

بررسی تأثیر آهک بر خصوصیات مکانیکی و فیزیکی خاکهای رمبنده

امیر وکیلی^۱، سید محمد علی زمردیان^۲، امیرحسین وکیلی^۳، مهرداد آرام^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران گرایش خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان و عضو باشگاه پژوهشگران جوان

۲- عضو هیات علمی دانشگاه شیراز

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران گرایش خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان و عضو باشگاه پژوهشگران جوان

۴- دانشجوی کارشناسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان و عضو انجمن بتن آمریکا

a_h_840042@yahoo.com

خلاصه

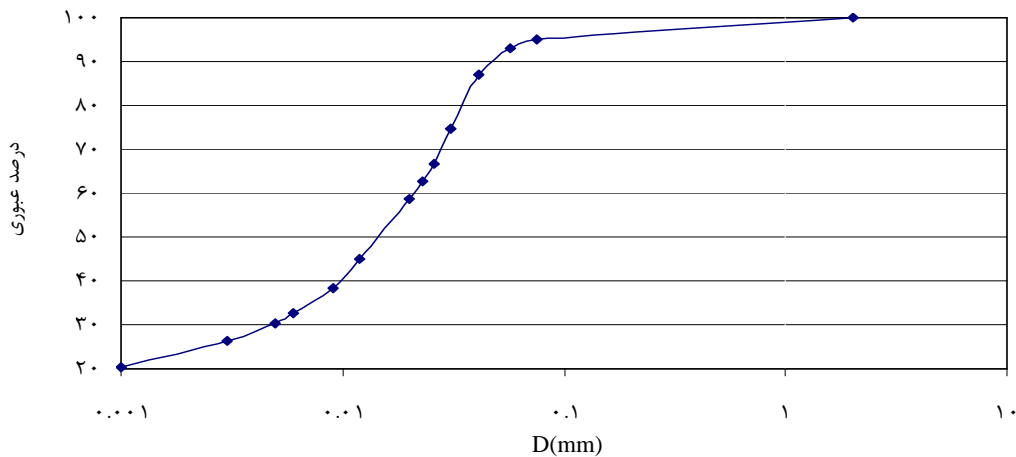
در طبیعت خاکهایی یافت می شود که تحت تنش ثابت، با افزایش درصد رطوبت میزان کاهش حجم بسیار زیادی از خود نشان می دهد. این خاکها به خاکهای رمبنده موسوم اند. میزان تغییر حجم این خاکها پس از اشباع شدن فوق العاده زیاد می باشد. با توجه به گستره خاکهای رمبنده در مناطق مختلف و همچنین بدلیل اهمیت اجرای پروژه های عمرانی در محل وجود این خاکها، دست یابی به یک شیوه مناسب جهت تثبیت خاکهای رمبنده در این تحقیق مد نظر قرار گرفته است. بنابراین ضمن استفاده از آهک در جهت تثبیت خاکهای رمبنده و بررسی اثر آهک بر روی پتانسیل رمبندگی خاک، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک رمبنده در زمانهای عمل آوری متفاوت نیز کنترل می گردد. کلید واژه: بهسازی، خاک رمبنده، آهک، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی.

مقدمه

در اکثر پروژه های عمرانی مثل راه سازی، سد سازی، کانالهای آب رسانی، شالوده های ساختمانها و شیروانیها با انواع خاکها و با مشخصات فنی متفاوت مواجهیم که بسیاری از این خاکها مناسب برای احداث سازه بر روی آنها نمی باشند. از جمله این خاکها می توان خاکهای رمبنده را نام برد. خاکهای رمبنده از جمله خاکهایی هستند که رفتار مکانیکی آنها خصوصاً تغییر حجم آنها در اثر تغییر رطوبت و همچنین تغییر حجم دفعی آنها پس از اشباع شدن قابل بررسی می باشد. خاکهای با پتانسیل رمبندگی با دانسیته خشک می توانند بار قابل ملاحظه ای را تحمل کنند، لیکن چنین خاکهایی در کف مخازن و پی سدها و یا شالوده ساختمانها چنانچه اشباع شوند و در اثر سربار، زنجیره ساختمان خاک شکسته شده و نشستهای نامتقارن و بیش از حد را در سازه بوجود می آورند. با توجه به وجود خاکهای رمبنده در مناطق مختلف و تحقیقات کم صورت گرفته در مورد خاکهای رمبنده به نسبت سایر خاکهای مسأله دار، لازم است که خواص این گونه خاکها مورد بررسی قرار گیرد. روشهای مختلفی برای اصلاح و بهبود خاکهای رمبنده وجود دارد که از جمله این روشها می توان به اشباع کردن این خاکها، تراکم دینامیکی، کنترل آبهای سطحی، استفاده از شمع، تزریق و همچنین تثبیت این خاکها اشاره نمود. [۵] اهمیت این موضوع از آن جا ناشی می شود که عدم توجه به وجود خاکهای رمبنده، موجب خرابی های گسترده در سازه های عمرانی گشته است لذا پیشنهاد روشی در تثبیت خاک های رمبنده و مقابله با عوامل مؤثر بر پدیده رمبندگی می تواند از موارد اهمیت این تحقیق باشد. لذا پس از تشخیص رمبنده بودن خاک و تعیین پتانسیل رمبندگی، خاک مورد نظر را برای درصدهای مختلف اختلاط آهک طی زمانهای عمل آوری متفاوت تثبیت نموده و آنگاه مشخصات خاک از لحاظ پتانسیل رمبندگی و سایر مشخصات مورد ارزیابی قرار داده می شود.

مشخصات خاک رمبنده مورد استفاده در تحقیق

خاک رمبنده مورد آزمایش که یک خاک همگن است از منطقه سیوند در ۱۰۰ کیلومتری شمال شیراز و در محل احداث سد سبویه (سیوند) تهیه شده است. بر طبق گزارشات شرکت مشاور طراح سد، خاک دارای پتانسیل رمبندگی بوده که پس از آزمایش، درستی آن تأیید گردید. برای انتخاب خاک مورد نظر ابتدا از محل احداث سد سیوند، از چند نقطه نمونه برداری شد و بر روی آنها آزمایش دانه بندی انجام گرفت و نهایتاً یک خاک همگن با پتانسیل رمبندگی بیشتر انتخاب گردید. شکل ۱ منحنی دانه بندی خاک مورد استفاده را نشان می دهد.



شکل ۱- منحنی دانه بندی خاک منطقه سیوند

از آن جا که درصد عبوری از الک شماره ۱۰ برای خاک مذکور بسیار زیاد است لذا خاک مانده بر روی الک شماره ۱۰ حذف و کلیه آزمایش های این تحقیق بر روی خاک عبوری از الک شماره ۱۰ انجام پذیرفت. جدول ۱ مشخصات حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیری خاک رمنبده مورد استفاده را نشان می دهد.

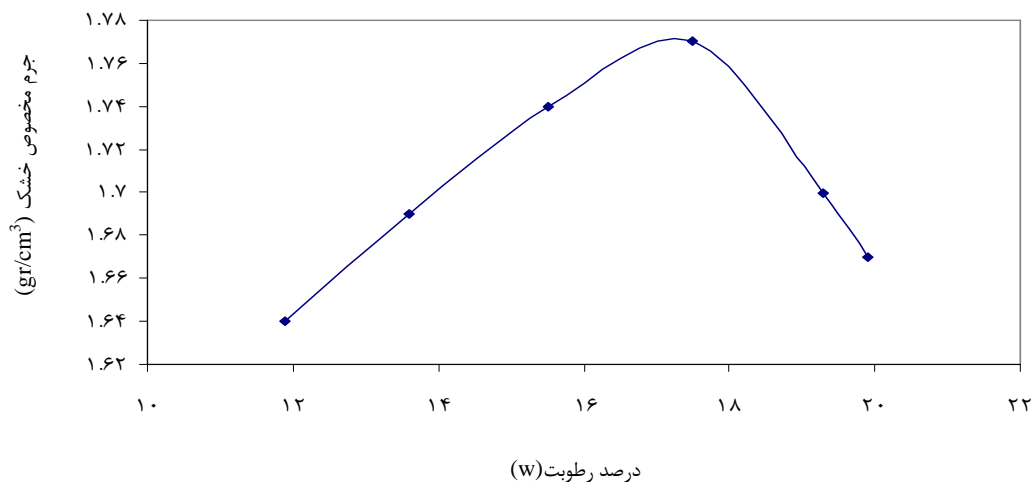
جدول ۱- حدود اتربرگ خاک رمنبده مورد استفاده

شاخص خمیری (PI)	حد خمیری (PL)	حد روانی (LL)
۱۰/۲	۲۳/۸	۳۴

این خاک بر اساس نتایج به دست آمده از آزمایش ها، یک خاک ریزدانه و عمدتاً دارای ابعاد کوچک تر از الک شماره ۲۰۰ است و بر اساس سیستم طبقه بندی متحد از نوع CL می باشد. این خاک عمدتاً رس سیلتی و با پلاستیسیته کم می باشد.

تهیه نمونه های لازم جهت آزمایش

جهت آماده سازی خاک برای تهیه نمونه ها، ابتدا کلوخه های خاک توسط حرکت چکش لاستیکی بر روی خاک خرد و همان گونه که قبلاً نیز بیان شد، برای یکنواخت کردن خاک مورد استفاده در آزمایش ها، خاک از الک شماره ۱۰ عبور داده شد. خاک عبوری از الک شماره ۱۰ به مدت ۴۸ ساعت در گرم خانه قرار داده شد تا کاملاً خشک شود. سپس آزمایش تراکم استاندارد بر روی خاک طبیعی انجام پذیرفت. شکل ۲ منحنی تراکم خاک مورد استفاده را نشان می دهد. همان طور که از شکل مشخص است خاک دارای رطوبت بهینه ۱۷/۵ درصد و جرم مخصوص خشک ماکزیمم $1/77 \text{ gr/cm}^3$ می باشد.



شکل ۲- منحنی تراکم خاک رمنبده منطقه سیوند

جهت عمل آوری نمونه های تثبیت شده، نمونه ها پس از ساخت در کیسه های نایلونی به نحوی نگهداری شدند که در تمام مدت در معرض هوا قرار نگیرند. ضمن آن که در تمامی مدت عمل آوری سعی شد با استفاده از وسایل گرمایشی و یا سرمایشی دما نیز تا حد امکان کنترل گردد.

روش اندازه گیری پتانسیل رمبندگی خاکها:

روشهای مختلفی برای اندازه گیری پتانسیل رمبندگی خاکها وجود دارد، از جمله:

- روشهای در محل به وسیله آزمایش بارگذاری صفحه

- روشهای آزمایشگاهی به وسیله آزمایشهای سه محوری و تحکیم.

در این تحقیق از دستگاه تحکیم جهت تعیین پتانسیل رمبندگی خاک قبل و بعد از تثبیت استفاده شد که آزمایش تعیین پتانسیل رمبندگی به وسیله دستگاه تحکیم مطابق با استاندارد ASTM D5333 انجام پذیرفت. این استاندارد ارائه دهنده روش تعیین مقدار رمبندگی یک بعدی خاک غیر اشباع پس از غرقاب شدن است که با توجه به رابطه ۱ پتانسیل رمبندگی (I_c) کلیه نمونه ها قبل و بعد از تثبیت تعیین گردید:

$$I_c = \frac{d_f - d_i}{h_0} \times 100 \quad (1)$$

d_f = قرائت گیج تغییر مکان در تنش مورد نظر پس از جذب آب (میلی متر)

d_i = قرائت گیج تغییر مکان در تنش مورد نظر پیش از جذب آب (میلی متر)

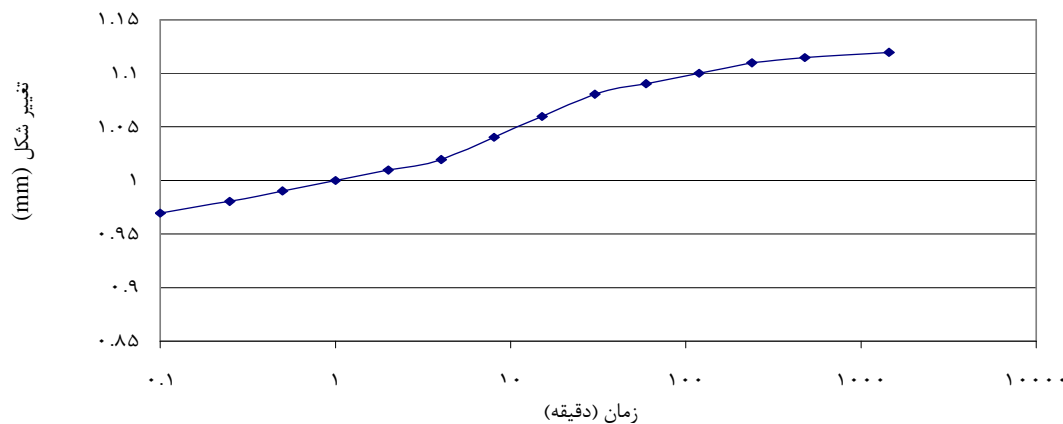
h_0 = ارتفاع اولیه نمونه (میلی متر)

پس از تعیین پتانسیل رمبندگی با توجه به جدول ۲ رده بندی شاخص رمبندگی انجام گرفت و درجه رمبندگی نمونه ها قبل و بعد از تثبیت تعیین گردید.

جدول ۲- رده بندی شاخص رمبندگی

شاخص رمبندگی	درجه رمبندگی
۰-۰/۱	غیر رمند
۰/۱-۲	کم
۲-۶	متوسط
۶-۱۰	نسبتاً شدید
>۱۰	شدید

از آنجا که در بیشتر پروژه های عمرانی مانند سد سازی و یا راه سازی، خاک در شرایط رطوبت بهینه کوبیده می شود تا به جرم مخصوص خشک ماکزیمم خود برسد لذا به همین دلیل در شرایط $\rho_{d \max}$ و W_{opt} نمونه ای ساخته شد و تحت آزمایش قرار گرفت. شکل ۳ نمودار تغییر شکل- زمان برای نمونه ساخته شده در این شرایط را نشان می دهد.

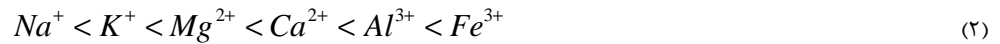


شکل ۳- نمودار تغییر شکل - زمان خاک منطقه سیوند در شرایط W_{opt} و $\rho_{d \max}$

از نمودار و روابط میزان پتانسیل رمبندگی نمونه ساخته شده برابر ۱/۱ به دست آمد که در این شرایط درجه رمبندگی خاک در رده کم قرار گرفت.

نتایج آزمایشهای مختلف بر روی نمونه خاک رمبنده تثبیت شده با آهک:

افزودن مواد شیمیایی به خاک موجب شروع چندین واکنش می گردد که از آن جمله می توان به واکنش تبادل یون های مثبت، واکنش تجمع- تراکم، واکنش هیدراسیون و واکنش پوزولانی اشاره نمود. در رابطه ۲ که به سری لیوتروپی موسوم است ترتیب کلی تبادل یون هایی که معمولاً در خاک یافت می شوند نشان داده شده است [۶].



در این سری هر یک از یون ها تمایل به جایگزینی یون هایی که در سمت چپ آن قرار دارند داشته و به این ترتیب یون های یک ظرفیتی با یون های چند ظرفیتی جایگزین می شوند.

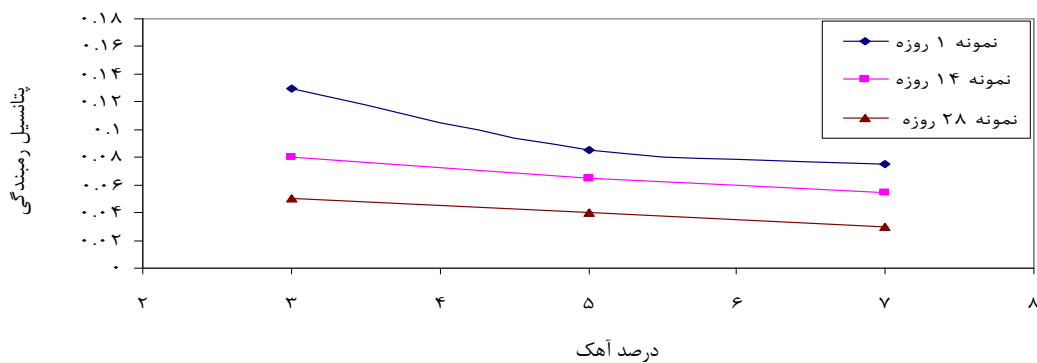
در اثر واکنش تجمع- تراکم دانه های رس مجتمع شده و به صورت دانه های بزرگتری در می آیند و به صورت آشکاری سبب تغییر بافت خاک می شوند. به وجود آمدن مواد سمندی آلومینات کلسیم هیدراته تأثیر زیادی در شروع واکنش تجمع- تراکم دارد.

به واکنش گرمازا که در آن اجزای آهک زنده و سیمان با آب ترکیب می شوند، هیدراسیون گفته می شود که در آن اجزای جامد تشکیل دهنده سیمان با آب واکنش داده و سیلیکات کلسیم هیدراته و آلومینات های کلسیم هیدراته و آهک هیدراته را به وجود می آورد. این واکنش در مدت زمان کوتاهی صورت گرفته و باعث کاهش درصد رطوبت مخلوط می شود.

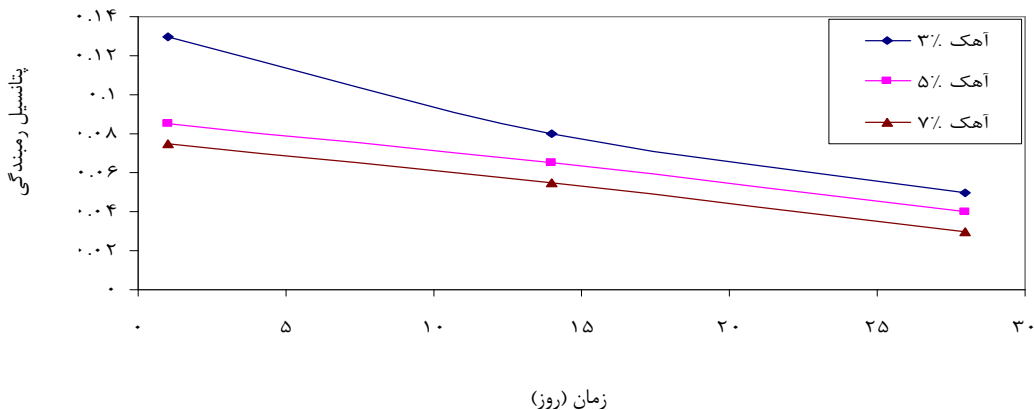
واکنش های بین آهک، آب، مواد سیلیس دار و آلومین دار که موجب تشکیل انواع مختلفی از زل های چسباننده می شود، به عنوان واکنش های پوزولانی شناخته می شوند. واکنش پوزولانی سبب به وجود آمدن مواد سمندی می شود که باعث افزایش مقاومت و دوام خاک می گردد [۱].

نتایج آزمایش استاندارد تعیین پتانسیل رمبندگی نمونه های تثبیت شده با آهک:

شکل های ۴ و ۵ نتایج آزمایش تعیین پتانسیل رمبندگی بر روی نمونه های تثبیت شده با آهک در زمان های عمل آوری متفاوت و در شرایط W_{opt} و ρ_{dmax} را نشان می دهند.



شکل ۴- نمودار تغییرات پتانسیل رمبندگی نمونه های تثبیت شده با درصد های مختلف آهک برای زمانهای عمل آوری متفاوت و در شرایط W_{opt} و ρ_{dmax}



شکل ۵- نمودار تغییرات پتانسیل رمبندگی در زمانهای عمل آوری متفاوت برای نمونه های تثبیت شده با درصد های مختلف آهک و در شرایط W_{opt} و ρ_{dmax}

چنانچه مشاهده می شود با افزایش درصد آهک و زمان عمل آوری از میزان پتانسیل رمبندگی کاسته می شود. منحنی های زمان- پتانسیل رمبندگی نشان دهنده روند کاهش پتانسیل رمبندگی خاک تا ۲۸ روز پس از اصلاح می باشد. هرچند با افزایش درصد آهک از پتانسیل رمبندگی خاک کاسته می شود اما نتایج نشان می دهد که بخصوص در نمونه های ۱ و ۱۴ روزه برای افزایش درصد آهک از ۳٪ به ۵٪ نرخ تغییرات کاهش پتانسیل رمبندگی شدیدتر از حالت افزایش درصد آهک از ۵٪ به ۷٪ می باشد. در صورتی که در اصلاح خاک زمان کافی وجود داشته باشد نتایج نشان دهنده اصلاح خاک های رمبند با ۳٪ آهک می باشد ولی در شرایطی که زمان کافی در اختیار نباشد توصیه به اصلاح خاک رمبند با ۵٪ آهک می باشد. جدول ۳ نتایج رده بندی پتانسیل رمبندگی نمونه های تهیه شده در شرایط W_{opt} و ρ_{dmax} را نشان می دهد.

جدول ۳- رده بندی پتانسیل رمبندگی نمونه های مختلف تهیه شده در درصدهای مختلف آهک و در شرایط W_{opt} و ρ_{dmax}

وضعیت رمبندگی	نمونه ۱ روزه	نمونه ۱۴ روزه	نمونه ۲۸ روزه
۳٪ آهک	کم	غیر رمبند	غیر رمبند
۵٪ آهک	غیر رمبند	غیر رمبند	غیر رمبند
۷٪ آهک	غیر رمبند	غیر رمبند	غیر رمبند

بررسی اثر آهک بر روی حدود اتربرگ خاک رمبند مورد مطالعه:

علت بررسی حدود اتربرگ خاک تثبیت شده اهمیت این پارامتر در تبیین رفتار و خصوصیات خاک می باشد. اصولاً حد روانی در خاک های رسی به وسیله سه عامل مهم کنترل می شود:

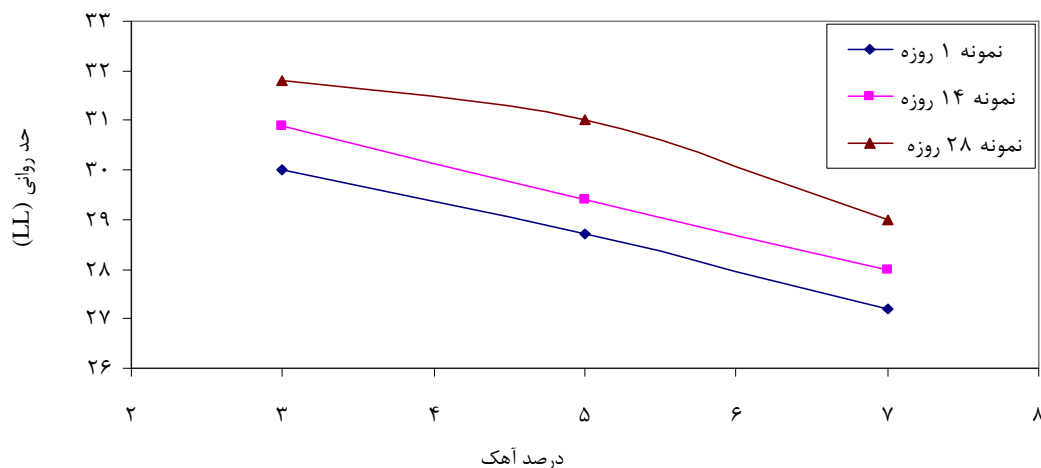
الف- مقاومت برشی بین سطح ذرات

ب- ضخامت لایه دوگانه پراکنشی

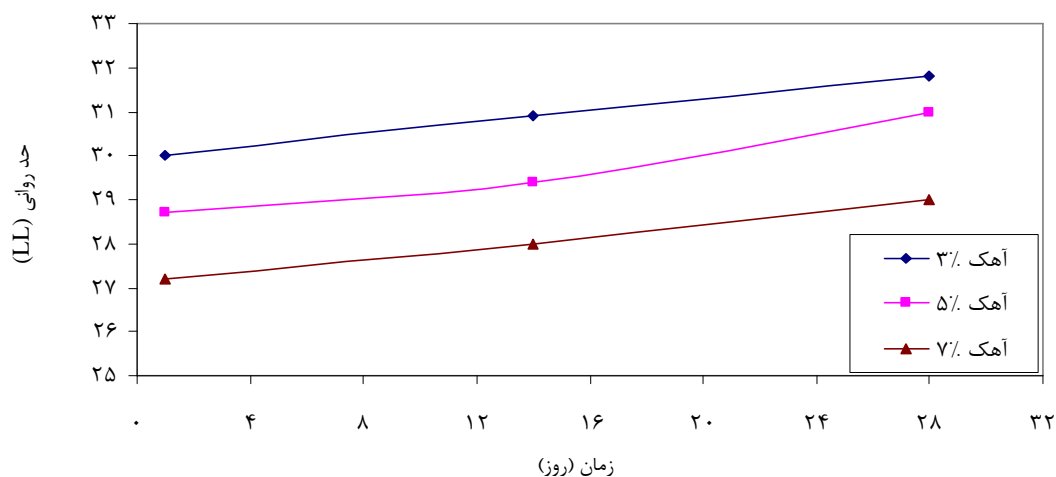
ج- نوع کانی های خاک

در واقع می توان بیان کرد که افزایش مواد تثبیت کننده به خاک باعث افزایش نیروهای جاذبه و افزایش تنش مؤثر و در نتیجه افزایش مقاومت بین سطوح و کاهش ضخامت لایه دوگانه می گردد که نتیجه چنین بحثی کاهش PI خاک است. همچنین در مقالات متعدد اشاره شده است که در خاک های حاوی کانی های کائولینیت و ایلیت هرچند با افزایش مواد شیمیایی تثبیت کننده مانند آهک از حد روانی خاک کاسته می شود ولی با زمان عمل آوری حد روانی افزایش می یابد. توضیح آخر اینکه واکنش های تبادل یونی بزرگ ترین عامل در کاهش خصوصیات خمیری خاک های ریز دانه است [۲].

شکل های ۶ و ۷ تغییرات حد روانی نمونه های تثبیت شده با درصدهای مختلف آهک در زمان های عمل آوری متفاوت را نشان می دهند.



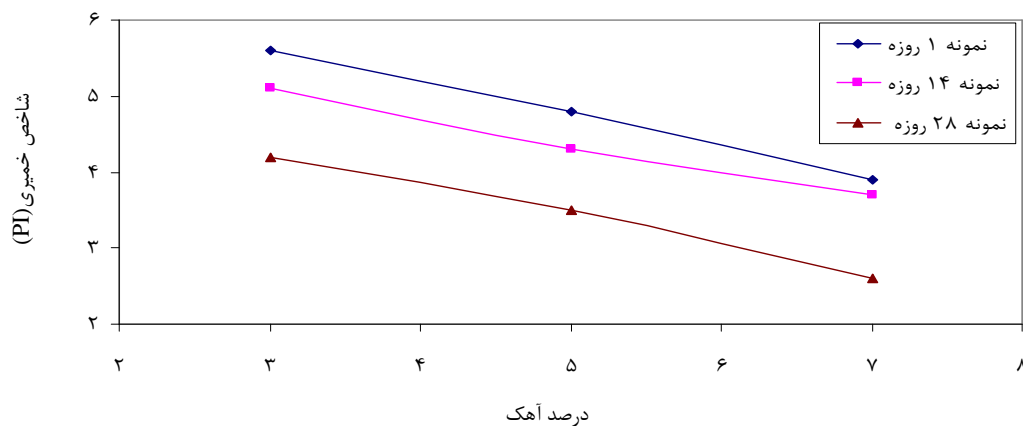
شکل ۶- نمودار تغییرات حد روانی نمونه های تثبیت شده با درصدهای مختلف آهک برای زمانهای عمل آوری متفاوت



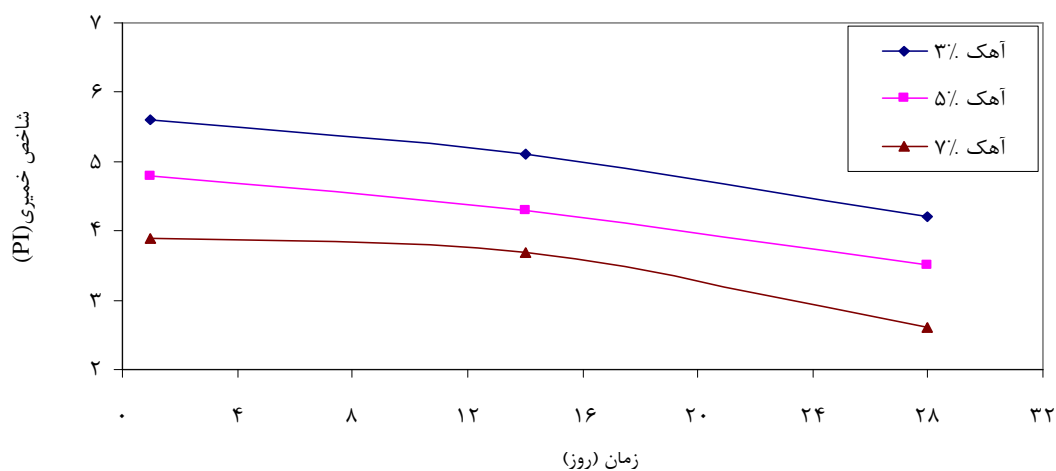
شکل ۷- نمودار تغییرات حد روانی در زمانهای عمل آوری متفاوت برای نمونه های تثبیت شده با درصدهای مختلف آهک

در نمونه های تثبیت شده با آهک با افزایش درصد آهک از حد روانی کاسته شده در حالی که با افزایش زمان عمل آوری، حد روانی خاک افزایش می یابد.

شکل های ۸ و ۹ تغییرات شاخص خمیری نمونه های تثبیت شده با درصدهای مختلف آهک در زمان های عمل آوری متفاوت را نشان می دهند.



شکل ۸- نمودار تغییرات شاخص خمیری نمونه های تثبیت شده با درصدهای مختلف آهک برای زمانهای عمل آوری متفاوت



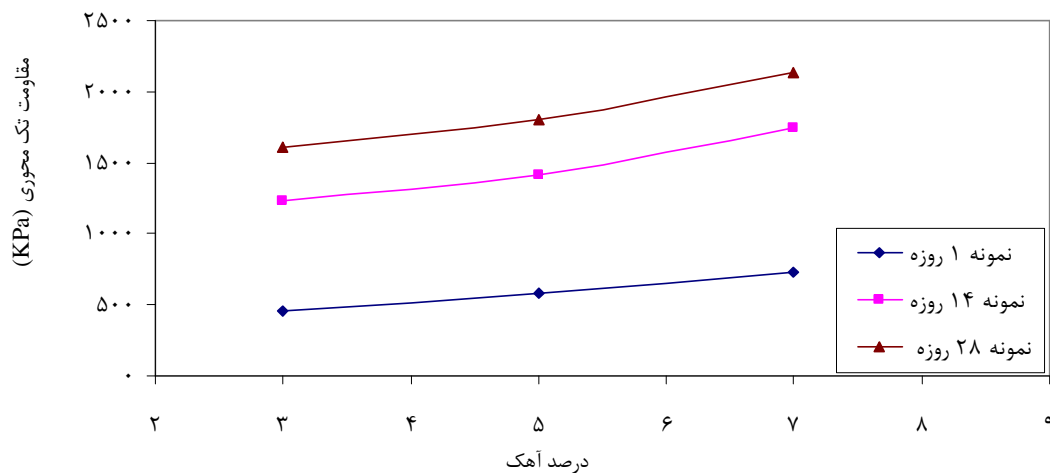
شکل ۹- نمودار تغییرات شاخص خمیری در زمانهای عمل آوری متفاوت برای نمونه های تثبیت شده با درصدهای مختلف آهک

با افزایش درصد آهک شاخص خمیری نیز همانند حد روانی کاسته می شود اما با افزایش زمان عمل آوری اگر چه روانی افزایش می یابد ولی از شاخص خمیری خاک کاسته می شود. به عبارت دیگر می توان گفت روند افزایشی حد خمیری با زمان نسبت به حد روانی از یک نرخ بیشتر برخوردار است که این باعث کاهش شاخص خمیری خاک با افزایش زمان می گردد.

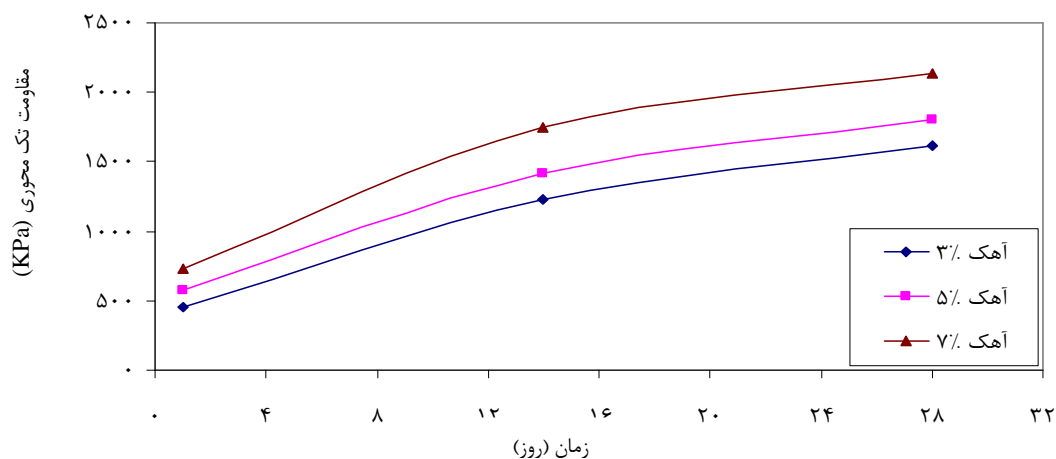
بررسی اثر آهک بر روی مقاومت تک محوری خاک رمبنده مورد مطالعه:

در اثر اضافه نمودن مواد شیمیایی به خاک واکنش های مختلفی به وجود می آید که از جمله این واکنش ها که بر روی مقاومت و دوام خاک تأثیر عمده ای دارند می توان به واکنش های پوزولانی و هیدراسیون اشاره کرد. مهم ترین خصوصیت مورد نظر در اثر تثبیت خاک های ریزدانه یا دانه ای با مواد تثبیت کننده سیمانی، افزایش مقاومت خاک تثبیت شده با زمان است. در حالت کلی این مقاومت ها با پارامترهایی نظیر مقاومت تک محوری بیان می شوند. در یک جمع بندی می توان افزایش مقاومت تک محوری نمونه ها در اثر افزودن مواد تثبیت کننده در کوتاه مدت را به واکنش هیدراسیون و در دراز مدت را به واکنش پوزولانی ربط داد [۴].

شکل های ۱۰ و ۱۱ تغییرات مقاومت تک محوری نمونه های تثبیت شده با درصد های مختلف آهک و در زمان های عمل آوری متفاوت را نشان می دهند.



شکل ۱۰- نمودار تغییرات مقاومت تک محوری نمونه های تثبیت شده با درصد های مختلف آهک برای زمان های عمل آوری متفاوت و در شرایط $\rho_{d\max}$ و W_{opt}



شکل ۱۱- نمودار تغییرات مقاومت تک محوری در زمان های عمل آوری متفاوت برای نمونه های تثبیت شده با درصد های مختلف آهک و در شرایط $\rho_{d\max}$ و W_{opt}

با افزایش درصد آهک و زمان عمل آوری مقاومت تک محوری نمونه ها افزایش می یابد. چنانچه از نمودار مقاومت تک محوری- زمان مشخص است نرخ تغییرات مقاومت تک محوری در ۱۴ روز اول اصلاح بیشتر از نرخ تغییرات بعد از ۱۴ روز می باشد.

جمع بندی و نتیجه گیری:

- ۱- افزودن آهک به خاک سبب کاهش پتانسیل رمبندگی خاک می گردد ضمن آنکه با افزایش زمان عمل آوری از میزان رمبندگی نمونه های تثبیت شده با آهک کاسته می شود.
- ۲- در صورت در دسترس بودن زمان کافی (در حدود ۱۴ روز) به نظر می رسد اختلاط خاک با ۳ درصد آهک به نحو مناسبی مشکل رمبندگی خاک را برطرف کند اما چنانچه زمان کافی وجود نداشته باشد ۵ درصد آهک می تواند مشکل رمبندگی را برطرف کند.
- ۳- با افزایش درصد آهک از میزان حد روانی و شاخص خمیری خاک کاسته می شود. با افزایش زمان عمل آوری در نمونه های تثبیت شده با آهک، بر میزان حد روانی خاک افزوده و از شاخص خمیری آن کاسته می شود.
- ۴- با افزایش درصد آهک و زمان عمل آوری مقاومت تک محوری نمونه ها افزایش می یابد.

مراجع:

- 1) Petry, T. M. And Das, B. (2001), "Evaluation Of Chemical Modifiers/Stabilizers For Chemically Active Soils clays", Transportation Research Record, No, 1757, National Research Council, Washington.
- 2) Sherwood, P. T. (1993), "Soil Stabilization With Cement And Lime", State Of The Art Review, HMSO, Londen, Uk.
- 3) Marian, P. (1999), "Sulfate Attact On Cement Stabilized Soil", Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering, ASCE.
- 4) Jagannath, M., Harold, P. And Kelly, L. (2004), "Cosideration Of Lime-Stabilized Layer In Mechanistic-Emprical Pavement Design ", The National Lime Association, 200 North Glebe Road, Arlington, Virginia 22203.
- ۵) خسروی، فریدون، وکیل پور، جعفر و صادقی، حسن، (۱۳۸۱)، "خاکها با پتانسیل رمبندگی با نگرشی بر روی مناطقی از ایران"، سومین همایش بین المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران.
- ۶) طباطبایی، امیر محمد، (۱۳۷۹)، "روسازی راه"، تهران: انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، صفحه ۵۵۶.