

شناسایی مشخصات رفتاری خاکهای شور در منطقه طالقان و تثبیت آن به وسیله آهک مطالعه موردی جاده هشتگرد طالقان

سعید حیدری^۱، رضا ضیایی مؤید^۲، مجتبی صیادی^۳

Heidari.Saeid@yahoo.com
Reza_Ziaie_moayed@yahoo.com
Sayadi_Mojtaba@yahoo.com

خلاصه

وجود خاکهای شور در پروژه‌های عمرانی سبب بروز مشکلاتی می‌گردد این خاکها ممکن است در شرایط عادی (خشک) مقاومت و مشخصات مکانیکی مناسبی از خود بروز دهند به طوری که استفاده از این خاکها برای پروژه‌های عمرانی مناسب تشخیص داده شوند لیکن اغلب در برخورد با رطوبت (به دلیل آب دوستی بیشتر خاکهای شور نسبت به خاکهای رسی معمولی) دچار افت‌های شدید مقاومتی شده و حتی در برابر بارهای بسیار کوچک دچار فروریزی شوند. بنابراین نمی‌توان به مقاومت ظاهری این خاکها در حالت خشک اطمینان کرد. هدف از این تحقیق بررسی رفتار مکانیکی خاکهای شور اصلاح شده بر اثر افزودن آهک شکفته به خاک طبیعی شور می‌باشد. برای این منظور از نمونه‌های خاک اخذ شده از جاده هشتگرد-طالقان با هدایت الکتریکی ۸/۰۹ دسی زیمنس بر متر با نشانه SM، حد روانی ۳۶/۲، حد خمیری ۲۸/۲، نشانه خمیری ۸ و Gs برابر ۲/۸۸ استفاده شده است. آزمایش‌های PH، حدود اتربرگ، تراکم، CBR خشک و اشباع بر روی نمونه‌های خاک انجام و مناسب‌ترین اختلاط در روش PH برابر ۶ درصد آهک و در آزمایش حدود اتربرگ برابر ۶ درصد و در CBR خشک و اشباع با توجه به عدد CBR بالای نمونه‌ها در درصدهای ۶ و ۴ درصد مخلوط ۲ درصد آهک در این مطالعه پیشنهاد گردید.

کلمات کلیدی: آهک، تثبیت، خاک شور، اشباع، عدد CBR

۱. مقدمه

خاکهای شور با فراوانی گسترده ۱۵ درصد در سطح کشور مشکلات زیادی در پروژه‌های عمرانی ایجاد کرده‌اند. یکی از روشهای اصلاح یا بهبود خواص این خاکها، تثبیت با آهک و سیمان می‌باشد. تاکنون مطالعات نسبتاً زیادی جهت تثبیت خاکهای مسئله‌دار با استفاده از آهک و سیمان در ایران و جهان انجام شده است ولی در ارتباط با خاکهای شور محور تحقیق‌های انجام شده در محور زمین‌شناسی و کشاورزی بوده است. یک نمونه از این خاکها به نام Sabkha [۱] که در منطقه‌ای وسیع در کشور عربستان سعودی دیده می‌شود باعث خرابیهای شدیدترانشه‌ها و ایجاد شیارهای بزرگ پس از بارندگی‌های بیابانی شده است. در نتیجه نمی‌توان به مقاومت ظاهری این نوع خاکها اطمینان کرد.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی «ره» - قزوین

^۲ استادیار دانشگاه بین‌المللی امام خمینی «ره» - قزوین

^۳ مدرس دانشگاه شهید بهشتی

۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

ایجاد شرایط شوری در زمین‌ها را می‌توان به علت افزایش کانی‌های تبخیری نظیر هالیت (NaCl) و سلوین (KCl) و سولفات دو سود (میرابلیت) و ژپس و اندریت در ارتباط دانست. نهشته‌گذاری خاک‌های شور به شرایط زمین‌شناسی و وجود برخی سازندهای زمین‌شناسی به ویژه به محیط‌های رسوبی (پلایایی) و سیخایی مرتبط دانست و این شوری ناشی از رسوب‌گذاری در جا نامیده می‌شود. البته شرایط ناشی از فرسایش و حمل از مبادی دورتر و رسوب‌گذاری در نقاط جدید (رسوب‌گذاری غیر در جا)، کاهش دبی رژیم رودخانه‌ای، فرسایش‌های بادی و انتقال توسط باد و شرایط اقلیمی (شرایط گرم و خشک) و از همه مهم‌تر تغییرات سطح ایستایی و ایجاد شرایط آب شویی از سطح به عمق و کاپیلاریته از عمق به سطح از دیگر شرایط تشکیل خاک‌های شور است. شاید مهم‌ترین نمود خاک‌های شور (به ویژه هم‌سازی آن با خاک‌های ریزدانه رسی سیلتی) آبدوستی شدید این خاکها در شرایط حاکمیت جریان‌ات آب‌های سطحی می‌باشد.

مطالعه موردی که در این پژوهش مد نظر قرار گرفته است رسوبات قرمز فوقانی سازند آپررد (URF (Upper Red Formation [۲] در منطقه طالقان (در بستر جاده احداثی طالقان هشتگرد) در جنوب روستای شهرک می‌باشد. که مظاهر شوری به صورت گره‌های سوزنی و ژپس به وضوح در شرایط خشکی در خاک هویدا می‌باشد (شکل ۱). بدیهی است بنا به شرایط آبشویی در زمان بارش‌های جوی این گروه‌های نمکی به لایه‌های تحتانی تر نفوذ می‌نماید. بنابراین مقایسه تغییرات EC (Electrical Conductivity) در این خاک‌ها می‌بایست تابع شرایط اقلیمی و زمانی باشد.



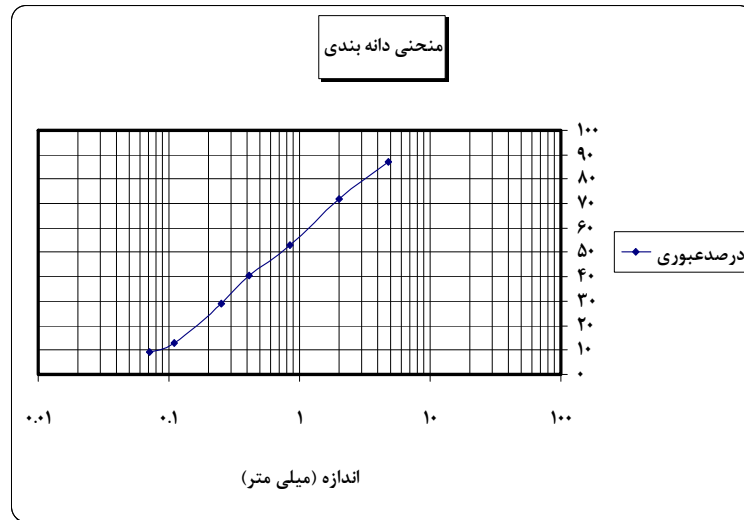
شکل ۱- لغزش شیروانی های خاک شور در جاده طالقان هشتگرد

باتوجه به وجود درصد قابل توجه ریزدانه در خاک در محدوده مطالعاتی و فراوانی تخلخل لازم جهت جذب آب و رسیدن به شرایط اشباع، امکان لغزش در خاکهای مذکور فراهم می‌آید. در چنین حالتی هم‌سازی کانیهای تبخیری به ویژه نمک با این رسوبات (باتوجه به ماهیت شیمیایی آن) و تمایل در جهت جذب آب و رسیدن به حالت روانی را به شدت افزایش می‌دهد و فرآیند رسیدن به حالت فوق اشباعی را در این خاکها فراهم می‌سازد. در چنین شرایطی به هنگام تبخیر تحت شرایط کاپیلاریته و خروج آب از خلل و فرج دانه‌ها رویداد نشست به صورت ناهمگن در این خاکها قابل پیش بینی خواهد بود. از سوی دیگر استقرار خاکها در شرایط شیب‌های بیش از ۱۵ درجه و افزایش وزن توده امکان ناپایداری و جنبایی و حرکت در شیب دامنه‌ای را به همراه خواهد داشت. بر این اساس به وضوح اثرات حاکمیت شرایط شوری و ناپایداری حاصل از آن در بستر سازه‌ها به صورت نشست‌های ناهمگن (ایجاد درزه به ویژه در راههای احداثی) و یا به صورت حرکات دامنه‌ای (حرکت توده‌ای و رانشی) در ترانشه راه‌ها و به صورت تراست‌های پلکانی در طبیعت کاملاً قابل رویت می‌باشد. مشخصات خاک مورد مطالعه در جدول (۱) و شکل شماره (۲) ارائه شده است.

EC اندازه‌گیری شده از نمونه‌های خاک طبیعی بستر جاده احداثی برابر ۸/۰۹ دسی‌زیمنس بر متر است که در طبقه‌بندی جزء خاکهای شور می‌باشد [۳].

جدول ۱- مشخصات خاک مورد مطالعه

Gs	EC ds/m	PI	PL	LL	PH	درصد رطوبت اولیه	طبقه بندی متحد	طبقه بندی اشتو
۲/۸۸	۸/۰۹	۸	۲۸/۲	۳۶/۲	۸/۳۹	۱۴/۳	SM	A-2-4



شکل ۲- منحنی دانه بندی

۳. کنترل معیار رمبندگی

در این بررسی به منظور تعیین معیار رمبندگی از معیار گیبس و بارا ۱۹۶۲ استفاده شده است. گیبس و بارا استفاده از وزن مخصوص خشک و حد روانی را به عنوان معیاری برای تفکیک انواع خاکهای رمبنده و غیررمبنده پیشنهاد نمودند. بر طبق این معیار خاکی که میزان فضای خالی آن گنجایش درصد رطوبت و حد روانی را در حالت اشباع دارد ($e > II$) مستعد رمبندگی در اثر اشباع شدن است [۴].
حد روانی خاک مورد مطالعه در این تحقیق ۳۶/۲ درصد و مقدار نسبت منافذ محاسبه شده معادل ۴۱/۲ درصد می باشد که با مقایسه این دو عدد مشخص می گردد بر اساس معیار گیبس و بارا خاک مورد مطالعه استعداد رمبندگی را دارا می باشد.

۴. مشخصات آهک مصرفی

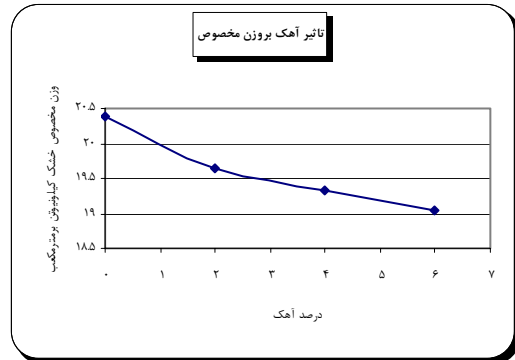
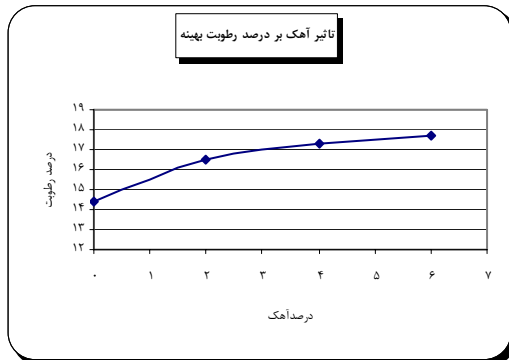
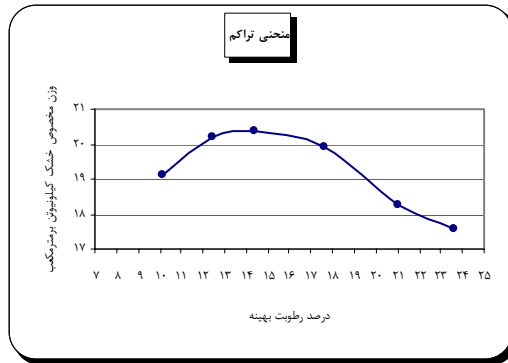
اگر چه آهک زنده به علت درصد بالای CaO تأثیر بیشتری در تثبیت و اصلاح خاک نسبت به آهک هیدراته یا شکفته دارد ولی چون کار کردن با آهک هیدراته ایمن تر می باشد کاربرد آن در صنعت مرسوم تر است. از نظر فعل و انفعالات شیمیایی تفاوتی بین این دو آهک وجود ندارد. معمولاً میزان ۴ درصد وزنی آهک هیدراته معادل ۳ درصد آهک زنده می باشد، با این تفاوت که آهک زنده به آب بیشتری جهت هیدراته شدن نیاز دارد. آهک زنده در مقایسه با آهک شکفته تغییر حجم بیشتری دارد به طور متوسط تغییر حجم آهک زنده نسبت به آهک شکفته ۲/۵ تا ۳ برابر بیشتر است [۵].

۵. نتایج آزمایش تراکم

به منظور تعیین وزن مخصوص خشک حداکثر خاک و رطوبت بهینه، آزمایش تراکم استاندارد (ASTM-698-78) بر روی نمونه خاک مورد بررسی با درصدهای متفاوت آهک انجام گرفت. نتایج بدست آمده در شکل (۳) ارائه شده است. همانطور مشاهده میشود افزودن آهک به خاک موجب کاهش وزن مخصوص خشک حداکثر و افزایش رطوبت بهینه می گردد. تغییرات رطوبت بهینه و وزن مخصوص خشک در درصدهای آهک کم (۰-۳ درصد) دارای شیب تند بوده و با افزایش درصد آهک (۶-۳ درصد) آهنگ تغییرات روند کندتری می یابد.

جدول ۲- مقادیر رطوبت بهینه و وزن مخصوص بادرصدهای مختلف آهک

وزن مخصوص خشک KN/m ³	درصد رطوبت بهینه	درصد آهک
۲۰/۳۹	۱۴/۴۲	۰
۱۹/۶۳	۱۶/۵۳	۲
۱۹/۳۴	۱۷/۲۶	۴
۱۹/۰۳	۱۷/۷۵	۶



شکل ۳- نتایج آزمایش تراکم بر روی خاک طبیعی و نمونه های تثبیت شده با درصدهای مختلف آهک

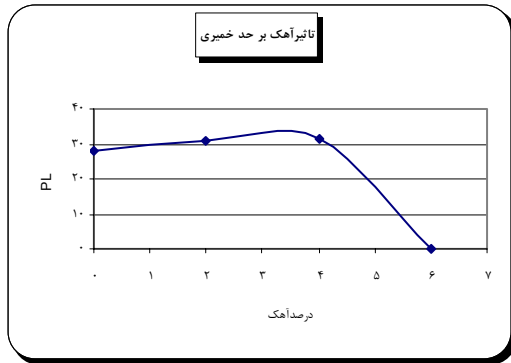
۶. طرح تثبیت خاک با آهک

الف: روش دامنه خمیری

اصولاً از روش دامنه خمیری به منظور تعیین درصد آهک مناسب برای اصلاح خواص خمیری خاکهای ریزدانه خمیری استفاده می‌شود [۶]. با بررسی نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های حاصل از آزمایش اتربرگ ملاحظه می‌گردد که افزایش درصد آهک باعث کاهش مقدار PI می‌گردد (شکل ۴). همچنین با افزایش درصد آهک در ابتدا مقدار PL افزایش پیدا می‌کند این روند تا ۳ درصد آهک ادامه داشته و بعد از این مقدار سیر نزولی پیدا می‌کند. در ارتباط با LL خاک مورد نظر، مقدار حد روانی در ۳ درصد آهک به حداکثر مقدار خود رسیده و پس از آن سیر نزولی کاملاً

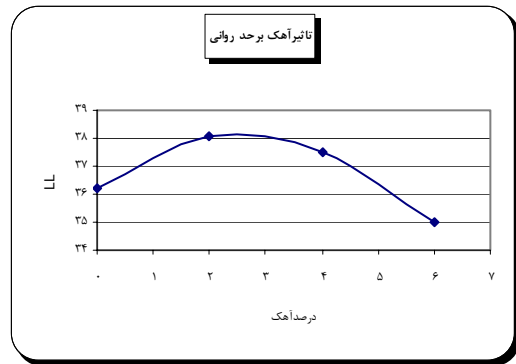
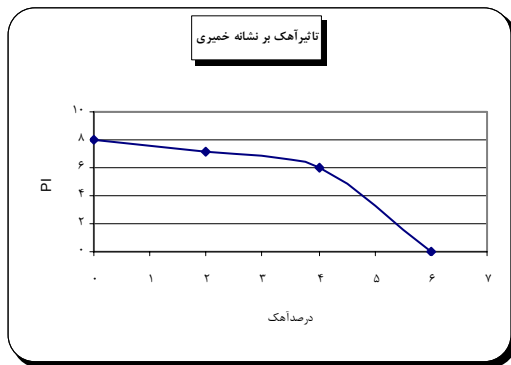
مشهود است. با بررسی نتایج بدست آمده مشخص می‌گردد که شیب سمت چپ مقدار ۳ درصد آهک در LL بیشتر از مقدار متناظر آن در PL می‌باشد.

تقریباً تمام خاکهای ریزدانه وقتی با آهک و آب مخلوط می‌شوند، در کوتاه مدت واکنش تبادلی کاتیونی و در دراز مدت واکنش‌های پوزولانی انجام می‌دهند. واکنش کاتیونی بلافاصله پس از افزودن آب به آهک به خاک انجام گرفته و باعث کاهش پلاستیسیته، افزایش کارایی و مقاومت نسبی آن و همچنین تغییر ساختمان خاک به حالت مجتمع می‌شوند. در واقع بر اثر واکنش، بافت خاک رسی از نظر فیزیکی تغییر کرده و مانند لای و ماسه عمل می‌کند و در نتیجه، عملاً ذرات رسی تمایل به جفت شدن با یکدیگر و تشکیل ذرات بزرگتر را دارند. آنچه باعث افزایش قابل توجه مقاومت در ترکیب خاک و آهک می‌شود واکنش پوزولانی است. واکنش‌های پوزولانی تابع زمان بوده و تا هنگامی که سیلیکات و آلومینات در خاک موجود باشد، ادامه می‌یابد [۷].



جدول ۳- مقادیر حدوداتربرگ با درصدهای مختلف آهک

PI	PL	LL	درصد آهک
۸	۲۸/۲	۳۶/۲	۰
۷/۲	۳۰/۹	۳۸/۱	۲
۶	۳۱/۵	۳۷/۵	۴
۰	۰	۲۵	۶



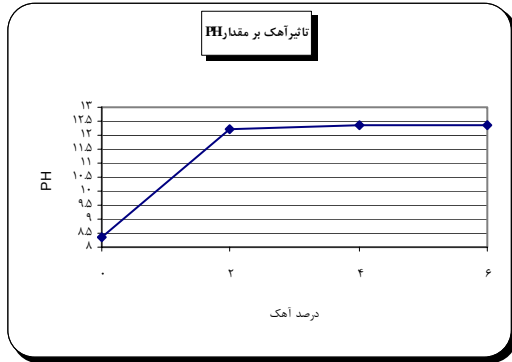
شکل ۴- تغییرات حدود خمیری و روانی و نشانه خمیری خاک با درصدهای مختلف آهک

افزودن آهک موجب کاهش نشانه خمیری گردیده که این روند در ۶ درصد آهک باعث می‌شود که خاک مورد مطالعه فاقد نشانه خمیری گردد، بلعکس سیر صعودی حد روانی ابتدا با افزایش مقدار آهک شروع شده سپس در مخلوط ۳ درصد آهک به حد اکثر خود رسیده در ادامه سیر نزولی خود را طی نموده که این روند در ارتباط با حد خمیری نیز صادق می‌باشد با این تفاوت که شیب صعود حد روانی نسبت به حد خمیری کمتر می‌باشد، نتایج بدست آمده در شکل (۴) ارائه گردیده است. در این روش مناسب‌ترین اختلاط ۶ درصد آهک می‌باشد.

ب: روش اندازه‌گیری PH

یکی از عوامل مؤثر در واکنش خاک با آهک PH خاک است. این روش، روشی نسبتاً سریع بوده و بر این اصل استوار است که آنقدر به خاک مورد نظر آهک اضافه می‌شود تا آنکه بعد از یک ساعت رها کردن مخلوط، PH آن حداقل ۱۲/۴ که مقدار لازم برای واکنش پوزولانی است برسد [۶]. بعضی محققین گلوله شدن ذرات رس را به دلیل بالا رفتن PH مخلوط خاک و آهک به میزان ۱۲/۴ و همچنین کاهش رطوبت خاک که در اثر تبادل یون‌های مثبت خاک و آهک اتفاق می‌افتد نسبت می‌دهند [۸].

PH خاک مورد مطالعه برابر ۸/۳۹ می‌باشد که با اختلاط ۲ درصد آهک مقدار آن تا حدود ۱۲/۲۲ افزایش می‌یابد، که این افزایش با شیب قابل توجهی حاصل می‌گردد. با مشاهده شکل (۵) به این نتیجه می‌رسیم که افزایش PH در مقادیر اختلاط ۳ درصد و ۶ درصد قابل توجه نبوده و تقریباً ثابت می‌باشد، با این وجود دلیل نزدیک شدن مقدار PH مخلوط ۶ درصد آهک به مقدار PH لازم برای واکنش پوزولانی در این روش مخلوط ۶ درصد آهک پیشنهاد می‌گردد.



شکل ۵- تأثیر درصد آهک بر مقدار PH خاک

جدول ۴- مقادیر PH با درصد های مختلف آهک

PH	درصد آهک
۸/۳۹	۰
۱۲/۲۲	۲
۱۲/۳۲	۴
۱۲/۳۸	۶

ج: روش CBR

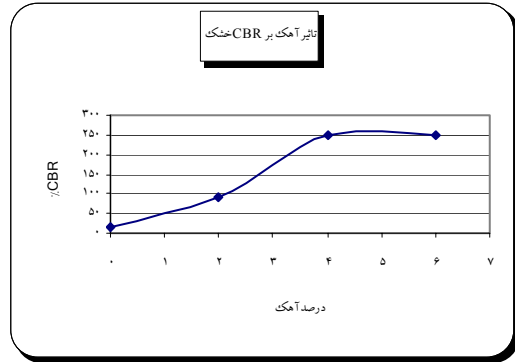
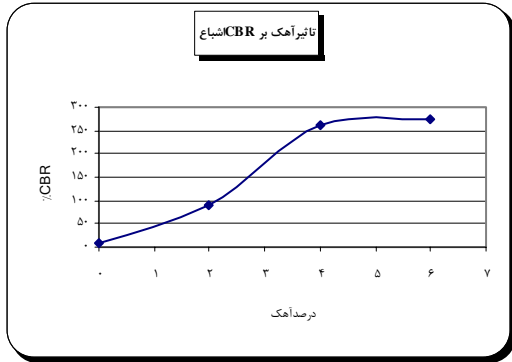
از این آزمایش برای تعیین مقاومت باربری خاک های تثبیت شده با آهک استفاده می کنند [۶]. آزمایش CBR متداول ترین روش تعیین مقاومت نسبی خاکها برای راهسازی است. به منظور بررسی تأثیر آهک بر روی مقدار CBR و همچنین اندازه گیری تورم خاک ابتدا بر روی نمونه طبیعی خاک آزمایش CBR خشک و اشباع انجام و میزان تورم ۱ درصد محاسبه گردید. سپس نمونه هایی با مخلوط های مختلف آهک تهیه گردید که این نمونه ها در دمای ۲۳ درجه سانتی گراد با حفظ شرایط رطوبت به مدت ۲۸ روز نگهداری، و پس از آن CBR خشک نمونه های عمل آمده محاسبه گردید و نمونه های تهیه شده به منظور شرایط اشباع به مدت ۹۶ ساعت در شرایط اشباع نگهداری و قرائت های مربوط به تورم مورد بررسی قرار گرفته و سپس CBR اشباع محاسبه گردید. نتایج بدست آمده در جدول (۵) ارائه شده است.

تورم خاک با درصدها مختلف آهک کنترل شده و میزان آن صفر می باشد. میزان CBR بدست آمده نمونه های تهیه شده با درصدهای مختلف (۲ و ۴ و ۶ درصد) بیانگر این مطلب است که تثبیت خاک مورد نظر با آهک بسیار مطلوب می باشد. عدد CBR در دو حالت خشک و اشباع در مخلوط های ۴ و ۶ درصد آهک بسیار بالا بوده و در مخلوط ۲ درصد آهک این مقدار کمتر از ۱۰۰ می باشد.

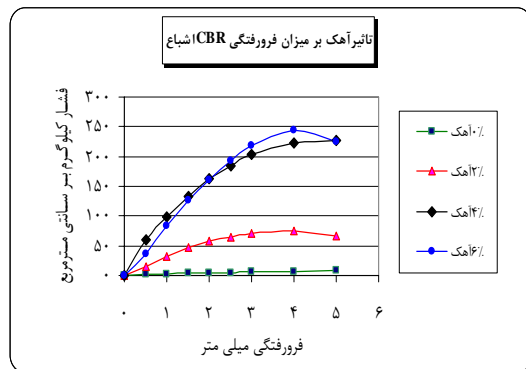
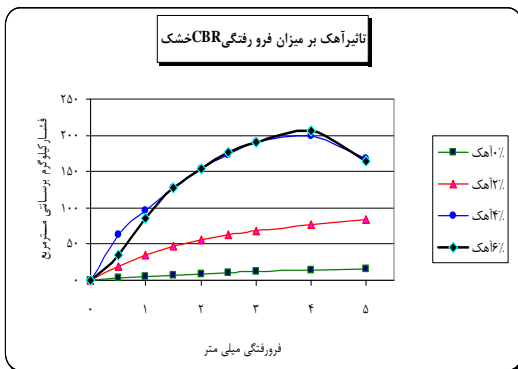
مقادیر CBR خشک و اشباع مخلوط ۲ درصد آهک به ترتیب برابر ۸۹ و ۹۲ بوده است که افزایش ۳/۳۷ درصد در شرایط اشباع به چشم می خورد، این روند در مخلوط های ۴ درصد آهک با ۶/۰۵ درصد افزایش و در مخلوط ۶ درصد آهک به میزان ۹/۵۶ درصد ادامه داشته است

جدول ۵- نتایج آزمایش CBR بر روی خاک طبیعی و نمونه های اصلاح شده با آهک

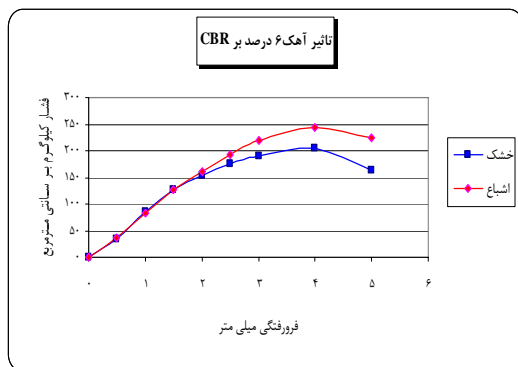
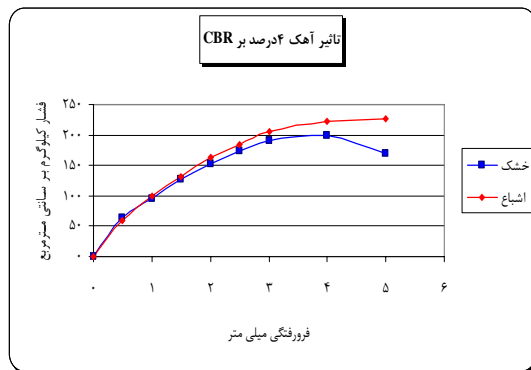
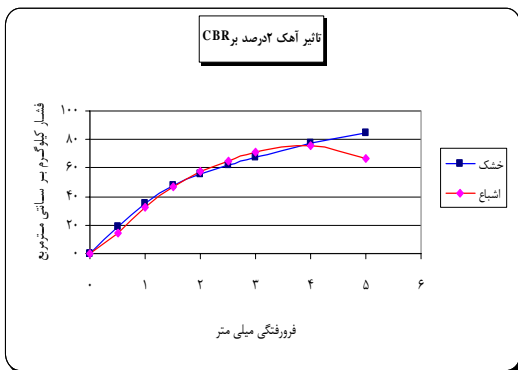
نتایج آزمایش CBR اشباع					نتایج آزمایش CBR خشک			
درصد تورم	CBR	وزن مخصوص خشک KN/m ³	درصد رطوبت	درصد آهک	CBR	وزن مخصوص خشک KN/m ³	درصد رطوبت	درصد آهک
۱	۷	۱۸/۹۳	۱۴	۰	۱۵	۱۹/۰۹	۱۴	۰
۰	۹۲	۱۸/۵۶	۱۶/۳	۲	۸۹	۱۸/۸۶	۱۶/۳	۲
۰	۲۶۳	۱۸/۳۵	۱۶/۳۸	۴	۲۴۷	۱۸/۴۷	۱۶/۳۸	۴
۰	۲۷۵	۱۸/۱۵	۱۶/۴۵	۶	۲۵۱	۱۸/۴۵	۱۶/۴۵	۶



شکل ۶- تأثیر آهک بر CBR خشک و اشباع



شکل ۷- تأثیر آهک بر میزان فرو رفتگی در آزمایش CBR خشک و اشباع



شکل ۸- مقایسه میزان فرو رفتگی CBR خشک و اشباع در ۲ و ۴ و ۶ درصد آهک



شکل ۹- نمونه تثبیت شده با ۶ درصد آهک پس از آزمایش CBR

۷. نتیجه گیری

الف: در مخلوط خاک و آهک تا ۴ درصد آهک مقادیر شاخص خمیری با شیب کم دارای کاهش بود و این سیر نزولی در مخلوط‌های با آهک بیشتر از ۴ درصد از شیب بیشتری برخوردار است.
ب: در روش دامنه خمیری بهترین مخلوط با بررسی نتایج مخلوط ۶ درصد آهک بدست آمده است.
ج: در روش اندازه‌گیری PH بهترین مخلوط با بررسی نتایج، مخلوط ۶ درصد آهک بدست آمده است.
د: افزودن آهک به خاک موجب کاهش وزن مخصوص خشک خاک و متقابلاً افزایش رطوبت خاک می‌گردد.
ه: بررسی نتایج CBR نشان می‌دهد که در این خاک ایده‌آل‌ترین درصد آهک به منظور تثبیت خاک ۲ درصد آهک می‌باشند زیرا مقادیر CBR محاسبه شده با مخلوط‌های آهک بیشتر، بسیار بالا بوده و رفتار خاک مورد نظر به سمت رفتار ترد شکن هدایت شده است.

منابع و مراجع:

- [1] W. Akili and J. K. Torrance, (1982), "The development and geotechnical problems of sabkha, with preliminary experiments on the static penetration resistance of cemented sands" Geological Society of London, P. L. Martin Quarterly Journal of Engineering Geology & Hydrogeology .
- [2] لاسمی، ی.، (۱۳۶۷)، گردهمایی علوم زمین.
- [3] Denise McWilliams, Extensoin Agronomist., (2003) "Soil Salinity and Sodcity Limits Efficient Plant Growth and Wathe us" Guid A – 140 Table 2.
- [4] Gibbs, H.J., & Bara, J.P., 1967. Stability problems of collapsing soil. proceeding American Society for Civil Engineers, journal of soil Mechanics Foundation Division, 93, pp: 572-594
- [5] Hunter, d., (1988), "Lime – Induced heave in sulfate Bearing Clay Soils", Journal of Geotechnical engineering, ASCE, VOL, 114, no 2,
- [6] راهنمای تثبیت لایه‌های خاکریز و روسازی راه‌ها، وزارت راه و ترابری، معاونت آموزشی، تحقیقات و فن‌آوری پژوهشکده حمل و نقل.
- [7] هاشمی طباطبائی، س. و آقای آرای، ع.، (پائیز ۱۳۸۵)، "استفاده از آهک زنده در بهسازی خاک‌های با شاخص خمیری بالا" فصلنامه علمی – پژوهشی علوم زمین. سال شانزدهم، شماره ۶۱.
- [8] Rogers, CDF., Glendinning, S. "Lime requirment for Stabilization, TRR NO. 1721, -2000.