فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی
سال ٦ (١٣٨٩)، شماره ٣: ٢٠٣-١٩٥
www.appliedgeology.ir

اندرکنش آهک و کلریدسدیم در خاک‌های ریزدانه با شاخص خمیری اندک

محمد هادی داودی[1] و احسان کبیر*[2]

١) مرکز تحقیقات کم‌آبی و خشکسالی، Davoudi_h@yahoo.com

٢) دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، geocivil@ymail.com

*)عهده‌دار مکاتبات

دریافت: ٨٩/٢/١٧ ؛ دریافت اصلاح شده: ٨٩/٥/٢٩ ؛ پذیرش: ٨٩/٦/١٨ ؛ قابل دسترس در تارنما: ٩٠/٣/٩

چکیده

نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری محصور نشده نشان می‌دهد علی‌رغم حضور کلرید سدیم، بعد از ٧ روز عمل آوری باعث کاهش مقاومت نمونه‌ها،اما بعد از ٢٨ روز عمل آوری، باعث افزایش مقاومت فشاری محصور نشده خاک می‌شود. البته این امر در مقادیر کم کلرید سدیم صادق است و در مقادیر زیادتر (٣ و ٥ درصد)، موجب کاهش آن می‌شود. وجود نمک کلرید سدیم در خاک موجب افزایش اثر آهک شده و افزایش مقاومت فشاری ناشی از واکنش پوزولانی را تشدید می‌نماید. با افزایش مقدار آهک تاثیر کلرید سدیم کاهش می‌یابد و با افزایش درصد کلرید سدیم نیز افزایش نسبی مقاومت نمونه‌ها کاهش می‌یابد. به طور کلی تا ٣ درصد کلرید سدیم، تشدید اثر آهک بر مقاومت خاک قابل توجه است.

واژه‌های کلیدی: تقویت خاک ریزدانه، کلرید سدیم، آهک، مقاومت فشاری.

١- مقدّمه

در مناطقی با ساختار زمین شناسی تبخیری، نمک‌های محلول موجود در بافت خاک، تأثیراتی در ساختمان و مقاومت خاک می‌گذارند و موجب تغییر در عملکرد مواد افزودنی نیز می‌شوند. تثبیت خاک با آهک، به عنوان روش‌های متداول بهسازی خاک، از گذشته‌های دور مورد توجه و کاربرد بوده است. در بسیاری از مناطق ایران خصوصاً مناطق گرمسیری، کلرید سدیم موجود در خاک‌ها ی طبیعی، از طریق ایجاد پیوند ضعیف یونی تا حدی موجب تقویت مقاومت ان می‌شوند. پیوندهای یونی ضعیف، طی پدیده آبشستگی به سرعت شکسته شده و موجب کاهش مقاومت و افزایش نشست می‌شوند؛ بدین ترتیب لازم است، تثبیت خاک‌های حاوی نمک توسط آهک، مورد بررسی بیشتر قرار گیرد. تقویت خاک‌های ریزدانه توسط آهک به معنای مخلوط کردن آهک با رطوبت بهینه به صورت هیدروکسید کلسیم با خاک ریزدانه و متراکم کردن آن می باشد (آذرفر و عبدی ١٣٨٢).

حضور آهک در مجاورت خاک‌های ریزدانه موجب بروز چهار واکنش می شود. اولین آنها واکنش گرمازای هیدراتاسیون است که طی آن آهک با آب واکنش داده و آهک هیدراته را به وجود می‌آورد. این واکنش‌ها در مدت زمان کوتاهی صورت گرفته و باعث کاهش درصد رطوبت مخلوط می‌گردد. یون‌های کلسیم آزاد شده توسط هیدراتاسیون آهک زنده باعث شروع واکنش‌های تبادل یونی می‌شود (Puppala et al. 2004).

دومین واکنش آهک و خاک واکنش کربناسیون می‌باشد که طی آن، آهک با گاز کربنیک هوا ترکیب شده و از طریق تشکیل کربنات کلسیم، باعث بازگشت آهک به حالت غیر فعال سنگ آهک و یا کشته شدن آن می‌گردد (Kezdi 1979).

سومین واکنش، واکنش تبادل یونی در خاک‌های ریزدانه با خاصیت تبادل کاتیونی و در حضور آب، به طور آنی رخ می‌دهد. بعد از افزایش غلظت یون‌های دو ظرفیتی کلسیم آهک در اطراف کانی‌های رسی، این یون‌ها جانشین یون‌های با خاصیت الکترونگاتیوی کمتر خاک می‌شوند

و ضخامت لایه دوگانه و فاصله بین کانی‌ها کاهش می‌یابد. در نتیجه نیروی جاذبه بین کانی‌ها شدت گرفته و منجر به تماس کانی‌های رس از لبه (لختگی) یا وجوه (کلوخگی) به یکدیگر می‌شوند (Mallela et al. 2004). این واکنش بلافاصله پس از اضافه کردن آب وآهک به خاک انجام گرفته و باعث کاهش پلاستیسته و تورم خاک و افزایش کارآیی و مقاومت نسبی آن می‌شود. بافت خاک رسی از نظر فیزیکی تغییرکرده و مانند لای و ماسه عمل می‌کند و در نتیجه، عملاً ذرات رس تمایل به جفت شدن با یکدیگر و تشکیل ذرات بزرگتر را دارند (فاخر و عسگری ۱۳۷۲).

چهارمین واکنش، واکنش پوزولانی است که برخلاف واکنش اول، به مروز زمان ایجاد شده و بین آهک، آب، سیلیکات و آلومینات موجود در کانی‌های رسی رخ می‌دهد و موجب تشکیل انواع مختلفی از ژل‌های چسباننده می‌شود که قابلیت باربری بیشتری نسبت به خاک طبیعی دارند. بعضی از اجزای خاک‌های ریزدانه بخصوص کانی‌های رسی به طور طبیعی پوزولان هستند و قابلیت ترکیب شدن با آهک و تولید ژل چسباننده را دارا هستند. بر خلاف واکنش تبادل یونی، واکنش پوزولانی به مرور زمان انجام می‌شود (آذرفر و عبدی ۱۳۸۲).

تحقیقات زیادی در زمینه تأثیر نمک بر ویژگی‌های خاک انجام شده است. از آن جمله می‌توان به Davidson (1960) اشاره کرد که وجود نمک کلرید سدیم را سبب افزایش نسبی مقاومت فشاری نمونه‌های تثبیت شده با آهک می‌دانست. وی گزارش کرد افزایش مقاومت مشاهده شده در خاک تثبیت شده با آهک در حضور کلرید سدیم، ناشی از افزایش pH در اثر وجود NaOH است که حاصل ترکیب کلرید سدیم با آهک می‌باشد. درجه قلیائیت بالا موجب افزایش انحلال سیلیکات موجود برای واکنش باکلسیم و ایجاد فرایند پوزولانی و تولید اجزای سیمانی می‌گردد. افزایش مقاومت خاک بهسازی شده در حضور کلرید سدیم به این دلیل توجیه شده که ساختار مخلوط شدن ژل سیلیکات سدیم کلسیم سریعتر از ژل سیلیکات کلسیم، کیفیت اجزای سیمانی را بهبود می بخشد (کبیر ۱۳۸۸).

۲- مواد و روش

در این تحقیق از خاک CL-ML با حد روانی و خمیری به ترتیب ۲۵/۷۵ و ۲۰/۲٤ و شاخص خمیری ۵/۵۱ و دانسیته حقیقی ۲/٦۵ استفاده شده است. وزن مخصوص خشک حداکثر و رطوبت بهینه آن ۱/۷٦ گرم بر سانتی متر مکعب و ۱۸/۲۸ درصد می‌باشد. کلرید سدیم و آهک مورد استفاده به ترتیب محصول معدن سیرجان و با درجه خلوص بالا و کارخانه آهک سمنان با وزن مخصوص متوسط ۰/۵٦ گرم بر سانتی متر مکعب است. به منظور بررسی تاثیر آهک بر مقاومت فشاری خاک حاوی کلرید سدیم اختلاط‌های زیر مورد مطالعه قرار داده شده است:

گروه الف: خاک به همراه ۲، ٤، ٦ و ۸ درصد وزنی آهک؛ گروه ب: خاک به همراه ۱، ۲، ۳ و ۵ درصد وزنی کلرید سدیم؛ گروه ج: خاک به همراه ۲، ٤، ٦ و ۸ درصد وزنی آهک و ۱، ۲، ۳ و ۵ درصد وزنی کلرید سدیم بصورت توأم.

برای تهیه نمونه‌ها، ابتدا تمامی خاک‌ها بعد از خشک شدن در هوا با ضربات پتک پلاستیکی خرد شدند و سپس از الک ۱۰ عبور داده شده‌اند. اختلاط آهک و کلرید سدیم با خاک بر حسب درصد وزن خشک خاک صورت می‌گیرد. لذا مقدار لازم از هریک از آنها به صورت خشک وزن شده، با هم مخلوط شده و سپس مقدار آب لازم بر مبنای رطوبت بهینه و بر حسب درصد وزن خشک کل مصالح، به آرامی و در حین هم زدن به مخلوط اضافه می‌شود.

برای نمونه سازی ابتدا بر مبنای حجم قالب پروکتور، نمونه‌ها در سه لایه توسط چکش استاندارد ۲/۵ کیلوگرمی متراکم می‌شوند. بعد از کوبیده شدن خاک در درون قالب پروکتور ساده به وسیله چکش استاندارد، از نمونه گیرهای فلزی کونیک برای نمونه گیری از مخلوط خاک و تثبیت کننده متراکم شده در درون قالب استفاده می‌شود. به این ترتیب که ابتدا لوله‌های نمونه‌گیر را در بالای قالب قرار داده و با فشار جک داخل خاک فرو می‌روند. برای بیرون آوردن نمونه‌ها نیز، ابتدا با احتیاط خاک‌های اضافی را از اطراف لوله‌ها جدا کرده و در نهایت نمونه‌ها با استفاده از جک هیدرولیکی بیرون آورده می‌شوند. مدت زمان عمل‌آوری نمونه ها ۷ و ۲۸ روز در دمای آزمایشگاه بوده است و به منظور جلوگیری از خشک شدن و از دست دادن رطوبت، در داخل کیسه پلاستیکی نگهداری می‌شوند و مقاومت محصور نشده نمونه‌ها تحت آزمایش مقاومت فشاری محصور نشده محاسبه می‌شود. جهت جلوگیری از بروز اشتباه در هنگام بازسازی و بیرون آوردن نمونه‌ها از قالب نمونه گیر و حتی درهنگام آزمایش درصورت مشاهده هرگونه اختلاف فاحش و یا پراکندگی در نتایج، آزمایش‌ها ۳ بار تکرار شده‌اند.

آزمایش‌های به عمل آمده در این تحقیق عبارتند از: آزمایش هیدرومتری مطابق استاندارد ASTM D 422-63، تعیین دانسیته حقیقی خاک، براساس استاندارد ASTM D 854-87، آزمایش حدود اتربرگ براساس استاندارد ASTM D 4318-87، آزمایش تراکم پروکتور بر اساس استاندارد ASTM D 698 و آزمایش مقاومت فشاری محصور نشده بر اساس استاندارد ASTM D 2166-87.

۳- نتایج

برای انجام یک پروژه تحقیقاتی که مبتنی برانجام آزمایشهای آزمایشگاهی می باشد، پارامترهای زیادی برای حصول اطمینان درصحت انجام کار دخیل است.

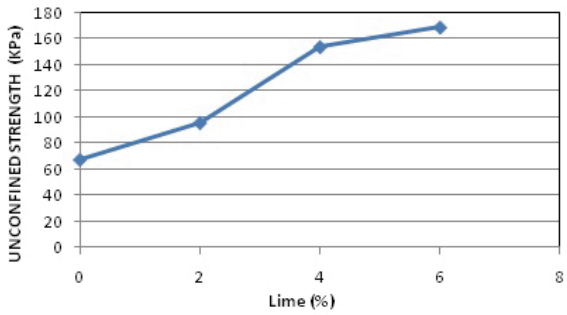
در این مورد می توان ازشروع مراحل اولیه شامل بررسی کارهای مشابه و زمینه های تئوریک صحیح و قابل اعتماد تا روش درست انجام آزمایش ها را نام برد. اما مهمترین قسمت کار پردازش اطلاعات حاصل از آزمایش‌های آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل دقیق و کارشناسانه این نتایج برای دستیابی به هدف نهایی پروژه که دراینجا تاثیر کلرید سدیم بر مقاومت خاک رس CL-ML تثبیت شده با آهک می‌باشد، دست یافت. در جدول ۱ نتایج کلیه آزمایش‌ها ارائه شده است.

۳-۱- مقاومت فشاری نمونه‌های مخلوط شده با آهک

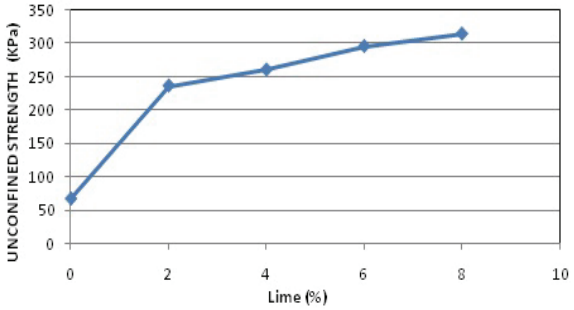
تغییرات مقاومت فشاری مخلوط خاک CL-ML و آهک نسبت به درصد آهک و زمان عمل آوری در تصویرهای ۱ الی ٤ نشان داده شده است. مطابق شکل‌های فوق، با افزودن ۲ درصد آهک به خاک با گذشت ۷ روز مقاومت فشاری مخلوط از ۲/٦۷ به ٦/۹۵ کیلو پاسکال تغییر یافته و بعد از ۲۸ روز این مقدار به ۸/۲۳٦ کیلو پاسگال می‌رسد. علت این تفاوت مقاومت این است که پس از ۷ روز افزایش جزئی در مقاومت ناشی از پدیده واکنش تبادل کاتیونی بوده و هنوز واکنش پوزولانی کاملاً صورت نگرفته است. با افزایش درصد آهک به ٤ ، ٦ و ۸ درصد، مقاومت آنها نیز با نرخ بیشتری افزایش یافته و به ترتیب ۱/۱۵٤، ۲/۱٦۹ و ۵/۱۷۳ کیلو پاسکال پس از ۷ روز و ۸/۲٦۰، ۲/۲۹٦ و ۸/۳۱٤ کیلو پاسکال بعد از ۲۸ روز عمل آوری تعیین شده است.

جدول ۱- نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری محصور نشده انجام شده بر نمونه‌ها

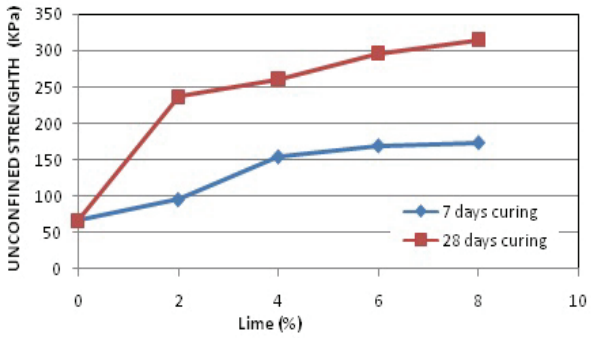
شماره نمونه	آهک (٪)	کلرید سدیم (٪)	مقاومت فشاری محصور نشده ۷ روزه(KPa)	مقاومت فشاری محصور نشده ۲۸ روزه(KPa)
۱	۲	-	٦/۹۵	۸٤/۲۳٦
۲	٤	-	۱/۱۵٤	۸٤/۲٦۰
۳	٦	-	۱۰/۱٦۹	۲٤/۲۹٦
٤	۸	-	۵/۱۷۳	۸/۳۱٤
۵	-	۱	۰٦/۲۵	۰۲/۸٤
٦	-	۲	۰۲/۱۹	۳٦/۷۹
۷	-	۳	٤۸/۱۸	٦/٦۷
۸	-	۵	۷/۱۵	٦/۳۷
۹	۲	۱	٤۲/۹۹	۳۸/۲٤٦
۱۰	۲	۲	۵۲/۱۰۲	٦٤/۲۵۲
۱۱	۲	۳	۸٦/۱۰٤	۸٦/۲۵۷
۱۲	۲	۵	٤/۱۰۵	۹/۲۵۸
۱۳	٤	۱	۱/۱۵۹	٦۲/۲٦٦
۱٤	٤	۲	۲٤/۱٦۲	۲٤/۲۷۱
۱۵	٤	۳	٤/۱٦۵	۷/۲۷٤
۱٦	٤	۵	۷/۱٦٦	۲۷۷
۱۷	٦	۱	۵٤/۱۷۲	۷۸/۳۰۱
۱۸	٦	۲	۰٦/۱۷۵	٤/۳۰۵
۱۹	٦	۳	۵٤/۱۷٦	۸۲/۳۰۷
۲۰	٦	۵	۲/۱۷۸	۳۰۹
۲۱	۸	۱	٤۸/۱۷٦	۹٤/۳۱۸
۲۲	۸	۲	۸۲/۱۷۸	۸٦/۳۲۰
۲۳	۸	۳	۲٦/۱۸۰	۳/۳۲۳
۲٤	۸	۵	۱٤/۱۸۱	۵/۳۲٤



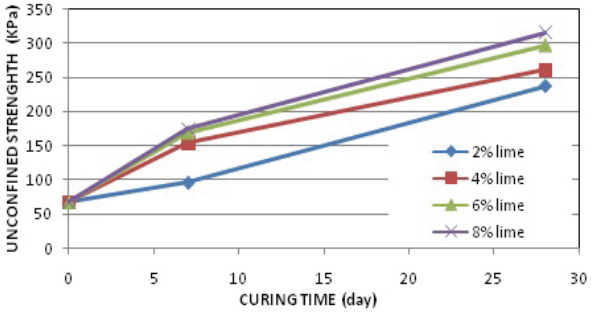
تصویر ۱- مقاومت فشاری محصور نشده نمونه های حاوی آهک (عمر نمونه ۷ روز)



تصویر ۲- مقاومت فشاری محصور نشده نمونه های حاوی آهک (عمر نمونه ۲۸ روز)



تصویر ۳- مقاومت فشاری محصور نشده نمونه های حاوی آهک پس از ۷ و ۲۸ روز عمل آوری



تصویر ٤- مقاومت فشاری محصور نشده نمونه های حاوی آهک بر حسب زمان عمل آوری

افزایش چشمگیر در مقاومت نمونه‌ها با افزودن ٤، ٦ و ٨ درصد آهک به علت ایجاد واکنش‌های پوزولانی در سطح گسترده تر می‌باشد. تصویر ٤ تغییرات مقاومت فشاری محصور نشده روزهای هفتم و بیست و هشتم را برای درصدهای مختلف آهک نمایش می‌دهد.

نکته حائز اهمیت آن است که پس از ۲۸ روز عمل آوری، تغییر مقاومت در ٤ درصد آهک در مقایسه با ۲ درصد آهک از یک نرخ افزایش کمتری برخوردار بوده، ولی پس از آنکه میزان آهک به ٦ و ۸ درصد افزایش می‌یابد، نرخ افزایش مقاومت نمونه‌ها قدری بیشتر شده است. بنابراین با توجه به این تغییرات در مقاومت نمونه‌ها می‌توان درصد بهینه آهک برای تثبیت خاک CL-ML مورد مطالعه را ٦ درصد انتخاب نمود.

۳-۲- مقاومت فشاری نمونه‌های مخلوط شده با کلرید سدیم

نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی ۱، ۲ ، ۳ و ۵ درصد کلرید سدیم پس از ۷ روز عمل آوری در تصویر ۵ ارائه شده است. با افزایش ۱ درصد کلرید سدیم به نمونه‌ها پس از ۷ روز عمل آوری مقاومت نمونه‌ها از ۲/٦۷ به ۱۰/۲۵ کیلوپاسکال، با اضافه کردن ۲ درصد کلرید سدیم به ۱۹ کیلوپاسکال، با اضافه کردن ۳ درصد کلرید سدیم به ۵/۱۸ کیلوپاسکال و با اضافه کردن ۵ درصد کلرید سدیم به ۷/۱۵ کیلو پاسکال کاهش می‌یابد.

علت این کاهش مقاومت، شناور شدن یون‌های Na^+ در اطراف ذرات رس و افزایش ضخامت لایه مضاعف می باشد. این امر سبب می‌شود که ذرات رسی خاک، فاصله بیشتری نسبت به هم داشته باشند که به نوع خود سبب کاهش شدید مقاومت فشاری نمونه‌ها می‌شود.

نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی ۱ ، ۲ ، ۳ و ۵ درصد کلرید سدیم پس از ۲۸ روز عمل آوری در تصویر ٦ ارائه شده است. مشاهده می‌شود در نمونه‌های با حضور ۱ درصد کلرید سدیم مقاومت فشاری محصور نشده نمونه ها از ۲/٦۷ کیلو پاسگال برای خاک خالص به ۸٤ کیلوپاسکال برای خاک حاوی ۱ درصد کلرید سدیم بعد از ۲۸ روز عمل آوری رسیده است.

نکته قابل توجه این است که این افزایش مقاومت با افزایش درصد کلرید سدیم در نمونه‌ها کاهش می‌یابد به طوری که با اضافه نمودن ۲درصد کلرید سدیم مقاومت نمونه‌ها به ٤/۷۹ کیلو پاسگال و با اضافه کردن ۳ درصد کلرید سدیم مقاومت نمونه‌ها تقریباً ثابت بوده (نظیر مقاومت نمونه خاک خالص) و به حدود ٦/٦۷ کیلو پاسکال می‌رسد و با افزایش درصد کلرید سدیم به ۵ درصد، مقاومت نمونه‌ها کاهش یافته و به ٦/۳۷ کیلو پاسگال می‌رسد.

علت این افزایش مقاومت را می‌توان به پیوندهای یونی بین کانی های خاک و کلرید سدیم نسبت داد. حضور Na^+ بین ذرات خاک باعث پیوندهای نسبتاً ضعیف یونی می گردد که باعث افزایش نسبی مقاومت نمونه‌ها در حضور ۱ و ۲ درصد کلرید سدیم می‌شود. در نمونه های حاوی ۳٪ کلرید سدیم، یون های مازاد سدیم سبب شکل‌گیری لایه مضاعف و دیسپرس شدن خاک شده و باعث می‌شود که اثر ناشی از پیوندهای یونی خنثی شده و مقاومت فشاری محصور نشده نمونه در حد خاک بدون کلرید سدیم محدود شود.

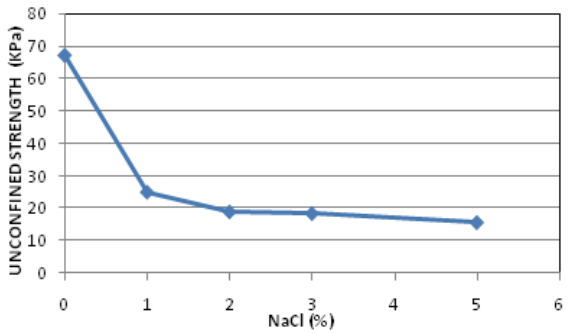
در نمونه‌های حاوی ۵٪ کلرید سدیم، مقدار یون مازاد سدیم به قدری است که اثر پدیده دیسپرس شدن خاک (disperse) بر تأثیر حاصل از پیوندهای یونی غالب شده و لذا مقاومت فشاری محصور نشده خاک کمتر از خاک بدون کلرید سدیم است. تصویر ۷ تغیرات مقاومت فشاری خاک تحت تأثیر حضور کلرید سدیم پس از مدت عمل آوری های ۷ و ۲۸ روزه نمایش می‌دهد.

۳-۳- تاثیر کلرید سدیم بر مقاومت فشاری نمونه‌های تثبیت شده با آهک

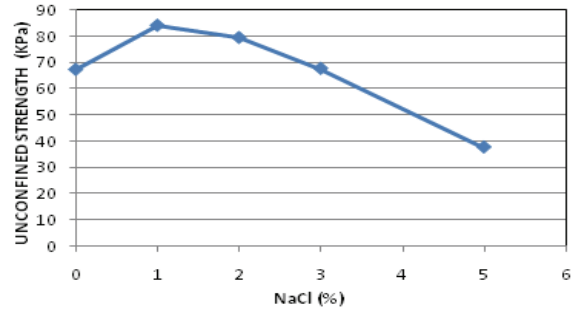
نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی ۲، ٤، ٦ و ۸ درصد آهک توام با ۱ ، ۲ ، ۳ و ۵ درصد کلرید سدیم پس از ۲۸ روز عمل آوری تصویرهای ۸ الی ۱۱ ارائه شده است. مشاهده می‌شود در نمونه‌های با ۲ درصد آهک با اضافه کردن ۱ تا ۵ درصد کلرید سدیم، بین ٤ تا ۹ درصد افزایش مقاومت دیده می‌شود. در نمونه‌های حاوی ۸ درصد آهک با اضافه کردن ۱ تا ۵ درصد کلرید سدیم، بین ۱ تا ۳ درصد اضافه مقاومت مشاهده می‌شود. در نمونه‌های حاوی ٦ و ۸ درصد آهک با توجه به اینکه افزودن آهک باعث افزایش فاحش مقاومت خاک شده اضافه کردن کلرید سدیم تقریباً تاثیر ناچیزی بر خواص مقاومتی نمونه‌ها داشته است. البته در این نمونه‌ها نیز افزایش مقاومتی در حدود ۱ تا ٤ درصد با توجه به درصد کلرید سدیم مشاهده شده است. با افزایش درصد آهک به دلیل واکنش‌های پوزولانی گسترده تر، تاثیر افزودن کلرید سدیم کمتر می‌باشد.

در نمونه‌های عمل‌آوری شده در هفت روز، تاثیر افزودن کلرید سدیم به نمونه‌های حاوی آهک اندکی بیشتر بوده است. مثلاً در نمونه‌های حاوی ۲ درصد آهک با اضافه کردن کلرید سدیم تا ۵ درصد مقاومت نمونه ها تا ۱۰ درصد افزوده می‌شوند.

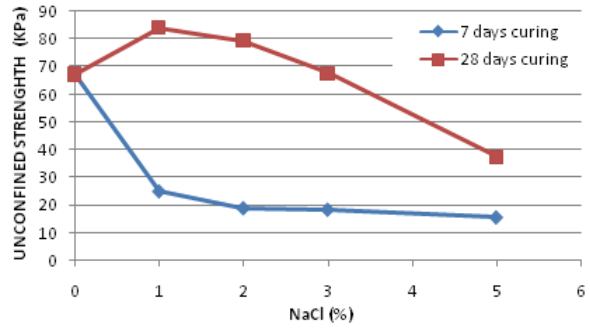
که این افزایش مقاومت نسبت به نمونه‌های عمل آوری شده در ۲۸ روز تا حدودی از نرخ رشد بیشتری برخوردار است. در تصویرهای ۱۲ الی ۱۷ تأثیر کلرید سدیم بر نمونه های حاوی آهک پس از دو دوره عمل آوری ۷ و ۲۸ روزه مشاهده می شود.



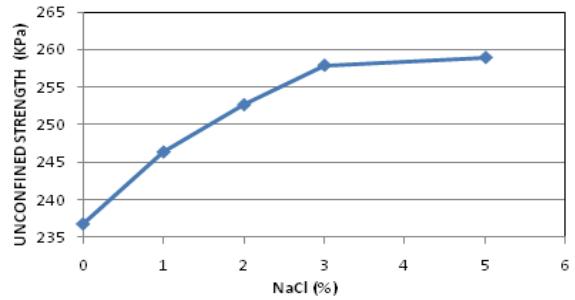
تصویر ۵- مقاومت فشاری محصور نشده نمونه های حاوی کلرید سدیم (عمر نمونه ۷ روز)



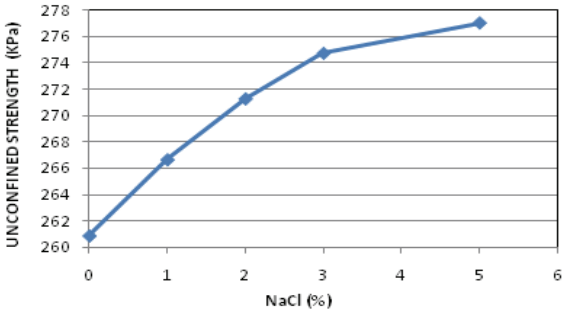
تصویر ٦- مقاومت فشاری محصور نشده نمونه های حاوی کلرید سدیم (عمر نمونه ۲۸ روز)



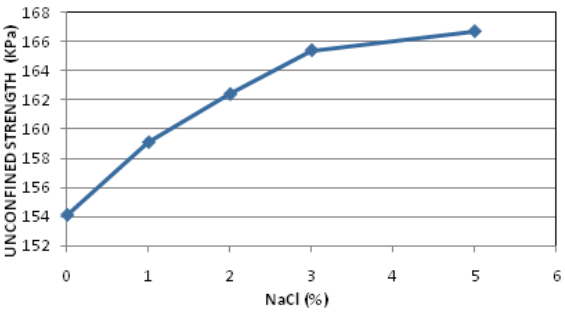
تصویر ۷- مقاومت فشاری محصور نشده نمونه های حاوی کلرید سدیم



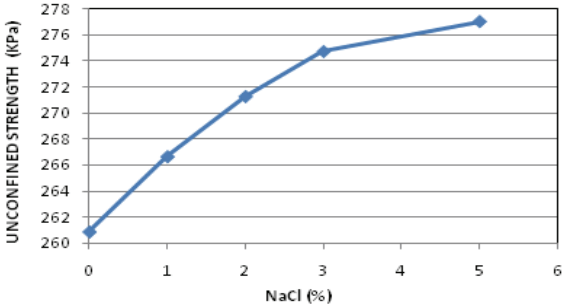
تصویر ۸- مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۲٪ آهک نسبت به کلرید سدیم (نگهداری ۲۸ روزه)



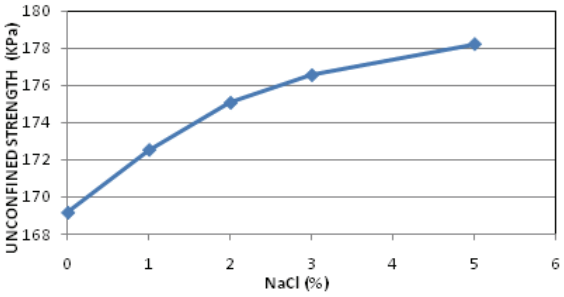
تصویر ۹- مقاومت فشاری نمونه های حاوی ٤٪ آهک نسبت به کلرید سدیم (نگهداری ۲۸ روزه)



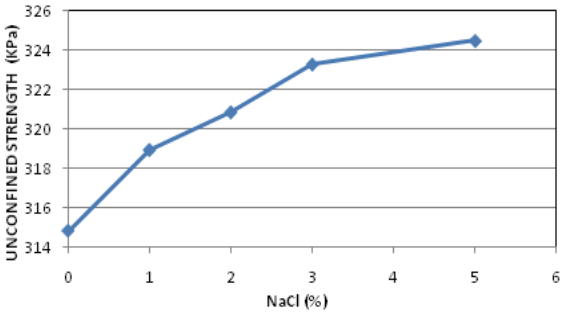
تصویر ۱۳- مقاومت فشاری نمونه های حاوی ٤٪ آهک نسبت به کلرید سدیم (نگهداری ۷ روزه)



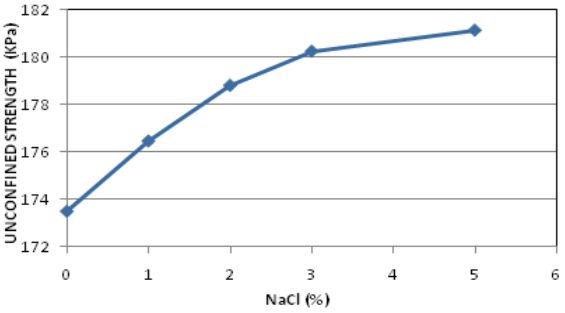
تصویر ۱۰- مقاومت فشاری نمونه های حاوی ٦٪ آهک نسبت به کلرید سدیم (نگهداری ۲۸ روزه)



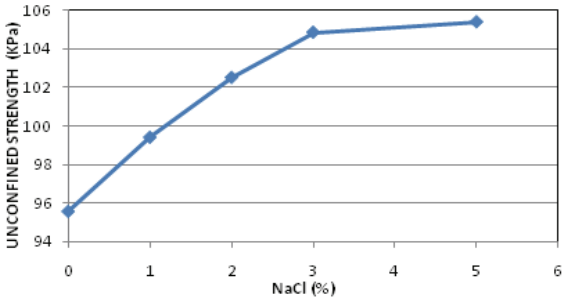
تصویر ۱٤- مقاومت فشاری نمونه های حاوی ٦٪ آهک نسبت به کلرید سدیم (نگهداری ۷ روزه)



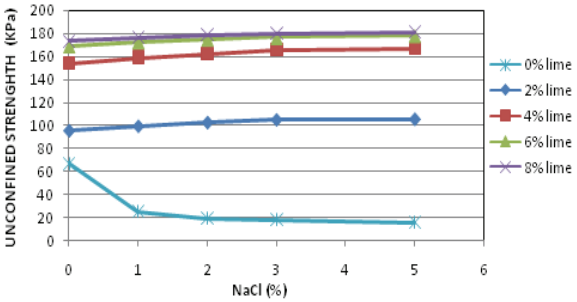
تصویر ۱۱- مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۸٪ آهک نسبت به کلرید سدیم (نگهداری ۲۸ روزه)



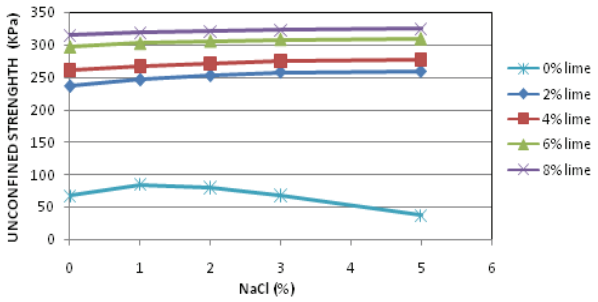
تصویر ۱۵- مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۸٪ آهک نسبت به کلرید سدیم (نگهداری ۷ روزه)



تصویر ۱۲- مقاومت فشاری نمونه های حاوی ۲٪ آهک نسبت به کلرید سدیم (نگهداری ۷ روزه)



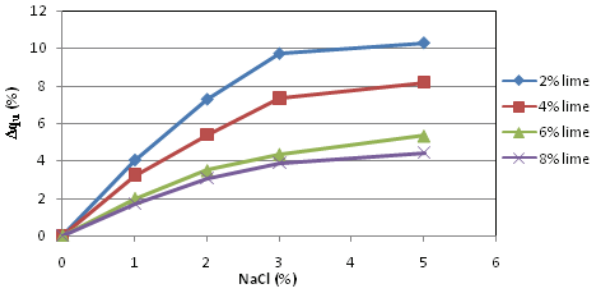
تصویر ۱٦- مقاومت فشاری نمونه های حاوی آهک نسبت به کلرید سدیم (نگهداری ۷ روزه)



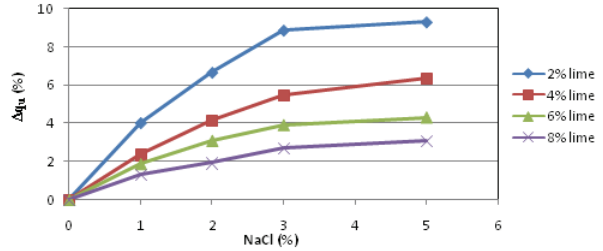
تصویر ۱۷- مقاومت فشاری نمونه های حاوی آهک نسبت به کلرید سدیم (نگهداری ۲۸ روزه)

برای درک بهتر این موضوع تصویرهای ۱۸ و ۱۹ افزایش نسبی مقاومت فشاری محصور نشده را تحت تاثیر کلرید سدیم بر نمونه‌های حاوی آهک پس از دو دوره عمل آوری به ترتیب ۷ و ۲۸ روز نمایش می‌دهند. طبق تعریف افزایش نسبی مقاومت فشاری محصور نشده از رابطه زیر به دست می‌آید که در آن q_0 عبارت است از مقاومت فشاری خاک بدون کلرید سدیم و Δq_u عبارت است از افزایش مقاومت فشاری محصور نشده در اثر کلرید سدیم.

$$\Delta q_u = \frac{\Delta q_u}{q_\circ} \times 100 \qquad (1)$$



تصویر ۱۸- تغییرات درصد مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی آهک نسبت به کلرید سدیم (نگهداری ۷ روزه)



تصویر ۱۹- تغییرات درصد مقاومت فشاری نمونه های حاوی آهک نسبت به کلرید سدیم (نگهداری ۲۸ روزه)

همان طور که در تصویرهای بالا مشخص است، تفاوت محسوسی بین نمونه‌های ۷ و ۲۸ روزه وجود ندارد و هردو دارای رفتار یکسان و روند یکسانی در برابر کلرید سدیم هستند. ضمناً با مشاهده روند تغییرات نسبی مقاومت نمونه‌ها مشاهده می شود که با افزایش مقدار آهک تاثیر کلرید سدیم کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش درصد کلرید سدیم افزایش نسبی مقاومت نمونه‌ها کاهش می یابد.

نتایج نشان می‌دهد که تا ۳ درصد افزایش کلرید سدیم، مقدار افزایش قابل توجه است. این نتایج با نتایج آذرفر و عبدی (۱۳۸۲) تطابق دارد، و تفاوت میزان افزایش مقاومت ها، ناشی از تفاوت خاک استفاده شده می باشد. این نتایج همچنین با تئوری دیویدسون (Davidson 1960) تطابق دارد به نحوی که افزایش مقاومت مشاهده شده در خاک تثبیت شده با آهک در حضور کلرید سدیم، ناشی از افزایش pH در حضور نمک سدیمی NaCl می باشد و آن را می توان به کمک واکنش زیر توجیه کرد:

$$2NaCl + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCl_2 + 2NaOH$$

که نشانگر قابلیت انحلال سیلیکات موجود برای واکنش باکلسیم جهت ایجاد فرایند پوزولانی و تولید اجزای سیمانی می باشد. افزایش مقاومت خاک بهسازی شده در حضور کلرید سدیم به این دلیل توجیه شد که ساختار مخلوط شدن ژل سیلیکات سدیم کلسیم سریعتر از ژل سیلیکات کلسیم، کیفیت اجزای سیمانی را بهبود می‌بخشد (آذرفر و عبدی ۱۳۸۲).

۴- نتیجه‌گیری

ازمطالعات انجام شده و بررسی نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی بر روی تغییرات خصوصیات مقاومتی خاک CL-ML مخلوط شده با آهک وکلرید سدیم می‌توان چنین نتیجه گرفت که :

۱ـ با افزایش درصد آهک مقاومت فشاری محصور نشده خاک افزایش می‌یابد.

۲- با افزایش زمان عمل آوری نمونه‌های حاوی آهک، مقاومت فشاری محصور نشده افزوده می‌شود. عامل این پدیده، واکنش‌های پوزولانی هستند که تابع زمان می‌باشند.

۳- با مشاهده روند افزایش مقاومت فشاری محصور نشده نمونه‌های حاوی آهک بعد از ۲۸ روز عمل آوری، مشخص می‌گردد که روند افزایش مقاومت نمونه‌ها در ٦ درصد آهک در مقایسه با ۲ و ٤ درصد آهک، از یک نرخ افزایشی بیشتری برخوردار بوده، لیکن با افزایش آهک به ۸ درصد، مقاومت نمونه‌ها به صورت تدریجی و با نرخ کمتری افزایش یافته است. بنابراین می‌توان درصد بهینه آهک برای

تثبیت خاک مورد مطالعه را ٦ درصد عنوان کرد.

٤- حضور کلرید سدیم بعد از ۷ روز عمل آوری بر روی نمونه‌ها باعث کاهش مقاومت نمونه‌ها می‌گردد. به طوری که حضور ۱ درصد کلرید سدیم سبب کاهش ٦۳ درصدی مقاومت فشاری محصور نشده می‌گردد. در مورد خاک‌های حاوی ۲ درصد کلرید سدیم این درصد کاهش مقاومت به ۷۲ درصد، در خاک‌های حاوی ۳ درصد کلرید سدیم ۷۲/۵ درصد و در خاک‌های حاوی ۵ درصد کلرید سدیم، ۷۷ درصد کاهش مقاومت مشاهده می‌شود. این کاهش مقاومت به علت شناور شدن یون‌های Na^+ اطراف ذرات رس و افزایش ضخامت لایه مضاعف و در نتیجه پراکنده شدن ساختمان ذرات می‌باشد.

۵- با افزایش کلرید سدیم به نمونه‌های CL-ML بعد از ۲۸ روز عمل‌آوری مشاهده می‌شود که حضور کلرید سدیم در نسبت‌های کم، مقاومت فشاری محصور نشده خاک را افزایش می‌دهد. اما در مقادیر زیاد موجب کاهش آن می‌شود. خاک‌هایی که حاوی یک درصد کلرید سدیم باشند، ۲۵ درصد مقاومت فشاریشان بیشتر از خاک‌های فاقد کلرید سدیم است. خاک‌هایی که درصد کلرید سدیم آنها ۲ درصد باشد، فقط ۱۸ درصد افزایش مقاومت فشاری محصور نشده دارند. خاک‌های دارای ۳ درصد کلرید سدیم، مقاومت فشاری شان معادل خاک‌های معمولی است. چنانچه مقدار کلرید سدیم خاک از ۳ درصد تجاوز نماید، مقدار مقاومت فشاری محصور نشده آن کاهش یافته به نحوی که برای خاک‌های حاوی ۵درصد کلرید سدیم، مقاومت فشاری ٤٤ درصد افت پیدا می‌کند.

علت این رفتار را می‌توان به پیوندهای یونی ما بین کانی‌های خاک و کلرید سدیم نسبت داد. حضور Na^+ بین ذرات خاک باعث پیوندهای نسبتاً ضعیف یونی می گردد که باعث افزایش نسبی مقاومت نمونه ها در حضور ۱ و ۲ درصد کلرید سدیم می‌شود. در درصد های بیشتر به علت اشباع شدن مخلوط از یون‌های Na^+ و اینکه وجود یون‌های سدیم در اطراف ذرات رسی باعث افزایش ضخامت لایه مضاعف و موجب فاصله گرفتن ذرات خاک و کاهش مقاومت برشی و مقاومت فشاری محصور نشده می‌شود.

٦- مخلوط توام آهک و کلرید سدیم با خاک CL-ML مورد مطالعه، باعث افزایش بیشتر مقاومت فشاری شده است. در نمونه های با ۲ درصد آهک با اضافه کردن ۱ تا ۵ درصد کلرید سدیم، بین ٤ تا ۹ درصد افزایش مقاومت دیده می‌شود. و در نمونه های حاوی ۸ درصد آهک با اضافه کردن ۱ تا ۵ درصد کلرید سدیم، بین ۱ تا ۳درصد اضافه مقاومت مشاهده می شود.

۷- در نمونه های دارای آهک زیاد (٦ و ۸) درصد آهک به‌دلیل آن که وجودآهک باعث افزایش فاحش مقاومت‌خاک شده، لذا تأثیر اضافه کردن کلرید سدیم تقریباً ناچیز بوده است. به عبارت دیگر، با افزایش درصد آهک به دلیل واکنش‌های پوزولانی گسترده تر، تاثیر افزودن کلرید سدیم کمتر می‌باشد.

این افزایش مقاومت به علت افزایش pH خاک تثبیت شده با آهک در حضور کلرید سدیم می‌باشد که نشانگر قابلیت انحلال سیلیکات موجود برای واکنش باکلسیم جهت ایجاد فرایند پوزولانی و تولید اجزای سیمانی می‌باشد. افزایش مقاومت خاک بهسازی شده در حضور کلرید سدیم به این دلیل توجیه شد که ساختار مخلوط شدن ژل سیلیکات سدیم کلسیم سریعتر از ژل سیلیکات کلسیم، کیفیت اجزای سیمانی را بهبود می‌بخشد.

۸- با توجه به بررسی‌های به عمل آمده مشاهده شد که حضور درصد معینی کلریدسدیم در خاک CL-ML باعث افزایش حدود ۱۰٪ در مقاومت آن می‌شود و از اینجا می‌توان نتیجه گرفت که آب‌شستگی و نمک‌زدایی از خاک، باعث کاهش ناچیز (۱۰٪) مقاومت می‌شود.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از همکاری شرکت مهندسین مشاور ژئوتکنیک شالوده خاک گلستان که در انجام این پژوهش مساعدت لازم را به عمل آوردند، کمال تشکر به عمل می‌آید.

مراجع

آذرفر، پ. و عبدی، م.، ۱۳۸۲، "تاثیر کلرید سدیم بر مقاومت فشاری و خواص خمیری کائولینیت تثبیت شده با آهک"، *ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، ص ٦.*

فاخر، ع.، و عسگری، ف.، ۱۳۷۲، "تورم و واگرایی خاک‌ها"، *جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران.*

کبیر، ا.، ۱۳۸۸، "بررسی تاثیر درصد آهک بر مقاومت فشاری محصور نشده خاک ریزدانه حاوی کلرید سدیم"، *پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز.*

Davidson, L. K., Demirel, T. & Handy, R. L., 1965," Soil Pulverization and Lime Migration in Soil Lime Stabilization", *HRB record 92, Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C., No. 92:103-126.*

Kezdi, A., 1979, "Stabilization Earth Roads, Developments in Geotechnical Engineering 19", *Elsevier Science Ltd, 328 pp.*

Mallela J., Von Quintus H. & Smith K., 2004, "Cosideration of Lime-Stablized Layer In Mechanistic-Emprical Pavement Design", The National Lime Association, 200 North Glebe Road, Suite 800, Arlington, Virginia 22203: 1-30.

Petrukhin, V. P., 1993, "Construction of Structure on Saline soils", *January 1993, Taylor & Francis, Inc Pub., Hardcover, 263 pp.*

Puppala, A. J., Griffin, J. A., Hoyos, L. R. & Chomtid, S., 2004, "Studies on sulfate-resistant cement stabilization methods to address sulfate-induced soil heave", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 130 (4): 391-402.*