

بررسی تأثیر درصد گچ و شیب هیدرولیکی بر میزان انحلال پذیری خاک‌های رسی گچی

علی عباس افشاریان^۱، نادر عباسی^{۲*}، امیر خسرو جردی^۳، حسین صدقی^۴

۱. دانشجوی دکترا، گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و

تحقیقات تهران

۲. دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

۳. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۴. استاد، گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۲ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۱۱/۲۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۲/۸)

چکیده

وجود ذرات گچ در بافت خاک مشکلات عدیده‌ای را برای خاک در کاربری‌های مختلف از جمله کشاورزی و پروژه‌های عمرانی ایجاد می‌کند. قابلیت انحلال ذرات گچ موجب می‌شود تا در اثر تماس با آب، به تدریج حل شده و همراه با جریان آب از محیط خارج شود. این پدیده باعث می‌شود سازه‌های بنا شده بر روی این خاک‌ها به مرور در اثر انحلال گچ و افزایش تخلخل خاک و نهایتاً نشست بستر دچار تخریب‌های کلی گردیده و هزینه‌های هنگفتی به پروژه در مرحله بهره‌برداری از آن تحمیل نماید. در این پژوهش اثر دو عامل درصد گچ و شیب هیدرولیکی در میزان انحلال گچ در خاک‌های رسی مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است. بدین منظور ابتدا نمونه‌های خاک گچی بطور مصنوعی و با افزودن مقادیر مختلفی از سنگ گچ طبیعی شامل ۰، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی به یک خاک با بافت رسی تهیه و سپس هر یک از نمونه‌های گچی تحت شیب‌های هیدرولیکی مختلف شامل ۰/۵، ۱، ۲، ۵ و ۱۰، مورد آزمایش‌های آبشویی قرار گرفتند. نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان دادند با افزایش درصد گچ میزان انحلال آن در خاک نیز افزایش می‌یابد. همچنین شدت آبشویی یعنی نسبت مقدار گچ خارج شده از خاک به مقدار گچ اولیه موجود در خاک، با افزایش درصد گچ خاک کاهش می‌یابد. علاوه بر این 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.

واژه‌های کلیدی: انحلال، خاک گچی، شیب هیدرولیکی، درصد گچ، خاک‌های مشکل آفرین

مقدمه

آبیاری و زهکشی که بستر سازه کانال انتقال آب همواره در تماس با آب می‌باشد؛ نمود بیشتری دارد. در دهه‌های اخیر تخریب سازه‌های استقرار یافته بر روی خاک‌های گچی، مشکلات عدیده‌ای را به ویژه در مناطق حاوی خاک‌های گچی ایجاد کرده است. بر اساس گزارش‌های موجود سازه‌های متعددی در سراسر دنیا به دلیل وجود گچ تخریب شده و به تبع آن خسارت مالی و حتی جانی زیادی را به وجود آورده است (Rahimi and Abbasi, 2015). مشکلات سازه‌های بنا شده روی زمین‌های گچی، اولین بار در سال ۱۹۲۷ در اسپانیا به دلیل تخریب کانال‌های تازه تأسیس رخ داد. به طوری که در بسیاری از قسمت‌ها، سازه فوقانی نشست کرده و در بعضی مناطق نیز موجب تخریب و یا تغییر شکل پوشش کانال شده است (Rahimi et al., 2011). شکست سد سنت فرانسیس در ایالت کالیفرنیا آمریکا در ماه مارچ سال ۱۹۲۸ که منجر به مرگ

در علوم مهندسی، خاک مخلوط غیر یکپارچه ای از دانه‌های کانی‌ها و مواد آلی تجزیه شده می‌باشد که فضای خالی بین آنها، توسط آب و هوا اشغال شده است. خاک به عنوان مصالح ساختمانی در ساخت و یا بستر اغلب سازه‌های عمرانی به ویژه سازه‌های آبی می‌باشد. شناخت همه جانبه رفتار خاک‌ها به عنوان مصالحی که ناگزیر بخش قابل تفکیکی از اغلب سازه‌های آبی را تشکیل می‌دهد، می‌تواند نقش مؤثری را در اصلاح روش‌های طراحی داشته باشد و دستیابی به تجزیه و تحلیل‌های واقع‌گرایانه را مؤثر سازد (Abbasi et al., 2011). این موضوع در شرایطی که خاک بستر از نوع خاک‌های مشکل آفرین باشد از اهمیت بیشتری برخوردار است. این موضوع در شبکه‌های

* نویسنده مسئول: Nader_iaeri@yahoo.com

موجود، روش کربنات سدیم از کارآیی بیشتری برخوردار است. Akpokodje, (1985) بیان کرد وجود تقریباً ۲۰ درصد 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. Petrokhin., (1993) نشان داد 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. گچ، خمیریایی خاک‌های رسی را به طرز قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌دهد. افزایش مقدار گچ، همواره سبب کاهش حد خمیری و شاخص خمیری خاک می‌شود. هر چه مقدار ذرات رسی خاک بیشتر باشد، تأثیر گچ خاک بر روی خمیریایی آن بیشتر می‌شود. تأثیر گچ بر روی حد روانی خاک، بیشتر از حد خمیری است. ایشان در تحقیق دیگری نشان دادند که با افزایش مقدار گچ در خاک‌های گچی، چگالی خاک پیوسته کاهش می‌یابد؛ زیرا گچ از سبک‌ترین کانی‌ها با چگالی $2/32 \text{ gr/cm}^3$ می‌باشد. Arakelyan, (1986) خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های گچی از جمله وزن مخصوص، نسبت تخلخل و همچنین تعیین درصد رطوبت را مورد بررسی قرار دادند. مطالعات وی نشان داد که این خاک‌ها دارای وزن مخصوص کمتری نسبت به خاک‌های مشابه بوده و طی فرآیند آبشویی وزن مخصوص آنها افزایش می‌یابد. همچنین این فرآیند باعث بالارفتن نسبت تخلخل و به تبع آن نشست می‌شود. Nejadhashemi *et al.*, (1999) نشان داد که نفوذپذیری در خاک‌های گچی با توجه به بافت خاک و شکل بلورهای گچ متفاوت بوده 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، به دلیل حرکت ذرات خاک و شسته شدن گچ نسبتاً زیاد بوده اما تدریجاً کاهش می‌یابد و نهایتاً به مقدار ثابتی میل می‌کند. فوزیه احمد و همکاران (۲۰۱۰)، در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که بر اثر شسته شدن گچ از خاک طی فرآیند آبشویی پارامترهای مقاومتی خاک کاهش می‌یابد. در تحقیق دیگری در دانشگاه تکنولوژی بغداد بر روی نمونه‌های خاک ماسه‌ای گچی چنین نتیجه گرفته شد که نمونه‌های دستخوردۀ خاک در حالت خشک به علت اثر سیمانی گچ دارای مقاومت بالا بوده و پس از شسته شدن گچ مقاومت آنها شدیداً کاهش یافته است (Rahimi and jahromi., (Mou'taz *et al.*, 2010; Kifae, 2010)

تعداد زیادی از اهالی گردید وجود مواد انحلال‌پذیر در پی آن عنوان گردید (Rogers, 2013). تخریب و فرو ریختگی کانال‌های سلهبابه در حوضه رودخانه فرات در کشور سوریه، ایجاد حفرات فرسایشی متعدد در کانال‌های احداث شده در حوضه رودخانه Ebro 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 (Abbasi & Nazifi, 2013). یکی دیگر از سدهای مخزنی جهان که به علت وجود گچ در مصالح پی دچار مشکل شده است، سد موصل در کشور عراق می‌باشد (Kifae, 2010). مشکلات ایجاد شده در سازه‌های عمرانی و هیدرولیکی در اثر وجود خاک گچ در بستر سازه‌ها در ایران نیز سابقه طولانی دارد. تخریب و فروریختگی کانال اصلی ساحل راست نکوآباد و کانال مهبیار در حوضه رودخانه زاینده‌رود در اصفهان ایران از بارزترین مثال‌ها در خصوص تخریب کانال در اثر وجود خاک گچی در بستر کانال می‌باشد (Abbasi 2011). تخریب کانال اصلی (کانال A) شبکه بهبهان آبیاری به واسطه وجود لایه‌های گچی در بستر آن گزارش شده است (Abbaspoor *et al.*, 2008). در قسمت‌هایی از این کانال که بر روی خاک‌های گچی بنا شده پس از آب اندازی کانال در اثر نشست آب به زیر کانال و انحلال گچ، حفره‌های بزرگی در زیر بستر کانال به وجود آمده و نهایتاً منجر به تخریب پوشش بتنی گردیده است. نشست قابل ملاحظه آب در سد مخزنی قیصرآغ تبریز به وجود خاک گچی در پی این سد نسبت داده شده است (Sadrekarimi *et al.*, 2006). ایجاد ترک‌های شدید و فرار آب از مخزن زیر زمینی آب آشامیدنی جزیره هنگام در خلیج فارساز موارد دیگر اثرات گچ در خاک می‌باشد که بر اثر شسته شدن بخشی از سنگ‌های نمکی واقع در زیر پی سازه رخ داده است (Rahimi and yoosefi, 1995). بنابراین با توجه به مطالب کوتاه یاد شده ملاحظه می‌گردد وجود گچ در بستر سازه‌های آبی به ویژه سدها و شبکه‌های آبیاری و زهکشی تهدید بزرگی برای این‌گونه سازه می‌باشد. در چند دهه اخیر نیز تحقیقات پراکنده‌ای در خصوص شناسایی خاک‌های گچی و مکانیزم‌های کنترل انحلال آن و نیز اقدامات علاج بخشی در مواجهه با این نوع خاک‌ها صورت گرفته است. Yaghmaeean and Givi, (2006) 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 عصاره‌گیری‌های

زهکشی از اهداف برنامه‌های توسعه‌ای کشور به شمار می‌آیند، خاک‌های گچی به وفور با پراکندگی و میزان متفاوت یافت می‌شوند. لذا با توجه به توسعه رو به رشد احداث پروژه‌های مختلف عمرانی در این مناطق انجام پژوهش‌های کاربردی و بنیادی در خصوص مشخصات خاک‌های گچی و رفتار آنها در مجاورت سازه‌های آبی بیش از پیش نمایان است. از این‌رو این پژوهش با هدف اصلی ارزیابی و بررسی تأثیر مقدار گچ و شیب هیدرولیکی بر سرعت و میزان انحلال خاک‌های ریزدانه گچی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت.

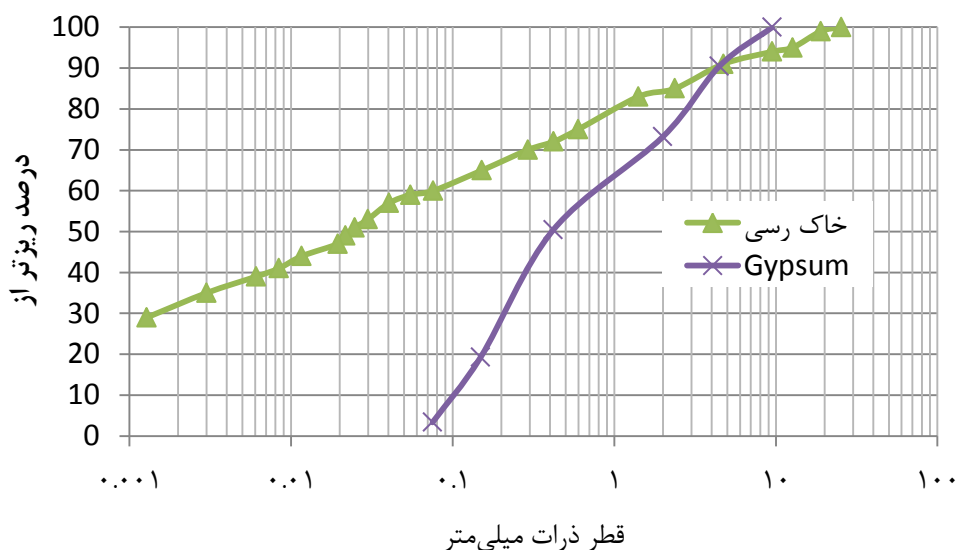
مواد و روش‌ها

مشخصات نمونه خاک مورد بررسی

نمونه خاک مورد بررسی در این تحقیق از مناطق مهران استان ایلام تهیه گردیده است. در این پژوهش برای تهیه نمونه خاک‌های گچی، نمونه خاک مصنوعی با افزودن سنگ گچ طبیعی استفاده گردید. بدین منظور سنگ گچ پس از خرد شدن در مقادیر مختلف به نمونه خاک‌های طبیعی اضافه و خاک گچی با درصد معین گچ تهیه گردید. نمونه خاک‌ها قبل از اختلاط با سنگ گچ و تهیه تیمارهای آزمایشی، مورد آزمایش‌های شناسایی برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شامل دانه‌بندی، حدود آتربرگ، مشخصات تراکمی و آنالیز شیمیایی (تعیین آنیون‌ها و کاتیون‌های مهم، تعیین pH و EC) قرار گرفتند. منحنی دانه‌بندی نمونه خاک و گچ مورد استفاده برای تهیه نمونه‌های خاک گچی در شکل (۱) و مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک به ترتیب در جداول (۱) و (۲) ارائه گردیده‌اند. با توجه به اینکه برای متراکم کردن نمونه خاک‌ها در داخل سلول آبشویی نیاز به رطوبت بهینه و دانستیه خشک ماکزیم آزمایشگاهی بوده است، لذا برای تعیین مشخصات تراکمی خاک‌ها با مقادیر مختلف گچ، آزمایش تراکم استاندارد بر روی ترکیب‌های مختلف انجام شد تا نمونه‌های مورد نظر با درصد رطوبت بهینه و وزن واحد حجم خشک حداکثر بدست آمده از این آزمایش ساخته شوند. بدین منظور آزمایش تراکم استاندارد بر روی کلیه مخلوط‌های مورد بررسی مطابق استاندارد ASTM D 644-05 انجام گرفت، Anon (2000).

(2016) نشان دادند با افزایش ۵ درصد ماستیک پلی اورتان می‌توان پارامتر تنش برشی را در خاک‌های گچی به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود داد. (Abedi Kopai et al., 2015) اثر میکرو سیلیکا، پامیس و پر لیت را بر خواص مکانیکی خاک‌های گچی بررسی نمودند و نشان دادند که سیلیکا بیشترین اثر بر تنش، ظرفیت باربری و پارامترهای تحکیم و حدود آتربرگ بر خاک‌های گچی را دارد اما پر لیت تنش برشی، ظرفیت باربری و خواص تحکیم خاک‌های گچی را کاهش می‌دهد. (Asghari et al., 2014) اثرات پنج روش آبشویی بر نفوذپذیری و ترکیبات شیمیایی هفت خاک گچی با مقادیر مختلف گچ را بررسی نمودند. نتایج بدست آمده نشان داد که در مراحل اولیه آزمایش تغییرات زیادی در نفوذپذیری مشاهده شد و تغییرات غلظت مواد در خاک بتدریج کاهش و سپس به مقدار ثابت می‌رسد. (Hashemi et al., 2013) رابطه بین کانی‌های رس و رژیم‌های رطوبتی متفاوت در خاک‌های گچی استان فارس در جنوب ایران را بررسی کردند، نتایج آزمایش نمونه سنگ و خاک نشان می‌دهد که برخی پالی گور سکیت در تمام رژیم‌های رطوبتی منشا گرفته از مواد مادری است و نسبت اسمکتیت به (ایلیت + کلریت) با افزایش رطوبت افزایش می‌یابد و بیشترین مقدار این نسبت در رژیم رطوبتی زیر یک برابر ۲/۱۲ مشاهده شده است.

بدین ترتیب ملاحظه می‌گردد در اغلب موارد وجود ذرات گچ در بستر پروژه‌های عمرانی به ویژه سازه‌های آبی، مشکلاتی را برای این‌گونه سازه‌ها به وجود آورده است. در برخی موارد عدم توجه به اصل وجود گچ در خاک علت ایجاد مشکل بوده و در موارد دیگری نیز عدم شناخت دقیق رفتار خاک‌های گچی باعث به وجود آمدن مسائل و مشکلات اجرایی در حین ساخت و بهره‌برداری از این سازه‌ها بوده است. علیرغم تحقیقات زیاد و پراکنده‌ای که در دنیا به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان در خصوص خاک‌های گچی صورت گرفته است، تحقیقات صورت گرفته در خصوص مکانیزم انحلال خاک‌های گچی و چگونگی تأثیر عوامل مختلف بر سرعت و میزان انحلال خاک‌های گچی نیاز به تکمیل و تدقیق دارد. این در حالی است که در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک دنیا و ایران از جمله مناطق وسیعی از استان‌های خوزستان، اصفهان، فارس، اردبیل و ... که اتفاقاً در این مناطق احداث شبکه‌های آبیاری و



شکل ۱. منحنی دانه‌بندی نمونه خاک مورد بررسی و گچ طبیعی مورد استفاده

جدول ۱. مشخصات فیزیکی خاک مورد بررسی

محل نمونه برداری	مشخصات تراکمی (آزمایش پراکتور استاندارد)						
	حدود آتربرگ		وزن واحد حجم ماکزیمم (gr/cm ³)	رطوبت بهینه	شن و ماسه	سیلت	رس
مهران	حد خمیری	حد روانی	۱/۶۸	۱۷	۴۴	۲۶	۳۰
طبقه بندی (یونیفاید)	۳۳	۶۰					

جدول ۲. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های مورد بررسی

محل نمونه برداری	pH	EC dS/m	آنیون‌ها (meq/lit)				کاتیون‌ها (meq/lit)		
			SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺² +Ca ⁺²
مهران	۷/۷۵	۳/۸۴	۶۲/۵	۱۸۵	۲	-	۳۵	۱۷۷	۲۲/۸
جمع کاتیون‌ها			جمع آنیون‌ها						۲۳۴/۸

معرفی تیمارها

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

معرفی مدل فیزیکی انحلال گچ در خاک

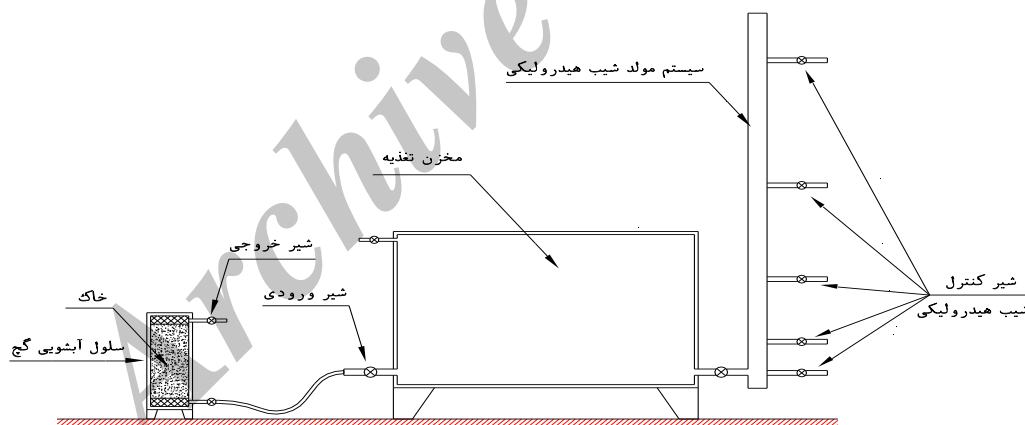
در این پژوهش با توجه به ماهیت و تعداد آزمایش‌های آبشویی مورد نظر برای بررسی میزان و نرخ انحلال گچ و نیز افزایش

دقت آزمایش‌ها، 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 به دقت بیشتر تصمیم به ساخت قالب مشابه با آن ولی با ابعاد بزرگ‌تر گرفته شد. این قالب به شکل استوانه‌ای به طول کلی ۳۴ سانتی‌متر و طول مؤثر برای نمونه خاک ۲۰ سانتی‌متر و قطر داخلی ۱۳ است. بطوری‌که در بالا و پایین نمونه در ضخامتی معادل ۷ سانتی‌متر یک عدد صفحه متخلخل مشبک از جنس ورق گالوانیزه و یک لایه ژئوتکستایل به منظور جلوگیری از حرکت و مهاجرت ذرات جامد و یک عدد شیر برای خروج آب (در قسمت بالایی نمونه) و یا ورود آب (در

جولوگیری می‌شود. با توجه به تعداد زیاد آزمایش‌های آبشویی و زمان بر بودن هر یک از آزمایش‌های آبشویی، انجام آزمایش‌های این پژوهش با یک سلول آبشویی امکان‌پذیر نبود. لذا به منظور فراهم شدن 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 لوله مولد شیب هیدرولیکی و سلول‌های آبشویی استفاده گردید. این مخزن با استفاده از ورق‌های فلزی به ضخامت ۲ میلی‌متر بصورت مکعبی و در ابعاد ۶۰×۵۰×۲۰ سانتی‌متر ساخته شده است. این مخزن دارای پنج عدد شیر $\frac{1}{2}$ اینچ برای خروج آب به فاصله ۱۰ سانتی‌متر از یکدیگر و از طرفین کف مخزن قرار داده شده‌اند؛ بطوریکه با استفاده از این مخزن امکان استفاده از ۵ سلول آبشویی تحت شیب هیدرولیکی یکسان میسر است. جزئیات مربوط به بخش‌های مختلف این دستگاه در شکل (۲) بطور شماتیک و نمای کلی مدلی فیزیکی ساخته شده برای بررسی وضعیت انحلال گچ در خاک در شکل (۳) نشان داده شده است.

قسمت پایینی نمونه) تعبیه شده است. جنس قالب یا سلول آبشویی از پلی‌اتیلن با فشار زیاد (۱۰ اتمسفر) بوده و برای تثبیت و آبنندی بالا و پایین سلول از فلنج ۲۰۰ میلی‌متری با فشار کار ۱۰ بار، و واشر تخت لاستیکی استفاده شده و فلنج‌های بالا و پائین و خود قالب از ۴ عدد پیچ به طول ۴۳ سانتی‌متر با مهره‌هایی در زیر و بالا مهار گردیده است (شکل ۲).

برای ایجاد بار هیدرولیکی مورد نیاز برای وقوع جریان از داخل سلول و فراهم شدن شرایط آبشویی از یک سیستم بسته شامل یک مخزن، یک پمپ آب کوچک و یک لوله 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 لوله فولادی به طول ۲/۵ متر و به قطر $1\frac{1}{2}$ اینچ پمپاژ و از آنجا با شیب هیدرولیکی معین به مخزن تغذیه سلول آبشویی هدایت می‌گردد. بدین ترتیب که بسته به شیب هیدرولیکی مورد نظر، شیر خروجی مناسب در بدنه لوله انتخاب و شیرهای بالاتر از آن باز و آب سر ریز شده از این خروجی‌ها مجدداً به مخزن تأمین آب، هدایت می‌گردد. بدین ترتیب در هر آزمایش بار آبی و در نتیجه شیب هیدرولیکی ثابت باقی مانده و نظر به بسته بودن چرخه حرکت آب از هدر رفت آب نیز



شکل ۲. شماتیک کل دستگاه آبشویی گچ



شکل ۳. دستگاه آبشویی گچ مورد استفاده در این پژوهش

تهیه نمونه‌های آزمایشی

در این پژوهش برای ساخت نمونه‌های آزمایشی ابتدا نمونه‌های گچی بطور مصنوعی با اضافه کردن مقادیر مشخص از سنگ گچ به خاک مورد نظر تهیه و سپس با توجه به اینکه در پروژه‌های عمرانی خاکریزی‌ها اغلب با رطوبت بهینه و دانسیته حدود ۹۰ درصدی متراکم می‌گردند، در این پژوهش نیز نمونه‌های گچی تهیه شده 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 که برای همه نمونه‌های آزمایشی معادل ۹۰ درصد تراکم آزمایشگاهی در نظر گرفته شده بود، وزن خاک، گچ و میزان آب موردنیاز برای رساندن مخلوط خاک گچی به میزان 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 قطر ۱۶ میلی‌متر و وزن ۸۵۰ گرم در داخل قالب جای داده می‌شد. در این پژوهش تعداد لایه و ضربه مورد نیاز برای گنجاندن وزن مشخصی از خاک در قالب دستگاه بر اساس 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 به مدت ۲۴ ساعت برای اشباع کامل نمونه‌ها بسته نگه داشته شد. برای اطمینان از اشباع کامل و یکنواخت نمونه و نیز جلوگیری از هرگونه جریان ترجیحی از میان نمونه خاک مسیر حرکت آب از پایین به بالا در نظر گرفته 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 مورد آزمایش تعیین میزان گچ در آنها قرار گرفتند. 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 (Anon, 2005). بعد از اتمام آزمایش‌ها نمونه خاک از لایه‌های مختلف خاک درون سلول خارج شده و برای یکنواختی نمونه‌ها مجدداً مخلوط شده و نمونه‌های برداشت شده مورد آزمایش تعیین درصد گچ به روش سولفات کل قرار گرفتند. برای تعیین درصد گچ از روش سولفات

کل، ابتدا نمونه ۲۰۰ گرمی از نمونه خشک شده خاک از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده و این نمونه مجدداً با آسیاب تا اندازه ای که از الک یک میلی‌متری عبور کند خرد و یکنواخت می‌گردد. سپس نمونه‌ای در حدود ۱۰۰ گرم از آن تهیه و مجدداً آن را آسیاب نموده تا از الک ۱۵۰ میکرونی رد شود. نمونه نهایی بدست آمده آزمونه مورد نظر می‌باشد. در ادامه ۵ گرم از خاک آزمونه به همراه ۱۰ سی سی آب و ۲۰ سی سی آمونیوم کربنات ۲۵ درصد به مدت ۱۵ دقیقه روی هیتر جوشانده می‌شود. پس از این مدت روی کاغذ صافی باند سفید ۸ تا ۱۰ بار صاف و با آب مقطر داغ شستشو داده می‌شود. محلول زیر صافی را به بشر ۲۵۰ سی سی منتقل و مجدداً روی هیتر گرم می‌شود. سپس ۱۰ سی سی کلرید باریم به محلول اضافه و به مدت ۲۴ ساعت نگهداری می‌شود. سپس آن را با کاغذ صافی باندابی ۸ تا ۱۰ بار صاف کرده با آب مقطر داغ شستشو داده می‌شود. سپس کروزه را وزن کرده (M1) و رسوب را داخل آن ریخته و روی شعله قرار داده می‌شود تا سفید شود. این رسوب در کوره در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد یک ساعت نگهداری و سپس در دستگاه دسیکاتور خشک و دوباره کروزه همراه با نمونه توزین می‌گردد (M2). با ضرب کردن اختلاف دو وزن M1 و M2 در ضرایب ۶/۸۶ و ۱/۷ (به ترتیب تمام سولفات محلول و ضریب تبدیل گچ) درصد گچ بدست می‌آید (Coutinet, 1965).

$$GP = (M_2 - M_1) \times 6.86 \times 1.7 \quad (\text{رابطه ۱})$$

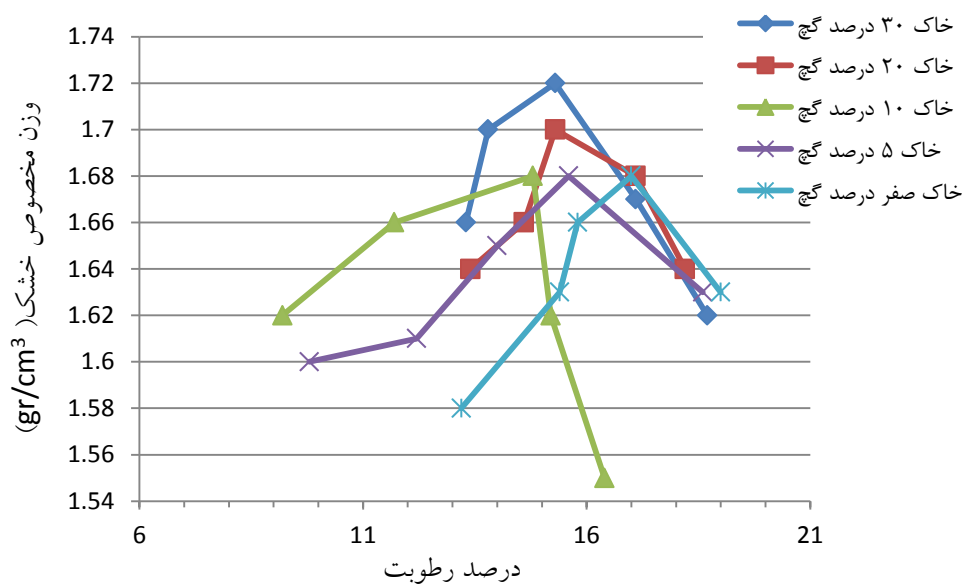
نتایج و بحث

تعیین مشخصات تراکمی تیمارهای آزمایشی

همانطوری که اشاره گردید به منظور تعیین مشخصات تراکمی تیمارهای مورد بررسی، آزمایش تراکم استاندارد انجام گرفت که نتایج بدست آمده از این آزمایش‌ها در شکل (۴) و رطوبت بهینه و دانسیته خشک ماکزیمم هریک از مخلوط‌ها در جدول (۳) ارائه شده اند.

جدول ۳. مشخصات تراکمی نمونه خاک مورد بررسی با مقادیر مختلف گچ

شماره تیمار	درصد گچ	رطوبت بهینه	وزن واحد حجم ماکزیمم (gr/cm ³)
۱	۰ (خاک رسی)	۱۷	۱/۶۸
۲	۵	۱۶/۲	۱/۶۷
۳	۱۰	۱۴/۸	۱/۶۸
۴	۲۰	۱۵/۳	۱/۷۰
۵	۳۰	۱۴/۸	۱/۶۹



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

بررسی تأثیر مقدار گچ بر روند انحلال خاک گچی

همانطوری که اشاره گردید در این پژوهش برای انجام آزمایش آبشویی، نمونه خاک به مدت ۲۴ ساعت در حالت اشباع و سپس به مدت ۴۸ ساعت تحت آبشویی قرار گرفتند. پس از این مدت آبشویی، میزان گچ باقی مانده در خاک به روش سولفات کل تعیین گردیدند. بدین ترتیب مقدار گچ خارج شده از هریک از تیمارها در اثر آبشویی و نرخ آبشویی در آنها مطابق جدول (۴) محاسبه گردیدند. نتایج حاصل از این بررسی‌ها برای نمونه خاک رسی مورد استفاده به ازای مقادیر مختلف گچ و شیب هیدرولیکی مطابق شکل (۵) ارائه شده است. با توجه به شکل (۵) ملاحظه می‌گردد، مقدار گچ موجود در خاک تأثیر مستقیمی بر میزان انحلال دارد. بطوری که با افزایش درصد گچ میزان انحلال خاک نیز افزایش می‌یابد. همچنین آبشویی یعنی نسبت مقدار گچ خارج شده از خاک به مقدار گچ اولیه موجود در خاک نیز با افزایش درصد گچ خاک کاهش می‌یابد (شکل ۶).

بررسی تأثیر شیب هیدرولیکی بر روند انحلال خاک گچی

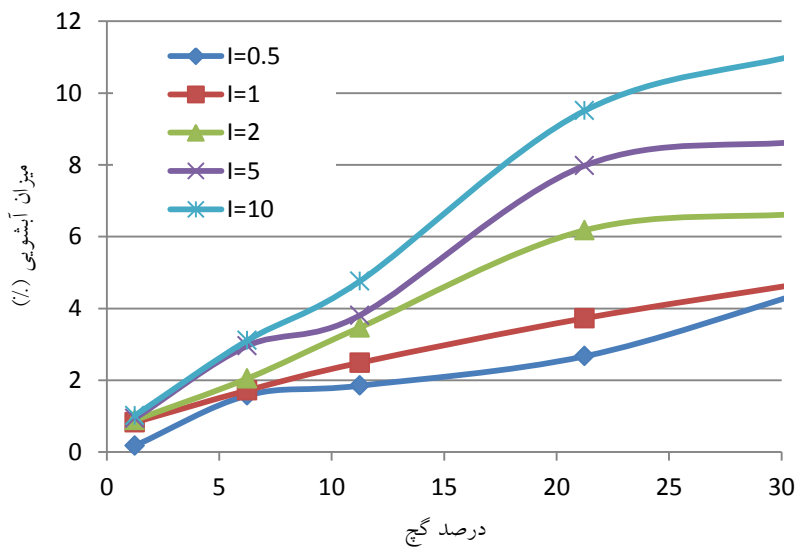
چگونگی تأثیر شیب هیدرولیکی جریان آب در خاک بر میزان انحلال گچ در نمونه‌های خاک گچی با مقادیر مختلف گچ برای خاک با بافت رسی در شکل (۷) ارائه شده است. با بررسی تأثیر شیب هیدرولیکی جریان آب در خاک بر میزان انحلال گچ در تمام نمونه‌های مورد بررسی، مشخص گردید کمترین میزان انحلال مربوط به شیب هیدرولیکی ۰/۵ و بیشترین مربوط به شیب هیدرولیکی ۱۰ است.

با توجه به مقادیر ارائه شده در جدول (۳) و شکل (۴) ملاحظه می‌گردد افزودن ذرات گچ به خاک تأثیری معنی‌داری در وزن واحد حجم نداشته است. با این حال با افزودن مقدار رطوبت بهینه تا حدودی کاهش یافته است. البته این موضوع به علت دانه‌بندی ذرات گچ مورد استفاده که تقریباً در حد ماسه سیلتی بوده است، می‌باشد. یعنی با افزایش میزان گچ، بافت خاک به سمت درشت دانه تر شدن تغییر یافته است. البته در چنین شرایطی انتظار این است که همزمان با کاهش میزان رطوبت بهینه، وزن واحد حجم خشک ماکزیمم نیز روند افزایشی داشته باشد ولی ذرات گچ علی‌رغم اینکه نسبت به خاک رسی از نظر اندازه درشت‌تر و در حد ماسه بوده‌اند لیکن به دلیل اینکه از وزن مخصوص کمتری (حدود ۲/۲ گرم بر سانتی‌متر مربع) نسبت به خاک رسی برخوردار هستند افزایش وزن واحد حجم خشک ماکزیمم (γ_d) مشاهده نگردیده است. این موضوع با نتایج ارائه شده توسط کارگر و همکاران (Kargar et al., 2008) نیز مطابقت دارد. از طرفی با توجه به اینکه اعمال دقیق رطوبت بهینه در پروژه‌های اجرایی میسر نمی‌باشد و در عمل رواداری مجاز برای رطوبت بهینه ۲ درصد در نظر گرفته می‌شود. با توجه به ارقام ارائه شده در جدول (۳) ملاحظه می‌گردد تغییرات رطوبت بهینه در نمونه‌های رسی به ازای مقادیر مختلف گچ کمتر از مقدار رواداری مجاز بوده است. لذا در این پژوهش برای ساخت نمونه‌های آزمایشی از رطوبت بهینه و وزن واحد حجم خشک متوسط برای همه نمونه‌ها استفاده گردید.

جدول ۴. مقادیر درصد و شدت آبشویی خاک مورد بررسی به ازای شیب‌های هیدرولیکی مختلف

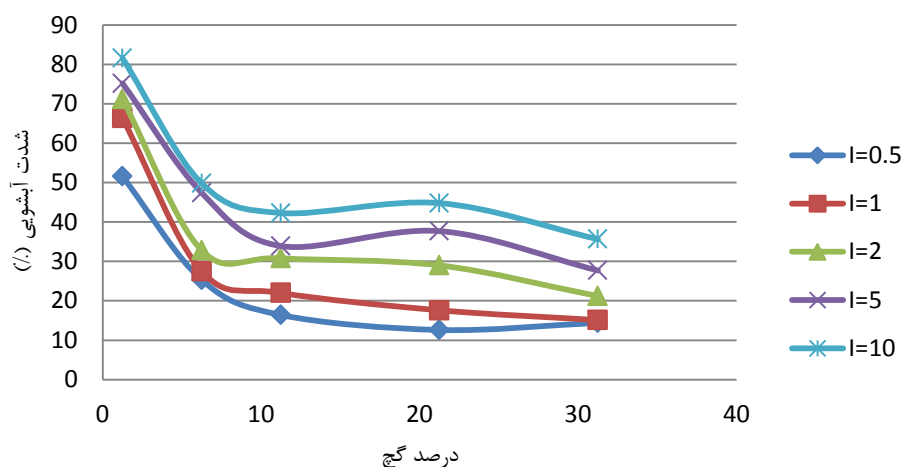
ردیف	شیب هیدرولیکی	درصد گچ قبل از آبشویی	درصد گچ بعد از آبشویی	درصد آبشویی	شدت آبشویی
۱	۰/۵	۱/۲۵	۰/۶۰۵	۰/۶۴۵	۵۱/۶
۲	۰/۵	۶/۲۵	۴/۶۷	۱/۵۸	۲۵/۳
۳	۰/۵	۱۱/۲۵	۹/۴۰	۱/۸۵	۱۶/۴
۴	۰/۵	۲۱/۲۵	۱۸/۵۸	۲/۶۷	۱۲/۶
۵	۰/۵	۳۱/۲۵	۲۶/۷۶	۴/۴۹	۱۴/۴
۶	۱	۱/۲۵	۰/۴۲	۰/۸۳	۶۶/۴
۷	۱	۶/۲۵	۴/۵۳	۱/۷۲	۲۷/۵
۸	۱	۱۱/۲۵	۸/۷۶	۲/۴۹	۲۲
۹	۱	۲۱/۲۵	۱۷/۵۲	۳/۷۳	۱۷/۶
۱۰	۱	۳۱/۲۵	۲۶/۵۲	۴/۷۳	۱۵/۱
۱۱	۲	۱/۲۵	۰/۳۶	۰/۸۹	۷۱/۲
۱۲	۲	۶/۲۵	۴/۲	۲/۰۵	۳۲/۸
۱۳	۲	۱۱/۲۵	۷/۷۸	۳/۴۷	۳۰/۸
۱۴	۲	۲۱/۲۵	۱۵/۰۷	۶/۱۸	۲۹
۱۵	۲	۳۱/۲۵	۲۴/۶۰	۶/۶۵	۲۱/۲
۱۶	۵	۱/۲۵	۰/۳۱	۰/۹۴	۷۵/۲
۱۷	۵	۶/۲۵	۳/۲۹	۲/۹۶	۴۷/۴
۱۸	۵	۱۱/۲۵	۷/۴۴	۳/۸۱	۳۳/۹
۱۹	۵	۲۱/۲۵	۱۳/۲۷	۷/۹۸	۳۷/۶
۲۰	۵	۳۱/۲۵	۲۲/۵۸	۸/۶۷	۲۷/۷
۲۱	۱۰	۱/۲۵	۰/۲۳	۱/۰۲	۸۱/۶
۲۲	۱۰	۶/۲۵	۳/۱۴	۳/۱۱	۴۹/۸
۲۳	۱۰	۱۱/۲۵	۶/۴۹	۴/۷۶	۴۲/۳
۲۴	۱۰	۲۱/۲۵	۱۱/۷۴	۹/۵۱	۴۴/۸
۲۵	۱۰	۳۱/۲۵	۲۰/۱۱	۱۱/۱۴	۳۵/۶۵

تأثیر مقدار گچ بر میزان انحلال گچ در خاک رسی

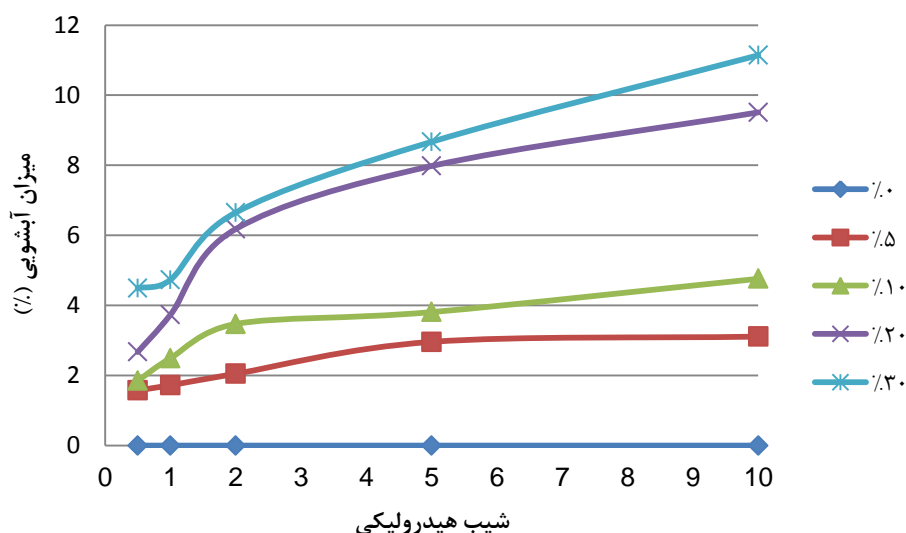


شکل ۵. تغییرات میزان انحلال گچ در نمونه‌های با مقادیر مختلف گچ و به ازای شیب هیدرولیکی مختلف

تاثیر مقدار گچ بر شدت آبهویی خاک رسی



شکل ۶. تغییرات شدت انحلال در نمونه‌های با مقادیر مختلف گچ و به ازای شیب هیدرولیکی مختلف



شکل ۷. تغییرات میزان انحلال گچ نسبت به شیب هیدرولیکی مختلف در نمونه‌های با مقادیر مختلف گچ

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.

آنالیز رگرسیونی بین مقادیر گچ و شیب هیدرولیکی با میزان انحلال گچ

با توجه به شکل (۵) ملاحظه می‌گردد تغییرات میزان آبهویی برحسب درصد (L) نسبت به درصد گچ موجود در خاک (G) به ازای تمام شیب‌های هیدرولیکی مورد بررسی روند مشابه و افزایشی بوده و ماهیت این تغییرات تقریباً خطی است. بر اساس ارزیابی انجام شده با استفاده از شاخص‌های آماری و تحلیل رگرسیونی، معادلات خطوط بیانگر این تغییرات و ضریب تبیین (r^2) مربوط به هر یک از این خطوط مطابق جدول (۵) تعیین گردید.

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 به همراه آب نیز بیشتر خواهد بود. بدین ترتیب می‌توان گفت میزان انحلال‌پذیری خاک گچی رابطه مستقیمی با میزان آب جریان یافته از محیط خاک

جدول ۵. مشخصات خطوط رگرسیونی تغییرات میزان آبهویی نسبت به درصد گچ به ازای شیب‌های هیدرولیکی مختلف

ردیف	شیب هیدرولیکی هیدرولیک	معادله خط	شیب خط a	عرض از مبدا خط (C)	ضریب تعیین r^2
۱	۰/۵	$L = 0.128G + 0.32$	۰/۱۲۸	۰/۶۴۵	۰/۹۵
۲	۱	$L = 0.128G + 0.87$	۰/۱۲۸	۱/۵۸	۰/۹۹
۳	۲	$L = 0.203G + 0.95$	۰/۲۰۳	۱/۸۵	۰/۹۴
۴	۵	$L = 0.269G + 1.04$	۰/۲۶۹	۲/۶۷	۰/۹۵
۵	۱۰	$L = 0.350G + 0.96$	۰/۳۵۰	۴/۴۹	۰/۹۷

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با طراحی و ساخت یک مدل فیزیکی خاص با قابلیت تغییر شیب هیدرولیکی و امکان انجام هم‌زمان آزمایش آبهویی بر روی ۵ نمونه خاک، تأثیر دو عامل شیب هیدرولیکی و مقدار گچ موجود در خاک بر میزان و شدت انحلال گچ موجود در یک خاک رسی بررسی و بر اساس مجموعه نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها و تحلیل‌های صورت گرفته موارد زیر قابل استنتاج و توصیه است:

مدل فیزیکی ساخته شده در این پژوهش بطور مناسبی قابلیت انجام آزمایش آبهویی را داشته و به عنوان یک وسیله مناسب می‌تواند در پژوهش‌های آبی با اهداف و فرضیه‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

علی‌رغم تأثیر جزئی مقدار گچ موجود در خاک بر رطوبت بهینه تراکم، وجود ذرات گچ در یک خاک رسی تأثیری در وزن واحد حجم خشک ماکزیم آن ندارد.

مقدار گچ موجود در خاک تأثیر مستقیمی بر میزان انحلال گچ دارد. بطوری‌که با افزایش درصد گچ میزان انحلال خاک نیز افزایش می‌یابد.

شدت انحلال یعنی نسبت مقدار گچ خارج شده از خاک به مقدار گچ اولیه موجود در خاک، با افزایش درصد گچ خاک کاهش می‌یابد.

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.

در این پژوهش یک رابطه مقدماتی برای برآورد و تخمین میزان انحلال گچ بر اساس شیب هیدرولیکی و درصد گچ موجود توسعه داده شد که پیشنهاد می‌گردد این رابطه با انجام تحقیقات بیشتر تدقیق و تکمیل گردد.

سپاسگزاری

با توجه به اینکه جهت انجام این پژوهش از امکانات و آزمایشگاه‌های مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی،

همانطوری‌که از جدول (۵) قابل ملاحظه است، ضریب تعیین معادلات رگرسیونی در همه موارد بیش از ۰/۹۴ است. این بدان معنی است که رابطه منطقی و بسیار مناسبی بین مقدار گچ موجود در خاک و میزان آبهویی به ازای مقادیر مختلف شیب هیدرولیکی وجود دارد. همچنین بررسی چگونگی تغییرات عرض از مبدا و شیب این خطوط نشان داد عرض از مبدا (C) رابطه خطی بین درصد گچ و میزان انحلال به ازای مقادیر مختلف شیب هیدرولیکی به جز یک مورد تقریباً ثابت و بطور متوسط برابر ۰/۹۵ می‌باشد. ولی شیب این خطوط (a) متناسب با شیب هیدرولیکی (i) بطور خطی افزایش می‌یابد. بر اساس تحلیل رگرسیونی رابطه بین شیب خطوط رگرسیونی تغییرات میزان انحلال با درصد گچ با شیب هیدرولیکی به شرح زیر رابطه (۲) تعیین گردید.

$$a = 0.0235 i + 0.13 \quad (\text{رابطه ۲})$$

سپس با فرض مقدار ثابت و متوسط ۰/۹۵ برای عرض از مبدا خطوط رگرسیونی بین مقدار گچ موجود در خاک و میزان آبهویی و استفاده از رابطه (۲) برای شیب این خطوط، معادله کلی برآورد میزان انحلال گچ موجود در خاک بر حسب مقدار گچ و شیب هیدرولیکی به شرح زیر استخراج گردید.

$$L = 0.0235 i \times G + 0.13G + 0.95 \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن:

$$L = \text{میزان انحلال گچ بر حسب درصد}$$

$$G = \text{مقدار گچ موجود در خاک بر حسب درصد و}$$

$$i = \text{شیب هیدرولیکی است}$$

البته شایان ذکر است رابطه (۳) یک رابطه مقدماتی برای برآورد و تخمین میزان انحلال گچ بر اساس شیب هیدرولیکی و درصد گچ موجود در خاک است که بر اساس آزمایش‌های محدود انجام شده بر روی یک نمونه خاک توسعه داده شده است. لذا ضروری است این رابطه با انجام پژوهش‌های بیشتر بر روی خاک‌های مختلف با مشخصات دانه‌بندی و خواص خمیری متفاوت تکمیل گردد.

مراتب تقدیر خود را از مدیریت و کارکنان دستگاه‌های یاد شده اعلام می‌دارند.

آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان ایلام و شرکت سازه آزمایشی پارسیان استفاده گردیده است، بدینوسیله نگارندگان

REFERENCES

- Abbasi, N. (2011). The role of anions in dispersion potential of clayey soil. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 12(3), IAERI, pp. 15-30 (In Farsi)
- Abbasi, N. and Nazifi, M.H., (2013). Assessment and modification of Sherard chemical method for evaluation of dispersion potential of soils. *Journal of Geotechnical and Geological Engineering*, 31(1), 337-346.
- Abedi, Koupai, Soltanian and Gheysari, M., (2015). Impact of Micro Silica, Pumice and Perlite on Mechanical Properties of Gypsiferous Soils. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 19(72), 337-349
- Abbaspoor, S., Daavi, H. and Fili, J., (2008). Practical methods in improving constructed canals on gypsiferous soils in operating irrigation networks, Case study: Canal A, Behbahan Network, 1st Iranian Seminar on Geotechnical Issues of Irrigation and Drainage Networks, Ag. Eng. Research Institute, Karaj, Iran. (in farsi)
- Akpokodje, E. G., (1985). The engineering classification of some Australian arid zone soils. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 31(1), 5-8
- Anon. (2000). Annual Book of ASTM Standards. Vol 0408. Soil and Rock, ASTM D4647.
- Arakelyan, E.A., (1986). Characteristics and determination of the physical properties of gypsum soils. *Journal of Soil Mechanics & Foundation Eng.*, Vol. 23, No. 1, pp27-29.
- Asghari, S., Ghafoori, M., Tababai, S.S., (2014). The evaluation of changes in permeability and chemical composition of gypseous soils through leaching in southern Mashhad, Iran. *Malaysian Journal of Civil Engineering*. 26 (3), 337-348
- Coutinet, S. (1965). Méthodes d'analyse utilisables pour les sols sales. Calcaires et gypseux. *Agronomie Tropicalé*, Paris, 12:1242-1253
- Fauziah, A. M.D., said., A.M. and Najah, I. (2012). Effect of Leaching and gypsum content on properties of gypsiferous soil. *International Journal of scientific Research publications*, 2(9), 5pp.
- Hashemi, S. S., M., Baghernejad, M. and Najafi Ghiri, M., (2013). Clay mineralogy of gypsiferous soils under different soil moisture regimes in Fars Province Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 15 (5), 1-7.
- Kargar, S., (2008). Investigating the effect of gypsum on some physical properties of soils. The first national seminar of geotechnical issues of irrigation networks, Agricultural Engineering Research institute.
- Kifae, A.A., (2010). "Chemical and physical effects on engineering properties of gypseous subgrade soil. *Al-Qadisia Journal for Engineering Sciences*, 3(3), 17 p.
- Movahedan, M., Abbasi, N., and M. Keramati. (2011). Experimental investigation of polyvinyl acetate polymer application for wind erosion control of soils. *Journal of Water and soil (Agricultural Science and Technology)*, 25(2), 606-616
- Mou'taz, A., Tom, S. and Yassen M. (2010). Comparison of gypsiferous Soils in Samarra and Karbala Areas. *Iragi Bulletin of Geology and Mining*, 6(2), 115-126.
- Petrokhin, V.P. (1993). Construction of structures on saline soils. Balkema Netherlands Publishing Co, 255pp.
- Rahimi, H., Abbasi, N., (2015). Geotechnical Engineering, Problematic soils, Tehran University Press, (in farsi)
- Rahimi T. and Musavi Jahromi, S.H., (2016). Effect of polyurethane mastic on shear strength of gypsiferous soil. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 19(74), 165-177.
- Rahimi H., Abbasi, N., H. Shantia. (2011). Application of geomembrane to control piping of sandy soil under concrete canal lining (case study: Moghan irrigation project, Iran). *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 60, 330-337
- Rahimi, H. and Yoosefi, A., (1995). Failure of underground water storage at Hengam Island due to being founded on salt Dome. Technical Report, Hormozgan Regional Water Board, Iran.
- Rogers, J. D., (2013). The St Francis dam failure, worst American Civil Engineering disaster of the 20th century. Shelmon Specialty conference on dam foundations failures and incidents, Denver, Colorado
- Sadrekarimi, J., Kiyani, M. and Fakhri, B. (2006). Gypsum dissolution effects on the performance of a large dam. ICOLD, Barcelona, Spain.
- Yaghmaeean, N., Givi, G. (2006). Comparison various methods of measuring gypsum in some soils of Isfahan. *Journal of agriculture science and natural resources*. 42, 565-576.