

بهسازی خاک‌های واگرا با آهک با نگرش ویژه به کاهش شدت قله‌های اصلی کانی‌های رسی در پراش پرتو ایکس

وحیدرضا اوحدی^{۱*}، محمد امیری^۲، صلاح الدین حمیدی^۳

۱- استاد، همدان، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده مهندسی، گروه عمران

۲- دانشجوی دکترا، همدان، دانشگاه بوعلی سینا

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، همدان، دانشگاه بوعلی سینا

vahidouhadi@yahoo.ca

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۳/۱۵

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۸/۱۲

چکیده- وجود خاک‌های واگرا در محل اجرای سازه‌های مهندسی، از مشکلات اساسی در برخی از پروژه‌های عمرانی است. پژوهش حاضر به مطالعه بهبود خصوصیات مهندسی خاک واگرای طبیعی با نگرش ویژه به تغییرات ریز ساختاری و حل شدگی قله‌های اصلی کانی‌های رسی و تشکیل ترکیبات جدید می‌پردازد. خاک مورد مطالعه دارای ۱۰۰٪ پتانسیل واگرایی است. در این پژوهش ابتدا پتانسیل واگرایی خاک تعیین شده، و سپس خصوصیات مهم ژئوتکنیکی خاک مطالعه شده آزمایشگاهی قرار گرفته است. در ادامه، خاک مطالعه شده با آهک شکفته مخلوط شده و بعد از پایان دوره عمل آوری، نمونه‌ها تحت آزمایش‌های مختلف ژئوتکنیکی قرار گرفته و میزان تغییرات پتانسیل واگرایی و بهبود ویژگی‌های مهندسی خاک ارزیابی شده قرار گرفته است. همچنین روند تغییرات ریزساختاری نمونه‌ها شامل حل شدگی کانی‌های رسی و تشکیل ترکیبات جدید در اندرکنش خاک واگرا و آهک تحلیل شده است. نتایج نشان می‌دهد که پتانسیل واگرایی در نمونه‌های تثبیت شده کاملاً حذف شده است. همچنین نتایج آزمایش مقاومت فشاری محدود نشده و تحکیم نشان دهنده افزایش مقاومت و کاهش میزان ضریب فشردگی است. بر اساس نتایج ارزیابی پراش پرتو ایکس علت اصلی بهبود خواص مکانیکی حل شدگی کانی‌های رسی، واکنش‌های پوزولانی و تشکیل ترکیبات سیلیکاتی و آلومیناتی کلسیم است. مهمترین نتیجه پژوهش حاضر را می‌توان تعیین درصد بهینه آهک بر اساس میزان افزایش تنش پیش تحکیمی و آزمایش‌های ریز ساختاری بیان نمود، که به ازای افزودن ۶ درصد آهک میزان تنش پیش تحکیمی حدود ۴۳۰٪ افزایش یافته و به ازای هر درصد آهک تنش پیش تحکیمی حدود $50 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ افزایش نشان داده است.

واژگان کلیدی: واگرایی، حل شدگی کانی‌های رسی، آهک، تنش پیش تحکیمی، XRD.

۱- مقدمه

[۱]. به طور کلی خاک‌هایی که پولک‌های رسی آن‌ها به خودی

خود از یکدیگر جدا شده و به داخل سوسپانسیون در آب ساکن وارد می‌شوند به عنوان خاک‌های واگرا معرفی می‌شوند [۲-۳].

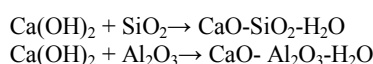
برخی خاک‌های ریزدانه از لحاظ ساختاری ناپایدار است، به گونه‌ای که به آسانی پراکنده شده و بسیار فرسایش پذیر است

واگرایی یک روند فیزیکی-رفتاری است که بیشتر تحت تأثیر متغیرهایی چون کانی‌شناسی، مشخصات آب حفره‌ای خاک و نمک‌های حل شده در خاک است [۴]. به طور کلی پدیده واگرایی در خاک‌ها به حضور کانی‌های رسی فعال مانند مونت‌موریلونیت و حضور کاتیون‌های سدیم وابسته است [۵-۶]. در توصیف رفتار خاک‌های واگرا می‌توان گفت، هنگامی که این خاک‌ها در معرض آب قرار می‌گیرند، ذرات رسی پراکنده شده و به صورت ذرات معلق باقی می‌مانند. بر این اساس وقوع واگرایی ممکن است باعث شکل‌گیری پدیده‌هایی چون فرسایش خاک‌های متراکم، تخریب و از بین رفتن جاده‌ها و رگاب در سدهای خاکی شود [۱].

اصلاح خاک به وسیله‌ی آهک خصوصاً در خاک‌های CL، موجب افزایش درصد رطوبت بهینه، کاهش وزن مخصوص خشک بیشینه، کاهش پتانسیل تورم، افزایش مقاومت و افزایش مدول الاستیسیته می‌شود. تأثیر آهک بر خاک را می‌توان به دو گروه تثبیت کوتاه مدت، و تثبیت بلند مدت تقسیم بندی نمود. افزایش کارپذیری خاک جزء اصلاح کوتاه مدت است و مهمترین عامل در مرحله ساخت اولیه است. افزایش مقاومت و دوام را می‌توان در نتیجه اثر بلند مدت آهک در نظر گرفت که در دوره‌ی عمل‌آوری و بعد از آن رخ می‌دهد [۷-۱۵].

اغلب مصالح پلاستیک می‌توانند با آهک اصلاح شوند، اگر چه برخی از رس‌ها واکنش مؤثرتری با آهک می‌دهند. خاک‌های حاوی مونت‌موریلونیت به علت سطح مخصوص بزرگ این کانی، بیشتر واکنش‌های مناسب‌تری با آهک می‌دهند، اگر چه آهک با کائولینیت و ایلیت نیز به خوبی واکنش می‌دهد. پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که آهک برای اختلاط با خاک‌های رسی به خصوص خاک‌های با پلاستیسیته متوسط و زیاد ($PI > 15$) مناسب‌تر است [۸-۱۵-۱۸]. اگرچه این قاعده، معیاری کلی برای نشان دادن

مقدار رس موجود برای واکنش با آهک نیست [۸]. در اثر اختلاط آهک با خاک دو واکنش پایه اما پیچیده به شرح زیر معلوم می‌شود: الف) بهبود نسبتاً سریع و یا آنی که ممکن است به تبادل یون‌ها نسبت داده شود. ب) واکنش پوزولانی که در بازه‌ی زمانی از چند دقیقه تا چند ماه و یا بیشتر رخ می‌دهد. هنگامی که آهک و خاک رسی با هم مخلوط شده و در معرض رطوبت قرار می‌گیرند، واکنش‌های شیمیایی زیادی رخ می‌دهد که شامل تبادل کاتیون، کلوخه شدن^۱، واکنش پوزولانی و کربناسیون^۲ می‌باشد [۱۵-۱۹]. تبادل کاتیونی و کلوخه شدن جزء واکنش‌های اولیه هستند که بلافاصله بعد از اختلاط رخ می‌دهند. در جریان این واکنش‌ها، کاتیون‌های یک ظرفیتی واقع در لایه دوگانه پولک‌های رسی با کاتیون‌های دو ظرفیتی کلسیم جایگزین می‌شوند. این واکنش‌ها موجب تغییرات سریع در نشانه خمیری، و بهبود مقاومت خاک می‌شود. واکنش پوزولانی میان آهک، آلومینا و سیلیکای کانی‌های رسی رخ می‌دهد و باعث تولید مواد سیمانی شامل کلسیم سیلیکات هیدراته و کلسیم آلومینات هیدراته می‌شود. به طور کلی واکنش‌های پوزولانی اولیه به شرح ذیل است [۸]:



واکنش‌های پوزولانی وابسته به زمان و دما هستند و ممکن است به مدت طولانی ادامه پیدا کنند. در واقع از آنجا که افزودن آهک به خاک موجب افزایش pH خاک می‌شود، هنگامی که pH خاک (که در واقع pH آب آهک اشباع می‌باشد) به ۱۲/۴ افزایش می‌یابد، حلالیت سیلیکا و آلومینای بخش رسی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. تا زمانی که کلسیم کافی در نتیجه افزودن آهک در محیط وجود داشته باشد و pH حداقل ۱۲/۴ باقی بماند، واکنش

1- Flocculation- agglomeration
2- Carbonation

پوزولانی ادامه می‌یابد [۱۹-۲۰].

از مسائل مهم دیگر در فرایند تثبیت، مقدار آهک مورد نیاز است. مقدار آهک مورد نیاز بر اساس درصد رس در خاک، خصوصیات خاک مورد نظر و درجه تثبیت مطلوب متغیر می‌باشد. اگر هدف، فقط اصلاح^۱ خصوصیات خمیری خاک باشد افزودن آهک به میزان ۲ تا ۳ درصد وزن خشک خاک کافی است [۲۱-۲۲]. مقادیر بیشتر برای انجام واکنش پوزولانی و کسب مقاومت نیاز است. بیشتر به منظور تثبیت، آهک به میزان ۵ تا ۱۰ درصد وزن خشک خاک استفاده می‌شود [۲۱]. گروهی از پژوهشگران پیشنهاد کرده‌اند که حداقل آهک مورد نیاز برای تثبیت، باید به اندازه‌ای باشد که بتواند $pH = 12$ را تأمین کند [۸].

تثبیت خاک با آهک به دلیل موثر و اقتصادی بودن آن روشی متداول در تثبیت خاک‌های رسی و رس‌دار به شمار می‌رود. با وجود پژوهش‌های وسیعی که در خصوص فرایند اصلاح خصوصیات مهندسی خاک‌های واگرا به کمک تثبیت کننده آهک انجام شده‌است در زمینه تأثیر آهک بر ویژگی‌های ریزساختاری خاک‌های واگرا پژوهش‌های بسیار محدودی انجام شده‌است. بر این اساس هدف اصلی این پژوهش تعیین ارتباط بین ویژگی‌های درشت ساختاری (مکانیکی) و ریزساختاری خاک واگرای تثبیت شده با آهک است. در این راستا تلاش شده است که بر اساس خصوصیات مکانیکی و ریزساختاری فرایند اندرکنش رس و آهک، با نگرش ویژه به روند افزایش تنش پیش تحکیمی و حل شدگی قله‌های کانی‌های رسی در ارزیابی پراش پرتو ایکس، نحوه تعیین درصد بهینه آهک ارائه شود.

۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش، در بخش آزمایش‌های رفتاری از خاک

واگرای منطقه دشت قزوین در ابتدای جاده قزوین-بوئین زهرا استفاده شده‌است. نمونه‌های خاک از عمق صفر تا پنج متر و به وسیله حفاری ماشینی تهیه شده‌است. منطقه مطالعه شده در محدوده در نظر گرفته شده برای اجرای سازه‌های صنعتی است. با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه و احتمال وقوع پدیده واگرایی و فرسایش خاک در تراز شالوده سازه‌ها، بهبود خصوصیات مهندسی این خاک مورد نظر بوده‌است. آهک شکفته شده‌ای که در این مطالعه استفاده شد به وسیله شرکت سیمان و آهک همدان تهیه شده‌است. آهک استفاده شده بسیار نرم و از الک شماره ۷۰ گذرانده شده‌است. آنالیز شیمیایی آهک مورد نظر در جدول (۱) آورده شده‌است.

بخش بزرگ آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش بر اساس استاندارد ASTM و دستورالعمل انجام آزمایش‌های ژئوتکنیک زیست محیطی دانشگاه مک گیل کانادا انجام شده است [۲۳-۲۴]. برای تعیین درصد کربنات خاک، از روش تیتراسیون استفاده شده‌است [۲۵]. همچنین برای تعیین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC)، از محلول باریم کلراید استفاده شد [۲۶]. به این منظور ظرفیت تبادل کاتیونی خاک^۲ (CEC)، با افزودن محلول کلرید باریم ۰/۱ مولار به خاک آبشویی شده تعیین شده‌است. سپس سوسپانسیون ۱ به ۱۰ (۴ گرم خاک خشک به ۴۰ میلی‌لیتر محلول کلرید باریم)، به وسیله لرنانده الکتريکی کاملاً هم زده شد. پس از گذشت مدت زمان لازم نگهداری، با استفاده از ساتریفیوژ با سرعت ۳۰۰۰ rpm، فاز مایع و جامد از هم جدا شد. مقادیر کاتیون‌های سدیم، کلسیم، پتاسیم، منیزیم، و باریم موجود در فاز مایع، به وسیله دستگاه جذب اتمی^۳ مدل (GBC 932 AB Plus)، در آزمایشگاه تحقیقاتی ژئوتکنیک و ژئوتکنیک زیست محیطی

2- Cation Exchange Capacity

3- Atomic Absorption Spectrometer

1- Modification

دانشکده مهندسی دانشگاه بوعلی سینا، اندازه‌گیری شد. مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی از روش ارائه شده در مرجع [۲۷-۲۸] با تعیین غلظت کاتیون باریم در آب حفرةای و کنترل نتایج با جمع مقادیر کاتیون‌های اندازه‌گیری شده در فاز مایع به وسیله نرم افزار GBC-Avental Ver. 1.33 به دست آمد. برای تهیه نمونه‌های پراش پرتو ایکس (XRD) از کلیه نمونه‌های آزمایش شده یک گرم خاک خشک با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شده و داخل تیوپ سانتیفریوژ ۵۰ میلی‌لیتر ریخته شد. سپس پس از اضافه نمودن ۵۰ میلی‌لیتر از الکترولیت مورد نظر (آب مقطر) به خاک، این سوسپانسیون به مدت سه ساعت به وسیله لرزاننده الکتریکی هم زده شد. پس از نگهداری نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت با هدف اطمینان از به دست آمدن شرایط تعادل، این سوسپانسیون دوباره به مدت سه ساعت به وسیله لرزاننده الکتریکی هم زده شد، و نمونه‌ها حدود ۱۲۰ ساعت دیگر نگهداری شده تا سیستم همگن شود. سپس نمونه‌ها به مدت ۶۰ دقیقه به وسیله لرزاننده دوباره هم زده شدند. در نهایت بین ۵ تا ۷ قطره از این سوسپانسیون بر روی اسلاید شیشه‌ای ریخته شد و پس از خشک شدن، با دستگاه پراش اشعه ایکس مدل Siemens-Diffract meter D8 Advance آزمایش شد [۲۷-۲۸].

نمونه‌های تک محوری و تحکیم نیز با استفاده از نمونه‌گیر شلبی به صورت دست نخورده تهیه شده است. برای تعیین میزان زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) و میزان چسبندگی (c) آزمایش برش مستقیم بر اساس استاندارد ASTM D 3080-90 انجام شد. همچنین به منظور بررسی واگرایی خاک رسی مطالعه شده، آزمایش هیدرومتری دوگانه و تعیین میزان یون سدیم موجود در خاک برای نمونه‌های مطالعه شده انجام شد. در جدول (۲) برخی مشخصات ژئوتکنیکی و فیزیکی نمونه خاک واگرایی

مطالعه شده در این پژوهش ارائه شده است. برای تعیین مقدار آهک، یک‌سری آزمایش‌های مکانیکی، فیزیکی و ریزساختاری انجام شد. ابتدا pH خاک و آهک به شکل جداگانه تعیین شد. سپس درصدهای مختلف ۲ تا ۱۰ درصد آهک را به خاک اضافه کرده، درصد آهک بهینه به عنوان درصد آهک متناظر برای حصول مقدار pH بیش از ۱۲، ۴ انتخاب شد. همچنین این درصدها به وسیله ارزیابی پراش پرتو ایکس نمونه‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقادیر pH با استفاده از دستگاه pH متر مدل HANNA-Hi 9321 در نسبت خاک به آب ۱ به ۱۰ اندازه‌گیری شد. همچنین ضریب هدایت الکتریکی (EC) و مجموع مواد محلول در خاک (TDS) کلیه نمونه‌ها به وسیله دستگاه‌های Conductivity Meter LF538 و Martini Instrument Mi 170 اندازه‌گیری شده است.

برای انجام آزمایش‌های لازم بر خاک تثبیت شده با درصدهای مختلف آهک، مقادیر ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ درصد آهک به صورت خشک به خاک اضافه شده و سپس به خوبی مخلوط شده است. بعد از اختلاط کامل، حدود ۲۵ درصد رطوبت (رطوبت طبیعی محل) به نمونه‌ها اضافه شد. نمونه‌ها در ظرف‌های پلاستیکی با رطوبت ثابت نگهداری شدند. برای انجام واکنش‌ها نمونه‌ها به مدت ۱، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز نگهداری شدند. بر این اساس آزمایش‌های تعیین حدود اتبرگ، دانه‌بندی، هیدرومتری، هیدرومتری دوگانه، رسوب، پتانسیل واگرایی و آزمایش پراش پرتو ایکس بر روی ترکیب‌های مختلف خاک-آهک بر اساس استاندارد ASTM انجام شد [۲۳]. قابل ذکر است نمونه‌های آزمایش مقاومت فشاری محدود نشده و تحکیم در قالب‌های آزمایش مقاومت فشاری محدود نشده و سلول‌های تحکیم با دانسیته خشک $\gamma_d = 1.6 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ ساخته شده و مورد آزمایش قرار گرفتند.

جدول (۱) مشخصات شیمیایی آهک

Parameters Product type	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	LOI	SrO	MnO
Hydrated Lime	1.19	0.69	0.12	71.4	0.53	0.1	0.1	0.1	25.86	0.1	0.1

جدول (۲) برخی از خصوصیات ژئوتکنیکی نمونه خاک واگرای مطالعه شده

Physical properties of Qazvin Soil	Quantity measured	References for method of measurement
Clay (%)	48	ASTM, D422-63
Strength Parameters	C (kg/cm ²)	ASTM D3080-90
	ϕ^o	ASTM D3080-90
Unconfined Compression Strength (UCS) (kg/cm ²)	0.82	ASTM D2166-06
Liquid limit (%)	44.8	ASTM, D4318
Plastic Limit (%)	26.4	ASTM, D4318
Plasticity Index (%)	18.4	ASTM, D4318
Gs	2.6	ASTM, D854, Method A
Classification	CL	ASTM, D3282

جدول (۳) برخی از مشخصات ژئوتکنیک زیست‌محیطی نمونه خاک واگرای مطالعه شده

Physical properties of Qazvin Soil	Quantity measured	References for method of measurement
pH (1:10 ; soil : water)	9.80	
Carbonate content (%)	10.5	Hesse, 1972
Organic content (%)	1.5	ASTM, D2974
CEC (cmol / kg soil) Na ⁺	20.83	
Ca ⁺²	6.10	
Mg ⁺²	0.81	
K ⁺	5.8	
Total:	33.54	Handershot & Duquette, 1986
ESP	62.10	
Dispersion (%)	100	
X Ray Results: d ₀₀₁	14.13 Å	Starkey et al., 1984
Color	Brown	
Mineral composition In decreasing abundance	Montmorillonite, Kaolinite, Illite Calcite, Quartz	ASTM, D2216

شده در نبودن محلول پراکنده ساز نیز به طور کامل در آب مقطر پراکنده شده‌است. بر اساس روابط لازم برای محاسبه ضریب واگرایی خاک، درصد واگرایی خاک مورد مطالعه صد در صد بوده‌است. از آنجا که بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۱، بیش از ۶۰٪ از کاتیون تبدیلی بخش رسی نمونه مورد مطالعه از نوع کاتیون سدیم است، پس می‌توان نتیجه‌گیری کرد که حضور غالب کاتیون سدیم در آب حفره‌ای از دلایل اصلی برای حصول درصد واگرایی صد در صد بوده‌است. بر اساس نتایج پژوهش‌های موجود، خاک‌های با درصد سدیم تبدیلی بیش از ۴۰٪ قابلیت واگرایی زیادی دارند [۲]. از سوی دیگر بر اساس مشخصات ژئوتکنیکی خاک مطالعه شده

در جدول (۳) برخی مشخصات ژئوتکنیکی و ژئوتکنیک زیست‌محیطی نمونه مورد مطالعه در این پژوهش ارائه شده‌است.

۳- بحث و بررسی نتایج

۳-۱- رفتار واگرایی خاک و تأثیر آهک بر آن

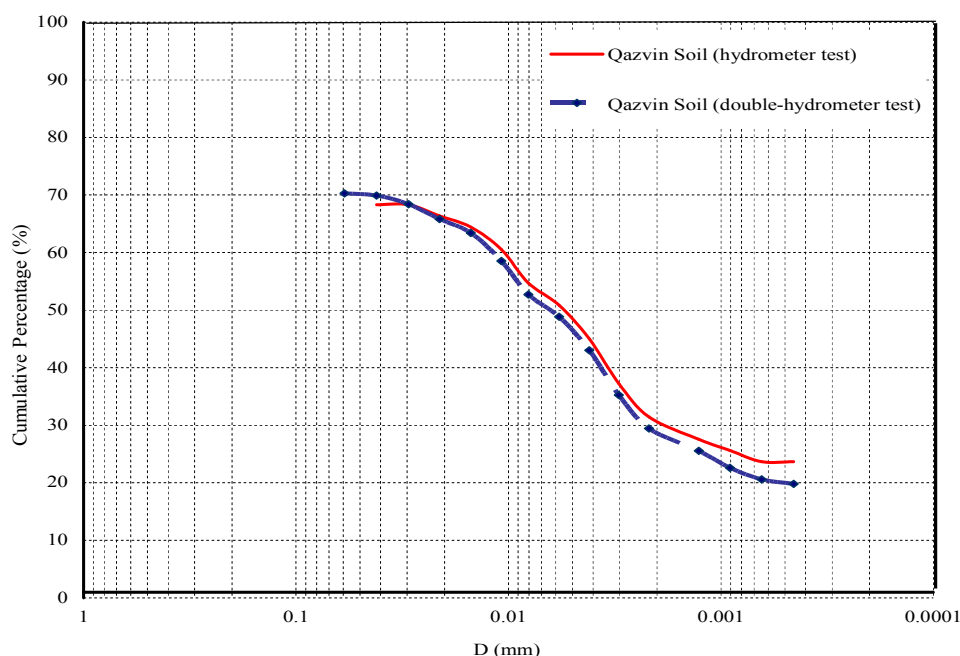
در شکل (۱) نتایج آزمایش هیدرومتری دو گانه برای نمونه رسی مطالعه شده ارائه شده‌است. در این روش، آزمایش هیدرومتری در دو مرحله با استفاده از محلول پراکنده ساز و بدون استفاده از محلول پراکنده ساز انجام می‌شود. به هم رسیدن نتایج دو آزمایش بیانگر آن است که نمونه رسی مطالعه

۸٪ و ۱۰٪ آهک به حدود ۵٪، ۲٪ و ۱٪ کاهش یافته است. به عبارت دیگر به دلیل پیوستگی ذرات لای و رس به یکدیگر، به وسیله ترکیبات سیمانی به وجود آمده در نتیجه واکنش‌های پوزولانی خاک و آهک، افزایش قطر ذرات مشاهده می‌شود. داده‌های اخذ شده از آزمایش رسوب نتایج این بخش را تأیید می‌کند. بر اساس نتایج آزمایش رسوب (شکل ۳)، در حالی که نمونه رسی تثبیت نشده پس از ۲۴ ساعت تنها ۵٪ رسوب کرده است، میزان درصد رسوب در نمونه تثبیت شده با ۲٪ آهک به ۷۰٪ رسیده است.

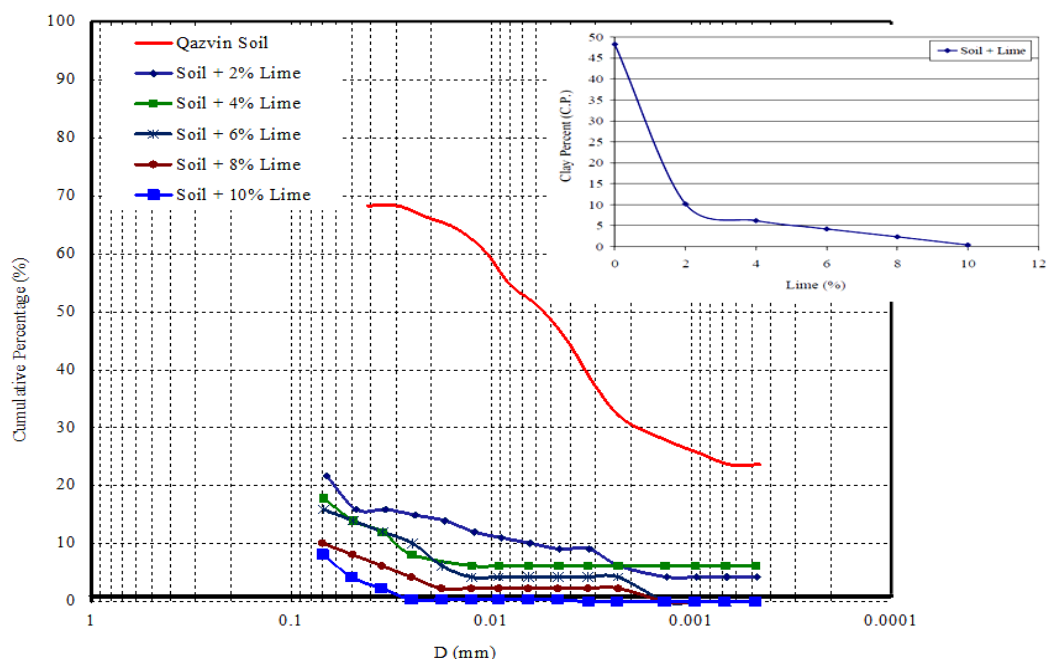
با افزایش میزان آهک اضافه شده به نمونه‌ها، فرایند رسوب در نمونه‌ها به دلیل افزایش جایگزینی کاتیون‌های دو ظرفیتی به جای کاتیون‌های تک ظرفیتی، فرایند تبادل کاتیونی و کلوخه شدن به سرعت صورت گرفته است. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که در نمونه‌های حاوی ۶٪، ۸٪ و ۱۰٪ آهک در زمانی کمتر از ۱۰ دقیقه فرایند رسوب به طور کامل صورت گرفت.

که در جدول (۲) ارائه شده است، به توجه به نتایج آزمایش برش مستقیم پارامترهای مقاومتی ($\phi=25^\circ$ و $C=0.25 \text{ kg/cm}^2$) حاصل شده است. همچنین مقاومت فشاری محدود نشده 0.82 kg/cm^2 است. مقادیر چسبندگی کم، امکان وقوع واگرایی را تشدید می‌کند. با توجه به مشخصات مهندسی فوق و ظرفیت باربری کم خاک و پتانسیل قابل توجه واگرایی آن، استفاده از آهک به عنوان تثبیت کننده خصوصیات مهندسی خاک انتخاب شد.

شکل (۲) منحنی هیدرومتری نمونه‌های تثبیت و عمل آورده شده با درصد‌های مختلف آهک در مقایسه با منحنی هیدرومتری نمونه غیر تثبیت شده را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج ارائه شده در شکل (۲) با افزایش درصد آهک به دلیل وقوع واکنش‌های تبادل کاتیونی و شروع واکنش‌های پوزولانی، فرایند کلوخه شدن صورت گرفته است. همانگونه که دیده می‌شود با افزایش ۲٪ آهک، درصد ذرات کوچکتر از ۵ میکرون از ۴۸٪ به حدود ۱۰٪ کاهش یافته است. این در حالی است که این مقدار با افزایش ۶٪،



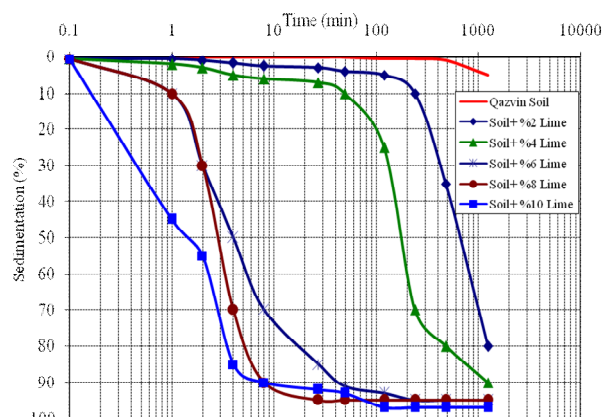
شکل (۱) نتایج آزمایش هیدرومتری دوگانه نمونه خاک مورد مطالعه



شکل (۲) منحنی هیدرومتری نمونه خاک واگرا به همراه منحنی‌های هیدرومتری نمونه‌های تثبیت شده با درصدهای مختلف آهک



شکل (۴) عدم رسوب نمونه واگرا و رسوب نمونه‌های حاوی درصدهای مختلف آهک



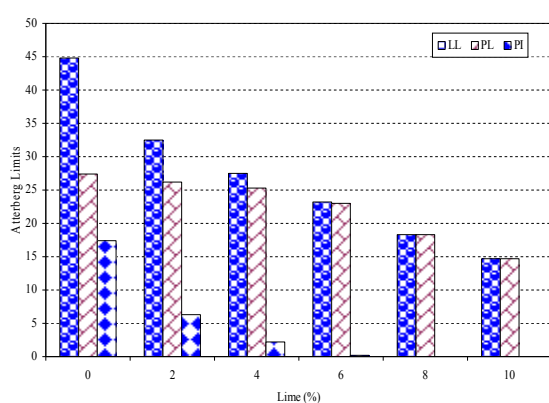
شکل (۳) منحنی رسوب نمونه واگرای تثبیت نشده و تثبیت شده با درصدهای مختلف آهک

پوزولانی و تشکیل ترکیبات جدید است. درستی این استدلال بر اساس نتایج آزمایش پراش پرتو ایکس مورد تجزیه و تحلیل و اثبات قرار خواهد گرفت. در واقع، با افزایش آهک شکفته (Ca(OH)_2) بر اساس یونیزه شدن آهک شکفته، غلظت یون هیدروکسید (OH^-) در الکترولیت افزایش پیدا می‌کند. این موضوع باعث

تصویر نمونه‌های مورد آزمایش در شکل (۴) صحت نتایج فوق را تأیید می‌کند. از نتایج قابل توجه که در شکل (۳) قابل دریافت است کاهش درصد ذرات با قطر کوچکتر از ۵ میکرون با افزایش درصد آهک به خاک است. از دلایل اصلی کاهش درصد ذرات کوچکتر از ۵ میکرون با افزایش درصد آهک، حل شدن کانی‌های رسی، واکنش‌های

کلسیم کافی برای واکنش با پولک‌های رسی است. در این راستا تغییرات مجموع مواد محلول در خاک (TDS) نیز در شکل (۵) ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش آهک، TDS نمونه‌ها نیز افزایش یافته است. محدوده TDS نمونه‌های تثبیت شده نیز تأیید کننده نتایج اخذ شده از آزمایش‌های تعیین ضریب هدایت الکتریکی خاک است.

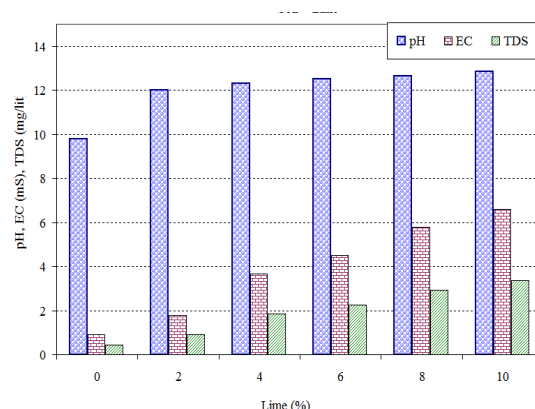
در شکل (۶) منحنی تغییرات خصوصیات خمیری با درصد‌های مختلف آهک ارائه شده است. بر اساس نتایج ارائه شده، با افزایش درصد آهک مقدار دامنه خمیری و حد روانی کاهش پیدا می‌کند. به گونه‌ای که در حالت اضافه کردن حدود ۶٪ آهک به خاک، نمونه رسی مطالعه شده رفتار غیر خمیری از خود نشان داده است. این رفتار مشاهده شده را می‌توان به حل شدگی بخشی از کانی‌های رسی و جانشینی یون‌های کلسیم ناشی از یونیزه شدن آهک شکفته با یون‌های سدیم و پتاسیم موجود در لایه دوگانه پولک رسی نسبت داد. بر اساس نتایج ارائه شده در شکل (۶)، در نمونه تثبیت شده با ۶٪ آهک، و بعد از دوره عمل آوری ۷ روز میزان حد روانی حدود ۴۷.۸٪ کاهش و دامنه خمیری تقریباً به صفر رسیده است.



شکل (۶) منحنی تغییرات حدود اتربرگ نمونه‌های اصلاح شده با درصد‌های متفاوت آهک (دوره عمل آوری ۷ روز)

افزایش pH محیط خاک می‌شود. با اضافه نمودن ۲٪ آهک، pH محیط به حدود ۱۲ رسیده است و در حالت استفاده از ۴٪ آهک مقدار pH نمونه تثبیت شده به حدود ۴/۱۲ رسیده است (شکل ۵). هم‌زمان یون کلسیم آزاد شده در فرایند یونیزاسیون آهک شکفته به جای کاتیون تک ظرفیتی سدیم در لایه دو گانه رسی جایگزین می‌شود. کاهش نیروهای دافعه در این حالت، بهبود مشخصات فنی خاک را به دنبال داشته است. با توجه به آنکه بر اساس روش pH، حداقل درصد آهک لازم برای تثبیت، درصد آهکی است که pH محیط را به ۴/۱۲ برساند بر این اساس حداقل درصد آهک مورد استفاده بیش از ۴٪ وزنی خاک است.

شکل (۵) تغییرات هدایت الکتریکی (EC) نمونه‌های خاک و اگرای تثبیت نشده و تثبیت شده با درصد‌های مختلف آهک را نشان می‌دهد. قابلیت هدایت الکتریکی خاک، متناسب با غلظت یون‌های محلول خاک می‌باشد. به گونه‌ای که هر چه غلظت یون‌ها در یک محلول خاک بیشتر باشد هدایت الکتریکی آن نیز بیشتر خواهد بود. بر این اساس در نمونه‌های اصلاح شده با افزایش ۴٪ آهک، هدایت الکتریکی در مقایسه با نمونه تثبیت نشده تقریباً چهار برابر شده است. این موضوع نشان از وجود یون



شکل (۵) تغییرات pH، EC و TDS نمونه‌های اصلاح شده با درصد‌های متفاوت آهک

۳-۲- تأثیر آهک بر رفتار مقاومتی و تحکیمی خاک واگرا

از سوی دیگر، اصلاح خاک با آهک موجب افزایش مقاومت خاک می‌شود. افزایش مقاومت در کوتاه مدت توأم با وقوع واکنش‌های کوتاه مدت کلوخه شدن^۱ و بهبود کارپذیری خاک صورت می‌گیرد. همانگونه که در شکل (۷) دیده می‌شود با افزایش ۶٪ آهک، مقاومت یک روزه تقریباً ۳۶٪ برابر شده و با افزایش ۸٪ آهک مقاومت یک روزه ۴۰٪ برابر افزایش یافته است. علت این افزایش مقاومت را می‌توان به تبادل کاتیونی و پیشرفت واکنش‌های پوزولانی نسبت داد. به بیان دیگر، واکنش میان آهک و کانی‌های رسی موجب حل شدگی کانی‌های رسی و تشکیل ترکیباتی همچون ژل آلومینات کلسیم هیدراته (CAH) و سیلیکات کلسیم هیدراته (CSH) می‌شود. این ترکیبات شبیه به ترکیبات موجود در سیمان پرتلند هیدراته است. متبلور و سخت شدن این ژل‌ها باعث افزایش مقاومت می‌شود. به گونه‌ای که در نمونه حاوی ۶٪ آهک مقاومت ۱ روزه، ۷ روزه، ۱۴ روزه و ۹۹ روزه نسبت به مقاومت اولیه به ترتیب ۳۸، ۵۳، ۸۹۳ و ۹۰۴۲ برابر افزایش مقاومت را نشان می‌دهد. نتایج تعیین و مقایسه میزان تغییر شکل نمونه‌ها در لحظه گسیختگی نشان داد که با افزایش مقاومت فشاری محدود نشده، کرنش مربوط به مقاومت بیشینه کاهش یافته و در واقع خاک اصلاح شده با آهک رفتار شکننده از خود نشان می‌دهد.

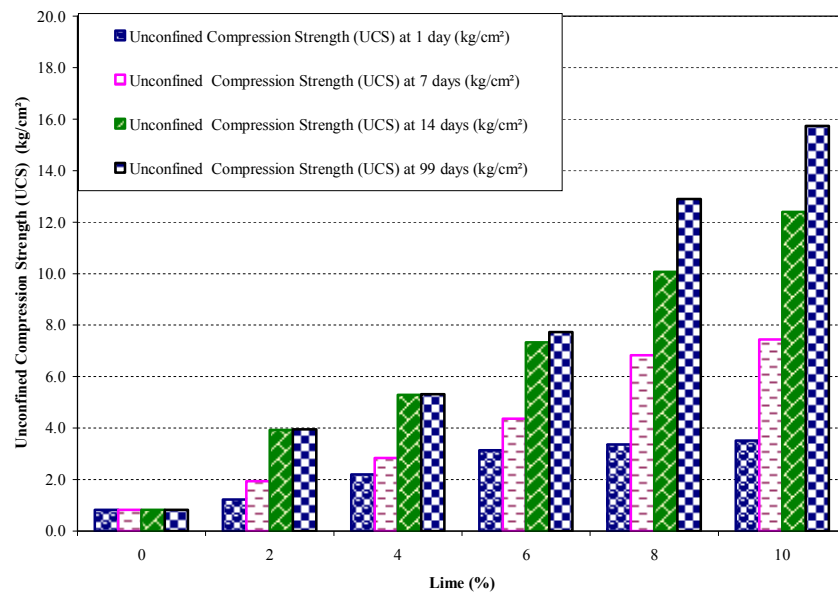
خاک محدوده مطالعه شده در درصد رطوبت اشباع در محل در شرایط تحکیم عادی یافته بوده و قابلیت نشست-پذیری زیادی دارد. همین موضوع سبب می‌شود که در محدوده مورد مطالعه میزان نشست خاک، کنترل کننده ظرفیت باربری خاک شود. بر این اساس بخشی از آزمایش‌های این پژوهش به مطالعه تأثیر حضور آهک بر

پارامترهای تحکیم خاک معطوف شد. برای این منظور نمونه‌های تثبیت شده با آهک در دانسیته متناظر با دانسیته در محل در سلول تحکیم متراکم شده و مورد انجام آزمایش تحکیم قرار گرفتند. شکل (۸) منحنی تغییرات ضریب فشردگی (C_c) را برای نمونه‌های اصلاح شده با آهک پس از ۷ روز دوره عمل‌آوری نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش ۲٪ آهک ضریب فشردگی حدود ۴۰٪ کاهش یافته‌است. این در حالی است که با افزودن ۶٪ آهک ضریب فشردگی به ۰۰۳۴ رسیده-است. در حقیقت استفاده از ۶٪ آهک حدود ۸۸٪ کاهش در مقدار ضریب فشردگی ایجاد کرده‌است. قابل توجه است که افزایش بیشینه میزان آهک نیز موجب تغییر عمده‌ای در ضریب فشردگی نمی‌شود. کاهش ضریب فشردگی تحکیم (C_c) در نمونه‌های تثبیت شده با آهک را نیز می‌توان به پیشرفت واکنش‌های پوزولانی نسبت داد. همان‌گونه که در شکل (۸) قابل دریافت است، روند افزایش تنش پیش-تحکیمی نیز در نمونه‌ها با افزایش درصد آهک مشاهده می‌شود. در واقع بر اساس نتایج ارائه شده در شکل (۸) وقوع واکنش‌های پوزولانی و کاهش ضخامت لایه دو گانه سبب ایجاد یک پیش تحکیمی در خاک شده‌است.

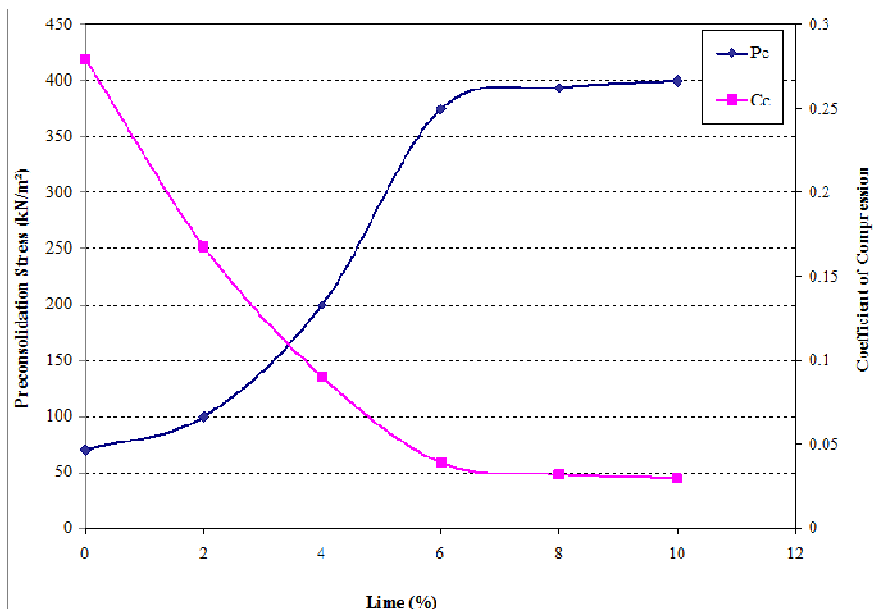
اگر به صورت خاص به بررسی منحنی تنش پیش تحکیمی بر اساس میزان درصد آهک افزوده پرداخته شود (شکل ۸)، مشاهده می‌شود به ازای افزایش ۲٪ آهک میزان تنش پیش تحکیمی حدود ۴۲٪ افزایش یافته است. به عبارت دیگر، به ازای هر درصد آهک میزان تنش پیش تحکیمی حدود $15 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ افزایش یافته‌است. در این راستا، با افزایش ۴٪ آهک میزان تنش پیش تحکیمی حدود ۱۸۰٪ افزایش یافته و به ازای هر درصد آهک میزان تنش پیش تحکیمی حدود $32.5 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ افزایش یافته است. همچنین با افزایش ۶٪ آهک نرخ رشد درصد تنش پیش

رسیده است، اما میزان افزایش تنش پیش تحکیمی به ازای هر درصد آهک به ترتیب به مقادیر (kN/m^2) ۴۰ و (kN/m^2) ۳۳ کاهش یافته است. بر این اساس می توان درصد بهینه آهک را برای بهسازی در این پژوهش ۶٪ معرفی نمود، تا بیشترین درصد بهره‌وری ارائه شود.

تحکیمی ادامه یافته و به حدود ۴۳۵٪ رسیده و میزان افزایش تنش پیش تحکیمی به ازای هر درصد آهک حدود (kN/m^2) ۵۰٫۸ بوده است. توجه به این نکته دارای اهمیت است که با افزایش ۸٪ و ۱۰٪ آهک در حالی که میزان درصد افزایش تنش پیش تحکیمی به حدود ۴۶۰٪ و ۴۷۰٪



شکل (۷) مقاومت تک محوری خاک واگرا به همراه نمونه‌های بهسازی شده با آهک



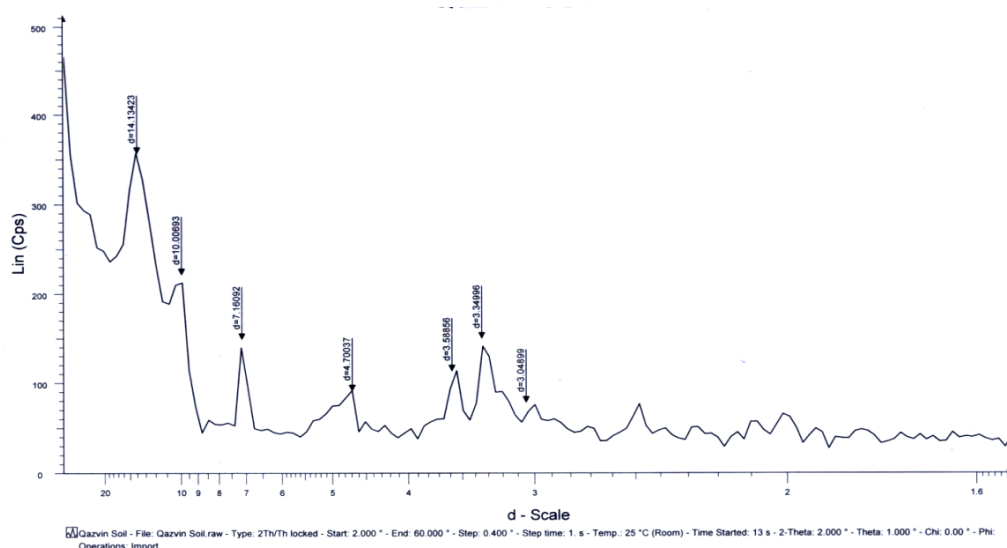
شکل (۸) منحنی تغییرات تنش پیش تحکیمی و ضریب فشردگی (cc) نمونه‌های بهسازی شده با درصدهای مختلف آهک

۳-۳- حذف شدن قله‌های نظیر کانی‌های رسی خاک واگرا در پراش پرتو ایکس

به منظور امکان تفسیر رفتار مشاهده شده از دیدگاه ریزساختاری، پراش پرتو اشعه ایکس نمونه‌های رس واگرای طبیعی و نمونه‌های تثبیت شده تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه نتایج آنالیز XRD انجام گرفته بر روی خاک طبیعی نشان می‌دهد که مونت‌موریلونیت، کائولینیت، و ایلیت کانی‌های اصلی رسی و کوارتز، فلدسپات و کلسیت کانی‌های غیر رسی موجود در خاک مطالعه شده است (شکل ۹). بر اساس منحنی پراش پرتو ایکس ارائه شده در شکل (۹)، قله‌های نظیر کانی‌های ذکر شده به تفکیک قابل رویت است. قله‌های اصلی کانی‌های رسی در مقادیر حدود قله ($d_{001}=14.1 \text{ \AA}$) مربوط به کانی اسمکتیت، قله ($d_{001}=7.1 \text{ \AA}$) مربوط به کانی کائولینیت، و قله ($d_{001}=10.0 \text{ \AA}$) مربوط به کانی ایلیت قابل مشاهده است. نتایج آنالیز XRD انجام شده بر روی خاک ترکیب شده با آهک در شکل (۱۰) نشان می‌دهد، که شدت قله مونت‌موریلونیت، کائولینیت و ایلیت با افزایش درصد آهک، کاهش یافته‌است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود قله $d_{001}=14 \text{ \AA}$ مربوط به کانی مونت‌موریلونیت از ۳۵۰ Cps

افزایش ۲٪ آهک به حدود ۱۲۰ Cps و با افزایش ۸٪ آهک به کمتر از ۶۰ Cps رسیده‌است.

این روند را برای کانی ایلیت هم می‌توان دید. در حالی که شدت قله $d_{001}=10 \text{ \AA}$ مربوط به کانی ایلیت در نمونه خالص حدود ۲۰۰ Cps است، افزایش ۲٪ آهک آن را به ۸۰ Cps و افزایش ۸٪ آهک آن را به حدود ۵۰ Cps رسانده‌است. در تفسیر پراش پرتو ایکس نمونه تثبیت شده با آهک می‌توان این‌گونه استدلال نمود که اضافه کردن آهک به خاک از یک سو سبب افزایش pH محیط خاک می‌شود. با افزایش pH به مقادیر بیش از ۱۲، بخشی از کانی‌های رسی موجود در خاک حل شده که بعد از آن شدت قله‌های پراش پرتو ایکس کانی‌های رسی کاهش می‌یابد. حل شدگی فوق زمینه تشکیل واکنش‌های پوزولانی را ایجاد می‌کند. تبادل کاتیونی ناشی از جانشینی یون کلسیم به جای یون‌های سدیم و پتاسیم از یک سو و تشکیل ژل‌های ناشی از واکنش‌های پوزولانی از سوی دیگر، شرایط لازم برای فشردگی و پیوستگی لایه دو گانه رسی را فراهم کرده و در طی این مکانیزم افزایش میزان تنش پیش تحکیمی و کاهش ضریب فشردگی رخ می‌دهد.

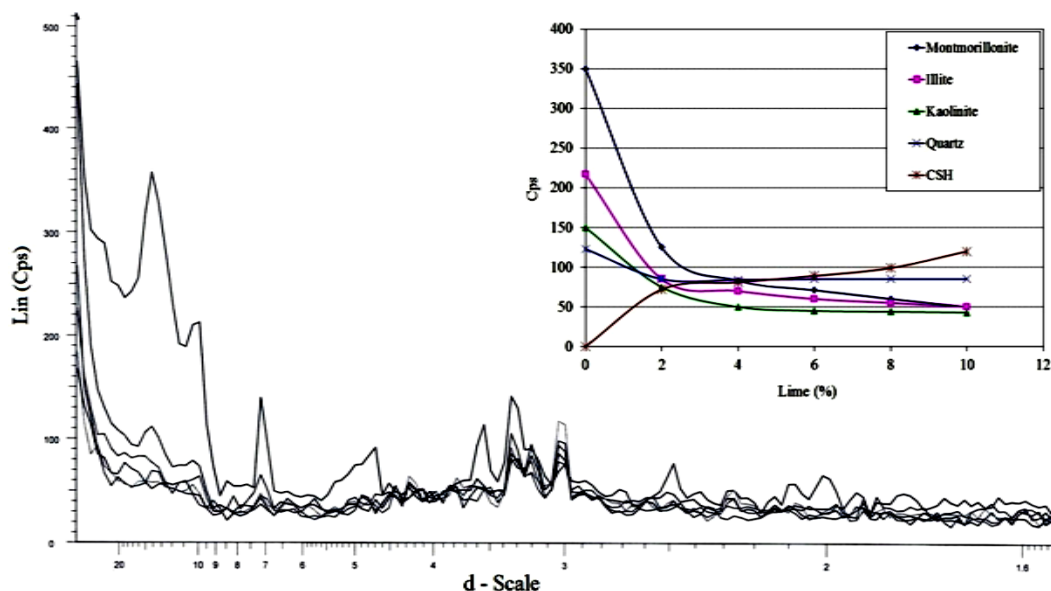


شکل (۹) منحنی پراش پرتو ایکس نمونه مورد مطالعه (دشت قزوین)

تشکیل کلسیم آلومینات هیدراته دیده نمی‌شود. این موضوع را می‌توان با بیان این که همه‌ی کلسیم آهک اضافه شده ممکن است به وسیله‌ی پولک‌های رسی اسمکتیت برای تبادل کاتیونی جذب شده باشند توجیه کرد. از سوی دیگر در نمونه‌اصلاح شده با ۶ درصد آهک بازتاب‌های ضعیفی از کلسیم آلومینات هیدراته مشاهده می‌شود. بر این اساس می‌توان گفت کمترین میزان آهک برای واکنش در حدود ۵.۵ تا ۶ درصد بوده‌است. از سوی دیگر با افزایش درصد آهک به بیش از ۶٪، قله‌های آهک شکفته مصرف نشده مشاهده می‌شوند. به عبارتی در اینجا نتایج آزمایش پراش پرتو ایکس به اعتبار بخشی نتایج افزایش تنش پیش تحکیمی دلالت دارد. همان‌گونه که در ارزیابی نتایج افزایش تنش پیش تحکیمی مشاهده شده با افزایش میزان درصد آهک به بیش از ۶٪ در حالی که درصد افزایش تنش پیش تحکیمی افزایش می‌یافت، اما میزان افزایش تنش پیش تحکیمی به ازای هر درصد آهک کاهش نشان می‌داد. که این پدیده با رشد قله‌های آهک شکفته در نمونه‌های حاوی ۸٪ و ۱۰٪ آهک به وضوح تأیید می‌شود.

نتایج پراش پرتو ایکس نشان می‌دهد که میزان کاهش قله کائولینیت به دلیل پایداری بیشتر کائولینیت و حلالیت کمتر آن نسبت به ایلیت و اسمکتیت (مونت‌موریلونیت) کمتر بوده‌است. ترکیبات تشکیل شده شامل کلسیت، نیکولیت، هیدرات سیلیکات کلسیم به فرم CSH، هیدرات آلومینات کلسیم به فرم CAH_{10} و C_3AH_6 است [۲]. این مواد بیشتر حفرات خاک را پر کرده و یا اینکه سطح پولک‌های رسی را می‌پوشانند، در نتیجه نشانه خلأ (نسبت تخلخل) و نفوذپذیری بسته به درصد آهک تغییر می‌کند.

بررسی منحنی پراش پرتو ایکس نمونه‌های عمل‌آوری شده در شکل (۱۰) افزایش شدت قله‌ها را در فاصله‌ی $d_{001}=3.34 \text{ \AA}$ در همه‌ی نمونه‌های اصلاح شده نشان می‌دهد. شدت این قله‌ها با افزایش زمان عمل‌آوری افزایش یافته‌است. این بازتاب‌ها مربوط به ترکیب هیدرات کلسیم سیلیکات (CSH) می‌باشد [۱۵]. با بررسی منحنی‌های پراش پرتو ایکس نمونه‌های حاوی ۲ و ۴ درصد آهک مشاهده می‌شود در حالی که شدت قله کانی‌های اسمکتیت، ایلیت و کائولینیت به شدت کاهش یافته‌است، اما بازتاب‌هایی از



شکل (۱۰) منحنی پراش پرتو ایکس نمونه‌های خاک و آگرای بهسازی شده با آهک

۴- نتیجه‌گیری

نتایج اخذ شده در این پژوهش را می‌توان اینگونه خلاصه کرد: (۱) بر اساس آزمون pH، مقاومت فشاری محدود نشده، بررسی میزان تنش پیش تحکیمی و آزمایش پراش پرتو ایکس، میزان درصد آهک لازم برای تثبیت خاک واگرای مطالعه شده ۶٪ است. (۲) بر اساس آزمون‌های ریز ساختاری و مکانیکی به ازای افزایش هر درصد آهک میزان تنش پیش تحکیمی حدود (50 kN/m^2) در درصد بهینه آهک (۶ درصد) افزایش می‌یابد. (۳) افزایش بیش از درصد بهینه آهک موجب کاهش میزان بهره‌وری آهک شده، که این امر با رشد قله‌های آهک شکفته در پراش پرتو ایکس نیز نمایان می‌شود. (۴) افزودن ۶٪ آهک موجب از بین رفتن کامل پتانسیل واگرایی در خاک، افزایش بیش از ۲۰ برابر مقاومت محدود نشده، کاهش ۸۸٪ ضریب فشردگی و پنج برابر شدن تنش تحکیمی می‌شود. (۵) دوره عمل‌آوری هرچند که بر فرایند رسوب تأثیر چندانی ندارد، ولی بر پارامترهای ژئوتکنیکی خاک تأثیر زیادی ایجاد می‌کند. به گونه‌ای که حد روانی، تنش پیش تحکیمی و ضریب فشردگی با تثبیت با آهک و با گذشت زمان به شدت کاهش می‌یابند. (۷) بر اساس نتایج ارزیابی طیف پراش پرتو ایکس، علت اصلی بهبود خواص مکانیکی حل شدگی کانی‌های رسی، واکنش‌های پوزولانی و تشکیل ترکیبات جدیدی مانند هیدرات سیلیکات کلسیم (CSH) است.

۵- قدردانی

مؤلفین این مقاله بر خود لازم می‌دانند از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا برای تهیه بخشی از مواد و وسایل این پژوهش تشکر نمایند.

۶- مراجع

- [1] Ouahdi, V. R. & Goodarzi, R. V.; "Assessment of the stability of a dispersive soil treated by alum", *Engineering Geology*, Vol. 85, 2005, pp91-101.
- [2] Mitchell, J.K. and Soga, K.; "Fundamentals of soil behaviour". John Wiley & Sons, New Jersey, 2005.
- [3] Yong, R. N., Sethi, A. J., Ludwig, H. P. & Jorgensen, M. A.; "Physical chemistry of dispersive clay particle interaction. *American Society of Civil Engineers*, Chicago, 1978, pp1-21.
- [4] Sherard, J. I., Dunnigan, L. P. and Decher, R. S.; "Some engineering problems with dispersive soils", *ASTM*, STP, No. 62, 1977, pp3-12.
- [5] Sherard, J. I., Dunnigan, L. P. & Decher, R. S.; "Identification and nature of dispersive soil", *Journal of Geotechnical Engineering Division*, Vol. 102, 1976, pp 287-301.
- [6] Yong, R. N. & Warkentin, B. P.; "Soil properties and behaviour", *Elsevier Scientific Publishing Company*, 1975.
- [7] Thompson, M. R.; "Shear strength and elastic properties of lime-soil mixtures" *Highway Research Record*, Washington, D.C., 139, 1966, pp1-14.
- [8] Yıldız, M., & Vitae, A.S.; "Effect of freezing and thawing on strength and permeability of lime-stabilized clays". *Scientia Iranica*, 19, 4, 2012, pp. 1013-1017.
- [۹] بیچرانلو، رضا، "بررسی معیار شیمیائی شرارد به لحاظ نقش رطوبت عصاره‌گیری در شناسائی واگرایی خاک-ها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.
- [۱۰] نشریه شماره هشت کمیته سدهای بزرگ ایران، "شناسائی و کاربرد خاک‌های واگرا در سدهای خاکی"، ناشر وزارت نیرو، دفتر فنی آب، ۱۳۷۵، ص ۷۱.
- [11] Obuzor, G.N., Kinuthia, J.M., Robinson, R.B.; "Soil stabilization with lime-activated-GGBS—A mitigation to flooding effects on road structural layers/embankments constructed on floodplains". *Engineering Geology*, 151, 2012, pp. 112-119.
- [12] Nalbantoglu, Z., Tuncer, E.R.; "Compressibility and hydraulic conductivity of a chemically treated expansive clay", *Canadian Geotechnical Journal* 38, 2001, pp154-160.

- [22] Maher, M., Marshall, C., Harrison, F. and Baumgaertner, K.; "Context sensitive roadway surfacing selection guide", FHWA-CFL/TD-05-004, 2005.
- [23] American Society for Testing and Materials, *Annual Book of ASTM Standards*, Philadelphia, 4, 1992.
- [24] EPA; "Process design manual, land application of municipal sludge, Municipal Environmental Research Laboratory," EPA-625/1-83-016, U.S. Government Printing Offices, New York, 1983.
- [25] Eltantawy and Arnold, I.N. Eltantawy and Arnold, P.W.; "Reappraisal of ethylene glycol mono-ethyl ether (EGME) method for surface area estimation of clays", *Soil Sci.* 24, 1973, pp 232-238.
- [26] Handershot, W. H., and Duquette, M.; "A simple barium chloride method for determining cation exchange capacity and exchangeable cations", *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50, 1986, pp605-608.
- [27] Ouhadi. V.R., Yong. R.N.; "Experimental and theoretical evaluation of impact of clay microstructure on the quantitative mineral evaluation by XRD analysis," *Elsevier Appl. Clay Sci. J.* 23, 2003, pp141-148.
- [28] Ouhadi, V.R.; "Study of transformation of clay minerals in the interaction process with additives by use of scanning electron microscope and XRD and its relation to mechanical behaviour", *Iran. J. Crystallogr. Mineral*, 10 (1), 2002, pp87-97.
- [13] Khattab S.A.A.; "Etude multi-échelles d'un sol argileux plastique traité à la chaux", *Ph.D thesis*, University of Orléans, France, 2002, 249 p.
- [14] Mallela, J., Quintus, H. V., and Smith, K.; "Consideration of lime-stabilized layers in mechanistic-empirical pavement design", The National Lime Association, 2004.
- [15] Al-Rawas, A.A., Hago, A.W., Al-Sarmi, H.; "Effect of lime, cement and Sarooj (artificial pozzolan) on the swelling potential of an expansive soil from Oman", *Building and Environment*, 40 (5), 2005, pp681-687.
- [16] Alper, S., Gozde, I., Recep, Y.H., Kambiz, R.; "Utilisation of a very high lime fly ash for improvement of Izmir clay", *Building and Environment*, 42 (2), 2006, pp150-155.
- [17] Al-Mukhtar, M, Lasledj, A., Alcover, J.; "Behaviour and mineralogy changes in lime-treated expansive soil at 20 °C", *Applied Clay Science*, 50, 2010, pp191-198.
- [18] Little, D. N.; "Stabilization of pavement subgrades and base courses with lime", Kendall/Haunting publishing company, 1995.
- [19] Basma A.A., Tuncer E.R.; "Effect of lime on volume change and compressibility of expansive clays", *Transportation research record*, 1295, 1991, pp52-61.
- [20] Bergado, D.T., Alfaro, M.C. & Balasubramaniam, A.S.; "Improvement of soft Bangkok clay using vertical drains", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 12, Elsevier, Amsterdam, 1993, pp 615-663.
- [21] Das, B. M.; "Principle of foundation engineering", PWS-KENT publishing company, Boston, 1990.

Dispersive soil improvement with lime, special attention to the reduction of peak intensity of clay minerals in XRD analysis

V.R. Ouhadi^{1*}, M. Amiri², S. Hamidi³

1- Professor, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2- PhD Student, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

3- Master Student, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

vahidouhadi@yahoo.ca

Abstract:

Civil engineering projects usually require an improvement on soil properties. In this case, the improvement of soil strength, permeability, and erosion resistance, collapsible or dispersive behaviour might be important. Consequently, engineers are always willing to achieve an optimum way to stabilize/improve soil performance for practical applications. Generally, the presence of dispersive clays in engineering projects is one of the essential problems for civil engineers. Several failures in engineering projects due to the presence of dispersive soils are reported in different parts of the world. In spite of several researches on this subject, there has been little attention to the microstructure of stabilized dispersive soils.

In this paper the improvement of properties of a natural dispersive soil is studied with special attention to the solubility of clay mineral peaks in XRD analysis and formation of aluminates and silicates minerals after lime application to dispersive soil. The soil sample of this area is silty clay which has 100% dispersivity potential. Several geotechnical erosions are reported in this area which is attributed to the presence of dispersive soils. Due to the low bearing capacity of soil, and to overcome to its dispersivity behaviour, the application of lime is chosen as soil stabilization means. In this paper, at the first step with application of double hydrometer and cation exchange capacity experiments, the dispersive potential of soil is determined. In addition, the major minerals of soil are addressed by the use of XRD analysis. For the dispersive soil sample, the major geotechnical properties of soil including unconfined compression test, settlement behaviour, and over consolidation stress are measured and reported. Then, the soil sample is mixed with lime and water. After equilibrium and after curing process, several geotechnical and geo-environmental experiments were performed on soil samples to investigate on the dispersivity potential variations of soil. Furthermore, the microstructure of lime treated dispersive soil was monitored by application of XRD analysis on lime treated soil. The results indicate that the dispersivity potential of soil disappears after application of 6% of lime. In this process the dispersive structure of soil changes to the more flocculated structure. Moreover, the results of XRD analysis indicate that following application of lime, parts of clay fraction solubilize, leading to the formation of pozzolanic components. The main conclusion of this paper is the determination of the required percentage of lime for soil stabilization with the application of micro-structural experiments and with the measurement of the quantity of increase in over-consolidation stress. With the performance of several consolidation tests on untreated and lime-treated dispersive soil, it is

shown that with application of 6% lime, an increase of 430% in over-consolidation stress is observed. This means for each percent of lime a 50 kN/m^2 increase in over-consolidation stress is achieved.

Keywords: Dispersivity, Solubility of Clay Minerals, Lime, Over-Consolidation Stress, XRD.