



بررسی ویژگیهای ژئوتکنیکی خاک کویر میقان بمنظور اصلاح و تثبیت آن

مهراب جسمانی^۱، حسین معماریان^۲، مجید جمشیدی^۳

پذیرش مقاله: ۸۶/۷/۱

دریافت مقاله: ۸۵/۶/۱۲

چکیده:

کویر یا دریاچه میقان، واقع در شمال شرقی شهرستان اراک، از مارن و رس که در شرایط جوی پر بارش دچار افت شدید مقاومت می‌گردد پوشیده شده است. مقاومت این خاک غالباً کمتر از 50 kN/m^2 است. با توجه به پتانسیل بالای این ناحیه برای اجرای پروژه‌های عمرانی و صنعتی و نظر به اینکه دیگر روشهای مورد استفاده در خاکهای سست مانند شمع کوبی و... منجر به از بین رفتن امکانات اقتصادی استفاده از این منطقه بکر می‌شود، بمنظور استفاده مناسب از زمینهای این منطقه مطالعاتی برای اصلاح و بهبود کیفیت این خاک به کمک افزودن آهک طراحی و به اجرا درآمد. برای این منظور ابتدا آزمایشهای لازم تعیین پارامترهای اساسی، شاخص و مقاومتی بر روی خاک طبیعی اصلاح نشده انجام گرفت. سپس نمونه‌های خاک با درصدهای متفاوت آهک مخلوط گشته و آزمایشهای مورد نظر بار دیگری بر روی نمونه‌های اصلاح شده به انجام رسید. مهمترین ویژگیهای خاک که در این پژوهش مورد توجه بوده عبارت است از: حدود اتربرگ و ویژگیهای خمیری، پارامترهای مقاومتی از قبیل مقاومت تک محوری، مقاومت برشی، سختی و ویژگیهای تراکمی مانند γ_{dmax} و ω_{opt} . با توجه به آزمایشها و بررسی‌های انجام شده، محدوده‌های مناسب درصد وزنی آهک برای اصلاح و بهبود ویژگیهای خاک بصورت بهینه معرفی گردید. روابط ریاضی نمایشگر روند تغییرات پارامترهای مهم خاک، مانند ویژگیهای خمیری، پارامترهای مقاومتی و سختی برحسب درصد وزنی آهک مخلوط شده ارائه شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد درصد وزنی بین ۷ الی ۹ درصد به نحو مناسبی موجب کاهش ویژگیهای خمیری و بهبود و ارتقای مقاومت خاک شده در حالیکه درصد وزنی بین ۱ الی ۳ درصد موجب بهبود ویژگیهای تراکمی خاک می‌گردد و عملاً ۵ تا ۶ درصد وزنی آهک بعنوان درصد وزنی بهتر، مناسب است.

کلید واژه‌ها: تثبیت خاک با آهک، کویر میقان، تثبیت خاک کویر میقان

۱- دانشکده مهندسی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) mehrajbsmani@yahoo.com

۲- دانشکده معدن، دانشکده فنی، دانشگاه تهران memarian@ut.ac.ir

۳- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک

مقدمه

است. هم اکنون از بخشهای مرکزی کویر میقان سولفات سدیم استخراج می‌گردد (اداره کل معادن و فلزات استان مرکزی، ۱۳۷۰).

در شمال غربی این کویر بر اثر فعالیت باد تپه‌های ماسه‌ای ایجاد شده است. کویر میقان در سالهای اخیر گسترش زیادی داشته است، به نحوی که در بخشهای شرقی آن اقداماتی برای جلوگیری از پیشروی کویر به عمل آمده است. در اثر گسترش کویر میقان زمین‌های زراعتی روستاهای ویسمه و داود آباد و مبارک آباد و میقان در حال تبدیل شدن به بیابان و کویر است. در سال ۱۳۶۱ ایستگاه تثبیت ماسه توسط اداره کل منابع طبیعی در نزدیکی کویر ایجاد شد و چند سالی است که با پیشرفت کویر با کاشت گونه گیاهی قره داغ آتریپلکس، موجب کند شدن پیشروی کویر شده‌اند. پوشش گیاهی در حاشیه کویر ضعیف است و تنها در شمال غرب و جزایر میانی که سفره زیرزمینی بالاست گونه‌های گیاهی خاصی دیده می‌شود که به علت تبخیر و تعریق این گیاهان سطح ایستایی در فصل تابستان پایین می‌رود. گونه‌ها برای دستیابی به ریشه‌های خود پایین می‌روند و همزمان با رشد آنها از حرکت ذرات ماسه‌ها جلوگیری نموده و باعث تشکیل نبکا در حوالی داودآباد می‌گردند. ارتفاع این نبکاها به ۱/۵ تا ۲/۵ متر می‌رسد و بصورت چتری روی تپه را می‌پوشانده‌اند (اداره کل منابع طبیعی اراک، ۱۳۷۲).

رها شدن پساب خروجی تصفیه خانه فاضلاب شهر اراک، این تالاب بین‌المللی را که از مهمترین زیستگاه‌های طبیعی حیات وحش استان مرکزی است در آستانه بحران زیست-محیطی قرار داده است. در حال حاضر حجم بالایی از فاضلاب خانگی، تجاری و صنعتی شهر اراک وارد تصفیه خانه فاضلاب اراک، واقع در حاشیه این تالاب شده و از آنجا به محیط تالاب سرازیر می‌شود. با توجه به شرایط آب و هوایی کویری و تبخیر شدید آب، غلیظ شدن این پساب در فصول گرم سال و گسترش آلودگی به سطح تالاب مساله زیست محیطی جدی است که باید به آن توجه شود (فریدون قدیمی، ۱۳۸۳). سرازیر شدن پسابهای صنعتی و فاضلابها به تالاب میقان در شرایطی است که کارخانه تولید کننده سولفات سدیم و املاح معدنی نیز که در حاشیه پایین دست

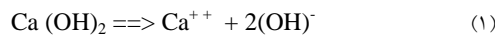
در کشور پهناوری مانند ایران مناطق بکر و در عین حال فراموش شده‌ای از جنبه‌های متفاوت زیباشناسی، گردشگری، عمرانی، صنعتی و مانند آن وجود دارد که بنا به دلایل متعددی از نظرها پنهان مانده‌اند. برای شناسایی این مناطق و استفاده از استعدادهای بالقوه آنها موج نوینی از مطالعات و پژوهشها از جنبه های مختلف: زیست محیطی، طبیعی، عمرانی، معدنی و ... آغاز شده است. در این ارتباط، مناطق اطراف شهرهای صنعتی جایگاه ویژه‌ای از لحاظ توانمندی‌های عمرانی و صنعتی یافته‌اند. شهرستان اراک بدلیل صنایع بسیاری که در آن فعال می‌باشد و همچنین مرکزیت استان، اهمیت خاصی دارد. در بررسی استعدادهای نواحی اطراف اراک جهت احداث شهرکهای اقماری، کویر میقان حائز موقعیت مکانی ممتازی است. این کویر به وسعت ۱۲۰ کیلومترمربع در شمال شرقی اراک واقع شده و دارای سطح نمکی بوده و در آب و هوای مرطوب تشکیل شده است. ارتفاع این تالاب از سطح دریا حدود ۱۶۵۵ متر است. ۹۴ درصد از سطح کویر میقان را دریاچه فصلی توزلولگل با قشری از نمک پوشانده است. در کویر میقان تبخیر کمتر از میزان آبی است که به منطقه وارد می‌شود و در نتیجه باعث تشکیل دریاچه موقتی می‌گردد. کویر میقان دارای تغییرات فصلی و سالانه است. در زمستان و بهار که میزان بارندگی زیاد است سطح آن را آب گرفته و به دریاچه تبدیل می‌شود و در تابستان به علت تبخیر شدید قشر نمکی سخت آن را می‌پوشاند و اشکال مختلف نمک را در سطح کویر بوجود می‌آورد (ایران منش، ۱۳۵۱). رسوبات این پلایا عموماً از جنس رس و لای (سیلت) بوده و در حاشیه آن رسوب‌های تبخیری ناشی از جریان آب‌های سطحی برجا مانده‌اند. در بخشهای جنوبی کویر، رسوبات رس و لای و نمک سدیم سطح سخت و متراکمی را بوجود آورده است. بر اثر فرایند تبخیر و حرکت رو به بالای آب زیرزمینی، اشکال چند ضلعی در سطح کویر تشکیل گردیده است. سطح کویر صاف و هموار بوده و از رسوبهای نرم و ریز تشکیل شده است که بیشتر آن رسوب رس است که نشان دهنده اقلیم مرطوب در گذشته می‌باشد. قسمت جنوبی، به علت وجود سولفات سدیم، بسیار سخت و غیر قابل نفوذ

مکانیزم تثبیت خاک با آهک

به طور کلی افزایش آهک به خاک موجب تولید و بروز فعل و انفعالاتی در خاک می‌گردد که از نظر جنبه‌های مهندسی ژئوتکنیک عملاً بهبود کیفیت و مشخصه‌های خاک را در پی خواهد داشت. واکنش‌های انجام شده در خاک بدلیل حضور آهک بشرح زیر طبقه‌بندی می‌گردد (Hausmann, 1990).

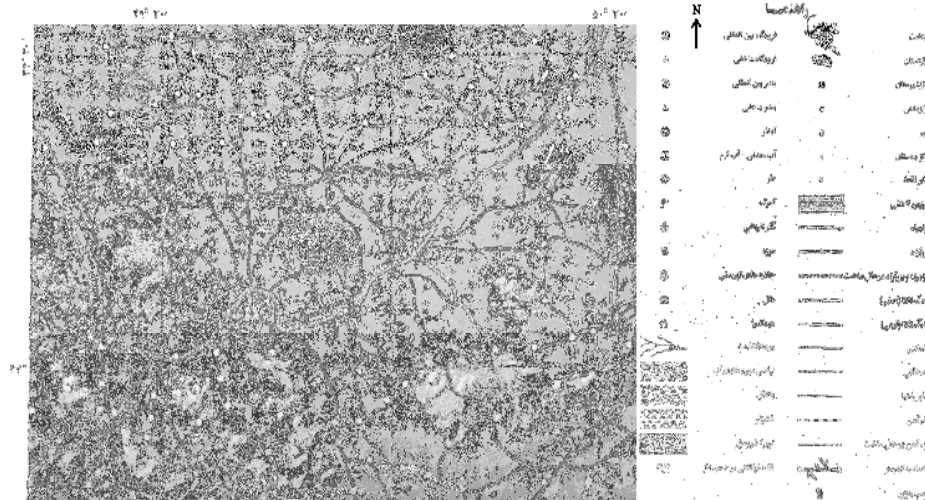
واکنش تبادل یونی:

در طی این واکنش یونهای کلسیم Ca^{++} موجود در آهک با کاتیون‌های خاک تبادل یونی صورت داده و یونهای کلسیم جایگزین یونهای با ظرفیت کم در خاک می‌شود. این عمل باعث تجمع یونهای کلسیم در اطراف ذرات رس شده لذا دانسیته الکترونی در اطراف ذرات رس دستخوش تغییرگشته و پلاستیسیته خاک کم شده و عملیات با خاک در پروژه‌های مختلف پی‌سازی، بسترسازی و راهسازی و ... بهبود می‌یابد.

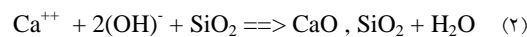


تالاب قرار گرفته در معرض تهدید قرار دارد. این کارخانه، تولید کننده ماده اولیه مواد شوینده است که به رغم نگرانیها و حساسیتهای بهداشتی تاکنون مطالعاتی در خصوص آثار احتمالی آلودگی مخازن سولفات سدیم این منطقه صورت نگرفته است (Rezaei & Malakouti, 1993).

مهجور ماندن کویر میقان در حاشیه شهرستان اراک که یکی از قطبهای مهم صنعتی کشور است عملاً موجب تمرکز در احداث کارخانجات و پروژه‌های متعدد صنعتی در داخل شهر اراک شده که در نتیجه، میزان آلودگی هوای این شهر را در حد مخاطره آمیزی بالا برده است. (شکل ۱) موقعیت منطقه میقان نسبت به شهرستان اراک را نشان می‌دهد. در مقاله حاضر نتایج بررسی‌های انجام شده در مورد ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک کویر میقان و روش مناسب تثبیت آن با آهک ارائه شده است.



شکل ۱ - موقعیت قرار گیری کویر میقان نسبت به شهرستان اراک (مقیاس ۱:۲۰۰۰۰۰)



واکنشهای پوزولانی:

این واکنش بین آب و آهک و مواد سیلیس دار و آلومین دار خاک انجام شده که موجب تولید نوعی مواد سیمانی کننده در خاک می‌گردد که افزایش مقاومت و دوام خاک را بدنبال دارد.

واکنشهای کربناسیون آهک:

حاصل واکنش آهک با گاز کربنیک هوا تشکیل $CaCO_3$ و $MgCO_3$ است، کربنات کلسیم و منیزیم مواد چسبنده ضعیفی هستند و به همین دلیل لازم است از پیشرفت بیش از حد نیاز این فعل و انفعال جلوگیری شود.

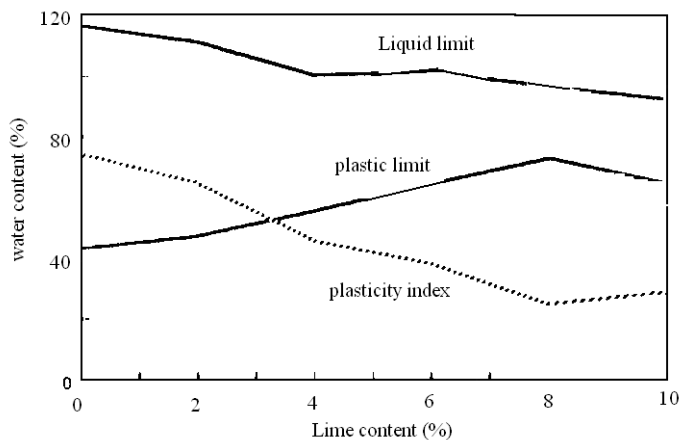
آهک معمولاً با خاکهای خمیری با PI بین ۱۰ تا ۵۰ واکنش مناسبی نشان می‌دهد. در خاک‌های با PI کمتر از ۱۰ استفاده از پوزولانهای ویژه مانند خاکستر ذغال، سرباره کوره ذوب آهن و سنگ رس شکفته ضروری به نظر می‌رسد.

خاک تثبیت شده با آهک کیفیت بهتری از نظر خصوصیات خمیری پیدا کرده و معمولاً مقاومت تک محوری آن افزایش می‌یابد که البته این افزایش مقاومت نسبت به افزایش درصد آهک روند خطی ندارد. اصلی‌ترین عملکرد مثبت آهک در تثبیت و اصلاح خاکهای رسی عبارتند از:

کاهش حد مایع (LL) و شاخص خمیری (PI)

افزایش نسبی مقاومت فشاری خاک رس

به عنوان نمونه در طی مطالعات گسترده انجام شده در منطقه Inverell کشور استرالیا نتایج ارزشمندی در رابطه با کاهش ویژگی‌های خمیری خاک همراه با آهک بدست آمد (Hausmann, 1990). نتایج این بررسی در شکل ۲ دیده می‌شود.



شکل ۲ - تاثیر آهک بر روی ویژگی‌های خمیری خاک، Inverell، استرالیا (Hausmann, 1990)

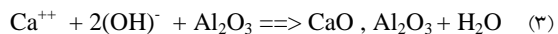
توصیف کیفی و بیان کمی مشخصه‌های خاک کویر

میقان

کویر میقان در ناحیه شمال شرقی شهرستان اراک از نظر موقعیت جغرافیایی توانمندی بالقوه بالایی در اجرای پروژه های عمرانی - صنعتی دارد که متأسفانه بدلیل وضعیت نامناسب خاک منطقه به ناحیه ای دور افتاده و خالی از سکنه تبدیل شده است (جمشیدی، ۱۳۸۰).

نمونه گیری از خاک منطقه

این واکنش تابع زمان است و مانند هیدراتاسیون سیمان به کندی و در طول چندین سال صورت می‌پذیرد.



به عبارت دیگر در ابتدا هیدرات کلسیم تجزیه شده و سپس $(\text{OH})^{-}$ های حاصل با Al و Si خاک رس ترکیب و هیدرواکسیدها با Ca^{++} ، سیلیکات و آلومینات کلسیم تولید می‌کند (حامی، ۱۳۶۹)، (طباطبایی، ۱۳۷۵).

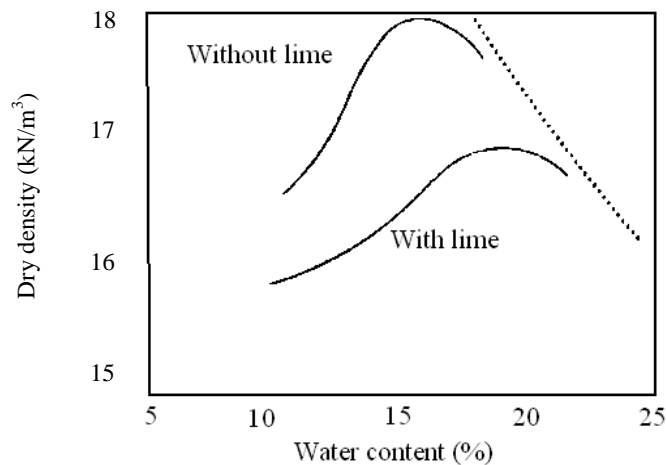
تأثیر آهک بر بهبود کیفیت خاک

آهک برای تثبیت رس‌های خمیری عملکرد مناسبی دارد و با رس‌های حاوی کانی مونت موریلونیت نسبت به رس‌های حاوی کائولینت سریعتر واکنش نشان می‌دهد. به عبارتی می‌توان با افزودن بیش از ۳ درصد وزنی آهک عملیات اصلاح خاک رس را مؤثر دانست و برای ۱۰ درصد رس موجود در کل توده خاک احتساب ۱ درصد آهک می‌تواند مؤثر باشد (طباطبایی، ۱۳۷۵).

همچنین مطالعات متعدد نشان داده که در خاکهای با پلاستیسیته کم افزودن آهک موجب کاهش وزن مخصوص خشک حداکثر و افزایش رطوبت بهینه می‌گردد و در عین حال منحنی تراکم را خوابیده کرده و لذا از میزان حساسیت وزن مخصوص خشک نسبت به تغییرات رطوبت می‌کاهد (شکل ۳) (Hausmann, 1990).

طبقه بندی خاک انجام شد. چکیده نتایج در جدول ۱ آورده شده است. در همه موارد آزمایش ها بر طبق استاندارد ASTM انجام شده است. همچنین نمونه های خاک به گونه ای اخذ شدند که بتوانند معرف قابل قبولی از کل منطقه مورد مطالعه باشند و بنابراین برحسب مورد برای هر ویژگی خاک حداقل پنج نمونه آزمایش شد که ویژگی های ارائه شده در جدول های ۱ و ۲ متوسطی از نتایج بدست آمده است.

بررسی های صحرائی نشان می دهد ضخامت خاک سست در منطقه از حداقل یک متر شروع شده و به ضخامت های بیشتر از ۱۰ متر هم می رسد. به منظور نمونه گیری از خاک ۱۰ نقطه معرف در منطقه مشخص شده و نمونه های لازم تا عمق ۱۰ متری گردآوری گردید (شکل ۴). بر روی نمونه های اخذ شده کلیه آزمایش های لازمه به منظور تعیین ویژگی های فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و همچنین



شکل ۳- اثرات تیپ و متداول آهک بر ویژگی های تراکمی خاکهای با خاصیت خمیری کم (Hausmann, 1990)



شکل ۴- محل های نمونه برداری

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک کویر میقان

انحراف معیار	میانگین	شماره گروه‌ها					خاصیت
		۵	۴	۳	۲	۱	
۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	%F
۱/۴۱	۵۸	۵۹	۵۸	۶۰	۵۶	۵۷	%LL
۱/۰۹۵	۲۴	۲۴	۲۶	۲۳	۲۴	۲۳	%PL
۰/۷۵	۳۲	۳۱	۳۲	۳۲	۳۱	۳۳	%PI
۰/۰۱۸	۲/۷۱	۲/۶۸	۲/۷۳	۲/۷۰	۲/۷۲	۲/۷۲	G _s
۰/۰۳۶	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۲۳	%SO ₃
۰/۰۰۳۷	۰/۰۵۳	۰/۰۵۸	۰/۰۵۰	۰/۰۵۱	۰/۰۴۹	۰/۰۵۷	%CL
۰/۱۸	۸/۶	۸/۳	۸/۵	۸/۸	۸/۷	۸/۷	PH
----	CH	CH	CH	CH	CH	CH	نشانه خاک

با اضافه کردن درصد معینی از این آهک مجدداً آزمایش‌های لازم، به ویژه آزمایش‌های تعیین ویژگی‌های خمیری و آزمایش‌های تعیین پارامترهای مقاومتی خاک، بر روی نمونه اصلاح شده انجام شد. همانطور که ذکر شد عمده‌ترین ویژگی تثبیت با آهک محدود نمودن ویژگی‌های خمیری و افزایش پارامترهای مقاومتی خاک است. بنابراین با تکیه و تاکید بر این ویژگی‌ها بر روی نمونه‌های مخلوط شده با آهک آزمایش‌های مربوط به این دو ویژگی انجام شده و نتایج حاصله با نتایج حاصل از آزمایش‌های مشابه بر روی خاک طبیعی بدون آهک مقایسه گردید. لازم به توضیح است که در فرآیند اختلاط خاک با آهک نیز مجدداً به پنج نمونه مورد مطالعه، هر بار ۳ تا ۹ درصد وزنی آهک اضافه شده و نتایج ارائه شده در جدول‌ها، متوسط ویژگی‌های بدست آمده است.

ویژگی‌های خمیری خاک اصلاح شده

با توجه به نسبتها اختلاط تعیین شده، آزمایشهای تعیین حدود اتبرگ بر روی خاک اصلاح شده انجام گرفت (جدول ۳).

آزمایشهای شناسایی طبقه بندی

جدول ۱ نتایج آزمایش‌های شناسایی طبقه‌بندی روی نمونه‌های اخذ شده را نشان می‌دهد. بر اساس مجموعه نتایج حاصله و طبق معیارهای طبقه بندی یونیفاید نوع خاک از رده CH طبقه‌بندی می‌شود.

آزمایش‌های مهندسی و نتایج مربوطه (ASTM)

به منظور ارزیابی ویژگی‌های مهندسی خاک مجموعه آزمایش‌های لازم انجام شد که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است.

اختلاط خاک کویر میقان با آهک

به منظور آگاهی از شرایط بهینه تثبیت خاک منطقه با آهک، به نمونه‌ها با نسبتهای مختلف آهک اضافه شده (۳، ۵، ۷ و ۹ درصد) و روند تغییرات ویژگی‌های خاک نسبت به درصدهای مختلف آهک بررسی گردید (جمشیدی، ۱۳۸۰). به این منظور ابتدا آهک را کاملاً شکفته کرده و سپس هر بار

جدول ۲ - ویژگی های مکانیکی و پارامترهای مقاومتی خاک کویر میقان

انحراف معیار	میانگین	شماره گروه ها					ویژگی ها
		۵	۴	۳	۲	۱	
۰/۱۱	۱۴/۸	۱۵/۰	۱۴/۷	۱۴/۸	۱۴/۷	۱۴/۸	$\gamma_{dmax}(KN/m^3)$
۰/۶۱۳	۲۷/۷	۲۶/۵	۲۸/۰	۲۸/۲	۲۸/۰	۲۷/۸	$\omega_{opt} \%$
۰/۰۱۷۹	۲۰	۱۹	۱۸	۲۳	۲۱	۱۹	مقاومت تک محوری نمونه طبیعی (KN/m^2)
۰/۱۹۳	۳۲۰	۳۰۰	۲۹۵	۳۳۸	۳۲۵	۳۴۲	مقاومت تک محوری نمونه متراکم شده (KN/m^2)
۰/۲۰۹	۲۰۰	۱۸۵	۱۷۳	--	۲۲۰	۲۲۰	فشار پیش تحکیمی (KN/m^2)(Pc)
۰/۰۱۹	۰/۷۰	۰/۶۸	۰/۷۳	--	۰/۶۹	۰/۷	نشانه خلا اولیه نمونه (ϵ_0)
۱/۶۳	۳۰	۲۸/۵	۲۷/۸	۳۱/۵	۳۲/۰	۳۰/۲	رطوبت طبیعی ($\omega_n \%$)
۰/۰۱۹	۲۰	۲۳	۱۹	--	۱۸	۲۰	چسبندگی زهکشی نشده نمونه (C_{uu}), (KN/m^2)
۰	۰	۰	۰	--	۰	۰	زاویه اصطکاک داخلی زهکشی نشده نمونه (ϕ_{uu}^0)
۰/۰۱۹	۱۰	۱۳	۱۰	--	۸	۹	چسبندگی زهکشی شده نمونه (C'), (KN/m^2)
۱/۲۰۳	۳۰	۲۸/۵	۲۹/۳	--	۳۱/۷	۳۰/۴	زاویه اصطکاک داخلی زهکشی شده نمونه (ϕ^0)

جدول ۴ - مشخصه های تراکمی خاک اصلاح شده با آهک

درصد وزنی آهک	$\omega_{opt}/\%$	$\gamma_{dmax} (KN/m^3)$
۰٪	۲۷/۷	۱۴/۸
۳٪	۳۱/۵	۱۴/۰
۵٪	۳۳/۵	۱۳/۹
۷٪	۳۰/۰	۱۳/۶
۹٪	۲۹/۰	۱۳/۶

نتایج مندرج در این جدول ها حاکی از افزایش و سپس کاهش $\omega_{opt} \%$ در اثر افزایش آهک می باشد. همچنین با افزایش آهک مقدار γ_{dmax} بتدریج کاهش می یابد.

مقاومت تک محوری نمونه های اصلاح شده

برای بررسی تأثیر آهک بر روی مقاومت تک محوری خاک آزمایش های مربوط بر روی خاک در درصدهای مشخص شده انجام شد. در ضمن انجام این آزمایش ها مقدار مدول الاستیسیته نمونه ها نیز بعنوان پارامتر معرف سختی خاک اندازه گرفته شد، که نتایج مربوطه در جدول ۵ و شکل های ۵ تا ۷ ارائه شده است. در این شکل ها در اصل منحنی های تنش

جدول ۳ - ویژگی های خمیری خاک اصلاح شده با آهک

درصد وزنی آهک	%PI	%PL	%LL
۰٪	۳۲	۲۴	۵۸
۳٪	۲۶	۳۲	۵۸
۵٪	۱۶	۳۹	۵۵
۷٪	۱۵	۳۸	۵۳
۹٪	۱۴	۳۸	۵۲

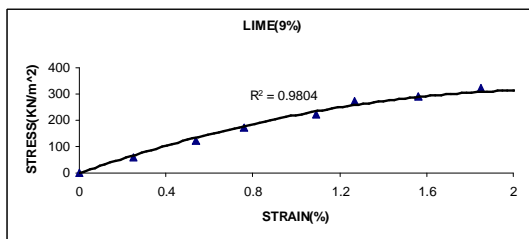
نتایج ارائه شده در این جدول روند کاهش تدریجی LL و افزایش تدریجی PL و همچنین کاهش قابل توجه PI با افزایش آهک را نشان می دهد.

ویژگی های مقاومتی خاک اصلاح شده

در ادامه، با انجام آزمایش های لازم تأثیر درصدهای وزنی آهک بر پارامترهای مقاومتی و مکانیکی خاک ارزیابی گردید.

مشخصه های تراکمی (استاندارد) نمونه های اصلاح شده

در جدول ۴ اثرات درصد وزنی آهک بر روی مقادیر ω_{opt} , γ_{dmax} ارائه شده است :



شکل ۷- تک محوری برای خاک اصلاح شده با ۹ درصد آهک

پارامترهای مقاومت برشی نمونه‌های اصلاح شده در رطوبت طبیعی

برای بررسی تاثیر آهک بر روی چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک آزمایش‌های برش خاک انجام شده که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶- نتایج آزمایش برش زهکشی شده خاک اصلاح شده

درصد وزنی آهک	C (kN/m ²)	φ°
۳٪	۶/۴	۳۹/۰
۵٪	۴/۵	۳۷/۴
۷٪	۲/۰	۳۶/۰
۹٪	۰/۰۰	۳۷/۰

نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهد افزایش آهک تاثیر چندانی بر پارامترهای مقاومت برشی خاک در رطوبت طبیعی ندارد.

بررسی و ارزیابی تاثیر درصدهای مختلف وزنی آهک

بر ویژگی‌های خاک

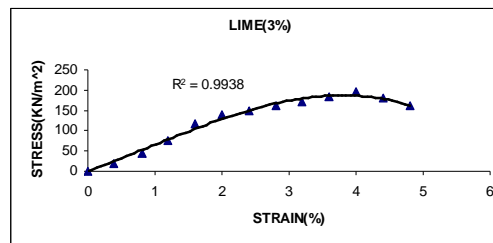
در این بررسی مقادیر متفاوتی از آهک به پنج نمونه معرف از خاک منطقه اضافه شد. نتایج نهایی بدست آمده، حاصل متوسط‌گیری انجام شده روی پنج نمونه بوده است و چون ویژگی‌ها و جنس اولیه نمونه‌ها بسیار نزدیک به هم بوده است عملاً متوسط‌گیری بعمل آمده حائز اعتبار لازم می‌باشد (جمشیدی، ۱۳۸۰).

کرنش نمونه‌های خاک در آزمایش تک محوری در درصدهای مختلف آهک ارائه شده است. به کمک این داده‌ها مقادیر مدول الاستیسیته و مقاومت تک محوری نمونه‌های اصلاح شده با آهک بدست آمد. توجه به کمیت R^2 بعنوان ضریب همبستگی در این شکل‌ها حاکی از برازش مطلوب منحنی‌ها به داده‌های آزمایشگاهی می‌باشد.

جدول ۵- نتایج آزمایش تک محوری خاک اصلاح شده

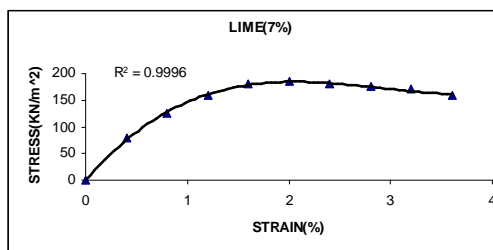
درصد وزنی آهک	مقاومت تک محوری- q_u (kN/m ²)	E (kN/m ²)
۳٪	۱۷۸	۶۴۶۰
۷٪	۱۹۴	۲۰۳۱۰
۹٪	۳۹۸	۲۳۷۵۰

نتایج حاصله نشان دهنده روند قابل توجه در افزایش مقاومت تک محوری و سختی خاک با افزایش آهک است که در درصدهای بالای آهک این روند آهسته شده و عملاً از رشد مقادیر مقاومت تک محوری و سختی خاک کاسته می‌شود.



شکل ۵- منحنی تنش-کرنش حاصل از آزمایش

تک محوری برای خاک اصلاح شده با ۳ درصد آهک



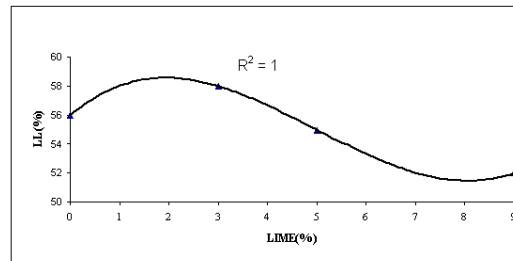
شکل ۶- منحنی تنش-کرنش حاصل از آزمایش

تک محوری برای خاک اصلاح شده با ۷ درصد آهک

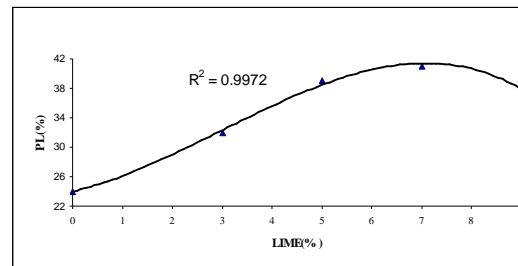
بررسی تأثیر آهک بر روی ویژگی های خمیری خاک-

توصیفات و نمودارها

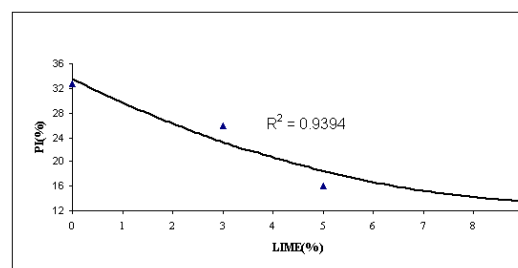
با توجه به آزمایش های حدود اتربرگ انجام شده بر روی خاک ملاحظه می شود که با افزودن آهک به خاک -همانگونه که پیش بینی می شد- حد خمیری آن افزایش یافته و حد روانی و شاخص خمیری آن کاهش می یابد. روند تغییرات این کمیت ها در شکل های ۷ تا ۹ نشان داده شده است. در این شکل ها مقادیر R^2 بعنوان ضریب همبستگی منحنی برازش شده بالا و قابل قبول می باشد.



شکل ۸- تأثیر درصد وزنی آهک بر حد روانی



شکل ۹- تأثیر درصد وزنی آهک بر حد خمیری



شکل ۱۰- تأثیر درصد وزنی آهک بر شاخص خمیری

بررسی شکل های ۸ تا ۱۰ نشان می دهد که حدود بالایی آهک به مقدار ۷ الی ۹ درصد، تأثیر قابل توجهی بر کاهش و کنترل ویژگی های خمیری دارد. نتایج این پژوهش روند تغییرات LL ، PL و PI با تغییرات درصد وزنی آهک را مشابه با مطالعات دیگر محققان نشان می دهد (Lopez et al, 2005).

بررسی تأثیر آهک بر روی ویژگی های d خمیری خاک-

فرمولاسیون ریاضی

با توجه به داده های موجود و به کمک روابط ریاضی مبتنی بر برازش منحنی های حاصله روابط زیر برای کمیت های مورد مطالعه بعنوان تابعی از درصد وزنی آهک بدست آمد:

$$\%PL = -0.07 \%L^3 + 0.59\%L^2 + 1.61\%L + 23.95 \quad (4)$$

$$\%LL = 0.06\%L^3 - 0.93\%L^2 + 2.90\%L + 56.00 \quad (5)$$

$$\%PI = 0.20\%L^2 - 4.01\%L + 33.53 \quad (6)$$

که در این روابط L عبارت است از: درصد آهک اضافه شده به خاک

بررسی تأثیر آهک بر روی ویژگی های تراکمی خاک-

توصیفات و نمودارها

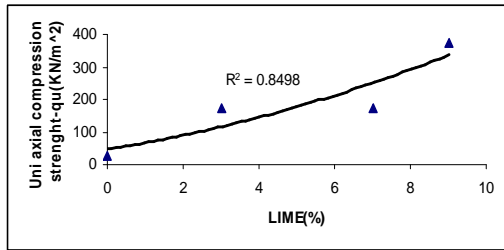
با توجه به آزمایش های تراکم استاندارد، افزودن آهک مانع از نزدیک شدن، لختگی و متراکم شدن کانی های رسی شده، از قوت و جاذبه الکتروشیمیایی کانی خاک رس کاسته و وزن مخصوص خشک خاک کاهش می یابد. در عین حال در ابتدای امر افزودن آهک، چون حضور آهک از ویژگی های خمیری خاک و لزجی محیط کم می کند، عملاً برای در هم غلتیدن و لغزش و نزدیکی ذرات رس بهم نیاز به آب را افزایش می دهد و با روند صعودی برای ω_{opt} مواجه می شویم (درصد وزنی آهک از صفر تا ۵ درصد) (Gillman & Sumpters, 1986).

سپس اگر درصد وزنی آهک افزایش یابد کم شدن ویژگی های خمیری خاک موجب می شود که توده خاک مانند نوعی لای و یا خاک درشت دانه عمل کند که برای تراکم در مقایسه با رسها به ω_{opt} کمتری نیاز دارند. بنابراین در محدود درصدهای ۵ الی ۹ درصد آهک با کاهش ω_{opt} مواجه می شویم. این روند در شکل های ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است.

بررسی شکل های ۱۱ و ۱۲ نشان می دهد که درصدهای کم آهک (حتی حدود صفر درصد) شرایط مناسبی برای γ_{dmax} پدید می آورد. در صورت بیشتر کردن آهک، با کاهش مقدار γ_{dmax} مواجه خواهیم شد. نرخ این کاهش در محدوده درصدهای صفر الی ۳ درصد نسبتاً زیاد و از ۳ الی ۹ درصد نرخ کاهش پایین آمده و مقدار γ_{dmax} به سمت عدد

می‌دهد. این رشد و افزایش در ابتدای کار که ناگهان درصد آهک از صفر به ۳ و ۵ درصد می‌رسد بسیار مشهود و به تدریج در درصدهای آهک بیشتر از روند افزایش مقاومت و سختی کاسته می‌شود (شکل های ۱۲ و ۱۳).

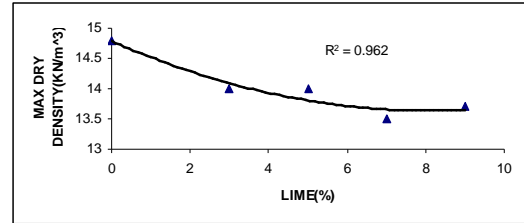
مروری بر شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نشان می‌دهد که آهک زیاد، بین ۷ تا ۹ درصد، مقاومت تک محوری و مدول الاستیسیته آهک را نسبت به نمونه طبیعی متراکم نشده، به نحو مطلوبی افزایش می‌دهد. در عین حال نتایج مطالعات انجام شده در خاکهای ریزدانه سیلتی با درصد رس بسیار کم (International ash utilization symposium, 2003) نشان می‌دهد که افزودن آهک مقاومت فشار تک محوری را تا حدود ۴ برابر افزایش می‌دهد.



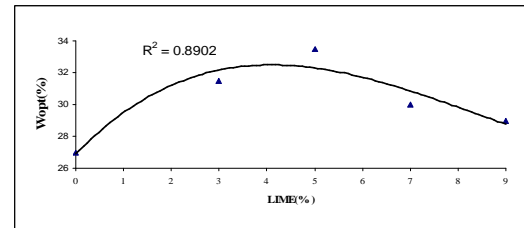
شکل ۱۳ - چگونگی افزایش مقاومت تک محوری در درصدهای مختلف آهک

در حالیکه نتایج این بررسی که بر روی رس‌های بسیار خمیری انجام شده نشان می‌دهد که با افزایش آهک مقاومت تک محوری خاک اصلاح شده نسبت به خاک طبیعی متراکم افزایش چندانی نمی‌یابد. دلیل این امر می‌تواند ویژگی‌ها خمیری بالای رس‌های CH و چسبندگی قابل توجه آنها در شرایط طبیعی و متراکم باشد که با افزایش آهک رشد چشمگیری در مقدار مقاومت تک محوری آنها دیده نمی‌شود. به عبارت دیگر بررسی نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که افزودن آهک قادر است مقاومت تک محوری نمونه‌های خاک را نسبت به مقاومت تک محوری نمونه‌ها در شرایط طبیعی و اشباع خاک کویر میقان به میزان قابل توجهی (بیش از ۱۰ برابر) افزایش دهد، در حالیکه بدلیل خمیری بودن این خاک (رس: CH)، نمونه‌های طبیعی آن که در شرایط رطوبت مناسب متراکم شده‌اند به خودی خود مقاومت بالایی داشته و افزودن آهک قادر به افزایش قابل توجه در مقاومت تک محوری نمونه‌های متراکم شده نمی‌باشد. مقایسه

نزدیک می‌گردد. لازم به توضیح است که در بررسی‌هایی که تا کنون انجام شده اثرات آهک در کاهش وزن مخصوص خشک حداکثر و افزایش رطوبت مناسب عمدتاً در خاکهای کم خمیری مورد اشاره قرار گرفته در حالیکه نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که در خاک‌های ریزدانه با ویژگی‌ها خمیری بالا (CH) هم می‌توان اثرات آهک را به همان ترتیب مشاهده نمود (National lime association, 2004), (Hausmann, 1990)



شکل ۱۱- تاثیر درصد وزنی آهک بر مقدار γ_{dmax}



شکل ۱۲- تاثیر درصد وزنی آهک بر مقدار ω_{opt}

بررسی تاثیر آهک بر روی ویژگی‌های تراکمی خاک-

فرمولاسیون ریاضی

با توجه به داده‌های موجود و به کمک روابط ریاضی مبتنی بر برازش منحنی‌های حاصله، روابط زیر برای کمیت‌های مورد مطالعه در بند ۷-۳ بعنوان توابعی از درصد وزنی آهک معرفی می‌گردد.

$$\gamma_{dmax} (\text{KN/m}^3) = 0.02\%L^2 - 0.3\%L + 14.8 \quad (7)$$

$$\% \omega_{opt} = 0.02\%L^3 - 0.50\%L^2 + 3.07\%L + 26.90 \quad (8)$$

که در این روابط L عبارت است از: درصد آهک اضافه شده به خاک

بررسی تاثیر آهک بر روی پارامترهای مقاومت تک محوری

خاک- توصیف‌ها و نمودارها

با توجه به نتایج حاصل از انجام آزمایش‌های مقاومت تک محوری، مشاهده می‌شود که به طور کلی افزایش آهک مقاومت تک محوری و سختی خاک کویر میقان را افزایش

بوده، در محدوده خاک کویر میقان دارای ارزش و اعتبار است.

۲. درصدهای وزنی آهک بکار رفته از صفرالی ۹ درصد بوده لذا کلیه نتایج، نمودارها و روابط ریاضی ارائه شده در این محدوده درصدهای وزنی آهک دارای ارزش و اعتبار است. البته این موضوع از جامعیت مطالعات بهیچوجه نمی کاهد چرا که بطور کلی در ادبیات فنی مباحث اصلاح خاک با آهک نیز درصدهای متعارف آهک بین ۳ الی ۹ درصد متغیر می باشد.

۳. در صورتی که کاهش ویژگی ها خمیری خاک در اولویت باشد افزودن ۷ الی ۹ درصد وزنی آهک توصیه می شود (حد بالای درصد وزنی متعارف برای آهک).

۴. در صورتی که افزایش و بهبود ویژگی های تراکمی خاک در اولویت باشد افزودن صفرالی ۳ درصد وزنی آهک توصیه می شود (حد پایین درصد وزنی متعارف برای آهک).

۵. نتایج این پژوهش نشان می دهد که نه تنها در رس های کم خمیری CL چنانچه در منابع مختلف مورد اشاره قرار گرفته (National lime Association, 2004), (International ash utilization symposium, 2003) بلکه در رس های با ویژگی های خمیری بالا هم افزودن آهک γ_{dmax} را کاهش و درصد ω_{opt} را افزایش می دهد.

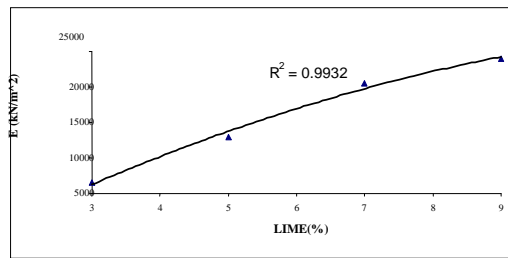
۶. در صورتی که افزایش ویژگی های مقاومتی خاک در اولویت باشد افزودن ۷ الی ۹ درصد آهک توصیه می شود (حد بالای متعارف برای آهک).

۷. افزودن آهک در طی فرآیند تراکم مقدار γ_{dmax} خاک را افزایش نمی دهد و بنظر می رسد که خاک قدری سبکتر هم می شود ولی بدلیل چسب آهک بعنوان یک ملات طبیعی علیرغم کم شدن γ_{dmax} ، مقدار مقاومت تک محوری و همچنین سختی و مدول الاستیسته خاک مخلوط با آهک افزایش می یابد.

۸. مقاومت تک محوری نمونه طبیعی و اشباع خاک کویر میقان بسیار پایین بوده و افزودن آهک و تراکم کردن نمونه می تواند مقاومت تک محوری خاک را تا بیش از ۱۰ برابر افزایش دهد.

۹. در حالیکه نتایج تحقیقات انجام گرفته بر روی خاک های کم خمیری تراکم شده نشان می دهد (Rogers, 2001)

این نتایج با پژوهش های انجام شده بر روی خاکهای ریزدانه کم خمیری سیلتی با مقداری رس تفاوت های قابل توجهی را آشکار می سازد. بعنوان نمونه در مطالعات انجام شده بر روی خاک جزیره بروئر دیده می شود با افزودن آهک به خاک ریزدانه کم خمیری مقاومت تک محوری نمونه های متراکم شده و اصلاح شده تا ۴ برابر نسبت به نمونه متراکم شده بدون آهک افزایش داشته است (International ash utilization symposium, 2003).



شکل ۱۴- چگونگی افزایش سختی خاک (مدول

الاستیسته خاک) در درصدهای مختلف آهک

بررسی تأثیر آهک بر روی پارامترهای مقاومت تک محوری

خاک - فرمولاسیون ریاضی

با توجه به داده های موجود و به کمک روابط ریاضی مبتنی بر برازش منحنی های حاصله روابط زیر برای کمیت های مورد مطالعه بعنوان توابعی از درصد وزنی آهک معرفی می گردند:

$$q_u (\text{KN/m}^2) = \%L^2 + 23\%L + 42 \quad (9)$$

$$E_u (\text{KN/m}^2) = -188\%L^2 + 5250\%L - 7813 \quad (10)$$

که در این روابط L عبارت است از: درصد آهک اضافه شده به خاک.

بررسی تأثیر آهکی بر روی پارامترهای مقاومت برشی خاک

با توجه به نتایج حاصل از انجام آزمایش های مقاومت برشی مشاهده می شود که بطور کلی افزایش آهک تأثیر چندانی بر پارامترهای مقاومت برشی خاک از قبیل ϕ, c ندارد.

نتیجه گیری

یافته های پژوهشی انجام شده جهت تثبیت و اصلاح خاک کویر میقان با آهک را به نحو زیر می توان خلاصه کرد:

۱. کلیه نتایج، نمودارها و روابط ریاضی ارائه شده که بر پایه مطالعات صحرائی - آزمایشگاهی و پردازش آماری داده ها

۱۱. با توجه به اینکه حد بالای افزودن آهک ویژگی‌های خمیری و مقاومتی و سختی خاک را بهبود و حد پائین افزودن آهک ویژگی‌ها تراکمی آنرا بهبود می‌بخشد بنابراین درصد مناسب اختلاط وزنی آهک برای خاک کویر میقان نه حدود پائین ۳ درصد و نه حدود بالای ۹ درصد بوده و به کمک روابط ریاضی حاصله درصد وزنی مناسب مورد توصیه ۵ الی ۶ درصد است.

تقدیر و تشکر:

از آقایان آیدین نصیری‌منش و محمد قلعه‌برخورداری و همچنین دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک بدلیل زحماتی که در راستای این پژوهش متقبل شده‌اند، سپاسگزاری می‌گردد.

(Curtin & Syers, 2001), (Shi, Jing- hua, 2003) که افزودن آهک به این خاکها مقاومت تک محوری آنها برخی را تا ۴ برابر افزایش می‌دهد، نتایج پژوهش حاضر که بر روی خاک خمیری کویر میقان انجام شده نشان می‌دهد که مقاومت تک محوری نمونه های متراکم شده بدون آهک این خاک بدلیل چسبندگی و ویژگی‌های خمیری بالای آن به خودی خود قابل توجه بوده و افزودن آهک رشد قابل توجهی در مقاومت تک محوری این خاک خمیری نشان نمی‌دهد.

۱۰. در محدوده‌های متعارف درصد وزنی، افزودن آهک تاثیر چندانی بر پارامترهای مقاومت برشی در شرایط غیراشباع و رطوبت طبیعی ندارد.

منابع

- اداره کل معادن و فلزات استان مرکزی. (۱۳۷۰) گزارش زمین شناسی حوضه میقان.
- اداره کل منابع طبیعی اراک. (۱۳۷۲) وضعیت تثبیت شن در استان مرکزی.
- ایران منش، م. ح. (۱۳۵۱) گزارش مقدماتی کویر میقان اراک، سازمان زمین شناسی کشور.
- جمشیدی، م. (۱۳۸۰) اصلاح و تثبیت خاک کویر میقان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی اراک.
- حامی، الف. (۱۳۶۹) مصالح ساختمانی، انتشارات دانشگاه تهران، صفحات ۹۵-۱۰۶.
- طباطبایی، الف. (۱۳۷۵) روسازی راه و فرودگاه.
- قدیمی عروس محله، فریدون. (۱۳۸۳) بررسی اکتشافی به منظور تعیین وضعیت محیطی سولفات سدیم کویر میقان اراک، کنفرانس مهندسی معدن دانشگاه تربیت مدرس.
- Curtin D., Syers J.K. (2001) Lime – Induced Changes in Indices of Soil Phosphate Availability. Soil Science Society of America Journal, Vol. 65, 147-152.
- Das B.M. (1990) Principles of Foundation Engineering.
- Gillman G.P., Sumpters E.A. (1986) Modification to the Compulsive Exchange Method for Measuring Exchange Characteristics of Soils. Australian Journal of soil Research 24(1) 61-66.
- Hausman R. (1990) Engineering principles of Ground Modification.
- International Ash Utilization Symposium. (2003) Recent Experiences with Lime-Fly Ash Stabilization of Pavement Subgrade.
- National Lime Association. (2004) Lime- Treated Soil Construction Manual..
- Lopez T., Lara et al. (2005) Study of Curing Time of Stabilized Soils, Electronic Journal of Geotechnical Engineering.
- Rezaei S. A., Malakouti M. J. (1993) Effects of Salinity on the Establishment of Two Resistant Varieties in Migan, Arak", J. of Pagoheh and Sazandegi, Tehran, Iran.
- Rezaei S. A., alakouti M. J. M. (1994) Effects of Salinity on the Establishment of Two Resistant Varieties in Migan. Proceedings of the Fourth Soil Science Congress, Iran.
- Rogers C. (2001) Lime Modification of Clay Soils for Construction Expediency. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Geotechnical Engineering, Vol. 149, No. 3, 201-202.
- Shi, Jing- hua. (2003) A Study On Modification Of Clayey Soil as Landfill Liner Material. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), Vol. 33, No. 3, 355-35