علوم و مهندسی آبیاری
جلد ٤١، شماره‌ی ١، بهار ٩٧، ص. ١٩٤-١٨١

بررسی تأثیر افزودن مواد مکمل مقاومتی به خاک‌های گچی برای پوشش کانال‌های انتقال آب

بابک تقدیسی[١]، کاظم اسماعیلی[٢*] و سعید رضا خداشناس[٣]

١-دانشجوی دکتری سازه های آبی گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد (پردیس بین الملل).
٢*- نویسنده مسئول، دانشیار و عضو هیئت علمی گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد.esmaili@um.ac.ir
٣- استاد و عضو هیئت علمی گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد.

تاریخ دریافت: ٩٥/٢/٢٢ تاریخ پذیرش: ٩٥/٩/٢٠

چکیده

استفاده از یکسری افزودنی‌ها به خاک‌های گچی می‌تواند سبب افزایش مقاومت فشاری و فرسایشی و مناسب شدن آن‌ها برای اجرای پروژه‌های عمرانی در شبکه‌های آبیاری گردد. در این مقاله، با افزودن پنج سطح سیمان (٥، ٨، ١٠، ١٢ و ١٥ درصد نسبت به خاک خشک)، سه سطح میکروسیلیس (٠، ٥ و ١٠ درصد نسبت به سیمان) به خاک منطقه و عمل‌آوری نمونه‌ها در دو دمای (٢٧ و ٤٠ درجه سانتی‌گراد)، مقاومت فشاری آن‌ها بررسی و با نرم افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل گردید. در این تحقیق بهترین ترکیب با در نظر گرفتن حداقل مواد افزودنی به خاک منطقه، برای رسیدن به مقاومت فشاری بالا با افزودن ١٠٪ سیمان و ١٠٪ میکروسیلیس تشخیص داده شد. در همین راستا به‌منظور بررسی توان فرسایشی، این نمونه تحت تأثیر جت آب صفحه‌ای در چهار زاویه (درجه٣٠،٦٠،٩٠، ٠ = Θ)، پنج سرعت (متر بر ثانیه ٨/٦٤ و ٨ ،٦،٤، ٢ = V) و سه زمان (ساعت ٨،١٢، ٤ = T) قرار گرفت و بیشترین افت وزنی فرسایشی (d_w) در حد فاصل سرعت ٤ تا ٨ متر بر ثانیه و زمان ٨ ساعت به بعد و در حالت افقی (٠ = Θ) مشاهده گردید.

کلید واژه‌ها : تثبیت خاک‌های گچی، میکروسیلیس، سیمان، پوشش کانال‌های انتقال آب.

مقدمه

استفاده از خاک محل و اصلاح آن برای تثبیت کانال‌های آبیاری می‌توان علاوه بر کاهش زمان اجرای عملیات، نقش موثری بر کاهش هزینه‌های اجرا به همراه داشته باشد. هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر افزودن پودر میکروسیلیس و سیمان بر خاک‌های گچی بر افزایش مقاومت فشاری و مقاوم سازی سازه‌های پوششی (تثبیت دیواره‌های خاکی کانال‌های آب در شبکه‌های آبیاری- در این روش به‌علت لزوم عملیات تراکم نمی‌توان در کانال‌های در حال بهره برداری مورد استفاده قرار گیرد) در برابر فرسایش ناشی از آب‌های جاری می‌باشد. منطقه مورد بررسی در این مطالعه به‌نام دره اناری باغملک در استان خوزستان با وجود اراضی مستعد کشاورزی فراوان در پایین دست، تحت تأثیر شدید فرسایش آبی ناشی از انحلال سازند گچساران در مجاری انتقال آب بالادست قرار دارد و بنا بر اظهارات تعدادی از اهالی محلی و بازدید انجام شده توسط نگارنده، این مسئله سبب بروز مشکلات فراوانی در بخش کشاورزی و مهاجرت روستائیان از منطقه گردیده است. در این منطقه به دلیل بافت کوهستانی و صعب العبور بودن مسیر و هزینه‌های بالای انتقال مصالح و زمان بر بودن اجرای پروژه‌ها، تاکنون اقدام خاصی در راستای حفاظت مناطق فرسایش پذیر در بالادست صورت نگرفته است. لذا سعی شده در این تحقیق با افزودن درصدهای متفاوت پودر میکروسیلیس و سیمان به خاک منطقه در شرایط عمل‌آوری متفاوت و متناسب با اقلیم منطقه، مقاومت فشاری نمونه‌ها، اندازه‌گیری و فرسایش ناشی از برخورد جت آب صفحه‌ای به نمونه‌های ساخته شده در شرایط هیدرولیکی متفاوت، مورد بررسی قرار گیرد و بهترین ترکیب با مقاومت فشاری بالا و مقاوم به فرسایش با حداقل مواد افزودنی در منطقه برای احداث سازه‌های پوششی پیشنهاد گردد. در خصوص بررسی منابع به تعدادی از موضوعات مشابه با موضوع مورد بررسی اشاره می‌شود.

Ashour et al. (2015) بیان کردند درجه حرارت (۴۰-۱۰ درجه سانتی‌گراد) و رطوبت نسبی (٩٥ – ٣٣درصد) بر تثبیت خاک‌های چسبنده موثر است با افزودن سیمان و گچ پرداخته و در نتایج عنوان نمودند، نقش رطوبت بر افزایش مقاومت فشاری نمونه‌ها بیشتر از درجه حرارت بوده و دوام قابل توجهی را در خاک ایجاد کرده است.

Ashour et al. (2015) بیان کردند که افزودن سیمان و گچ به خاک همراه با کاه (الیاف گندم و جو) بر مقاومت فشاری خاک موثر بوده و سبب تبدیل شدن نمونه به یک نوع عایق حرارتی شده است.

Bachar et al. (2015) بیان کردند که ترکیبی با ٥٨٪ خاک، ٣٠٪

شن و ماسه و ۱۲٪ سیمان بهترین ترکیب برای تثبیت و کمترین نفوذپذیری را در نمونه‌ها داشته است.

Kumar و Gupta (2016) بیان کردند که افزودن خاکستر پوسته برنج از ۵ تا ۲۰ درصد، خاک برکه از ۳۰ تا ۴۵ درصد، سیمان ۲تا ۴ درصد و فیبرهای پولی پروپیلن با الیاف‌های ۶ تا ۱۲ میلی‌متر با مقادیر ۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵ درصد وزن خاک خشک و زمان عمل‌آوری ۷، ۱۴ و ۲۸ روز می تواند در تثبیت خاک‌های رسی موثر بوده و سبب ایجاد یک ترکیب مقاوم و سبک در سازه‌های مختلف مثل خاکریزها و تثبیت دیواره‌ها شود.

Kurihara et al. (2006) بیان کردند که شیره سیمان می تواند برای تثبیت و افزایش مقاومت خاک در مقابل ذوب و انجماد مورد استفاده قرار گیرد. این ملات را می‌توان بعنوان ملات پوششی با نفوذپذیری بسیار کم در تثبیت رودخانه و کانال‌ها برای کنترل فرسایش استفاده نمود. با توجه به نتایج مثبت تحقیقات، این ترکیب از آن به بعد در پروژه‌های انجمن عمومی‌توسعه منابع آب مورد استفاده قرار گرفت.

Raftari et al. (2014) بیان کردند که با افزودن مقادیر ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵ و ۱۵ درصد سیمان نسبت به خاک خشک و ۱۲ روز عمل‌آوری نمونه‌ها، مشکل تورم و مقاومت پایین خاک‌های رسی کائولین بهبود یافته است.

Rodrigues and Holanda (2015) بیان کرد که با افزودن پنج درصد وزنی زه‌آب گیاهان به ملات خاک- سیمان و عمل آوری نمونه‌ها در ۲۸ روز به‌علت وجود مواد پلاستیکی و ذرات کائولینیت در زه‌آب، مقاومت فشاری نمونه‌ها بهبود یافته است لذا این روش می‌تواند راهی برای استفاده از هرز آب و جلوگیری از آلودگی محیط زیست باشد.

Roshandel (2000) بیان کرد مشخصات خاک‌های تثبیت شده بیشتر تحت تأثیر جنس و وزن مخصوص خاک، مقدار سیمان و میکروسیلیس، و کیفیت اختلاط مخلوط دارد و کمتر تحت تأثیر نوع سیمان مصرفی می‌باشد لذا درکارهای خود بیشتر بر روی نحوه اختلاط و درصد مواد تاکید داشتند و در تحقیق خود علاوه بر تغییر درصد مواد، پارامتر حرارت را نیز متناسب با دمای محل اجرای پروژه مد نظر قرار دادند.

Chen et al. (2015) بیان کردند که افزودن یکسری زباله‌های پلیمری به خاک‌های رسی سبب بهبود مقاومت فشاری نمونه‌ها و حفظ طبیعت از زباله‌های پلیمر شده است.

Rahimi و Kheir Andish (1995) بیان کردند که استفاده از مخلوط خاک، سیمان برای اولین بار در سال ۱۹۷۰ در تثبیت سواحل رودخانه تاکسون در ایالات متحده بکار رفت و اثر بخشی آن در سیلاب سال ۱۹۸۳ مورد تایید قرار گرفت به‌گونه‌ای که در مناطقی که سواحل با این روش تثبیت شده بود تخریبی مشاهده نگردید ولی در مابقی مناطق ساحل تا حدود ۱۴۰ متر آثار شدید تخریب روئیت گردید.

با توجه به موارد عنوان شده در پیشینه تحقیق، کارهای خوبی در زمینه اختلاط مواد مختلف با خاک – سیمان در داخل و خارج از کشور انجام شده است ولی در این کار تحقیقاتی با افزودن درصدهای متفاوتی از سیمان و میکروسیلیس به خاک‌های محل (سازند گچساران) و عمل‌آوری نمونه‌ها متناسب با شرایط دمایی محل، ابتدا مقاومت فشاری نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و سپس افت وزنی نمونه‌ها تحت تأثیر جت آب صفحه‌ای در شرایط هیدرولیکی متفاوت مورد بررسی قرار گرفت.

که بنا بر تحقیقات بعمل آمده توسط نگارنده، بررسی تاثیر مستقیم جت آب بر نمونه‌های ساخته شده در حالات‌های مختلف و متناسب با شرایط محل مورد استفاده در نوع خود کم نظیر می باشد.

مواد و روش‌ها

MPOC (2003) بنا بر توصیه ارائه شده در مجله شماره ۲۶۸ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، از پنج سطح سیمان(C) تیپ دو (به‌علت مقاوم بودن به حمله سولفات‌ها و نزدیکی کارخانه به محل اجرا) ۵، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۵ درصد نسبت به خاک خشک، دو دمای عمل‌آوری (T) ۲۷ (میانگین دمای فصل پاییز منطقه مورد مطالعه در ۱۰ سال گذشته) و ۴۰ درجه سانتی‌گراد (میانگین دمای فصل تابستان منطقه مورد مطالعه در ۱۰ سال گذشته) و ۳ سطح میکروسیلیس (M) صفر، ۵ و ۱۰ درصد نسبت به سیمان (افزودن بیش از این مقدار میکروسیلیس به ترکیب از نظر اقتصادی به صرفه نمی‌باشد) استفاده گردید. میکروسیلیس مصرفی در این کار تحقیقاتی از ذرات بسیار ریز سیلسیم غیرکریستالی خاکستری رنگ بوده و محصول جانبی فرآیند تولید عناصر سیلیکون مانند فروسیلیسیوم در کوره‌های قوس الکتریکی می‌باشد. این ماده را می‌توان در غبار حاصل از فرآیند تولید کارخانه‌های ذوب آلومینیوم به‌دست آورد. اندازه ذره میکروسیلیس در حدود ۹۵ بار کوچکتر از ذرات سیمان است که در واکنش با سیمان تولید هیدرات سلیکات کلسیم کرده که سبب بهبود سختی ملات می‌شود.

Little et al. (1987) بیان کردند که در تثبیت خاک با سیمان به‌علت اینکه فرآیند هیدراتاسیون سیمان در مجاورت آب انجام می‌شود و تا حدی مستقل از نوع خاک است می‌توان با تغییر در درصد، نوع و شرایط تهیه نمونه، نسبت به تثبیت انواع خاک‌ها اقدام نمود که‌این کار در اجرا، توسط ماشین آلات راهسازی انجام می‌شود.

خاک مورد استفاده در این پژوهش از منطقه‌ای به‌نام دره اناری واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان باغملک (استان خوزستان) تهیه گردید. این منطقه با مساحتی در حدود ۵۰۰۰ هکتار دارای قابلیت کشاورزی بالایی بوده که به‌دلیل وجود سازند گچساران

و فرسایش شدید در این سازند ناشی از آب‌های جاری، کیفیت آب در پایین دست بسیار نامطلوب بوده و با توجه به هزینه‌های بالای اجرای تثبیت خاک، کنترل فرسایش به روش معمول اجرایی امکان‌پذیر نمی‌باشد لذا در این مطالعه با هدف دستیابی به یک یا چند طرح اختلاط مقاوم به فرسایش، اقدام به ساخت نمونه و انجام آزمایش‌های سنجش مقاومت فشاری و اندازه‌گیری افت وزنی ناشی از فرسایش جت آب صفحه‌ای بر روی نمونه‌ها گردید. ابتدا بر روی خاک منطقه آزمایش‌های دانه بندی هیدرومتری به روش استاندارد ASTM D422 و حدود اتربرگ خاک به روش استاندارد ASTM D423 424 , 427 و طبقه‌بندی خاک بر اساس استاندارد USCS (BS 5930) انجام و نتایج در جدول (۱) و شکل (۱) ارائه گردید.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و دانه بندی نمونه خاک محل اجرای پروژه

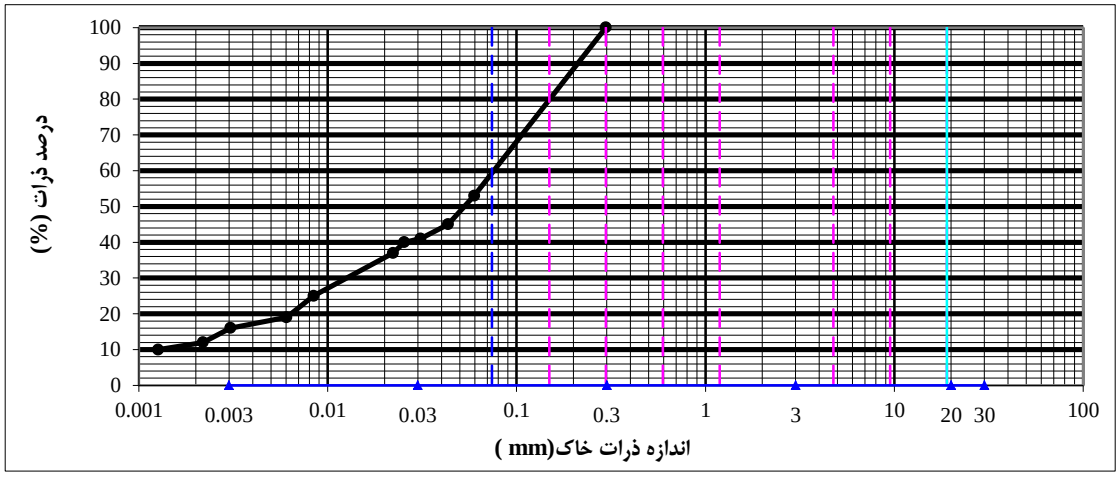
طبقه‌بندی خاک	چگالی[۱] ماگزیمم	رطوبت[۲] بهینه	نشانه[۳] خمیری	حد خمیری	حد روانی	رس	سیلت	ماسه	گچ[۴]
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(me/100gr)
CL	۱/۹۱	۷/۵	۷/۸	۱۶/۲	۲۴	۱۲	۳۷	۵۱	۱۷۸

۱ – از تقسیم حداکثر وزن خاک که در رطوبت بهینه می‌توان در مولد استاندارد تحت تراکم قرار گیرد بر حجم داخلی مولد.

۲- رطوبت بهینه در آزمایشگاه برای رسیدن به حداکثر تراکم اندازه‌گیری شده است.

۳- تثبیت خاک با سیمان به روش درجا برای خاک‌هایی مناسب است که دامنه خمیری آن‌ها کمتر از ۱۸ است. MPOC (2003).

۴- مقدار گچ موجود در سازند گچساران در نمونه خاک، اندازه‌گیری شده به روش رسوب سنجی با استون و با استفاده از سانتریفیوژ، شیکر و کنداکتیویته متر



شکل ۱- منحنی دانه بندی ذرات خاک

خصوصیات خاک‌های گچی

گچ از نظر ترکیب شیمیایی، سولفات کلسیم آبدار با فرمول (CaSo4,2H2O) می‌باشد در صورت افزایش حرارت، گچ آب تبلور خود را از دست داده و تبدیل به گچ نیمه آبدار می‌گردد. درجه حرارت شروع تبدیل گچ آبدار به گچ نیمه آبدار در حدود (۹۰–۸۰ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. این درجه حرارت به ترکیبات مینرالوژی خاک و مقدار مواد آلی خاک گچی وابسته بوده و این حرارت می‌توان د تا حدود ۷۰–۶۵ درجه سانتی‌گراد کاهش یابد.

آزمایش مقاومت فشاری

برای تهیه نمونه‌های مربوط به آزمایش مقاومت فشاری، ۱۵ طرح اختلاط متفاوت از مصالح مورد نظر به روش استاندارد آشتو اصلاحی (AASHTO T180 – 70 و ASTM D1557 – 70) در رطوبت بهینه هر اختلاط برای رسیدن به حداکثر تراکم در مولد استاندارد به قطر ۱۰ و ارتفاع ۱۱/۶۴ سانتی متر، طی ۵ مرحله و هر بار در ۲۵ ضربه به روش استاندارد پروکتور تحت تراکم قرار گرفته و در دو دمای ۲۷ و ۴۰ درجه در حالت اشباع و در سن ۲۸ روزه عمل‌آوری گردید. تعداد کل نمونه‌ها ساخته شده برای آزمایش مقاومت فشاری برابر ۹۰ نمونه (۹۰=۳×۲×۳×۵ به ترتیب از چپ به راست ۵ سطح سیمان،۳ سطح میکروسیلیس،۲سطح درجه حرارت و ۳ تکرار) می‌باشد. (در این تحقیق از نمونه‌های شاهد بدون میکروسیلیس (صفر درصد) در نسبت‌های متفاوت سیمان استفاده شده است). شکل‌های (۲) الی (۶) بیانگرمقاومت فشاری نمونه‌ها در درصدهای متفاوت سیمان می‌باشد، شکل‌های(۷) و(۸) به ترتیب تأثیر افزایش درصد میکروسیلیس از ۰ به ۵ درصد و از ۵ به ۱۰درصد بر مقاومت فشاری را نشان می‌دهد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم افزار آماری SAS (Statistical Analysis System) و الگوی آماری اسپلیت پلات استفاده شد (نمونه‌ها شامل ۵ سطح سیمان، ۳ سطح میکروسیلیس و ۲ دمای عمل‌آوری با ۳ تکرار می‌باشد.) مقایسه میانگین داده‌ها نیز به کمک آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار انجام شد. با توجه به نتایج حاصل از تحلیل آماری داده‌ها (جدول ۲) تفاوت معنی داری در سطح ۰/۰۱ بین داده‌های موثر بر مقاومت نمونه‌ها وجود دارد و تغییر در درصد مصالح افزوده شده به خاک، نتیجه مثبتی را در مقاومت فشاری به همراه خواهد داشت. با توجه به جدول تحلیل آماری، اختلاف معناداری بین پارامترهای دما، میکروسیلیس و سیمان در سطح ۰/۰۱ وجود دارد لذا تغییر در شرایط تهیه نمونه‌ها می‌تواند تأثیر مثبتی بر مقاومت فشاری بگذارد.

جدول ۲- تجزیه واریانس مقاومت فشاری مخلوط خاک – سیمان – میکروسیلیس در تیمارهای مختلف

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مجموع مربعات	F
R (تکرار)	۲	۸۸/۵۳	۱۷۷/۰۶۰۸	۲۹/۵ **
T (دما)	۱	۱۲۵۲۴۲	۱۲۵۲۴۱/۷۶	۴۹۶۶/۲۸**
(خطای آزمایش ۱)	۲	۲۵/۲۱۸۴	۵۰/۴۳۶۹	۸/۴
M (میکروسیلیس)	۲	۱۵۹۸۵/۵	۳۱۹۷۱/۰۵۵	۱۴۹۲۰/۳**
T×M (دما × میکروسیلیس)	۲	۶۵۸۲/۹۶	۱۳۱۶۵/۹۲	۶۱۴۴/۲۸ **
(خطای آزمایش ۲)	۸	۱/۰۷۱۴	۸/۵۷۱۲	۰/۳۶
C (سیمان)	۴	۱۲۷۰۰/۵	۵۰۸۰۲/۰۷۴	۴۲۳۱/۶۳**
T×C (دما × سیمان)	۴	۶۸۳/۱۸۶	۲۷۳۲/۷۴۲۸	۲۲۷/۶۳**
M×C (میکروسیلیس × سیمان)	۸	۲۵۶/۰۶۸	۲۰۴۸/۵۴۶۹	۸۵/۳۲**
T×M× C (دما × میکروسیلیس × سیمان)	۸	۲۰۰/۱۵۵	۱۶۰۱/۲۴۱۷	۶۶/۶۹**
(خطای آزمایش ۳)	۴۸	۳/۰۰۱۳	۱۴۴/۰۶۴	
G (کل)	۸۹		۲۳۷۹۶۷/۷۹	

** و * به ترتیب اختلاف معنی داری در سطح ۱ و ۵ درصد بین تیمارها وجود دارد. (**cv** = ۱/۵۵۲)

آزمایش فرسایش پذیری

این آزمایش نیز به‌منظور بررسی فرسایش ناشی از برخورد جت آب صفحه‌ای به نمونه‌ها بوده که در ۴ زاویه θ متفاوت صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه نسبت به افق و ۵ سرعت(V) ۲، ۴، ۶، ۸ و ۸/۶۴ متر بر ثانیه (در این تحقیق ابتدا یکسری نمونه‌های آزمایشی با درصدهای اختلاط متفاوت ساخته و در سرعت و شرایط هیدرولیکی مختلف در برابر جت آب قرار گرفت و محدوده سرعت با احتساب حدود ۵۰ درصد افزایش انتخاب و در پنج بازه مورد بررسی قرار گرفت) و ۳ زمان فرسایش(h) ۴، ۸ و ۱۲ ساعت بر روی ۹۰ نمونه انجام شد. با توجه به استوانه‌ای بودن مولد استاندارد ساخت نمونه‌ها، برای رسیدن به یک سطح تخت، ابتدا نمونه‌ها با دستگاه برش در راستای طولی به دو نیم تقسیم و در مقابل جت آب قرار گرفت و با ایجاد سرعت مورد نظر در زوایای مختلف، میزان افت وزنی ناشی از فرسایش آبی اندازه‌گیری شد. در شکل‌های (۹) تا (۱۱) تصاویری از سازه جت آب و فرسایش در نمونه‌ها، در شکل‌های (۱۲) تا (۱۵) درصد افت وزنی در زوایای مختلف و درشکل‌های (۱۶) تا (۱۸) نمودارهای معرف درصد افت وزنی در زمان‌های مختلف آورده شده است.

تحلیل ابعادی

با تحلیل ابعادی، پارامترهای موثر بر افت وزنی نمونه‌ها ناشی از برخورد جت آب به آن‌ها مشخص شده و سپس با انجام یکسری آزمایش، روابط بین این پارامترها مورد بررسی می‌گیرد. پارامترهای موثر بر افت وزنی نمونه‌ها (dw/w_0) ناشی از برخورد جت آب به آن‌ها شامل : سرعت جریان V، زمان فرسایش h، جرم مخصوص سیال ρ_w، لزجت دینامیکی سیال μ_w، شتاب ثقل g، زاویه قرار گیری نمونه‌ها نسبت به افق θ، فاصله جت آب تا نمونه‌ها H می‌باشد. لذا رابطه (۱) بین پارامترهای موثر به شرح ذیل نوشته می‌شود :

$$f(dw/w_0 , V , h , \rho_w , \mu_w , g , \theta , H)=0 \qquad (۱)$$

با انتخاب پارامترهای V و H و ρ_w به عنوان پارامترهای تکراری و با استفاده از روش باکینگهام پارامترهای بی بعد به‌صورت رابطه (۲) به‌دست می‌آید :

$$dw/w_0 = f(\theta , h/h_{max} , F_r , R_e) \qquad (۲)$$

در رابطه عدد فرود ($Fr = V/\sqrt{gH}$) در این آزمایش پارامترهای g و H ثابت می‌باشد لذا عدد فرود تنها تابع سرعت جریان است لذا در نمودارها به‌منظور درک بهتر سرعت انجام آزمایش نسبت به حداکثر سرعت از پارامتر بدون بعد V/V_{max} استفاده گردید. و با توجه به انجام آزمایش‌ها در محدوده کاملا آشفته($R_e = ۳\times۱۰^۵$) از پارامتر عدد رینولدز صرف‌نظر شده و رابطه نهایی (۳) به شرح ذیل ارائه می‌گردد.

$$dw/w_0 = f(\theta , h/h_{max} , V/V_{max}) \qquad (۳)$$

لذا با توجه به تحلیل ابعادی انجام شده، افت وزنی ناشی از فرسایش جت آب صفحه‌ای تابعی از زاویه قرار گیری نمونه‌ها نسبت به افق (θ) ، زمان فرسایش (h) و سرعت برخورد جت آب به نمونه (V) می‌باشد. که در این مقاله ارتباط بین پارامترهای $dw/w_0 = f(\theta)$و $dw/w_0 = f(V/V_{max})$ درشکل‌های (۱۲) تا (۱۸) آورده شده و تأثیر پارامتر h (زمان فرسایش) بعنوان یک متغیر در نمودارها وارد شده است. برای ایجاد جت آب صفحه‌ای، از یک لوله آهنی به‌عنوان جمع کننده به قطر ۵ اینچ با ۱۰ مجرای ورودی با شیر تنظیم دبی استفاده شد. در زیر لوله جمع کننده نیز شکافی به ابعاد ۸۰ سانتی متر در ۴ میلی‌متر تعبیه گردید. فاصله محل خروج آب با محل برخورد نمونه‌ها برابر ۲۵ سانتی متر و زاویه قرارگیری نمونه‌ها نسبت به سطح افق(θ) برابر صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه تنظیم گردید. با توجه به اینکه نمونه‌های ساخته شده در مولد استاندارد بصورت استوانه‌ای می‌باشد و به‌علت جلوگیری از حرکت نمونه‌ها و پخش شدن جریان در لحظه برخورد، نمونه‌ها با دستگاه برش بتن، در راستای طولی از وسط بریده و موزائیک گردید. سپس جریانی در زمان‌های($h = ۴$ تا $h=۱۲$ با فاصله زمانی ۴ ساعت) و با سرعت‌های ۲، ۴، ۶، ۸ و ۸/۶۴ متر بر ثانیه بر روی نمونه‌ها ایجاد و میزان کاهش وزن نمونه در حالت اشباع با یک ترازوی دقیق با دقت ۰/۱ گرم اندازه‌گیری و گرافهای مربوط در شکل‌های (۱۲) تا (۱۵) بر اساس پارامتر(dw/w_0 نسبت افت وزنی به وزن اولیه نمونه در حالت اشباع) و سرعت بدون بعد (V/V_{max}) و شکل‌های (۱۶) تا (۱۸) بر اساس پارامتر(dw/w_0 نسبت افت وزنی به وزن اولیه نمونه در حالت اشباع) و زمان‌های مختلف فرسایش (ساعت ۱۲- ۸ - ۴ =h) ترسیم گردید.

نتایج و بحث

به‌منظور بحث و بررسی نتایج تحقیق چهار سری شکل آورده شده است سری اول از شکل (۲) تا شکل(۶) مقاومت فشاری نمونه‌های خاک را در درصدهای متفاوت سیمان نشان می‌دهد. سری دوم، شکل‌های (۷) و (۸) افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های خاک را در اثر افزایش درصد میکروسیلیس نشان می‌دهد همچنین در شکل‌های (۹) تا (۱۱) سازه جهت آب و فرسایش ایجاد شده بر روی نمونه‌ها را نشان می‌دهد. سری سوم، شکل‌های (۱۲) تا (۱۵) درصد افت وزنی نمونه‌ها در زوایای مختلف نسبت به جت آب صفحه‌ای را نشان می‌دهد و سری چهارم، شکل‌های (۱۶) تا (۱۸) درصد افت

وزنی نمونه‌ها در زمان‌های متفاوت فرسایش را نشان می‌دهد. حال به بررسی هر کدام از قسمت‌های عنوان شده، پرداخته می‌شود.

مقاومت فشاری نمونه‌های خاک در درصدهای سیمان متفاوت شکل‌های (۲) تا (٦)

تأثیر میکروسیلیس

در تمامی نمونه‌ها با افزودن میکروسیلیس به سیمان، مقاومت فشاری نسبت به نمونه‌های شاهد (بدون میکروسیلیس) افزایش یافته است که علت آن وارد شدن میکروسیلیس در واکنش شیمیایی سیمان و ایجاد یک ترکیب مقاوم به‌نام هیدرات سیلیکات کلسیم می‌باشد که سبب محکم شدن ملات می‌گردد.در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد روند افزایش مقاومت فشاری برای تمام درصدهای سیمان با افزیش مقدار میکروسیلیس تقریبا ثابت می‌باشد. و در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد با افزایش درصد میکروسیلیس، مقاومت فشاری رشد بیشتری نسبت به نمونه‌های عمل‌آوری شده در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد پیدا کرده و حداکثر مقدار آن در نمونه‌هایی با ۱۰ درصد میکروسیلیس می‌باشد.

تأثیر سیمان

همان‌طور که در شکل‌های (۲) تا (۶) دیده می‌شود با افزایش درصد سیمان از ۵ تا ۱۲ درصد، مقاومت فشاری با افزایش همراه بوده ولی برای درصدهای سیمان بالای ۱۲ تا ۱۵ درصد، مقاومت فشاری تقریبا ثابت می‌باشد. لذا از نظر اقتصادی افزودن سیمان بیش از ۱۲ درصد برای تثبیت این نوع خاک در دمای عمل‌آوری ۴۰ درجه سانتی‌گراد قابل توجیه نمی‌باشد. ایجاد حداکثر مقاومت در هر خاکی با افزودن سیمان و دیگر مواد افزودنی، متناسب با شرایط، نحوه و درصد ترکیب مصالح می‌باشد و افزودن بیش ازحد مصالح به خاک، نمی‌توان بصورت مداوم مقاومت خاک را بالا ببرد. در این نوع خاک نیز بنا بر آزمایش‌های انجام شده، افزودن سیمان تا ۱۲درصد وزن خاک خشک، رشد خوبی را در مقاومت خاک ایجاد کرده است و افزودن سیمان بیش از این، تأثیری بر افزایش مقاومت به همراه نداشته است.

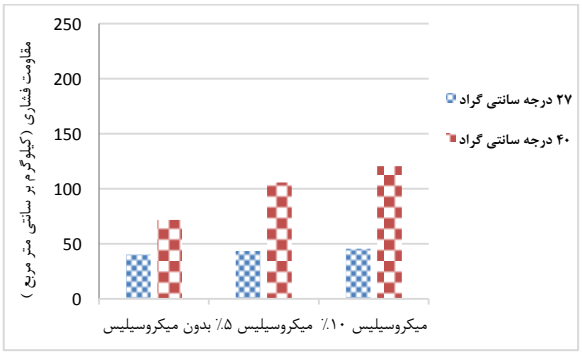
تأثیر درجه حرارت

با توجه به‌اینکه اکثر عملیات‌های اجرایی در منطقه مورد مطالعه در دو فصل تابستان و پاییز انجام می‌گردد میانگین دمای دو فصل در ۱۰ سال گذشته (۴۰ و ۲۷ درجه سانتی‌گراد) بعنوان معیار در این تحقیق مدنظر قرار گرفته است. همان‌طور که در شکل‌های (۲) تا (۶) دیده می‌شود تأثیر درجه حرارت بر افزایش پارامتر مقاومت فشاری نمونه‌ها بسیار بارز و مشخص می‌باشد به‌گونه‌ای که در درصدهای سیمان و میکروسیلیس مساوی، در حدود ۴۰–۵۰ درصد رشد مقاومت فشاری در نمونه‌ها در اثر افزایش حرارت ایجاد شده است.

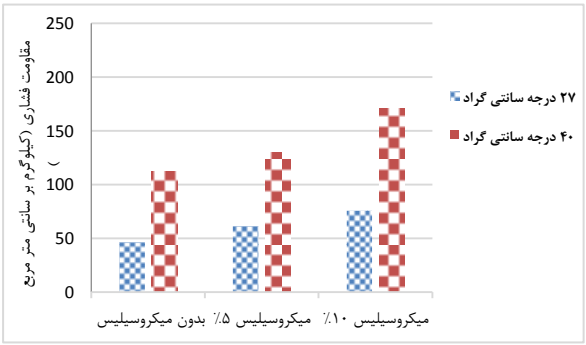
افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های خاک در اثر افزایش میکروسیلیس شکل‌های (۷) و (۸)

شکل (۷) بیانگر درصد افزایش مقاومت فشاری نمونه‌ها در اثر افزایش درصد میکروسیلیس از صفر تا ۵ درصد می‌باشد. نکته قابل توجه در این نمودارها این است که اعداد روی محور عمودی، درصد افزایش مقاومت فشاری نمونه‌ها را در اثر تغییر درصد میکروسیلیس نشان می‌دهد نه مقدار مقاومت فشاری آن‌ها را به عبارت دیگر میزان تأثیر افزودن میکروسیلیس بر رشد مقاومت فشاری نمونه‌ها در این شکلها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شکل(۸) در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد افزودن میکروسیلیس به ترکیب خاک با ۵درصد سیمان تأثیر چندانی بر افزایش مقاومت فشاری نمونه‌ها نداشته است این در حالی است که در سیمان ۸درصد بیشترین تأثیر بر رشد مقاومت فشاری در اثر افزایش درصد میکروسیلیس دیده می‌شود. و در مابقی درصدهای سیمان، میزان رشد مقاومت فشاری از یک روند نزولی تبعیت می‌کند.که علت آنرا می‌توان به‌تناسب مقدار سیمان با میکروسیلیس در درجه حرارت ۲۷ درجه سانتی‌گراد دانست به‌گونه‌ای که در ملات ۵درصد سیمان، مقدار سیمان نسبت به خاک کم است لذا نمی‌توان د مقاومت خوبی را در ترکیب ایجاد کند و افزودن میکروسیلیس به آن نیز تأثیر خاصی بر رشد مقاومت فشاری ندارد و درصدهای بالای ۸درصد سیمان نیز، خود سیمان مقاومت کافی را در این درجه حرارت در ملات ایجاد نموده است به عبارت دیگر با افزایش درصد سیمان، مقاومت ملات بیشتر و تأثیر افزودن میکروسیلیس بر رشد مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. لذا نمودار در درجه حرارت ۲۷ درجه حالت نزولی پیدا کرده است. در دمای ۴۰ سانتی‌گراد با توجه به شکل بیشترین تأثیر افزایش درصد میکروسیلیس، در سیمان پنج درصد مشاهده می‌شود بعبارت دیگر در صورتی که دمای عمل‌آوری ۴۰ درجه سانتی‌گراد باشد با افزودن فقط پنج درصد میکروسیلیس نسبت به سیمان مصرفی می‌توان در حدود ۴۷ درصد به میزان مقاومت فشاری نمونه‌ها افزود. البته نکته قابل توجه در این نمودار، پایین بودن مقاومت فشاری نمونه شاهد(بدون میکروسیلیس) با پنج درصد سیمان می‌باشد به‌گونه‌ای که با اندک افزایش مقاومت فشاری در اثر افزایش درصد میکروسیلیس رشد زیادی در مقاومت فشاری نمونه ایجاد شده است ولی در واقع مقاومت فشاری نمونه پایین است لذا از لحاظ کاربری مخلوط با پنج درصد سیمان در پروژه‌های عمرانی توصیه نمی‌شود. در مابقی نمونه‌های تهیه شده با درصد سیمان بالاتر، رشد مقاومت فشاری در محدوده ۱۵–۲۱ می‌باشد.

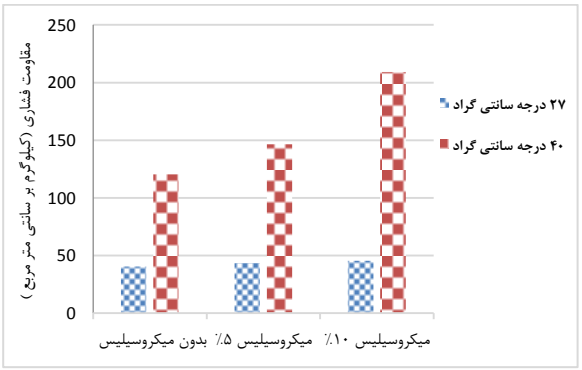
شکل (۸) میزان افزایش مقاومت فشاری نمونه‌ها را در اثر افزایش درصد میکروسیلیس از ۵ به ۱۰ درصد نشان می‌دهد. در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد بیشترین تأثیر در سیمان ۸ درصد مشاهده می‌شود که علت آن تناسب مناسب بین درصد سیمان و درصد میکروسیلیس در ترکیب می‌باشد به‌گونه‌ای که توزیع ذرات میکروسیلیس و انجام واکنش هیدراتاسیون و مقاوم سازی ترکیب در این درجه حرارت بر رشد مقاومت فشاری در اثر افزایش درصد میکروسیلیس موثر بوده است. در درصدهای بالاتر سیمان، خود سیمان توانسته است مقاومت فشاری را بالا ببرد لذا افزودن میکروسیلیس تأثیر چندانی بر رشد مقاومت فشاری نداشته و سیر نزولی را به همراه دارد. ولی در دمای۴۰ درجه سانتی‌گراد با افزودن میکروسیلیس، مقاومت فشاری نمونه‌ها از سیمان پنج درصد تا سیمان ده درصد روند صعودی، از سیمان ده درصد تا سیمان ۱۲ درصد حالت نزولی و سپس تا سیمان ۱۵ درصد ثابت باقی مانده است که علت آن بالا رفتن درجه حرارت، افزایش سرعت هیدراتاسیون و حرکت ذرات میکروسیلیس بین ذرات خاک بوده به‌گونه‌ای که با افزایش درصد میکروسیلیس، مقاومت فشاری نمونه‌ها نیز افزایش یافته است به‌گونه‌ای که در سیمان ۱۰درصد بیشترین رشد به‌علت تناسب بین سیمان و میکروسیلیس در حرارت ۴۰ درجه سانتی‌گراد ایجاد شده و برای درصدهای سیمان حدود ۸، ۱۲و ۱۵ درصد میزان تأثیر میکروسیلیس تقریبا یکسان و در حدود ۳۲-۳۵ درصد می‌باشد ولی در سیمان ۵درصد به‌علت پایین بودن درصد سیمان، نقش سیمان بر گیرش ملات کمتر و به تبع آن تأثیر میکروسیلیس نیز ضعیف برآورد می‌گردد به‌گونه‌ای که در شکل (۸) میزان رشد در سیمان ۵ درصد حدود ۱۴درصد می‌باشد. لذا زمان اجرای پروژه می‌تواند نقش مهمی در افزایش مقاومت فشاری داشته باشد.



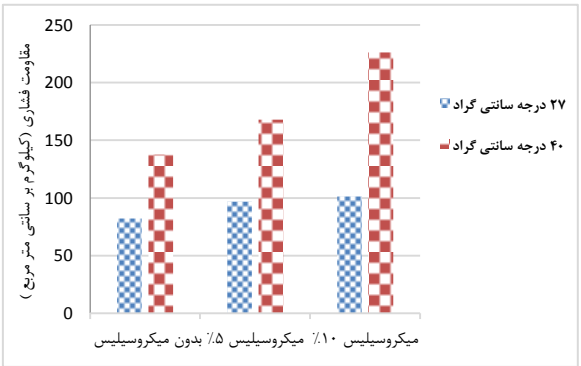
شکل ۲- مقاومت فشاری نمونه‌ها در ۵٪ سیمان



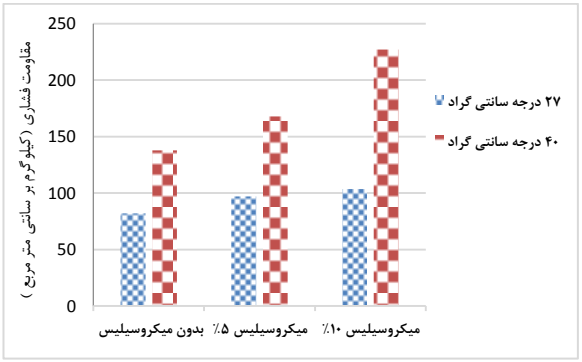
شکل ۳- مقاومت فشاری نمونه‌ها در ۸٪ سیمان



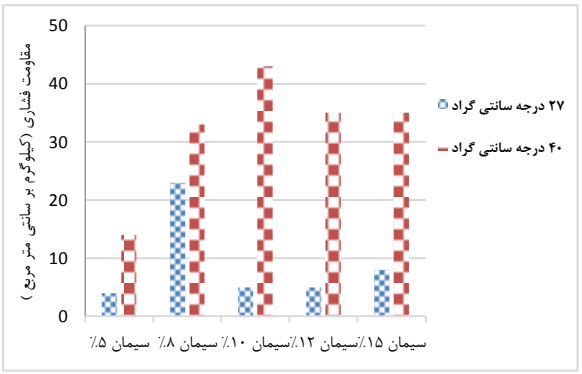
شکل ٤- مقاومت فشاری نمونه‌ها در ۱۰٪ سیمان



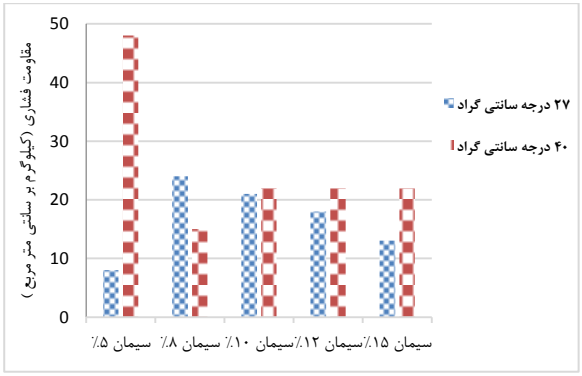
شکل ۵- مقاومت فشاری نمونه‌ها در ۱۲٪ سیمان



شکل ٦- مقاومت فشاری نمونه‌ها در ۱۵٪ سیمان

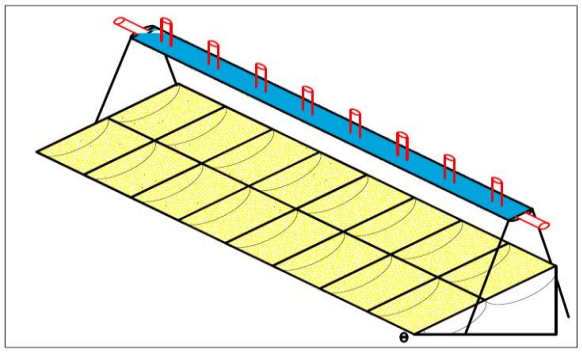


شکل ۷-افزایش میکروسیلیس از صفر به ۵٪



شکل ۸ -افزایش میکروسیلیس از ۵٪ به ۱۰٪

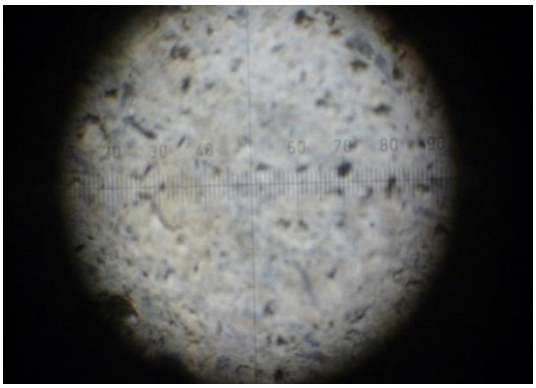




شکل ۹ - نمایی از سازه جت آب صفحه‌ای و چیدمان نمونه‌ها در زیر آن



شکل ۱۰ – فرسایش ایجاد شده بر روی نمونه خاک



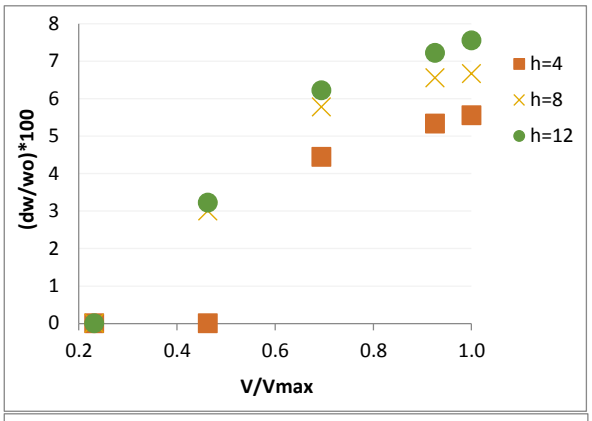
شکل ۱۱ – فرسایش نمونه خاک با بزرگنمایی ۳۰ برابر

درصد افت وزنی نمونه‌ها نسبت به پارامتر بدون بعد سرعت

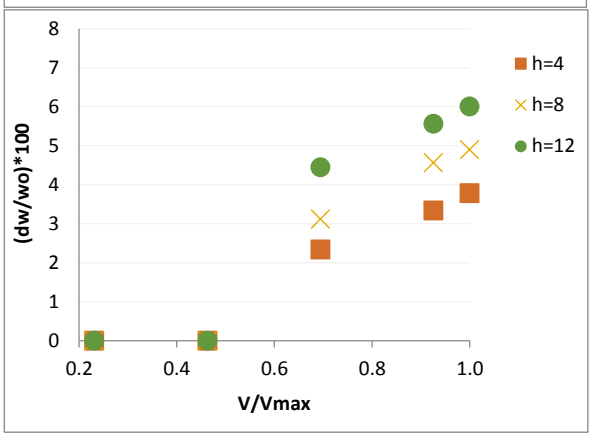
شکل‌های (۱۲) تا (۱۵) درصد افت وزنی نمونه‌های خاک را تحت شرایط هیدرولیکی متفاوت نشان می‌دهد. شکل (۱۲) حالتی را نشان می‌دهد که جت آب بصورت عمودی بر سطح نمونه برخورد می‌کند (نسبت به افق Θ=۰) در این حالت تا سرعت۴ متر بر ثانیه و زمان ۶ ساعت فرسایشی در نمونه مشاهده نگردید و با افزایش زمان(از ۶ ساعت) نمونه شروع به فرسایش کرده و با افزایش سرعت و زمان بر مقدار فرسایش افزوده می‌گردد. بیشترین شیب منحنی در حدفاصل ۴ تا ۶ متر بر ثانیه (V/Vmax=۰/۴۶ – ۰/۶۹) بوده که علت آن انحلال ذرات گچ آزاد در نمونه در اثر برخورد جت آب می‌باشد و بعد از آن با پر شدن حفره‌های ایجاد شده از آب ناشی از جت، تاحدی از قدرت فرسایشی آب کاسته شده و شیب منحنی نماینگر افت وزنی ملایم‌تر می‌گردد. در شکل‌های (۱۳) و (۱۴) روند منحنی فرسایشی تقریبا مشابه هم بوده به‌گونه‌ای که تا سرعت ۴ متر بر ثانیه، نمونه‌ها نسبت به فرسایش مقاوم بوده و با افزایش سرعت، فرسایش در نمونه شروع می‌گردد. در این حالت نیز روند سیر نمودار معرف افت وزنی نمونه‌ها تقریبا همانند حالت قبل است. ولی با توجه به‌اینکه زاویه قرارگیری نمونه‌ها نسبت به افق و تبع آن نسبت به راستای جریان تغییر کرده است، تأثیر آن بر فرسایش نمونه کمتر و میزان افت وزنی آن نیز نسبت به حالت قبل (Θ=۰)کاهش می‌یابد. شکل (۱۵) تأثیر برخورد جت آب به نمونه‌ها را در حالتی که راستای جریان بر سطح نمونه مماس می‌باشد را نشان می‌دهد. در این حالت تا سرعت ۶ متر بر ثانیه هیچگونه فرسایشی در سطح نمونه مشاهده نگردید و بعد از آن با افزایش سرعت و زمان، فرسایش در سطح نمونه‌ها مشاهده گردید. لذا در حالت کلی در تمامی آزمایش‌های انجام شده تأثیر پارامترهای سرعت، زمان و زاویه قرارگیری نمونه‌ها مشهود می‌باشد و هرچه نمونه‌ها دارای زاویه بیشتری نسبت به افق باشند تأثیر جت آب بر فرسایش کمتر و افت وزنی نیز به تبع آن کاهش یافته و مقاومت آن‌ها نسبت به فرسایش بیشتر می‌گردد.

درصد افت وزنی نمونه‌ها نسبت به پارامتر زمان فرسایش

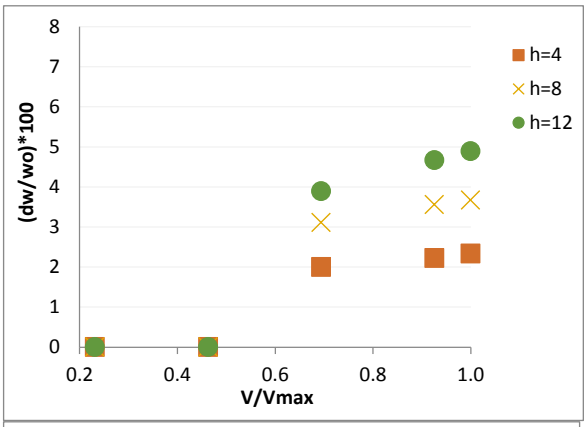
به‌منظور بررسی تأثیر پارامتر زمان فرسایش بر درصد افت وزنی نمونه‌ها نسبت به زاویه برخود جت آب برای نمونه‌هایی با ۱۰ درصد سیمان، شکل‌های (۱۶) الی (۱۸) برای زمان‌های فرسایش ۴، ۸ و ۱۲ ساعت ترسیم شده اند. در شکل(۱۶) درصد افت وزنی نمونه‌ها در چهار ساعت نشان داده شده است همان‌طور که در این شکل مشخص می‌باشد در سرعت‌های ۲ و ۴ متر بر ثانیه، برای تمام زوایای Θ و برای سرعت ۶ متر بر ثانیه نیز درΘ=۹۰، نمونه‌ها نسبت به فرسایش مقاوم می‌باشند و درسرعت‌های بالاتر آثار فرسایش در نمونه‌ها مشاهده گردید که مقدار آن متناسب با زاویه Θ و سرعت جریان می‌باشد و حداکثر مقدار افت وزنی (dw/w_0) و در سرعت ۸/۶۴ متر برثانیه برابر ۵/۵ می‌باشد. در شکل(۱۷) درصد افت وزنی نمونه‌ها در هشت ساعت نشان داده شده است همان‌طور که در این شکل مشخص می‌باشد در سرعت ۲ متر بر ثانیه، برای تمام زوایای Θ ، برای سرعت ۴ متر بر ثانیه برای زوایای ۹۰و۶۰،۳۰=Θ، نمونه‌ها نسبت به فرسایش مقاوم می‌باشند و در دیگر موارد جریان عبوری باعث فرسایش در نمونه‌ها شده است که بالاترین مقدار آن متناسب با زاویه Θ و سرعت جریان می‌باشد و حداکثر مقدار افت وزنی (dw/w_0) در سرعت ۸/۶۴ متر برثانیه حدودا برابر ۶/۵ می‌باشد. در شکل(۱۸) درصد افت وزنی نمونه‌ها در دوازده ساعت نشان داده شده است همان‌طور که در این شکل مشخص می‌باشد در سرعت ۲ متر بر ثانیه، برای تمام زوایایΘ، برای سرعت ۴ متر بر ثانیه برای زوایای ۹۰و۶۰،۳۰=Θ، نمونه‌ها نسبت به فرسایش مقاوم می‌باشند و در دیگر موارد جریان عبوری باعث فرسایش در نمونه‌ها شده است که بالاترین مقدار آن متناسب با زاویه Θ و سرعت جریان می‌باشد و حداکثر مقدار افت وزنی (dw/w_0) در سرعت۸/۶۴ متر برثانیه، حدودا ۷/۵ می‌باشد.



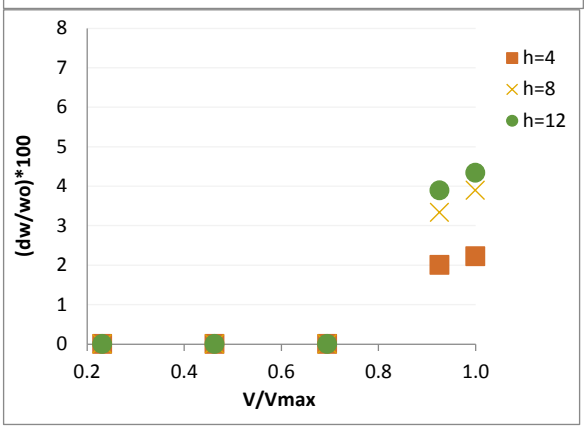
شکل ۱۲ – درصد افت وزنی نمونه‌ها در Θ = ۰



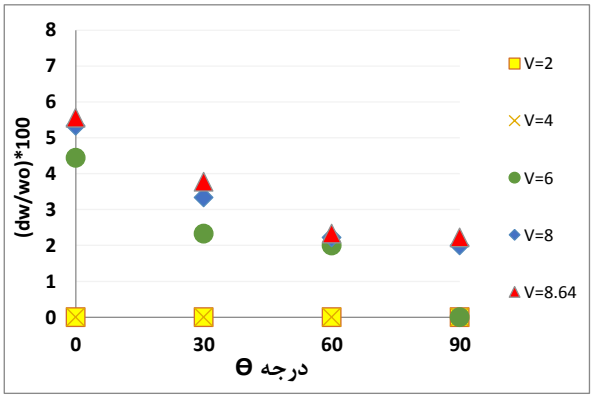
شکل ۱۳ – درصد افت وزنی نمونه‌ها در Θ = ۳۰



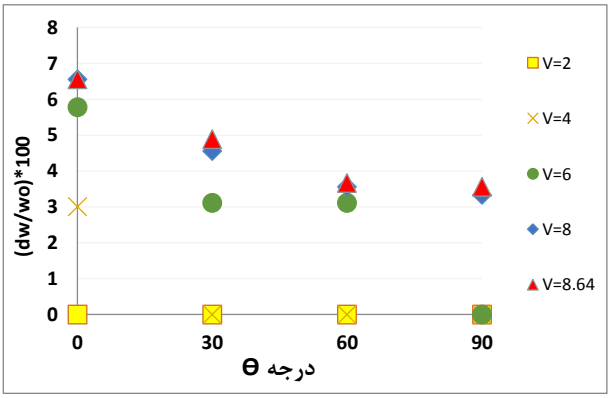
شکل ۱٤ – درصد افت وزنی نمونه‌ها در Θ = ٦۰



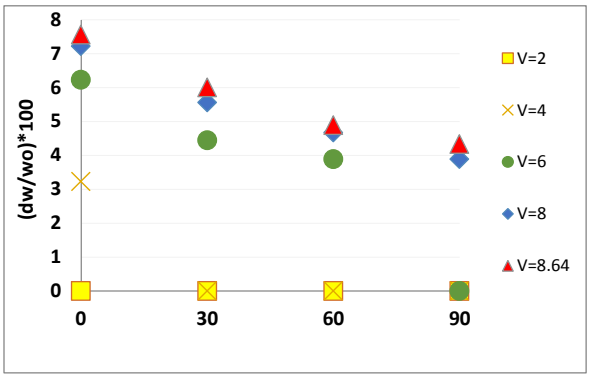
شکل ۱۵ – درصد افت وزنی نمونه‌ها در Θ = ۹۰



شکل ۱٦– درصد افت وزنی نمونه‌ها در $T = 4\ h_r$



شکل ۱۷– درصد افت وزنی نمونه‌ها در $T = 8\ h_r$



شکل ۱۸- درصد افت وزنی نمونه‌ها در $T = ۱۲\ h_r$

نتیجه گیری

MPOC (2003) با توجه به دستور العمل تثبیت لایه‌های خاکریز و روسازی راهها، در صورتی که خاک عمل‌آوری شده بعد از ۷ روز در اتاق مرطوب، دارای مقاومت فشاری برابر با ۲۱ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع باشد و علاوه بر آن با گذشت زمان بر مقاومت آن افزوده شود برای تثبیت با سیمان مناسب می‌باشد. در تمامی نمونه‌های ساخته شده مقاومت ۷ روزه بیش از ۲۱ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بوده (تنها مقاومت خاک با ۵درصد سیمان برابر ۲۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بوده که در برای اطمینان درکارهای اجرایی توصیه نمی‌شود) لذا طبق آیین‌نامه می‌توان از تمام حالت‌های اختلاط در این تحقیق استفاده کرد ولی با توجه به نوع کاربرد و میزان مقاومت فشاری مورد نیاز و با در نظر گرفتن یک ضریب اطمینان مناسب، از بین نمونه‌های بررسی شده باید بهترین اختلاط از بابت کارایی و اقتصادی انتخاب گردد.

در بررسی انجام شده در حالتهای مختلف بصورت کلی می‌توان به تأثیر بسزای افزایش درصد میکروسیلیس و سیمان بر افزایش مقاومت فشاری نمونه‌ها اشاره داشت به‌گونه‌ای که این تأثیر برای نمونه‌هایی با سیمان ۵ تا ۱۰درصد با شیب تند، برای نمونه‌هایی با سیمان ۱۰ تا ۱۲درصد با شیب ملایم افزایش پیدا کرده و برای نمونه‌هایی با سیمان ۱۲ تا ۱۵ درصد حالت یکنواخت پیدا می‌کند. افزودن بیش از۱۲درصد سیمان برای تثبیت خاک منطقه، اقتصادی نبوده و تأثیر ناچیزی بر رشد مقاومت خاک دارد. از طرف دیگر، درجه حرارت نیز به عنوان یک پارامتر موثر می‌تواند سبب رشد مقاومت فشاری و جبران کننده تأثیر منفی میکروسیلیس در کندی حرکت ذرات خاک گردد لذا می‌توان بهترین درصد اختلاط را متناسب با میزان مقاومت فشاری مورد نیاز و شرایط محیطی اجرا بدست آورد. در این پژوهش در صورتی که فصل اجرا در فصول گرم باشد، بهترین ترکیب از بابت مقاومت فشاری در این منطقه با میکروسیلیس ۱۰ درصد و سیمان ۱۰ تا ۱۲ درصد پیشنهاد می‌گردد.

در خصوص تأثیر جت آب صفحه‌ای بر نمونه‌ها می‌توان گفت با افزایش پارامتر V/Vmax، درصد افت وزنی(dw/w_o) افزایش می‌یابد ولی در اکثر نمونه‌ها بیشترین رشد لحظه‌ای فرسایش در حد فاصل سرعت جریان بین ۴ تا ۸ متر بر ثانیه (معادل V/VmaX ، ۰/۴۶ تا ۰/۹۳) و در زمان فرسایش ۸ ساعت می‌باشد. لذا شروع حرکت ذرات را می‌توان از سرعت m/s ۴ و زمان ۸ ساعت در نظر گرفت. البته زمان دقیق‌تر شروع حرکت ذرات در نمونه‌ها متناسب با زاویه Θ و سرعت جریان در جت آب می‌باشد که از روی نمودارها قابل وصول است. به عنوان مثال در زاویه Θ=۰ که جریان بصورت عمودی به نمونه‌ها وارد می‌شود تا سرعت۴ متر بر ثانیه و زمان ۶ ساعت و در زاویه Θ=۹۰ که جریان به‌صورت مماس به نمونه‌ها وارد می‌شود تا سرعت ۶ متر بر ثانیه و زمان ۱۲ ساعت، فرسایشی در نمونه مشاهده نگردید و بعد از آن با افزایش پارامترهای موثر، ذرات در نمونه شروع به حرکت کرده و فرسایش در نمونه شروع شده و اوج آن زمانی است که ذرات گچ آزاد در سطح نمونه در مقابل جریان آب قرار گرفته و انحلال می‌یابند که‌این مسئله در بررسی‌های انجام شده بر روی نمونه‌های فرسایش یافته با میکروسکوپ استریو (با ۳۰ برابر بزرگ‌نمایی شکل (۱۱)) و سوراخ‌های ناشی از برخورد جت آب بر روی آن‌ها رویت گردید و عمق توسعه فرسایش نیز محدود به عمق گچ موجود در ترکیب بوده به‌گونه‌ای که با شسته شدن گچ، و انحلال آن در حفره ایجاد شده، سرعت فرسایش نیز کاهش یافته است. و در قسمتهای دیگر نمونه، به‌علت واکنش سیمان پرتلند موجود درخاک، ترکیبی به‌نام هیدروکسیدکلسیم $Ca(OH)_2$ تولید شده که این ماده در مقابل میکروسیلیس به ترکیبی مقاومتری به‌نام هیدرات سیلیکات کلسیم تبدیل می‌گردد که باعث بهبود سختی نمونه و افزایش مقاومت آن به فرسایش خواهد شد. لذا در صورتی که اختلاط بین خاک و مواد افزودنی در زمان اجرای پروژه، بخوبی انجام گردد می‌توان درصد گچ‌های آزاد را در سازه ایجاد شده به حداقل رساند و فرسایش را بهتر کنترل کرد.

منابع

1-Ashour, T., Korjenic, A., Korjenic, S. and Wu, W., 2015. Thermal conductivity of unfired earth bricks reinforced by agricultural wastes with cement and gypsum. *Energy and Buildings*, *104*, pp.139-146.

2-Bachar, M., Azzouz, L., Rabehi, M. and Mezghiche, B., 2015. Characterization of a stabilized earth concrete and the effect of incorporation of aggregates of cork on its thermo-mechanical properties: experimental study and modeling. *Construction and Building Materials*, *74*, pp.259-267.

3-Chen, M., Shen, S.L., Arulrajah, A., Wu, H.N., Hou, D.W. and Xu, Y.S., 2015. Laboratory evaluation on the effectiveness of polypropylene fibers on the strength of fiber-reinforced and cement-stabilized Shanghai soft clay. *Geotextiles and Geomembranes*, *43*(6), pp.515-523.

4-Kumar, A. and Gupta, D., 2016. Behavior of cement-stabilized fiber-reinforced pond ash, rice husk ash–soil mixtures. *Geotextiles and Geomembranes*, *44*(3), pp.466-474.

5-Kurihara J., Takezawa N. Terada H., Matsui M. 2006. Circumstances in the Utilization of the soil Cement in Sabo Works in japan. Disaster Mitigation of Debris Flows. Slops Failures and Landslides. By Universal Academy Press. Tokyo japan. pp 787-795.

6-Little, D.N., Thompson, M.R., Terrell, R.L., Epps, J.A. and Barenberg, E.J., 1987. *Soil stabilization for roadways and airfields*. LITTLE (DALLAS N) AND ASSOCIATES BRYAN TX.

7- Management and planning organization of the country (MPOC). 2003. Instructions for fixing the dams and pavement layers. Journal No. 268, *Office for the Formulation of Technical Criteria* (in persian).

8-Raftari, M., Rashid, A.S.A., Kassim, K.A. and Moayedi, H., 2014. Evaluation of kaolin slurry properties treated with cement. *Measurement*, *50*, pp.222-228.

9-Rahimi, H. Kheir Andish, KH. 1995. Stability of soil-cement coatings (blanket and block) the waves and rainfall education and the promotion of agricultural. Agricultural Research and Engineering Institute. Journal number 28, pp. 1 and 2 (in persian).

10-Roshandel, B. 2000. Evaluation of different methods for soil stabilization and road pavement aggregate. *Journal of Geotechnical and Materials Resistance*. 83 (in persian).

11-Rodrigues, L.P. and Holanda, J.N.F., 2015. Recycling of water treatment plant waste for production of soil-cement bricks. *Procedia Materials Science*, *8*, pp.197-202.

Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering **Vol. 41, No. 1, Spring 2018, p. 181-194**

EXTENDED ABSTRACT

The Effect of Adding Resistance Supplementary Materials to Gypsum Soils for Lining Water Conveyance Channels

B. Taghdisi[1] , K. Esmaili[2*] and S. Khodashenas[3]

1-PhD Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (International campus).

2*- Corresponding author, Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.*(esmaili@um.ac.ir).*

3-Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.

Received:11 May 2016 Accepted:10 December 2016

Key words: Soil stabilization, Silica, Cement, Lining water conveyance channels.

Introduction:

Using some additive materials to gypsum soil can increase its compressive strength and erosion and make it fit for civil projects in irrigation networks. In this study, (Journal No. 268., 2003) five levels of cement (5, 8, 10, 12 and 15 % to dry soil) and three levels of micro silica (0, 5 and 10 % cement) were added to the local soil. The processing of soil samples were conducted in two temperature (27 and 40^0C) and their compressive strength was studied and analyzed via SAS statistical software. In the present research, the best combination, with the minimum addition and a high compressive strength, was reached by adding 10% cement and 10% micro silica to the soil. In order to evaluate the sample's erosion potential, it was exposed to water jet plane in four angles (Θ = 0,30,60, 90), five speeds (V = 2, 4, 6, 8 and 8.64 m/s) and three times (T =4,8 and 12 h_r) and the highest weight loss erosion (d_w) was observed between the speed of 4 to 8 m/s and the time of 8 hours later in a horizontal state (0 Θ =).

Methodology

Using local soil and its modification to stabilize irrigation canals can, in addition to reducing the implementation time, have a significant role in reducing the operation costs. The purpose of this study was to investigate the effect of adding microsilica powder and cement on Gypsum soils on increasing the compressive strength and lining structures against erosion caused by current water. In this research, five levels of cement (C) of type 2 (5, 8, 10, 12 and 15% in comparison with dry soil), two treatment temperatures of 27° (the mean temperature of fall in the study area) and 40°C (the mean summer temperature in the studied area), and three levels of microsilica (M) of 0, 5 and 10% compared with the cement were used. The total number of samples made to test the compressive strength of 90 samples (5*3*2*3 =90 were5 cement levels, 3 microsilica, 2 temperature levels and 3 repetitions, respectively). SAS statistical software and split plot model were used to analyze the data. in order to investigate the erosion potential, this sample was affected by four-angle plate water jets

(Ɵ =0, 30, 60 and 90 degrees), five speeds (V =2, 4, 6, 8 and 8.64 m/s) and three times (T=4, 8 and 12 h_r).

Results and Discussion

In all samples, with the addition of microsilica to cement, the compressive strength of the samples increased compared to the control samples (without microsilica) due to the introduction of microsilica in the chemical reaction and the formation of a stable compound called calcium silicate hydrate, which strengthens the mortar. At 27°C, the increase in compressive strength for all cement percentages was almost constant after increasing micro silica, but at 40°C, along with increasing microsilica percentage, a higher growth was observed in the compressive strength of the samples, with the highest amount observed in the sample having10% microsilica. The effect of temperature on increasing the compressive strength of the samples is quite evident; in about 40-50% of the samples, the increase in compressive strength was due to heat increase in equal percentages of cement and microsilica . In order to test the resistance of the samples to erosion, the samples were directly affected by water flow in the jet test. In this experiment, when water jets were applied vertically to the surface of the samples at the speed of 4 m/s and the time of 6 hour, erosion was not observed in the samples. As a result of increasing the time, erosion began in the samples. When the water jets hit the specimens at 30 ° and 60 °, the samples were resistant to erosion up to 4 m / s during the whole period of the experiment. However, by increasing water collision, erosion effects were observed in the samples. In the last case, the flow direction was tangent to the surface of the specimens. In this case, the samples were resistant to erosion up to 6 m/s. After this, erosion began in the samples by increasing the speed

Conclusions

According to the recipe for fixation of the dams and pavement layers [3], if the treated soil has a compressive strength of 21 kg/cm^2 after 7 days in the wet room, and if the strength increases over time, it is suitable for cement fixing. In all samples, the 7-day resistance was more than 21kg/cm^2 and, over the course of time for 14 and 28 days, the resistance increased. Therefore, all the mixing states can be used in this research. In general, however, the effect of increasing the percentage of microsilica and cement on the increase in the compressive strength of the specimens has been mentioned in such a way that the effect is highly rising for the samples with 5 to 10% of cement. This effect is steadily rising for samples with 10 to 12% of cement, and it becomes flat for the samples with 12 to 15 percent of cement. On the other hand, the temperature, as an effective parameter, can also increase the compressive strength and compensate for the negative effect of micro-silica on the slow movement of soil particles. In the water jet test, by increasing the V/V_{max} parameter, the weight loss percentage (d_w/w_o) increases. However, in most samples, the maximum instantaneous erosion rate is between 4 to 8 m/s and the erosion time is 8 hours. Therefore, the beginning of the motion of particles can be considered at the speed of 4 m/s and the time of 8 hours. More precisely, the exact time of starting particles moving in samples is proportional to the angle Ɵ and the velocity of the water jet stream. Moreover, most eroded areas are places where gypsum is free and dissolved . Considering the above-mentioned facts, the best mixing ratio can be obtained with regard to the required compressive strength and the environmental conditions. In this study, the best compressive strength is obtained by combining 10% of microsilica and 10-12% of cement if the operation time is the warm season of the year.

References

Management and planning organization of the country. 2003. Instructions for fixing the dams and pavement layers. Journal No. 268, *Office for the Formulation of Technical Criteria*.