نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال هفتم، شماره اول، پاییز ۱۳۹۶

ISSN 2251-7480

ارزیابی تحلیلی و آزمایشگاهی میزان انحلال‌پذیری خاک‌های گچی

علی عباس افشاریان[۱]، نادر عباسی[۲*]، امیر خسروجردی[۳] و حسین صدقی[٤]

۱) دانشجوی دکترای؛ گروه علوم ومهندسی آب؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم وتحقیقات؛ تهران؛ ایران

۲*) دانشیار؛ مؤسسه تحقیقات فنی مهندسی کشاورزی؛ سازمان تحقیقات؛ آموزش وترویج کشاورزی؛ کرج؛ ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: nader_iaeri@yahoo.com

۳) استادیار؛ گروه علوم ومهندسی آب؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم وتحقیقات؛ تهران؛ ایران

٤) استاد؛ گروه علوم ومهندسی آب؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم وتحقیقات؛ تهران؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۰۵

چکیده

خاک‌های گچی به علت انحلال‌پذیری ذرات گچ موجود در آن‌ها در اثر تماس با آب، یکی از انواع خاک‌های مشکل آفرین می‌باشند. در این پژوهش اثر سه عامل درصد گچ، شیب هیدرولیکی وبافت خاک بر میزان انحلال گچ به صورت تحلیلی وآزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ابتدا نمونه‌های خاک گچی به‌طور مصنوعی و با افزودن مقادیر مختلفی از سنگ گچ طبیعی شامل:۰، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی به سه نوع خاک با بافت‌های رسی، سیلتی و ماسه‌ای در مجموع ۱۵ نمونه خاک گچی تهیه گردید. سپس هریک از نمونه‌های گچی تحت شیب‌های هیدرولیکی مختلف شامل: ۰/۵، ۱، ۲، ۵ و۱۰ مورد آبشویی قرار گرفتند. برای انجام آزمایش آبشویی دستگاه خاصی با قابلیت تغییر شیب هیدرولیکی طراحی و ساخته شد. نتایج آزمایش‌ها و تحلیل آماری انجام شده نشان داد که مقدار گچ بیشترین تأثیربرمیزان انحلال گچ انواع خاک دارند و متغیرهای شیب هیدرولیکی و نوع خاک به‌ترتیب در رده‌های بعدی از این نظر قراردارند. همچنین در این پژوهش برای تبین میزان آبشویی گچ به ازای پارامترهای شیب هیدرولیکی و درصد گچ، برای هریک از خاک‌ها یک معادله رگرسیونی به‌طور مجزا و نیز یک معادله کلی برای تمام خاک‌ها ارائه گردید.

کلید واژه‌ها: تحلیل آماری؛ خاک گچی؛ سرعت انحلال؛ شیب هیدرولیکی

مقدمه

خاک‌های گچی در بیشتر کشورهای دارای اقلیم خشک و نیمه خشک گسترش یافته‌اند. این خاک‌ها در مناطق وسیعی از قاره آسیا، از جمله ایران، سوریه، عراق، چین، ازبکستان و قزاقستان پراکنده‌اند. افزایش روز افزون جمعیت و لزوم اجرای طرح‌های توسعه ای باعث گردیده که بهره برداری از اراضی گچی در سال‌های اخیر توسعه یابد. از جمله این طرح‌ها می‌توان به پروژه‌های آبیاری و زهکشی، توسعه شبکه‌های ارتباطی، جاده‌ها، خطوط راه آهن، باندهای فرودگاه، استخراج معادن، ایجاد شهرک‌های صنعتی، سیاحتی و میادین نفت و گاز و ... اشاره نمود. بحث خاک‌های گچی و عوارض ناشی از آن در ایران با توجه به اقلیم خشک و نیمه خشک و پراکنش خاک‌های گچی در بسیاری از مناطق ایران از جمله خوزستان، خراسان، یزد، اصفهان، ایلام، زنجان، سیستان و بلوچستان و سایر مناطق ایران بسیار حائز اهمیت است. به‌عنوان نمونه و بر اساس گزارش سازمان فائو وسعت اراضی گچی در ایلام که هم مرز با کشور عراق می‌باشد به صورت خالص ١٤٦٠٠ هکتار و به صورت ناخالص ٦٢٩٩٦٠ هکتار می‌باشد. در این استان و در شهرستان بدره مشاور طرح ساختگاه مخزن ۱۰۰۰ مترمکعبی را به ناچار در بلندترین نقطه شهر که بر روی لایه‌های گچی قرار داشت پیشنهاد

نمود که پی آن توسط آهک ومصالح مناسب دیگر تثبیت گردید. (بی نام، ۱۳۸۰).

همچنین می‌توان به یک نمونه دیگر از پروژه‌های اجرا شده استان ایلام بر روی لایه‌های خاک گچی، پروژه شبکه فرعی کنجانچم شهر مهران اشاره نمود. که سازمان جهاد کشاورزی جهت بهبود خاک اقدام به تعویض خاک مسیر کانالها کرد (بی نام،۱۳۹۰). لذا در اغلب موارد احداث سازه بر روی بسترهای گچی اجتناب ناپذیر بوده و ضروری است تمهیدات لازم برای ایمنی و پایداری سازه‌های بنا شده بر روی این خاک‌ها صورت گیرد. وجود بلورهای گچی در خاک که دارای خواص فیزیکوشیمیایی خاصی است بر روی بعضی از خصوصیات خاک از قبیل مقاومت، نشست پذیری، رطوبت تراکم، حدود اتربرگ، دانه‌بندی و غیره تأثیر دارد. در دهه‌های اخیر تخریب سازه‌های استقرار یافته بر روی خاک‌های گچی، مشـــکلات عدیده‌ای را به‌ویژه در مناطق حاوی خاک‌های گچی ایجاد کرده است. بر اساس گزارش‌های موجود سازه‌های متعددی در سراسر دنیا به‌دلیل وجود گچ تخریب شده و به تبع آن خسارت مالی و حتی جانی زیادی را به وجود آورده است (رحیمی و عباسی، ۱۳۹٤). مشکلات سازه‌های بنا شده روی زمینهای گچی، اولین بار در سال ۱۹۲۷ در اسپانیا به‌دلیل تخریب کانالهای تازه تاسیس رخ داد. به‌طوری که در بسیاری از قسمت‌ها، سازه فوقانی نشست کرده و در بعضی مناطق نیز موجب تخریب و یا تغییر شکل پوشش کانال شده است (رحیمی و عباسی، ۱۳۹٤).

شکست سد سنت فرانسیس در ایالت کالیفرنیای آمریکا در ماه مارچ سال ۱۹۲۸ که منجر به مرگ تعداد زیادی از اهالی گردید وجود مواد انحلال‌پذیر در پی آن عنوان گردید. در همین گزارس به تلفات شدید آب از مخازن سدهای واقع در ایالات اوکلاهما و نیومکزیکو در آمریکا اشاره نمود (Rogers, 2013). ایجاد تونلهای ناشی از آبشستگی در پی سدهای هوندا، ماکسی میلیان و ردراک، ترک خوردگی و نشست سد بیرس (Birs) در نزدیکی باسل(Basel)، تخریب و فرو ریختگی کانالهای سلهابیه 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 (Maksimovich *et al*., 1983; AL –Refaii *et al.*, 1976). 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 مهیار در حوضه رودخانه زاینده رود در اصفهان ایران از بارزترین مثال‌ها در خصوص تخریب کانال در اثر وجود خاک گچی در بستر کانال می‌باشد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۱). یکی دیگر از کانالهای انتقال آب خسارت دیده بر اثر ساخته شدن بر روی اراضی گچی، کانال اصلی (کانال *A*) شبکه بهبهان است (Abbaspoor *et al*., 2008). 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 به واسطه 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 زیر زمینی 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 (Sadrekarimi *et al*., 2006). بنابراین با توجه به مطالب فوق ضرورت بررسی و مطالـــعه دقیق عللی که منجر به تخریب سازه می‌گردد آشکار می‌شود. در چند دهه

اخیر تحقیقات پراکنده‌ای در خصوص شناسائی خاک‌های گچی و مکانیزم‌های کنترل انحلال آن و نیز اقدامات علاج بخشی در مواجهه با این نوع خاک‌ها صورت گرفته است. یغماییان و گیوی (۱۳۸٦)، با بررسی و مقایسه روش‌های مختلف اندازه گیری گچ در خاک‌های اصفهان بیان کردند عامل اصلی در تفاوت در دقت روش‌ها، نوع عصاره‌گیر گچ بوده و از بین عصاری‌گیری‌های موجود، روش کربنات سدیم از کارآیی بیشتری برخوردار است. Akpokodje (۱۹۸۵)، بیان کرد 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. Petrokhin (۱۹۹۳)، 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، خمیرایی 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 خمیرایی 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 $۲/۳۲ gr/cm^3$ می‌باشد.

Fauziah و همکاران (۲۰۱۲)، 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 دستخورده خاک در حالت خشک به علت اثر سیمانی گچ دارای مقاومت بالا بوده وپس از شسته شدن گچ مقاومت آن‌ها شدیداً کاهش یافته است (Mou'taz *et al.*,2010, Kifae, 2010). آزمایشهایی برای بررسی اثر دوره آبشویی بر پارامترهای مقاومت برشی و CBR[1] یک خاک ماسه‌ای رسی – گچی با طبقه‌بندی (SC) را که حاوی ٦۳ درصدگچ بود به عمل آورد و به این نتیجه رسید که مقاومت برشی، CBR با افزایش دوره آبشویی کاهش می‌یابند. کارگر (۱۳۸۷)، بررسی اثر گچ بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک رسی را بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که وجود گچ در خاک باعث کاهش حد روانی و شاخص خمیرایی می‌شود. نژاد هاشمی و همکاران (۱۳۷۹)، نشان داد که نفوذ پذیری در خاک‌های گچی با توجه به بافت خاک وشکل بلورهای گچ متفاوت بوده وممکن 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 وشسته شدن گچ نسبتا زیاد بوده اما تدریجا کاهش می‌یابد ونهایتا به مقدار ثابتی میل می‌کند.علیرغم وجود سطح وسیعی از اراضی گچی در ایران متأسفانه تحقیقات فنی و دقیق زیادی در زمینه مشخصات ژئوتکنیکی و مسائل و مشکلات ناشی از وجود گچ در رابطه با سازه‌های آبی در ایران صورت نگرفته لذا دراین پژوهش سعی شده ارزیابی تأثیر شیب هیدرولیکی، درصد گچ وبافت خاک بر میزان انحلال گچ در خاک بصورت تحلیلی وآزمایشگاهی بررسی گردد.

مواد وروشها

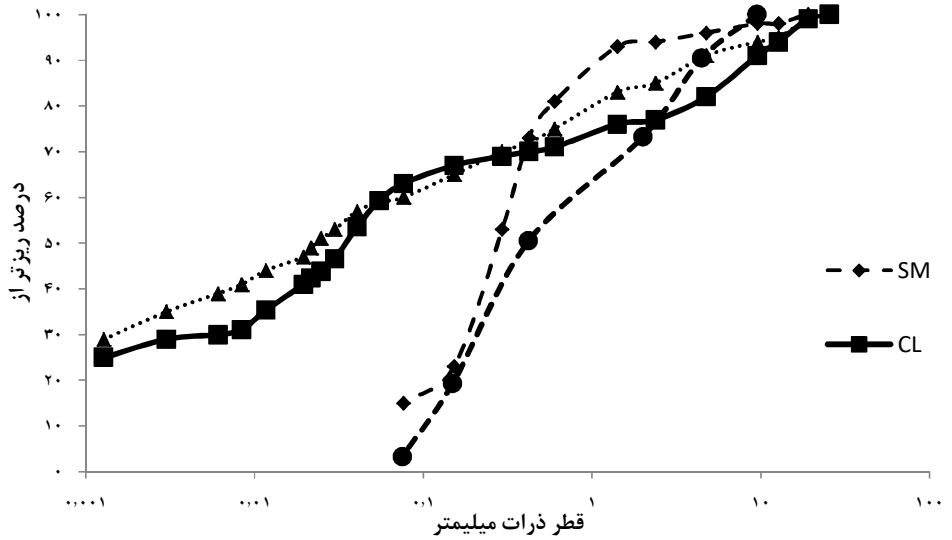
تهیه نمونه خاک

نمونه خاک‌های مورد بررسی در این تحقیق از مناطق مختلف استان ایلام تهیه گردیده است. بدین منظور با توجه به بازدیدهای میدانی ومشکلاتی که در پروژه‌های اجراشده در شهرستآن‌های بدره ومهران استان ایلام که به واسطه وجود خاک گچی رخ داده بود، از ۱۰منطقه نمونه‌هایی تهیه

[1] *California Bearing Ratio*

و پس از انجام آزمایشهای اولیه شامل؛ دانه‌بندی و حدود اتربرگ، سه نمونه خاک با بافت رسی (CH) ازبخش صالح آباد شهرستان مهران، خاک رسی سیلتی (CL) از شهرستان ایلام وخاک ماسه‌ای (SM) از شهرستان دره شهر به عنوان نمونه‌های با بافت‌های مختلف برای انجام پژوهش انتخاب شدند.

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.



شکل۱. منحنی دانه‌بندی نمونه‌های مورد بررسی

جدول۱. مشخصات فیزیکی خاک‌های مورد بررسی

محل نمونه برداری	بافت (٪)			مشخصات تراکمی (آزمایش پراکتور استاندارد)		حدود آتربرگ		طبقه‌بندی (یونیفاید)
	رس	سیلت	شن و ماسه	رطوبت بهینه	وزن واحد حجم ماکزیمم (gr/cm^3)	حد روانی	حد خمیری	
دره شهر	۱۰	۵	۸۵	۱۱/۹	۱/۸۲	NP	NP	SM
ایلام	۲۸	۲۷	۴۵	۱۴/۵	۱/۷۸	۳۹	۱۸	CL
مهران	۳۰	۲۶	۴۴	۱۷	۱/۶۸	۶۰	۳۳	CH

جدول ۲. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های مورد بررسی

محل نمونه برداری	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^+	
دره شهر	۷/۳۱	۰/۸۶	–	–	–	۳/۲	۳/۲	۶	–	–	۶
ایلام	۷/۲۴	۰/۷۸	–	–	–	۴/۶	۴/۶	۵/۶	–	–	۵/۶
مهران	۷/۷۵	۳/۸۴	–	۲	۱۸۵	۶۲/۵	۲۴۹/۵	۲۲/۸	۱۷۷	۳۵	۲۳۴/۸

نمونه خاک‌ها قبل از اختلاط با سنگ گچ و تهیه تیمارهای آزمایشی، مورد آزمایش‌های شناسایی برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیائی شامل: دانه‌بندی، حدود آتربرگ، مشخصات تراکمی وآنالیز شیمیایی (تعیین آنیون‌ها و کاتیون‌های مهم، تعیین pH وEC) قرار گرفتند. منحنی دانه‌بندی نمونه خاک و گچ مورد استفاده برای تهیه نمونه‌های خاک گچی در شکل ۱ و مشخصات فیزیکی و شیمیائی نمونه خاک‌ها به ترتیب درجداول ۱ و۲ ارائه گردیده‌اند.

معرفی تیمارها

با توجه به هدف پژوهش که ارزیابی تحلیل آماری وآزمایشگاهی میزان انحلال خاک‌های گچی بوده است، نمونه‌های خاک گچی به‌طور مصنوعی با افزودن مقادیر مختلفی از سنگ گچ طبیعی شامل:۵،۰، ۱۰،۲۰ و۳۰درصد وزنی به سه نوع خاک رسی، سیلتی و ماسه‌ای تعداد ۱۵ نمونه خاک گچی تهیه گردید. سپس هر یک از نمونه‌های گچی تحت شیب‌های هیدرولیکی ۰/۵، ۱،۲، ۵ و۱۰ مورد آزمایش آبشویی قرار گرفتند. بدین ترتیب تعداد ۷۵ تیمار آزمایشی تهیه و هر تیمار در سه تکرار و در کل تعداد ۲۲۵ آزمایش آبشویی انجام گرفت.

انجام آزمایش تراکم

با توجه به اینکه برای متراکم کردن نمونه خاک‌ها در داخل سلول آبشویی نیاز به رطوبت بهینه و دانسیته خشک ماکزیمم 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 ازمایش تراکم استاندارد بر روی کلیه مخلوطهای مورد بررسی مطابق استاندارد ASTM D698 انجام گرفت. (Anonymous , 2000).

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 آبشوئی است.

سلول آبشوئی

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 استوانه ای به طول کلی ۳٤ سانتی‌متر و طول موثر 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 ویک 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 پلی اتیلن با فشار زیاد (۱۰ اتمسفر) بوده و برای تثبیت و آببندی بالا و پایین سلول از فلنج ۲۰۰ میلی متری با فشار کار ۱۰ بار، و واشر تخت لاستیکی استفاده شده و فلنج‌های بالا وپائین وخود قالب از ٤ عدد پیچ به طول ٤۳ سانتی‌متر با مهره‌هایی در زیر و بالا مهارگردیده است(شکل۲).

سیستم مولد شیب هیدرولیکی

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

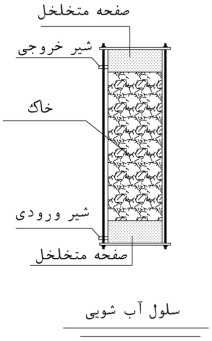
تامین آب سیستم، توسط پمپ به بالای یک لوله فولادی به طول ۲/۵ مترو به قطر $\frac{1}{2}$ ۱ اینچ پمپاژ و از آنجا با شیب هیدرولیکی معین به مخزن تغذیه سلول آبشویی هدایت می‌گردد. بدین ترتیب که بسته به شیب هیدرولیکی مورد نظر، شیر خروجی مناسب در بدنه لوله انتخاب و شیرهای بالاتر از آن باز و آب سر ریز شده از این خروجیها مجدداً به مخزن تامین 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 جلوگیری می‌شود.

مخزن تغذیه

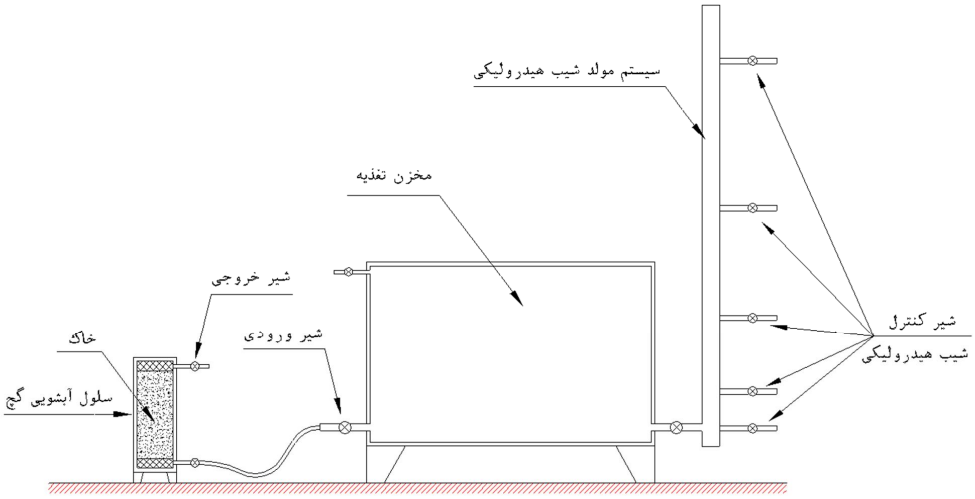
با توجه به تعداد زیاد آزمایش‌های آبشویی و زمان بر بودن هر یک از آزمایش‌های آبشویی، انجام آزمایش‌های این پژوهش با یک سلول آبشویی امکان‌پذیر نبود. لذا به‌منظور فراهم شدن امکان انجام همزمان چند آزمایش آبشویی و به عبارتی امکان استفاده از چند سلول آبشویی برای انجام آزمایش‌هایی با شیب هیدرولیکی یکسان، از یک 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 ۲میلی متر 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 ۱۰سانتی‌متر از یکدیگر و از طرفین کف مخزن قرار داده شده‌اند به‌طوری‌که 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 شکل‌های ۲ و ۳ به‌طور شماتیک نشان داده شده است.

روش ساخت نمونه‌ها

همان‌طوری‌که اشاره گردید، هدف این پژوهش بررسی تأثیر بافت خاک، درصد گچ و شیب هیدولیکی بر میزان انحلال خاک‌های گچی بود. لذا در این پژوهش برای ساخت نمونه‌های آزمایشی ابتدا نمونه‌های 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 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.



شکل ۲. شماتیک سلول آبشویی گچ



شکل ۳. شماتیک کل دستگاه آبشویی گچ

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.

پس از متراکم کردن نمونه‌ها در داخل سلول آبشویی، صفحات مشبک فلزی و لایه‌های ژئوتکستایل که نقش فیلتر را دارند، در بالا و پایین نمونه قرار داده شده و فلنج‌های قالب با پیچ‌های مربوطه مهار می‌گردند. این عمل برای یک نمونه خاک با درصدهای مختلف گچ به‌طور همزمان انجام و سپس ۵ سلول آبشویی آماده شده به‌طور همزمان تحت یک شیب هیدرولیکی معین قرار می‌گیرند.

آزمایش آبشویی 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.

شکل ۴. متراکم کردن خاک در داخل سلول آبشویی

پس از این مدت شیر خروجی نمونه باز و در مدت زمان‌های مختلف شامل ۵، ۳۰، ٦۰، ۱۲۰، ۳٦۰، ۷۲۰، ۱٤٤۰ و۲۸۸۰ دقیقه پس از باز شدن شیر خروجی تحت شیب هیدرولیکی ثابت، آب خروجی از نمونه جمع آوری 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، همچنین پس از پایان آزمایش، میزان گچ نمونه خاک به روش تعیین یون سولفات مشخص گردید.(Anonymous, 2005).

اندازه گیری میزان گچ در خاک

بعد از اتمام آزمایش‌ها نمونه خاک از لایه‌های مختلف خاک درون سلول خارج شده وبرای یکنواختی نمونه‌ها مجددا مخلوط شده ونمونه‌های 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 میلی متری عبور داده شده و این نمونه مجددا با آسیاب تا اندازه‌ای که از الک یک میلی متری عبور کند خرد و یکنواخت می‌گردد. سپس نمونه‌ای در حدود ۱۰۰ گرم از آن تهیه و مجددا آن را آسیاب نموده تا از الک ۱۵۰ میکرونی رد شود. نمونه نهایی بدست آمده آزمونه مورد نظر می‌باشد. در ادامه ۵گرم از خاک آزمونه به همراه ۱۰ سی سی آب و ۲۰ سی سی آمونیوم کربنات ۲۵% به مدت ۱۵ دقیقه روی هیتر جوشانده می‌شود. پس از این مدت روی کاغذ صافی باند سفید ۸ تا۱۰بار صاف و با آب مقطر داغ شستشو داده می‌شود. محلول زیر صافی رابه بشر ۲۵۰ سی سی منتقل و مجدداً روی هیتر گرم می‌شود. سپس ۱۰سی‌سی کلرید باریم به محلول اضافه و به مدت ۲٤ساعت نگهداری می‌شود. سپس آن را با کاغذ صافی باندآبی۸ تا ۱۰بار صاف کرده با آب مقطر داغ شستشو داده می‌شود. سپس کروزه را وزن کرده (M1) ورسوب را داخل آن ریخته وروی 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 ٦/۸٦ و۱/۷ (به ترتیب تمام سولفات محلول وضریب تبدیل گچ) درصد گچ طبق رابطه زیر بدست می‌آید. (Coutinet, 1965)

$$(۱) GP = (M_2 - M_1) \times 6.86 \times 1.7$$

نرم افزار مورد استفاده برای تحلیل آماری

در این پژوهش به منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایشگاهی از نرم افزار SPSS نسخه ۲۰ استفاده گردید. در محیط این نرم افزار برای تحلیل نتایج از شاخص‌های مختلف آمار استنباطی، رگرسیون خطی وتحلیل واریانس یک راهه استفاده شده است. برخی از شاخص‌های آماری مورد استفاده در این پژوهش برای ارزیابی آماری داده به اختصار و به شرح زیر معرفی می‌گردند (مومنی و قیومی، ۱۳۹٤):

R:ضریب همبستگی بین متغیرها است.

R^2: ضریب تعیین، که بیان می‌کند چه مقدار از متغیر وابسته یعنی میزان آبشویی می‌تواند توسط متغیرهای مستقل ازجمله شیب هیدرولیکی ودرصد گچ تبیین شود.

P : معنی دار بودن متغیرها را نشان میدهد.

β:مقدار استاندارد شده ضرایب که نشان دهنده میزان تغییر در متغیر وابسته به ازای تغییری به اندازه یک انحراف معیار در متغیر مستقل است وضرایب رگرسیون ومقدار ثابت را نشان می‌دهد.

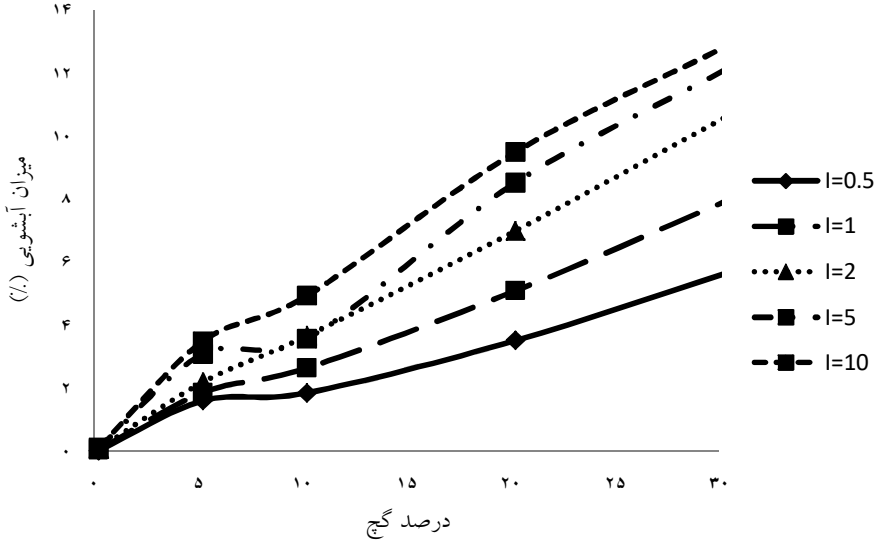
T و P آماره‌های آزمون فرض تساوی هریک از ضرایب ستونβ با عدد صفر می‌باشند.

نتایج و بحث

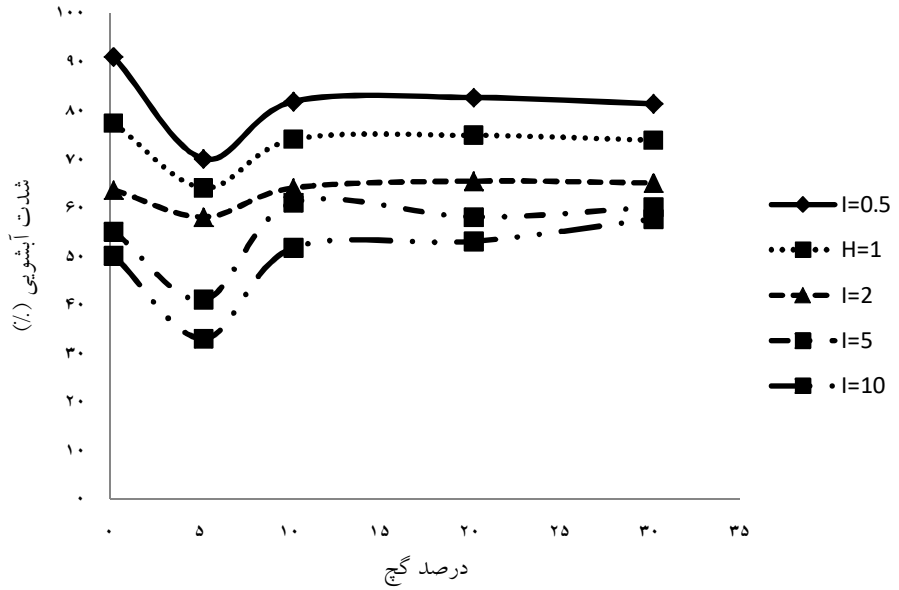
نتایج آزمایشگاهی

بررسی تأثیر مقدار گچ بر روند انحلال خاک گچی

پس از آزمایش آبشویی، میزان گچ باقیمانده وخارج شده از هریک تیمارها در اثر آبشویی تعیین و محاسبه گردیدند. نتایج حاصل از این بررسی‌ها به عنوان نمونه برای نمونه خاک ماسه‌ای به ازای مقادیر مختلف 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. بطوریکه با افزایش درصد گچ میزان انحلال گچ درخاک نیز افزایش می‌یابد. همچنین آبشویی یعنی نسبت مقدار گچ خارج شده از خاک به مقدار گچ اولیه موجود در خاک، با افزایش درصد گچ خاک کاهش می‌یابد(شکل ٦).



شکل ۵. نمودار تأثیر مقدار گچ بر میزان آبشویی گچ در خاک ماسه ای



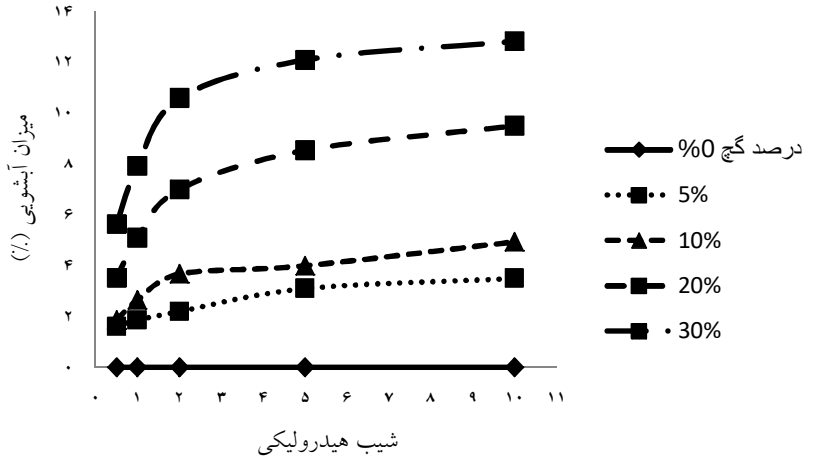
شکل ۶. نمودار تأثیر مقدار گچ بر شدت آبشویی گچ در خاک ماسه ای

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 به عنوان نمونه، برای خاک با بافت ماسه‌ای 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 که کمترین میزان انحلال مربوط به شیب هیدرولیکی ۰/۵وبیشترین 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.

بررسی تأثیر بافت خاک بر روند انحلال خاک گچی

نتایج بدست آمده از انجام آزمایشهای آبشویی بر روی نمونه‌های خاک با بافت‌های مختلف و تحت شیب‌های هیدرولیکی متفاوت برای نمونه‌های حاوی ۲۰ درصد گچ و همچنین میزان انحلال نمونه‌های گچی به ازای مقادیر مختلف گچ و تحت شیب هیدرولیکی ثابت برابر با ۱۰، برای سه نوع خاک مورد بررسی، مطابق شکل‌های ۸ و ۹ ارائه گردیده است. با توجه به شکل‌های مذکور مشاهده می‌گردد که میزان آبشویی در خاک ماسه‌ای بیشتر از خاک‌های رسی و رسی سیلتی است. یعنی در خاک‌هایی با بافت سبک تر و درشت دانه تر پتانسیل انحلال گچ موجود بیشتراز خاک‌های ریزدانه است. این موضوع را می‌توان به میزان نفوذپذیری بیشتر خاک‌های درشت دانه و با بافت سبک و نیز قابلیت محدود انحلال‌پذیری گچ در آب نسبت داد.بدین معنی که 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 خاک‌های درشت دانه به واسطه نفوذپذیری بیشتر آن‌ها،حجم آب خروجی از نمونه به‌مراتب بیشتر از خاک‌های ریزدانه 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 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.

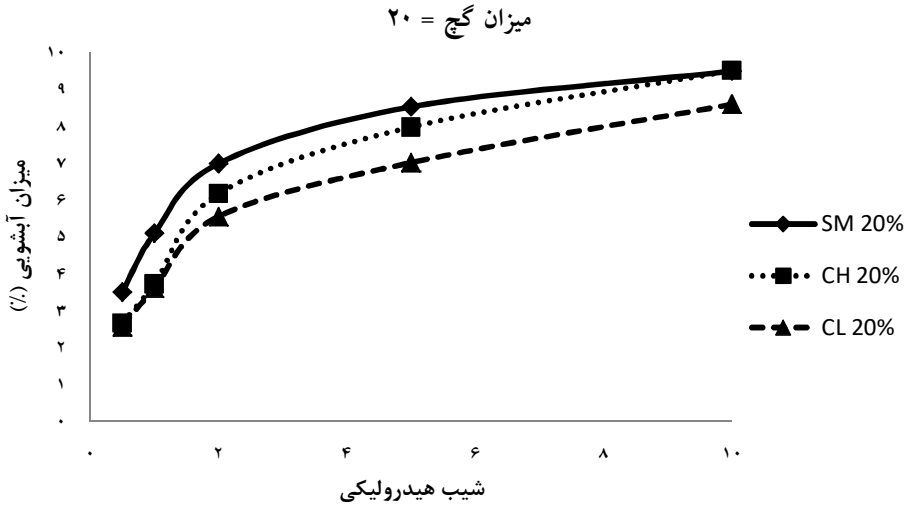


شکل۷. نمودار تأثیر میزان گچ وشیب هیدرولیکی بر میزان آبشویی

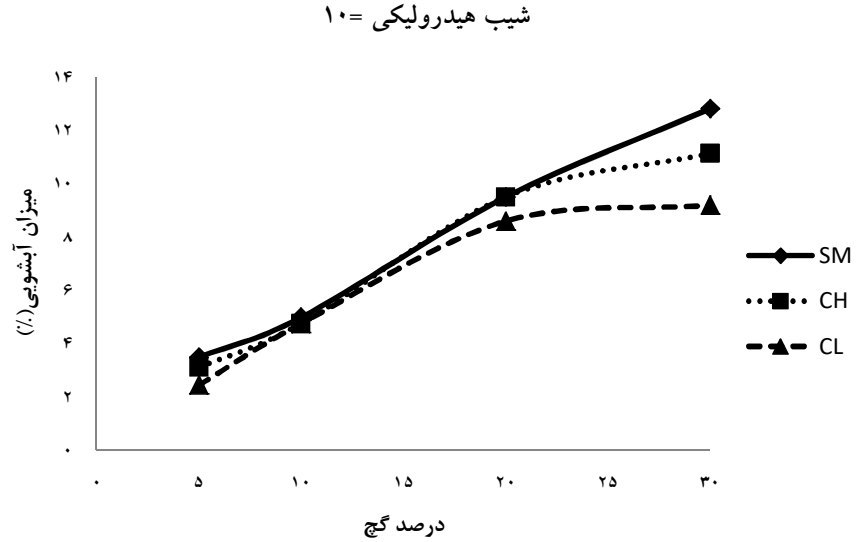
همچنین با توجه به شکل‌های ۸ و ۹ ملاحظه می‌گردد علیرغم تفاوت زیاد انحلال‌پذیری خاک رسی با دو نوع خاک دیگر، میزان انحلال‌پذیری خاک رسی ورسی سیلتی تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند، این موضوع در مورد تمام نمونه‌های رسی ورسی سیلتی با مقادیر مختلف گچ وشیب هیدرولیکی، صادق بود. این به علت تشابه زیاد خواص خمیرایی، رس وسیلت‌ها وازهمه مهمتر میزان نفوذ پذیری آن‌ها بوده است. به طوریکه در این پژوهش میزان انحلال خاک‌های گچی با بافت ماسه‌ای حدود ۱/۵ الی ۲ برابر خاک‌های رسی تعیین گردید.

نتایج تحلیل آماری

در این بخش با توجه به فرضیه‌های مختلف اثر سه عامل درصد گچ، شیب هیدرولیکی وبافت خاک مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل۸. تغییرات میزان انحلال گچ به ازای شیب هیدرولیکی برای خاک‌های مختلف



شکل۹. تغییرات میزان انحلال گچ به ازای درصد گچ برای خاک‌های مختلف

فرضیه۱. بین شیب هیدرولیکی،درصد گچ، آبشویی و خاک رس ارتباط معنادار وجود دارد.برای آزمون این فرضیه تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SPSS انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. باتوجه به سطح معنی‌داری برآورد شده در مورد ارتباط آبشویی و شیب هیدرولیکی که از سطح آلفای مورد نظر(۰/۰۵) کمتر است. می‌توان گفت که بین آبشویی و شیب هیدرولیکی ارتباط مثبت و معنادار وجود دارد. بنابراین فرض h0 رد و فرض h1 تأیید گردید. همچنین آنالیز رگرسیونی برای تعیین ارتباط بین متغییرهای مستقل و وابسته انجام گرفت که نتایج حاصل از این بررسی نیز در جدول ٤ ارائه شده است. لذا با توجه به مقادیر جدول ٤ معادله رگرسیونی میزان آبشویی گچ خاک رس (Y) بر اساس شیب هیدرولیکی (X_1) و درصد گچ(X_2) به شرح معادله ۲ خواهد بود.

$$Y= -3.815 + 0.949X_1 +1.627\ X_2 \qquad (۲)$$

همانطور که در جدول٤ و معادله ۲ ملاحظه می‌شود، بر اساس نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون خطی، امکان پیش‌بینی میزان انحلال از طریق شیب هیدرولیکی ودرصد گچ در ضریب همبستگی چندگانه (MR=۰/۸٤) وجود دارد و مقدار F=۲۳/۹۷ می‌باشد که در سطح P<۰/۰۰۱ معنی‌دار می‌باشد. به این ترتیب که درصدگچ با (β=۱/٦۲۷) بیشترین تأثیر و شیب هیدرولیکی با (β=۰/۹٤۹) تأثیر کمتری بر میزان انحلال دارند. هم‌چنین نتایج نشان داد که ۰/۹۲ درصد واریانس میزان انحلال بوسیله شیب هیدرولیکی ودرصد گچ، قابل تبیین است.

فرضیه۲. بین شیب هیدرولیکی،درصد گچ، آبشویی و خاک رسی سیلتی ارتباط معنادار وجود دارد.

باتوجه به سطح معنی‌داری برآورد شده در مورد ارتباط آبشویی و شیب هیدرولیکی و درصدگچ که از سطح آلفای مورد نظر(۰/۰۵) کمتر است. می‌توان گفت که بین آبشویی و شیب هیدرولیکی و درصدگچ ارتباط مثبت و معنادار وجود دارد بنابراین فرض h_o رد وفرض h_1 تایید می‌شود.

لذا با توجه به مقادیر جدول ٦ معادله رگرسیونی میزان آبشویی گچ خاک رسی سیلتی (Y) بر اساس شیب هیدرولیکی (X_1) و درصد گچ(X_2) به شرح معادله ۳ خواهد بود.

$$Y= -4.304+ 0.89\ X_1 +1.613\ X_2 \qquad (۳)$$

جدول۳. نتایج ارتباط بین شیب هیدرولیکی،درصدگچ، آبشویی و خاک رس

	خاک	شیب هیدرولیکی	آبشویی
خاک	--		
شیب هیدرولیکی	۰/۰۰۰ ۱/۰۰۰	--	
آبشویی	۰/۰۲۸ ۰/۸۱۵	۰/۴۳۵* ۰/۰۳۰	--

جدول ۴. پیش‌بینی میزان انحلال گچ خاک رسی از طریق شیب هیدرولیکی ودرصد گچ

متغیر پیش‌بینی شده	R	R^2	F	P	β	T	P
مقدار ثابت					-۳/۸۱۵	-۵/۲۱	۰/۰۰۰
شیب هیدرولیکی	۰/۹۲	۰/۸۴	۲۳/۹۷	۰/۰۰۰	۰/۹۴۹.	۵/۷۹	۰/۰۰۰
درصد گچ					۱/۶۲۷	۹/۹۳	۰/۰۰۰

. جدول۵. نتایج ارتباط بین شیب هیدرولیکی، درصدگچ، آبشویی و خاک رسی سیلتی

	خاک	شیب هیدرولیکی	درصدگچ	آبشویی
خاک	--			
	۰			
	۰			
شیب هیدرولیکی	۰	--		
	۰			
درصدگچ	۰	۰/۰۰۰	--	
	۰	۱/۰۰۰		
آبشویی	۰	۰/۴۰۸*	۰/۸۸۶**	--
	۰	۰/۰۴۳	۰/۰۰۰	

جدول۶. پیش‌بینی میزان انحلال گچ خاک رسی سیلتی ازطریق شیب هیدرولیکی ودرصد گچ

متغیر پیش‌بینی شده	R	R^2	F	p	β	T	P
مقدار ثابت					-۴/۳۰	-۶/۵۷	۰/۰۰۰
شیب هیدرولیکی	۰/۹۳	۰/۸۶	۷۹/۱۷	۰/۰۰۰	۰/۸۹۰	۶/۰۸	۰/۰۰۰
درصد گچ					۱/۶۱۳	۱۱/۰۱	۰/۰۰۰

همانطور که از جدول ٦ و معادله ۳ ملاحظه می‌شود، بر اساس نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون خطی، امکان پیش‌بینی میزان انحلال خاک رسی سیلتی از طریق شیب هیدرولیکی و درصدگچ در ضریب همبستگی چندگانه (MR=۰/۸٦) وجود دارد و مقدار F=۱۷/۷۹ می‌باشد که در سطح P<۰/۰۰۱ معنی‌دار می‌باشد. به این ترتیب که گچ با (β=۱/٦۱۳) بیشترین تأثیر و شیب هیدرولیکی با (β=۰/۸۹۰)تأثیر کمتری بر میزان انحلال خاک رسی سیلتی دارند. هم‌چنین نتایج نشان داد که ۰/۹۳ درصد واریانس میزان انحلال خاک رسی سیلتی به‌وسیله شیب هیدرولیکی ودرصد گچ، قابل تبیین است.

فرضیه۳. بین شیب هیدرولیکی، درصدگچ، آبشویی و خاک ماسه‌ای ارتباط معنادار وجود دارد. باتوجه به سطح معنی‌داری برآورد شده در مورد ارتباط آبشویی و درصدگچ که از سطح آلفای مورد نظر(۰/۰۵) کمتر است. می‌توان گفت که بین آبشویی و درصدگچ ارتباط مثبت و معنادار وجود دارد. بنابراین فرض h0 رد و فرض h_1 تأیید می‌شود.

لذا با توجه به مقادیر جدول ۸ معادله رگرسیونی میزان آبشویی گچ خاک ماسه‌ای (Y) بر اساس شیب هیدرولیکی (X_1) و درصد گچ(X_2) به شرح معادله ٤ خواهد بود.

$$Y= -5.425 +0.933\ X_1 + 2.375\ X_2 \qquad (٤)$$

جدول ۷. نتایج ارتباط بین شیب هیدرولیکی، درصدگچ، آبشویی و خاک ماسه‌ای

	خاک	شیب هیدرولیکی	درصدگچ	آبشویی
خاک	--			
	۰			
	۰			
شیب هیدرولیکی	۰	--		
	۰			
درصدگچ	۰	۰/۰۰۰	--	
	۰	۱/۰۰۰		
آبشویی	۰	۰/۳۴۵	۰/۹۲۶**	--
	۰	۰/۰۹۱	۰/۰۰۰	

جدول ۸. پیش‌بینی میزان انحلال گچ خاک ماسه‌ای از طریق شیب هیدرولیکی و گچ

متغیر پیش‌بینی شده	R	R^2	F	p	β	T	P
مقدار ثابت					-۵/۴۲۵	-۶/۹۹	۰/۰۰۰
شیب هیدرولیکی	۰/۹۵	۰/۸۹	۱۰۸/۳۰	۰/۰۰۰	۰/۹۳۳	۵/۳۸	۰/۰۰۰
گچ					۲/۳۷۵	۱۳/۶۹	۰/۰۰۰

جدول ۹. بررسی معناداری تفاوت پارامترهای شیب هیدرولیکی، درصدگچ، آبشویی به تفکیک نوع خاک

متغیر	منبع تغییرات	مجموع مجذورات	df	مجذور میانگین	F	sig
شیب هیدرولیکی	بین گروه	۰/۰۰۰	۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰
	درون گروه	۱۵۰/۰۰۰	۷۲	۲/۰۸۳		
	مجموع	۱۵۰/۰۰۰	۷۴			
درصد گچ	بین گروه	۰/۰۰۰	۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰
	درون گروه	۱۵۰/۰۰۰	۷۲	۲/۰۸۳		
	مجموع	۱۵۰/۰۰۰	۷۴			
آبشویی	بین گروه	۲۰/۹۳۲	۲	۱۰/۴۶۶	۰/۹۹۳	۰/۳۷۵
	درون گروه	۷۵۸/۷۷۵	۷۲	۱۰/۵۳۹		
	مجموع	۷۷۹/۷۰۷	۷۴			

همانطور که از جدول ۸ و معادله ٤ ملاحظه می‌شود، بر اساس نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون خطی، امکان پیش‌بینی میزان انحلال خاک ماسه‌ای از طریق شیب هیدرولیکی ودرصد گچ در ضریب همبستگی چندگانه (MR=۰/۸۹) وجود دارد و مقدار F=۱۰۸/۳۰ می‌باشد که در سطح P<۰/۰۰۱ معنی‌دار می‌باشد. به این ترتیب که گچ با (β=۲/۳۷۵) بیشترین تأثیر و شیب هیدرولیکی با (β=۰/۹۳۳) تأثیر کمتری بر میزان انحلال خاک ماسه‌ای دارند. هم‌چنین نتایج نشان داد که ۰/۹۵ درصد واریانس میزان انحلال خاک ماسه‌ای بوسیله شیب هیدرولیکی و درصدگچ، قابل تبیین است.

فرضیه٤. بین شیب هیدرولیکی، درصدگچ، آبشویی به تفکیک نوع خاک تفاوت معنی‌داری وجود دارد.

با توجه به داده‌های جدول ۹ از آنجا که جهت آزمون مقایسه شیب هیدرولیکی، درصدگچ، آبشویی به تفکیک نوع خاک از آزمون تحلیل واریانس یک طرفه استفاده شده و مقدار Fدر درجه آزادی DF=۷٤ در سطح(sig>۰/۰۵) معنادار نیست، لذا فرض صفر تأیید و فرض تحقیق با ۹۵٪ اطمینان رد می‌شود. به عبارت دیگر بین شیب هیدرولیکی، درصدگچ، آبشویی به تفکیک نوع خاک تفاوت معنادار وجود ندارد.

باتوجه به سطح معنی‌داری برآورد شده در مورد ارتباط آبشویی، شیب هیدرولیکی و درصدگچ که از سطح آلفای مورد نظر(۰/۰۱) کمتر است. می‌توان گفت که بین آبشویی ودرصد گچ ارتباط مثبت و معنادار وجود دارد. بنابراین فرض h0 رد و فرض h1 تأیید می‌شود. لذا با توجه به مقادیر جدول ۱۱ معادله رگرسیونی میزان آبشویی گچ برای کل خاک‌ها (Y) بر اساس شیب هیدرولیکی (X_1) و درصد گچ(X_2) به شرح معادله ۵ خواهد بود.

$$Y= -5.098+ 0.924X_1 +1.872\ X_2 \qquad (۵)$$

جدول ۱۰. نتایج ارتباط بین شیب هیدرولیکی،درصد گچ، آبشویی و انواع خاک

	خاک	شیب هیدرولیکی	درصدگچ	آبشویی
خاک	--			
شیب هیدرولیکی	۰	--		
	۰			
درصدگچ	۰	۰/۰۰۰	--	
	۰	۱/۰۰۰		
آبشویی	۰	۰/۳۸۲**	۰/۸۷۸**	--
	۰	۰/۰۹۱	۰/۰۰۰	

جدول ۱۱. پیش‌بینی میزان انحلال گچ انواع خاک از طریق شیب هیدرولیکی ودرصد گچ.

متغیر پیش‌بین	R	R^2	F	p	β	T	P
مقدار ثابت					-۵/۰۹۸	-۸/۴۲	۰/۰۰۰
شیب هیدرولیکی	۰/۹۱	۰/۸۴	۱۲۷/۷۳	۰/۰۰۰	۰/۹۲۴	۸/۶۴	۰/۰۰۰
درصدگچ					۱/۸۷۲	۱۷/۴۹	۰/۰۰۰
خاک					۰/۲۹۱	۱/۵۷	۰/۱۲۰

همانطور که از جدول۱۱ و معادله ۵ ملاحظه می‌شود، بر اساس نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون خطی، امکان پیش‌بینی میزان انحلال انواع خاک از طریق شیب هیدرولیکی و درصدگچ در ضریب همبستگی چندگانه (MR=۰/۸٤) وجود دارد و مقدار F=۱۲۷/۷۳ می‌باشد که در سطح P<۰/۰۰۱ معنی‌دار می‌باشد. به این ترتیب که گچ با (β=۱/۸۷۲) بیشترین تأثیر و شیب هیدرولیکی با (β=۰/۹۲٤) تأثیر کمتری برمیزان انحلال انواع خاک دارند. هم‌چنین نتایج نشان داد که ۰/۸٤ درصد واریانس میزان انحلال انواع خاک به‌وسیله شیب هیدرولیکی و درصد گچ، قابل تبیین است بنابراین در معادله کلی نوع خاک تأثیر معنی‌داری ندارد.

نتیجه گیری

در این پژوهش اثر سه عامل درصد گچ، شیب هیدرولیکی و بافت خاک بر میزان انحلال گچ به دو روش تحلیل آماری و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس مجموعه نتایج حاصله مشخص گردید که مقدار گچ موجود در خاک تأثیر مستقیمی بر میزان انحلال دارد. بطوریکه با افزایش درصد گچ میزان انحلال خاک نیز افزایش می‌یابد. با این حال شدت آبشویی یعنی نسبت مقدار گچ خارج شده از خاک به مقدار گچ اولیه موجود در خاک، با افزایش درصد گچ خاک کاهش می‌یابد. همچنین 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. همچنین بافت خاک تأثیر قابل توجهی بر میزان انحلال‌پذیری خاک داشته و میزان این تأثیر بستگی به میزان تفاوت نفوذپذیری آن‌ها دارد. به طوریکه در این پژوهش میزان انحلال خاک‌های گچی با بافت ماسه‌ای حدود ۱/۵ الی ۲ برابر خاک‌های رسی تعیین گردید.اما نتایج تحلیل آماری نشان می‌دهد به این ترتیب که گچ با (β=۱/۸۷۲) بیشترین تأثیر و شیب هیدرولیکی با

(β=۰/۹۲٤) تأثیر کمتری برمیزان انحلال انواع خاک دارند ودر معادله کلی بافت خاک تأثیر معنی داری ندارد.همچنین در ۸٤ درصد واریانس میزان انحلال انواع خاک بوسیله شیب هیدرولیکی ودرصد گچ قابل تبیین است. همچنین در این پژوهش برای تبین میزان آبشویی گچ به ازای پارامترهای شیب هیدرولیکی و درصد گچ، برای هریک از خاک‌ها یک معادله رگرسیونی به‌طور مجزا و نیز یک معادله کلی برای تمام خاک‌ها ارائه گردید.

سپاسگزاری

با توجه به اینکه جهت انجام آزمایش‌های این پژوهش از آزمایشگاه‌های مکانیک خاک ایلام و سازه آزمای پارسیان استفاده گردیده است، بدین‌وسیله مؤلفین مراتب سپاس و قدردانی خود را از مدیریت و کارکنان این دو آزمایشگاه اعلام می‌دارند.

فهرست منابع

بی نام،.۱۳۸۰. گزارش مطالعات آبرسانی به شهر بدره. مهندسین مشاور دز آب.

بی نام، .۱۳۹۰. گزارش مطالعات تجهیز ونوسازی اراضی مهران. مهندسین مشاور انهار جنوب.

رحیمی، ح.، و عباسی، ن.۱۳۹٤. مهندسی ژئوتکنیک؛ خاک‌های مشکل آفرین. انتشارات دانشگاه تهران،۸۷۰ صفحه.

عباسی، نادر، مهدیه مسعود، داودی، م.۱۳۹۱. استفاده ازترکیبآت هکوپوزلان برای تثبیت خاک‌های ماسه سیلتی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی، مجله علوم آب و خاک دانشگاه صنعتی اصفهان، شماره ٦۲: ۲٤۵-۲۵۸

کارگر، س.۱۳۸۷. بررسی اثر گچ بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک رسی، اولین سمینار ملی مسائل ژئوتکنیکی شبکه‌های آبیاری وزهکشی، موسسه تحقیقات فنی ومهندسی کشاورزی.

مومنی، م. و قیومی، ع. ۱۳۹٤. تحلیل آماری با استفاده از SPSS. انتشارات گنج شایگان، ۳٤٤صفحه..

نژاد هاشمی، پ، رحیمی، ح. و محمودی، ش. ۱۳۷۹. بررسی نفوذپذیری خاک‌های گچی طی فرآیند آبشویی، مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۱ (۲): ۲٤۱-۲۵٤.

یغماییان، ن. و گیوی، ج. ۱۳۸٦. مقایسه روش‌های مختلف اندازه گیری گچ در برخی خاک‌های اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۱ جلد ٤۲ : ۵٦۵-۵۷٦

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 Drinage Networks. Agricultural Engineering Research Institute, Karaj, Iran.

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.

AL –Refaii , N.1976. Failure of Irrigation Canals in gypsiferous Soils in Euphrates Plain in Syria. Journal of IRNCIO , NO , 16.

Anonymous.2005.Standard Method for the examination of Water and Wastewater. publication American Public Health Association (APHA).21 Edition,541pp.

Anonymous,2000,Annual Book of ASTM Standards.Vol.04,08,Soil and Rock, ASTM D4647

Coutinet, S. 1965. Méthodes d'analyses utilisables pour les sols salés, calcaires et gypseux. AgronomieTropicale, Paris, 12:1242-1253

Fauziah , A. M.D. , said., A.M. and Najah, I. 2012. Effect of Leaching and gypsum content on properties of gypseous soil. International Journal of scientific Research publications , 2(9),5pp.

Kifae, A.A.,2010. Chemical and physical effects on engineering properties of gypseous subgrade soil. Al-Qadisia Journal for Engineering Sciences, 3(3):269-286.

Maksimovich,N.G. and ergeev,V.l.,1983..Effect Chemical injection Stabilization on Gypsum Stability in the Foundation of Hydraulic Structure. Hydrotechnical con,17(7) :380-384.

Mou'taz, A.,Tom, S. and Yassen M. 2010. Comprarison of Gypseiferous 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.
Rogers,J.D.,.2013. The St Francis Dam Failure ,Worst American Civil Engineering disaster of The 20thCnetry. 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, 21(2):142-150.

ISSN 2251-7480

Analytical and laboratory evaluation of the solubility of gypsiferous soils

Aliabbas Afsharian[1], Nader Abbasi[2*], Amir Khoserojerdi[3] and Hossein Sedghi[4]

1) PhD. Student, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University Tehran, Iran
2*) Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institutes, Agricultural Research, Education and Extension organization (AREEO), Karaj ,Iran.
*Corresponding author email :nader_iaeri@yahoo.com
3) Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University Tehran, Iran.
4) Professor, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University Tehran, Iran

Received: 09-10-2016 Accepted: 17-01-2017

Abstract

Gypsum soil is one of the problematic soils because of considerable solubility for gypsum particles in contact with water. In this research, the effects of three factors including; gypsum percent, hydraulic gradient, and soil texture were studied on solubility of gypsum soils. To do this, samples of gypsum soils were provided artificially by adding various rates of natural gypsum rock including 0, 5, 10, 20 and 30 percent by weight of 3 kinds of soil textures including clay, silty clay and sand. Totally, 15 types of gypsum soils were prepared. Then each of gypsum soils were leached under five hydraulic gradients levels 0.5, 1, 2, 5 and 10. The results of the test indicated that the rate of gypsum in the soil has direct effect on the rate of soluble in a way that by increasing percent of gypsum the rate of solubility was increased. in addition, by increasing hydraulic gradient, the speed of water outcome and its amount from soil environment in a specified time was increased and also more rate of gypsum was derived. The statistical results show the highest impact of gypsum percentage and lowest impact of hydraulic gradient soil on solubility of particles in different types of soils and it has no significant effect on the overall equation of the soil texture.

Keywords: gypsum soil; hydraulic gradient; solubility speed ;statistical analysis