه‌ور اثر قابل ملاحظه‌ای بر مقاومت ندارد. بنده‌زاده (۱۳۸۹) در پژوهش خود با استفاده از خاکستر بادی به این موضوع اشاره می‌کند که استفاده از مواد پوزولانی مانند خاکستر بادی، تاثیر آهک را بیشتر و تسریع می‌کند. میزان کلسیم محلول با اضافه کردن خاکستر بادی زیاد می‌شود و فعالیت پوزولانی افزایش می‌یابد. افزودن خاکستر بادی به صورت قابل توجهی مقدار pH را افزایش می‌دهد. همچنین باقریان (۱۳۸۲) با استفاده از خاکستر پوسته برنج نشان داد که افزودن RHA به ترکیب خاک و آهک نشانه خمیری مخلوط را کم می‌کند و افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقاومت



شکل ۱. منحنی دانه بندی خاک مورد استفاده

Panplast-R یک افزودنی روان‌ساز بر پایه لیگنوسولفونات است که به عنوان کاهش‌دهنده آب بتن و یک دیرگیرکننده برای افزایش خواص کارایی بتن و افزایش نسبی مقاومت استفاده می‌شود. به صورت مایع عرضه می‌شود و روی سطح ذرات سیمان اثر گذاشته و خاصیت روان‌کنندگی بسیار خوبی به ترکیب می‌دهد. به رنگ قهوه‌ای تیره است و به شکل محلول در آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. وزن مخصوص افزودنی فوق ۱/۲ kg/lit و RB-PC 386 این محصول به‌عنوان مایع افزودنی فوق روان‌کننده بتن با خاصیت حفظ اسلامپ زیاد و رسیدن به مقاومت‌های بالا و بر پایه پلی کربوکسیلات اتر است. RB-PC386 به دما و تنوع مصالح حساس نیست. RB-PC386 در مقایسه با فوق روان‌کننده‌های متداول بتن که بیشتر آن‌ها بر پایه ملامین سولفونات و یا نفتالین فرمالدئید است، با میزان مصرف کمتر، کارایی بسیار بالاتری داشته و روانی فوق‌العاده‌ای به دست می‌دهد بدون آن‌که سبب آب افتادگی ترکیب شود. به رنگ قهوه‌ای روشن با حالت روغن مانند با وزن مخصوص ۱/۱۵ kg/lit که به صورت محلول در آب مصرف می‌شود. این محلول حاوی ۴۵٪ ماده خشک است. RB-PC 375 این محصول به‌عنوان مایع افزودنی فوق روان-

CBR آن‌ها چندین برابر بیشتر از عدد CBR نمونه خاک‌های تثبیت نشده است (Qubin, 2000 و همکاران).

۲- مصالح مورد استفاده در پژوهش

خاک استفاده شده در این پژوهش خاک ریزدانه رسی به صورت خشک و عاری از مواد آلی می‌باشد که از منطقه کلاک شهرستان کرج در محدوده پروژه بزرگراه همت برداشت شده است. درصد رطوبت خاک در زمان آزمایش ۲/۴ درصد و چگالی ویژه خاک برابر ۲/۵۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. حد خمیری آن برابر ۱۸/۷ درصد و حد روانی آن برابر ۳۶ درصد و نشانه خمیری خاک برابر ۱۷/۳۰ بوده است. از آنجایی که ۸۹ درصد خاک مورد استفاده از الک شماره ۲۰۰ عبور می‌کند، برای دانه‌بندی خاک، از آزمایش هیدرومتری استفاده شده است. در شکل ۱ منحنی دانه‌بندی خاک نشان داده شده است و براساس سیستم طبقه بندی متحد خاک مورد استفاده در طبقه CL قرار می‌گیرد. برای تثبیت خاک نیز از آهک هیدراته شرکت آهک آذر شهر استفاده شده که به صورت پودر در کیسه‌های ۲۵ کیلوگرمی تولید می‌شود. همچنین از چهار نوع ماده شیمیایی افزودنی که در معرفی شده، استفاده شده است. آب مورد استفاده نیز آب مقطر است که توسط دستگاه تولید آب مقطر واقع در آزمایشگاه تهیه شده است. روی مصالح استفاده شده آزمایش‌های شناسایی اولیه انجام پذیرفته است که در ادامه به آزمایش‌های صورت پذیرفته و نتایج به دست آمده از این آزمایش‌ها اشاره خواهد شد.

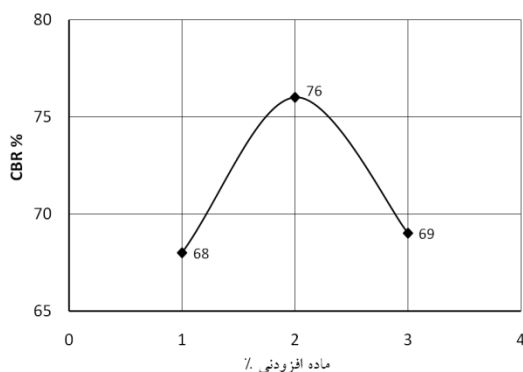
۳- مواد افزودنی

در این پژوهش از چهار ماده افزودنی شیمیایی بتن استفاده شده است.

معادل ۵٪ وزن خاک خشک به دست آمد. سپس با توجه به آهک بهینه و رطوبت بهینه با استفاده از چهار ماده افزودنی ترکیب‌های مختلفی ساخته شد. مقدار مواد افزودنی در ترکیب‌ها بر اساس درصدی از وزن خشک ترکیب معرفی شد. از هر ماده افزودنی برای ساخت ۳ نمونه با درصدهای مختلف استفاده شد که در جدول ۲ نام-گذاری آن‌ها به همراه درصدهای مختلف از هر ماده و زمان عمل‌آوری مشخص شده است. برای جلوگیری از بوجود آمدن خطا در ساخت، عمل‌آوری و آزمایش روی نمونه‌ها، برای هریک از ترکیبات ۲ نمونه ساخته شد که با میانگین‌گیری بین نتایج ۲ نمونه نتیجه نهایی برای هر نمونه به دست آمده است.

۵- نتایج آزمایش‌ها CBR

با توجه به درصد آهک بهینه به دست آمده، با استفاده از ماده افزودنی Panplast-R، سه ترکیب مختلف با درصدهای مختلف ماده افزودنی یاد شده و نیز زمان‌های عمل‌آوری متفاوت ساخته شد. در جدول ۳ نتایج به دست آمده از این آزمایش‌ها ارائه شده است. همچنین در شکل ۲ تغییرات مقدار CBR برای این نمونه‌ها ارائه شده است. همچنین در شکل ۳ تاثیر زمان عمل‌آوری برای نمونه‌های ساخته شده با ماده افزودنی Panplast-R ارائه شده است.



شکل ۲. تغییرات CBR ترکیب‌های ماده افزودنی Panplast-R

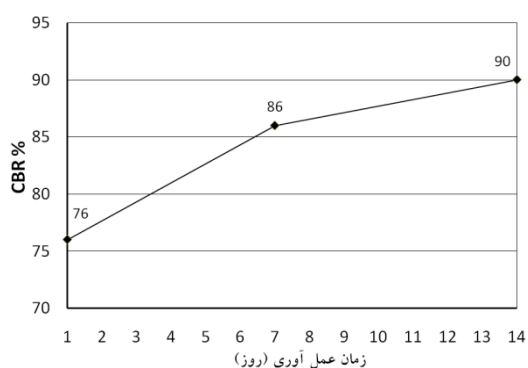
کننده کاهنده آب با خاصیت زودگیری بر پایه پلی کربوکسیلات اتر برای رسیدن به مقاومت‌های بالا و سریع و نیز دستیابی به بتن‌های فوق‌روان به‌ویژه برای کاربری در کارخانجات و کارگاه‌های تولید قطعات پیش‌ساخته بتنی-دیوارها، ستون‌ها، دال‌ها و پی‌ها و به‌طورکلی در مجموعه شرایطی که ضرورت رسیدن به مقاومت‌های سریع و امکان بازنمودن زود هنگام قالب‌ها مورد نظر است، کاربرد دارد. Planicrete-SP. افزودنی لاتکس چند منظوره ملات و چسب سیمانی برای تهیه ملات با کارایی بالا، بتن و کف-سازی‌ها به کار می‌رود. به صورت مایع بوده و باید به دور از نور و هوا در جای خشک و خنک نگهداری شود. با حالت روانی که ایجاد می‌کند کارایی را افزایش داده و در مقابل با کم کردن آب ترکیب، مقاومت را افزایش می‌دهد. در جدول ۱ مشخصات این چهار ماده افزودنی ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات مواد افزودنی مورد استفاده

نام ماده افزودنی	وزن مخصوص gr/cm ³	حالت فیزیکی	رنگ
Panplast R	۱/۲۰	مایع	قهوه‌ای تیره
RB-PC 386	۱/۱۰	مایع	قهوه‌ای روشن
RB-PC 375	۱/۱۰	مایع	قهوه‌ای روشن
Planicrete-SP	۱/۰۱	مایع	شیری

۴- ساخت، عمل‌آوری و آزمایش نمونه‌ها

ابتدا به وسیله آزمایش درصد رطوبت، رطوبت خاک مورد استفاده در آزمایش‌ها به دست آمده است. سپس با استفاده از روش آزمایش تراکم، درصد رطوبت بهینه خاک مورد استفاده محاسبه شد. با استفاده از آزمایش pH درصد آهک بهینه حدود ۴ الی ۵٪ به دست آمد که به وسیله آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا نتیجه تکمیل، و درصد آهک بهینه

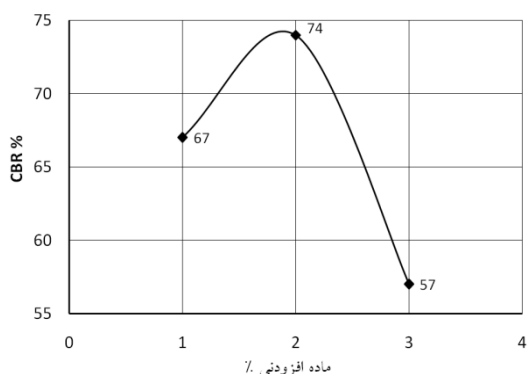


شکل ۳. تاثیر زمان عمل آوری بر CBR نمونه‌های ماده افزودنی Panplast-R

همچنین با استفاده از دیگر مواد افزودنی نمونه‌های مشابه ساخته شد که نتایج در ادامه ارائه شده است.

جدول ۴. مقادیر CBR برای ترکیب‌های مختلف ماده افزودنی RB-PC 386

نام نمونه	عمل آوری (روز)	CBR%	میانگین CBR
RB-PC 386_1%_1	۱	۶۷	۶۷
RB-PC 386_1%_1	۱	۶۶	
RB-PC 386_2%_1	۱	۷۵	۷۴
RB-PC 386_2%_1	۱	۷۲	
RB-PC 386_3%_1	۱	۵۸	۵۷
RB-PC 386_3%_1	۱	۵۵	
RB-PC 386_2%_7	۷	۸۴	۸۳
RB-PC 386_2%_7	۷	۸۲	
RB-PC 386_2%_14	۱۴	۸۷	۸۶
RB-PC 386_2%_14	۱۴	۸۵	



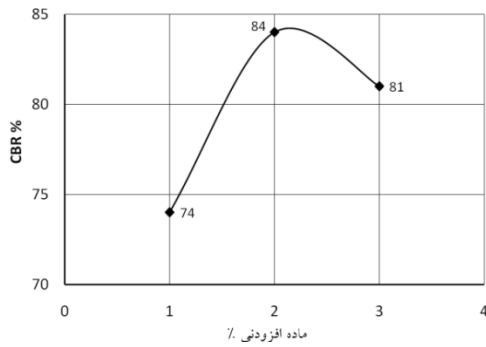
شکل ۴. تغییرات CBR ترکیب‌های ماده افزودنی RB-PC 386

جدول ۲. ترکیب‌های مختلف نمونه‌های ساخته شده

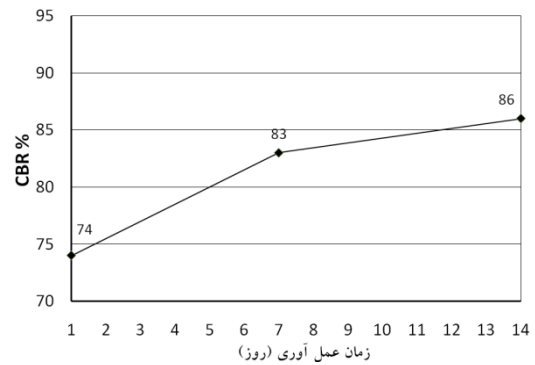
ردیف	نام نمونه	درصد آهک	درصد افزودنی	عمل آوری (روز)
1	خاک	0%	0%	1
2	خاک + آهک ۳٪	3%	0%	1
3	خاک + آهک ۴٪	4%	0%	1
4	خاک + آهک ۶٪	6%	0%	1
5	خاک + آهک ۵٪	5%	0%	1
6	خاک + آهک ۵٪	5%	0%	7
7	خاک + آهک ۵٪	5%	0%	14
8	Panplast R_1%_1	5%	1%	1
9	Panplast R_2%_1	5%	2%	1
10	Panplast R_3%_1	5%	3%	1
11	Panplast R_2%_7	5%	2%	7
12	Panplast R_2%_14	5%	2%	14
13	RB-PC 386_1%_1	5%	1%	1
14	RB-PC 386_2%_1	5%	2%	1
15	RB-PC 386_3%_1	5%	3%	1
16	RB-PC 386_2%_7	5%	2%	7
17	RB-PC 386_2%_14	5%	2%	14
18	RB-PC 375_1%_1	5%	1%	1
19	RB-PC 375_2%_1	5%	2%	1
20	RB-PC 375_3%_1	5%	3%	1
21	RB-PC 375_2%_7	5%	2%	7
22	RB-PC 375_2%_14	5%	2%	14
23	Planicrete SP_1%_1	5%	1%	1
24	Planicrete SP_2%_1	5%	2%	1
25	Planicrete SP_3%_1	5%	3%	1
26	Planicrete SP_2%_7	5%	2%	7
27	Planicrete SP_2%_14	5%	2%	14

جدول ۳. مقادیر CBR برای ترکیب‌های مختلف ماده افزودنی Panplast-R

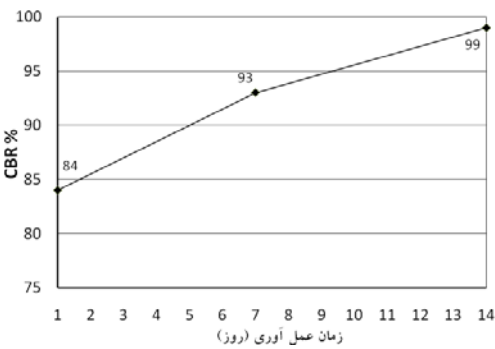
نام نمونه	عمل آوری (روز)	CBR%	میانگین CBR
Panplast R_1%_1	۱	۶۹	۶۸
Panplast R_1%_1	۱	۶۷	
Panplast R_2%_1	۱	۷۷	۷۶
Panplast R_2%_1	۱	۷۵	
Panplast R_3%_1	۱	۷۰	۶۹
Panplast R_3%_1	۱	۶۷	
Panplast R_2%_7	۷	۸۴	۸۶
Panplast R_2%_7	۷	۸۷	
Panplast R_2%_14	۱۴	۸۸	۹۰
Panplast R_2%_14	۱۴	۹۲	



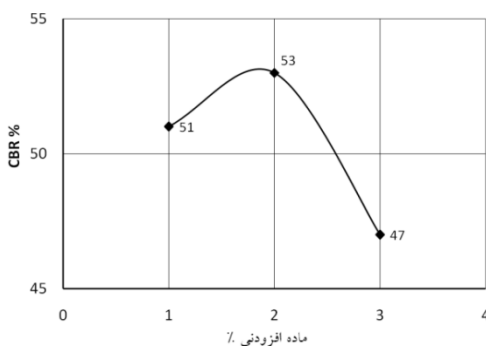
شکل ۶. تغییرات CBR ترکیب‌های ماده افزودنی RB-PC 375



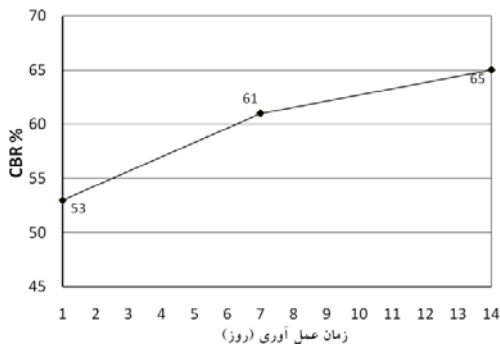
شکل ۵. تاثیر زمان عمل آوری بر CBR نمونه‌های افزودنی RB-PC 386



شکل ۷. تاثیر زمان عمل آوری بر CBR نمونه‌های ماده افزودنی RB-PC 375



شکل ۸. تغییرات CBR ترکیب‌های ماده افزودنی Planicrete SP



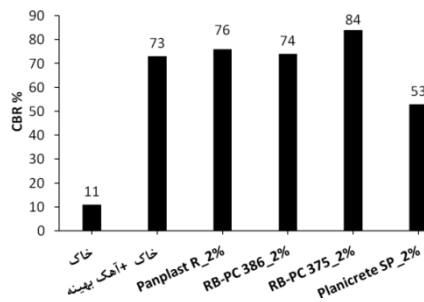
شکل ۹. تاثیر زمان عمل آوری بر CBR نمونه‌های افزودنی Planicrete SP

جدول ۵. مقادیر CBR ترکیب‌های مختلف ماده افزودنی RB-PC 375

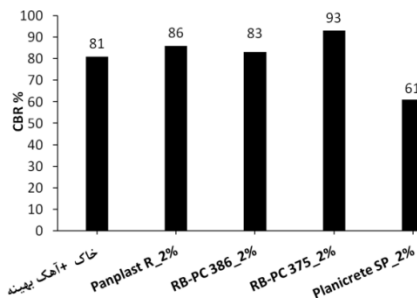
میانگین CBR	CBR%	عمل آوری (روز)	نام نمونه
۷۴	۷۲	۱	RB-PC 375_1%_1
	۷۶	۱	RB-PC 375_1%_1
۸۴	۸۳	۱	RB-PC 375_2%_1
	۸۵	۱	RB-PC 375_2%_1
۸۱	۸۰	۱	RB-PC 375_3%_1
	۸۱	۱	RB-PC 375_3%_1
۹۳	۹۲	۷	RB-PC 375_2%_7
	۹۵	۷	RB-PC 375_2%_7
۹۹	۱۰۰	۱۴	RB-PC 375_2%_14
	۹۸	۱۴	RB-PC 375_2%_14

جدول ۶. مقادیر CBR ترکیب‌های مختلف ماده افزودنی Planicrete SP

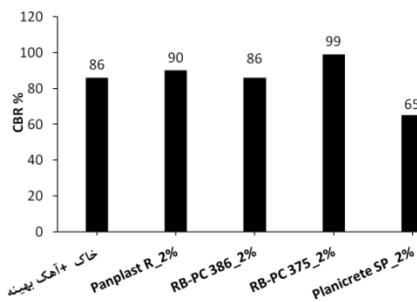
میانگین CBR	CBR%	عمل آوری (روز)	نام نمونه
۵۱	۵۲	۱	Planicrete SP_1%_1
	۵۰	۱	Planicrete SP_1%_1
۵۳	۵۲	۱	Planicrete SP_2%_1
	۵۴	۱	Planicrete SP_2%_1
۴۷	۴۶	۱	Planicrete SP_3%_1
	۴۷	۱	Planicrete SP_3%_1
۶۱	۶۱	۷	Planicrete SP_2%_7
	۶۰	۷	Planicrete SP_2%_7
۶۵	۶۶	۱۴	Planicrete SP_2%_14
	۶۳	۱۴	Planicrete SP_2%_14



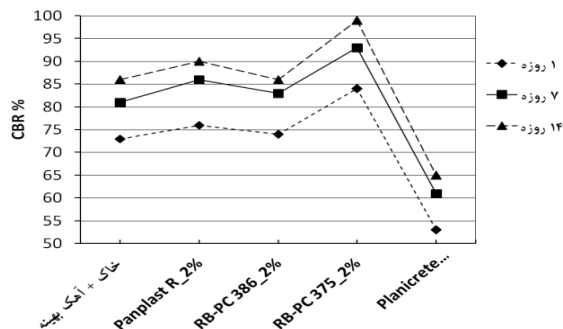
شکل ۱۲. مقایسه نتایج CBR بهترین ترکیب از ماده‌های افزودنی مختلف با زمان عمل‌آوری ۱ روزه



شکل ۱۳. مقایسه نتایج CBR بهترین ترکیب از ماده‌های افزودنی مختلف با زمان عمل‌آوری ۷ روزه



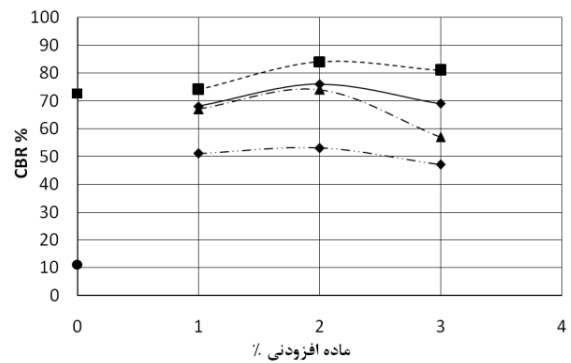
شکل ۱۴. مقایسه نتایج CBR بهترین ترکیب از ماده‌های افزودنی مختلف با زمان عمل‌آوری ۱۴ روزه



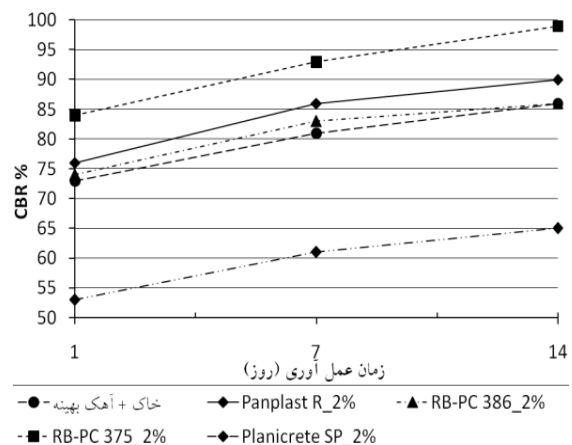
شکل ۱۵. مقایسه بین ترکیبات بهینه و تاثیر زمان عمل‌آوری بر آنها

۶- مقایسه نتایج آزمایش CBR در حالت‌های مختلف

با توجه به نتایج به دست آمده در قسمت‌های قبل مقایسه CBR های به دست آمده از ترکیب‌های مختلف در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در شکل ۱۱ تاثیر زمان عمل‌آوری بر مقدار CBR این نمونه‌ها ارائه شده است. همچنین مقایسه نتایج CBR بهترین ترکیب از ماده‌های افزودنی مختلف با زمان عمل‌آوری ۱، ۷ و ۱۴ روزه در شکل ۱۲، ۱۳ و ۱۴ ارائه شده است. همچنین مقایسه بین CBR ترکیبات بهینه و تاثیر زمان عمل‌آوری بر مقدار آنها در شکل ۱۵ ارائه شده است.



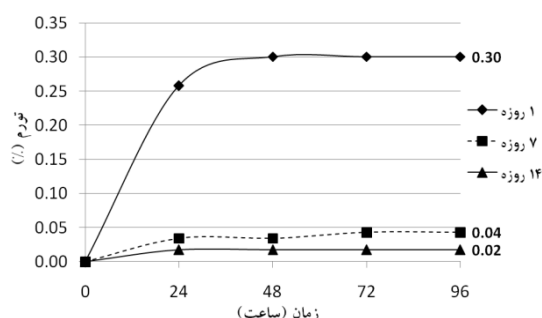
شکل ۱۰. مقایسه CBR ترکیب‌های مختلف با زمان عمل‌آوری ۱ روزه



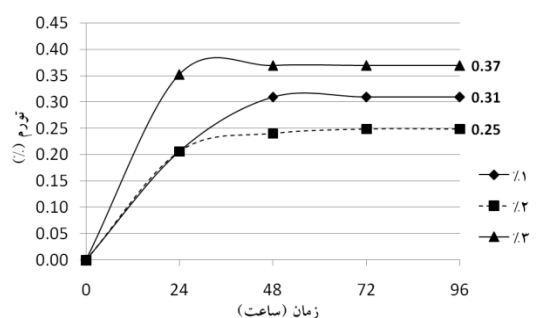
شکل ۱۱. تاثیر زمان عمل‌آوری بر CBR ترکیب‌های مختلف

۷- نتایج آزمایش اندازه گیری تورم

آزمایش تورم روی تمامی نمونه‌ها انجام گرفت. پس از سپری شدن زمان عمل‌آوری، هر نمونه به مدت ۴ روز (۹۶ ساعت) در حوضچه آب قرار گرفت و هر ۲۴ ساعت یک بار میزان تورم نمونه‌ها با استفاده از گیج قرائت شد که نتایج در این بخش ارائه شده است. شایان ذکر است که با توجه به ساخت ۲ نمونه از هر ترکیب در این بخش تمامی نتایج به صورت میانگین اعداد به دست آمده از ۲ نمونه ارائه شده است. در شکل ۱۶ نمودار تورم نمونه ساخته شده از خاک رس بدون هیچ گونه افزودنی با رطوبت بهینه نمایش داده شده است. همان گونه که مشخص است نمونه تورم زیادی در حدود ۱/۹۸ درصد بعد از ۹۶ ساعت از خود نشان داد. در شکل‌های ۱۷ الی ۲۷، تاثیر مواد افزودنی و زمان عمل‌آوری بر تورم نمونه‌های ساخته شده نشان داده شده است.

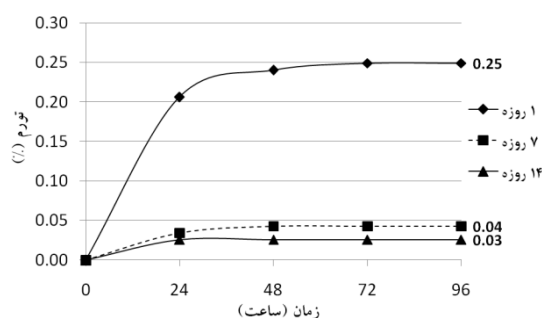


شکل ۱۸. تاثیر زمان عمل‌آوری بر تورم ترکیب خاک و آهک بهینه

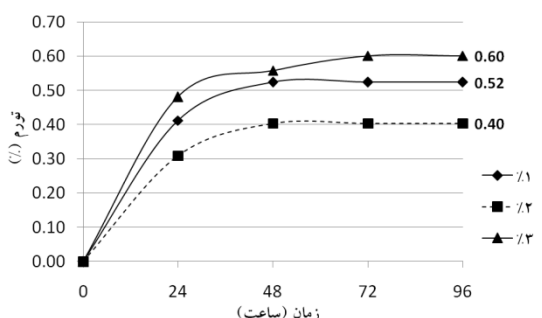


شکل ۱۹. نمودار تورم نمونه‌های ساخته شده با درصد‌های مختلف

ماده افزودنی Panplast-R

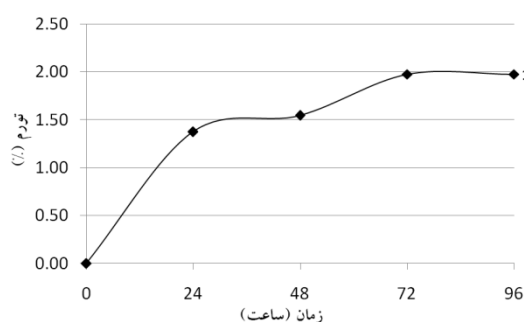


شکل ۲۰. تاثیر زمان عمل‌آوری بر ترکیب بهینه Panplast-R_2%

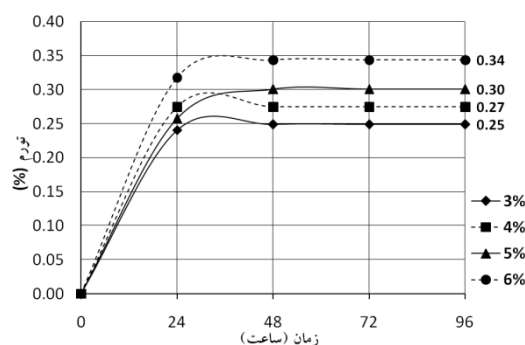


شکل ۲۱. نمودار تورم نمونه‌های ساخته شده با درصد‌های مختلف

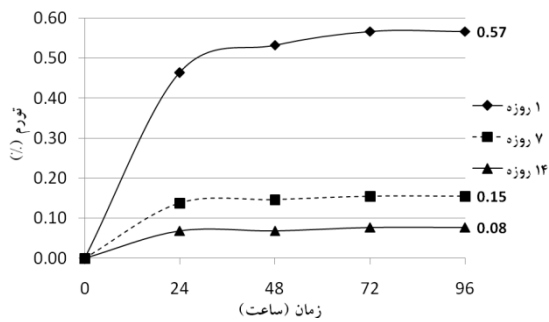
ماده افزودنی RB-PC 386



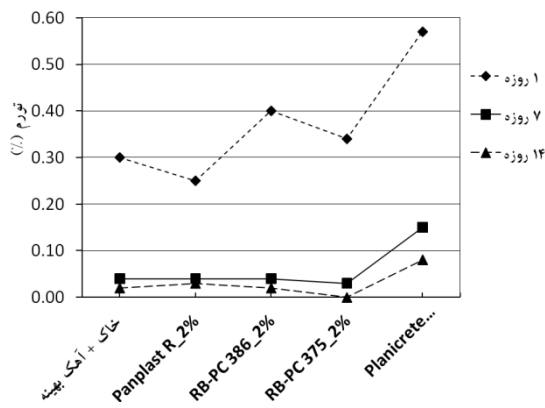
شکل ۱۶. نمودار تورم نمونه ساخته شده از خاک مورد مطالعه



شکل ۱۷. نمودار مقایسه‌ای تورم نمونه‌های درصد‌های مختلف آهک



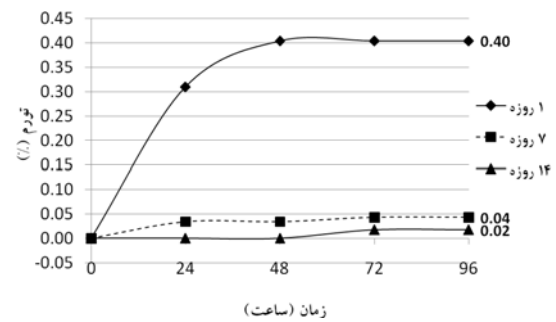
شکل ۲۶. تاثیر زمان عمل آوری بر ترکیب بهینه Planicrete SP_2%



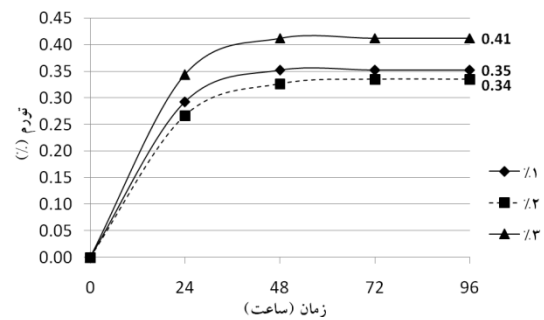
شکل ۲۷. نمودار مقایسه‌ای تورم نهایی ترکیب‌های مختلف و تاثیر زمان عمل آوری بر نتایج آن

۸- نتیجه گیری

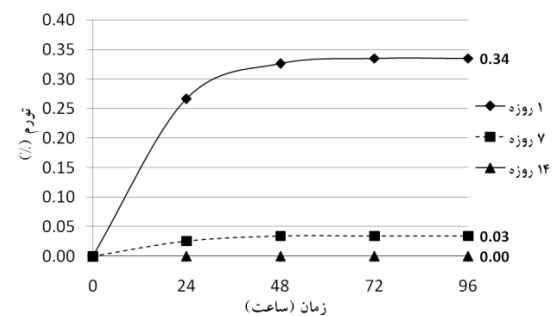
CBR اشباع نمونه ساخته شده با خاک رس برابر با ۱۱ درصد به دست آمد، پس از اضافه کردن آهک بهینه به این ترکیب مقدار CBR اشباع به ۷۳ درصد رسید، با استفاده از چهار ماده افزودنی نسبت به ساخت ترکیبات مختلف پرداخته شد. ترکیب RB-PC 375_2% بیشترین افزایش مقاومت CBR اشباع در زمان عمل آوری ۱ روزه را از خود نشان داد که برابر با ۸۴ درصد بود، همین ترکیب پس از گذشت ۷ روز عمل آوری در شرایط مناسب به CBR اشباع ۹۳ درصد دست یافت و همچنین پس از گذشت ۱۴ روز عمل آوری با افزایش مقاومت مطلوبی به مقاومت CBR اشباع ۹۹ درصد رسید که در مقابل دیگر ترکیب‌ها به شکل



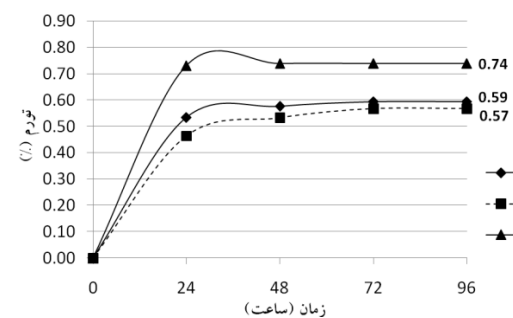
شکل ۲۸. تاثیر زمان عمل آوری بر ترکیب بهینه RB-PC 386_2%



شکل ۲۹. نمودار تورم نمونه‌های ساخته شده با درصد‌های مختلف ماده افزودنی RB-PC 375



شکل ۳۰. تاثیر زمان عمل آوری بر ترکیب بهینه RB-PC 375_2%



شکل ۳۱. نمودار تورم نمونه‌های ساخته شده با درصد‌های مختلف ماده افزودنی Planicrete SP

افزودن درصد مناسبی از ماده افزودنی به ترکیب در تثبیت خاک به وسیله آهک، با کم کردن انرژی تراکم و در واقع کاستن هزینه‌های تراکم خاک محل به مقاومت دلخواه طرح رسید. شایان ذکر است که تاثیر ماده افزودنی RB-PC 386 بر مقاومت CBR اشباع ناچیز بوده اما تاثیر آن بر تورم، جذب آب و چگالی ترکیب قابل توجه بوده و در مواقعی که بهبود این خواص بدون تغییر در مقاومت مورد نیاز باشد می‌توان از این ماده افزودنی استفاده نمود. همچنین در مورد ماده افزودنی چهارم "Planicrete SP" که در این پژوهش از آن استفاده شد می‌توان به این موضوع اشاره کرد که نه تنها تاثیر مطلوبی بر این خواص ندارد بلکه موجب کاهش عدد CBR خواهد شد. در مجموع بهترین ترکیب ساخته شده با توجه به تمامی پارامترها، ترکیب 2% RB-PC 375 می‌باشد که هم افزایش مقاومت چشمگیری از خود نشان داد و هم تورم خاک را به مقدار زیادی کاهش داد.

۹- مراجع

- [۱] اکرمی، علی. ۱۳۸۵. بررسی خاک رس تثبیت شده با آهک و سرباره کوره و اثر سولفات بر آن. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، مکانیک خاک و پی. دانشکده مهندسی. دانشگاه بوعلی سینا.
- [۲] باقریان، ابوالقاسم. ۱۳۸۲. تثبیت بستر راه‌های مازندران با آهک و خاکستر پوسته برنج. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، مکانیک خاک و پی. دانشکده فنی و مهندسی. دانشگاه مازندران.
- [۳] باقریان، ابوالقاسم، عسگر جانعلی زاده و سعید حسامی. ۱۳۸۴. استفاده از خاکستر پوسته برنج در تثبیت خاکها با آهک. تهران: دومین کنگره ملی مهندسی عمران.

قابل توجهی بیشتر بود و در مقابل خاک تثبیت شده با آهک بهینه پس از گذشت ۱۴ روز عمل آوری مقدار CBR اشباع آن برابر با ۸۶ درصد بود. همچنین ترکیب 2% Panplast R پس از ۱۴ روز عمل آوری در شرایط همسان به مقاومت CBR اشباعی برابر با ۹۰ درصد رسید که در مقابل ترکیب بدون ماده افزودنی مقاومتری بیشتر از خود نشان داد. در مورد ترکیب 2% RB-PC 386 افزایش مقاومت مشهود نبوده و تقریباً نتایج با ترکیب بدون حضور ماده افزودنی برابری می‌نمود. اما در مورد ترکیب Planicrete SP شرایط به گونه‌ای دیگر بود، این ماده افزودنی در نتایج مقاومت CBR از خود نتیجه عکس نشان داد و تمامی نتایج از مقادیر بدست آمده از ترکیب خاک و آهک بهینه کمتر بود و حتی پس از گذشت زمان عمل آوری ۱۴ روزه نتوانست از مرز CBR اشباع ۶۵ درصد بالاتر برود.

در مورد جذب آب و تورم نمونه‌ها، در عمل آوری ۱ روزه کمترین میزان تورم مربوط به ترکیب 2% Panplast R بوده است و بیشترین تورم مربوط به ترکیب Planicrete SP 2%، اما پس از گذشت ۷ روز عمل آوری نتایج کمی متفاوت بودند، کمترین میزان تورم مربوط به ترکیب 2% RB-PC 386 و همچنین بیشترین تورم مربوط به ترکیب 2% Planicrete SP بوده اما پس از گذشت ۱۴ روز زمان عمل آوری در شرایط مناسب نتایج حاکی از آن بود که ترکیب 2% RB-PC 375 که بیشترین مقاومت CBR اشباع را از خود نشان داد، کمترین میزان تورم را داشت و با توجه به دستگاه قرائت تورم میزان تورم این نمونه ناچیز بود. از نتایج به دست آمده می‌توان این گونه برداشت کرد که افزودن درصد مناسبی از مواد افزودنی شیمیایی همچون RB-PC 375 و Panplast R به جای آب به ترکیب، می‌تواند تاثیر مطلوبی بر افزایش مقاومت CBR و کاهش تورم و همچنین افزایش چگالی داشته باشد. بدین منظور می‌توان با کاستن آب و

- [۴] بنده‌زاده، امید، محمد هادی داودی. و محمدفرید آستانه. ۱۳۹۰. بررسی عامل زمان و درصد مخلوط آهک و خاکستر بادی بر خواص فیزیکی و مکانیکی خاک ریزدانه، مجله علمی پژوهشی عمران مدرس. دوره یازدهم. شماره ۳.
- [۵] بیات، آرش. ۱۳۸۵. بررسی آزمایشگاهی تثبیت محور شه‌داد- نهندان با استفاده از آهک، سیمان، RRP، ZAM1، ZAM2. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، راه و ترابری. دانشکده فنی. دانشگاه تهران.
- [۶] پاشاباوندپوری، محمدعلی. ۱۳۸۹. تاثیر پوزولان بر مقاومت فشاری تک محوری خاک رس تثبیت شده با آهک در معرض سولفات. بابلسر: اولین همایش ملی سازه، زلزله، ژئوتکنیک.
- [۷] روشن‌امید، حسین. ۱۳۸۵. تاثیر دوده سیلیسی بر خاک تثبیت شده با آهک در مجاورت سولفات. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، مکانیک خاک و پی. دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا.
- [۸] طباطبایی، امیرمحمد. ۱۳۷۹. روسازی راه. تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
- [۹] عربانی، مهیار. و مهدی ویس کرمی. ۱۳۸۸. تاثیر درصد رس و درصد آهک بر CBR ماسه‌های رس دار تثبیت شده با آهک. تهران: نشریه مهندسی عمران. سال بیست و یکم. شماره یک.
- [۱۰] فرزانه، اورنگ و عهدیه مصدق. ۱۳۹۰. بررسی آزمایشگاهی تثبیت خاک بستر راه کرمان-زنگی آباد با استفاده از چهار ماده آهک، RRP، ZAM I، ZAM II. تهران نشریه مهندسی عمران و نقشه‌برداری دانشکده فنی دانشگاه تهران. دوره ۴۵. شماره ۱.
- [۱۱] نادری، حسین. ۱۳۸۸. تاثیر سرباره دانه‌ای کوره بلند ذوب‌آهن اصفهان (GGBS) بر مقاومت و خصوصیات تورمی خاک رس تثبیت شده با آهک در مجاورت سولفات. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، مکانیک خاک و پی. دانشکده فنی و مهندسی. دانشگاه مازندران.
- [12] Cabrera, J and Rojas, M.F. 2001. Mechanism of hydration of metakaolin- limewater system, cement and concrete research, No.2.
- [13] Little, D. N, Thompson, R. L, Terrell, R. L, Epps, J. L and Borenberg, E. J. 1987. Soil Stabilization For Roadways and Airfields, ADESC Final Report, U. S. A.
- [14] Little, D. N. 1996. Assessment in Situ Structural Properties of Lim- Stabilized Clay Subgrades, TRR NO. 1546.
- [15] Mitchell, J. K. 1993. Fundamentals of Soil Behavior, John Wiley and Sons, 406 p.
- [16] Qubin, B.S, Seksinsky, E.J and Li . J. 2000. Incorporating Subgrade Lime Stabilization into Pavement Design, Journal of Trans. Rasearch Record, No. 1721, TRB.
- [17] Rajasekaran, G. 2005. Sulphate Attack and Ettringite Formation in the Lime and Cement Stabilized Marine Clays, Ocean Engineering, Vol. 32, No. 55.
- [18] Sherwood, P.T. 1995. Soil Stabilization With Cement and Lime, State of The Art Review, TRL, Dept. of Trans.
- [19] Sherwood, P. G. 1996. Lime Stabilization with Cement and Lime, Transport Research Laboratory, HMSO Publication Center, 153 P.
- [20] Santoni, R. L., Tingle, J. S. and Webster, SL. (2003). "Stabilization of Silty Sand with Non-traditiona Additives." Transportation Research Record 1787, TRB, National Research Council, Washington, DC, PP.
- [21] Yazici, V. 2004. Stabilization of Expansive Clays Using Granulated Blast Furnace Slag (GBFS), GBFS-Lime Combinations and GBFS Cement.

(Research Note)

The effect of concrete additives on physical properties of soil stabilized with lime

A. Sedaghat^{1*}, J. Sodagari², A. Fahimifar³

1- M.Sc. of Transport Eng., Faculty of Eng., Islamic Azad University, Science and Research Branch

2- Assistant Prof., Department of civil engineering, Amirkabir University of Technology

3- Professor, Department of civil engineering, Amirkabir University of Technology

arman.sedaghat@gmail.com

Abstract:

Sand and gravel materials are commonly use for structure layers of roads. These materials are providing from riverbeds and mines, which are usually far from the operation site area. While the process involves manipulation of riverbeds and mines it also has a significant cost, most of it in extraction, transportation, Gradation correction, fuel and machinery. Researches done in different countries are showing that in cases soil is in good quality, stabilized mixture of soil can be used instead of sand and gravel. These can results a signifactnt amount of money saving by providing soil from near the road and eliminating the process of Gradation correction. However, there are resistance and inflammatory parameters of fine soils, which play an important, usually problematic, role in structure buildings. The abundance of fine-grained clayey soils in the country, have created serious problems in construction projects. One of the ways to modify or improve the properties of these soils is stabilizing. Lime as a stabilizer for fine-grained soils is famous. In this thesis, the effect of four chemical additives on the CBR strength of soil stabilized with lime is studied. In addition, effect of additives on properties such as swelling, water absorption and density of soil stabilized with lime is studied. These additives with names "Panplast R", "RB - PC 386", "RB - PC 375" and "Planicrete SP" as a lubricant and concrete superplasticizer have the desired effect on the chemical and physical properties of concrete. Moreover, the Cementation act of stabilized soil with lime is like cement. In this study, the effects of those additives on lime-stabilized soil are studied. First four different combinations of soil and different percentages of lime made. The results obtained optimized percentage of lime. Then optimized percentage of lime and different percentages of additives used to build the different samples. In order to avoid faults and testing errors, each combination made by two samples. All desired results were presente as mean values obtained from two samples. Total of 49 samples were built and tested. Due to determine the effect of curing time of each combination, two sample with 7-day curing time and two other with 14-day curing time are made. In order to preserve the moisture in the samples during the curing time they were stored in sealed thick nylon bags. After curing time for each sample for 96 hours at constant temperature water baths were maintaine to monitor inflation and the water absorption. After time the CBR test done. Finally, the Additives "Panplast-R" and "RB-PC 375" had a favorable impact on listed properties, so that the CBR result was 90% and 99%, the "RB-PC 386" was almost effectless, and the "Planicrete-SP" has shown Negative impact on the properties of interest. so that the CBR result was 65%.

Keywords: Soil, lime, stabilization, additives, CBR, swell, water absorption, density, curing time