ارزیابی تأثیر برخی عوامل محیطی بر میزان انحلال گچ در خاک‌های گچی

نادر عباسی[1*] و علی عباس افشاریان[2]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۱۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۲۵)

چکیده

خاک‌های گچی از جمله خاک‌های مشکل‌آفرین است که در اثر تماس با آب و انحلال، تهدیدی برای انواع سازه‌های عمرانی به‌ویژه سازه‌های آبی محسوب می‌شوند. عوامل متعددی بر میزان و شدت انحلال ذرات گچ تأثیر دارند. نوع گچ، بافت خاک، میزان گچ موجود در خاک، شیب هیدرولیکی و دمای محیط و آب جاری از محیط خاک گچی، از جمله مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت و کمیت انحلال است. در این پژوهش، اثر عوامل محیطی شامل شیب هیدرولیکی و دمای آب در میزان انحلال گچ مورد بررسی قرار گرفته است. بدین‌منظور ابتدا نمونه‌های خاک گچی به‌طور مصنوعی و با افزودن مقادیر مختلفی از سنگ گچ طبیعی شامل صفر، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی به یک خاک با بافت رسی تهیه و سپس هریک از نمونه‌های خاک گچی تحت شیب‌های هیدرولیکی مختلف شامل ۰/۵، ۱، ۲، ۵ و ۱۰ آبشویی شدند. نتایج آزمایش‌های انجام شده، نشان داد با افزایش درصد گچ، میزان انحلال خاک نیز افزایش می‌یابد. همچنین شدت آبشویی یعنی نسبت مقدار گچ خارج شده از خاک به‌مقدار گچ اولیه موجود در خاک، با افزایش درصد گچ خاک کاهش می‌یابد. علاوه‌بر این، با افزایش شیب هیدرولیکی، سرعت خروج آب و در نتیجه مقدار آب خارج شده از محیط خاک گچی در مدت زمان معین افزایش یافته و میزان گچ بیشتری از محیط خارج می‌شود. همچنین، مقدار دما تأثیر مستقیمی بر میزان انحلال دارد، به‌طوری‌که با افزایش دما میزان انحلال در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، ۲/۵ برابر میزان انحلال در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد و ۱/۶ برابر میزان انحلال در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد است.

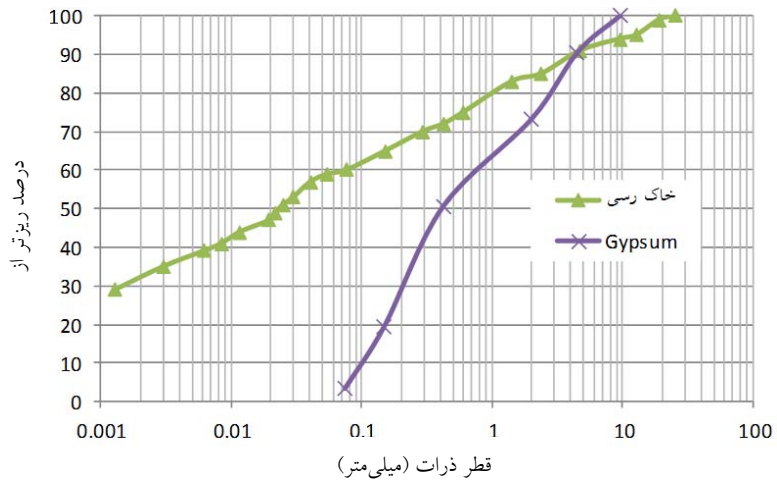
واژه‌های کلیدی: خاک گچی، سرعت انحلال، شیب هیدرولیکی و دما

۱. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج
۲. شرکت سهامی آب و فاضلاب، استان ایلام
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: nader_iaeri@yahoo.com

مقدمه

احداث شبکه‌های آبیاری و زهکشی در اراضی پایاب سدهای کشور یکی از راهبردهای اصولی برای سازگاری با وضعیت بحرانی منابع آب و استفاده بهینه از منابع آب محدود در دسترس می‌باشد. در این راستا، تاکنون بیش از ۲ میلیون هکتار از اراضی تحت کشت آبی به شبکه‌های مدرن آبیاری و زهکشی مجهز گردیده است (۴) براساس برنامه‌های توسعه‌ای کشور و پتانسیل‌های موجود این رقم به حدود ۴ میلیون هکتار افزایش خواهد یافت. بدین ترتیب، هنوز از نظر کمی توان بالقوه زیادی در افزایش سطح زیر شبکه‌های مدرن آبیاری و زهکشی وجود دارد و با انجام این مهم، حجم زیادی از منابع آب و خاک کشور در چرخه تولید قرار می‌گیرد (۴ و ۱۲). بررسی‌های انجام شده در خصوص عملکرد و وضعیت بهره‌برداری این شبکه‌ها نشان داده‌اند که اغلب آنها در مراحل مختلف بهره‌برداری دچار مسائل و مشکلات عدیده‌ای می‌گردند که نیل به اهداف اولیه این طرح‌ها را مورد مخاطره قرار می‌دهد. عدم توجه کافی به ویژگی‌های ژئوتکنیکی بستر و نیز وجود خاک‌های مشکل‌آفرین در بستر این گونه سازه‌ها از دلایل اصلی تخریب پوشش کانال‌ها و سایر تأسیسات موجود در شبکه‌های آبیاری و زهکشی به‌شمار می‌رود (۱۷ و ۱۸). خاک‌های گچی، واگرا، متورم شونده، رمبنده و روان‌گرا از جمله خاک‌های مشکل‌آفرین می‌باشند که به‌واسطه حضور در پی اغلب سازه‌های عمرانی مشکلاتی را برای سازه‌های بنا شده روی آنها به‌وجود می‌آورند. این موضوع در شبکه‌های آبیاری و زهکشی که بستر سازه‌های آن همواره در تماس با آب می‌باشد، نمود بیشتری دارد و لذا شناخت همه جانبه رفتار خاک‌ها به‌عنوان مصالحی که ناگزیر بخش غیر قابل تفکیکی از اغلب سازه‌های آبی را تشکیل می‌دهد، می‌تواند نقش مؤثری در اصلاح روش‌های طراحی داشته باشد و دست‌یابی به تجزیه و تحلیل‌های واقع گرایانه را ممکن سازد (۱). خاک‌های گچی از جمله خاک‌های مشکل‌آفرین است که تهدید بزرگی برای انواع سازه‌های عمرانی به‌ویژه سازه‌های آبی محسوب می‌شود. ذرات گچ موجود در خاک در اثر تماس با آب و انحلال، همراه با جریان آب از محیط خارج شده و باعث به‌وجود آمدن حفرات بزرگ در زیر سازه و نهایتاً نشست و تخریب آن می‌گردد (۶). در دهه‌های اخیر تخریب سازه‌های استقرار یافته روی خاک‌های گچی، مشکلات عدیده‌ای را ایجاد کرده است. براساس گزارش‌های موجود، سازه‌های متعددی در سراسر دنیا به‌دلیل وجود گچ، تخریب شده و به تبع آن خسارت مالی و حتی جانی زیادی را به‌وجود آورده است (۱). مشکلات سازه‌های بنا شده روی زمین‌های گچی، اولین بار در سال ۱۹۲۷ در اسپانیا به‌دلیل تخریب کانال‌های تازه تأسیس رخ داد. به‌طوری‌که در بسیاری از قسمت‌ها، سازه فوقانی نشست کرده و در بعضی مناطق نیز موجب تخریب و یا تغییر شکل پوشش کانال شده است. شکست سد سنت فرانسیس در ایالت کالیفرنیای آمریکا در ماه مارچ سال ۱۹۲۸ که منجر به مرگ تعداد زیادی از اهالی گردید به‌علت مواد انحلال‌پذیر بود. تخریب و فروریختگی کانال‌های سلهابیه در حوضه رودخانه فرات در کشور سوریه، ایجاد حفرات فرسایشی متعدد در کانال‌های احداث شده در منطقه مادرید در کشور اسپانیا، از جمله مواردی هستند که علت وقوع آنها وجود رگه‌های گچی در پی این سازه‌ها و انحلال آن عنوان شده است (۱). مساحت اراضی گچی در ایران بیش از ۲۸ میلیون هکتار برآورد می‌شود که در حدود ۱۷ درصد سطح کل کشور را شامل می‌شود (۱۱). مشکلات ایجاد شده در سازه‌های عمرانی و هیدرولیکی در اثر وجود خاک گچی در بستر سازه‌ها در ایران نیز سابقهٔ طولانی دارد. تخریب و فروریختگی کانال اصلی ساحل راست نکوآباد و کانال مهیار در حوضه رودخانه زاینده رود در اصفهان از بارزترین مثال‌ها در خصوص تخریب کانال در اثر وجود خاک گچی در بستر کانال می‌باشد (۱). یکی دیگر از کانال‌های انتقال آب خسارت‌دیده بر اثر ساخته شدن برروی اراضی گچی، کانال اصلی (کانال A) شبکه بهبهان است. در قسمت‌هایی از این کانال که بر روی خاک‌های گچی بنا شده، پس از آب‌اندازی کانال در اثر نشت آب به زیر کانال و انحلال گچ، حفره‌های بزرگی در زیر بستر

کانال به‌وجود آمده و نهایتاً منجر به تخریب پوشش بتنی گردیده است (۵). تخریب کلی کانال و آبشستگی مسیر کانال انتقال آب سیمین دشت به گرمسار در اثر ایجاد ترک و شکستگی در بستر بتنی کانال، ایجاد ترک و باز شدگی طولی و عرضی در خاکریزها به‌واسطه وجود سازندهای نامقاوم گچی – نمکی در مسیر کانال، نشت قابل ملاحظه آب در سد مخزنی قیصراغ تبریز، ایجاد ترک‌های شدید و فرار آب از مخزن زیرزمینی آب آشامیدنی جزیره هنگام در خلیج فارس از موارد دیگر اثرات گچ در خاک می‌باشد که بر اثر شسته شدن بخشی از سنگ‌های نمکی واقع در زیر پی سازه رخ داده است (۱۶ و ۱۹). در چند دهۀ اخیر، تحقیقات پراکنده‌ای در خصوص شناسائی خاک‌های گچی و مکانیزم‌های کنترل انحلال آن و نیز اقدامات علاج‌بخشی در مواجهه با این نوع خاک‌ها صورت گرفته است. یغماییان و گیوی با بررسی و مقایسه روش‌های مختلف اندازه‌گیری گچ در خاک‌های اصفهان بیان کردند عامل اصلی در تفاوت در دقت روش‌ها، نوع عصاره‌گیر گچ بوده و از بین عصاره‌گیرهای موجود، روش کربنات سدیم از کارآیی بیشتری برخوردار است (۳). وجود تقریباً ۲۰٪ گچ در خاک‌ها، ویژگی‌های ژئوتکنیکی آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهد و موجب می‌شود که توزیع اندازه ذرات و حدود اتربرگ که برای طبقه‌بندی خاک‌ها استفاده می‌شود، مقادیر واقعی خود را نشان ندهند (۷). همچنین، بررسی‌ها نشان داده است که وجود گچ در خاک نه تنها بر ساختمان خاک بلکه بر تخلخل نیز تأثیر دارد که به نوبه خود بر ویژگی‌های مکانیکی و ظرفیت نفوذ خاک اثر می‌گذارد (۱۴). گچ، خمیرایی خاک‌های رسی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌دهد. افزایش مقدار گچ، همواره سبب کاهش حد خمیری و شاخص خمیرایی خاک می‌شود. هرچه مقدار ذرات رس خاک بیشتر باشد، تأثیر گچ خاک برروی خمیرایی آن بیشتر می‌شود. تأثیر گچ برروی حد روانی خاک بیشتر از حد خمیری است. با افزایش مقدار گچ در خاک‌های گچی، چگالی خاک کاهش می‌یابد زیرا گچ از سبک‌ترین کانی‌ها با چگالی (gr/cm۳) ۲/۳۲ می‌باشد (۱۳). افزایش دما باعث افزایش میزان حلالیت گچ می‌شود، به‌طوری‌که حداکثر میزان انحلال در دمای ۵۰ – ۳۵ درجه سانتی‌گراد اتفاق می‌افتد (۸). نفوذپذیری در خاک‌های گچی با توجه به‌میزان گچ در خاک، آرایش میکرو و ماکرو بلورهای گچ، بافت خاک و شکل بلورهای گچ متفاوت است و ممکن است طی آبشویی، یکی از سه روند صعودی، نزولی و یا ثابت را داشته باشد. همچنین تغییرات ضریب نفوذپذیری خاک‌های گچی در مراحل اولیه، به‌دلیل حرکت ذرات خاک و شسته شدن گچ نسبتاً زیاد بوده اما تدریجاً کاهش می‌یابد ونهایتاً به‌مقدار ثابتی میل می‌کند (۱۵ و ۲). خصوصیات فیزیکی و شیمیائی خاک‌های گچی از جمله جرم مخصوص، نسبت تخلخل وهمچنین تعیین درصد رطوبت با سایر خاک‌ها متفاوت است به‌طوری‌که این خاک‌ها دارای جرم مخصوص حقیقی کمتری نسبت به خاک‌های مشابه بوده و طی فرآیند آبشوئی جرم مخصوص حقیقی آنها افزایش می‌یابد که باعث بالارفتن نسبت تخلخل و به‌تبع آن، وقوع نشست می‌شود (۸). در مطالعات دیگری که روی تعدادی از خاک‌های گچی مناطق مختلف ایران انجام شد، چگونگی تغییرات رطوبتی خاک در دماهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که حداکثر تغییرات در دمای بین ۴۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد رخ داده و در دماهای بالاتر تغییر قابل ملاحظه‌ای رخ نخواهد داد. نتایج این تحقیقات با نتایج تحقیق آراکلیان مطابقت بسیار نزدیکی دارد (۱۴). علیرغم وجود سطح وسیعی از اراضی گچی در ایران، متأسفانه تحقیقات فنی و دقیق زیادی در زمینۀ مشخصات ژئوتکنیکی و مسائل و مشکلات ناشی از وجود گچ در رابطه با سازه‌های آبی صورت نگرفته است. احداث سازه‌های آبی در اراضی و مناطقی با خاک‌های گچی به‌واسطه قابلیت انحلال ذرات گچ همواره با تهدیدهایی همراه است. شناخت ماهیت رفتاری و مکانیزم انحلال گچ یکی از اقدامات اساسی در مواجهه با این گونه خاک‌ها است. بدیهی است که عوامل متعددی بر این پدیده تأثیرگذار هستند که هرکدام نیاز به مطالعه و بررسی جامعی دارند. در این پژوهش، سعی شده است تأثیر عوامل محیطی از جمله دما و شیب هیدرولیکی در



شکل ۱. منحنی تجمعی دانه‌بندی نمونه‌های مورد بررسی

جدول ۱. مشخصات فیزیکی خاک مورد بررسی

بافت (٪)			مشخصات تراکمی (آزمایش پراکتور استاندارد)	حدود آتربرگ (درصد)		طبقه‌بندی (یونیفاید)
رس	سیلت	شن و ماسه	رطوبت بهینه	وزن واحد حجم ماکزیمم (gr/cm^3)	حد روانی	حد خمیری	
۳۰	۲۶	۴۴	۱۷	۱/۶۸	۶۰	۳۳	CH

جدول ۲. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه مورد بررسی

pH	EC (dS/m)	آنیون‌ها (meq/lit)				جمع آنیون‌ها	کاتیون‌ها (meq/lit)			جمع کاتیون‌ها
		CO_3^{-2}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{-2}		$Mg^{+2} + Ca^{+2}$	Na^+	K^+	
۷/۷۵	۳/۸۴	–	۲	۱۸۵	۶۲/۵	۲۴۹/۵	۲۲/۸	.۱۷۷	۳۵	۲۳۴/۸

انحلال‌پذیری نمونه‌های خاک با بافت رسی بررسی گردد.

مواد و روش‌ها

مشخصات نمونه‌های خاک

نمونه‌های خاک مورد بررسی از اراضی مهران استان ایلام تهیه گردیده است. در این پژوهش، نمونه خاک‌های گچی، با افزودن مقادیر مختلف سنگ گچ طبیعی به خاک تهیه گردیدند. بدین‌منظور، سنگ گچ پس از خرد شدن در مقادیر مختلف به نمونه خاک‌های طبیعی اضافه و خاک گچی با درصد معین گچ تهیه گردید. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیائی خاک‌ها قبل از اختلاط آنها با سنگ گچ تعیین شد. این ویژگی‌ها شامل دانه‌بندی، حدود آتربرگ، مشخصات تراکمی وآنالیز شیمیایی (تعیین آنیون‌ها و کاتیون‌های مهم، تعیین pH و EC) می‌باشد. منحنی دانه‌بندی نمونه خاک و گچ مورد استفاده برای تهیه نمونه‌های خاک گچی در شکل (۱) و مشخصات فیزیکی و شیمیائی نمونه خاک به‌ترتیب در جدول‌های (۱) و (۲) ارائه

گردیده‌اند. با توجه به اینکه برای متراکم کردن نمونه خاک‌ها داخل سلول آبشویی، نیاز به رطوبت بهینه و دانسته خشک ماکزیمم آزمایشگاهی بوده است، لذا برای تعیین مشخصات تراکمی خاک‌ها با مقادیر مختلف گچ، آزمایش تراکم استاندارد مطابق استاندارد ASTM D 644-05 بر روی ترکیب‌های مختلف انجام شد تا نمونه‌های مورد نظر با درصد رطوبت بهینه و وزن واحد حجم خشک حداکثر به‌دست آمده از این آزمایش ساخته شوند.

معرفی تیمارها

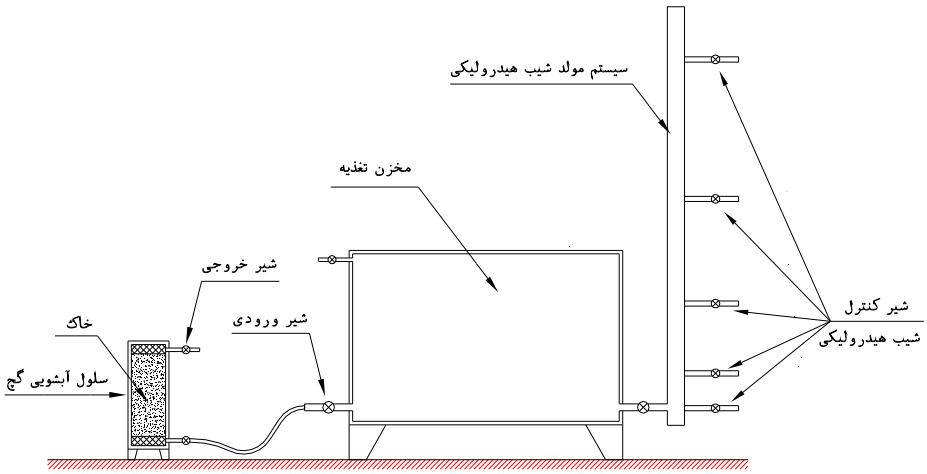
با توجه به هدف پژوهش که بررسی تأثیر دما و شیب هیدرولیکی بر سرعت انحلال خاک‌های گچی بوده است، نمونه‌های خاک گچی به‌طور مصنوعی با افزودن مقادیر مختلفی از سنگ گچ طبیعی شامل صفر، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی به یک نوع خاک رسی تهیه گردید. سپس هر یک از نمونه‌های گچی تحت شیب‌های هیدرولیکی مختلف شامل ۰/۵، ۱، ۲، ۵ و ۱۰ (واحد) مورد آزمایش آبشویی قرار گرفتند. بدین ترتیب تعداد ۲۵ تیمار آزمایشی تهیه شد و هر تیمار در سه تکرار و در کل ۷۵ آزمایش آبشویی انجام گرفت.

پس از معرفی تیمارها، بیان طرح آزمایشی و روش تجزیه و تحلیل آماری ضرورت دارد.

معرفی مدل فیزیکی انحلال گچ در خاک

در این پژوهش، با توجه به ماهیت و تعداد آزمایش‌های آبشویی مورد نظر برای بررسی میزان انحلال گچ، دستگاه آزمایشگاهی خاصی طراحی و ساخته شد. این دستگاه دارای سه قسمت اصلی شامل سلول دستگاه، سیستم ایجاد شیب هیدرولیکی دلخواه و مخزن رابط برای تغذیه هم‌زمان چند سلول آبشویی است. ایده اولیه برای ساخت سلول آبشویی، قالب تراکم استاندارد بود ولی با توجه به حجم کم این قالب و نیاز به‌دقت بیشتر، قالب مشابه با آن ولی با ابعاد بزرگ‌تر ساخته شد. این قالب به شکل استوانه‌ای به طول کلی ۳۴ سانتی‌متر و طول مؤثر برای نمونه خاک ۲۰ سانتی‌متر و قطر داخلی ۱۳ سانتی‌متر است. به‌طوری‌که در بالا و پایین نمونه در ضخامتی معادل ۷ سانتی‌متر، یک عدد صفحه متخلخل مشبک از جنس ورق گالوانیزه و یک لایه ژئوتکستایل به‌منظور جلوگیری از حرکت و مهاجرت ذرات جامد و یک عدد شیر برای خروج آب (در قسمت بالایی نمونه) و یا ورود آب (در قسمت پایینی نمونه) تعبیه شده است. جنس قالب یا سلول آبشویی از پلی‌اتیلن با فشار زیاد (۱۰ اتمسفر) بوده و برای تثبیت و آب‌بندی بالا و پایین سلول از فلنج ۲۰۰ میلی‌متری با فشار کار ۱۰ بار و واشر تخت لاستیکی استفاده شد. فلنج‌های بالا و پائین و خود قالب، با ۴ عدد پیچ به طول ۴۳ سانتی‌متر با مهره‌هایی در زیر و بالا مهار گردیده است. جزئیات مربوط به بخش‌های مختلف این دستگاه در شکل (۲) به‌طور شماتیک و نمای کلی مدل فیزیکی ساخته شده برای بررسی وضعیت انحلال گچ در خاک در شکل (۳) نشان داده شده است.

همانطورکه در شکل‌های بالا مشاهده شد، برای ایجاد بار هیدرولیکی مورد نیاز برای وقوع جریان از داخل سلول و فراهم شدن شرایط آبشویی از یک سیستم بسته مخزن، یک پمپ آب کوچک و یک لولهٔ عمودی حاوی چند شیر خروجی در ارتفاع‌های مختلف استفاده گردید. بدین ترتیب که آب از داخل مخزن تأمین آب سیستم، توسط پمپ به بالای یک لولهٔ فولادی به طول ۲/۵ متر و به قطر ۱/۵ اینچ پمپاژ و از آنجا با شیب هیدرولیکی معین به مخزن تغذیه سلول آبشویی هدایت می‌شود. بدین ترتیب که بسته به شیب هیدرولیکی مورد نظر، شیر خروجی مناسب در بدنه لولهٔ انتخاب و شیرهای بالاتر از آن باز و آب سرریز شده از این خروجی‌ها مجدداً به مخزن تأمین آب، هدایت می‌شود. بدین ترتیب در هر آزمایش، بار آبی و در نتیجه شیب هیدرولیکی ثابت باقی می‌ماند و نظر به بسته بودن چرخه حرکت، از هدررفت آب نیز جلوگیری می‌شود. با توجه به تعداد زیاد آزمایش‌های آبشویی و زمان‌بر بودن هر یک از آزمایش‌های آبشویی، انجام آزمایش‌های این پژوهش با یک سلول آبشویی امکان‌پذیر نبود. لذا به‌منظور فراهم شدن



شکل ۲. شکل شماتیک کل دستگاه آبشویی گچ

شکل ۳. دستگاه آبشویی گچ مورد استفاده در این پژوهش

امکان انجام هم‌زمان چند آزمایش آبشویی و به عبارتی امکان استفاده از چند سلول آبشویی برای انجام آزمایش‌هایی با شیب هیدرولیکی یکسان، از یک مخزن تنظیم و تغذیه کننده شیب هیدرولیکی در فاصله بین لولهٔ مولد شیب هیدرولیکی و سلول‌های آبشویی استفاده گردید. این مخزن با استفاده از ورق‌های فلزی به ضخامت ۲ میلی‌متر به‌صورت مکعبی و در ابعاد ۶۰ ×۵۰ × ۲۰ سانتی‌متر ساخته شده است. این مخزن دارای پنج عدد شیر ۱/۵ اینچ برای خروج آب است که به فاصله ۱۰ سانتی‌متر از یکدیگر و از طرفین کف مخزن قرار داده شده‌اند. با استفاده از این مخزن، امکان کار هم‌زمان ۵ سلول آبشویی تحت شیب هیدرولیکی یکسان میسر شده است.

تهیه نمونه‌های آزمایشی خاک

در این پژوهش، برای ساخت نمونه‌های آزمایشی خاک ابتدا نمونه‌های خاک گچی به‌طور مصنوعی با اضافه کردن مقادیر مشخص از سنگ گچ به خاک مورد نظر تهیه و سپس مخلوط حاصل با رطوبت بهینه و با دانسیته‌ای حدود ۹۰ درصد تراکم آزمایشگاهی در قالب مخصوص دستگاه آزمایشی متراکم گردید. بدین منظور ابتدا با توجه به حجم قالب نمونه آزمایشی و درصد تراکم معین، وزن خاک، گچ و میزان آب مورد نیاز

برای رساندن مخلوط خاک گچی به‌میزان رطوبت بهینه مخلوط، محاسبه و پس از افزودن آب به مخلوط و یکنواخت کردن آن، کل مخلوط مرطوب تهیه شده در ۵ لایه و هر لایه با ۳۰ ضربه یک میله فلزی به قطر۱۶ میلی‌متر و وزن ۸۵۰ گرم در داخل قالب جای داده شدند. در این پژوهش تعداد لایه و ضربه مورد نیاز برای گنجاندن وزن مشخصی از خاک در قالب دستگاه براساس سعی و خطا تعیین گردید.

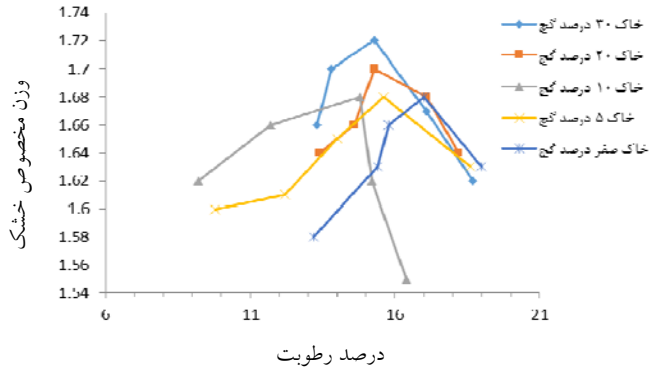
آزمایش تعیین میزان انحلال گچ

پس از آماده شدن نمونه‌های آزمایشی در داخل سلول آبشویی، و اتصال آنها به بار هیدرولیکی معین، شیر خروجی سلول آبشویی به‌مدت ۲۴ ساعت برای اشباع کامل نمونه‌ها بسته نگه داشته شد. پس از این مدت، شیر خروجی نمونه باز و در مدت زمان‌های مختلف شامل ۵، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۳۶۰، ۷۲۰، ۱۴۴۰ و ۲۸۸۰ دقیقه پس از باز شدن شیر خروجی تحت شیب هیدرولیکی ثابت، آب خروجی از نمونه جمع‌آوری و میزان گچ آنها اندازه‌گیری شد. برای تعیین میزان گچ در نمونه‌های آب خروجی از روش تعیین مقدار یون کلسیم آب استفاده گردیده است. همچنین پس از پایان آزمایش، میزان گچ نمونه خاک به روش تعیین یون سولفات تعیین گردید (۷). بعد از اتمام آزمایش‌ها، نمونه خاک از لایه‌های مختلف خاک درون سلول خارج شده و برای ایجاد یکنواختی، مجدداً مخلوط شده و از نمونه‌های حاصله برای تعیین درصد گچ به‌روش سولفات کل استفاده شد. برای تعیین درصد گچ از روش سولفات کل، ابتدا نمونه ۲۰۰ گرمی از نمونه خشک شده خاک از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و این نمونه مجدداً با آسیاب تا اندازه‌ای که از الک یک میلی متری عبور کند خرد و یکنواخت گردید. سپس نمونه‌ای در حدود ۱۰۰ گرم از آن تهیه و مجدداً آن را آسیاب نموده تا از الک ۱۵۰ میکرونی رد شود. در ادامه ۵ گرم از خاک آماده شده به‌همراه ۱۰ سی سی آب و۲۰ سی‌سی آمونیوم کربنات ۲۵٪ به‌مدت ۱۵دقیقه روی هیتر جوشانده شد. پس از این مدت، محلول روی کاغذ صافی باند سفید ۸ تا۱۰ بار صاف و با آب مقطر داغ شستشو شد. محلول زیر صافی به بشر ۲۵۰ سی‌سی منتقل و مجدداً روی هیتر گرم شد و سپس ۱۰ سی‌سی کلرید باریم به محلول اضافه و به‌مدت ۲۴ ساعت نگهداری گردید. تعلیق به‌دست آمده با کاغذ صافی باند آبی ۸ تا ۱۰ بار صاف و با آب مقطر داغ شستشو داده شد. سپس یک کروزه چینی را وزن کرده (M1) و رسوب را داخل آن ریخته و روی شعله قرار گرفت تا سفید شود. این رسوب، در کوره با دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت یک ساعت نگهداری و سپس در دستگاه دسیکاتور، سرد شد و دوباره کروزه همراه با نمونه توزین گردید (M2). با ضرب کردن اختلاف دو وزن M1 و M2 در ضرایب ۶/۸۶ و ۱/۷ (به‌ترتیب تمام سولفات محلول و ضریب تبدیل گچ) درصد گچ به‌دست می‌آید (۹).

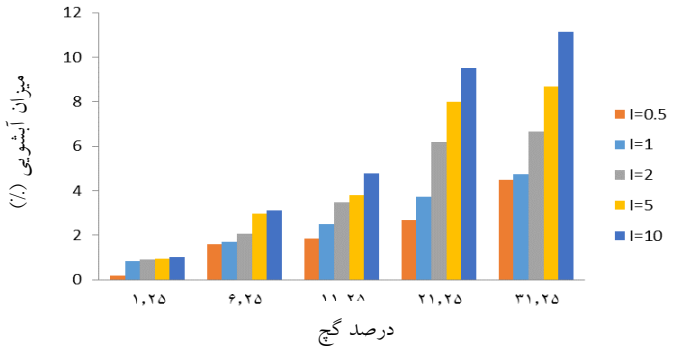
نتایج و بحث

به‌منظور تعیین مشخصات تراکمی تیمارهای مورد بررسی، آزمایش تراکم استاندارد انجام گرفت که منحنی تراکم مربوط به هریک از تیمارها مطابق شکل (۴) ارائه شده است. با توجه به شکل مذکور ملاحظه می‌شود، افزوده شدن ذرات گچ به خاک تأثیر معنی‌داری در وزن واحد حجم نداشته ولی افزودن گچ به‌میزان بیش از ۱۰ درصد وزنی خاک، تنها در خاک رسی موجب کاهش حدود ۱۰ درصدی در مقدار رطوبت بهینه گردیده است. این موضوع به‌علت دانه‌بندی ذرات گچ مورد استفاده که تقریباً در حد ماسه سیلتی بوده است، می‌باشد. البته از آنجایی که اعمال دقیق رطوبت بهینه در پروژه‌های اجرایی میسر نمی‌باشد، در عمل دامنه تغییرات مجاز برای رطوبت بهینه ۲ درصد در نظر گرفته می‌شود. لذا در این پژوهش برای ساخت نمونه‌های آزمایشی از رطوبت بهینه و وزن واحد حجم خشک متوسط برای همه نمونه‌ها استفاده شد.

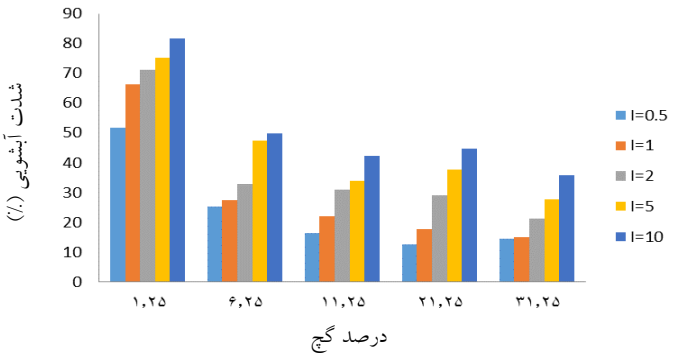
در این پژوهش، برای انجام آزمایش آبشویی، نمونه خاک به‌مدت ۲۴ ساعت در حالت اشباع و سپس به‌مدت ۴۸ ساعت تحت آبشویی قرار گرفتند. پس از این مدت آبشویی، میزان گچ باقی‌مانده در خاک تعیین شد. بدین ترتیب مقدار گچ خارج



شکل ۴. منحنی تراکم نمونه خاک رسی با مقادیر مختلف گچ



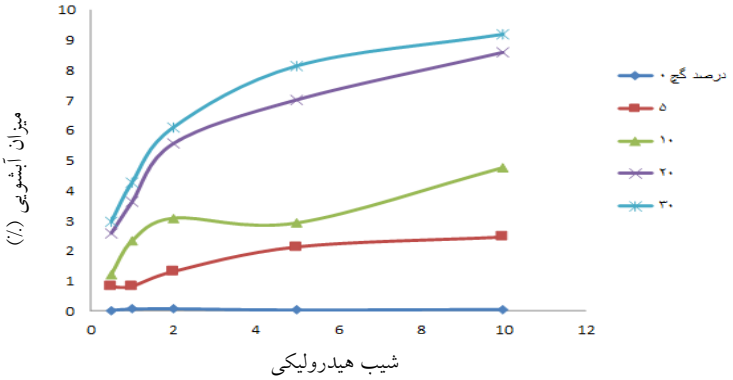
(الف) میزان آبشویی



(ب) درصد آبشویی

شکل ۵. تأثیر مقدار گچ و شیب هیدرولیکی بر میزان انحلال گچ در خاک رسی

شده از هریک از تیمارها در اثر آبشویی و نرخ آبشویی در آنها محاسبه گردیدند. نتایج حاصل از آزمایش تعیین میزان آبشویی نمونه خاک رسی با درصدهای مختلف گچ و به ازای مقادیر مختلف شیب هیدرولیکی مطابق شکل (۵) ارائه شده است. با توجه به شکل (۵) ملاحظه می‌شود، مقدار گچ موجود در خاک تأثیر مستقیمی بر میزان انحلال دارد. به‌طوری‌که با افزایش درصد گچ، میزان انحلال خاک نیز افزایش می‌یابد. همچنین شدت آبشویی یعنی نسبت مقدار گچ خارج شده از خاک به



شکل ۶. تأثیر میزان گچ وشیب هیدرولیکی بر میزان انحلال گچ در خاک رسی

مقدار گچ اولیه موجود در خاک، با افزایش درصد گچ خاک کاهش می‌یابد (شکل ۵ – ب).

چگونگی تأثیر شیب هیدرولیکی جریان آب در خاک بر میزان انحلال گچ در نمونه‌های خاک گچی با مقادیر مختلف گچ برای خاک با بافت رسی در شکل (۶) ارائه شده است. با بررسی تأثیر شیب هیدرولیکی جریان آب در خاک بر میزان انحلال گچ در تمام نمونه‌های مورد بررسی مشخص گردید کمترین میزان انحلال مربوط به شیب هیدرولیکی ۰/۵ و بیشترین مربوط به شیب هیدرولیکی ۱۰ است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که میزان انحلال با شیب هیدرولیکی نسبت مستقیم دارد. زیرا با افزایش شیب هیدرولیکی سرعت خروج آب و در نتیجه مقدار آب خارج شده از محیط خاک گچی در مدت زمان معین افزایش یافته و میزان گچ بیشتری نیز از محیط خارج می‌گردد. زیرا قدرت انحلال گچ در آب محدود و در حد ۲ گرم در لیتر است. لذا یک حجم معینی از آب، قدرت انحلال و حمل مقدار محدود و معینی از گچ را دارد. لذا با توجه به اینکه در شیب هیدرولیکی بیشتر، حجم آب خروجی از نمونه به مراتب بیشتر است، مقدار گچ انحلال یافته و خارج شده از خاک به‌همراه آب نیز بیشتر خواهد بود. بدین ترتیب می‌توان گفت میزان انحلال‌پذیری خاک گچی رابطه مستقیمی با میزان آب جریان یافته از محیط خاک دارد. لذا هر عاملی نظیر شیب هیدرولیکی و بافت خاک که موجب افزایش میزان جریان و آب خروجی از محیط خاک شود، باعث افزایش میزان انحلال گچ موجود در خاک نیز خواهد شد.

به‌طوری‌که با دو برابر شدن شیب هیدرولیکی میزان انحلال نیز تقریباً ۵۰ درصد افزایش می‌یابد.

نتایج حاصل از این بررسی‌ها برای نمونه خاک رسی به ازای شیب هیدرولیکی ۱ (واحد) برای سه دمای ۵، ۲۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد مطابق جدول (۳) و شکل (۷) ارائه شده است. با توجه به شکل (۸) ملاحظه می‌گردد، میزان دما تأثیر مستقیمی بر میزان انحلال دارد، به‌طوری‌که با افزایش دما، میزان انحلال خاک نیز افزایش می‌یابد. در این پژوهش، میزان انحلال در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد ۲/۵ برابر میزان انحلال در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد و ۱/۶ برابر میزان انحلال در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. همچنین، شدت آبشویی یعنی نسبت مقدار گچ خارج شده از خاک به‌مقدار گچ اولیه موجود در خاک، با افزایش درصد گچ خاک می‌یابد.

نتیجه‌گیری

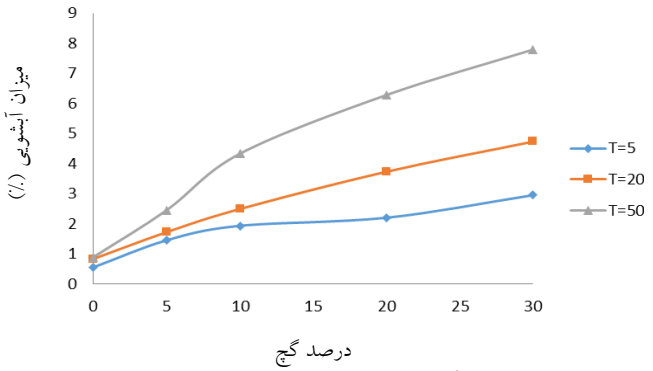
در این پژوهش اثر سه عامل درصد گچ، شیب هیدرولیکی و دما در میزان انحلال گچ مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است. براساس مجموعه نتایج این پژوهش موارد زیر قابل استنتاج است:

۱. گچ موجود در خاک تأثیر مستقیمی بر میزان انحلال دارد. به‌طوری‌که با افزایش درصد گچ، میزان انحلال خاک نیز به همان میزان افزایش می‌یابد.

۲. شدت آبشویی یعنی نسبت مقدار گچ خارج شده از خاک

جدول ۳. درصد آبشویی و شدت آبشویی خاک رسی در دماهای مختلف با شیب هیدرولیکی ۱ (واحد)

ردیف	دما (سانتی‌گراد)	درصد گچ قبل از آبشویی	درصد گچ بعد از آبشویی	درصد انحلال گچ	شدت آبشویی (درصد)
۱	۵	۱/۲۵	۰/۷	۰/۵۵	۴۴
۲	۵	۶/۲۵	۴/۸	۱/۴۵	۲۳/۲
۳	۵	۱۱/۲۵	۹/۳۲	۱/۹۳	۱۷/۲
۴	۵	۲۱/۲۵	۱۹/۰۵	۲/۲	۱۰/۴
۵	۵	۳۱/۲۵	۲۸/۳	۲/۹۵	۹/۴۴
۶	۲۰	۱/۲۵	۰/۴۲	۰/۸۳	۶۶/۴
۷	۲۰	۶/۲۵	۴/۵۳	۱/۷۲	۲۷/۵۲
۸	۲۰	۱۱/۲۵	۸/۷۶	۲/۴۹	۲۲/۱۳
۹	۲۰	۲۱/۲۵	۱۷/۵۲	۳/۷۳	۱۷/۵۵
۱۰	۲۰	۳۱/۲۵	۲۶/۵۲	۴/۷۳	۱۵/۱۳
۱۱	۵۰	۱/۲۵	۰/۳۶	۰/۸۹	۷۱/۲
۱۲	۵۰	۶/۲۵	۳/۸	۲/۴۵	۳۹/۲
۱۳	۵۰	۱۱/۲۵	۶/۹۲	۴/۳۳	۳۸/۵
۱۴	۵۰	۲۱/۲۵	۱۴/۹۷	۶/۲۸	۲۹/۶
۱۵	۵۰	۳۱/۲۵	۲۳/۴۶	۷/۷۹	۲۴/۹

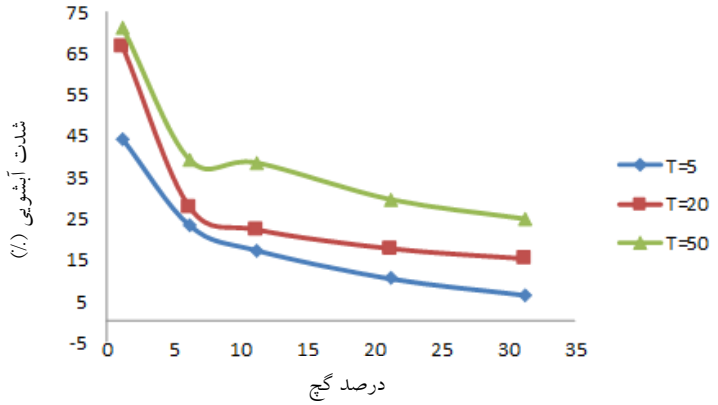


شکل ۷. تأثیر دما و درصد گچ بر میزان آبشویی

به‌مقدار گچ اولیه موجود در خاک، با افزایش درصد گچ خاک کاهش می‌یابد.

۳. با افزایش شیب هیدرولیکی، سرعت خروج آب و در نتیجه مقدار آب خارج شده از محیط خاک گچی در مدت زمان معین افزایش یافته و میزان گچ بیشتری نیز از محیط خارج می‌گردد. به‌طوری‌که با دو برابر شدن شیب هیدرولیکی، میزان انحلال نیز تقریبا ۵۰ درصد افزایش می‌یابد.

۴. با افزایش دما، میزان انحلال خاک نیز افزایش می‌یابد به‌طوری‌که میزان انحلال در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد ۲/۵ برابر میزان انحلال در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد و ۱/۶ برابر میزان انحلال در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. این نتیجه



شکل ۸. تأثیر دما و درصد گچ بر شدت آبشویی

با نتایج سایر محققین (۱۰) نیز مطابقت دارد.

سپاسگزاری

با توجه به اینکه جهت انجام این پژوهش از امکانات و آزمایشگاه‌های مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان ایلام و شرکت سازه‌آزمای پارسیان استفاده گردیده است، بدین‌وسیله نگارندگان مراتب تقدیر خود را از مدیریت وکارکنان دستگاه‌های یاد شده اعلام می‌دارند.

منابع مورد استفاده

۱. رحیمی، ح.، و عباسی، ن. ۱۳۹۴. *مهندسی ژئوتکنیک؛ خاک‌های مشکل آفرین*. انتشارات دانشگاه تهران. تهران.

۲. نژاد هاشمی، پ، رحیمی، ح. و محمودی، ش. ۱۳۷۹. بررسی نفوذپذیری خاک‌های گچی طی فرآیند آبشویی، مجله علوم کشاورزی ایران ۳۱ (۲): ۲۵۴-۲۴۱.

۳. یغماییان، ن. و گیوی، ج. ۱۳۸۶. مقایسه روش‌های مختلف اندازه‌گیری گچ در برخی خاک‌های اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۱ (۴۲): ۵۷۶-۵۶۵.

4. Abbasi, N., R. Bahramloo, M. Movahedan. 2015. Strategic planning for remediation and optimization of irrigation and drainage detworks: A case study for Iran. Agriculture and Agricultural Science Procedia, Elsevier, No. 4, pp: 211-221.
5. Abbaspoor, S., H. Daavi and J. Fili. 2008. Practical methods in improving constructed canals on gypsiferous soils in operating irrigation networks, Case study: Canal A, Behbahan Network", *In:* Proceeding of the 1st Iranian Seminar on Geotechnical Issues of Irrigation and Drainage Networks, Ag. Eng. Research Institute, Karaj, Iran.
6. Afsharian, A. A., N. Abbasi, A. Khosrojerdi, H. Sedghi. 2016. Analytical and laboratory Evaluation of the solubility of Gypsiferrous soils. Civil Eng. J. 2(11): 590-599.
7. Akpokodje Enuvie G. 1985. The engineering classification of some Australian arid zone soils. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 31(1): 5-8.
8. Arakelyan, E. A. 1986. Characteristics and determination of the physical properties of gypsum soils. Soil Mechanics & Foundation Eng. 23(1): 27-29.
9. Coutinet, S. 1965. Méthodesd'analyseutilisables pour les sols salés, calcaireset gypseux. Agronomic Tropical, Etudes Scientifiques 20(12): 1242-1253.
10. James, A. N. and R. R. Lupton. 1978. Gypsum and anhydrite in foundation of hydraulic structures, Geotechnique 28(3): 249-272.

11. Mahmoodi, SH. 1994. Properties and management of gypsiferous soils. PP: 29- 31. *In:* Proceeding of the 4th Soil Science Congress of Iran, Isfahan Univ. of Technology.
12. Movahedan, M., N. Abbasi and M. Keramati. 2012. Wind erosion control of soils using polymeric materials. Eurasian J. of Soil Sci. 1(2) 81 –86.
13. Petrokhin, V. P. 1993. On the Problem of Construction on Saline Soils, Balkema Publishing Co.
14. Rahimi, H., S. Tatlari and P. Nejadhashemi. 1997. Evaluation of some physical and chemical properties of gypsiferous soils. Iranian J. of Agric. Sci. 29(1): 117-129
15. Rahimi, H. and P. Nejadhashemi. 1999. Effect of leaching on consolidation properties of gypsiferous soils. Iranian J. of Agric. Sci. 30(2): 241-254
16. Rahimi, H. and A. Yoosefi. 1995. Failure of underground water storage at Hengam Island due to being founded on salt Dome, Technical Report, Hormozgan Regional Water Board, Iran.
17. Rahimi H., N. Abbasi, H. Shantia. 2011. Application of geomembrane to control piping of sandy soil under concrete canal lining (A case study: Moghan irrigation project, Iran), J. of Irrigation and Drainage, ICID, 60: 330-337
18. Rahimi H. and N. Abbasi. 2008. Failure of concrete canal lining on fine sandy soils (A case study for Saveh project), Journal of Irrigation and Drainage, ICID. 57: 83-92.
19. Sadrekarimi, J., M. Kiyani and B. Fakhri. 2006. Gypsum Dissolution Effects on the Performance of a Large Dam, ICOLD, Barcelona, Spain.

J. Water and Soil Sci. (Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour.)
Vol. 22, No. 1, Spiring 2018, Isf. Univ. Technol., Isf., Iran.

The Effects of Some Peripheral Conditions on the Solubility of Gypiferous Soils

Nader Abbasi[1]* and Ali Abbas Afsharian[2]

(Received: Aug. 3-2016; Accepted: Sept. 16-2017)

Abstract

Gypsiferous soils are one of the problematic soils which, due to solubility and contact with water, are a threat to various civil structures, especially water structures. Various factors affect the rate and amount of gypsum particles solubility. Gypsum types, the soil texture, the amount of gypsum in soil, the hydraulic gradient, and temperature and flowing water from gypsum soil are the major factors affecting the quality and quantity of the gypsum solution. In this research, the effects of some peripheral conditions including water temperature and hydraulic gradient on the solubility of gypsum soils were studied. To this aim, samples of gypsum soils were provided artificially by adding various rates of the natural gypsum rock including 0, 5, 10, 20 and 30 percent by weight of clay soil. Then, all gypsum soils were leached under five hydraulic gradients levels including 0.5, 1, 2, 5 and 10. The results indicated that the rate of Gypsum in the soil had a direct effect on the rate of solution in a way that by increasing the percent of Gypsum, the rate of solubility was increased. Also, the rate of leaching (the rate of the derived Gypsum from soil to the primary rate of Gypsum) was decreased by increasing the rate of Gypsum. In addition, by increasing hydraulic gradient, the speed of water and its amount in soil environment within a specified time were raised; further the rate of gypsum was increased too. Also, it was found that the rate of the solubility was increased directly by the temperature. The solubility rate of the gypsum soil at 50 C^0 was found to be 2.5 and 1.6 times greater than that of the soil at 5 and 20 C^0, respectively.

Keywords: Gypsiferous soil, solubility rate, hydraulic gradient, temperature.

1. Agric. Eng. Res. Institute, Agric. Res., Education and Extension Organiz., AREEO, Karaj, Iran.
2. Ilam Regional Water Authority, Ilam, Iran.
*: Corresponding Author, Email: nader_iaeri@yahoo.com