



University Of Qom

Assessment of Key Factors Impacting Permeability in Treated Firouzkooch Siliceous Sand and Hormuz Carbonate Sand Using Persian Gum Biopolymer

Masoud Mohseninia¹ , Hossein Salehzadeh² 

1. MSc, Department of Civil Engineering, University of Science and Technology, Tehran, Iran. E-mail: masoud_mohseninya@civileng.iust.ac.ir
2. Corresponding author, Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Science and Technology, Tehran, Iran. E-mail: Salehzadeh@iust.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 18 Oct 2023
Revised 20 Jan 2024
Accepted 27 Jan 2024

Keywords:
Sandy Soil
Improvement,
Biopolymer,
Permeability Test,
Hormuz Sand,
Firouzkooch Sand.

ABSTRACT

This study evaluates the performance of Persian gum as a new plant-based biopolymer in reducing the permeability of the Hormuz carbonate sand and the Firouzkooch silicate sand. To achieve this objective, constant head permeability tests were conducted on both untreated and Persian gum-treated sand specimens. Various parameters, including the proportion of additive biopolymer, curing location, curing time and initial soil density, were investigated. The research findings revealed that the introduction of 0.5 and 3% Persian gum resulted in a substantial reduction in permeability, with reductions of approximately 3-fold and 190-fold, respectively, depending on the sand type. These reductions were observed subsequent to a 7-day curing regimen conducted under elevated temperatures. Additionally, it was observed that other parameters, notably initial soil density, curing temperature, and curing duration, exerted a significant and direct influence on the reduction in soil permeability. In particular, the permeability coefficient of the Hormuz and Firouzkooch optimum samples, treated with a 3% concentration of Persian gum and possessing a relative soil density of approximately 80% prior to treatment, demonstrated a significant reduction to approximately 6.65×10^{-6} and 7.7×10^{-6} cm/s, respectively, following an extended 28-day curing period at an elevated temperature. This notable decrease, in comparison to analogous untreated samples, represented a 578-fold and 175-fold reduction in permeability, respectively.

Cite this article: Mohseninia M, Salehzadeh H. Assessment of Key Factors Impacting Permeability in Treated Firouzkooch Siliceous Sand and Hormuz Carbonate Sand Using Persian Gum Biopol-ymers. Civil Infrastructure Researches. 2024; 10(1): 125-135. <https://doi.org/10.22091/cer.2024.9999.1515>



ارزیابی پارامترهای مؤثر در نفوذپذیری ماسه سیلیکاته فیروز کوه و کربناته هرمز بهسازی شده با بایوپلیمر صمغ فارسی

مسعود محسنی نیا^۱، حسین صالح‌زاده^۲

۱. کارشناس ارشد، گروه ژئوتکنیک، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران. رایانامه: masoud_mohseninya@civileng.iust.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه ژئوتکنیک، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران. رایانامه: Salehzadeh@iust.ac.ir

چکیده

مطالعه پیش‌رو، عملکرد صمغ فارسی به عنوان بایوپلیمر گیاهی جدید در کاهش نفوذپذیری ماسه کربناته هرمز و ماسه سیلیکاته فیروزکوه را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. بدین منظور، آزمایش نفوذپذیری با هد ثابت بر روی نمونه‌های ماسه بهسازی شده و نشده صورت پذیرفت. تأثیر متغیرهایی چون درصد وزنی بایوپلیمر افزودنی، محل و زمان گیرش و تراکم اولیه در نفوذپذیری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزودن ۰/۵ و ۳ درصد، نفوذپذیری نسبت به ماسه بهسازی نشده به ترتیب تا ۳ و ۱۶۰ برابر (بسته به نوع ماسه) پس از گذراندن دوره گیرشی ۷ روزه در گرمکن کاهش پیدا کرد. سایر پارامترها همچون تراکم اولیه خاک، دمای محل و مدت گیرش نیز بر کاهش نفوذپذیری خاک تأثیر مستقیمی داشته است. به طوری که ضریب نفوذپذیری نمونه هرمز و فیروزکوه بهسازی شده بهینه با ۰/۳٪ صمغ فارسی و تراکم نسبی خاک (پیش از بهسازی) در حدود ۸۰ درصد، بعد از ۲۸ روز عمل‌آوری در گرمکن، به ترتیب به $6/65 \times 10^{-6}$ و $7/7 \times 10^{-6}$ سانتی‌متر بر ثانیه رسیده که نسبت به نمونه بهسازی نشده با تراکم نسبی ۸۰ درصد، ۵۸۷ و ۱۷۵ برابر نفوذپذیری کمتری دارد.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۷

کلیدواژه‌ها:

ماسه بهسازی شده،

بایوپلیمر،

آزمایش نفوذپذیری،

ماسه هرمز،

ماسه فیروزکوه.

استناد: محسنی نیا مسعود، صالح‌زاده حسین. ارزیابی پارامترهای مؤثر در نفوذپذیری ماسه سیلیکاته فیروزکوه و کربناته هرمز بهسازی شده با بایوپلیمر صمغ فارسی. پژوهش‌های زیرساخت‌های عمرانی، ۱۴۰۳، ۱۰(۱)، ۱۲۵-۱۳۵.

<https://doi.org/10.22091/cer.2024.9999.1515>

۱- مقدمه

با انواع صمغ‌ها همچون زانتان، گوار، ژلان و آلژینات سدیم مؤثر بودن بایوپلیمرهای گیاهی بر کاهش نفوذپذیری انواع خاک‌ها را به خوبی نشان دادند [۱۱-۱۶]. صمغ فارسی، که به نام‌های فارسی، شیرازی و زدو هم شناخته شده است، صمغی گیاهی است که از ساقه و ریشه درختان در مناطق نیمه خشک ایران به دست می‌آید و از گذشته در صنایع مختلفی چون پزشکی سنتی، داروسازی و غذایی مورد استفاده قرار گرفته است [۱۷]. اخیراً از این صمغ در بهسازی خاک‌های ماسه‌ای و رسی استفاده شده و قابلیت صمغ فارسی در افزایش پارامترهای مقاومتی و کششی به اثبات رسید [۱۸-۲۰]. با توجه به قیمت پایین این صمغ نسبت به صمغ‌های وارداتی معروف همچون زانتان و عملکرد قابل قبول در بهسازی خاک، مطالعه‌های بیشتر بر روی این صمغ توجیه علمی- اقتصادی دارد. در این مطالعه به بررسی اثر افزودن صمغ گیاهی فارسی در کاهش نفوذپذیری خاک‌های ماسه‌ای هرمز و فیروزکوه پرداخته شده است. بدین منظور، نمونه‌های بهسازی شده توسط آزمایش نفوذپذیری هد ثابت مورد ارزیابی و متغیرهای درصد مقادیر افزودنی، تراکم اولیه خاک و زمان و محل گیرش مورد مطالعه قرار گرفتند.

۲- مصالح آزمایشگاهی

۲-۱- خاک‌های مورد مطالعه

در این پژوهش آزمایشگاهی، بهسازی دو نوع خاک ماسه کربناته جزیره هرمز واقع در جنوب ایران و ماسه سیلیکاته فیروزکوه واقع در جنوب رشته کوه البرز، مورد ارزیابی قرار گرفت. در جدول ۱، ویژگی‌های فیزیکی دو خاک ماسه فیروزکوه و هرمز نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک‌های ماسه فیروزکوه و هرمز

مشخصات فیزیکی	Gs	e_{max}	e_{min}	D_{50} [mm]	C_u	C_c
فیروزکوه	۲/۶۸۴	۰/۵۹۶	۰/۹۰۴	۰/۲۸	۲/۰۴	۰/۹۴
فیروزکوه مصنوعی	۲/۶۵	۰/۶۳	۰/۹۱	۰/۴۲	۲/۸۳	۱/۱۲
هرمز	۲/۷۶	۰/۶۲	۰/۹	۰/۴۲	۲/۸۳	۱/۱۲

بهسازی خاک در مهندسی ژئوتکنیک عموماً برای رفع کردن مشکلات خاک‌هایی که نیازهای اولیه طراحی را برآورده نمی‌سازد، به کار گرفته می‌شود. همچنین افزایش جمعیت و سرعت زیاد شهرنشینی، بهسازی خاک را به یک بخش مهم در پروژه‌های عمرانی تبدیل کرده است. اهداف اصلی بهسازی را می‌توان به طور خلاصه، کاهش نشست خاک، جلوگیری و کنترل تورم خاک، مدیریت نفوذپذیری و کاهش خطر روانگرایی دانست. هدایت هیدرولیکی خاک به عنوان یکی از پارامترهای تأثیرگذار در پایداری فونداسیون، گودبرداری و کنترل تراوش و نشست، ملاحظات طراحی خاصی را می‌طلبد [۱]. همچنین هدایت هیدرولیکی بالای خاک می‌تواند اثرات مخرب زیست‌محیطی همچون افزایش و انتشار آلودگی را در پی داشته باشد. در گذشته از مواد سنتی بر پایه کلسیم همچون آهک، سیمان و دوغاب در مدیریت نفوذپذیری انواع خاک‌ها استفاده وسیعی صورت گرفته است [۲-۴]. علاوه بر افزایش گازهای گلخانه‌ای، استفاده از مواد سنتی، اثرات مخربی چون افزایش خاصیت اسیدیته خاک، آلوده کردن آب‌های زیرزمینی و تغییر اکوسیستم را به همراه دارد [۵ و ۶]. مشکلات مشابه مهندسان را به استفاده از مواد جایگزین ترغیب کرد. بایوپلیمر به عنوان جایگزین پایدار، سازگار با محیط‌زیست و ماهیت غیرسمی در قرن اخیر در مقاصد علمی و اجرایی مورد ارزیابی قرار گرفت [۷-۹]. بایوپلیمرها مورد استفاده در زمینه بهسازی خاک اغلب از درختان و ضایعات کشاورزی، ضایعات حیوانی و میکروارگانیسم‌ها به دست می‌آیند [۱۰]. نتایج مطالعه‌های پیشین بهسازی خاک‌ها

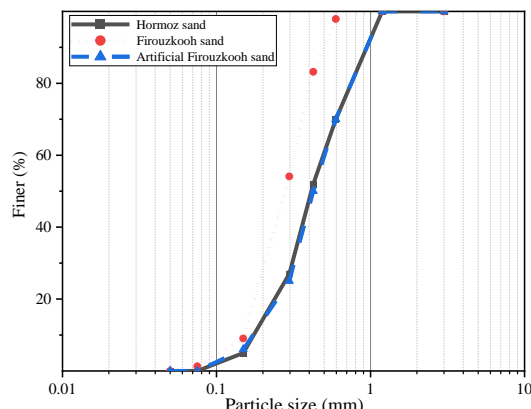
۲-۲- بایوپلیمر گیاهی

از صمغ فارسی به عنوان ماده افزودنی به خاک‌های ماسه هرمز و فیروزکوه استفاده گردید. این صمغ به حالت پودر سفیدرنگ با درصد خلوص بالا از شرکت فریر اصفهان خریداری گردید. در شکل ۲ و جدول ۲، تصویر و مشخصات فیزیکی صمغ فارسی خریداری نمایش داده شده است.



شکل ۲- تصویر پودر صمغ فارسی

دانه‌بندی دو خاک ماسه سیلیکاته فیروزکوه و ماسه کربناته هرمز در شکل ۱ نشان داده شده است. برای جلوگیری از تأثیر عامل دانه‌بندی بر رفتار زهکشی دو خاک، دانه‌بندی مصنوعی برای ماسه فیروزکوه به وسیله حذف دانه‌ها با الک ایجاد گردید.



شکل ۱- منحنی دانه‌بندی خاک

جدول ۲- مشخصات فیزیکی صمغ فارسی

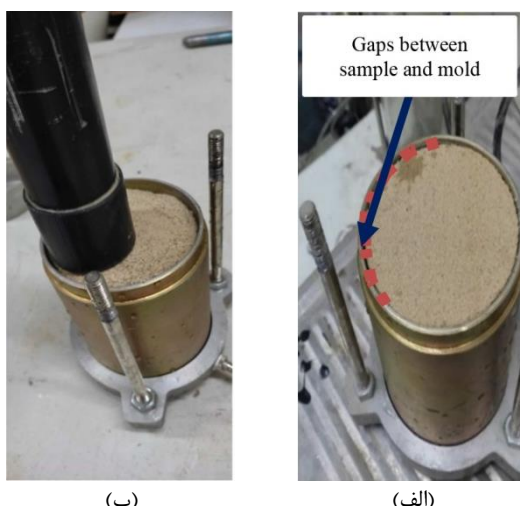
صمغ فارسی	درصد کربوهیدرات	درصد چربی	رطوبت ذاتی (%)	وزن مولکولی (مگا دالتون)	حلالیت در آب (%)
	۹۲	۱/۷۵	۵/۴	۵۱/۲	۳۰-۵۰

مطابق استاندارد، اندازه‌گیری زمان در هنگام رسیدن حجم خروجی آب به ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ سی‌سی برای نمونه‌های با نفوذپذیری کم و قرائت زمان رسیدن دبی خروجی به ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ سی‌سی برای نمونه‌های با نفوذپذیری زیاد صورت پذیرفت و میانگین اعداد به عنوان ضریب نفوذپذیری انتخاب گردید. همچنین برای دستیابی به نمونه بهسازی‌شده با حداقل دست‌خوردگی از قالب استوانه‌ای جداشونده به قطر ۱۰ و ارتفاع ۱۳ سانتی‌متر (شکل ۳) برای ساخت نمونه‌های نفوذپذیری استفاده شد. برای ساخت نمونه‌های بهسازی‌شده، ابتدا درصد‌های مختلف وزنی بایوپلیمر (نسبت به وزن خاک خشک) در مقدار آب ثابت حل گشته و سپس به مقدار مشخص خاک (با توجه به درصد تراکم اولیه خاک خشک) اضافه و برای کسب مخلوط همگن، به وسیله همزن دستی به مدت ۳ دقیقه مخلوط

۳- شیوه ساخت نمونه‌های نفوذپذیری

برای ارزیابی هدایت هیدرولیکی ماسه‌های هرمز و فیروزکوه بهسازی‌شده و نشده، از آزمایش نفوذپذیری با هد ثابت مطابق ASTM D2434-19 استفاده گردید [۲۱]. آزمایش توسط مخزن هد ثابت قرار گرفته بر دیوار به منظور اشباع‌سازی کامل نمونه صورت گرفت. روند اشباع‌سازی مطابق استاندارد ASTM D2434-19 صورت پذیرفت. بدین منظور، ابتدا هوای محبوس و چسبیده به بافت خاک توسط مکش با فشار مشخص خارج و همزمان اجازه عبور جریان آب (با سرعت بسیار پایین) به نمونه داده شد و نمونه به آرامی از پایین به بالا اشباع گردید. برای اطمینان از اشباع بودن نمونه پس از قطع کردن مکش و ورود آب از پایین نمونه، عبور جریان آب از بالا به پایین نمونه تا ۳ برابر حجم نمونه صورت پذیرفت و سپس اندازه‌گیری ضریب نفوذپذیری انجام شد. لازم به ذکر است

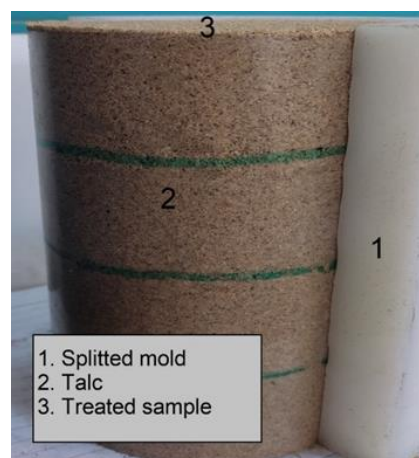
همچنین در انتهای قرارگیری نمونه، پارافین مایع توسط سوزن بسیار نازک و بلند در خلل و فرج احتمالی تزریق شده و سپس نمونه، ۳۰ دقیقه برای سخت شدن مواد اضافه شده استراحت گردید. لازم به ذکر است به دلیل وجود اورینگ در پایین و بالای نمونه، امکان نشت آب از کناره وجود نداشته و تمهیدات اخیر صرفاً برای جلوگیری از کوتاه شدن مسیر آب احتمالی در اطراف نمونه بوده است.



شکل ۴- نمونه‌های نفوذپذیری ماسه فیروزکوه، (الف) بهسازی شده و (ب) بهسازی نشده

همچنین به دلیل طولانی بودن زمان هر آزمایش (به خصوص نمونه‌های بهسازی شده با درصد صمغ و تراکم نسبی اولیه بالا) از استوانه مدرج با سطح مقطع کوچک برای اندازه‌گیری استفاده و برای جلوگیری از تبخیر آب خروجی از نمونه، پارافین مایع بر روی آب خروجی قرار داده شد. برای تعیین نفوذپذیری ماسه فیروزکوه بهسازی نشده نیز متناسب با حجم قالب، تراکم اولیه خاک و استفاده از روابط وزنی، ابتدا سنگ متخلخل پایینی در کف لایه ابتدایی قرار داده شد و سپس خاک محاسبه شده در سه مرحله به قالب اضافه و با استفاده از کوبه به آرامی هر لایه کوبیده گردید و پس از صاف کردن سطح لایه آخر توسط کاردک، سنگ متخلخل بالایی قرار داده شد (شکل ۴-ب). به دلیل تأثیر دما بر لزجت آب، مطابق با استاندارد ASTM D2434-19 دمای آب مورد استفاده

گردید. سپس مخلوط حاصله در چهار مرتبه به قالب اضافه و توسط چکش مخصوص متراکم گردید.



شکل ۳- نمونه بهسازی شده

برای درگیری بیشتر خاک در سطح مشترک^۱، شیارهای افقی و عمودی بر روی سطح بالایی هر لایه پس از کوبش نهایی اعمال گردید. بلافاصله پس از ساخت نمونه، قالب باز و نمونه به محل گیرش به آرامی منتقل گردید. برای ارزیابی هدایت هیدرولیکی نمونه‌های بهسازی شده، پس از طی شدن مدت گیرشی نمونه بهسازی شده در قالب استاندارد دستگاه نفوذپذیری (قطر ۱۰ و ارتفاع ۱۳ سانتی‌متر) قرار گرفت. به دلیل احتمال وجود فضای خالی بین نمونه و قالب پس از گیرش و جایگذاری نمونه در قالب (شکل ۴-الف)، از ماده پارافین خریداری شده از بازار محلی استفاده گردید. پارافین ماهیت نفوذناپذیر در برابر آب داشته و می‌توان از آن به عنوان ماده آب‌بند و درزگیر استفاده کرد. بدین منظور پارافین جامد بر روی سطح داخلی قالب به اندازه کافی اضافه (در حدود ۳ تا ۵ میلی‌متر) قرار گرفته و به مدت ۲ دقیقه اجازه گیرش در دمای محیط به آن داده می‌شود. همچنین برای دقت بیشتر، سطح خارجی نمونه نیز به پارافین آغشته گردید تا تنها معبر عبوری آب عبور از تمامی ارتفاع نمونه باشد. سپس نمونه بهسازی شده به آرامی از بالا به پایین وارد قالب شده و پارافین اضافی از قالب خارج می‌شود.

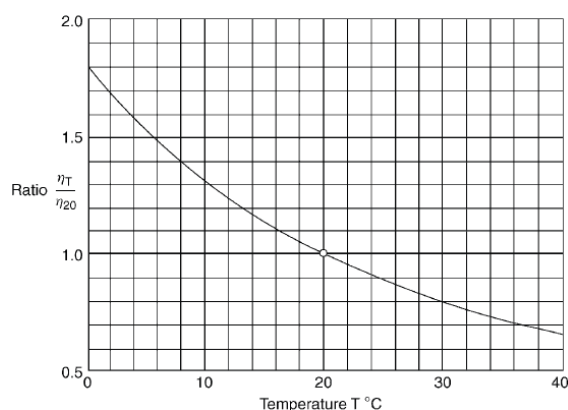
^۱ Interface layer

در ۳ درصد صمغ فارسی (نسبت به وزن خاک خشک) در تراکم نسبی اولیه سست ۲۰٪ (قبل از بهسازی) مورد آزمایش قرار گرفتند. پس از بررسی نتایج آزمایش‌های نفوذپذیری، درصد‌های صمغ در نمونه‌هایی که کمترین نفوذپذیری را از خود نشان دادند به عنوان درصد‌های بهینه صمغ برای مراحل بعد انتخاب گردیدند. لازم به ذکر است برای تسریع روند انجام آزمایش‌ها، زمان گیرش نمونه‌های ذکر شده، ۷ روز در گرمکن ۴۰ درجه سانتی‌گراد بوده است. سپس تأثیر پارامترهای محل گیرش، زمان گیرش در نمونه‌های بهسازی‌شده بهینه (شامل درصد‌های بهینه صمغ فارسی) مورد بررسی و زمان گیرش بهینه برای هر محل گیرش تعیین گردید. در انتها نفوذپذیری نمونه‌های بهینه بهسازی‌شده ماسه فیروزکوه و هرمز با نمونه‌های مشابه بهسازی‌نشده در تراکم‌های مختلف مقایسه شدند. برای مشاهده و تفسیر تأثیر بایوپلیمر افزودنی در کاهش نفوذپذیری خاک‌های مورد نظر، از آزمایش تصویربرداری میکروسکوپ روبشی استفاده گردید. در جدول ۳، برنامه آزمایش‌ها و متغیر مورد ارزیابی و در شکل ۶، مجموعه دستگاه‌های مورد استفاده برای آزمایش نفوذپذیری با هد ثابت نشان داده شده است.

در هر آزمایش اندازه‌گیری گردید [۲۱]. مطابق روابط (۱) و (۲)، ابتدا به ترتیب نفوذپذیری خاک برای آب با دمای مورد نظر محاسبه و سپس برای دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، اصلاح گردید (شکل ۵).

$$k = \frac{QL}{Aht} \quad (1)$$

$$k_{20^{\circ}c} = k_{T^{\circ}c} \frac{\eta_{T^{\circ}c}}{\eta_{20^{\circ}c}} \quad (2)$$



شکل ۵- رابطه بین ویسکوزیته دینامیکی آب با تغییرات دما

[۲۲]

۴- برنامه آزمایش‌ها

برای بررسی اثر مقادیر افزودنی بر نفوذپذیری خاک، در ابتدا نمونه‌های بهسازی شده‌ای با ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵

جدول ۳- برنامه آزمایش‌ها

شماره آزمایش	پارامتر مورد بررسی	شماره شکل	پارامتر ثابت
۱-۱۴	درصد بایوپلیمر (۰/۵ تا ۳ درصد)	۹	تراکم اولیه ۲۰ درصد
۱۵-۳۲	محل و زمان گیرش	۱۰-۱۱	تراکم اولیه ۲۰ درصد- درصد صمغ بهینه
۳۳-۵۸	تراکم نسبی اولیه خاک (صفر تا ۰/۸۰٪)	۱۲	درصد صمغ بهینه- محل گیرش (گرمکن)

برای خاک، جریان آرام و برقرار بودن رابطه داری است. مطابق استاندارد ASTM D2434-19 گرا دیان هیدرولیکی مناسب خاک‌های دانه‌ای سست و متراکم برای اطمینان کامل از برقراری قانون خطی داری و وجود جریان آرام در آب، ۰/۳ و ۰/۵ می‌باشد. بنابراین برای ارزیابی ضریب نفوذپذیری خاک‌های بهسازی‌نشده در

۵- بحث و تحلیل نتایج آزمایش‌های نفوذپذیری

۵-۱- صحت‌سنجی رابطه داری در گرا دیان‌های

هیدرولیکی مورد ارزیابی

در آزمایش نفوذپذیری با هد ثابت مبنای اصلی محاسبه روابط و به‌دست آوردن پارامتر ضریب نفوذپذیری

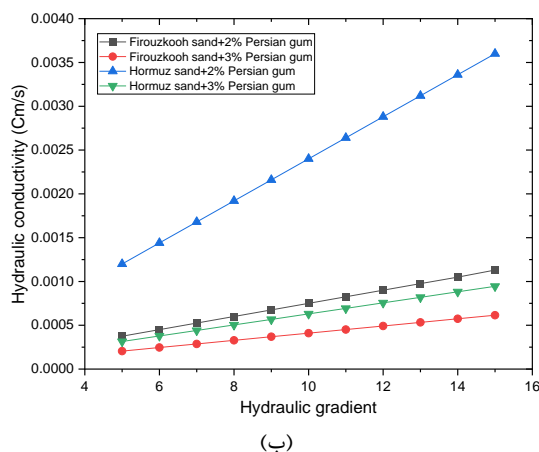
حالت‌های نسبتا سست ($Dr < 50\%$) و متراکم ($Dr > 50\%$) از گرادیان هیدرولیکی به ترتیب ۰/۳ و ۰/۵ استفاده گردید.

نسبت گرادیان هیدرولیکی ($v=Q/At$) تا زمان رابطه خطی بودن رابطه بین دو متغیر، رابطه داری برقرار و ضریب نفوذپذیری ثابت است. بنابراین برای شش نمونه بهسازی شده هفت روزه عمل‌آوری شده در گرمکن (برای هر دو خاک) با ۰/۵٪ (بحرانی‌ترین حالت)، ۲ و ۳٪ صمغ، آزمایش نفوذپذیری با هد ثابت به همراه گرادیان‌های هیدرولیکی ۵ تا ۱۵ صورت پذیرفت. (شکل ۷). همانطور که در شکل ۷-الف قابل مشاهده است، رابطه خطی برای هر ۴ نمونه بهسازی به ترتیب ۲ و ۳ درصد صمغ حاکم بوده و در محدوده مورد نظر جریان آرام برقرار است. در ۲ نمونه بهسازی با ۰/۵ درصد (شکل ۷-ب) با عبور از گرادیان هیدرولیکی ۸، نرخ افزایش سرعت نسبت به گرادیان تغییر و از رابطه خطی گذشته خارج شده است. بنابراین در تحقیق اخیر، گرادیان هیدرولیکی ۵ و ۱۰ برای نمونه‌های بهسازی شده با به ترتیب کمتر و بیشتر از ۲ درصد انتخاب گردید.

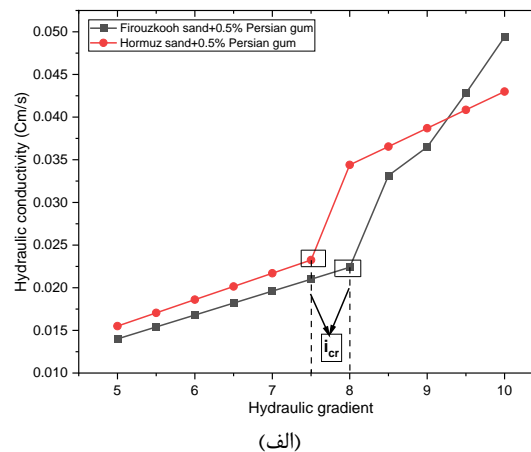


شکل ۶- مخزن هد ثابت و سلول نفوذپذیری

برای ارزیابی ضریب نفوذپذیری ماسه‌های بهسازی شده از گرادیان هیدرولیکی ثابت ۱۰ استفاده گردید. مطابق استاندارد برای اطمینان از برقراری شرایط آرام در جریان آب، آزمایش نفوذپذیری‌های تکراری با تغییر ارتفاع مخزن آب ثابت (افزایش یا کاهش گرادیان هیدرولیکی) توصیه شده است. در نمودار سرعت



شکل ۷- اعتبار سنجی رابطه داری برای نمونه‌های بهسازی شده با درصد صمغ (الف) کم و (ب) زیاد



ترتیب $۱/۰ \times ۱۰^{-۲}$ و $۵/۳ \times ۱۰^{-۳}$ سانتی‌متر بر ثانیه به ترتیب $۲/۸ \times ۱۰^{-۳}$ (۵۰ درصد کاهش) و $۳/۱ \times ۱۰^{-۳}$ (۶۷٪ کاهش) کاهش پیدا می‌کند. با افزایش مقادیر بایوپلیمر گیاهی، روند کاهش نفوذپذیری همچنان ادامه پیدا کرده؛ به طوری که در نمونه‌های بهسازی شده شامل ۳ درصد صمغ فارسی، نفوذپذیری ماسه فیروزکوه و هرمز به ترتیب

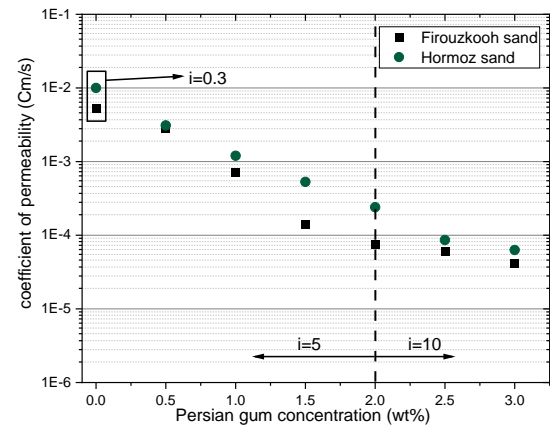
۵-۲- تأثیر درصد بایوپلیمر افزودنی

نتایج آزمایش نفوذپذیری نمونه‌های بهسازی شده پس از گذراندن دوره گیرشی ۷ روزه در گرمکن در شکل ۸ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است با افزودن تنها ۰/۵ درصد صمغ فارسی به خاک‌های ماسه فیروزکوه و هرمز بهسازی نشده، نفوذپذیری از مقادیر به

کاهش نفوذپذیری برای نمونه‌های عمل‌آوری شده در گرمکن نسبت به اتاق سریع‌تر بوده به طوری که نمونه‌های عمل‌آوری شده در گرمکن و اتاق برای هر دو خاک ماسه‌ای حدوداً بعد از گذشت ۲۱ و ۹۰ روز به حداقل مقدار نفوذپذیری خود رسیده و بعد از آن، کاهش چشمگیری در نفوذپذیری مشاهده نمی‌شود. با توجه به اطلاعات موجود، محل گیرش در مقدار ضریب نفوذپذیری بسیار تأثیرگذار است. در ابتدای گیرش، پیوندهای بین‌دانه‌ای در گرمکن نسبت به پیوندهای ایجاد شده در نمونه‌های عمل‌آوری شده در محیط سریع‌تر خشک و ساختار مستحکم به خود می‌گیرند. همچنین به دلیل عدم وجود قالب در اطراف نمونه (عدم شبیه‌سازی فشار همه‌جانبه در زمان گیرش) به دلیل گیرش اولیه دیرتر در محیط، بخشی از پیوندهای بایوپلیمری بین‌دانه‌ای در اثر فعل و انفعالات کششی برای نگه‌داشتن دانه‌های جامد خاک، دچار کشیدگی شده و حجم حفرات کمی افزایش و در نتیجه نمونه‌های عمل‌آوری شده در محیط نفوذپذیری بیشتری از خود نشان می‌دهند [۲۵].

همچنین به دلیل فعل و انفعالات کششی بین دانه‌های جامد و پیوندها، امکان ایجاد ترک و درز وجود دارد. با افزایش زمان و رسیدن به گیرش نهایی، پیوندهای بین دانه‌ای ضخیم‌تر و به شبکه مستحکم بایوپلیمری تبدیل می‌شود و نفوذپذیری نمونه‌های بهسازی‌شده در گرمکن و محیط به یکدیگر نزدیک‌تر می‌شوند. به طوری که نفوذپذیری نهایی نمونه‌های ماسه فیروزکوه و هرمز بهسازی‌شده در گرمکن به ترتیب $1/9 \times 10^{-5}$ و $2/1 \times 10^{-5}$ سانتی‌متر بر ثانیه و در دمای محیط $8/0 \times 10^{-5}$ و $7/3 \times 10^{-5}$ سانتی‌متر بر ثانیه بوده است. بنابراین نسبت ضریب نفوذپذیری نمونه‌های مشابه عمل‌آوری شده در محیط به گرمکن با افزایش زمان گیرش کاهش داشته که نشان از تأثیر کامل شدن پیوندهای بین دانه‌ای و ایجاد شبکه پس از گیرش نهایی است. لازم به ذکر است بخشی از پودر صمغ فارسی نامحلول در آب بوده و باعث

۱۲۹ برابر ($4/1 \times 10^{-5}$ سانتی‌متر بر ثانیه) و ۱۵۹ برابر ($6/3 \times 10^{-5}$ سانتی‌متر بر ثانیه) نسبت به نفوذپذیری نمونه‌های مشابه بهسازی‌نشده کاهش می‌یابد.



شکل ۸- ضریب نفوذپذیری نمونه‌های بهسازی‌شده با درصد بایوپلیمر مختلف

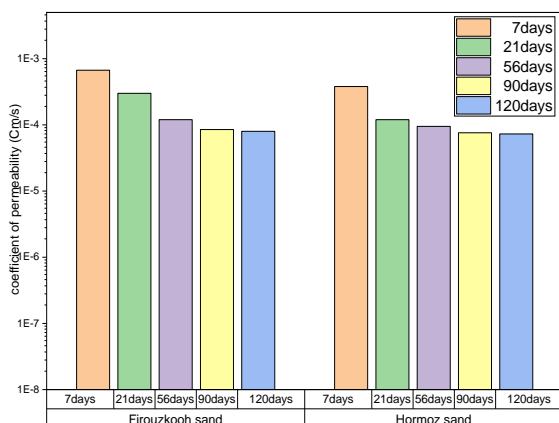
ایجاد پیوندهای بین دانه‌ای، مسدود یا طولانی کردن مسیر حرکت آب در بین حفرات خاک، افزایش ویسکوزیته آب منفذی ناشی از حضور صمغ فارسی و قابلیت جذب آب توسط صمغ فارسی به دلیل ماهیت آب دوستی از دلایل اصلی کاهش نفوذپذیری این خاک‌ها می‌باشد [۱۱، ۱۶، ۲۳، ۲۴]. با مشاهده دقیق‌تر روند کاهش نفوذپذیری هر دو ماسه می‌توان دریافت با افزایش درصد صمغ از ۲/۵ درصد به ترتیب برای ماسه فیروزکوه و هرمز، کاهش چشمگیری در نفوذپذیری دیده نمی‌شود. اگرچه با افزایش درصد صمغ ظرفیت نگهداری آب در خاک به علت خاصیت آب دوستی صمغ افزایش می‌یابد اما علت عدم کاهش چشمگیر نفوذپذیری را می‌توان پوشیده شدن نسبتاً کامل حفرات دانست [۱۵]. در نتیجه، درصد صمغ بهینه در ادامه پژوهش برای هر دو خاک ۳ درصد در نظر گرفته شد.

۵-۳- تأثیر محل و مدت گیرش

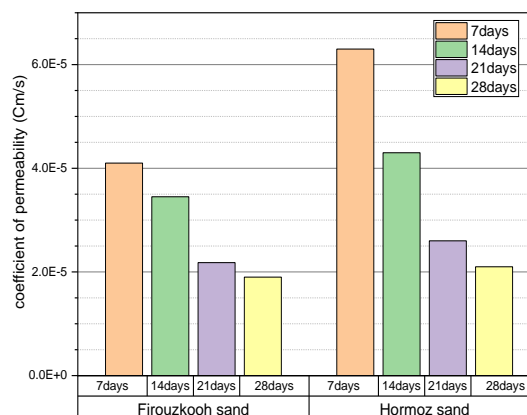
در شکل ۹، نفوذپذیری نمونه‌های بهینه بهسازی‌شده عمل‌آوری شده در محل (گرمکن- محیط) و زمان‌های مختلف گیرشی نشان داده شده است. روند

پرشدهگی حفرات از ابتدای گیرش می شود و به مرور زمان نقش پیوندهای بایوپلیمری ایجاد شده در کاهش نفوذپذیر

پررنگ تر می شود.



(ب)



(الف)

شکل ۹- ضریب نفوذپذیری نمونه های بهسازی شده بهینه عمل آوری شده در (الف) گرمکن ۴۰ درجه سانتی گراد و (ب) محیط با دمای حدودا ۲۰ درجه

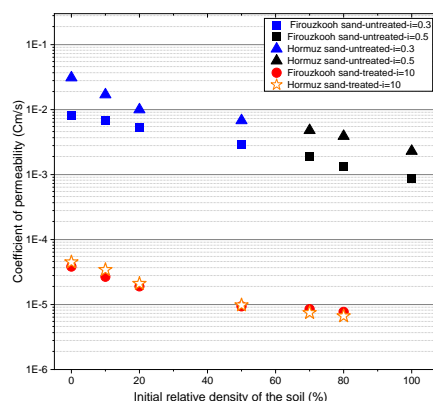
ضریب نفوذپذیری نمونه های بهسازی نشده فیروزکوه

و هرمز در سست ترین حالت ($D_r=0$) به ترتیب از $10^{-2} \times 8/2$ و $10^{-2} \times 3/1$ سانتی متر بر ثانیه با کاهش حدودا ۱۰ و ۱۴ برابری در متراکم ترین حالت خود ($D_r=1$) به $10^{-4} \times 8/74$ و $10^{-3} \times 2/3$ سانتی متر بر ثانیه می رسد. با توجه به شکل ۹- الف می توان دریافت که تأثیر پارامتر تراکم نسبی اولیه خاک در کاهش نفوذپذیری خاک های بهسازی نشده نسبت به حالت بهسازی شده بیشتر بوده به طوری که ضریب نفوذپذیری نمونه ماسه فیروزکوه و هرمز بهسازی شده در سست ترین حالت به ترتیب $10^{-5} \times 3/84$ و $10^{-5} \times 4/5$ سانتی متر بر ثانیه بوده و با کاهش ۵ و ۷ برابری به مقادیر به ترتیب $10^{-6} \times 7/7$ و $10^{-6} \times 6/65$ سانتی متر بر ثانیه در تراکم نسبی اولیه ۸۰٪ میل می کند.

در اثر تراکم در نمونه های بهسازی شده، فضای خالی احتمالی موجود (به دلیل پرکنندگی اولیه پیوندها) در نمونه پر شده و همچنین سطح مشترک بین پیوندهای بایوپلیمری وسیع و ضخیم تر می گردد، اما در نمونه های بهسازی نشده تراکم باعث تغییر در بافت و آرایش قرارگیری دانه ها در کنار یکدیگر شده و از طریق کاهش حجم فضای خالی به کاهش نفوذپذیری کمک می کند.

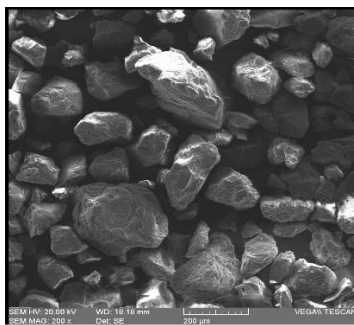
۵-۴- تأثیر تراکم اولیه خاک

در شکل ۱۰، نتایج آزمایش نفوذپذیری بر روی نمونه های بهسازی شده بهینه عمل آوری شده به مدت ۲۸ روز در گرمکن در شرایط تراکمی اولیه متفاوت آورده شده است. برای امکان مقایسه نتایج نمونه های بهسازی شده و نشده و همچنین بررسی اثر تراکم در کاهش نفوذپذیری نمونه های بهسازی شده و نشده، نتایج آزمایش های نفوذپذیری نمونه های ماسه فیروزکوه و هرمز بهسازی نشده در حالت سست تا متراکم نیز آورده شده است.

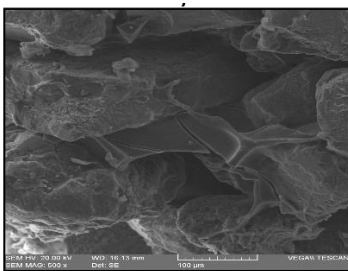


شکل ۱۰- اثر تراکم نسبی اولیه خاک در نفوذپذیری ماسه های هرمز و فیروزکوه ۲۸ روزه عمل آوری شده در گرمکن با درصد صمغ بهینه در مقابل نمونه های بهسازی نشده

تماسی بین دانه‌های (درزبندی بین دانه‌ها)، پر کردن حفرات و ایجاد پیوندهای مؤثر بین دانه‌های در هر دو خاک هرمز و فیروزکوه باعث کاهش نسبت منافذ موجود و به تبع کاهش نفوذپذیری خاک می‌گردد. همچنین با مشاهده دقیق‌تر عکس‌ها می‌توان دریافت در اثر عبور جریان آب با گرادیان هیدرولیکی برابر ۱۰، بخش کوچکی از محل تماس پیوندها دچار آسیب شده است. البته لازم به ذکر است در واقعیت گرادیان‌های هیدرولیکی اغلب کوچک‌تر از یک (حداکثر ۲/۵) بوده و می‌توان گفت صمغ فارسی در برابر شستگی و فرسایش داخلی علمکرد بسیار خوبی دارد [۲۶]. همچنین ترک ایجاد شده در برخی پیوندها می‌تواند در اثر فعل و انفعال تنش- کرنشی ناشی از خیس و خشک شدن (برای انجام آزمایش تصویربرداری نمونه خشک گردید) باشد.



(ب)

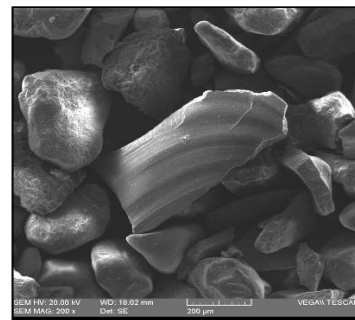


(ت)

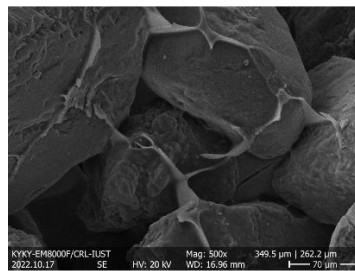
به طور کلی، افزایش تراکم در کاهش نفوذپذیری ماسه هرمز بهسازی شده و نشده نسبت به ماسه فیروزکوه تأثیر بیشتری داشته است. به عنوان مثال در تراکم نسبی اولیه ۰.۲۰٪ ضریب نفوذپذیری ماسه هرمز ۰/۰۱ سانتی‌متر بر ثانیه بوده که پس از بهسازی با درصد مواد اختلاطی بهینه ۴۷۶ برابر کاهش یافته است در حالی که این نسبت برای ماسه فیروزکوه در حدود ۲۷۹ برابر بوده است.

۵-۵- آزمایش تصویربرداری میکروسکوپی

در شکل ۱۱، تصاویر میکروسکوپی نمونه‌های بهینه بهسازی شده (افزودن محلول شامل ۰.۳٪ صمغ فارسی به خاک با تراکم اولیه ۰.۸۰٪) و نشده هرمز و فیروزکوه (پس از انجام آزمایش نفوذپذیری و نمونه‌گیری و خشک کردن) نشان داده شده است. صمغ فارسی از طریق چسبندگی



(الف)



(پ)

شکل ۱۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه (الف) ماسه هرمز، (ب) ماسه فیروزکوه، (پ) ماسه هرمز بهینه بهسازی شده در تراکم بهینه و (ت) ماسه فیروزکوه بهینه بهسازی شده در تراکم بهینه

از ۲ و ۶ درصد کازئین، باعث کاهش ۶۰ و ۷۰ درصدی نفوذپذیری خاک ماسه فیروزکوه حاوی ۰.۱۰٪ نمک پس از گیرش ۷ روزه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد گردید [۲۷]. در تحقیقی دیگر، استفاده از صمغ زانتان و سیمان در کاهش نفوذپذیری خاک ماسه سیلتی مورد ارزیابی قرار

۶- نتیجه‌گیری و بحث

پژوهش‌های پیشین صورت گرفته نشان داده که انواع بایوپلیمرها در کاهش نفوذپذیری انواع خاک‌ها عملکرد بسیار خوبی داشته است. به عنوان مثال، استفاده

۱- صمغ فارسی با ایجاد پیوندهای هیدروژلی و مسدود کردن حفرات موجود در خاک به شیوه زیستی باعث کاهش مؤثر نفوذپذیری در خاک می‌گردد.

۲- افزایش درصد بایوپلیمر نقش بسیار مهمی در کاهش نفوذپذیری داشته به طوری که نمونه ماسه فیروزکوه شامل ۳٪ صمغ فارسی نسبت به نمونه ۵/۰ درصد، ۶۸ برابر نفوذپذیری کمتری از خود نشان می‌دهد.

۳- بین کاهش نفوذپذیری نمونه‌های بهسازی شده با صمغ فارسی و افزایش دمای محل گیرش ارتباط مستقیمی وجود دارد. نمونه‌های بهینه عمل‌آوری شده در گرمکن نسبت به محیط ضریب نفوذپذیری کمتری دارند.

۴- افزایش تراکم در کاهش نفوذپذیری نمونه‌های بهسازی شده نسبت به بهسازی نشده اثر کمتری داشته است.

۵- گروه‌های کربوکسیل و هیدروکسیل موجود در صمغ فارسی در دو خاک ماسه فیروزکوه (عنصر اصلی سیلیسیم) و ماسه هرمز (عنصر اصلی کلسیم) پیوندهای مؤثر ایجاد می‌کند.

گرفت. نتایج آن‌ها نشان داد که ۳۳٪ درصد صمغ زانتان تجاری همانند نمونه بهسازی شده با ۱٪ سیمان، باعث کاهش ۱۰ برابری (۹۰٪ کاهش نفوذپذیری) خاک می‌شود. همچنین با بررسی نفوذپذیری نمونه‌های مذکور در گرادیان هیدرولیکی ۶/۹، ۸/۲، ۹/۴ و ۱۰ ضریب نفوذپذیری نمونه‌های بهسازی شده تغییر خاصی نکرده و بنابراین رابطه داری برقرار است [۲۸]. ساجاتا و همکاران به بررسی نفوذپذیری رس-سیلت با پلاستیسیته بالا بهسازی شده با صمغ گیاهی گوار پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد امکان کاهش ۹۰٪ ضریب نفوذپذیری نمونه بهسازی نشده (با ضریب نفوذپذیری اولیه $2/87 \times 10^{-3}$ سانتی‌متر بر ثانیه) تنها با افزودن ۲٪ صمغ گوار وجود دارد [۲۹].

در این بررسی آزمایشگاهی به ارزیابی استفاده از بایوپلیمر صمغ فارسی در کاهش نفوذپذیری خاک ماسه‌ای پرداخته شده و متغیرهای درصد وزنی بایوپلیمر، تراکم اولیه خاک، محل و زمان گیرش مورد بحث و بررسی قرار گرفت. در مطالعه از آزمایش نفوذپذیری با هد ثابت با در نظرگیری اثر تبخیر برای ماسه‌های بهسازی شده و نشده صورت پذیرفت. خلاصه نتایج آزمایش‌های صورت گرفته در این پژوهش به صورت زیر خلاصه می‌گردد:

References

- [1] Roy S, Bhalla SK. Role of geotechnical properties of soil on civil engineering structures. Resources and Environment. 2017 Jan; 7(4): 103-109. doi: 10.5923/j.re.20170704.03
- [2] Chew SH, Kamruzzaman AH, Lee FH. Physicochemical and engineering behavior of cement treated clays. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering. 2004 Jul; 130(7): 696-706. doi: 10.1061/(ASCE)1090-0241(2004)130:7(696)
- [3] Gao Y, Qian H, Li X, Chen J, Jia H. Effects of lime treatment on the hydraulic conductivity and microstructure of loess. Environmental Earth Sciences. 2018 Jul; 77: 1-15. doi: 10.1007/s12665-018-7715-9
- [4] Fathi-Moghaddam M, Tavakol-Sadrabadi M, Tajbakhsh M. Effect of lime and rice husk ash on horizontal saturated hydraulic conductivity of sandy loam soils. Geotechnical and Geological Engineering. 2020 Apr; 38: 2027-2037. doi: 10.1007/s10706-019-01146-y
- [5] Liu C, Lv Y, Yu X, Wu X. Effects of freeze-thaw cycles on the unconfined compressive strength of straw fiber-reinforced soil. Geotextiles and Geomembranes. 2020 Aug 1; 48(4): 581-590. doi: 10.1016/j.geotextmem.2020.03.004
- [6] Latifi N, Horpibulsuk S, Meehan CL, Abd Majid MZ, Tahir MM, Mohamad ET. Improvement of problematic soils with biopolymer-an environmentally friendly soil stabilizer. Journal of Materials in Civil Engineering. 2017 Feb 1; 29(2): 04016204. doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001706
- [7] Cheng L, Shahin MA, Chu J. Soil bio-cementation using a new one-phase low-pH injection method. Acta Geotechnica. 2019 Jun 1; 14: 615-626. doi: 10.1007/s11440-018-0738-2

- [8] Seo S, Lee M, Im J, Kwon YM, Chung MK, Cho GC, Chang I. Site application of biopolymer-based soil treatment (BPST) for slope surface protection: In-situ wet-spraying method and strengthening effect verification. *Construction and Building Materials*. 2021 Nov 8; 307: 124983. doi: **10.1016/j.conbuildmat.2021.124983**
- [9] Chang I, Lee M, Tran AT, Lee S, Kwon YM, Im J, Cho GC. Review on biopolymer-based soil treatment (BPST) technology in geotechnical engineering practices. *Transportation Geotechnics*. 2020 Sep 1; 24: 100385. doi: **10.1016/j.trgeo.2020.100385**
- [10] Fatehi H, Ong DE, Yu J, Chang I. Biopolymers as green binders for soil improvement in geotechnical applications: A review. *Geosciences*. 2021 Jul 15; 11(7): 291. doi: **10.3390/geosciences11070291**
- [11] Dehghan H, Tabarsa A, Latifi N, Bagheri Y. Use of xanthan and guar gums in soil strengthening. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2019 Jan 15; 21: 155-165. doi: **10.1007/s10098-018-1625-0**
- [12] Sujatha ER, Atchaya S, Sivasaran A, Keerthi RS. Enhancing the geotechnical properties of soil using xanthan gum—An eco-friendly alternative to traditional stabilizers. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2021 Feb; 80: 1157-1167. doi: **10.1007/s10064-020-02010-7**
- [13] Cabalar AF, Wiszniewski M, Skutnik Z. Effects of xanthan gum biopolymer on the permeability, odometer, unconfined compressive and triaxial shear behavior of a sand. *Soil mechanics and foundation engineering*. 2017 Nov; 54: 356-361. doi: **10.1007/s11204-017-9481-1**
- [14] Ayeldeen MK, Negm AM, El Sawwaf MA. Evaluating the physical characteristics of biopolymer/soil mixtures. *Arabian Journal of Geosciences*. 2016 May; 9: 1-13. doi: **10.1007/s12517-016-2366-1**
- [15] Chang I, Im J, Cho GC. Geotechnical engineering behaviors of gellan gum biopolymer treated sand. *Canadian Geotechnical Journal*. 2016; 53(10): 1658-1670. doi: **10.1139/cgj-2015-0475**
- [16] Bouazza A, Gates WP, Ranjith PG. Hydraulic conductivity of biopolymer-treated silty sand. *Géotechnique*. 2009 Feb; 59(1): 71-72. doi: **10.1680/geot.2007.00137**
- [17] Rahimi S, Abbasi S, Sahari M, Azizi M. Characterization of an unknown exudate gum from Iran: Persian gum. In 1st International e-Conference on Novel Food Processing (IECFP2013). Mashhad-Iran (Oral) 2013 Jan 1.
- [18] Ghasemzadeh H, Modiri F. Application of novel Persian gum hydrocolloid in soil stabilization. *Carbohydrate polymers*. 2020 Oct 15; 246: 116639. doi: **10.1016/j.carbpol.2020.116639**
- [19] Mohseninia M, Salehzadeh H. Enhancing strength parameters of Firoozkooh sandy soil improved with Persian herbal gum. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*. 2023 Aug 23; 55(6): 1123-1136. doi: **10.22060/ceej.2023.21876.7842**
- [20] Mohseninia M, Salehzadeh H. Effect of initial soil and curing conditions on tensile strength of sandy soil treated with Persian gum. *Journal of Transportation Infrastructure Engineering*. 2023 Aug 23; 9(2): 51-62. doi: **10.22075/jtie.2023.31178.1644** [In Persian]
- [21] ASTM Committee D-18 on Soil and Rock. Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (constant Head). ASTM International; 2006.
- [22] Head KH. *Manual of soil laboratory testing*. London: Pentech press; 1980 Jul.
- [23] Singh SP, Das R. Geo-engineering properties of expansive soil treated with xanthan gum biopolymer. *Geomechanics and Geoengineering*. 2020 Apr 2; 15(2): 107-122. doi: **10.1080/17486025.2019.1632495**
- [24] Ivanov V, Chu J. Applications of microorganisms to geotechnical engineering for bioclogging and biocementation of soil in situ. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2008 Jun; 7: 139-153. doi: **10.1007/s11157-007-9126-3**
- [25] Mohseninia M, Salehzadeh H. Enhancing strength parameters of Firoozkooh sandy soil improved with Persian herbal gum. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*. 2023 Aug 23; 55(6): 1123-1136. doi: **10.22060/ceej.2023.21876.7842** [In Persian]
- [26] Mitchell JK, Soga K. *Fundamentals of soil behavior*. New York: John Wiley & Sons; 2005 May 25.
- [27] Nouri H, Ghadir P, Fatehi H, Shariatmadari N, Saberian M. Effects of protein-based biopolymer on geotechnical properties of salt-affected sandy soil. *Geotechnical and Geological Engineering*. 2022 Dec; 40(12): 5739-5753. doi: **10.1007/s10706-022-02245-z**
- [28] Mendonca A, Morais PV, Pires AC, Chung AP, Oliveira PJ. Reducing soil permeability using bacteria-produced biopolymer. *Applied Sciences*. 2021 Aug 7; 11(16): 7278. doi: **10.3390/app11167278**
- [29] Sujatha ER, Saisree S. Geotechnical behaviour of guar gum-treated soil. *Soils and Foundations*. 2019 Dec 1; 59(6): 2155-2166. doi: **10.1016/j.sandf.2019.11.012**