مقاله مروری: بررسی بایوپلیمر گوارگام به عنوان افزودنی سبز برای بهبود خاک در کاربردهای ژئوتکنیکی

حسین سرباز[۱]، علی نیساری تبریزی [۲*]

۱. استادیار، عمران، دانشکده فنی مهندسی ، دانشگاه آزاد تهران شمال ، تهران، ایران
۲. دانشجوی دکتری تخصصی، عمران، دانشکده فنی مهندسی ، دانشگاه آزاد تهران شمال ، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۰ تاریخ **پذیرش:** ۱۴۰۱/۱۲/۱۸

چکیده

طی سال‌های اخیر در فعالیت‌های ژئوتکنیکی بالأخص بهسازی خاک کاربرد میکروارگانیسم‌ها و بایو پلیمرهای دوست دار محیط زیست به جهت کاهش اثرات زیان‌بار زیست محیطی ناشی از استفاده از مواد سنتی و صنعتی از جمله سیمان بسیار مورد توجه قرار گرفته است. لذا بررسی تأثیرات بایوپلیمرهای دوست دار محیط زیست از جنبه‌های مختلف از جمله مسائل زیست محیطی ، فرسایش خاک و عوامل مؤثر بر پارامترهای ژئوتکنیکی نهشته‌های مختلف ضروری به نظر می‌رسد هدف این مقاله، مروری است بر مطالعات انجام شده در مورد استفاده از صمغ گوار به عنوان افزودنی سبز از منظر محیط زیست و عوامل مؤثر بر پارامترهای مکانیکی خاک‌های عمل‌آوری شده با این بایوپلیمر. در این پژوهش مزایا، معایب تأثیر صمغ گوار از جنبه زیست محیطی و همچنین تأثیرات این افزودنی با خاک‌های مختلف مورد بحث قرار می‌گیرد. پارامترهای ژئوتکنیکی از جمله مقاومت فشاری محصور نشده، مقاومت برشی، مقاومت در برابر فرسایش و همچنین دوام خاک‌های عمل‌آوری شده با صمغ گوار مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در ادامه پارامترهای تأثیرپذیر صمغ گوار در مواجه با میزان غلظت بایو پلیمرگوارگام، شرایط رطوبت، دما و زمان عمل‌آوری مورد بحث قرار گرفته است. در پایان فرصت‌های بالقوه برای استفاده از صمغ گوار در مهندسی ژئوتکنیک و چالش‌های در رابطه با آن نیز ارائه شده است.

کلید واژه‌ها: خاک عمل‌آوری شده، تأثیرات زیست محیطی، خواص ژئوتکنیکی، اندرکنش خاک و بایوپلیمر زیستی، گوارگام.

* نویسنده مسئول: ant1357@gmail.com

DOI: http://doi.org/10.22034/JEG.2023.16.4.1019271

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

مقدمه

بهبود شرایط زمین را می‌توان افزایش عمدی ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک برای دستیابی به عملکرد مطلوب و بهینه زمانی که با یک چالش مواجه می‌شود عنوان نمود، یک کارشناس خاک و پی همیشه سعی می‌کند مؤثرترین و اقتصادی‌ترین رویکرد بهبود خاک را با در نظر گرفتن انواع لایه‌های بستر، عمق عمل‌آوری ، مکان‌های مورد نیاز برای عمل‌آوری، سطح مطلوب فرآیند، در دسترس بودن مصالح و پرسنل ماهر و محیط زیست توسعه دهد. اصلاح بیولوژیکی به عنوان افزودن مواد افزودنی به خاک برای تغییر ویژگی‌های خاک به منظور قابل قبول بودن در معیارهای طراحی تعریف می‌شود. امروزه از مواد متعددی برای بهبود خاک استفاده می‌شود. در خصوص افزودنی‌ها، آهک و سیمان از جمله محبوب‌ترین گزینه‌ها محسوب می‌شوند. قیر، ترکیبات شیمیایی و ژئوتکستایل‌ها از دیگر موادی هستند که از طریق روش‌های مختلف مانند اختلاط مواد و تزریق شیمیایی در خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند(Nicholson, 2014; Leong et al., 2018; Boroujeni, et al., 2020; ;Correia et al., 2016;Cola et al., 2019;Toghroli et al., 2020;Jahandari et al., 2019 Nguyen et al., 2020;)پدیده گرمایش کره زمین و تغییرات اقلیمی از نگران کننده‌ترین پدیده‌های دهه‌های اخیر محسوب می‌شوند. در مورد مصالح مورد استفاده در فعالیت‌های عمرانی، موادی مانند سیمان و آهک دارای بستر کلسیمی و محصولات مصنوعی، منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) شده‌اند که با گرم شدن کره زمین رابطه مستقیم دارند(Chang et al., 2019;Etim et al., 2017;Rahgozar et al., 2018;Afshar et al., 2020). اگرچه تولید سیمان طی چند سال گذشته بدون تغییر باقی‌مانده است، اما همچنان یکی از منابع اصلی انتشار CO ۲ محسوب می‌شود که تقریباً ۸٪ از سهم انتشار جهانی دی اکسید کربن را شامل می‌شود(Bauer, 2018). از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲، میزان تولید جهانی سیمان از ۳۳۱۰ به ۴۵۰۰ میلیون تن (۲۶.۱۲ درصد افزایش) افزایش یافته است(Wang, 2019). برای کاهش استفاده از سیمان، کارشناسان تلاش کرده‌اند تا مواد مضر برای محیط زیست سنتی را با تکنیک‌ها و روش‌های پایدار، مانند آنزیم‌های زیستی با محیطی مناسب اما کم‌هزینه و بایوپلیمرها جایگزین کنند.

. Chang et al., 2016c;Ngu et al., 2019; Ngu et al., 2019;S. Liu et al., 2020;Ghasemzadeh et al., 2021)

در طی سال‌های اخیر راه‌حل‌های مختلفی برای بهبود خاک سازگار با محیط‌زیست ایجاد شده است که برخی از آن‌ها بر اساس فعالیت‌های میکروبی و بایو مواد هستند. Microbial Induced Calcium Carbonate Precipitation یک تکنیک چند رشته‌ای است که زمینه‌های میکروبیولوژی، زیست‌شناسی و مهندسی ژئوتکنیک را ترکیب می‌کند

(Dejong et al., 2014). Microbial Induced Calcium Carbonate Precipitation فرآیند استفاده از باکتری برای رسوب کلسیت ($CaCO_3$) در ماتریس خاک به شمار می‌رود که منجر به تقویت خاک می‌شود

(Palombo et al., 2019;Omoregie et al., 2020;Bahmani et al., 2019) $CaCO_3$ موجب تشکیل شبکه مستحکم بین پیوندی دانه‌های خاک می‌گردد (Mujah et al., 2017).از دیگر مزایای MICP می‌توان به کاهش میزان نفوذپذیری خاک و نهایتاً کاهش روانگرایی اشاره نمود(Choi et al., 2020) از سوی دیگر، معایب MICP عبارت‌اند از: نیاز به مجموعه‌های بسیار تخصصی از شرایط محیطی ،کاربرد بیشتر در خاک‌های ماسه‌ای و شنی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

(Tang et al., 2020;Dhami et al., 2016;Sharma et al., 2021)، تولید آمونیاک (Achal and Mukherjee, 2015)و مشکل توزیع یکنواخت کلسیت، علاوه بر این، از آنزیم‌ها نیز می‌توان برای به دست آوردن کلسیت از طریق واکنش‌های بیوشیمیایی مانند MICP استفاده کرد. این روش بهبود، رسوب کربنات کلسیم ناشی از آنزیم (Enzyme-Induced Carbonate Precipitation) نامیده می‌شود(Chu et al., 2014) یکی دیگر از روش‌های بیولوژیکی مورد استفاده، تحریک میکروب‌ها برای تولید پلیمر زیستی (انباشته شدن بایوپلیمر میکروبی) در ماتریس خاک، برای بهبود خاک در برابر فرسایش و کاهش نفوذپذیری است(Kwon and Ajo-Franklin, 2013;Noh et al., 2016;Ham et al., 2018. تشکیل بایو فیلم تأثیر مفیدی بر پایداری خاک و کاهش هدایت هیدرولیکی خاک دارد(Baveye et al., 1998;Dunsmore et al., 2004;Matsubara, 2021;Abdullah et al., 2020;Sadeghian et al., 2022). تولید بایو گاز مانند نیتروژن نیز یک روش بیولوژیکی است که به وسیله آن پتانسیل روانی شن و ماسه کاهش می‌یابد. تولید گازهای نامحلول در منافذ خاک منجر به کاهش درجه اشباع خاک، برای کاهش خطر روانگرایی می‌گردد(Rebata-Landa and Santamarina, 2012;He et al., 2014). پلیمرها مواد درشت مولکولی هستند که از زیر واحدهای تکرار شونده (مونومرها)تشکیل شده‌اند. پلیمرها به دو نوع مصنوعی و طبیعی تقسیم می‌شوند. پلیمرهای مصنوعی از فرآورده‌های نفتی تولید می‌شوند. بایوپلیمرها پلیمرهای طبیعی هستند که به طور طبیعی در محیط توسط گیاهان و موجودات زنده تولید می‌شوند. آن‌ها سابقه گسترده‌ای در کاربردهای مختلف در صنعت ساخت و ساز دارند(Chang et al., 2020). اکثر بایوپلیمرها به عنوان چسب یا افزودنی‌های نگهدارنده آب استفاده شده‌اند. جدول۱ مهم‌ترین جزئیات بایوپلیمرهای رایج در تقویت خاک را نشان می‌دهد. لیگنین و مشتقات آن به عنوان یک افزودنی در حفاری چاه‌های نفتی و بتن مؤثر است. سلولز و مشتقات نشاسته در زمینه‌های کاربردی مختلف مانند چسب کاشی، ساخت چاه نفت، سرامیک و گچ سیمان و آهک عملکرد خوبی داشته‌اند(X. Liu et al., 2019;Y. Zhang et al., 2016) . پلیمرهای زیستی در سیالات حفاری مورد استفاده قرار می‌گیرند زیرا به ویسکوزیته کم در حین پمپاژ و ویسکوزیته بالا پس از توقف عملیات پمپاژ نیاز دارند(Plank, 2005;Khatami and O'Kelly, 2018) .در مهندسی خاک و پی ، افزودنی‌های سبز از جمله صمغ گوار گام به طور بالقوه تأثیر قابل توجهی در افزایش جنبه‌های مختلف رفتارهای خاک دارد. اثرات مفید و مزایای بایوپلیمر گوار در مقالات مروری اخیر از دیدگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، درک اینکه چگونه پارامترهای مختلف می‌توانند بر اندرکنش این پلیمر زیستی با ذرات خاک قبل، حین و پس از اختلاط تأثیر بگذارند، با توجه به شرایط اختلاط و همچنین عوامل محیطی ضروری است. این مقاله تلاش می‌کند تا مطالعات انجام‌شده با بایوپلیمر را از منظر مهندسی ژئوتکنیک، از جمله ارزیابی مقاومت فشاری نامحدود، مقاومت برشی، مقاومت در برابر فرسایش، محدودیت‌های آتربرگ، ویژگی‌های تراکم، و تثبیت روسازی به‌روزرسانی و مرور کند. پارامترهای مختلف مؤثر بر بهبود عملکرد ژئوتکنیکی خاک تحت شرایط بهینه برای بایوپلیمر گوارگام ارزیابی شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

جدول ۱. ویژگی‌های پلیمرهای زیستی رایج مورد استفاده برای عمل‌آوری خاک و اثرات بالقوه زیست محیطی آن‌ها
(X. Liu et al., 2019;Y. Zhang et al., 2016)

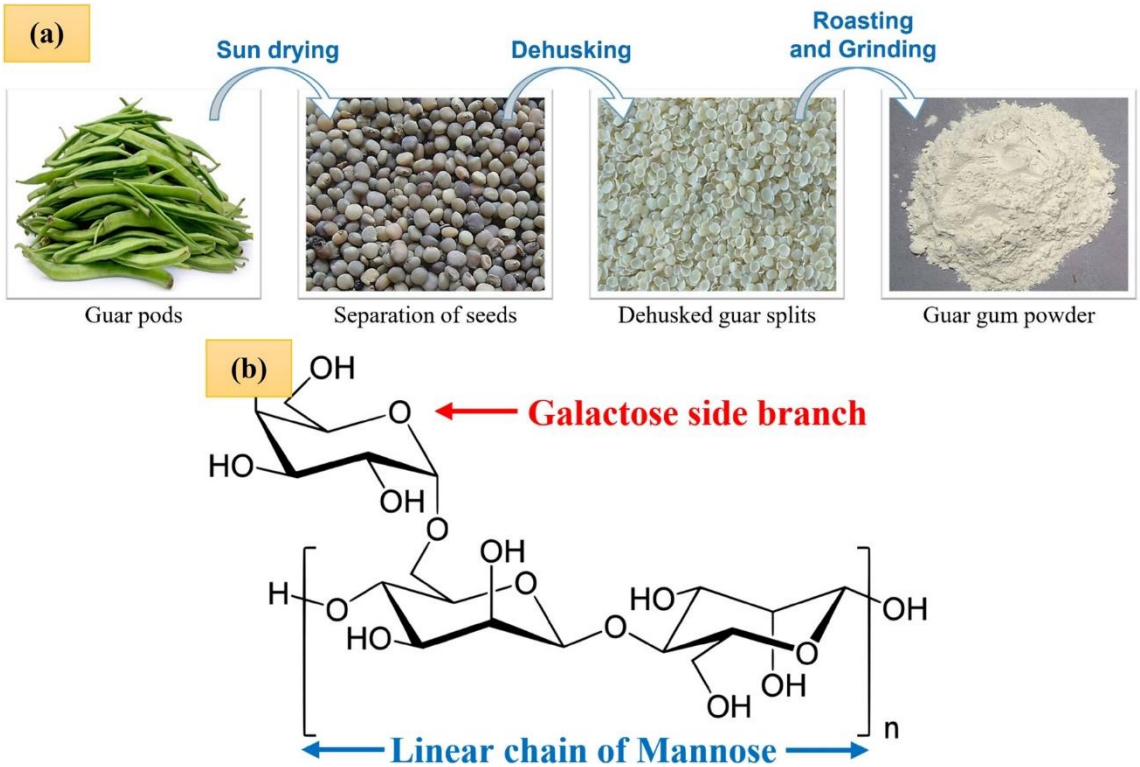
Table 1. Characteristics of common biopolymers utilized for soil treatment and their potential environmental impacts

نوع بایوپلیمر	منبع تولید	نوع سنتز	حلالیت در آب	تأثیرات بالقوه زیست محیطی
زانتان گام	گلوکز یا ساکاروز تخمیر شده توسط باکتری زانتوموناس کامپستریس	آنیونی	محلول	۰.۱ کیلوگرم CO_{2e} برای تولید ۱ کیلوگرم بایوپلیمر،بدون استفاده از زمین
ژلان گام	تخمیر باکتریایی sphingomonas eloda	آنیونی	در دمای بالاتر از ۹۰ درجه سانتی‌گراد قابل حل است	CO_2 کم، عدم استفاده از زمین و بدون آفت‌کش
بتاگلوکان	دیواره سلولی مخمر و سلولز در گیاهان	کاتیونی	محلول	میزان کربن کم، میزان نسبتاً زیاد آب
آگارگام	جلبک‌های دریایی	خنثی	محلول در حدود دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد	میزان کربن ناچیز و ردپای آب بسیار کم
لیگنین و مشتقات آن	دیواره سلولی درختان و ضایعات محصول جانبی صنعت کاغذ	عمدتاً آنیونی	نامحلول	دومین پلیمر زیستی بزرگ در طبیعت، کاربری نسبتاً زیاد زمین، میزان کربن کم
آلژینات سدیم	جلبک قهوه‌ای	آنیونی	محلول	انرژی مورد نیاز کم، اسیدی شدن کم با استفاده از اسید هیدروکلریک
کیتوزان	ضایعات پوسته سخت‌پوستان	کاتیونی	محلول	در صورت استفاده به‌صورت کود حیوانی میزان ناچیز انتشار گاز گلخانه‌ای گزارش شده است.
کاراگینان	جلبک دریایی خوراکی قرمز	آنیونی	محلول	-
کازئین	ضایعات محصولات لبنی	آنیونی	نامحلول	تولین آب زیاد و وجود کربن در ضایعات لبنی
گوارگام	گیاه گوار	کاتیونی /آنیونی	محلول	میزان کربن بسیار ناچیز
پلی اسین	تخمیر باکتریایی	کاتیونی	محلول	-
دگستران	سنتز شده از ساکارز توسط برخی از باکتری‌های اسید لاکتیک	آنیونی/ کاتیونی	نامحلول	CO_2 کم، عدم استفاده از زمین و بدون آفت کش

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

کاربرد افزودنی زیستی گوار در ژئوتکنیک

صمغ گوار(گواران) یک پلی ساکارید متشکل از دو قند گالاکتوز و مانوز است که از گیاه گوار استخراج می‌شود. در بین پلی ساکاریدهای محلول در آب، صمغ گوار بیشترین وزن مولکولی را دارد. صمغ گوار یک پلی ساکارید با بار طبیعی است که در هر دو حالت کاتیونی و آنیونی یافت می‌شود. تولید جهانی صمغ گوار بیش از ۱ میلیون تن در سال است تا با هزینه مناسب به صورت تجاری در دسترس باشد. در شکل ۱ ساختار مولکولی و چرخه تولید صمغ گوار نشان داده شده است (Hamza et al., 2023). وجود گروه‌های هیدروکسیل بزرگ در صمغ گوار، شبکه‌ای از هیدروژل‌ها را در میان ذرات خاک و یون‌های هیدروژن از طریق پیوندهای هیدروژنی تولید می‌کنند.



شکل ۱. (a) روش استخراج و (b) ساختار مولکولی صمغ گوار(Hamza et al., 2023)
Fig 1. (a) Extraction method and (b) molecular structure of guar gum

ارزیابی اثرات زیست‌محیطی صمغ گوار در مهندسی ژئوتکنیک

در سال‌های اخیر، برای کاهش اثرات زیان بار زیست‌محیطی سیاست‌های اساسی به کار برده شده است. در این راستا کمیسیون اتحادیه اروپا قرار است تا سال ۲۰۵۰ انتشار گازهای گلخانه‌ای را به نسبت به سطح سال ۱۹۹۰ به میزان ۸۵ درصد کاهش دهد(La Rosa, 2016). از این رو با افزایش نگرانی‌ها در مورد پیامدهای زیست محیطی سیاره خاکی ما، صنایع به استفاده از روش‌های بهبود خاک به وسیله مواد دوست دار محیط زیست روی می‌آورند(Girod et al., 2013). برخی از تکنیک‌ها، مانند ارزیابی چرخه حیات (Life-cycle assessment)، برای تجزیه و تحلیل سیستماتیک عملکرد زیست محیطی فرآیندها

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

یا مواد توسعه یافته‌اند.Life-cycle assessment، هزینه‌ها و اثرات زیست محیطی را برای کل فرآیند از استخراج مواد خام تا دفع نهایی بررسی می‌کند. به عنوان نمونه‌ای از یک فعالیت ژئوتکنیکی، چرخه عمر پروژه راه‌سازی را می‌توان در پنج بخش زیر خلاصه کرد(R. Zhang et al., 2019;Celauro et al., 2015)

۱- فرآیندهای ساخت کلیه مواد مورد استفاده در پروژه شامل استخراج، انتقال مواد اولیه از منبع به کارخانه، فرآوری تا محصول نهایی و حمل مواد به محل ساخت و ساز.

۲- مرحله ساخت و ساز، مرحله‌ای است که شامل کلیه فرآیندهای اجرایی مورد نیاز برای احداث یک جاده می‌باشد. این شامل تمام مؤلفه‌هایی است که باعث تولید گازهای گلخانه‌ای می‌شود، حتی سوخت مصرف شده توسط خودروهایی که با تأخیرهای ناشی از پروژه مواجه می‌شوند.

۳- فاز استفاده که در آن بیشتر عوامل مربوط به انرژی و آلودگی هوای ناشی از وسایل نقلیه جاده‌ای است. شستشو و رواناب منجر به آلودگی آب پارامتر مهمی است که باید در مرحله استفاده از افزودنی در نظر گرفته شود.

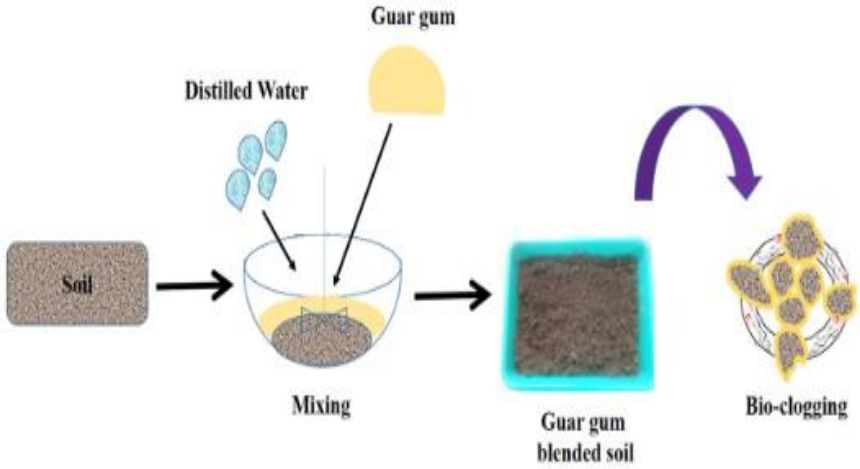
۴- تعمیر و نگهداری و بازسازی (Maintenance and reconstruction)، بخش بسیار مهمی برای حفظ عملکرد یک جاده در طول عمر عملکردی آن است. عملیات راهداری برای ترمیم آسیب‌های احتمالی جاده و همچنین ترددهای ناشی از تأخیر در زمان مرمت انجام می‌شود. از نظر فنی این تأخیر شامل تولید و حمل و نقل مواد جدید به محل و تخریب و دور ریختن مواد زباله است.

۵-مرحله پایان عمر شامل روشی است که باید از مواد دفع شده استفاده شود.

هنگام مطالعه یک ارزیابی زیست محیطی باید عوامل مختلفی از جمله پتانسیل اسیدی شدن، آسیب آبزیان، پتانسیل آسیب انسانی، پتانسیل اتروفیکاسیون (آلودگی اکوسیستم‌های آبی)، پتانسیل گرمایش جهانی، کاهش منابع تجدید ناپذیر، پتانسیل تخریب لایه ازن، آسیب زیست محیطی زمینی و پتانسیل ایجاد اکسیدهای فتوشیمیایی در نظر گرفته شود(Southward, 1985). در این میان، گرم شدن کره زمین، اسیدی شدن، اوتروفیکاسیون و آسیب انسانی جزء مهم‌ترین عوامل برای کارهای مرتبط با خاک به شمار می‌روند(Fatehi et al., 2018). لذا ارزیابی محیطی برای کاربردهای ژئوتکنیکی ضروری است. عمل‌آوری شیمیایی خاک برای کاهش هزینه حمل و نقل مواد طبیعی و دفع در محل‌های دفن زباله توصیه می‌شود(Némethy and Scheraga, 1962). تثبیت خاک با آهک مصرف انرژی را ۳۰ درصد و تولید CO_2 را ۲۷ درصد در مقایسه با مواد سنتزی کاهش داد. اگرچه عمل‌آوری شیمیایی خاک نسبت به مواد سنتی ارجحیت بیشتری دارد، ولی از طرف دیگر صنایع آهک و سیمان به تولید مقدار قابل توجهی از گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کنند. صنعت سیمان حدود۲/۸ میلیارد تن CO_2 تولید می‌کند که معادل ۸٪ مقدار جهانی CO_2 است(Uwasu et al., 2014). غالباً عمل‌آوری شیمیایی خاک با استفاده از چسب‌های با چگالی بالا و محتوای کم انجام می‌شود در حالی که این مزیت برای بایوپلیمرهای زیستی است زیرا در مقایسه با افزودنی‌های سیمانی و آهکی به غلظت بسیار کمتری نیاز خواهد داشت. اخیراً هدف حرکت به سمت پایداری در مواد پلیمری دنبال شده است به طوری که بیوپلیمرها توجه بیشتری را به خود جلب کرده‌اند(Kabir et al., 2020) پیشرفت در صنعت پلیمرهای زیستی می‌تواند نه تنها اثرات زیست محیطی بلکه هزینه‌ها را نیز کاهش دهد و پتانسیل بازار قوی برای پلیمرهای زیستی در آینده نزدیک تخمین زده می‌شود. یک تحقیق جامع که توسط موسسه تحقیقات انرژی و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

محیط زیست (Institute for Energy and Environmental Research) انجام شده به این نتیجه رسید که بایو پلیمرهای زیستی از جمله صمغ گوار از نظر تأثیر آب و هوا، به ویژه تولید و انتشار دی اکسید کربن و مصرف سوخت فسیلی، بهتر از پلیمرهای معمولی عمل می‌کنند(Scown et al., 2014) گوار یک محصول کم انتشار است که بیشتر از طریق آبیاری، کوددهی و فرآیند برداشت و خرمن کوبی دی اکسید کربن تولید می‌کند. برای اینکه سهم دی اکسید کربن از الکتریسیته برای آبیاری، از تولید و کاربرد برای کوددهی، و سوخت‌های فسیلی برای برداشت و خرمن کوبی به دست می‌آید (Gresta et al., 2014). همان‌طور که گفته شد، بیشتر اثرات زیست محیطی در کارهای جاده‌ای مربوط به مرحله تولید مواد است لذا افزودنی‌های زیستی با غلظت‌های کم و راندمان بالا توصیه می‌شود. بنابراین استفاده از بایو پلیمر زیستی گوار تا حد زیادی با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در فرآیند تولید هر دو شرایط را برآورده می‌کند و برای بهبود شرایط خاک به غلظت نسبتاً پایینی نیاز است. در شکل۲ چرخه عمر تولید تا مصرف افزودنی گوار ارائه شده است.

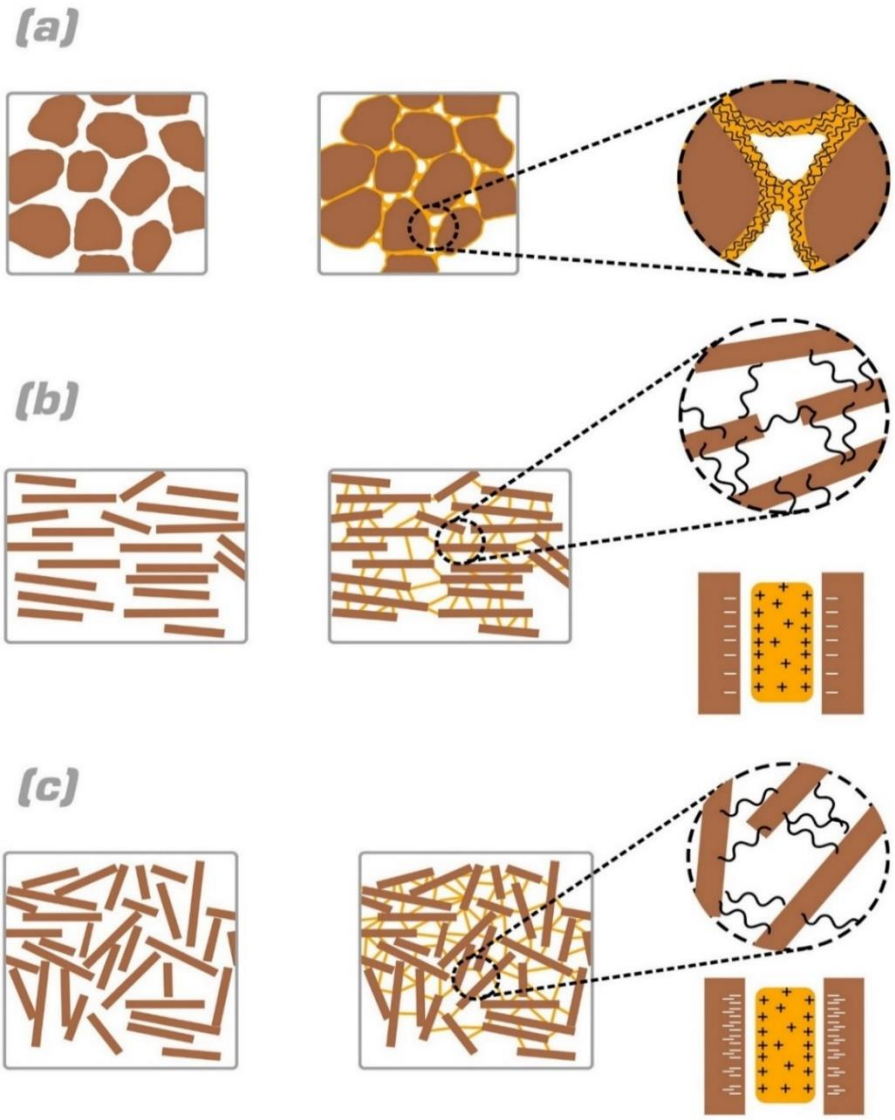


شکل ۲. فرآیند چرخه زندگی یک خاک عمل‌آوری شده شده با صمغ گوار(Gresta et al., 2014)
Fig 2. Life cycle process of a soil treated with guar gum

اندرکنش بایوپلیمر-خاک

نحوه تعامل یک بایو پلیمر زیستی با انواع مختلف خاک همیشه به عنوان یک عامل مهم در نظر گرفته شده است زیرا مطالعه مولکولی منجر به درک بهتر رفتار خاک عمل‌آوری شده با پلیمر زیستی می‌شود. بر اساس نوع خاک، مکانیسم چسبندگی بایوپلیمر از یک خاک به خاک دیگر متفاوت است. شکل ۳ شکل شماتیک اندرکنش بایوپلیمرگوارگام-خاک را نشان می‌دهد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]



شکل ۳. اندرکنش بایو پلیمر گوار با انواع مختلف خاک (a) ماسه، (b) رس کائولینیت، (c) مونت موریلونیت.
Fig 3. Guar biopolymer interaction with different types of soil (a) sand, (b) kaolinite clay, (c) montmorillonite.

اندرکنش بایوپلیمر-ماسه

با افزودن محلول گوار به خاک ماسه‌ای، ذرات محلول شروع به نفوذ به منافذ بین دانه‌ها کرده و سطح دانه‌ها را خیس می‌کنند. خاصیت ترکنندگی سطح دانه‌های ماسه به دلیل وجود سیلیس و سیلیکات و همچنین حلالیت صمغ گوار در آب باعث تسریع فرآیند خیس شدن می‌شود. تماس بین افزودنی زیستی با سطح دانه موجب پوشاندن ذرات خاک و تشکیل یک لایه قوی می‌شود، بنابراین پل‌هایی برای شروع فرآیند پیوند ایجاد می‌شوند. با اجازه تبخیر شدن آب در طول دوره ماندگاری، فرآیند ماتریس بایوپلیمری استحکام پیوند را افزایش می‌دهد و ذرات را به یکدیگر نزدیک‌تر می‌کند و در نتیجه فضاهای منافذ را

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

فشرده‌تر می‌کند. داشتن زنجیره‌های اتصال کوتاه‌تر، آن‌ها را در برابر نیروهای خارجی قوی‌تر می‌کند، به طوری که عملکرد ژئوتکنیکی در طول فرآیند خشک شدن خاک درشت دانه افزایش می‌یابد. بایوپلیمر تا سقف غلظت بهینه منجر به تشکیل پیوندهای بالاتر بین ذرات ماسه و استحکام برشی بالاتر می‌گردد. شکل ۳a مکانیزم چسبندگی بایوپلیمرگوار با دانه‌های ماسه معمولی را نشان می‌دهد.

اندرکنش بایوپلیمر-خاک رس

مکانیزم اندرکنش صمغ گوار با خاک‌های رسی با خاک‌های دانه درشت متفاوت است زیرا خاک رس می‌تواند با گذشت زمان از لحاظ ساختار مولکولی تغییر شکل دهد. در کانی‌های رسی، به دلیل جایگزینی یون‌ها روی صفحات پولکی و سوزنی دانه‌ها، ترکیب در ساختارها تغییر می‌کند. کائولینیت و مونتموریلونیت رایج‌ترین کانی‌های رسی در اکثر خاک‌ها هستند. کائولینیت می‌تواند بارهای منفی و مثبت را حمل کند، در حالی که مونت موریلونیت در بیشتر موارد حامل بار منفی است (Tombácz and Szekeres, 2006). در اثر هوازدگی کانی‌های رسی در شرایط آب و هوایی سخت، اکسیدهای هیدراته آهن (گوتیت) و آلومینیوم (گیب‌سایت) تولید می‌شوند و در نتیجه کاتیون‌ها روی ورقه‌های رسی تشکیل می‌شوند. در مورد گیبسایت، یون‌های هیدروکسیل تنها با دو یون مثبت AL^3 پیوند می‌خورند به طوری که یون‌های مثبت در ساختار رس باقی می‌مانند. پیوند بین لایه‌ای می‌تواند ویژگی‌های خاص و تمایل به جذب آب و همچنین یون‌ها را داشته باشد. لایه‌های خاک رس کائولینیت عمدتاً از طریق پیوندهای هیدروژنی به هم متصل می‌شوند، بنابراین کائولینیت ساختاری نسبتاً پایدار با تمایل کمتر به جذب آب و با پتانسیل تورم کمتر دارد. ظرفیت تبادل کاتیونی (Cation exchange capacity) کائولینیت در محدوده۰/۰۳ تا ۰/۱ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم است که کمتر از ایلیت و مونتموریلونیت است. این ویژگی باعث می‌شود کائولینیت تمایل کمتری به جذب ذرات بایوپلیمر داشته باشد (شکل ۳b)(Latifi et al., 2017). در مونت موریلونیت، پولک‌های رسی با پیوند واندروالسی به هم متصل می‌شوند که یک پیوند شیمیایی نسبتاً ضعیف است که به آب اجازه می‌دهد به راحتی بین لایه‌ها وارد شود. مونت موریلونیت وقتی در معرض آب قرار می‌گیرد، به دلیل پیوند شیمیایی ضعیف، پتانسیل انبساط بیشتری نسبت به کائولینیت پیدا می‌کند. ظرفیت تبادل کاتیونی مونت موریلونیت با Cation exchange capacity در محدوده ۰/۸ تا ۱/۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وجود دارد. در نتیجه، با توجه به اینکه سطح ویژه مونت موریلونیت بسیار بزرگ‌تر از سطح کائولینیت است، احتمال جذب بالایی برای صمغ گوار از طرف مونت موریلونیت متصور خواهد بود(۳c). لذا در مقایسه خاک‌های ریز دانه و درشت دانه، انتظار می‌رود اختلاط خاک رس با گوارگام به دلیل اتصالات بین ذره‌ای قوی‌تر بین بایوپلیمر و ذرات خاک در مقایسه با ماسه، کارآیی بهتری داشته باشد (Chang Im et al., 2015). در جدول۲ خلاصه‌ای از مطالعات اخیر که بر روی خاک عمل‌آوری شده با پلیمر زیستی گوار انجام شده ارائه گردیده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

جدول ۲. خلاصه‌ای از مطالعات اخیر بر روی خاک‌های عمل‌آوری شده با پلیمر زیستی گوارگام(Chang Im et al., 2015).
Table 2. Summary of recent studies on soils treated with guar gum biopolymer

نوع پلیمر	نوع خاک	آزمایش‌ها انجام شده	پارامترهای مطالعه شده	نتایج	مراجع
گوار گام	سیلت	مقاومت فشاری محصور نشده	- غلظت بایوپلیمر - دی هیدراتاسیون - ماندگاری	نتایج نشان داد که استحکام خاک با افزایش غلظت بایوپلیمر و با زمان عمل‌آوری افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده شد که نمونه‌های تیمار شده با بایوپلیمر مقاومت بهتری در برابر تأثیر شرایط محیطی از خود نشان دادند.	(Soldo et al., 2020)
		برش مستقیم	-دی هیدراتاسیون		
		مقاومت کششی شکاف خوردگی	-غلظت بایوپلیمر		
	ماسه	مقاومت فشاری محصور نشده	غلظت بایوپلیمر دی هیدراتاسیون ماندگاری	افزودن صمغ گوار بدلیل حفظ رطوبت، استحکام سطح، مقاومت فشاری و کاهش تولید گرد و غبار را بهبود بخشید. طی تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی روبشی و مطالعه ریزساختارهای نمونه‌ها پس از عمل‌آوری یک همبستگی قوی را بین کاهش وزن پس از آزمایش تونل باد در مقابل حداکثر نیروی نفوذ و مقاومت فشاری تک محوری را نشان داد از این رو استفاده از گوارگام به دلیل پتانسیل‌های امیدوارکننده‌ای که دارد به عنوان یک ماده جایگزین برای کنترل گرد و غبار معرفی شد. آزمایش‌های نفوذپذیری، که برای طولانی‌مدت انجام شد، همچنین تغییر در مقادیر هدایت هیدرولیکی را نشان داد که به غلظت بایوپلیمر و دوره ماندگاری بستگی دارد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از گواوارگام به عنوان مانع تراوش موقت برای حفاظت از بسیاری از آثار ژئوتکنیکی (مانند پی) و سازه‌های زیرزمینی بسیار سودمند است.	(Soldo and) Miletić,2019; Bonal et al., 2020)
		سه محوری	غلظت بایوپلیمر		
		نفوذپذیری	غلظت بایوپلیمر		
		فرسایش بادی	نرخ فرسایش بادی		
		فرسایش آبی	نرخ فرسایش آبی		
	خاک رس	مقاومت فشاری محصور نشده	غلظت بایوپلیمر دی هیدراتاسیون میزان رطوبت	در خاک‌های رسی با توجه به اینکه تشکیل پیوندهای هیدروژنی تابعی از زمان استو از این رو، استحکام مخلوط‌های خاک رس و صمغ گواربا افزایش مدت زمان ماندگاری افزایش یافت بایوپلیمرمستعد پوسیدگی و تخریب هستند اما تعویق سرعت تخریب مشهود بود	(Ghasemzadeh and Modiri,2020 ; Sujatha et al., 2020)
		برش مستقیم	مقاومت برشی		
		نفوذپذیری	غلظت بایوپلیمر		
		تراکم	غلظت بایوپلیمر		

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

	مخلوط رس وماسه	مقاومت فشاری محصور نشده	غلظت بایوپلیمر ماندگاری	نتایج نشان می‌دهد که افزودن صمغ گوار باعث تجمع پلاکت‌های رسی می‌شود که به نوبه خود رفتار نفوذ مخلوط‌های ماسه-رس اصلاح‌شده با گوارگام را افزایش می‌دهد. همچنین طی مطالعات انجام شده صمغ گوار می‌تواند به عنوان یک ماده لاینر ایده‌آل برای محل‌های دفن زباله با مزایای خاصی مانند جایگزینی مواد تجدید ناپذیر، بنتونیت با مواد تمیز و تجدیدپذیر، در نظر گرفته شود.	(Biju and Arnepalli, 2020;Anandha Kumar et al., 2021)
		حدود سازگاری	غلظت بایوپلیمر		
		تست نفوذپذیری	هدایت هیدرولیکی		
		تست تحکیم	غلظت بایوپلیمر		

ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک‌های عمل‌آوری شده با بایو پلیمرهای زیستی گوارگام

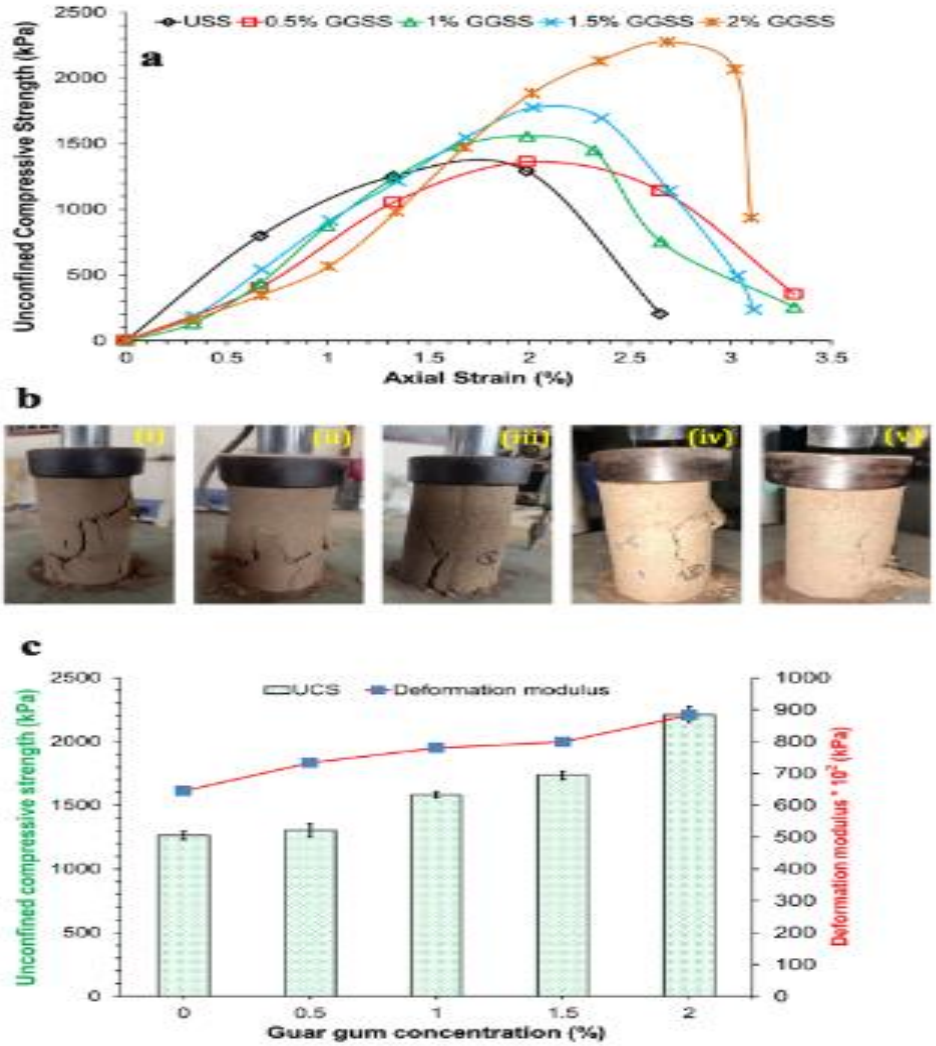
در بخش حاضر، جنبه‌های مختلف خاک بهبود یافته با صمغ گوار گام مورد بحث قرار می‌گیرد.

مقاومت فشاری محصور نشده (Unconfined Compression Test)

آزمون مقاومت فشاری محصور نشده (UCS) رایج‌ترین آزمایش مورد استفاده برای ارزیابی نقش بایو پلیمرهای زیستی در بهبود شرایط خاک است (Soldo et al., 2020). از آنجایی که نحوه تعامل بایوپلیمر با انواع مختلف خاک می‌تواند کاملاً متفاوت باشد، شکل ۴ تأثیر غلظت صمغ گوار را بر UCS نشان می‌دهد، همان‌گونه که در شکل نشان داده شده است خاک با غلظت‌های بالا استحکام فشاری بالایی را نشان می‌دهد. بطوریکه مقاومت فشاری با افزودن ۰/۵ درصد در میزان غلظت بایوپلیمر از ۱۲۶۵ کیلوپاسگال به ۱۳۰۴ کیلو پاسگال رسیده است. گوارگام پس از ماندگاری ۷ روزه با افزودن ۱٪، ۱/۵ ٪ و ۲٪ بایوپلیمر زیستی، مقاومت فشاری به ترتیب به ۱۵۸۱کیلو پاسکال، ۱۷۳۷ کیلو پاسکال و ۲۲۱۱ کیلو پاسکال افزایش یافت. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که در تمام غلظت‌های صمغ گوار مورد بررسی،مقاومت فشاری خاک تثبیت شده بیش از ۲۰۰ کیلو پاسکال است و از این رو می‌توان از آن به عنوان لایه پایه بر اساس توصیه‌های United States Environmental Protection Agencyاستفاده کرد. (Muguda et al., 2017) در مطالعه خود بر روی بلوک‌های خاکی ساخته شده با مخلوط شن و رس، استحکام نزدیک به ۳۰۰۰ کیلو پاسکال را پس از هفت روز ماندگاری با اختلاط خاک با صمغ گوار ۲٪ گزارش کردند. همچنین (Reddy et al., 2020) در تثبیت ضایعات گل قرمز با صمغ گوار به غلظت ۰/۵ درصد مشاهده کردند که UCS از۲۴۵کیلو پاسکال به ۱۲۰۴ کیلو پاسکال افزایش یافته است.استحکام بایوپلیمر زیستی گوار را می‌توان به تجمع ذرات خاک نسبت داد که با تشکیل پل بین دانه‌های خاک در برابر بارهای خارجی مقاومت می‌کند(C. Chen et al., 2020) هنگامی‌که غلظت بایوپلیمرتا ۳درصد افزایش می‌یابد استحکام بین ذرات افزایش پیدا می‌کند (Sujatha and Ayeldeen,2016) نیز نتایج مشابهی را برای سیلت و خاک رس عمل‌آوری شده با 'گوارگام گزارش کردند.که برای درک بهتر تأثیرات بایوپلیمر زیستی با سایر بایو پلیمر طی مطالعات قبلی موارد در جدول۳ تحت مقایسه قرار گرفته است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]



شکل۴. مقاومت فشاری محدود نشده و رفتار خاک با غلظت‌های متفاوت بایوپلیمر زیستی گوار گام(Soldo et al., 2020).

Fig 4. Unconfined compressive strength and behavior of soil with different concentrations of guar gum biopolymer

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

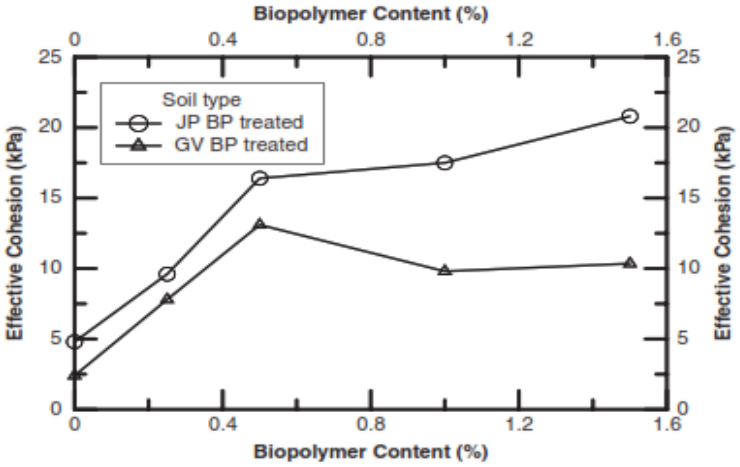
جدول ۳. خلاصه‌ای از مطالعات اخیر درخصوص مقاومت فشاری خاک با درصدهای مختلف بایو پلیمرهای زیستی مطرح
Table 3. A summary of recent studies regarding the compressive strength of soil with different percentages of biological biopolymers

نوع خاک	نوع بایوپلیمر زیستی / میزان غلظت	تاثیر بر میزان مقاومت فشاری با گذشت زمان	مراجع
مخلوط خاک رس ماسه‌ای با درجه‌بندی ضعیف	گوارگام ۲درصد	۷۴/۷۸ درصد افزایش در مدت زمان ماندگاری ۷ روز	(Anandha Kumar et al., 2021)
سیلت	کوارگام۲ درصد	۱۱۰۰ درصد افزایش در مدت زمان ماندگاری ۵ هفته	(M. K. Ayeldeen et al., 2016)
ماسه	زانتان گام ۲درصد	۴۵۰ درصد افزایش در مدت زمان ماندگاری ۵ هفته	(Sujatha and Saisree, 2019)
رس سیلتی با تراکم‌پذیری بالا	گوارگام۲ درصد	۵۲ درصد افزایش در مدت زمان ماندگاری ۹۰ روز	(Sujatha et al., 2021)
ماسه	زانتان گام۲ درصد	۱۶۰۱/۲۷ درصد افزایش در مدت زمان ماندگاری ۹۰ روز	Dehghan et al., 2019)
خاک رسی با پلاستیسیته کم	زانتان گام۲ درصد	۱۴۰/۴۹ درصد افزایش در تنش انحرافی و در مدت زمان ماندگاری ۲۸ روز	(Wen et al., 2019)
شن و ماسه ضعیف	سدیم آلژینات۰/۴ درصد	افزایش صفر تا ۲۶۰ کیلوپاسگال	(Chang et al., 2016b)
شن و ماسه ضعیف	ژلان گام۲ درصد	افزایش صفر تا ۴۳۱/۶ کیلوپاسگال	Chang Prasidhi, et al., 2015)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

مقاومت برشی

آکاریا و همکاران(۲۰۱۷) به تثبیت دو نوع خاک متورم شونده (یکی از دامنه‌های سد دریاچه جوپول و دیگری از دامنه‌های سد دریاچه گریپوین واقع در ایالت تگزاس)با استفاده از بایوپلیمر گوارگام پرداختند. شکل‌های ۵ و ۶ تغییرات چسبندگی مؤثر و زاویه اصطکاک داخلی هر دو خاک را با درصدهای وزنی مختلف بایوپلیمر گوارگام نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود چسبندگی مؤثر خاک دریاچه گریپوین تا غلظت ۰/۵ درصد بایوپلیمر با شیب زیادی افزایش می‌یابد و بعد از آن به تدریج کم می‌گردد چسبندگی مؤثر در دو غلظت ۱ و۱/۵ درصد گوارگام،کمتر از چسبندگی خاک تقویت شده با ۰/۵ درصد بایوپلیمر گوارگام است. از سوی دیگر، زاویه اصطکاک خاک در تمامی غلظت‌های بایوپلیمر تقریباً ثابت ماند. با این وجود، در دو غلظت ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد گوارگام، مقادیر بالاتری داشت. به طور مشابه برای خاک دریاچه جوپول، مقدار چسبندگی مؤثر تا غلظت ۰/۵درصد گوارگام با شیب تندی افزایش یافت. بعد از آن با شیب کمتری ادامه پیدا کرد و در غلظت ۱/۵ درصد گوارگام، چسبندگی مؤثر به بیشترین مقدار خود رسید. از طرف دیگر زاویه اصطکاک خاک با افزایش در غلظت گوارگام، رفته رفته کاهش یافت(Acharya et al., 2017) از این مشاهدات می‌توان نتیجه گرفت که مقدار بهینه گوارگام برای مخلوط شدن با خاک حدوداً برابر۰/۵ درصد وزنی می‌باشد و نمی‌توان بین پارامترهای برشی و افزایش غلظت بایوپلیمر زیستی رابطه مستقیمی در نظر گرفت. نکته قابل توجه این است که کاربرد صمغ گوار موجب افزایش استحکام برشی خاک گردیده که این موضوع با نتایج تست مقاومت فشاری در تطابق است.

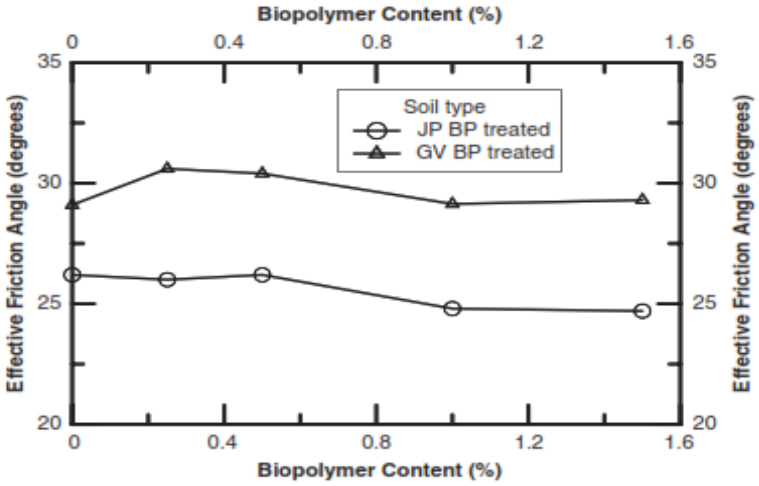


شکل ۵. تغییرات چسبندگی مؤثر دو خاک متورم شونده دریاچه جوپول و گریپوین در غلظت‌های مختلف بایوپلیمر گوارگام(Acharya et al., 2017)

Fig 5. Changes in the effective adhesion of two swelling soils of Lake Jopol and Grapevine in different concentrations of guar gum biopolymer

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

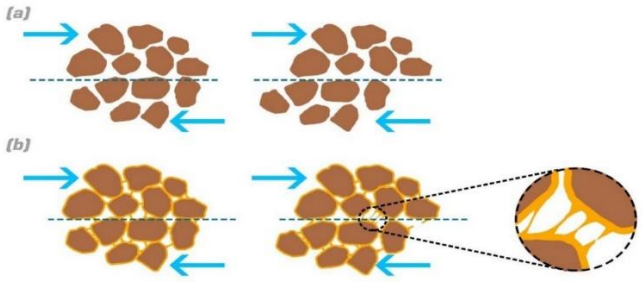
[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]



شکل ۶. تغییرات زاویه اصطکاک دو خاک متورم شونده دریاچه جوپول و گریپوین در غلظت‌های مختلف بایوپلیمر گوارگام(Acharya et al., 2017)

Fig 6. Changes in the friction angle of two swelling soils of Lake Jopol and Grapevine in different concentrations of guar gum biopolymer

استحکام پسماند کمترین مقدار تنشی است که یک ماده می‌تواند تحمل کند. به طوری که اگر تنش اعمال شده کمتر از مقاومت پسماند باشد، شکستی رخ نمی‌دهد (Gilbert et al., 2005). استحکام باقیمانده ماسه عمل‌آوری شده با گوار گام نیز مورد مطالعه قرار گرفت (Lee et al., 2017). نتایج نشان داد که استحکام باقیمانده نمونه‌های خشک شده برای هر دو زاویه چسبندگی و اصطکاک روند افزایشی پیدا کرده است. این افزایش پارامترها را می‌توان به حضور نیروهای واندروالس بین هیدروژل گوارگام و دانه‌های ماسه نسبت داد. از آنجایی که نمونه‌های ماسه پس از شکست به‌صورت انعطاف‌پذیر می‌مانند، استحکام باقی‌مانده آن‌ها بیشتر از نمونه‌های شن و ماسه بهبود یافته با ۱۰ و ۲۰ درصد گچ بود. آزمایش‌های سه محوری زهکشی نشده همچنین نشان داد که صمغ گوار انسجام و زاویه اصطکاک زباله‌های معدن زغال‌سنگ را افزایش می‌دهند(J. Zhang et al., 2021).شکل شماتیک خاک با و بدون اختلاط با گوارگام تحت آزمایش برش مستقیم در شکل ۷ ارائه شده است . خاک بکربه دلیل عدم انسجام بین ذرات خاک از مقاومت برشی پایینی برخوردار است. ویژگی چسبندگی پلیمر زیستی، پیوستگی بین ذرات ماسه را افزایش می‌دهد و منجر به تشکیل توده بزرگ‌تر می‌شود((C. Chen et al., 2019.



شکل ۷. الگوهای شماتیک حرکت شن و ماسه تحت آزمایش برش مستقیم: (a) ماسه بکر (b) ماسه مخلوط شده با گوار گام(C. Chen et al., 2019).

Fig 7. Schematic patterns of sand movement under direct shear test: (a) unstabilized sand (b) sand mixed with guar gum.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

مقاومت در برابر پدیده فرسایش

از طریق اندرکنش بین سیالات (اعم از آب و باد) و خاک، اگر نیروی کشش سیالات بر مقاومت برشی و گرانش خاک غلبه کند، فرسایش خاک اتفاق می‌افتد(Mehdizadeh et al., 2017; Morgan, 2009) اختلاط بیولوژیکی با استفاده از بایوپلیمرهای زیستی نقش مهمی در کاهش فرسایش خاک با مسدود کردن مسیرهای آب در فضاهای منافذ ایفا می‌کند. افزودن پلیمر زیستی منجر به تشکیل لایه‌ای با نفوذپذیری پایین و کاهش سرعت جریان آب در بین فضای دانه‌های خاک می‌شود (Chang et al., 2016a).یکی دیگر از مشکلات زیست محیطی جدی که در خاک‌های درشت دانه شنی خشک یا هر جایی که با خاک سست پوشیده شده است رخ می‌دهد، فرسایش بادی است. گرد و غبار فراری، به عنوان پیامد اصلی فرسایش بادی، ناگزیر جاده‌ها و محصولات کشاورزی را می‌پوشاند که منجر به کاهش بهره‌وری کشاورزی می‌شود (M. Ayeldeen et al., 2018) پلیمرهای زیستی به طور بالقوه مقاومت خاک در برابر فرسایش بادی را با تشکیل یک پوسته محکم بر روی سطح ماسه بهبود می‌بخشند، حتی یک ترک پس از آزمایش تونل باد بر روی نمونه‌های عمل‌آوری شده با صمغ گوار مشاهده نشد (شکل ۸). صمغ گوار در مقایسه با کاراگینان و نشاسته اصلاح شده عملکرد بهتری داشتند (Kavazanjian Jr et al., 2009).

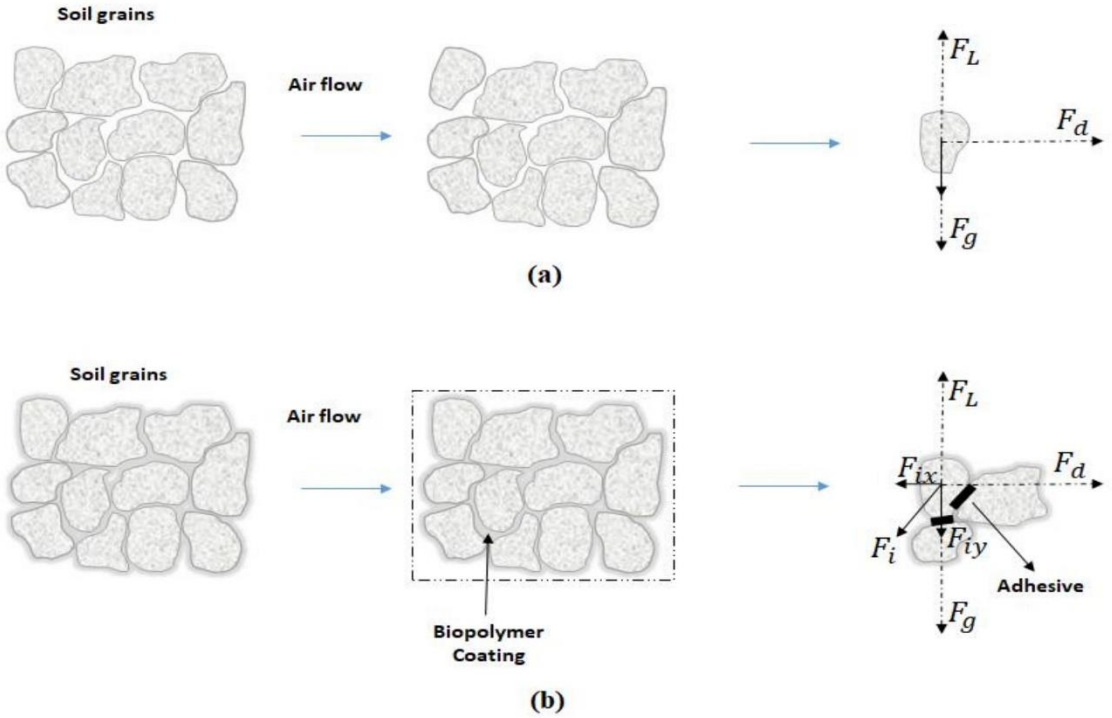
شکل ۸. تشکیل پوسته ماسه عمل‌آوری شده توسط گوارگام(Kavazanjian Jr et al., 2009)

Fig 8. Sand shell formation treated by Guar gum

شکل ۹ نشان می‌دهد که چگونه خاک در برابر فرسایش بادی هم در حالت بکر و هم در حالت اختلاط با صمغ گوار مقاومت می‌کند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مجموعه‌ای از نیروها شامل نیروهای مقاوم و نیروهای محرکه در طول فرسایش بادی وجود دارد. نیروهای محرکه متشکل از نیروی آیرودینامیکی در جهت باد (F_d) و نیروی بالابرنده آیرودینامیکی (F_L) هستند که سعی می‌کنند دانه‌های خاک را از توده خاک جدا کنند. نیروهای مقاوم شامل نیروی گرانش (F_g) و نیروی چسبندگی بین ذرات (F_i) است که از فرسایش خاک جلوگیری می‌کند(Morgan and Nearing, 2016). در شرایط عادی، F_g به عنوان وزن یک دانه خاک تعریف می‌شود. به طور معمول،F_i دارای مقدار پایینی است، زیرا مقدار اندرکنش بین ذرات خاک بسیار اندک است، به طوری که جریان هوا به راحتی قادر به فرسایش خاک است. هنگامی که بایوپلیمر زیستی به توده خاک اضافه می‌شود پس از خشک شدن، هیدروژل بایو پلیمر با پوشش ذرات خاک و تشکیل پیوندهای شیمیایی قوی به طور مستقیم با خاک اندرکنش ایجاد کرده که منجر به تشکیل شبکه‌ای متشکل از دانه‌های خاک و بایوپلیمر می‌شود. در این

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

شرایط، F_g وزن کل توده خاک را تشکیل می‌دهد بطوریکه مقدار آن بیشتر از حالت بکر خاک خواهد بود. از این رو نیروی بین‌ذره‌ای به دلیل شبکه بایوپلیمری به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. نیروی مقاوم اضافی منجر به نیروی بازدارنده کل نسبت به نیروی محرکه می‌شود که از جدایش و بلند شدن ذرات خاک جلوگیری به عمل می‌آید.



شکل ۹. روند مکانیکی مقاومت خاک در برابر فرسایش بادی: (a) ماسه بکر (b) ماسه بهبود یافته با بایوپلیمر (Morgan and Nearing, 2016)

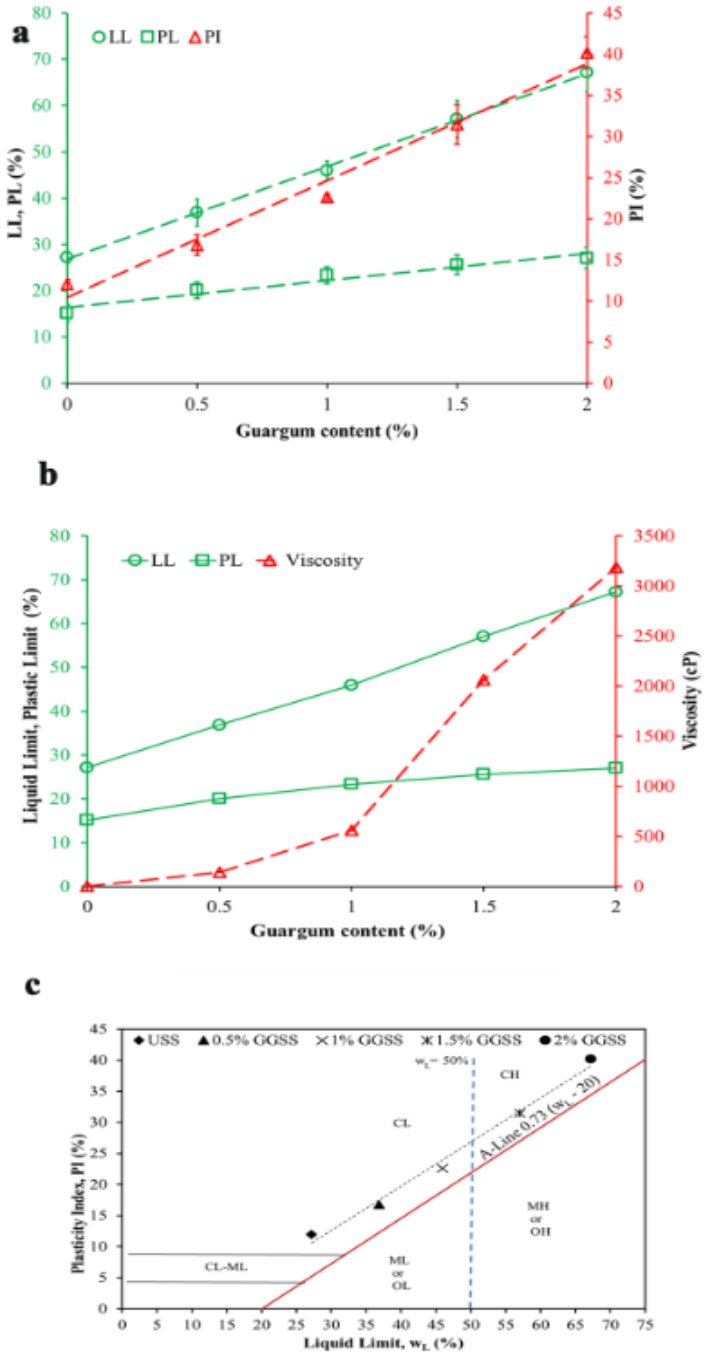
Fig 9. Mechanical process of soil resistance against wind erosion: (a) unstabilized sand (b) sand improved with guar biopolymer

حدود آتربرگ

تأثیر پلی ساکارید گیاهی گوارگام بر ویژگی‌های پلاستیکی مخلوط خاک رس شنی با درجه‌بندی ضعیف در شکل ۱۰ نشان داده شده است. حد روانی(LL) ، حد پلاستیک (PL) و شاخص پلاستیسیته (PI) تمایل به افزایش در ترکیب خاک با گوارگام دارند. در شکل ۱۰a زمانی که غلظت صمغ گوار از ۰/۵ به ۲ درصد افزایش یافت. حد روانی در اختلاط با درصدهای پیش گفته به ترتیب ۱/۴ و ۲/۵ برابر افزایش نشان داد. شاخص خمیری افزایش تدریجی از ۲۰ به ۲۷ درصد یعنی ۱/۳۵ برابر را نشان می‌دهد. با افزایش شاخص خمیری بدلیل خاصیت آب دوستی بایوپلیمر گوارگام بیشتر نمود می‌کند(شکل ۱۰b)(Nugent et al., 2009)

اختلاط خاک‌های مختلف مانند باطله‌های معدنی، سیلت – رس با گوارگام رفتار قابل مقایسه‌ای را نشان داد که منجر به افزایش LLو PL خاک به ترتیب ۴۵ و ۷۹ درصد گردید(R. Chen et al., 2013).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]



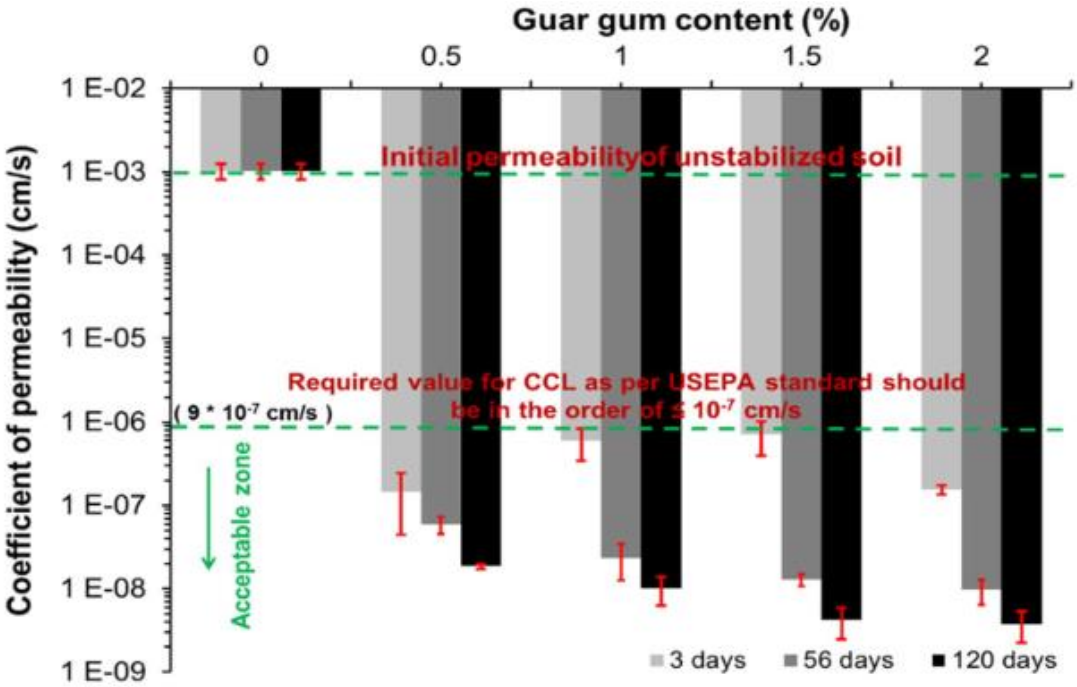
شکل۱۰ . حدود آتربرگ خاک بکر و خاک تثبیت شده با صمغ گوار،(a) خواص خمیری(b) حد روانی و حد خمیری در مقابل ویسکوزیته (c) نمودار شاخص پلاستیسیته خاک بکر و گوارگام(Nugent et al., 2009).

Fig10. Atterberg limits of unstabilized soil and guar gum-stabilized soil: (a) plastic characteristics, (b) liquid limit, plastic limit vs. viscosity and (c) plasticity chart of unstabilized soil and guar gum-stabilized soil

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

هدایت هیدرولیکی

یکی از پارامترهای ضروری برای بسترهای رسی هدایت هیدرولیکی است. در شکل ۱۱ میزان هدایت هیدرولیکی خاک رس با غلظت‌های مختلف بایوپلیمر گوارگام برای مدت زمان ماندگاری۳، ۵۶ و ۱۲۰روز نشان داده شده است. نتایج مطالعات و مقایسه بایوپلیمرهای زیستی از لحاظ میزان هدایت هیدرولیکی آن‌ها با میزان غلظت افزودنی تحت تأثیر قرار می‌گیرند که نتایج این مطالعات در جدول ۴ ارائه شده است.



شکل ۱۱. هدایت هیدرولیکی خاک بکر و خاک تثبیت شده با بایو پلیمر گوار(Chang et al., 2016;Gresta et al., 2014).

Fig 11. Hydraulic conductivity of unstabilized soil and soil stabilized with guar biopolymer

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

جدول ۴. خلاصه‌ای از مطالعات اخیر درخصوص میزان هدایت هیدرولیکی با درصدهای مختلف بایو پلیمرهای زیستی مطرح
Table 4. A summary of recent studies regarding the amount of hydraulic conductivity with different percentages of biological biopolymer

نوع خاک	نوع بایوپلیمر زیستی / میزان غلظت	هدایت هیدرولیکی(cm/s)			مراجع
		شرایط اولیه	تأثیرات با مدت زمان ماندگاری	مقدار کاهش یافته	
مخلوط خاک رس ماسه‌ای با درجه‌بندی ضعیف	گوارگام ۲درصد	$۱/۰۲\times ۱۰^{-۳}$	$۱/۵۶\times ۱۰^{-۷}$ (۳ روز) $۹/۶\times ۱۰^{-۹}$ (۵۶روز) $۳/۸\times ۱۰^{-۹}$ (۱۲۰ روز)	۶۶۰۴ ۸۱/۳۵۸ ۲۷۱/۶۴۵	(Anandha Kumar et al., 2021)
ماسه	کوارگام۲ درصد	$۳/۴\times ۱۰^{-۲}$	$۸/۱۶\times ۱۰^{-۴}$	۴۲	(M. K. Ayeldeen et al., 2016)
سیلت	زانتان گام۲ درصد	$۵/۵۱\times ۱۰^{-۴}$	$۱/۴۹\times ۱۰^{-۶}$	۳۷۶	(Sujatha and Saisree, 2019)
رس سیلتی با تراکم‌پذیری بالا	گوارگام۲ درصد	$۲/۸۷\times ۱۰^{-۳}$	$۲/۵۷\times ۱۰^{-۴}$ (۲۴ساعت)	۱۱	(Sujatha et al., 2021)
ماسه رس دار	زانتان گام۲ درصد	$۱۰/۲۸\times ۱۰^{-۴}$	$۵/۰۷\times ۱۰^{-۸}$ (۲ساعت)	۲۰/۲۷۶	(Dehghan et al.,2019)
خاک رسی با پلاستیسیته کم	زانتان گام۰/۵ درصد	$۴/۹\times ۱۰^{-۴}$	$۳/۹۹\times ۱۰^{-۴}$ (۲۸ روز)	۱/۲	(Wen et al., 2019)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

شن و ماسه ضعیف	سدیم آلژینات۰/۴ درصد	1×10^{-3}	$1/8\times10^{-4}$ (۲۴ ساعت)	۵۶	(Chang et al., 2016b)
شن و ماسه ضعیف	ژلان گام۲ درصد	$2/1\times10^{-4}$	$8/2\times10^{-9}$ (۷ روز)	۲۵/۶۱۰	(Chang Prasidhi, et al., 2015)

کاربردهای بالقوه ژئوتکنیکی خاک عمل‌آوری شده با پلیمرهای زیستی

همان‌طور که نشان داده شد، پلیمرهای زیستی می‌توانند ویژگی‌های مختلف خاک را بهبود بخشند تا بتوانند در کاربردهای مختلف ژئوتکنیکی مفید باشند که برخی از آن‌ها در این بخش از مقاله مورد بحث قرار می‌گیرند.

ثبات پی و خاک زیر شالوده

یک طراحی موفق روسازی حداقل معیارهای سازه‌ای را از نظر مقاومت برشی، انحرافات بیش از حد و کاهش تغییر شکل‌های دائمی برآورده می‌کند، به طوری که از افزودنی‌های خاک برای بهبود خواص مشکل‌ساز خاک و کاهش ضخامت مورد نیاز لایه‌ها استفاده می‌شود. هنگام انتخاب یک تثبیت کننده، پارامترهایی چون نوع خاک، نوع اصلاح خاک، دوام و سطح مقاومت مورد نیاز، هزینه و ملاحظات زیست محیطی. دارای اهمیت بالقوه‌ای هستند. مواد قابل استفاده عمومی برای بهسازی روسازی عبارت‌اند از: سیمان، آهک، مخلوط آهک و سیمان، قیر، مواد دانه‌ای و محصولات شیمیایی. یک بررسی جامع ژئوتکنیکی باید قبل و بعد از تثبیت انجام شود تا چگونگی رفتار یک چسبنده و تغییر در ویژگی خاک مورد ارزیابی قرار گیرد. این آزمایش‌های ژئوتکنیکی شامل CBR، UCS، آزمایش سه محوری بار مکرر، آزمایش ردیابی چرخ، مدول کشش غیرمستقیم، مدول خمشی، آزمایش خیز مویرگی، آزمایش اشباع عمودی، آزمون فرسایش‌پذیری و آزمایش آبشویی(Anandha Kumar et al., 2021) است .

افزایش ظرفیت باربری خاک برای شالوده‌های کم عمق

پی‌های کم عمق بر اساس ظرفیت باربری مجاز طراحی می‌شوند که باید ضریب ایمنی را برای جلوگیری از گسیختگی برشی برآورده کنند. زمانی که بار اعمالی از ظرفیت باربری خاک بیشتر شود، پی در جهات افقی یا عمودی به خاک بستر (پیرامون)نفوذ می‌کند تا بتواند منجر به گسیختگی گردد(Kimmerling, 2002) تعدادی از مطالعات قبلاً در مورد پارامترهای برشی خاک‌های عمل‌آوری شده با پلیمرهای زیستی به ویژه برای افزایش چسبندگی مطالعه شده است که نتیجه مطلوبی در مورد پلیمرهای زیستی به عنوان افزودنی و چسباننده خاک حاصل شده است. در یک مدل عددی توسط PLAXIS، نشان

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

داده شد که مقادیر کم گوار گام ظرفیت باربری خاک را افزایش داده است از طرفی موجب کاهش اثر منفی درجه اشباع و میزان نشست در طول و بعد از اشباع خاک شده است(M. Ayeldeen et al., 2017).

محل‌های دفن زباله

یکی از رایج‌ترین روش‌های دفع و مدیریت پسماند دفن زباله است. سیستم سطحی یک محل دفن زباله باید به اندازه کافی در برابر فرسایش ناشی از باد و آب مقاوم باشد، در صورت وجود آب، پوشش گیاهی را تقویت و معیارهای زیبایی شناختی و اکولوژیکی برآورده می‌گردد. سیستم‌های پوششی مدفن‌های زباله از قرار گرفتن لایه‌های زیرین در معرض محیط‌های آسیب‌رسان مانند یخ زدگی-ذوب، خشک شدن و اشعه ماوراء بنفش جلوگیری می‌کنند. محل‌های دفن زباله شامل یک سیستم آب‌بند نفوذناپذیر برای به تأخیر انداختن هدایت آلودگی ناشی از شیرابه و تراوشات سمی به خاک و سیستم آب زیرزمینی است. نفوذپذیری بستر در یک سیستم دفن زباله نباید از۱۰-۷ سانتی‌متر بر ثانیه تجاوز کند و ضخامت آن باید بیش از ۶۰۰ میلی‌متر باشد (Epa, 1993).بسترهای رسی با هدایت هیدرولیکی پایین در سیستم‌های دفن زباله مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما معایب آن‌ها بیشتر به دلیل تغییر حجم زیاد و ترک خوردگی و همچنین تجدید ناپذیری، استفاده از آن‌ها را محدود می‌کند. ثبات خاک با چسب‌های سازگار با محیط زیست می‌تواند به عنوان جایگزینی ایده‌ال برای لاینرهای رسی در نظر گرفته شود.

خاک‌های عمل‌آوری شده با بایو پلیمرهای زیستی از جمله گوارگام به طور قابل توجهی مقاومت به فرسایش‌پذیری را با حفظ محتوای خاک در رشد پوشش گیاهی بهبود بخشیدند. همچنین جذب آب به دلیل آب دوستی بایوپلیمرگوار، سیستم پوششی را قادر به نگهداشت آب می‌کند. توانایی رشد پوشش گیاهی خاک عمل‌آوری شده با پلیمرهای زیستی در یک مطالعه در مقیاس بزرگ برای یک دوره یک ساله مورد بررسی قرار گرفت. بایوپلیمر تراکم پوشش گیاهی را افزایش داد و جوانه‌های بیشتری در مقایسه با خاک مخلوط نشده با افزودنی زیستی مشاهده شد (Chang et al., 2020). با افزودن صمغ گوار به خاک حدود $۲/۷۲\times۱۰^{۵}$کاهش در هدایت هیدرولیکی ثبت شد، در حالی که مقاومت برشی نیز بیش از ۷۰ درصد افزایش یافت. علاوه بر این، شاخص‌های دوام تحت چرخه‌های مرطوب-خشک در محدوده مجاز قرار گرفتند. همچنین قابل توجه است که خاک عمل‌آوری شده با پلیمرهای زیستی قادر به افزایش ظرفیت تضعیف فلزات سنگین خاک است و باعث می‌شود شیرابه‌های حاوی فلز سنگین مضر کمتری از خاک به آب‌های زیرزمینی منتقل شوند(Anandha Kumar et al., 2021). بنابراین، با پتانسیل زیاد خاک عمل‌آوری شده با افزودنی زیستی در کاربرد مدفن‌های زباله، استفاده بیشتر از بیوپلیمرها در تحقیقات و کاربردهای عملی در آینده مورد انتظار است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

مزیت اقتصادی بایوپلیمر زیستی گوار

گوارگام عملکردی معادل روکش‌های بنتونیتی سنتی را نشان می‌دهد، اما امکان اقتصادی استفاده از آن‌ها در این زمینه نیاز به ارزیابی دارد. مطالعات نشان می‌دهد که ۲ درصد صمغ گوار دارای هدایت هیدرولیکی به میزان $۱۰^{-۹}$سانتیمتر بر ثانیه می‌باشد. که معادل روکش‌های بنتونیتی سنتی است. مزایای اقتصادی استفاده از گوارگام به عنوان یک افزودنی به خاک بکر به عنوان لاینرهای آب‌بند مدنظر می‌باشد مطابق توصیه‌های مرکز بهداشت عمومی و محیط زیست سازمان مهندسی زمین (Central Public Health and Environmental Engineering Organisation)هند و United States Environmental Protection Agency طی جدول ۵ هزینه ساخت یک آستر بنتونیتی به مساحت ۱ مترمربع و ضخامت ۰/۹ متر با لاینر رسی مخلوط با صمغ گوار تحت مقایسه قرار گرفته است.جدول ۵ نشان می‌دهد هزینه لاینر رسی اصلاح شده با ۲ درصد گوار گام ۷۷ درصد کمتر از لاینر بنتونیتی بدست آمده است(Shankar and Muthukumar, 2017).

جدول ۵. مقایسه هزینه تولید بنتونیت و صمغ گوار ۲ درصد(Shankar and Muthukumar, 2017)

Table 5. Comparison of production cost of bentonite and 2% guar gum

تثبیت کننده	غلظت (٪)	وزن مواد لاینر(تن)	وزن مواد تثبیت کننده(تن)	وزن خاک بکر مورد استفاده(تن)	هزینه افزودنی به ازای هر تن(پوند)	هزینه واقعی افزودنی (پوند)
بنتونیت	۱۰۰	۱/۴۰۹۶۶	۱/۴۰۹۶۶	-	۱۳/۶۶۰*	۱۹/۲۵۶
گوارگام	۲	۱/۵۷۱۱۸	۰/۰۳۱۴۲۴	۱/۵۴۰	۱۴۳/۰۰۰ *	۴۴۹۴

*میانگین قیمت‌ها از سایت india mart دریافت شده است

چشم‌اندازها و محدودیت‌های صمغ گوار در بهبود شرایط خاک

مهم‌ترین دلیل کاربرد صمغ گوار در مقاوم‌سازی خاک، کاهش اثرات زیان‌بار زیست محیطی است.علاوه بر این، مشاهده شده است که با استفاده از مقدار کمی بایوپلیمر زیستی می‌توان مقاومت یکسان یا بالاتر را در مقایسه با سیمان به دست آورد. برخلاف برخی دیگر از روش‌های بهسازی خاک، وجود خاک ریز دانه محدودیتی برای استفاده از پلیمرهای زیستی محسوب نمی‌شود، اختلاط بایو پلیمر با خاک از طریق روش‌های مختلفی مانند تزریق، تزریق -اختلاط و پاشش انجام می‌شود(Cheng et al., 2019). علاوه بر این، پلیمرهای زیستی پتانسیل تولید انبوه و همچنین واکنش نسبتاً فوری با ذرات خاک را دارند که آن‌ها را قادر می‌سازد در کاربردهای موقت و سریع استفاده شوند(Leong et al., 2018). علاوه بر این، روش‌ها و الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند به آسانی برای بهینه‌سازی عملکرد پلیمرهای زیستی به‌عنوان یک روش مناسب برای بهبود خاک توسعه و به کار گرفته شوند. تحقیقات بیشتری برای رفع برخی محدودیت‌های استفاده از پلیمرهای زیستی باید انجام شود. ویژگی‌های خاک عمل‌آوری شده با پلیمرهای زیستی می‌تواند تحت شرایط محیطی واقعی مانند pH، دما، چرخه‌های مرطوب-خشک، و همچنین تابش فرابنفش تغییر کند (Castellane et al., 2015)علاوه بر این، دوام بایوپلیمر مخلوط با خاک باید به طور جامع‌تری بررسی شود، به این معنی که هر خاک ممکن است نیاز به ارزیابی ویژه از نظر زیست تخریب‌پذیری و مدت

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

زمان دوام داشته باشد. همچنین، مخلوط بایوپلیمر-خاک ممکن است در زمان خاصی از سال به خوبی کار کند، در حالی که ممکن است کارایی ضعیفی در فصل یا شرایط جوی متفاوت داشته باشد.

نتیجه‌گیری

افزودن بایوپلیمر زیستی گوارگام به عنوان یک تثبیت کننده خاک یکی از مؤثرترین کاربردها برای بهبود رفتار خاک است. در این مطالعه، بررسی فنی نقش صمغ گوار در اصلاح خاک و چگونگی تغییر خواص ژئوتکنیکی خاک انجام شده است. ذرات ماسه خنثی هستند، به طوری که مکانیسم چسبندگی بایوپلیمر از طریق پوشش دادن ذرات خاک و تشکیل پل‌هایی در بین ذرات به دست می‌آید. از سوی دیگر، پولک‌های رسی تمایل دارند به طور مستقیم با ذرات بایوپلیمر از طریق اندرکنش مختلف الکترواستاتیکی مانند پیوند هیدروژنی، پیوندهای یونی و همچنین پیوندهای واندروالسی اندرکنش داشته باشند. این رفتار به دلیل وجود بارها و کاتیون‌های منفی در کانی‌های رسی است. از نکات مهم ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک‌های عمل‌آوری شده با صمغ گوار می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱-آزمایش فشاری محصور نشده معمولاً رایج‌ترین روش آزمایش برای ارزیابی رفتار خاک‌های عمل‌آوری شده با پلیمرهای زیستی در نظر گرفته می‌شود. نتیجه‌گیری کلی این است که گوارگام مقادیر UCS را افزایش می‌دهد با این حال، بهبود UCS می‌تواند بسته به پلیمر زیستی و شرایط آزمایش خاک متغیر باشد.

۲-نتایج گزارش شده از آزمایش‌های برش مستقیم نیز بهبود در مقاومت برشی، به ویژه در افزایش چسبندگی را نشان داده است. اصطکاک داخلی بین ذرات خاک بهبود یافته مقاومت نسبتاً کمتری را در طول مدت زمان ماندگاری را نشان داد.

۳- تحقیقات بیشتری برای ارزیابی دوام چرخه‌ای طولانی مدت بایوپلیمر زیستی گوار تحت بارهای ترافیکی یا لرزه‌ای مورد نیاز است.

۴-نتایج مطالعات نشان داد که تثبیت خاک با صمغ گوار باعث کاهش $۲/۷۲\times۱۰^{۵}$ برابر در نفوذپذیری و افزایش ۷۵ درصدی در استحکام شد که این موضوع استفاده از این پلیمر زیستی را به‌عنوان لاینر نفوذناپذیر در مدفن‌های زباله کاملاً مشهود می‌نمایاند.

مراجع

Abdullah, H. H., Shahin, M. A., & Walske, M. L. 2020. Review of fly-ash-based geopolymers for soil stabilisation with special reference to clay. Geosciences, 10,7, 249.

Achal, V., & Mukherjee, A. 2015. A review of microbial precipitation for sustainable construction. Construction and Building Materials, 93, 1224–1235.

Acharya, R., Pedarla, A., Bheemasetti, T. V, & Puppala, A. J. 2017. Assessment of guar gum biopolymer treatment toward mitigation of desiccation cracking on slopes built with expansive soils. Transportation Research Record, 2657,1, 78–88.

Afshar, A., Jahandari, S., Rasekh, H., Shariati, M., Afshar, A., & Shokrgozar, A. 2020. Corrosion resistance evaluation of rebars with various primers and coatings in concrete modified with different additives. Construction and Building Materials, 262, 120034.

Anandha Kumar, S., Sujatha, E. R., Pugazhendi, A., & Jamal, M. T. 2021. Guar gum-stabilized soil: A clean, sustainable and economic alternative liner material for landfills. Clean Technologies and Environmental

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

Policy, 1–19.

Ayeldeen, M. K., Negm, A. M., & El Sawwaf, M. A. 2016. Evaluating the physical characteristics of biopolymer/soil mixtures. Arabian Journal of Geosciences, 9, 1–13.

Ayeldeen, M., Negm, A., El-Sawwaf, M., & Kitazume, M. 2017. Enhancing mechanical behaviors of collapsible soil using two biopolymers. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 9,2, 329–339.

Ayeldeen, M., Negm, A., El Sawwaf, M., & Gädda, T. 2018. Laboratory study of using biopolymer to reduce wind erosion. International Journal of Geotechnical Engineering, 12,3, 228–240.

Bahmani, M., Fatehi, H., Noorzad, A., & Hamedi, J. 2019. Biological soil improvement using new environmental bacteria isolated from northern Iran. Environmental Geotechnics, 9,8, 534–546.

Bauer, V. 2018. Global Cement Production, Responsible for 8% of the World's CO2 Emissions. Global Cement Production.

Baveye, P., Vandevivere, P., Hoyle, B. L., DeLeo, P. C., & de Lozada, D. S. 1998. Environmental impact and mechanisms of the biological clogging of saturated soils and aquifer materials. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 28,2, 123–191.

Biju, M. S., & Arnepalli, D. N. 2020. Effect of biopolymers on permeability of sand-bentonite mixtures. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 12,5, 1093–1102.

Bonal, N. S., Prasad, A., & Verma, A. K. 2020. Use of biopolymers to enhance the geotechnical properties of coal mine overburden waste. Géotechnique Letters, 10,2, 179–185.

Castellane, T. C. L., Persona, M. R., Campanharo, J. C., & de Macedo Lemos, E. G. 2015. Production of exopolysaccharide from rhizobia with potential biotechnological and bioremediation applications. International Journal of Biological Macromolecules, 74, 515–522.

Celauro, C., Corriere, F., Guerrieri, M., & Casto, B. Lo. 2015. Environmentally appraising different pavement and construction scenarios: A comparative analysis for a typical local road. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 34, 41–51.

Chang, I., Im, J., & Cho, G.-C. 2016a. An environmentally-friendly geotechnical approach for soil erosion reduction using microbial biopolymers. In Geo-Chicago 2016. 17–24.

Chang, I., Im, J., & Cho, G.-C. 2016b. Geotechnical engineering behaviors of gellan gum biopolymer treated sand. Canadian Geotechnical Journal, 53,10, 1658–1670.

Chang, I., Im, J., & Cho, G.-C. 2016c. Introduction of microbial biopolymers in soil treatment for future environmentally-friendly and sustainable geotechnical engineering. Sustainability, 8,3, 251.

Chang, I., Im, J., Prasidhi, A. K., & Cho, G.-C. 2015. Effects of Xanthan gum biopolymer on soil strengthening. Construction and Building Materials, 74, 65–72.

Chang, I., Lee, M., & Cho, G.-C. 2019. Global CO2 emission-related geotechnical engineering hazards and the mission for sustainable geotechnical engineering. Energies, 12,13, 2567.

Chang, I., Lee, M., Tran, A. T. P., Lee, S., Kwon, Y.-M., Im, J., & Cho, G.-C. 2020. Review on biopolymer-based soil treatment (BPST) technology in geotechnical engineering practices. Transportation Geotechnics, 24, 100385.

Chang, I., Prasidhi, A. K., Im, J., & Cho, G.-C. 2015. Soil strengthening using thermo-gelation biopolymers. Construction and Building Materials, 77, 430–438.

Chen, C., Wu, L., & Harbottle, M. 2020. Exploring the effect of biopolymers in near-surface soils using xanthan gum–modified sand under shear. Canadian Geotechnical Journal, 57,8, 1109–1118.

Chen, C., Wu, L., Perdjon, M., Huang, X., & Peng, Y. 2019. The drying effect on xanthan gum biopolymer treated sandy soil shear strength. Construction and Building Materials, 197, 271–279.

Chen, R., Zhang, L., & Budhu, M. 2013. Biopolymer stabilization of mine tailings. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 139,10, 1802–1807.

Cheng, L., Shahin, M. A., & Chu, J. 2019. Soil bio-cementation using a new one-phase low-pH injection

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

method. Acta Geotechnica, 14, 615–626.

Choi, S.-G., Chang, I., Lee, M., Lee, J.-H., Han, J.-T., & Kwon, T.-H. 2020. Review on geotechnical engineering properties of sands treated by microbially induced calcium carbonate precipitation (MICP) and biopolymers. Construction and Building Materials, 246, 118415.

Chu, J., Ivanov, V., Stabnikov, V., & Li, B. 2014. Microbial method for construction of an aquaculture pond in sand. Bio-and Chemo-Mechanical Processes in Geotechnical Engineering: Géotechnique Symposium in Print 2013, 215–219.

Cola, S., Schenato, L., Brezzi, L., Tchamaleu Pangop, F. C., Palmieri, L., & Bisson, A. 2019. Composite anchors for slope stabilisation: Monitoring of their in-situ behaviour with optical fibre. Geosciences, 9(5), 240.

Correia, A. G., Winter, M. G., & Puppala, A. J. 2016. A review of sustainable approaches in transport infrastructure geotechnics. Transportation Geotechnics, 7, 21–28.

Dehghan, H., Tabarsa, A., Latifi, N., & Bagheri, Y. 2019. Use of xanthan and guar gums in soil strengthening. Clean Technologies and Environmental Policy, 21, 155–165.

Dejong, J. T., Soga, K., Kavazanjian, E., Burns, S., Van Paassen, L. A., Al Qabany, A., Aydilek, A., Bang, S. S., Burbank, M., & Caslake, L. F. 2014. Biogeochemical processes and geotechnical applications: progress, opportunities and challenges. Bio-and Chemo-Mechanical Processes in Geotechnical Engineering: Géotechnique Symposium in Print 2013, 143–157.

Dhami, N. K., Reddy, M. S., & Mukherjee, A. 2016. Significant indicators for biomineralisation in sand of varying grain sizes. Construction and Building Materials, 104, 198–207.

Dunsmore, B. C., Bass, C. J., & Lappin-Scott, H. M. 2004. A novel approach to investigate biofilm accumulation and bacterial transport in porous matrices. Environmental Microbiology, 6,2, 183–187.

Epa, U. 1993. Solid waste disposal facility criteria. EPA: Washington, DC, USA.

Etim, R. K., Eberemu, A. O., & Osinubi, K. J. 2017. Stabilization of black cotton soil with lime and iron ore tailings admixture. Transportation Geotechnics, 10, 85–95.

Fatehi, H., Abtahi, S. M., Hashemolhosseini, H., & Hejazi, S. M. 2018. A novel study on using protein based biopolymers in soil strengthening. Construction and Building Materials, 167, 813–821.

Ghasemzadeh, H., Mehrpajouh, A., & Pishvaei, M. 2021. Laboratory analyses of Kaolinite stabilized by vinyl polymers with different monomer types. Engineering Geology, 280, 105938.

Ghasemzadeh, H., & Modiri, F. 2020. Application of novel Persian gum hydrocolloid in soil stabilization. Carbohydrate Polymers, 246, 116639.

Gilbert, R. B., Najjar, S. S., & Shields, M. K. 2005. Importance of residual strengths in factors of safety and reliability. In Geosynthetics Research and Development in Progress. 1–6.

Girod, B., van Vuuren, D. P., & de Vries, B. 2013. Influence of travel behavior on global CO2 emissions. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 50, 183–197.

Gresta, F., De Luca, A. I., Strano, A., Falcone, G., Santonoceto, C., Anastasi, U., & Gulisano, G. 2014. Economic and environmental sustainability analysis of guar (Cyamopsis tetragonoloba L.) farming process in a Mediterranean area: two case studies. Italian Journal of Agronomy, 9,1, 20–24.

Ham, S.-M., Chang, I., Noh, D.-H., Kwon, T.-H., & Muhunthan, B. 2018. Improvement of surface erosion resistance of sand by microbial biopolymer formation. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 144(7), 06018004.

Hamza, M., Nie, Z., Aziz, M., Ijaz, N., Fang, C., Ghani, M. U., Ijaz, Z., Noshin, S., & Salman, M. 2023. Geotechnical properties of problematic expansive subgrade stabilized with guar gum biopolymer. Clean Technologies and Environmental Policy, 1–21.

He, J., Chu, J., & Ivanov, V. 2014. Mitigation of liquefaction of saturated sand using biogas. Bio-and Chemo-Mechanical Processes in Geotechnical Engineering: Géotechnique Symposium in Print 2013, 116–124.

Jahandari, S., Saberian, M., Tao, Z., Mojtahedi, S. F., Li, J., Ghasemi, M., Rezvani, S. S., & Li, W. 2019. Effects

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

of saturation degrees, freezing-thawing, and curing on geotechnical properties of lime and lime-cement concretes. Cold Regions Science and Technology, 160, 242–251.

Kabir, E., Kaur, R., Lee, J., Kim, K.-H., & Kwon, E. E. 2020. Prospects of biopolymer technology as an alternative option for non-degradable plastics and sustainable management of plastic wastes. Journal of Cleaner Production, 258, 120536.

Kavazanjian Jr, E., Iglesias, E., & Karatas, I. 2009. Biopolymer soil stabilization for wind erosion control. Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Volumes 1, 2, 3 and 4), 881–884.

Khatami, H., & O'Kelly, B. C. 2018. Prevention of bleeding of particulate grouts using biopolymers. Construction and Building Materials, 192, 202–209.

Kimmerling, R. 2002. Geotechnical engineering circular No. 6 shallow foundations. United States. Federal Highway Administration. Office of Bridge Technology.

Kwon, T.-H., & Ajo-Franklin, J. B. 2013. High-frequency seismic response during permeability reduction due to biopolymer clogging in unconsolidated porous media. Geophysics, 78,6, EN117–EN127.

La Rosa, A. D. 2016. Life cycle assessment of biopolymers. In Biopolymers and Biotech Admixtures for Eco-Efficient Construction Materials (pp. 57–78). Elsevier.

Latifi, N., Horpibulsuk, S., Meehan, C. L., Abd Majid, M. Z., Tahir, M. M., & Mohamad, E. T. 2017. Improvement of problematic soils with biopolymer—an environmentally friendly soil stabilizer. Journal of Materials in Civil Engineering, 29(2), 04016204.

Lee, S., Chang, I., Chung, M.-K., Kim, Y., & Kee, J. 2017. Geotechnical shear behavior of xanthan gum biopolymer treated sand from direct shear testing. Geomech. Eng, 12,5, 831–847.

Leong, H. Y., Ong, D. E. L., Sanjayan, J. G., Nazari, A., & Kueh, S. M. 2018. Effects of significant variables on compressive strength of soil-fly ash geopolymer: variable analytical approach based on neural networks and genetic programming. Journal of Materials in Civil Engineering, 30,7, 04018129.

Liu, S., Wang, R., Yu, J., Peng, X., Cai, Y., & Tu, B. 2020. Effectiveness of the anti-erosion of an MICP coating on the surfaces of ancient clay roof tiles. Construction and Building Materials, 243, 118202.

Liu, X., Wang, C., Wang, A., Qu, J., Wen, Y., & Wei, B. 2019. Application of cellulose and cellulose nanofibers in oil exploration. Paper and Biomaterials, 4,3, 69.

Matsubara, H. 2021. Stabilisation of weathered limestone surfaces using microbially enhanced calcium carbonate deposition. Engineering Geology, 284, 106044.

Mehdizadeh, A., Evans, R., Arulrajah, A., Disfani, M. M., & Ong, D. E. L. 2017. Mechanical consequences of suffusion on undrained behaviour of a gap-graded cohesionless soil-an experimental approach. Geotechnical Testing Journal, 40,6, 1026–1042.

Morgan, R. P. C. 2009. Soil erosion and conservation. John Wiley & Sons.

Morgan, R. P. C., & Nearing, M. 2016. Handbook of erosion modelling. John Wiley & Sons.

Mujah, D., Shahin, M. A., & Cheng, L. 2017. State-of-the-art review of biocementation by microbially induced calcite precipitation (MICP) for soil stabilization. Geomicrobiology Journal, 34,6, 524–537.

Némethy, G., & Scheraga, H. A. 1962. Structure of water and hydrophobic bonding in proteins. I. A model for the thermodynamic properties of liquid water. The Journal of Chemical Physics, 36,12, 3382–3400.

Ngu, L., Song, J. W., Hashim, S. S., & Ong, D. E. 2019. Lab-scale atmospheric CO2 absorption for calcium carbonate precipitation in sand. Greenhouse Gases: Science and Technology, 9,3, 519–528.

Nicholson, P. G. 2014. Soil improvement and ground modification methods. Butterworth-Heinemann.

Noh, D., Ajo-Franklin, J. B., Kwon, T., & Muhunthan, B. 2016. P and S wave responses of bacterial biopolymer formation in unconsolidated porous media. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 121,4, 1158–1177.

Nugent, R. A., Zhang, G., & Gambrell, R. P. 2009. Effect of exopolymers on the liquid limit of clays and its engineering implications. Transportation Research Record, 2101,1, 34–43.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

Omoregie, A. I., Ngu, L. H., Ong, D. E. L., & Nissom, P. M. 2019. Low-cost cultivation of Sporosarcina pasteurii strain in food-grade yeast extract medium for microbially induced carbonate precipitation (MICP) application. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 17, 247–255.

Omoregie, A. I., Palombo, E. A., Ong, D. E. L., & Nissom, P. M. 2019. Biocementation of sand by Sporosarcina pasteurii strain and technical-grade cementation reagents through surface percolation treatment method. Construction and Building Materials, 228, 116828.

Omoregie, A. I., Palombo, E. A., Ong, D. E. L., & Nissom, P. M. 2020. A feasible scale-up production of Sporosarcina pasteurii using custom-built stirred tank reactor for in-situ soil biocementation. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 24, 101544.

Plank, J. 2005. Applications of biopolymers in construction engineering. Biopolymers Online: Biology• Chemistry• Biotechnology• Applications, 10.

Rahgozar, M. A., Saberian, M., & Li, J. 2018. Soil stabilization with non-conventional eco-friendly agricultural waste materials: An experimental study. Transportation Geotechnics, 14, 52–60.

Rebata-Landa, V., & Santamarina, J. C. 2012. Mechanical effects of biogenic nitrogen gas bubbles in soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 138,2, 128–137.

Saberian, M., Li, J., Boroujeni, M., Law, D., & Li, C.-Q. 2020. Application of demolition wastes mixed with crushed glass and crumb rubber in pavement base/subbase. Resources, Conservation and Recycling, 156, 104722.

Saberian, M., Li, J., Nguyen, B. T., & Boroujeni, M. 2020. Experimental and analytical study of dynamic properties of UGM materials containing waste rubber. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 130, 105978.

Sadeghian, F., Jahandari, S., Haddad, A., Rasekh, H., & Li, J. 2022. Effects of variations of voltage and pH value on the shear strength of soil and durability of different electrodes and piles during electrokinetic phenomenon. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 14,2, 625–636.

Scown, C. D., Gokhale, A. A., Willems, P. A., Horvath, A., & McKone, T. E. 2014. Role of lignin in reducing life-cycle carbon emissions, water use, and cost for United States cellulosic biofuels. Environmental Science & Technology, 48,15, 8446–8455.

Shankar, M. U., & Muthukumar, M. 2017. Comprehensive review of geosynthetic clay liner and compacted clay liner. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 263,3, 032026.

Sharma, M., Satyam, N., & Reddy, K. R. 2021. Effect of freeze-thaw cycles on engineering properties of biocemented sand under different treatment conditions. Engineering Geology, 284, 106022.

Soldo, A., & Miletić, M. 2019. Study on shear strength of xanthan gum-amended soil. Sustainability, 11,21, 6142.

Soldo, A., Miletić, M., & Auad, M. L. 2020. Biopolymers as a sustainable solution for the enhancement of soil mechanical properties. Scientific Reports, 10,1, 267.

Southward, C. R. 1985. Manufacture and applications and edible casein products. I. Manufacture and properties. New Zealand Journal of Dairy Science and Technology.

Sujatha, E. R., Atchaya, S., Sivasaran, A., & Keerdthe, R. S. 2021. Enhancing the geotechnical properties of soil using xanthan gum—An eco-friendly alternative to traditional stabilizers. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 80, 1157–1167.

Sujatha, E. R., & Saisree, S. 2019. Geotechnical behaviour of guar gum-treated soil. Soils and Foundations, 59(6), 2155–2166.

Sujatha, E. R., Sivaraman, S., & Subramani, A. K. 2020. Impact of hydration and gelling properties of guar gum on the mechanism of soil modification. Arabian Journal of Geosciences, 13, 1–12.

Tang, C.-S., Yin, L., Jiang, N., Zhu, C., Zeng, H., Li, H., & Shi, B. 2020. Factors affecting the performance of microbial-induced carbonate precipitation (MICP) treated soil: a review. Environmental Earth Sciences, 79, 1–23.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

Toghroli, A., Mehrabi, P., Shariati, M., Trung, N. T., Jahandari, S., & Rasekh, H. 2020. Evaluating the use of recycled concrete aggregate and pozzolanic additives in fiber-reinforced pervious concrete with industrial and recycled fibers. Construction and Building Materials, 252, 118997.

Tombácz, E., & Szekeres, M. 2006. Surface charge heterogeneity of kaolinite in aqueous suspension in comparison with montmorillonite. Applied Clay Science, 34,1–4, 105–124.

Uwasu, M., Hara, K., & Yabar, H. 2014. World cement production and environmental implications. Environmental Development, 10, 36–47.

Wang, T. 2019. Cement production globally and in the us from 2010 to 2018 (in million metric tons). URL: Https://Www. Statista. Com/Statistics/219343/Cement-Production-Worldwide/(Visited: 2019/08/03).

Wen, K., Li, Y., Huang, W., Armwood, C., Amini, F., & Li, L. 2019. Mechanical behaviors of hydrogel-impregnated sand. Construction and Building Materials, 207, 174–180.

Zhang, J., Han, Y., Wang, X., & Bian, H. 2021. Experimental investigation of the dynamic characteristics of treated silt using lignin: Case study of Yellow River Flood Basin. International Journal of Geomechanics, 21(5), 04021056.

Zhang, R., Long, M., & Zheng, J. 2019. Comparison of environmental impacts of two alternative stabilization techniques on expansive soil slopes. Advances in Civil Engineering, 2019, 1–13.

Zhang, Y., Zhao, Q., Liu, C., & Zhou, M. 2016. Properties comparison of mortars with welan gum or cellulose ether. Construction and Building Materials, 102, 648–653.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

Journal of Engineering Geology, Vol. 16, No. 4, Winter 2023

Review article: Investigating guar gum biopolymer as a green additive for soil improvement in geotechnical applications

Hossin Sarbaz[1], Ali Neysari Tabrizi *[2]

1. Assistant Professor, Civil Engineering, Faculty of Technical Engineering, North Tehran Azad University, Tehran, Iran

2. Ph.D. student, Civil Engineering, Faculty of Technical Engineering, North Tehran Azad University, Tehran, Iran

Received: 31 Dec 2022 Accepted: 09 Mar 2023

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

Abstract

In recent years, the use of environmentally friendly microorganisms and biopolymers in geotechnical activities, especially in soil improvement, has received much attention. This is in order to reduce the harmful environmental effects caused by the use of traditional and industrial materials, including cement. Therefore, it seems to be necessary to study the effects of environmentally friendly biopolymers from different points of view, including environmental issues, soil erosion and the factors that influence the geotechnical parameters of the different deposits. The purpose of this article is to review the studies carried out on the use of guar gum. As a green additive from an environmental point of view and the factors that influence the mechanical parameters of soils treated with this biopolymer. The advantages and disadvantages of guar gum from an environmental point of view, as well as the effects of this additive on different soils, are the subject of discussion. Geotechnical parameters such as the unconfined compressive strength, the shear strength, the erosion resistance and the durability of the soils treated with guar gum will be evaluated. The influence of the guar gum parameters in relation to the concentration of the biopolymer guar gum, the moisture conditions, the temperature and the processing time will then be discussed. Finally, the potential opportunities and challenges for the use of guar gum in the geotechnical field will be presented.

Keywords: Treated soil, environmental effects, geotechnical properties, interaction soil and biological biopolymer, Guar gum.

Introduction

Improvement of ground conditions can be defined as the deliberate enhancement of the geotechnical properties of the ground to achieve optimum performance when faced with a challenge, a soil and foundation professional will always seek to find the most effective and economical approach to soil improvement, taking into account the types of substrate layers, depth of processing, locations required

*Corresponding author: ant1357@ gmail.com
DOI: http://doi.org/10.22034/JEG.2023.16.4.1019271

for processing, optimum level of processing, availability of materials and skilled personnel, development environment. Biological amendment is defined as the addition of additives to the soil to alter its properties to meet design criteria. Many materials are now used to improve soil. In terms of additives, lime and cement are among the most popular options. Bitumen, chemical compounds and geotextiles are other materials used by various methods such as mixing materials and injecting chemicals into the soil. This paper attempts to update and review studies conducted with biopolymers from a geotechnical perspective, including evaluation of unconfined compressive strength, shear strength, erosion resistance, Atterberg limits, compaction characteristics and pavement stabilization. Various parameters influencing the improvement of the geotechnical performance of the soil under optimal conditions for the guar gum biopolymer were evaluated. Evaluation of the environmental effects of guar gum in geotechnical engineering.In recent years, fundamental policies have been put in place to reduce harmful environmental impacts. For example, the European Commission has set a target of reducing greenhouse gas emissions by 85% from 1990 levels by 2050. Therefore, with increasing concern about the environmental impact of our planet, industries are turning to the use of soil improvement methods using environmentally friendly materials. Some techniques, such as Life Cycle Assessment (LCA), have been developed to systematically analyze the environmental performance of processes or materials. LCA examines the costs and environmental impacts of the entire process from raw material extraction to final disposal. As an example of a geotechnical activity, the life cycle of a road construction project can be summarized in the following five parts:

1- The manufacturing processes of all materials used in the project, including extraction, transfer of raw materials from the source to the factory, processing into the final product and transport of materials to the construction site.

2- The construction phase is a phase that includes all the executive processes required to build a road. This includes all components that produce greenhouse gases, even the fuel consumed by vehicles that experience delays in the project.

3- Use phase, where most of the factors are related to energy and air pollution caused by road vehicles. Washing and run-off resulting in water pollution is an important parameter to be considered in the use phase.

4- Repair and Maintenance and Reconstruction (M&R) is a very important part of maintaining the performance of a road during its service life. Roadworks are carried out to repair any damage to the road and the traffic caused by the delay in the repair time. Technically, this delay includes the production and transport of new materials to the site and the destruction and disposal of waste materials.

5- The end-of-life stage includes the method by which discarded materials should be used, that is, recycling or disposal of materials into the environment. Activities are carried out during demolition and transport, as well as washing in the case of material disposal at the end of the project.

Biopolymer-soil interaction

How a biopolymer interacts with different types of soil has always been considered an important factor, as molecular studies lead to a better understanding of the behavior of soils treated with biopolymers. Depending on the type of soil, the adhesion mechanism of the biopolymers differs from one soil to another. Figure 3 shows a schematic diagram of the biopolymer-soil interaction.

Geotechnical characteristics of soils treated with guar gum biopolymers

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

The unconfined compressive strength (UCS)

Unconfined compressive strength (UCS) is the most commonly used test to evaluate the role of biopolymers in soil remediation . As the way biopolymers interact with different types of soil can be quite different, Figure 4 shows the effect of guar gum concentration on UCS. As shown in the figure, soils with high concentrations have high compressive strength.

Shear strength

Acaria et al. (2017) stabilized two types of swelling soil (one from the slopes of the Jopol Lake Dam and the other from the slopes of the Grapevine Lake Dam located in the state of Texas) using guar gum biopolymer. Figures 5 and 6 show the changes in the effective adhesion and the angle of internal friction of each soil with different weight percentages of guar gum biopolymer. As can be seen, the effective adhesion of Grapevine Lake soil increases with a large slope up to the concentration of 0.5% biopolymer.

Resistance to erosion phenomenon

Through the interaction of fluids (both water and wind) and soil, soil erosion occurs when the the tensile force of the fluids overcomes the shear resistance and gravity of the soil, soil erosion occurs. Biological mixing using biopolymers plays an important role in reducing soil erosion by blocking water paths in pore spaces.

Atterberg Limits

The effect of guar gum plant polysaccharide on the plastic properties of a poorly graded sandy clay mixture is shown in Figure 10. The liquid limit (LL), plastic limit (PL) and plasticity index (PI) tend to increase with GG in the soil composition. In Figure 10a, as the concentration of guar gum increased from 0.5 to 2%. The liquid limit showed an increase of 1.4 and 2.5 times respectively when mixed with the above percentages. The paste index showed a gradual increase from 20 to 27 percent, i.e. 1.4 times. As the paste index increases, it becomes more pronounced due to the hydrophilic property of the guar gum biopolymer.

Hydrollic conductivity

One of the essential parameters for clay beds is hydraulic conductivity. Figure 11 shows the hydraulic conductivity of clay with different concentrations of guar gum biopolymer for the shelf life of 3, 56 and 120 days.

Potential geotechnical applications of soil treated with biopolymers

As shown, biopolymers can improve various soil properties to be useful in various geotechnical applications, some of which are discussed in this section of the paper.

-Stability of the foundation and soil under the foundation-

-Increasing the bearing capacity of soil for shallow foundations-

-Landfills

Economic advantage of guar biopolymer

The economic benefits of using GG as an additive to virgin soil as a waterproof liner are considered according to the recommendations of the Center for Public Health and Environment of Earth Engineering Organization (CPHEEO) - India and USEPA in Table 5. The cost of constructing a bentonite liner of 1 square meter area and 0.9 meter thickness has been compared with a clay liner mixed with guar gum.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]

Conclusion

The addition of guar gum biopolymer as a soil stabilizer is one of the most effective applications to improve soil behavior. In this study, a technical investigation of the role of guar gum in soil modification and how to modify the geotechnical properties of the soil has been carried out. The sand particles are neutral, so the adhesion mechanism of the biopolymer is achieved by covering the soil particles and forming bridges between the particles. On the other hand, clay flakes tend to interact directly with the biopolymer particles through various electrostatic interactions such as hydrogen bonds, ionic bonds and van der Waals bonds. This behavior is due to the presence of negative charges and cations in clay minerals.

Among the important points of the geotechnical characteristics of soils treated with guar gum, the following can be mentioned

1- The unconfined compaction test is usually considered as the most common test method to evaluate the behavior of soils treated with biopolymers. The general conclusion is that guar gum increases UCS values, but the UCS improvement can vary depending on the biopolymer and soil test conditions.

2- The reported results of direct cutting tests also show an improvement in shear resistance, particularly in increasing adhesion. The internal friction between the improved soil particles showed a relatively lower resistance during the shelf life.

3- Further research is needed to evaluate the long-term cyclic durability of guar biopolymer under traffic or seismic loads.

4- The results of the studies showed that soil stabilization with guar gum resulted in a 2.72x105 decrease in permeability and a 75% increase in strength, which clearly demonstrates the use of this biopolymer as an impermeable liner in landfills.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.16.4.1019271]