بررسی اثر آبشویی بر تحکیم‌پذیری خاکهای گچی

حسن رحیمی و امیر پویان نژاد هاشمی

استاد و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی

دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله ۷۷/۱۲/۱۸

خلاصه

یکی از مسائل مهم در ساخت سازه‌ها و تأسیسات مدرن، جلوگیری از تغییر شکلهای غیر مجاز پی سازه‌هاست که گاهی ممکن است تخریب سازه را نیز به دنبال داشته باشد. این مسئله بویژه در سازه‌های آبی مستقر روی خاکهای گچی از اهمیت بیشتری برخوردار است. برای طراحی مطمئن پی در خاکهای گچی، لازم است یک روش منطقی برای تعیین خصوصیات فیزیکومکانیکی این خاکها و تغییرات آن طی فرآیند انحلال گچ بکار گرفته شود. در این تحقیق برای رسیدن به هدف مذکور، سه نمونه خاک از سه منطقه ایران که دارای خاک گچی می‌باشند (دشت وفرقان در ساوه، دشت نکوآباد و آبشار در اصفهان و دشت قیروکارزین در استان فارس) تهیه شد که هر یک به ترتیب حاوی (۲۲ - ۱۶)، (۳۲ - ۲۱) و (۱۰ - ۶) درصد گچ بودند. برای بررسی پدیده انحلال و تثبیت گچ در خاک، یک مدل فیزیکی آزمایشگاهی ساخته شد و نمونه‌های متراکم شده در رطوبت بهینه، به مدت ۹۰ روز تحت بارهای هیدرولیکی ۷۵، ۱۳۵ و ۲۱۵ سانتی‌متر مورد آبشویی با آب مقطر قرار گرفتند. همچنین در یکی از تیمارها به منظور تثبیت گچ بجای آب اختلاط از محلول (۱۰۰ : ۱) اگزالات سدیم، استفاده گردید و نمونه متراکم شده حاصل نیز به مدت ۹۰ روز و تحت بار هیدرولیکی ۲۱۵ سانتی‌متر مورد آبشویی قرار گرفت. بمنظور بررسی اثرات کلرورمنیزیم در تسریع فرآیند شستشوی گچ، تیماری دیگر با استفاده از محلول کلرور منیزیم (۰/۵ نرمال) به مدت ۹۰ روز تحت بار هیدرولیکی ۲۱۵ سانتی‌متر مورد شستشو قرار گرفت. نتایج آزمایشها نشان داد که میزان آبشویی گچ در خاکهای اصفهان، ساوه و شیراز با طبقه‌بندی SM، SC و CL به ترتیب (۴۳/۱ - ۱۳/۰)، (۳۰/۱ - ۴/۳)، (۹/۴ - ۲/۴) درصد بوده است. این میزان آبشویی باعث شد که نشست‌های خاک در آزمایش تحکیم به ترتیب (۱/۶ تا ۱/۹)، (۱/۱ تا ۱/۲) و (۰/۷ تا ۰/۹) برابر گردد. اثر آبشویی بر ضریب تحکیم در خاک اصفهان (۱/۹ - ۸۷/۸)، در خاک ساوه (۰/۶ تا ۷/۵) و در خاک شیراز (۰/۹ تا ۲/۳) برابر حالت اولیه بوده است. همچنین آزمایشها نشان داد، چنانچه اگزالات سدیم بصورت آب اختلاط مصرف گردد، تأثیر محسوسی در تثبیت گچ در خاک نداشته و استفاده از کلرور منیزیم بعضاً موجب شست و شوی گچ از خاک می‌گردد اما به دلیل ترسیب خود ماده در خاک، شرایط تحکیم‌پذیری آن ممکن است تحت تأثیر قرار گرفته و مقدار نشست ناشی از تحکیم کاهش یابد.

واژه‌های کلیدی: آبشویی، خاکهای گچی و تحکیم‌پذیری.

مقدمه

طراحی سازه‌های آبی با بهره‌گیری از روشهای کلاسیک متداول و بدون در نظر داشتن تجارب به دست آمده از چگونگی تخریب آنها در گوشه و کنار دنیا، می‌تواند امکان ظهور مجدد

عواملی که باعث تخریب این سازه‌ها گردیده‌اند را فراهم سازد. تعداد سازه‌هایی که احتمالاً به دلیل وجود گچ در خاک در سراسر دنیا تخریب شده و یا خسارت مالی و بعضاً جانی قابل توجهی را به بار آورده‌اند، بسیار می‌باشد (۲). با توجه به وسعت و گسترش اراضی گچی در ایران (۲۷/۷ میلیون هکتار) (۳) و توسعه روزافزون جمعیت و لزوم ساخت ابنیه و تأسیسات آبی مختلف بر روی این نوع خاکها، ضرورت بررسی اثر وجود گچ بر مشخصات تحکیم‌پذیری خاکها و ایجاد خسارات احتمالی در آینده، به عنوان یکی از مسائل مهمی که در مقابل مهندسین طراح قرار دارد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

بطور کلی در کارهای ساختمانی، تغییر حجم خاک از اهمیت خاصی برخوردار بوده و می‌تواند بر اثر عوامل مختلف از جمله تغییر شرایط رطوبتی و حرارتی، تحکیم، تورم، رمبندگی، انقباض و ... ایجاد شود و از آنجاکه این امر باعث تغییر در خصوصیات مقاومتی و پایداری خاک نیز می‌شود، اهمیت آن چند برابر می‌گردد.

براساس تحقیقات ترلتسکایا، پدیده آبشویی گچ (نسبت گچ شسته شده به مقدار اولیه گچ)، فرآیندی پیوسته بوده و هیچگاه، حتی تحت گرادیانهای بسیار کوچک نیز، متوقف نمی‌گردد. آبشویی خاکهای گچی، افزایش پوکی و کاهش وزن واحد حجم چنین خاکهایی را به دنبال دارد. علاوه بر این، آبشویی در بعضی حالات باعث نشست یکنواخت شده اما در پاره‌ای از موارد نشست غیر یکنواخت را نیز به همراه دارد (۹).

در همین رابطه، مطالعات دَن نشان داد که آبشویی در خاکهایی که خلل و فرج بزرگی دارند، نشستی افزون بر (۲/۲۵ - ۱/۷) برابر حجم نمک شسته شده ایجاد می‌نماید. اما در خاکهایی که منافذ کوچکی دارند، نسبت نشست، به حجم شسته شده نمک و ترکیب آن مرتبط است. به عنوان نمونه برای خاکهای نمکی که نمک آن از نوع سولفات یا کلرید سدیم باشد، میزان نشست، ۰/۸۳ برابر حجم نمک شسته شده برآورد گردیده است (۹).

مطالعات پیتراخین در رابطه با رمبندگی[1] خاکهای گچی، نتایج زیر را بدست داد (۹):

شسته شدن گچ طی سالیان متمادی حالتی از خاکهای شبه لسی و یا لسی گچدار را ایجاد می‌کند.

- خاکهای رس ماسه‌ای گچدار، در مقدار گچ بالاتر از ۳۵ درصد و مدت زمان کوتاهی پس از اشباع شدن، رمبنده می‌شوند.
- خاکهای ماسه سیلتی با هر مقدار گچ، رمبنده بوده، بنابراین در گروه خاکهای با رمبندگی بالا طبقه‌بندی می‌شوند.

در مورد پدیده تورم در این خاکها می‌توان به سری آزمایشهای سیروان در این رابطه اشاره کرد. وی از تحقیقاتش اینطور نتیجه گرفت که خاکهای گچی خاصیت تورمی داشته و حتی این میزان تورم گاهی تا ۱۵ درصد ضخامت نمونه نیز بدست آمده است. رفتار مشابهی برای نوعی خاک رسی واقع در عمق ۵/۵ متری در عربستان سعودی توسط دویون نیز بدست آمده است (۱۰).

در سالهای اخیر، به سبب افزایش حجم کارهای عمرانی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان، تعداد گزارشهای مربوط به تغییر شکل سازه‌ها نیز افزایش یافته است که اغلب این تغییر شکلها در سازه‌های بنا شده روی خاکهای رسی گچدار مشاهده شده است.

مشکلات سازه‌های بنا شده روی زمینهای گچی، اولین بار در سال ۱۹۲۷ در اسپانیا به دلیل تخریب کانالهای تازه تأسیس، رخ نمود. در بسیاری از قسمتها، سازه فوقانی نشست کرده و در بعضی مناطق تخریب شده یا پوشش کانال تغییر شکل داده بود (۱). بعد از این رخداد، شکست سد سنت فرانسیس، تلفات شدید آب از مخازن سدهای اوکلاهاما و نیومکزیکو، ایجاد تونلهای ناشی از آبشستگی در پی سدهای هوندو، مکسی میلیان و ردراک (۸)، تخریب کانال سلهابیه در حوزه فرات (۱) و... سبب شد تا بعد از سال ۱۹۲۷ در طول قریب به ۴۰ سال در برخورد با هر پروژه‌ای که در مناطق گچی واقع شده بود، یا اقدام به تعویض محل طرح گردید و یا اینکه از اجرای پروژه خودداری شد.

در ایران نیز در سالهای اخیر، به علت مسائل بوجود آمده در پوشش بتنی کانالهای بنا شده روی خاکهای گچی (پروژه آبیاری و زهکشی نکوآباد و آبشار در اصفهان) بررسی‌ها و تحقیقات پراکنده‌ای بعمل آمده است. در همین ارتباط، شرکت مهندسین مشاور سوگراه مأمور بررسی علل تخریب پوشش بتنی کانالهای این واحد شد که نتایج آن را طی گزارشی در سال ۱۳۵۳ منتشر ساخت (۴).

1 - Collapsibility

مواد و روشها

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، هدف از این تحقیق بررسی رفتار انحلال‌پذیری خاکهای گچی و تأثیری است که در نهایت این فرآیند بر تحکیم و نشست خاک می‌گذارد. بدین منظور، پس از نمونه‌برداری (مطابق با استانداردهای معمول در علم مکانیک خاک) و تهیه خاک از محل، آزمایشهای مختلفی برای تشخیص مشخصات عمومی اینگونه خاکها ترتیب یافت و دستگاهی نیز برای ایجاد شرایط آبشویی مصنوعی ساخته شد. البته در کنار آزمایشهای اصلی، بعضی از خصوصیات مهم اینگونه خاکها نیز مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت که در ادامه بحث تشریح خواهد شد.

مراحل اصلی تحقیق حاضر در سه بخش، بشرح زیر خلاصه می‌شود:

الف - انتخاب ایستگاههای مطالعاتی.

ب - ساخت مدل فیزیکی.

ج - برنامه آزمایشها.

انتخاب ایستگاههای مطالعاتی: از آنجاکه خاک مهمترین ماده اولیه در انجام آزمایشهای این تحقیق می‌باشد. بنابراین انتخاب نوع خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و به طور مستقیم بر نتایج حاصله اثر می‌گذارد. لذا سعی شد که خاکهای انتخابی از لحاظ بافت، نحوه پراکنش، نوع و درصد گچ متفاوت باشند تا حتی‌الامکان بتوان رفتار اینگونه خاکها را در شرایط مختلف و در هنگام تماس با آب، بررسی نمود. علاوه بر آن سعی شد تا ایستگاههای مطالعاتی در مناطقی انتخاب گردند که پروژه‌های در دست احداث یا انجام شده آبیاری و زهکشی در آنجا موجود باشد، تا بتوان علاوه بر نتایج آزمایشگاهی، مسئله تخریب و یا پایداری سازه را در این مناطق بررسی نمود. بر این اساس نمونه‌های مورد آزمایش از سه منطقه معروف به داشتن خاکهای گچی به صورت دست خورده و به میزان ۲ تا ۳ برابر مورد نیاز (حدود ۱۰۰ کیلوگرم) در آزمایشها، تهیه شد و در هنگام نمونه‌برداری ابتدا خاک آلی سطحی، کنار زده شد و سپس تا عمق ۱/۵ متری، از رگه‌های گچی نمونه‌گیری به عمل آمد. سپس خاک در کیسه‌های پلاستیکی دربسته به آزمایشگاه منتقل گردید و در نهایت در آزمایشگاه بعد از اختلاط کامل به روش چهار بخشی، برای انجام آزمایشها انتخاب گردید.

الف – ایستگاه ساوه: این ایستگاه در محدوده پروژه آبیاری و زهکشی وفرقان و ساوه واقع است و عملیات احداث کانال و سازه‌های جانبی آن به تازگی به پایان رسیده است. بررسیهای محلی نشان داد که در این منطقه انواع مختلفی از رخنمون گچ از جمله رزهای بیابانی، رسوبات ثانویه گچ و گچ تبخیر شده بر روی سطح زمین یافت می‌شود.

ب – ایستگاه اصفهان: این ایستگاه در محدوده طرح آبیاری و زهکشی نکوآباد و آبشار قرار دارد و از جمله طرحهایی است که مدت زیادی از بهره‌برداری آن گذشته و مسائل و مشکلات آن طی این دوره بروز نموده است. فرم گچ در این منطقه از نوع ثانویه و متبلور می‌باشد.

ج – ایستگاه شیراز: این ایستگاه در طرح آبیاری و زهکشی قیروکارزین قرار دارد. مطالعات اولیه مربوط به احداث پروژه آبیاری و زهکشی در این منطقه باتمام رسیده و در حال حاضر عملیات ساخت کانالها و سازه‌های وابسته به آن در حال انجام است. در این منطقه گچ از اعماق سطحی (به وسیله آب آبیاری) شسته شده و در عمق ۳۰ تا ۹۰ سانتیمتری تشکیل افق گچی[1] را می‌دهد. نوع گچ در این ایستگاه به فرم ثانویه با بلورهای بسیار ریز می‌باشد.

مدل فیزیکی انحلال گچ در خاک: به منظور شبیه‌سازی فرآیند آبشویی خاک در آزمایشگاه، یک مدل فیزیکی انحلال گچ ساخته شد. در ساخت مدل، فرض آن بود که خاک منطقه مورد مطالعه، گچی بوده و پراکنش گچ در آن به صورت یکنواخت است. به دلیل ساخت سازه‌های آبی خاک محل تحت آبشویی قرار گرفته و گچ به علت تراوش مداوم آب، انحلال یافته و از منطقه تحت تأثیر تنش سازه خارج می‌شود. در این حالت، برخلاف حالتهای مشابه آبشویی در طبیعت، گچ فرصت تبلور مجدد را به صورت تبخیر یا ترسیب ندارد. این امر سبب می‌شود که خلل و فرج در پروفیل خاک افزایش یافته و در نتیجه نشستهایی را به دنبال داشته باشد که در صورت زیاد بودن، باعث تخریب پی و به تبع آن تخریب سازه بنا شده روی آن خواهد گردید. بر این اساس، سه نمونه خاک با خصوصیات مختلف از لحاظ درصد و نوع گچ و نیز بافت خاک تهیه شد. نمونه‌های دست خورده، به صورت مجزا کاملاً مخلوط گردید تا توزیع گچ، حتی‌الامکان یکنواخت گردد. سپس نمونه‌ها در شرایط استاندارد از

1 - Gypsic horizon

لحاظ مقدار رطوبت و انرژی تراکمی (استاندارد پراکتور)، متراکم و برای انجام آزمایشهای آبشویی و تحکیم آماده گردید.

برای بررسی فرآیند آبشویی، سه مخزن آب با ظرفیت تقریبی ۱۵۰ لیتر با استفاده از صفحات فولادی ساخته و در سه ارتفاع مختلف قرار داده شد. سپس نمونه‌های خاک در قالب پراکتور، تحت رطوبت بهینه متراکم گردید و توسط لوله‌های پلاستیکی به مخازن مربوطه، متصل شد. همچنین طی آزمایش، آب نشت یافته از نمونه‌ها در ظرفهای پلاستیکی درپوش‌دار جمع آوری گردید.

علاوه بر شستشوی نمونه‌ها با آب مقطر، دو گزینه دیگر نیز در این مدل مورد بررسی قرار گرفت که در یکی از آنها از کلرورمنیزیم برای تسریع شست و شوی گچ و در دیگری از محلول ۱ به ۱۰۰ اگزالات سدیم برای تثبیت گچ در خاک استفاده گردید.

برنامه آزمایشها: برنامه آزمایشها به گونه‌ای تدوین شد که مشخصات عمومی و سایر شاخصهای مهندسی خاکهای گچی متناسب با اهداف مورد نظر تعیین گردد. همچنین با توجه به نتایج تحقیقات قبلی، در کلیه آزمایشها، در تعیین درصد رطوبت خاک از دمای ۶۰°C برای خشک کردن نمونه‌ها استفاده و براساس روابط اصلاحی برای دمای ۱۰۵°C تصحیح گردید (۵).

بر این اساس آزمایشها در سه بخش به شرح زیر انجام گرفت:

۱ - آزمایشهای شناسایی: شامل دانه‌بندی، تعیین وزن مخصوص، تعیین حدود آتربرگ و تراکم.

۲ - آزمایشهای مکانیکی: شامل ارزیابی پتانسیل تورم‌پذیری، ارزیابی پتانسیل رمبندگی و تحکیم.

۳ - آزمایشهای شیمیایی: شامل تجزیه شیمیایی خاک و تعیین درصد گچ.

در این قسمت کلیه آزمایشهای مربوطه مطابق با استاندارد (ASTM،۱۹۹۳) انجام گرفت و فقط در آزمایش دانه‌بندی برای ذرات کوچکتر از ۷۵ میکرون، به خاطر مشکل فلکوله شدن ذرات گچ طی فرآیند هیدرومتری از روش (هس، ۱۹۷۶) استفاده شد (۵ و ۷).

تیمارهای آزمایشی: تیمارهای مورد آزمایش تحکیم، قبل و پس از فرآیند آبشویی بشرح زیر می‌باشند:

تیمار اول (تیمار شاهد) - خاک متراکم شده در رطوبت بهینه - قبل از آبشویی.

برای مقایسه ضرایب تحکیم، قبل و بعد از آبشویی و بررسی تأثیر احتمالی آبشویی بر ضرایب مربوطه ابتدا آزمایش تحکیم بر روی نمونه‌های متراکم شده در رطوبت بهینه، قبل از آبشویی انجام شد.

تیمار دوم - خاک متراکم شده در رطوبت بهینه - شستشو با آب مقطر به مدت ۹۰ روز تحت بار هیدرولیکی ۷۵ سانتی‌متر.

تیمار سوم - خاک متراکم شده در رطوبت بهینه - شستشو با آب مقطر به مدت ۹۰ روز تحت بار هیدرولیکی ۱۳۵ سانتی‌متر.

تیمار چهارم - خاک متراکم شده در رطوبت بهینه - شستشو با آب مقطر به مدت ۹۰ روز تحت بار هیدرولیکی ۲۱۵ سانتی‌متر.

تیمار پنجم - خاک متراکم شده در رطوبت بهینه - آب اختلاط حاوی اگزالات سدیم - شستشو با آب مقطر به مدت ۹۰ روز تحت بار هیدرولیکی ۲۱۵ سانتی‌متر.

تفاوت این تیمار با تیمار چهارم در آن است که بجای آب اختلاط از محلول (۱۰۰ : ۱) اگزالات سدیم به آب استفاده شده است. این تیمار بمنظور بررسی اثر حضور اگزالات سدیم در خاک و میزان تأثیر آن در جلوگیری از انحلال گچ در خاک انتخاب شد.

براساس مطالب مندرج در برخی از منابع، این ماده در هنگام قرار گرفتن روی ذرات گچ تشکیل سولفات سدیم و اگزالات کلسیم را می‌دهد. سولفات سدیم محلول بوده و می‌تواند در آب حل گردد اما اگزالات کلسیم غیر قابل حل است (۲). در این تیمار محلول (۱۰۰ : ۱) اگزالات سدیم در آب، با خاک مخلوط و مدت ۲۴ ساعت در داخل کیسه نایلونی سربسته نگهداری می‌شود تا خاک فرصت انجام واکنش با محلول فوق را پیدا کند و سپس عمل تراکم تحت شرایط استاندارد انجام می‌گیرد.

تیمار ششم - خاک متراکم شده در رطوبت بهینه - شستشو با محلول کلرور منیزیم ۰/۰۵ نرمال به مدت ۹۰ روز تحت بار هیدرولیکی ۲۱۵ سانتی‌متر.

در مورد شستشوی خاکهای گچی با کلرورمنیزیم دونظر متضاد وجود دارد. یکی نظریه تانجی در مورد استفاده از محلول ۰/۰۵ نرمال کلرور منیزیم به منظور افزایش سرعت انحلال گچ تا حدود ۴ برابر (۸ گرم در لیتر) نسبت به آب مقطر، و دیگری نظریه یوزر در رابطه با کاهش نشت و بسته شدن درز و شکافهای سنگهای آنهیدریتی با استفاده از تزریق $MgCl_2$ و $CaSO_4$ می‌باشد (۱۱ و ۱۲).

نتایج و بحث

در این قسمت به منظور احتراز از تکرار مطالب، نتایج (حاصل از سه تکرار) به صورت خلاصه در جداول ۱ الی ۳ و اشکال ۲ الی ۵ ارائه شده است.

بحث

باتوجه به هدف تحقیق، در این قسمت تنها روی نتایجی بحث می‌شود که دارای ارتباط مستقیم با فرآیند تغییر حجم در خاکهای گچی می‌باشند.

نتایج آزمایش تعیین پتانسیل رمبندگی: با توجه به نتایج حاصل از تعیین نمایه پتانسیل رمبندگی و طبق استاندارد ASTM، کلیه نمونه‌های خاک ایستگاههای مطالعاتی در کلاس ضعیف طبقه‌بندی می‌شوند.

نتایج آزمایش تعیین پتانسیل تورم‌پذیری: در نمونه‌های مورد مطالعه، پتانسیل تورم قابل ملاحظه‌ای مشاهده نگردید. همچنین رابطه مشخصی بین درصد گچ و تورم خاک بدست نیامد و برخلاف گزارشهای سیروان، با افزایش درصد گچ، میزان تورم زیاد نگردید (۱۰). این امر ممکن است ناشی از اختلاف در نوع خاکهای مورد مطالعه نیز باشد. برای نتیجه‌گیری قطعی در این رابطه، انجام آزمایشهای بیشتر در خاکهایی با درصدهای متفاوت گچ توصیه می‌شود.

نتایج آزمایشهای تحکیم: برای بررسی اثر آبشویی بر تحکیم‌پذیری خاکهای گچی، آزمایشهای استاندارد تحکیم بر روی نمونه‌های خاک ایستگاههای مورد مطالعه در شش تیمار و سه تکرار انجام شد. همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، در تیمار اول خاک قبل از آبشویی و در تیمارهای دوم الی ششم، بعد از آبشویی مورد آزمایش تحکیم قرار گرفت.

نتایج آزمایشهای تحکیم در شکلهای شماره ۲ الی ۵ نشان داده شده است براساس نتایج ارائه شده در شکل ۲ مشاهده می‌شود که مقادیر نمایه فشردگی (Cc) نمونه خاکهای ایستگاههای اصفهان، ساوه و شیراز و در تیمارهای دوم الی چهارم به ترتیب، بین (۱/۶ تا ۱/۹)، (۱/۱ تا ۱/۲) و (۰/۷ تا ۰/۹) برابر حالت طبیعی تغییر کرده است. بنابراین می‌توان استنباط نمود که در خاکهای اصفهان و ساوه، آبشویی باعث افزایش میزان نشست‌پذیری می‌شود، در حالی که در خاک شیراز روند معکوس است که این نتیجه با نتایج حاصل از تحقیقات دَن مطابقت دارد (۹). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در خاکهای درشت دانه، با افزایش قطر دانه‌ها، نمایه فشردگی و به تبع آن نشست‌پذیری خاک بر اثر عمل آبشویی و شسته شدن گچ افزایش می‌یابد.

در خاک شیراز (ریز دانه) نمایه فشردگی به علت آبشویی کاهش یافته است. که برای این امر می‌توان دلایلی از جمله نوع بافت خاک، کم بودن میزان گچ و درصد آبشویی را ذکر نمود.

مقادیر ضریب تحکیم (c_v) بدست آمده در این آزمایشها برای کلیه نمونه‌ها و تیمارهای مختلف در شکلهای ۳ تا ۵ نشان داده شده است. این شکلها نشان می‌دهند که ضریب تحکیم در نمونه خاکهای ایستگاههای اصفهان، ساوه و شیراز و در تیمارهای دوم الی چهارم به ترتیب بین (۱/۹ تا ۸۷/۸)، (۰/۶ تا ۷/۵) و (۰/۹ تا ۲/۳) برابر حالت طبیعی تغییر کرده است.

در مورد این ضریب نیز مشاهده می‌شود که با درشت‌تر شدن بافت، تأثیر آبشویی بر افزایش ضریب تحکیم مشهودتر است. به طور مثال حداکثر میزان افزایش در ضریب تحکیم و در درجه آبشویی ۱۰ درصد از ۲۱/۷ برابر برای خاک اصفهان به ۲/۳ برابر برای خاک شیراز کاهش می‌یابد.

نتایج این قسمت از آزمایش‌ها، نشان می‌دهد که آبشویی، عامل مهمی در کاهش مدت زمان لازم برای انجام فرآیند تحکیم

جدول ۱ - مشخصات فیزیکی خاکهای مورد مطالعه

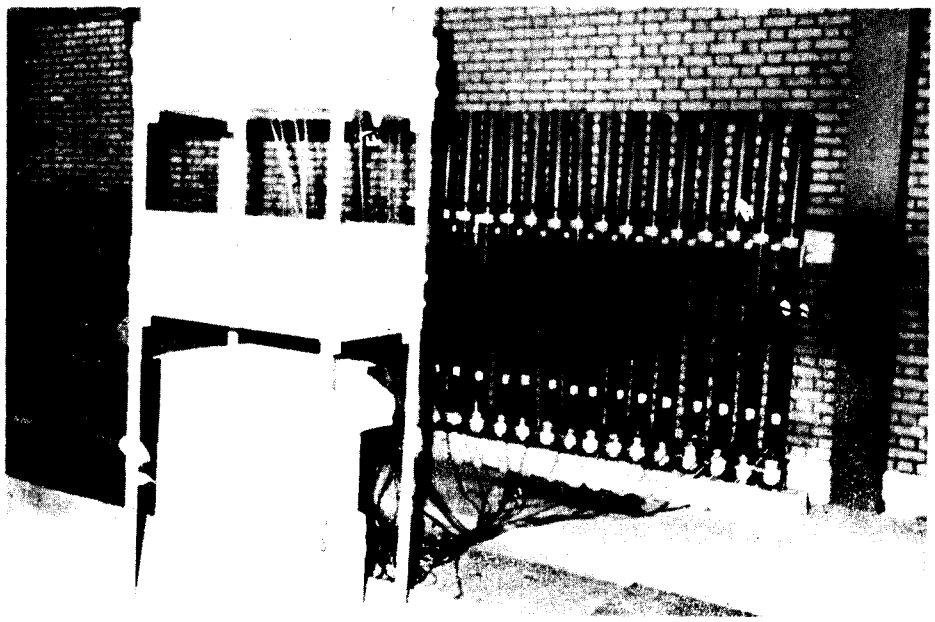
ایستگاه	نوع خاک	حد روانی (٪)	حد خمیری (٪)	دانسیته خشک gr/cm^3	وزن مخصوص	حداکثر تورم (٪)	نمایه پتانسیل رمبندگی (٪)
اصفهان	SM	۳۸/۰۹	۲۷/۳۰	۱/۶۷۸	۲/۴۸	۰/۴۵	۰/۴۰
ساوه	SC	۲۳/۱۲	۱۶/۷۰	۱/۸۲۰	۲/۴۸	۱/۳۱	۰/۵۵
شیراز	CL	۳۰/۵۷	۲۲/۷۵	۱/۶۸۱	۲/۵۲	۳/۹۰	۰/۱۹

جدول ۲ - درصد گچ نمونه‌های خاک مورد مطالعه در دو حالت قبل و بعد از آبشویی

نمونه خاک / تیمار	ایستگاه اصفهان		ایستگاه ساوه		ایستگاه شیراز	
	قبل از آبشویی	بعد از آبشویی	قبل از آبشویی	بعد از آبشویی	قبل از آبشویی	بعداز آبشویی
دوم	۳۰/۳	۲۶/۳	۲۱/۷	۲۰/۷	۸/۳	۸/۱
سوم	۳۱/۸	۲۴/۱	۲۱/۲	۱۹/۴	۱۰/۳	۹/۶
چهارم	۳۲/۰	۱۸/۲	۲۰/۳	۱۴/۲	۸/۵	۷/۷
پنجم	۲۱/۰	۱۷/۸	۱۶/۰	۱۴/۰	۶/۵	۶/۰
ششم	۲۴/۴	۲۳/۴	۲۰/۰	۱۷/۲	۷/۹	۷/۲

جدول ۳ - نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های خاک مورد مطالعه

شماره نمونه	مشخصات نمونه	S.P %	O.C %	T.N.V $CaCO_3$ %	pH گل اشباع	EC dS/m	meq/lit				کاتیون و آنیون محلول				
							CO_3^{-2}	HCO_3^{-1}	Cl^{-1}	SO_4^{-2}	مجموع آنیونها	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+1}	مجموع کاتیونها
۱	شیراز	۳۶/۴۱	۰/۵۳	۴۸/۵	۸/۶	۲۰/۹	۰/۸	۰/۴	۱۴۹/۴	۸۰/۰۰	۲۳۰/۶	۱۴/۰	۷۰/۰	۱۵۰/۰	۲۳۴/۰
۲	اصفهان	۲۹/۸۹	۰/۳۳	۲۴/۵	۸/۰	۲۵/۰	-	۲/۰	۱۸۸/۰	۵۸/۸۸	۲۴۸/۸۸	۳۴/۰	۳۸/۰	۱۷۷/۸۸	۲۴۹/۹
۳	ساوه	۲۹/۳۷	۰/۰۹	۲۰/۷	۸/۲	۲/۸۵	-	۰/۸	۴/۰	۲۲/۵۶	۲۷/۳۶	۱۶/۰	۴/۰	۱۰/۷۶	۳۰/۷۶



شکل ۱ - تصویر کلی مدل فیزیکی انحلال گچ در خاک

خاک می‌باشد.

تأثیرات اگزالات سدیم: همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، هدف استفاده از اگزالات سدیم، بررسی امکان تثبیت گچ در خاک است.

مقایسه نتایج بدست آمده از آزمایشهای تحکیم روی این تیمار (تیمار پنجم) نشان می‌دهد که استفاده از اگزالات سدیم، نمایه فشردگی را در خاکهای درشت دانه اصفهان و ساوه به ترتیب به میزان ۴ و ۶ درصد افزایش داده اما در خاک شیراز، باعث کاهش این نمایه به میزان ۲۰ درصد گردیده است.

اثر کاربرد اگزالات سدیم بر ضریب تحکیم خاکهای مختلف به شرح زیر است:

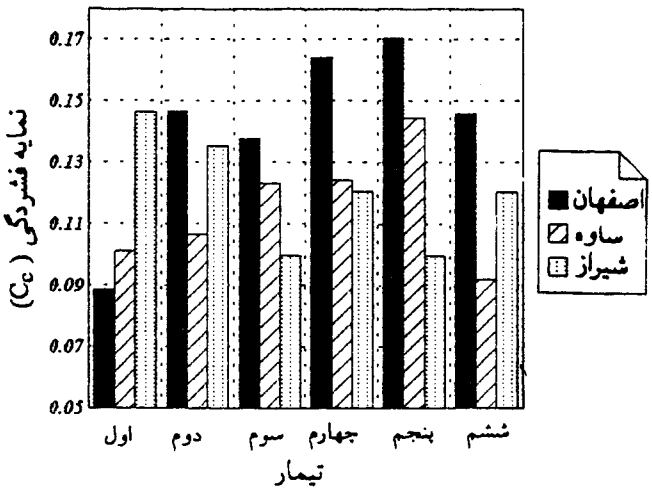
- در نمونه خاک ایستگاه اصفهان، استفاده از اگزالات سدیم سبب شد تا در کلیه تنشهای اعمال شده، ضریب تحکیم نسبت به حالت مشابه خود (تیمار چهارم) افزایش یابد.
- در نمونه خاک ایستگاه ساوه، استفاده از این ماده موجب گردید تا برخلاف خاک اصفهان، این ضریب کاهش یابد (بجز در مورد تنش ۱/۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع).
- در نمونه خاک ایستگاه شیراز، روند تقریباً مانند نمونه خاک ایستگاه اصفهان بود بجز در تنش ۱۵/۹۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع که این ضریب نسبت به تیمار چهارم کاهش یافته است.

بنابراین باتوجه به موارد فوق، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از این ماده تأثیر مثبت و مشخصی بر پارامترهای تحکیم‌پذیری خاک ندارد.

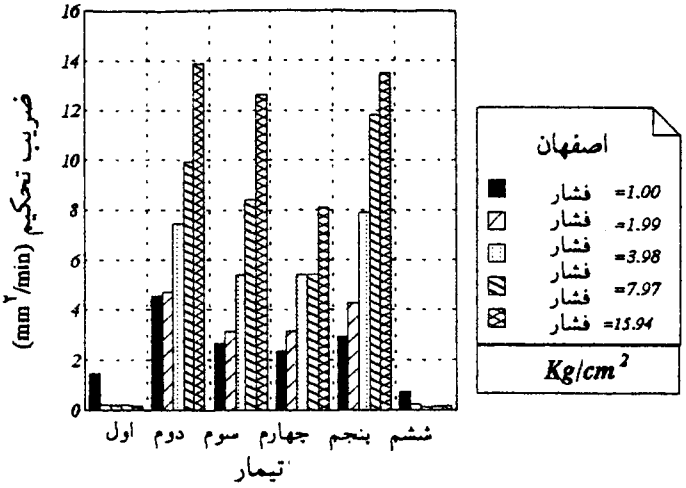
تأثیر کلرور منیزیم: به علت تناقض‌های موجود در مراجع مختلف در مورد استفاده از کلرور منیزیم، در این تحقیق، در تیمار ششم آبشویی با کلرور منیزیم ۰/۰۵ نرمال مورد عمل قرار گرفت. براساس نتایج بدست آمده از این بخش از آزمایشها، اثرات استفاده از کلرور منیزیم بر روی ضرایب تحکیم خاکهای گچی به شرح زیر بوده است:

شستشوی خاک گچی با استفاده از محلول کلرور منیزیم ۰/۰۵ نرمال باعث کاهش نمایه فشردگی در کلیه نمونه‌ها شده است. ارقام بدست آمده نشان می‌دهد که این نمایه نسبت به حالت مشابه خود (تیمار چهارم) در خاک اصفهان و ساوه به ترتیب ۱۲ و ۲۶ درصد کاهش یافته‌ودر خاک شیراز، تأثیراین‌ماده‌بسیارناچیز بوده‌است.

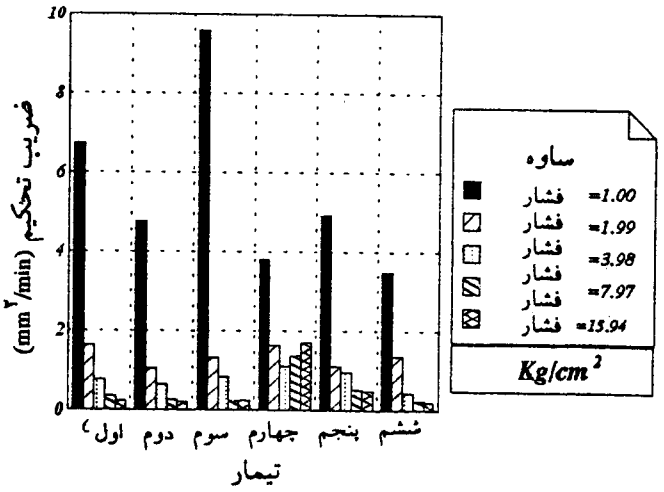
همچنین شستشو با کلرور منیزیم موجب گردیده تا در نمونه خاکهای اصفهان و ساوه ضریب تحکیم به ترتیب بین (۱۴ تا ۵۰) و (۱/۱ تا ۸/۹) برابر کاهش یابد، اما در خاک شیراز، روند معکوس بوده است. بدین معنی که ضریب تحکیم تا ۳ برابر افزایش را نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان اینطور نتیجه گرفت که استفاده از کلرور منیزیم باعث اثر دوگانه در خاک گچی می‌شود، بدین ترتیب که در



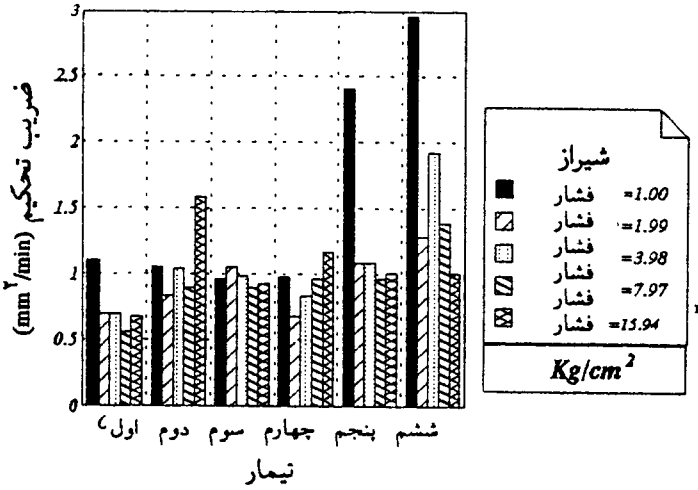
شکل ۲ - تغییرات نمایه فشردگی بر حسب تیمارهای مختلف نمونه‌های سه ایستگاه مطالعاتی



شکل ۳ - تغییرات ضریب تحکیم در تیمارهای مختلف برای نمونه خاک ایستگاه اصفهان



شکل ۴ - تغییرات ضریب تحکیم در تیمارهای مختلف برای نمونه خاک ایستگاه ساوه



شکل ۵ - تغییرات ضریب تحکیم در تیمارهای مختلف برای نمونه خاک ایستگاه شیراز

خاکهای درشت دانه به علت برتری نقش تثبیت کنندگی و ترسیب بر خاصیت انحلال گچ ضریب تحکیم کاهش یافته اما در خاکهای ریزدانه به علت افزایش میزان انحلال ذرات ریز گچ، این اثر، حالت معکوس پیدا می‌کند. بنابراین با کاهش اندازه ذرات، تأثیر این ماده در افزایش ضریب تحکیم بیشتر می‌شود.

جمع بندی و نتیجه‌گیری

براساس مجموعه نتایج بدست آمده از این تحقیق به طور خلاصه می‌توان موارد زیر را استنتاج نمود:

۱ - بطور کلی تحکیم‌پذیری خاکهای گچی فرآیند پیچیده‌ای است که به عوامل متعدد از جمله نوع گچ، اندازه گچ و چگونگی توزیع آن در خاک، مقدار اولیه گچ، مقدار گچ شسته شده و تنش اعمال شده به خاک بستگی دارد. بدیهی است که در این فرآیند عواملی از جمله بافت خاک، تراکم و نفوذپذیری نیز دارای نقش مهمی می‌باشند، لذا مقدار گچ به تنهایی نمی‌تواند مشخص کننده

چگونگی رفتار تحکیمی خاکها باشد.

۲ - بین میزان آبشویی و نشست ناشی از آن رابطه مشخص و مستقیمی وجود نداشته و با توجه به آنچه در بند ۱ گفته شد، لازم است به اثر سایر عوامل در این زمینه نیز توجه شود.

۳ - نتایج آزمایشها نشان داد که استفاده از اگزالات سدیم، اثر قابل ملاحظه‌ای بر شرایط تحکیم‌پذیری خاکها نداشته است. در این رابطه افزایش کلرورمنیزیم نیز علاوه بر اینکه باعث تسریع فرآیند شستشوی گچ شد، اما بعلت ترسیب ذرات گچ عملاً مقدار نفوذپذیری را کاهش و انجام فرآیند تحکیم را محدود نموده است.

۴ - با توجه به مجموعه نتایج فوق می‌توان ادعا نمود که مقدار کمی گچ در یک خاک به تنهایی نمی‌تواند تعیین کننده کیفیت و رفتار خاک باشد، لذا در هر پروژه خاص لازم است ضمن تعیین کمیت و کیفیت گچ خاک، رفتار هیدرولیکی و مکانیکی خاک نیز مطابق شرایط پروژه مورد بررسی قرار گرفته و سپس نسبت به ارزیابی آن برای اهداف مورد نظر اتخاذ تصمیم شود.

سپاسگزاری

نظر باینکه اعتبارات مالی این تحقیق توسط معاونت محترم پژوهشی دانشکده کشاورزی و دانشگاه تهران تأمین شده است لذا مؤلفین بدینوسیله مراتب قدردانی خود را از مساعدتهای مذکور اعلام می‌دارند.

مراجع مورد استفاده

REFERENCES

۱ - الرفاعی، ن. ۱۳۵۵. مسائل ایجاد شده در شبکه آبیاری و زمینهای گچ‌دار حوزه رودخانه فرات در سوریه. کمیته ملی آبیاری و زهکشی، نشریه شماره ۱۶.

۲ - تاتلاری، س. ۱۳۷۵. بررسی رفتار خاکهای گچی در مجاورت سازه‌های آبی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

۳ - محمودی، ش. ۱۳۷۳. خصوصیات و مدیریت خاکهای گچی. خلاصه مقالات چهارمین کنگره علوم خاک ایران، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴ - مهندسین مشاور سوگراه. ۱۳۵۳. استفاده از غشاءهای پلاستیکی نفوذناپذیر برای عایق‌بندی کانالهای اصلی اصفهان واقع در اراضی گچدار. نشریه کمیته ملی آبیاری و زهکشی.

5 - American Society for Testing and Materials. 1993. Soil and Rock. ASTM Standards. Section 4, Vol. 04.08.

6 - Arakelyan, E. A. 1986. Characteristics of the determination of the physical properties of gypsum soils. Soil Mech. & Found. Eng., Vol. 23(1):27-29.

7 - Hesse, P. R. 1976. Particle size distribution in gypsic soils. Plant and Soil J. (24):241-247.

8 - Maksimovich, N. G., & V. L. Sergeev. 1983. Effect of chemical injection stabilization on gypsum stability in foundation of hydraulic structure. Hydrotechnical Con., Vol. 17(7):380-384.

9 - Petrukhin, V. P. 1993. Construction of structures on saline soils. Balkema Pub.: 252 pp.

10 - Sirwan, K., Majeed, A. H. & B. A. Wadood. 1991. Consolidation characteristics of gypsiferous soils. Geological Soc. London Eng. Geol. Spec., Vol. 7:503-508.

11 - Tanji, K. K. 1969. Solubility of gypsum in aqueous electrolytes as affected by ion association & ionic strengths up to 0.15 M at 20°C. Enviromental Science and Technology, Vol. 3:656-661.

12 - Yuzer, E. 1981. Engineering properties of evaporites & evaporitics formations of Turkey. Symp. on Eng. Geology, Istanbul, Turkey, 107-110.

Leaching Effects on Consolidation Properties of Gypsiferous Soils

H. RAHIMI AND A. P. NEJADHASHEMI

Professor and Former Graduate Student, Dept. of Irrigation and Reclamation Eng., Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran.

Accepted March 9, 1999

SUMMARY

Control of undesirable and detrimental deformation of foundation material is important for modern super-structures. The problem is still more important be hydraulic structures founded on gypsiferous soils. For a safe design of foundations supported by gypsiferous soils, it is vital to determine the physical and mechanical characteristics of the soil during its leaching process. For evaluation of consolidation properties of gypsiferous soils after the process of leaching, three samples were taken from three regions in Iran, known for their gypsiferous soils (Vafraghan plain in Saveh; Nekoo - Abad and Abshar plain in Isfahan and Ghir - Karzin plain in Fars province). The Samples , gypsum content were (16 - 22), (21 - 32) and (6 - 10) respectively. To investigate the process of leaching and fixation of gypsum in the soils, a physical laboratory model was devised and compacted samples at optimum moisture content, were leached by distilled water under 75, 135 and 215cm. hydraulic head for a period of 90 days. To evaluate the possibility of fixation of gypsum by chemical compounds, a treatment was made using 1:100 solution of sodium oxalate as mixing water (instead of distilled water) and tested under 215cm. hydraulic head for a period of 90 days. In order to investigate the effect of magnesium chloride on the leaching rate of gypsum, another treatment was leached by a 5% normal solution of magnesium choride under 215cm. head, for a period of 90 days. The overall results of the experiments indicated that gypsum leaching of soil samples from Isfahan, Saveh and Shiraz with SM, SC and CL classification, were (13.0 - 43.1), (4.3 - 30.1) and (2.4 - 9.4) percent, respectively. The leaching process increased the rate of consolidation (C_c) of the samples by (1.6 - 1.9), (1.1 - 1.2) and (0.7 - 0.9) times, respectively. The coefficients of consolidation were also increased

to (1.9 - 87.8), (0.6 - 7.5) and (0.9 - 2.3) times those of the initial conditions, respectively. Application of sodium oxalate to mixing water had no considerable effect on gypsum fixation, and magnesium chloride caused higher rate of gypsum dissolution, but finally reduced consolidation rate because of salt deposition.

Keywords: Leaching, Gypsiferous soils & Consolidation.