

## بررسی نفوذپذیری خاکهای گچی طی فرآیند آبخویی

امیرپویان نژادهاشمی، شهلا محمودی و حسن رحیمی

به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله ۱۵/۱۰/۷۸

### خلاصه

تخمین مقدار جریان آب از درون خاکهای دست نخورده، نهشته‌های رسوبی و یا خاکهای متراکم شده از جمله مسائل مهم در عملیات خاکی است، اهمیت این مسئله هنگامی آشکارتر می‌شود که بر اثر پدیده تحکیم و یا انحلال مواد موجود در خاک، مقدار نفوذپذیری باگذشت زمان، تغییر کند. بنابراین لازم است یک روش مطمئن برای تعیین خصوصیات هیدرولیکی خاکهای انحلال‌پذیر و تغییرات آن طی فرآیند آبخویی بدست آید. در این تحقیق سه نمونه خاک از سه منطقه ایران که معروف به داشتن خاک گچی می‌باشند (دشت و فرقان در ساوه، دشت نکوآباد و آبشار در اصفهان و دشت فیروکارزین در استان فارس) تهیه شد. خاکهای مذکور به ترتیب حاوی (۲۲-۱۶)، (۳۲-۲۱) و (۱۰-۶) درصد گچ بودند. بر روی نمونه‌های فوق آزمایش‌هایی مشتمل بر سه قسمت، شامل آزمایش‌های فیزیکی (دانه‌بندی، حدود آتربرگ، تعیین وزن مخصوص و تراکم)، آزمایش‌های هیدرولیکی (نفوذپذیری) و آزمایش‌های شیمیایی (تجزیه شیمیایی خاک، تعیین غلظت آب نشئی و تعیین درصد گچ) انجام گرفت. برای بررسی پدیده انحلال و تثبیت گچ در خاک، یک مدل فیزیکی ساخته شد و در آن، شرایط زیر روی نمونه‌های خاک متراکم شده (در رطوبت بهینه) اعمال گردید:

- شست و شو با آب مقطر به مدت ۹۰ روز تحت بار هیدرولیکی ۷۵ سانتی‌متر.
- شست و شو با آب مقطر به مدت ۹۰ روز تحت بار هیدرولیکی ۱۳۵ سانتی‌متر.
- شست و شو با آب مقطر به مدت ۹۰ روز تحت بار هیدرولیکی ۲۱۵ سانتی‌متر.
- شست و شو با آب مقطر به مدت ۹۰ روز تحت بار هیدرولیکی ۲۱۵ سانتی‌متر که در این تیمار به منظور تثبیت (جلوگیری از انحلال) گچ، از محلول (۱ به ۱۰۰) اگزالات سدیم، بجای آب اختلاط استفاده گردید.
- شست و شو با کلرور منیزیم (۵/۰٪ نرمال) بمنظور افزایش حلالیت گچ، به مدت ۹۰ روز تحت بار هیدرولیکی ۲۱۵ سانتی‌متر.

نتایج آزمایش‌ها نشان داد که خاکهای اصفهان، ساوه و شیراز براساس طبقه‌بندی یونیفاید در گروه‌های SC، SM و CL قرار می‌گیرند. درصد آبخویی در این سه خاک به ترتیب (۱/۴۳-۱۳/۰)، (۱/۳۰-۴/۳) و (۴/۴-۹/۴) بوده است. همچنین مشاهده گردید که بین غلظت آب نشئی و ضریب نفوذپذیری رابطه معکوس برقرار است. آزمایش‌های نفوذپذیری در این خاکها نشان داد که نفوذپذیری در خاکهای گچی با توجه به بافت خاک و شکل بلورهای گچ متفاوت بوده و ممکن است طی آبخویی، یکی از سه روند صعودی، نزولی و یا ثابت را داشته باشند. همچنین تغییرات ضریب نفوذپذیری خاکهای گچی در مراحل اولیه، به دلیل حرکت ذرات خاک و شسته شدن گچ نسبتاً زیاد بوده اما تدریجاً کاهش می‌یابد و نهایتاً به مقدار ثابتی میل می‌کند. بعلاوه افزایش بار هیدرولیکی در این مدت می‌تواند دامنه این تغییرات را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: نفوذپذیری، خاکهای گچی، آبخویی

## مقدمه

خاک مجموعه‌ای از ذرات جامد و حفرات بین آنهاست. در نتیجه آب می‌تواند از یک نقطه با انرژی بیشتر به نقطه‌ای با انرژی کمتر جریان پیدا کند. مطالعه جریان آب در محیط متخلخل خاک دارای اهمیت، زیادی در مباحث مکانیک خاک می‌باشد. این مسئله از نقطه نظر تخمین مقدار جریانهای زیرزمینی در وضعیت های هیدرولیکی مختلف، پمپاژ آب نشتی در حین اجرای ساختمانها در داخل سفره‌های آب زیرزمینی، مطالعه پایداری سدهای خاکی و سازه‌های حائل خاک تحت نیروهای تراوشی و همچنین تحکیم خاکهای رسی، حائز اهمیت می‌باشد. بنابراین با توجه به هدف این تحقیق که مطالعه تغییرات هدایت هیدرولیکی (k) طی فرآیند آبتیوی است، در ادامه به مجموعه‌ای از تحقیقات انجام شده در این زمینه اشاره می‌شود.

موروزو (۱۹۵۳) از اولین کسانی بود که به ویژگیهای نشت طی پدیده نمک‌زدائی اشاره کرد. او همچنین مشاهده نمود که جریان نشت می‌تواند براساس نحوه پیدایش، ترکیب نمکها و خصوصیات ویژه خاک تغییر کند. در این رابطه، مطالعات بعدی بر طبیعت پیچیده و تغییر ضریب هدایت هیدرولیکی طی آبتیوی نمکها صحه گذاشت. تحقیقات شوخونلیدز (۱۹۵۷) نشان داد که در صورت حضور نمکهای سدیم و منیزیم، مقدار ضریب نفوذپذیری کاهش یافته اما در حضور نمکهای کلسیم، این روند برعکس خواهد بود (۱۳).

اورادوسکایا (۱۹۵۷) اظهار داشت که در حالت عدم وجود بار بر روی خاک، میزان نشت در خاکهای لومی گچدار طی فرآیند نمک‌زدایی بین ۲ تا ۱۰۰ برابر افزایش می‌یابد. همچنین تحقیقات شاینده (۱۹۶۷) روی خاکهای لسی با میزان ۱۶ تا ۲۰ درصد گچ، مشخص نمود که مقدار افزایش نشت به ۱۸/۶ تا ۸۷ برابر می‌رسد (۱۳).

بر طبق تحقیقات گروت (۱۹۵۷)، ظرفیت نشت خاکهای گچی در مراحل اولیه آبتیوی زیاد می‌شود، اما بعدها کاهش یافته و به سمت مقدار ثابتی میل می‌کند. در این حالت با افزایش گرادیان هیدرولیکی می‌توان دوره تغییرات هدایت هیدرولیکی را کم نمود در حالی که در همین دوره حداکثر میزان این ضریب بدست می‌آید (۱۳).

در هر حال با صرف نظر کردن از روند عمومی افزایش نشت، در بعضی مواقع مشاهده شده است که طی آبتیوی نمکها، ضریب نشت کاهش یافته است. به طور مثال در ابتدای اشباع شدن، این کاهش

به علت یونهای تبدلی و بعدها به خاطر ضعیف شدن باندهای سیمانی، از هم پاشیدگی جزئی خاکدانه‌ها و نشست خاک تحت بار مرده رخ می‌دهد. به بیان دیگر، عامل غالب طی فرآیند نمک‌زدایی خاکهای سنگین، پراکنش بالای آنها است، اما در خاکهایی با پراکنش ضعیف، پیشرفت آبتیوی، افزایش ضریب نشت را به دنبال دارد.

نمک‌زدایی یک خاک تحت باری مشابه با تنش اعمال شده در محل، باعث می‌شود تا ضریب نشت گاهی بین ۱۰ تا ۱۰۰ برابر کاهش نشان دهد. در این حالت میزان تغییرات هدایت هیدرولیکی به عوامل متعددی از جمله مقدار اولیه و ترکیب نمکها، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک، شرایط نشت، ترکیب آب نشتی و فشار بستگی دارد (۷).

بر اساس تحقیقات مختلف، مشخص شده است که ظرفیت نشت خاکهای گچی تحت بار، در ابتدای آبتیوی افزایش یافته، اما بعدها کاهش می‌یابد و به مقدار ثابتی میل می‌کند، همچنین کاهش هدایت هیدرولیکی در بعضی از حالات بسیار بطئی بوده و در مواقع دیگر ظرفیت نشت را بصورت متناوب کاهش و افزایش می‌دهد (۷).  
تحقیقات ششینیکوف (۱۹۸۳) بر روی خاکهای رسی با میزان ۳ تا ۴۳ درصد گچ، باعث تشخیص سه مرحله متمایز برای تغییر k طی پدیده آبتیوی نمکها شد (۱۳):

- در مرحله اول (۵ تا ۱۰ روز)، k برای کلیه خاکها به واسطه آبتیوی گچ و زیاد شدن تخلخل موثر، افزایش می‌یابد. این افزایش ضریب نشت برای خاکهای لومی بین (۳-۵) برابر و برای خاکهای لومی ماسه‌ای بین (۵-۳) برابر بوده است.

- در مرحله دوم (۱۰ تا ۱۰۰ روز)، مقدار k کاهشی بین (۵-۲) برابر برای خاکهای لومی و بین (۲-۵) برابر برای خاکهای لومی ماسه‌ای، نشان می‌دهد. در این مرحله کاهش k با افزایش پراکنش خاک، همراه بوده است.

- در مرحله سوم (بعد از گذشت ۱۰۰ روز)، ضریب k برای کلیه خاکها بین ۲ تا ۴ برابر کاهش می‌یابد. البته ششینیکوف اظهار داشت که تفاوت مشخصی بین مرحله دوم و سوم وجود ندارد اما مرحله اول و دوم کاملاً قابل تمایز است.

مطالعات کرن و اوکونور (۱۹۸۲) در رابطه با اثر اندازه ذرات گچ بر هدایت هیدرولیکی خاکهای لومی ماسه‌ای و لومی نشان داد که افزایش ذرات گچ کوچکتر از ۴۴ میکرومتر باعث کاهش هدایت

همچنین در کنار آزمایشهای اصلی، بعضی از خصوصیات اینگونه خاکها نیز مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد.

مراحل اصلی تحقیق حاضر را می توان در سه بخش، بنسرح زیر خلاصه کرد:

- انتخاب نمونه های خاک برای انجام مطالعات

- ساخت مدل فیزیکی

- برنامه آزمایشها

انتخاب نمونه های خاک برای انجام مطالعات:

از آنجا که خاک مهمترین ماده اولیه در انجام آزمایشهای این تحقیق می باشد. بنابراین انتخاب نوع خاک از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده و به طور مستقیم بر نتایج حاصله اثر می گذارد. لذا سعی شد که خاکهای انتخابی از لحاظ بافت، نحوه پراکنش، نوع و درصد گچ متفاوت باشند، تا حتی الامکان بتوان رفتار این گونه خاکها را در شرایط مختلف و در هنگام تراوش دائم آب، بررسی نمود. علاوه بر آن سعی شد تا نمونه ها از مناطقی انتخاب گردند که پروژه های در دست احداث یا انجام شده آبیاری و زهکشی نیز در آنجا موجود باشد تا بتوان علاوه بر نتایج آزمایشگاهی، در آینده تغییرات تراوش آب را در محل نیز بررسی نمود. بر این اساس تصمیم بر آن شد تا از سه منطقه معروف به داشتن خاک گچی، نمونه گیری انجام شود که نهایتاً سه منطقه زیر برای نمونه برداری مورد استفاده قرار گرفت.

۱- منطقه ساوه: این منطقه از لحاظ موقعیت جغرافیایی در طرح آبیاری و زهکشی و فرقان و ساوه و در مختصات (۵۰°، ۰۸) تا (۵۰°، ۳۰) طول شرقی و (۳۰°، ۴۵) تا (۳۵°، ۰) عرض شمالی واقع است. از لحاظ تقسیم بندی فیزیوگرافی، محدوده طرح در دشتی آبرفتی واقع گردیده و در هنگام حفاریهای ژئوتکنیکی، رگه های گچی و نمکی به وفور در منطقه طرح گزارش شده است. با توجه به مشاهدات صحرائی به عمل آمده، دو نوع گچ در محل مشاهده گردید. نوع اول شامل رسوبات ثانویه گچ می باشد که به فرم لکه های سفید رنگ در اعماق ۱/۷ الی ۲/۳ متری قرار دارد و نوع دوم به صورت رگه های گچی (رسوبات اولیه) در اعماق ۳ متری به بند در سنگهای مارنی مشاهده شده است. همچنین انواع مختلفی از رخنمون گچ از جمله رزت های بیابانی، سنگ گچ و گچ تبخیر شده روی

هیدرولیکی خاک می گردد اما حضور ذرات گچ با قطر ۰/۲۵ تا ۱ میلیمتر، بر هدایت هیدرولیکی خاک بی تأثیر است (۷).

نکته دیگری را که کرن و اوکونور به آن اشاره کرد، افزایش میزان هدایت هیدرولیکی در مدت زمان آشویی است. اما گاهی در عمل، حالتی معکوس حادث شده، بدین معنی که هدایت هیدرولیکی خاکهای گچدار، کاهش یافته است که علت آن یک پدیده مکانیکی گرفتگی، ناشی از ذرات کوچک گچ می باشد.

بویادگیوف (۱۹۷۴) براساس مطالعاتی که روی اراضی گچی دشت فرات در سوریه انجام داد، به این نتیجه رسید که خاکهای حاوی ۱۰ الی ۳۵ درصد گچ، در مقایسه با خاکهای مشابه بدون گچ به مراتب نفوذپذیرترند. همچنین حرکت آب در خاکهای گچی نسبت به خاکهای مشابه سریعتر بوده و معمولاً در تقسیم بندی نفوذپذیری در کلاس متوسط تا سریع قرار می گیرند. بنابراین عموماً در این گونه خاکها مشکل ماندابی شدن، مشاهده نمی شود (۱).

این خاکها در بعضی از موارد، نفوذپذیریهای خیلی کمی را از خود نشان می دهند که معمولاً به علت وجود لایه های مترکم در پروفیل خاک است. این امر بعضاً در اراضی گچی تحت آبیاری مشاهده شده است. بدین صورت که گچ شسته شده به اعماق پایینتر انتقال می یابد و در شرایط خاص تشکیل افقهای گچی مترکم پتروچیسپیک را می دهد که بر کاهش هدایت هیدرولیکی خاک موثر است (۲).

مطالعات موسلی، مردود و کرن نشان داد که دامنه تغییرات هدایت هیدرولیکی در خاکهای گچی بسیار گسترده است و می تواند ۰/۱۲ تا ۱۰ متر پُر روز باشد. بعلاوه، وجود بلورهای درشت گچ سبب می شود که خاک از لحاظ نفوذپذیری، رفتاری مشابه با خاکهای ماسه ای داشته باشد (۱۲).

## مواد و روشها

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، هدف از انجام این تحقیق بررسی رفتار انحلال پذیری گچ در خاکهای گچی و تأثیری است که در نهایت، این فرآیند بر ضریب نفوذپذیری خاک می گذارد. بدین منظور بعد از نمونه برداری و تهیه خاک از محل، آزمایشهای مختلفی برای تشخیص مشخصات عمومی اینگونه خاکها ترتیب یافت و دستگاهی نیز برای ایجاد شرایط آشویی مصنوعی ساخته شد.

سطح خاک یافت شد (۴).

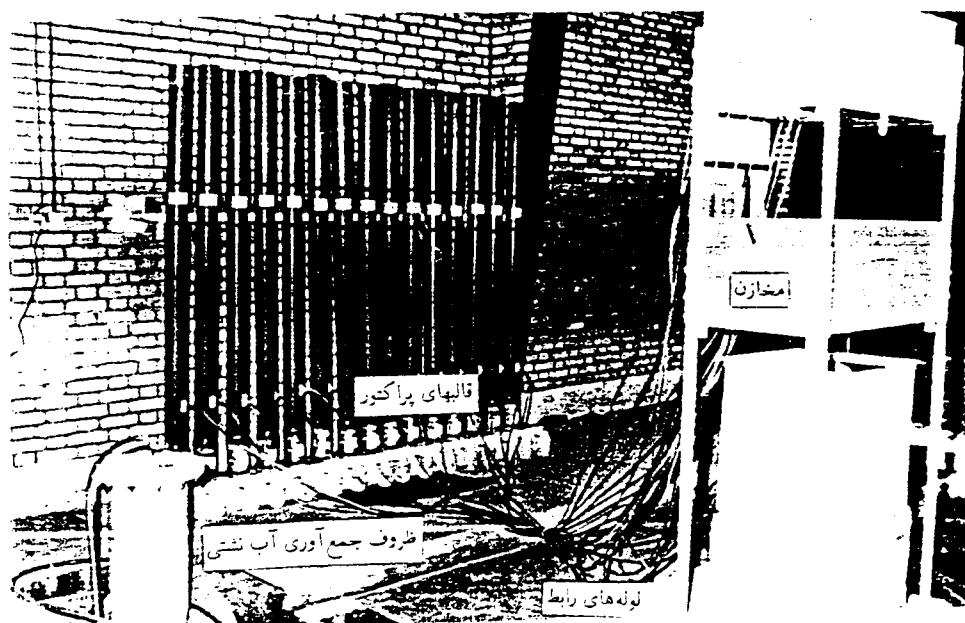
بصورت یکساخت است. به دلیل ساخت سازه آبی یا تراوش از منابع طبیعی (رودخانه، دریاچه،...) خاک تحت آشویی قرار گرفته و گچ به علت تراوش مداوم آب انحلال می‌یابد. در این حالت برخلاف حالت‌های مشابه آشویی در طبیعت، گچ فرصت تبلور مجدد را به صورت تبخیر یا ترسیب ندارد. این امر سبب می‌شود که خلل و فرج، در پروفیل خاک افزایش یافته و در نتیجه بر میزان نشست تأثیر بگذارد. بر این اساس، سه نوع خاک با خصوصیات مختلف از لحاظ درصد گچ و نیز بافت خاک از سه منطقه ذکر شده، تهیه شد. در ادامه نمونه‌های دست خورده (تهیه شده از اعماق ۱ الی ۳ متر) به صورت مجزا کاملاً مخلوط گردیدند تا توزیع گچ حتی الامکان یکساخت باشد. سپس نمونه‌ها در شرایط استاندارد از لحاظ مقدار رطوبت و انرژی تراکمی، در قالب‌های پراکتور، متراکم گردیدند. به منظور بررسی و ارزیابی اثر شیب هیدرولیکی بر فرآیند آشویی و هدایت هیدرولیکی، سه مخزن با ظرفیت تقریبی ۱۵۰ لیتر در سه ارتفاع مختلف قرار گرفت و توسط لوله‌های پلاستیکی به نمونه‌های خاک در قالب‌های استاندارد پراکتور متصل شد. همچنین آب نشست یافته از خاک نیز در ظرف‌های پلاستیکی سرپوش‌دار جمع‌آوری گردید (شکل ۱). علاوه بر شستشوی نمونه‌ها با آب مقطر، دو تیمار دیگر نیز در این مدل مورد بررسی قرار گرفت که در یکی از آنها از محلول ۰/۰۵ نرمال کلرور منیزیم برای تسریع در فرآیند انحلال و در دیگری از محلول ۱ به ۱۰۰۰ اگرالات سدیم برای تثبیت گچ در

منطقه اصفهان: این منطقه از لحاظ موقعیت جغرافیایی در طرح آبیاری و زهکشی نکوآباد و آبشار و در مختصات (۵۱°، ۳۰) تا (۵۱°، ۴۷) طول شرقی و (۳۲°، ۲۰) تا (۳۲°، ۴۵) عرض شمالی واقع شده است. براساس مشاهدات محلی، مشخص شد که خاک این منطقه نسبت به خاک دو منطقه مطالعاتی دیگر دارای بافت درشت تری است و حضور گچ در محل به واسطه انحلال از لایه‌های بالاتر و انتقال به اعماق پایین‌تر صورت گرفته است. بنابراین خاک، سه‌انتظامی بسیار متخلخل و ضعیف را پیدا کرده و در میان آن بلورهای درشت و تبلور گچ دیده می‌شود (۶).

منطقه شیراز: این منطقه از لحاظ موقعیت جغرافیایی در طرح آبیاری و زهکشی قیر و کارزین و در طول شرقی (۵۲°، ۵۰) تا (۵۳°، ۲۰) و عرض شمالی (۲۸°، ۰) تا (۲۸°، ۳۰) واقع گردیده است. در این منطقه فرم گچ به صورت رسوبات ثانویه بوده و گچ در نتیجه فعالیت‌های کشاورزی (انجام آبیاری) از قسمت فوقانی پروفیل خاک به قسمت‌های تحتانی انتقال یافته است. همچنین در بررسی‌های عینی از محل، بلورهای بسیار ریز گچ مشاهده شده است (۵).

مدل فیزیکی انحلال گچ در خاک:

به منظور شبیه‌سازی فرآیند آشویی در آزمایشگاه، مدل فیزیکی انحلال گچ در خاک تهیه شد. در ساخت مدل فرض بر آن بود که خاک منطقه مورد مطالعه، گچی بوده و پراکنش گچ در آن



شکل ۱ - نمایی از مدل فیزیکی تهیه شده برای اعمال شرایط آشویی بر خاک

خاک استفاده شد.

برنامه آزمایشها:

در این تحقیق، آزمایشها در سه بخش به شرح زیر انجام گرفت:

۱- آزمایشهای فیزیکی: شامل دانه بندی، تعیین وزن مخصوص، تعیین حدود آتربرگ و تراکم.

۲- آزمایشهای هیدرولیکی: شامل آزمایش نفوذپذیری با بار ثابت.

۳- آزمایشهای شیمیایی: شامل تجزیه شیمیایی خاک، تعیین درصد گچ و تعیین غلظت آب نشتی طی فرآیند آشویی.

باتوجه به تجربیات و تحقیقات قبلی، در کلیه آزمایشهای انجام شده، برای تعیین درصد رطوبت از دمای ۶۰ درجه سانتیگراد برای خشک کردن نمونه‌های خاک گچی استفاده و سپس با کاربرد روابط موجود، برای دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد تصحیح گردید (۹).

آزمایشهای فیزیکی: آزمایشهای فیزیکی برای تعیین مشخصات عمومی خاکها و همچنین تعیین خصوصیات اولیه مهندسی انجام می‌گیرد. در این قسمت، کلیه آزمایشها مطابق با استاندارد ASTM روی نمونه‌های خاک، قبل از آشویی انجام گرفت، بجز آزمایش دانه‌بندی که به خاطر مشکل فلوکوله شدن ذرات کوچکتر از ۰/۰۷۵ میلی‌متر (طی آزمایش سیدرومتری)، روش (هس، ۱۹۷۶) بکار گرفته شد (۱۱ و ۸).

آزمایشهای هیدرولیکی: منظور بررسی تغییرات میزان آب نشت یافته از خاک با زمان، آزمایش نفوذپذیری تحت بار ثابت، انجام شد. در این آزمون، میزان آب خروجی از نمونه‌های خاک تحت بار هیدرولیکی مختلف (مشابه با بارهای اعمال شده در کانالهای انتقال آب)، اندازه‌گیری شد و بعلاوه در آزمایشهای مربوطه به منظور دقت بیشتر، آب نشتی در هر ۲۴ ساعت جمع‌آوری و به عنوان نشت روزانه، تلقی گردید.

تیمارهای بکار رفته در این آزمایش بشرح زیر می‌باشد:

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

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

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

به منظور بررسی اثرات شستشوی گچ و بار هیدرولیکی بر تغییر ضریب نفوذپذیری، تیمارهای اول، دوم و سوم، مدنظر قرار گرفتند. این تیمارها از لحاظ شرایط تراکمی مشابه یکدیگر بوده، تنها تحت بارهای هیدرولیکی متفاوت قرار گرفتند. در هر سه تیمار، به منظور به حداکثر رساندن میزان آشویی و همچنین برای جلوگیری از امکان به وجود آمدن شرایط غیرقابل کنترل از لحاظ انحلال و یا ترسیب، از آب مقطر استفاده شد.

تیمار چهارم: خاک متراکم شده در رطوبت بهینه - آب اختلاط حاوی اگزالات سدیم به نسبت (۱/۱۰۰) - شستشو با آب مقطر به مدت ۹۰ روز تحت بار هیدرولیکی ۲۱۵ سانتی‌متر.

این تیمار به منظور بررسی اثر اگزالات سدیم در تثبیت گچ خاک اعمال گردید. بنابر مراجع موجود، این ماده در هنگام تماس با ذرات گچ تشکیل سولفات سدیم و اگزالات کلسیم را می‌دهد، سولفات سدیم، محلول بوده و می‌تواند در آب حل گردد، اما اگزالات کلسیم غیرقابل حل است (۲).

باتوجه به قیمت بالای اگزالات سدیم، استفاده از این ساده. مطابق با روش سابق (غرقاب خاک به مدت یک هفته با محلول ۱٪ ۱۰۰ اگزالات سدیم به آب (۱۰)) از لحاظ عملیات ژئوتکنیکی غیرقابل توجه است، بنابراین تصمیم بر آن شد تا در این تیمار ابتدا محلول فوق‌الذکر (به میزان رطوبت بهینه) با خاک مخلوط شده و سپس به مدت ۲۴ ساعت در داخل کیسه نایلونی سربسته نگهداری شود تا خاک فرصت انجام واکنش با محلول را داشته باشد و در ادامه کار، داخل قالب پراکتور در شرایط استاندارد متراکم گردد.

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

دلیل انتخاب این تیمار آن بود تا اثر شستشو با این محلول در افزایش میزان انحلال و در نتیجه تسریع در تغییر ضریب هدایت هیدرولیکی، مه‌رد بررسی قرار گیرد. در مورد شستشوی خاک گچی با کلرور منیزیم، دو نظر متضاد وجود دارد. یکی نظریه تانچر، در مورد استفاده از محلول ۰/۰۵ / نرمال کلرور منیزیم به منظور افزایش انحلال گچ تا حدود ۴ برابر، نسبت به آب مقطر و دیگری نظریه یوزر در مورد کاربرد این ماده برای کاهش نشت و بستن درز و شکافهای سنگهای آنهیدریتی می‌باشد که با توجه به موارد فوق، تیمار

آزمون نفوذپذیری قرار گرفتند که خلاصه نتایج مربوط به هدایت هیدرولیکی (حداکثر، حداقل و میانگین دوره)، برای تیمارهای مختلف در جدول ۲ و نمودارهای مربوط به تغییرات آن در طول دوره در شکل‌های ۲ الی ۷ آمده است.

آزمایش‌های شیمیایی: نتایج حاصل از آزمون‌های تعیین درصد گچ (آبشویی) و تجزیه شیمیایی خاک در جداول ۳ و ۴ و منحنی تغییرات غلظت آب نشتی و ضریب نفوذپذیری با زمان برای تیمار سوم در شکل‌های ۸ الی ۱۰ آورده شده است.

### بحث

با توجه به آنکه، یکی از اهداف این تحقیق بررسی تغییرات هدایت هیدرولیکی طی دوره آبشویی و اثرات احتمالی انحلال گچ بر این ضریب می‌باشد. لذا در ادامه به بررسی نتایج آزمایش نفوذپذیری و تأثیر تغییرات غلظت آب نشتی بر آن پرداخته می‌شود. ارزیابی نتایج آزمایش نفوذپذیری: همانطور که قبلاً نیز ذکر گردید، در این سری از آزمایش‌ها تأثیر ترکیبات مختلف بر حلالیت یا تثبیت گچ مورد ارزیابی قرار گرفته است:

الف) تأثیر آب مقطر: همانطور که از شکل ۲ استنباط می‌شود، در خاک اصفهان، در ابتدا هدایت هیدرولیکی بالا بوده و سپس کاهش سریع در ضریب مشاهده شد که در نهایت به مقدار ثابتی میل کرده است. همچنین با افزایش بار هیدرولیکی از ۷۵ به ۲۱۵ سانتی‌متر، مدت زمان این تغییرات از ۳۰ روز به ۳ روز کاهش یافته است. نتایج بدست آمده از این قسمت با تحقیقات گروت، مطابقت دارد. نتایج تحقیقات وی در این رابطه نشان می‌دهد که ظرفیت نشت خاک‌های گچی در مراحل اولیه آبشویی زیاد می‌شود اما این ظرفیت بعداً کاهش یافته و به سمت مقدار ثابتی میل می‌کند. در این حالت با

پنجم. یعنی شستشو باین ماده انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفت (۱۵ و ۱۶).

آزمایش‌های شیمیایی: در این بخش از تحقیق، خصوصیات شیمیایی خاک و آب به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفت:

- تعیین درصد گچ: برای بررسی اثر شستشوی گچ بر تغییرات هدایت هیدرولیکی خاکها، آزمایش تعیین درصد گچ (مطابق روش استون) برای کلیه تیمارها در دو حالت قبل و بعد از آبشویی و در سه تکرار انجام شد (۱۴).

- تجزیه شیمیایی نمونه‌ها: برای بررسی مشخصات شیمیایی نمونه‌های خاک و اثر احتمالی عناصر آن بر میزان انحلال گچ، نمونه‌های مناطق مختلف مورد تجزیه شیمیایی از لحاظ اسیدیته، هدایت الکتریکی، آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول، مقدار آهن، درصد اشباع و درصد مواد آلی قرار گرفتند (۱۴).

- تغییرات غلظت آب نشتی: در این سری از آزمایش‌ها بمنظور ارزیابی مراحل شستشوی گچ و تغییرات احتمالی آن، نمونه برداری‌هایی از آب نشت یافته از تیمار سوم طی دوره آبشویی، صورت گرفت. نحوه برداشت نمونه‌ها بدین صورت بود که در ابتدا پنج نمونه در پنج روز متوالی از سه منطقه گرفته شد، سپس مدت برداشت به دو روز افزایش یافت و پنج نمونه دیگر نیز بدین گونه تهیه گردید و در ادامه، نمونه‌گیری‌ها، هفته‌ای یکبار تا پایان دوره آبشویی ادامه یافت.

### نتایج

آزمایش‌های فیزیکی: نتایج آزمایش‌های فیزیکی به صورت خلاصه در جدول ۱، ارائه شده است.

آزمایش‌های هیدرولیکی: در این قسمت، تیمارهای اول تا پنجم مورد

جدول ۱ - خلاصه نتایج آزمایش‌های فیزیکی

وزن مخصوص	رطوبت بهینه	حداکثر وزن واحد حجم خشک	حد خمیری	حد روانی	نوع خاک	منطقه
(%)	(%)	(Mg/m <sup>۳</sup> )	(%)	(%)	(بونیفاید)	مطالعاتی
۲/۶۵	۱۵/۵۰	۱/۶۷۸	۲۷/۳۰	۳۸/۰۹	SM	اصفهان
۲/۶۰	۱۲/۷۵	۱/۸۲۰	۱۶/۷۰	۲۳/۱۲	SC	ساوه
۲/۵۲	۱۹/۲۵	۱/۶۸۱	۲۲/۷۵	۳۰/۵۷	CL	شیراز

جدول ۲ - خلاصه نتایج آزمایش نفوذپذیری - طی دوره آبتوی

تیمار	منطقه	k		
		میانگین (cm/sec)	حداکثر (cm/sec)	حداقل (cm/sec)
اول	شیراز	$4/6529 \times 10^{-7}$	$2/3905 \times 10^{-6}$	$5/1224 \times 10^{-8}$
اول	اصفهان	$1/3551 \times 10^{-6}$	$1/6744 \times 10^{-3}$	$1/2453 \times 10^{-5}$
اول	ساوه	$4/1075 \times 10^{-7}$	$6/8298 \times 10^{-7}$	$1/8213 \times 10^{-7}$
دوم	شیراز	$9/8646 \times 10^{-8}$	$6/3750 \times 10^{-7}$	0/0000
دوم	اصفهان	$3/1168 \times 10^{-5}$	$6/2900 \times 10^{-5}$	$9/5000 \times 10^{-6}$
دوم	ساوه	$2/2004 \times 10^{-6}$	$4/0938 \times 10^{-6}$	$5/3750 \times 10^{-7}$
سوم	شیراز	$1/2150 \times 10^{-7}$	$7/4109 \times 10^{-7}$	$3/1204 \times 10^{-8}$
سوم	اصفهان	$2/1168 \times 10^{-5}$	$1/8722 \times 10^{-4}$	$7/6059 \times 10^{-6}$
سوم	ساوه	$5/6505 \times 10^{-6}$	$1/1701 \times 10^{-5}$	$2/8083 \times 10^{-6}$
چهارم	شیراز	$1/3673 \times 10^{-7}$	$2/3403 \times 10^{-6}$	0/0000
چهارم	اصفهان	$2/0086 \times 10^{-5}$	$1/9502 \times 10^{-4}$	$4/5635 \times 10^{-6}$
چهارم	ساوه	$6/3692 \times 10^{-6}$	$1/3262 \times 10^{-5}$	$9/7511 \times 10^{-7}$
پنجم	شیراز	$5/4861 \times 10^{-7}$	$1/0531 \times 10^{-5}$	$1/6772 \times 10^{-7}$
پنجم	اصفهان	$8/1445 \times 10^{-6}$	$1/1700 \times 10^{-4}$	$3/5884 \times 10^{-6}$
پنجم	ساوه	$3/4311 \times 10^{-6}$	$2/0282 \times 10^{-6}$	$2/1843 \times 10^{-7}$

که ذرات کوچک گچ در مراحل اولیه آبتوی موجب گرفتگی خلل و فرج خاک شده و میزان نشت را به سرعت کاهش می دهند اما بعد از گذشت مدتی، با انحلال ذرات ریز گچ، میزان نشت افزایش می یابد. (ب) تاثیر انگرالات سدیم: برای تفسیر اثر انگرالات سدیم بر نفوذپذیری خاکهای گچی اشکال ۵ الی ۷ ارائه شده است. در خاک اصفهان، روند تغییرات مشابه تیمار سوم بوده و تأثیر محسوسی از بکارگیری انگرالات مشاهده نگردید. در خاک ساوه، روند تغییرات شبیه تیمار سوم می باشد با این تفاوت که متوسط مقدار آب نشت یافته در تیمار چهارم بیشتر بوده است علت آن هم احتمالاً این است که انگرالات سدیم تا حدی ساختمان خاک را حفظ و مانع پراکنده شدن ذرات خاک گردیده است. در خاک شیراز نیز، استفاده از این ماده تأثیر محسوسی در تغییر ضریب هدایت هیدرولیکی ایجاد نکرده است. بنابراین نتایج فوق، مؤید تأثیر بسیار ناچیز این ماده در تغییر میزان نشت خاکهای گچی مذکور می باشد.

ج) تأثیر کلرور منیزیم: در خاک اصفهان، شستشو با این ماده سبب کاهش ضریب هدایت هیدرولیکی نسبت به تیمارهای سوم و چهارم شده است. در خاک ساوه نیز این ماده اثر کاهنده بر ضریب

افزایش ضریب هدایت هیدرولیکی می توان دوره تغییرات k را کاهش داد (۱۳).

علل مختلفی برای کاهش سریع میزان نشت، ارائه شده است. به عنوان مثال، در ابتدای اشباع شدن، این کاهش به علت تغییر نسبت یونهای تبدلی و در نتیجه انتشار ذرات و بعدها به خاطر ایجاد ضعف در باندهای سیمانی، از هم پاشیدگی جزئی خاکدانه ها و نشست خاک تحت بار مرده رخ می دهد. در خاک ساوه، به طور کلی روند تغییرات مقدار نشت، صعودی می باشد که نهایتاً به مقدار ثابت میل کرده است. برای این رفتار می توان دلایلی از جمله حاکم بودن عامل انحلال گچ بر سایر عوامل مؤثر در تغییر هدایت هیدرولیکی و خاصیت پراکندگی ضعیف خاک اشاره نمود. بنابراین با افزایش درجه آبتوی، ظرفیت نشت در این خاک افزایش می یابد.

در خاک شیراز در ابتدا کاهش سریع در میزان نشت و بعد از گذشت مدت زمانی (حدود ۵۰ تا ۹۰ روز) افزایش آن مشاهده شده است. علت این امر با پدیده «گرفتگی» توجیه می شود. بدین صورت

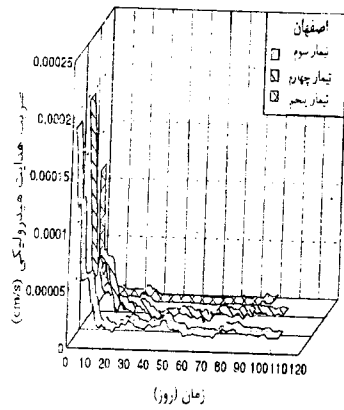
جدول ۳ - درصد آبیومی نمونه‌های خاک مورد مطالعه

شیراز	اصفهان		شیراز
	ساوه	منطقه	
۲/۴۲	۴/۶۱	۱۳/۰۲	اول
۶/۶۷	۸/۴۹	۲۴/۱۷	دوم
۹/۴۴	۲۹/۷۱	۴۳/۱۲	سوم
۷/۶۹	۱۲/۵۰	۱۵/۲۴	چهارم
۸/۸۶	۱۴/۰۰	۴/۱۰	پنجم

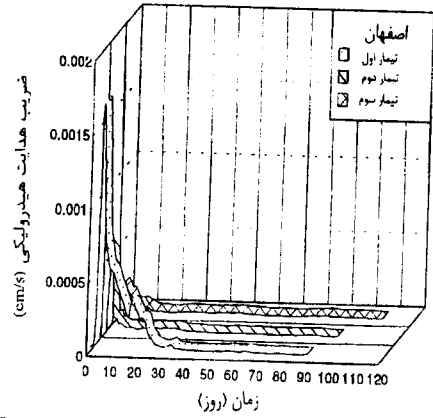
جدول ۴ - نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه

نام منطقه	S.P %	O.C %	CaCO <sub>3</sub> %	pH	EC dS/m	کاتیون و آنیون محلول								
						CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	Cl <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	مجموع آنیونها	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+1</sup>	K <sup>+</sup>
شیراز	۳۴/۴۱	۰/۵۳	۴۸/۵	۸/۶	۲۰/۹	۰/۸	۰/۴	۱۴۹/۴	۸۰/۰۰	۲۳۰/۶	۱۴/۰	۷۰/۰	۱۵۰/۰	۱۳۴/۰
اصفهان	۳۹/۸۹	۰/۳۳	۲۴/۵	۸/۰	۲۵/۰	-	۲/۰	۱۸۸/۰	۵۸/۸۸	۲۴۸/۹	۳۴/۰	۳۸/۰	۱۷۷/۹	۲۴۹/۹
ساوه	۲۹/۳۷	۰/۰۹	۲۰/۷	۸/۲	۲/۸۵	-	۰/۸	۴/۰	۲۲/۵۲	۲۷/۴	۱۶/۰	۴/۰	۱۰/۸	۳۰/۸

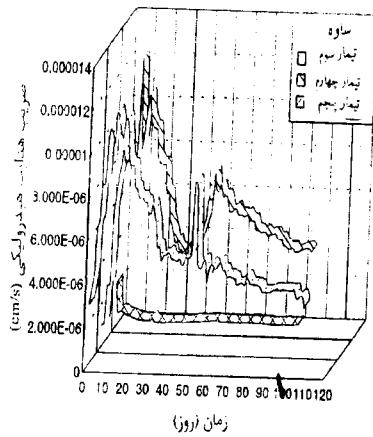




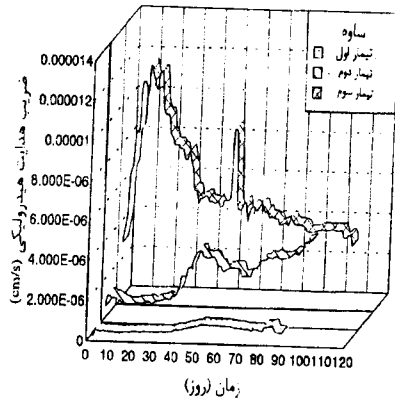
شکل ۵- تغییرات ضریب هدایت هیدرولیکی طی دوره آیشویی- تیمارهای سوم الی پنجم - خاک اصفهان



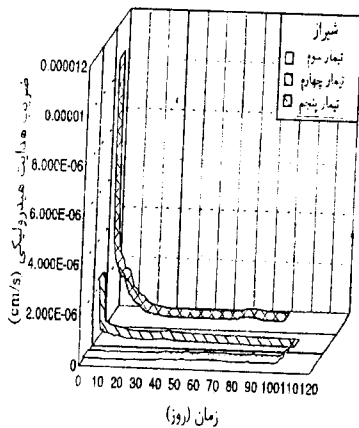
شکل ۲- تغییرات ضریب هدایت هیدرولیکی طی دوره آیشویی- تیمارها- اول الی سوم - خاک اصفهان



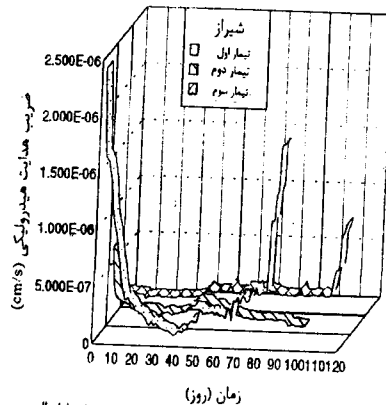
شکل ۶- تغییرات ضریب هدایت هیدرولیکی طی دوره آیشویی- تیمارهای سوم الی پنجم - خاک ساوه



شکل ۳- تغییرات ضریب هدایت هیدرولیکی طی دوره آیشویی- تیمارهای اول الی سوم - خاک ساوه



شکل ۷- تغییرات ضریب هدایت هیدرولیکی طی دوره آیشویی- تیمارهای سوم الی پنجم - خاک شیراز

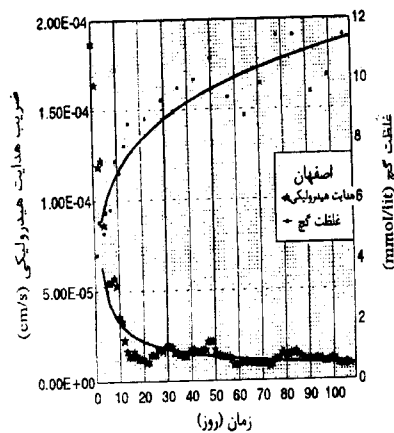


شکل ۴- تغییرات ضریب هدایت هیدرولیکی طی دوره آیشویی- تیمارهای اول الی سوم - خاک شیراز

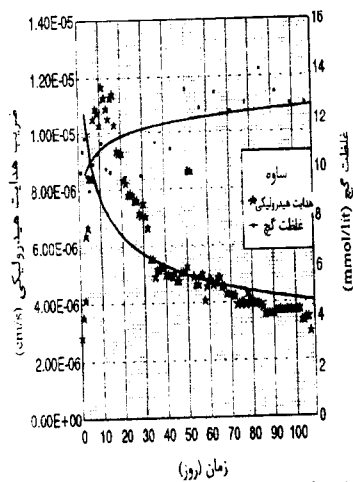
نشت داشته و به طوری که از شكا، ۶ استنباط می‌شود، این تأثیر بسیار زیاد بوده است. در خاک شیراز، به علت خاصیت این ماده در افزایش انحلال ذرات ریز گچ نسبت به آب مقطر، به طور متوسط میزان نشت در این تیمار نسبت به دو تیمار سوم و چهارم بیشتر بوده است.

از این آزمایشها می‌توان نتیجه گرفت که در خاکهای درشت دانه، با کاهش اندازه ذرات، تأثیر کلرور منیزیم در کاهش ضریب هدایت هیدرولیکی بیشتر می‌شود. اما در خاکهای ریز دانه به علت افزایش میزان انحلال ذرات گچ، این اثر حالت معکوس پیدا کرده و میزان نشت نسبت به تیمارهای مشابه افزایش یافته است. در واقع برای آنکه نتیجه مطلوب از کاربرد این ماده حاصل آید، باید نقش تثبیت کنندگی این ماده بر میزان انحلال آن (در خاک گچی مورد نظر) برتری داشته باشد.

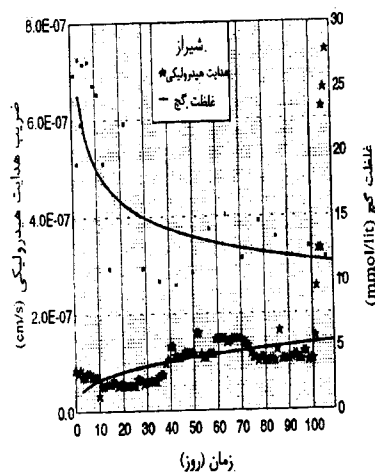
ارزیابی نتایج آزمایش تعیین غلظت آب نشتی: در این سری آزمایشها، از آب نشت یافته تحت بار هیدرولیکی ۲۱۵ سانتی‌متر (تیمار سوم) نمونه‌گیری به عمل آمد و غلظت گچ در آب اندازه‌گیری شد. همانطور که انتظار می‌رفت، تغییرات غلظت گچ در آب نشتی در کلیه نمونه‌های خاک، دارای روندی معکوس با تغییرات ضریب نفوذپذیری است (اشکال ۸ الی ۱۰). بدین ترتیب که با افزایش این ضریب، غلظت کاهش می‌یافت و بالعکس. براساس نتایج بدست آمده، دامنه تغییرات غلظت گچ در آب نشت یافته از خاکهای اصفهان ساوه و شیراز به ترتیب (۴/۲ تا ۱۱/۴۵)، (۹/۱ تا ۱۳/۳) و (۱۰ تا ۲۶) میلی‌مول در لیتر بوده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، در خاک شیراز، میزان انحلال گچ در آب نشتی تقریباً دو برابر میزان انحلال گچ در خاک اصفهان می‌باشد. از این قرائن، تأثیر سرعت جریان آب و اندازه و احتمالاً شکل بلور بر میزان انحلال گچ مشخص می‌شود. در خاک شیراز با توجه به آنکه سرعت جریان آب کمتر است، تأثیر عامل مدت زمان آبخوبی بر انحلال بلورهای گچ بارزتر است زیرا بلور گچ این خاک از نوع ریز و عدسی شکل بوده که نسبت به بلورهای گچ دو نمونه دیگر دارای سطح ویژه بیشتری می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در مطالعات خاکهای گچی ارائه یک رقم معین برای میزان و یا سرعت انحلال گچ نمی‌تواند صحیح باشد و با توجه به نتایج تحقیقات انجام شده توسط سایر محققین، باید عواملی از جمله: اندازه ذرات، قدرت یونی، یونهای مشترک، زوج یونی، دما، سرعت جریان، قلیائیت، شکل بلور، بافت



شکل ۸- تغییرات غلظت گچ در آب نشتی و ضریب هدایت هیدرولیکی طی مدت آبخوبی- تیمار سوم- خاک اصفهان



شکل ۹- تغییرات غلظت گچ در آب نشتی و ضریب هدایت هیدرولیکی طی مدت آبخوبی- تیمار سوم- خاک ساوه



شکل ۱۰- تغییرات غلظت گچ در آب نشتی و ضریب هدایت هیدرولیکی طی مدت آبخوبی- تیمار سوم- خاک شیراز

آبشویی با کلرور منیزیم، علیرغم اینکه باعث تسریع فرآیند آبشویی گچ (به علت انحلال ذرات ریز گچ) در مراحل اولیه شد، اما به علت تأثیر دوگانه این ماده و رسوب مجدد ذرات گچ، عملاً مقدار نفوذ پذیری را کاهش داد.

۴- باتوجه به مجموعه نتایج این تحقیق می توان نتیجه گرفت که کمیت گچ در یک خاک به تنهایی نمی تواند تعیین کننده کیفیت و رفتار خاک باشد. لذا برای هر پروژه، لازم است ضمن تعیین کدیت و کیفیت گچ خاک، اثر بافت و در نتیجه سرعت آب نشستی بر نحوه انحلال و رفتار هیدرولیکی آن مطابق شرایط طرح مورد بررسی قرار گیرد.

### سپاسگزاری

نظر به اینکه اعتبارات مالی این تحقیق توسط حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه تهران و دانشکده کشاورزی تأمین شده است. لذا مؤلفین مراتب قدردانی خود را از مساعدتهای مذکور اعلام می درند.

و ساختمان خاک، کیفیت آب نشستی و درجه تکامل بلور را در این ارتباط مد نظر قرار داد (۳).  
باتوجه به مطالب عنوان شده، می توان نتایج تحقیق را بشرح زیر خلاصه نمود:

۱- در خاکهای گچی، شرایط محیطی در نحوه ایجاد بلور گچ، تشکیل اتصالات سیمانی ذرات و ساختار فاز جامد خاک نقش بسزایی دارد. آبشویی نمکها همراه با تغییر کمپلکس یونی نمکها باعث پراکندگی و تغییر در ظرفیت نگهداری آب در خاک شده و در نهایت، این عوامل نه تنها بر ویژگیهای نشت، بلکه بر کلیه پارامترهای فیزیکی خاک موثر است.

۲- تغییر ضریب نفوذپذیری خاکهای گچی در مراحل اولیه به دلیل حرکت ذرات و پراکنش خاک نسبتاً زیاد بوده اما به تدریج کاهش یافته و نهایتاً به مقدار ثابتی میل می کند. در این حالت افزایش بار هیدرولیکی می تواند دامنه این تغییرات را کاهش دهد.

۳- نتایج آزمایشها نشان داد که استفاده از اگزالات سدیم، اثر قابل ملاحظه ای بر شرایط نفوذپذیری خاکها نداشته است. همچنین،

### REFERENCES

#### مراجع مورد استفاده

- 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 سازه های آبی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.
- ۳- حیدری، آ. ۱۳۷۴. بررسی چگونگی پیدایش و طبقه بندی خاکهای گچی جنوب غربی گیلان غرب - کرمانشاه. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.
- ۴- شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس. ۱۳۶۷، طرح آبیاری و زهکشی و فرقان و ساوه. گزارش مکانیک خاک مسیر کانالهای آبیاری، واحد عمرانی شماره ۱، سازمان آب منطقه ای.
- ۵- شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس. ۱۳۷۵. طرح آبیاری و زهکشی دشتهای پایاب سد سلمان فارسی. گزارش وضع موجود آبیاری، سازمان آب منطقه ای فارس.
- ۶- مهندسین مشاور سوگراه. ۱۳۵۳. استفاده از غشاهای پلاستیکی نفوذ ناپذیر برای عایق بندی کانالهای اصلی اصفهان واقع در اراضی گچدار. نشریه کمیته ملی آبیاری و زهکشی.
- ۷- نژادهاشمی، ا. پ. ۱۳۷۶. تهیه مدل فیزیکی و ریاضی انحلال گچ در خاکها و اثر آن بر تحکیم پذیری خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

8. American Society for Testing and Materials. 1993 . Soil and rock. ASTM standards. Section 4, Vol.

9. Arakelvan, E.A. 1986 . Characteristics of the determination of the physical properties of gypsum soils. Soil Mech. & Found. Eng. , Vol. 23(1): 27-29
10. FAO. 1990. Managment of gypsiferous soils. Soils Bulletin, Rome, No. 62
11. Hesse, P.R. 1976 . Particle size distribution in gypsic Soils. Plant and Soil Jour. 44: 241-247
12. Keren, R. & G.A. O'Connor. 1982 . Gypsum dissolution and sodic soil reclamation as affected by water flow velocity. Soil Sci. Soc. Am. Journal, Vol. 46: 726-732
13. Petrukhin, V.P. 1993 . Construction of structures on saline soils. Balkema Pub. : 252 pp
14. SCS. 1972 . Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples. Soil Survey Investigation Report No. 1: 63 pp
15. 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 & Technology, Vol. 3: 656-661
16. Yuzer, E. 1981 . Engineering properties of evaporites & evaporitic formations of Turkey. Symp. on Eng. Geology, Istanbul-Turkey: 107-110

## Investigation of Permeability of Gypsiferous Soils During Leaching Process

**A. P. NEJADHASHEMI , Sh. MAHMOODI AND H. RAHIMI**

Former Graduate Student, Associate Professor and Professor , Faculty of  
Agriculture, University of Tehran Karaj, Iran.

Accepted, Jun. 5, 2000

### SUMMARY

Prediction of the rate of flow through the natural soils, sediments, or compacted soils is a common practical problem. It is even more serious when permeability changes with time due to consolidation and / or solubilization of soil materials. Therefore, a reliable method for determination of hydraulic characteristics and Their changes during leaching is necessary. First, the relevant information about properties of gypsiferous soils, particularly their hydraulic conductivity were collected. Next, three disturbed samples were taken each from a different province of Iran with gypsiferous soil, namely, Vafrahan plains in Saveh, Nekoo-Abad and Abshar plain in Isfahan, and Ghir-Karzin Plain in Fars Province. The samples contained (16-22), (21-32) and (6-10) percent gypsum, respectively. The samples were analysed for physical (size distribution, Atterberg limits, specific gravity and compaction), Hydraulic (permeability) and chemical (gypsum content of soil and leachates, soluble salts in soil) properties. To investigate the process of solution and fixation of gypsum in soils, a physical model was devised and tested under the following conditions:

- leaching by distilled water under 75 cm. hydraulic head for a period of 90 days.
  - leaching by distilled water under 135 cm. hydraulic head for a period of 90 days.
  - leaching by distilled water under 215 cm. hydraulic head for a period of 90 days.
  - leaching the sodium oxalate stabilized soil samples, by distilled water under 215cm. hydraulic head for a period of 90 days.
  - leaching by magnesium chloride solute (5% normal) in order to increase the solubility of gypsum, under 215 cm. hydraulic head for a period of 90 days.
- The results showed that the soil samples from Isfahan, Saveh and Shiraz were classified as SM, SC and CL according to UNIFIED soil classification system, respectively. Degree of leaching for three samples were (13.0-43.1), (4.3-30.1)

and (2.9-9.4) percent, respectively. An inverse relationship was observed between hydraulic conductivity and gypsum concentration in leachate.

Permeability test showed that in gypsiferous soils, this parameter is a function of soil texture and gypsum crystal forms, where it may however decrease, increase or remain constant during leaching. Due to the movement of soil particles and solubilization of gypsum at the beginning, the range of permeability coefficient was relatively high, while gradually decreased to a constant value. By increasing hydraulic head, range in variation decreased.

**Key words:** Permeability, Gypsiferous soils, Leaching