بررسی تأثیر بنتونیت و سریشم بر پارامترهای مقاومتی خاک‌های مولد ریزگرد در ناحیهٔ ورامین

شیوا اعظمی[۱*]، سید محمود فاطمی عقدا[۱]، مهدی تلخابلو[۱]، سید بدرالدین احمدی[۲]؛

۱. دانشگاه خوارزمی، دانشکدهٔ علوم زمین

۲. دانشگاه تربیت مدرس، دانشکدهٔ علوم زمین

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۶/۰۵ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۲۳

امروزه تغییرات آب و هوایی به عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های جهان مطرح می‌باشد، یکی از انواع آلاینده‌های موجود در هوا ریزگردها و گرد وغبارهای ناشی از وزش باد است، که ریزگردها و معضلات مربوط به آن، هر ساله مشکلات زیادی را در بخش‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و سلامت جامعه و حتی مشکلات سیاسی در جهان و از جمله، ایران ایجاد می‌کند؛ اما از آن‌جا که معضل پدیدهٔ ریزگرد در آینده هم وجود خواهد داشت، لازم است جهت مهار و کنترل آن راه‌کارهای علمی ارائه شود. یکی از راه‌های کاهش به وجود آمدن این پدیده، تثبیت خاک در مناطق مستعد وقوع این پدیده است. در این تحقیق میزان تأثیر بنتونیت و سریشم در تثبیت خاک‌های رسی مستعد به وجود آورندهٔ گرد و غبار بررسی شد و منطقهٔ ورامین در نزدیک تهران که یک منطقه گرم و خشک می‌باشد و متشکل از خاک‌های رسی ریزدانه است به عنوان مطالعهٔ موردی انتخاب شد. در این مطالعه برای تثبیت خاک‌های مستعد ریزگرد از بنتونیت و سریشم در درصدهای وزنی ۱، ۳ و ۵ درصد استفاده شده است. نمونه‌ها پس از عمل‌آوری ۷ روزه تحت آزمایش‌های حدود اتربرگ، مقاومت تک محوری و برش مستقیم قرار گرفته و تأثیر مواد تثبیت‌کننده در پارامترهای اصطکاک داخلی و چسبندگی، حد خمیری، حد روانی و شاخص خمیری و میزان مقاومت برشی آن‌ها بررسی شده است. نتایج برش مستقیم روی نمونه‌های شاهد، نتایج ۶۱/۵۹ کیلوپاسکال برای چسبندگی و ۱۵/۱۴ درجه برای زاویهٔ اصطکاک داخلی را نشان می‌دهد. زمانی که سه درصد وزنی بنتونیت اضافه می‌شود این مقدار به ترتیب ۷۶/۵۳ کیلو پاسکال برای چسبندگی و ۳۰/۹۸ درجه برای زاویهٔ اصطکاک داخلی افزایش می‌یابد. زمانی که از سریشم با یک درصد وزنی به‌عنوان تثبیت‌کننده استفاده شود، پارامترهای چسبندگی و زاویهٔ اصطکاک داخلی به ترتیب ۵۳/۵۷ کیلوپاسکال و ۲۹/۵۷ درجه تغییر می‌کند. بر اساس نتایج به دست آمده از تحقیق سه درصد وزنی بنتونیت و یک درصد وزنی سریشم به عنوان درصد وزنی بهینه تعیین و پیشنهاد شد.

واژه‌های کلیدی: ریزگرد، بنتونیت، سریشم، اثرات زیست‌محیطی، ورامین

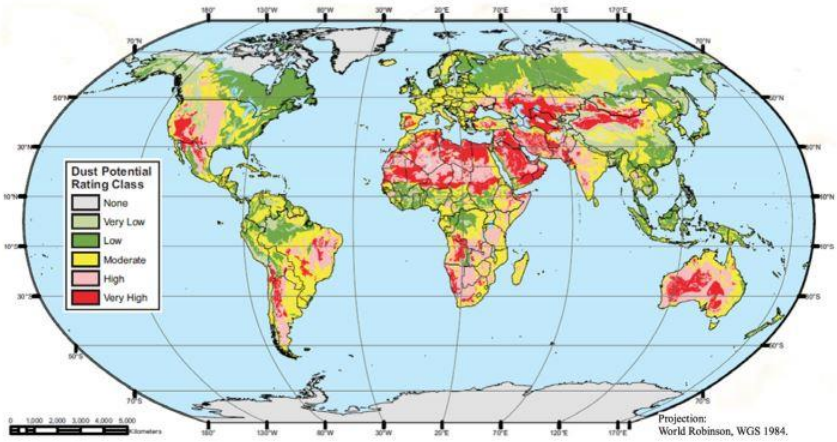
*نویسندهٔ مسئول shiva.azaami@gmail.com

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

مقدمه

امروزه گرد و غبار جز مسائل و مشکلات جدی زیست‌محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مطرح می‌شود که بر روی کیفیت و آلودگی هوا، سلامت بشر، حاصلخیزی خاک، قدرت دید، اقتصاد و بسیاری از جنبه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی جامعه تأثیرگذار است. گرد و غبار یا ریزگرد به توده‌ای از ذرات جامد ریز غبار و گاه دود گفته می‌شود که در جو پخش شده و دید افقی را محدود می‌کند [۱]. همچنین طبق تعریف سازمان حفاظت محیط زیست گرد و غبار یا ریزگرد به ذرات بسیار کوچک و سبک سیلتی و رسی یا ماسه‌ای اطلاق می‌شود که در اثر فرسایش بادی و بیابان‌زایی توسط باد تا مسافت بسیار طولانی جابه‌جا و انتقال می‌یابد [۲]. پدیده‌های گرد و غبار رخدادهای طبیعی هستند که در مناطق خشک و نیمه‌خشک و به ویژه در عرض‌های جنب حاره‌ای رخ می‌دهد [۳]. به طور کلی مناطقی که در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان و همجوار با بیابان‌های وسیع و با بارش سالیانه کم‌تر از۲۵۰–۲۰۰ میلی‌متر قرار دارند پیوسته از سیستم‌های گرد و غبار منطقه‌ای و فرا منطقه‌ای متأثر می‌شوند. به طور مثال، بیابان صحرایی ساهارا در آفریقا با ایجاد سالانه ۷۰۰ میلیون تن گرد و غبار در اتمسفر، بزرگ‌ترین منبع تولید کنندهٔ گرد و غبار خاکی در جهان است [٤]. همچنین در سطح خاورمیانه، فراوانی پدیدهٔ گرد و غبار در برخی از کشورها از جمله عراق، اردن، سوریه، شبه جزیره عربستان، کویت و ایران به اندازه‌ای قابل ملاحظه می‌باشد که این پدیده را به طور ویژه مورد بررسی قرار داده‌اند. با این‌که کانون‌های عمدهٔ گرد و غبار در این ناحیه، مناطق کوچک، مجزا، ناپیوسته و به لحاظ وسعت، ناحیهٔ کوچکی از خاورمیانه را تشکیل می‌دهند، اما پتانسیل بسیار بالایی به لحاظ تولید گرد و غبار دارند [۵]. در ایران با توجه به قرار گرفتن ۲۵ درصد از مساحت آن بر روی کمربند خشک و بیابانی جهان، تحت سیطرهٔ طوفان‌های گرد و غباری است. که در دو ناحیهٔ غربی و جنوب شرقی مورد هجوم ریزگردها قرار می‌گیرد، که در ناحیهٔ غربی مهم‌ترین منابع گرد و غباری وارد شده از صحرای سوریه، صحرای شمال شبه‌جزیرهٔ عربستان و بیابان‌های جنوب عراق می‌باشد. تعداد روزهای توأم با طوفان‌های گرد و غبار فقط در استان خوزستان بیش از ۱۵ روز در سال است. اما در ناحیهٔ جنوب شرقی مهم‌ترین منبع تغذیه بار جامد طوفان‌ها، بستر خشک هامون است که بالا بودن درجهٔ حرارت طی دورهٔ وزش بادهای ۱۲۰ روزه و قطع منابع بارش و خشکی فیزیکی محیط موجب مهیا شدن شرایط مناسب برای وزش طوفان‌های گرد و غباری است [٦]. منطقهٔ جنوب شرق تهران شامل شهرستان‌های ورامین، پاکدشت و پیشوا از جمله مناطقی هستند که بر خلاف شهرستان‌های غرب تهران ویژگی‌های کویری داشته و به علت وجود اراضی کشاورزی گسترده و نوع خاک که عمدتاً از نوع خاک‌های ریزدانه است، مستعد تولید ریزگرد هستند. لذا از این جهت محدودهٔ مطالعاتی و نمونه‌برداری در شهرستان ورامین انتخاب شده است و این منطقه با توجه به اثرات دوره‌های خشک‌سالی که در کشور اتفاق افتاده است دارای زمین‌های بایر مستعد تولید ریزگرد است که می‌تواند باعث ایجاد مشکلات در منطقه شود. همچنین با بررسی‌های کتابخانه‌ای انجام شده، مشخص شد که تا کنون تحقیقی در این خصوص در این منطقه انجام نشده است.

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



شکل۱. نقشهٔ پراکنندگی مناطق با پتانسیل تولید ریزگرد در سراسر جهان [۷].

از جمله عواملی که در ایجاد گرد و غبار نقش دارند می‌توان به تغییرات شدید فشار هوا، نیروی شتاب عرضی (کوریولیس) ناشی از حرکت وضعی زمین، فقر پوشش گیاهی منطقه، خشک‌سالی شدید، وقوع جنگ، بافت و ترکیب خاک، کانالیزه کردن جریانات هوا در اثر توپوگرافی، الگوهای سینوپتیکی وزش بادهای شدید و ناگهانی، فرسایش بادی شدید اشاره نمود. ترکیب پدیدهٔ تغییر اقلیم با فعالیت‌های انسانی و الگوهای سکونت آن‌ها موجب افزایش تخریب خاک، فرسایش بادی، بیابان‌زایی، تخریب خواص خاک و مواد مغذی مورد نیاز گیاهان می‌شود که ادامهٔ این روند موجب از بین رفتن کربن آلی خاک شده و موجب تشدید طوفان‌های گرد و غبار می‌شود [۸]. جهت جلوگیری از گرد و غبار و افزایش ذرات موجود در هوا می‌توان با افزایش اصطکاک و درگیری بین دانه‌های خاک با افزایش چسبندگی بین ذرات کنترل کرد. استفاده از پلیمرهای آلی طی سال‌های اخیر برای تثبیت خاک‌های مولد ریزگرد اهمیت فراوانی یافته است و این پلیمرها توانایی خود را برای آن که به عنوان مادهٔ افزودنی برای تثبیت خاک استفاده شوند، نشان داده‌اند. افزودنی‌های گوناگونی برای افزایش مقاومت خاک، تثبیت دانه‌های خاک، نفوذپذیری خاک و همین‌طور با هدف محدود نمودن جذب آب، فرسایش خاک، از دست دادن رطوبت و نشت آب ارائه شده‌اند [۹، ۱۰].

روش‌های مرسوم برای کاهش طوفان گرد و غبار (به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک)، تثبیت کانون مولد ریزگرد با استفاده از پلیمرهای شیمیایی و محصولات نفتی بوده است که هرکدام از این پلیمرها که در انواع امولسیونی، مایع و یا پودر جامد تهیه می‌شوند؛ ویژگی خاصی در خاک ایجاد می‌کنند؛ اما در شرایط موجود، با توجه به هزینهٔ بالای آنها و اختلاف‌نظر در خصوص اثرات زیست‌محیطی استفاده از آنها مقرون به صرفه نمی‌باشد. به همین دلیل در این تحقیق از مواد طبیعی همچون بنتونیت و سریشم برای تثبیت خاک‌های مولد ریزگرد استفاده شده است.

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

پیشینهٔ پژوهش

عوامل زیادی در افزایش ریزگردها دخیل هستند، اما شناخت کافی و آگاهی از راه‌کارهای مقابله با آن‌ها در پیشگیری از وقوع ریزگردها مؤثر است، در این زمینه، مطالعات زیادی صورت گرفته است که از جملهٔ آنها می‌توان به تحقیقات زیر اشاره کرد.

در تحقیق شیائوهاو و همکاران که در سال ۲۰۲۰ به بررسی کاربرد کلسیت آنزیمی برای کنترل گرد و غبار پرداخته‌اند. نتایج آزمایشات آزمایشگاهی و همچنین آزمایشات میدانی نشان می‌دهند که تیمار ترکیبی بارش آنزیمی ناشی از کلسیت و پلی‌وینیل‌استات (۵۰ گرم در لیتر) می‌توانند به طور مؤثر و کارآمد گرد و غبار را کنترل کنند و مقاومت به فرسایش در برابر باران را تا حد زیادی بهبود بخشند [۱۱]. همچنین در تحقیق تِهی و همکاران که در سال ۲۰۲۰ انجام گرفت به بررسی تأثیر پلیمرهای مبتنی بر متیل سلولز اصلاح شده به عنوان روش‌های کنترل گرد و غبار پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که پلیمرهای سازگار با محیط زیست می‌توانند به عنوان اتصال دهنده‌های آنها عمل کنند [۱۲].

در نتایج مطالعه بات و کرا (۲۰۰۶) در بررسی تأثیر مالچ بر فرسایش خاک در منطقه بادخیز پنجاب هند، از مالچ‌هایی که شامل کاه به صورت‌های پوشش کل سطح و پوشش نواری بود استفاده شد که نتایج تحقیق نشان داد، مالچ سبب کاهش فرسایش تا حدود ۴۰ ٪ شده و درجهٔ حرارت در زیر لایهٔ این نوع مالچ حدود دو درجه کم‌تر از تیمارهای بدون مالچ بود و سبب حفظ رطوبت خاک شد [۱۳]. همچنین در ایران نیز حضیرئی و زارع ارنانی (۱۳۹۲) در تحقیقات خود نشان دادند که تیمارهای مالچ حاصل از ترکیب رس و آهک به ویژه با نسبت ۲۰۰ گرم رس به همراه ۱۰ گرم آهک در یک لیتر آب، می‌توانند شرایط قابل قبولی از نظر ایجاد لایهٔ سطحی، میزان فرسایش‌پذیری، مقاومت فشاری، مقاومت به ضربه و مقاومت سایشی در سطح تپه‌های ماسه‌ای ایجاد کنند که این نسبت می‌تواند به عنوان مناسب‌ترین تیمار به صورت پایلوت به‌منظور تثبیت ماسه‌های روان مورد استفاده قرار گیرد [۱۴].

در تحقیقات دیگر نیز شاواکیو و همکاران در سال ۱۹۹۸ تأثیر پلیمرهای مختلف اوره- فرمالدئید[1]، اوره- فنول- فرمالدئید[2]، اوره- فرفورال- فرمالدئید[3]، پلی‌وینیل‌الکل[4] و پلی‌وینیل‌استات[5] را بر روی مقاومت‌های فشاری نمونه‌های خاک تثبیت شده مورد بررسی قرار داده و آن‌ها نشان دادند که این ترکیبات می‌توانند جهت افزایش مقاومت ماسه‌های بادرفتی مورد استفاده قرار گیرند [۱۵].

کِنس و نَوانکو نیز در سال ۲۰۰۱ در مطالعات خود تشکیل خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر از خاک‌دانه‌های کوچک را به وسیلهٔ اثر مولکول‌های پلیمر تأیید نموده‌اند. به همین منظور پلیمرهای آلی جهت تثبیت و افزایش پارامترهای مقاومتی خاک، بیش از پیش مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است [۱۶].

[1] Urea-formaldehyde
[2] Urea-phenol-formaldehyde
[3] Urea-furfural-formaldehyde
[4] Polyvinyl Alcohol
[5] Polyvinyl Aceatate

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

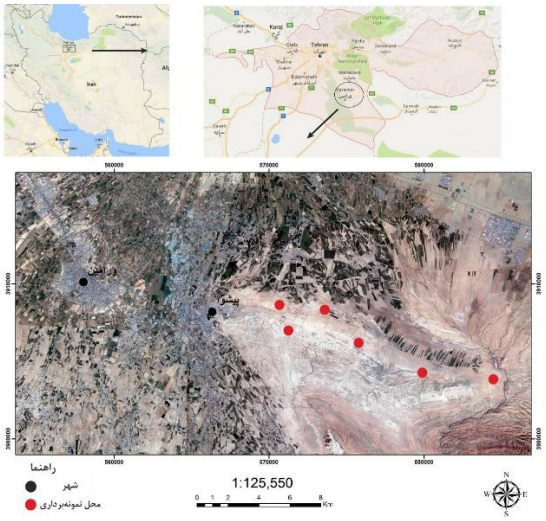
در این زمینه در ایران نیز زندیه و یثربی (۲۰۱۰) با استفاده از رزین‌ها به بررسی پایداری ماسه بادی از دو پلیمر پلی‌وینیل‌استات و پلی‌متیل‌متااکریلیک پرداخته‌اند که با افزودن پلیمر، مقاومت فشاری نمونه‌ها افزایش و همچنین اثر پلیمر در شرایط خشک بیش‌تر شده است [۱۷].

در تحقیقات دیگر بارزی و همکاران در سال ۱۳۸۹ تأثیر پلیمر پلی‌وینیل‌اکریلیک[1] را بر رفتار خاک‌ها مورد ارزیابی قرار داده و نشان دادند نمونه‌های تثبیت شده ۸۰ درصد مقاومت خود را در ۷ روز اول و ۹۰ درصد مقاومت خود را در ۱۴ روز نخست به دست آورده و با افزایش زمان، میزان مقاومت افزایش یافت [۸].

همچنین ربیعی و همکاران (۱۳۹۰) نیز در تحقیق خود، به این نتیجه رسیدند که پلی‌الکترولیت‌آنیونی بر پایهٔ آکریل‌آمید با ۳۰ درصد وزنی بار منفی، نسبت به نمونه‌ای دارای ۱۰ و ۲۰ درصد بار منفی، باعث چسبندگی بهتر ذرات خاک شده و به این ترتیب موجب تقویت ویژگی‌های خاک می‌شود [۱۸].

منطقهٔ مورد مطالعه

خاک مورد استفاده در این مطالعه از دشت ورامین که بین طول‌های جغرافیایی ′۳۱ °۵۱ تا ′۵۵°۵۱ و عرض‌های جغرافیایی ′۲ °۳۵ تا ′۳۶°۳۵ واقع گردیده، تهیه شده است. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود در شرق ورامین مناطق خشک و بیابانی وجود دارد که می‌تواند کانون تولید ریزگردها در منطقه باشد. محل‌های اخذ نمونه‌ها به‌صورت پراکنده و تصادفی از زمین‌های با نوع خاک ریزدانه و بدون پوشش گیاهی مناسب که مستعد تولید ریزگرد هستند انتخاب شد و با توجه به فاصلهٔ مناسب این نقاط از شهر ورامین و پیشوا می‌توانند به عنوان بخشی از نقاط تولید ریزگردهای منطقه محسوب شوند. در شکل ۱ که نشان دهندهٔ نقاط نمونه‌برداری شده می‌باشد با استفاده از نقشهٔ کاربری اراضی و همچنین شبکه‌بندی در Google Earth تهیه شده است.



شکل۲. منطقه مورد مطالعه به همراه محل نمونه‌برداری

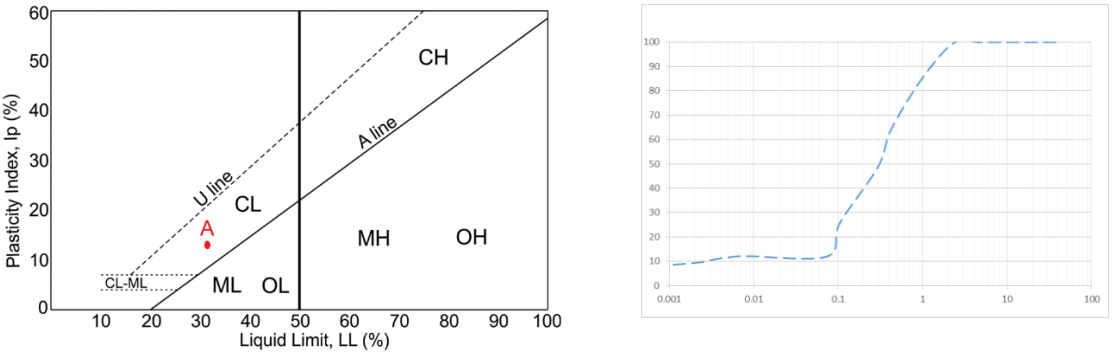
[1] Polyvinyl Acrylic

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

مواد و روش‌ها

خاک رسی

طی پیمایش صحرایی از منطقهٔ مورد مطالعه، نمونه‌های مورد نظر، گرفته شد. سپس این نمونه، مورد آزمایش طبقه‌بندی خاک‌ها به روش طبقه‌بندی متحد خاک قرار گرفت. نمودار دانه‌بندی حاصل از انجام آزمایش هیدرومتری بر روی این خاک در شکل ۲ و همچنین خصوصیات فیزیکی آن در جدول ۱ نشان داده شده است. این خاک طبق طبقه‌بندی متحد جزء خاک‌های CL به حساب می‌آید.



شکل۳- نمودار دانه‌بندی خاک مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک مورد مطالعه

رنگ ظاهری	رده خاک	Gs	LL [%]	PL [%]	PI [%]	$\gamma_{d_{max}}$ $[kN/m^3]$	W [%]	C [kPa]	ϕ [deg]
قهوه‌ای	CL	۲/۵	۳٤/۰۲	۱۹/۷۷	۱٤/۲۵	۱/۸۳	۱۲	۱٦/۵۹	۲۵/۱٤

سریشم

سریش چسب طبیعی است که از عناصر گیاهی تهیه می‌شود لذا با طبیعت هم‌خوانی دارد و ایجاد آلودگی زیست‌محیطی نمی‌کند. همچنین سریش چسبی بر پایهٔ آب است که کاربرد زیادی در صنایع کاغذ، رنگ‌سازی، چسب سازی، دارویی و پزشکی دارد [۱۹].

بنتونیت

بنتونیت خاک رسی است که عمدتاً از مونتموریونیت تشکیل می‌شود. نرم و پلاستیکی بوده و حاوی سیلیکات‌های کلوئیدی حاصل از دگرسانی شیمیایی سنگ‌های آذرین، معمولاً توف است. کانی‌های عمدهٔ بنتونیت شامل مونتموریونیت، هکتوریت، ساپونیت، بیدلیت و نانترونیت است. بنتونیت از صفحات آزاد سیلیس و آلومینا تشکیل شده که به آسانی در محلول‌های آبی به ذرات خیلی ریز تفکیک می‌شود. این سهولت جدایش ذرات و بار منفی نامتوازن باعث می‌شود که ذرات

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

در محیط‌های قطبی مانند آب به خوبی پراکنده شوند. بنتونیت یون‌های قابل تعویض سدیم، منیزیم و کلسیم دارد و به جز زئولیت بیش‌ترین قابلیت تعویض یونی را در بین کانی‌ها دارد. دو نوع بنتونیت وجود دارد. بنتونیت سدیمی و بنتونیت کلسیمی که در این تحقیق از بنتونیت سدیمی که دارای خاصیت چسبندگی می‌باشد، استفاده شده است [۲۰].

آماده‌سازی نمونه‌ها

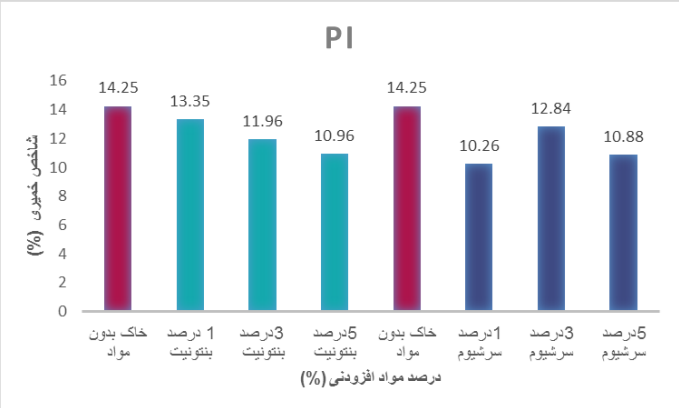
جهت انجام آزمایش‌ها آزمایشگاهی، نمونه‌برداری‌ها با استفاده از نمونه‌گیر شبلی و به‌صورت دست‌خورده انجام گرفت و این نمونه‌ها در آزمایشگاه طبق استاندارد ASTM و بر اساس وزن واحد حجم به دست آمده از آزمایش تراکم استاندارد بازسازی شدند. با توجه به این‌که هدف از انجام این تحقیق استعدادپذیری زمین‌های محدودهٔ شهرستان ورامین در تولید ریزگرد است لذا هدف تعیین کم‌ترین مقاومت نمونه خاک بوده است و جهت این امر آزمایش‌ها به روش اشباع انجام شده‌اند. نمونه‌ها در ۳ سری مجزا آماده شدند. سری اول بدون مواد افزودنی و به عنوان نمونهٔ شاهد، در نظر گرفته شده‌اند. سری دوم نمونه‌ها برای افزودن بنتونیت به خاک در نظر گرفته شد و سری سوم نمونه‌ها ماده افزودنی سریشم به نمونه‌ها اضافه شد. برای تهیهٔ نمونه‌های سری دوم و سوم مواد افزودنی بنتونیت و سریشم با نسبت اختلاط ۱، ۳ و ۵ درصد به خاک اضافه شدند. پس از انجام اختلاط خاک و مواد افزودنی و اضافه نمودن آب به نمونه‌ها آن‌ها به مدت ۷ روز به صورت خمیر تحت شرایط آزمایشگاه نگهداری شدند. پس از عمل‌آوری نمونه‌های تهیه شده، این نمونه‌ها مورد آزمایش‌های حدود اتربرگ، مقاومت تک‌محوری و آزمایش برش مستقیم قرار گرفتند.

آزمون‌های انجام شده

آزمایش حدود اتربرگ

آزمایش‌های حدود اتربرگ، شامل حد روانی و حد خمیری روی نمونه‌های خاک تثبیت شده با مواد افزودنی بنتونیت و سریشم در درصدهای مختلف مطابق با استاندارد ASTM D4318-87 انجام گرفت و با استفاده از آن‌ها شاخص خمیری محاسبه شد. برای تهیهٔ نمونه‌های آزمایش، هر کدام از مواد افزودنی به مقدار مورد نیاز افزوده شده و برای انجام واکنش‌های اولیه مدت ۷ روز به‌عنوان زمان عمل‌آوری انتخاب شد و سپس آزمایش‌های حدود اتربرگ انجام گرفت. بر روی نمونه شاهد زمانی که آزمایش حدود اتربرگ انجام شد، حد خمیری آن ۱۴/۲۵ درصد شد و زمانی که درصدهای ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی بنتونیت اضافه شد حد خمیری به ترتیب به ۱۳/۳۵، ۱۱/۹۶و ۱۰/۹۶ تغییر یافت و با افزودن درصدهای ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی سریشم حد خمیری نسبت به نمونه شاهد که ۱۴/۲۵ درصد بود به ۱۰/۲۶، ۱۲/۸۴ و ۱۰/۸۸ تغییر پیدا کرد. طبق نمودار شکل ٤ با افزودن بنتونیت و سریشم به خاک تا ۳ درصد وزنی منجر به افزایش شاخص خمیری می‌شود اما با افزودن بیشتر این مواد، روند کاهشی در شاخص خمیری دیده می‌شود. بنابراین در سه درصد وزنی سریشم و بنتونیت به‌عنوان درصد وزنی بهینه، شاخص خمیری بیشینه می‌شود، به طوری که در صورت افزودن این مواد به خاک بیش از این درصد، به دلیل اشباع شدن مخلوط از سریشم و بنتونیت، نه تنها افزایش شاخص خمیری به همراه ندارد بلکه منجر به کاهش آن نیز می‌شود.

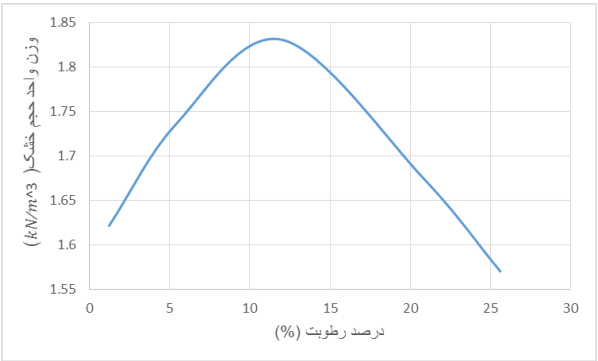
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]



شکل٤- تأثیر درصدهای وزنی مختلف بنتونیت و سریشم بر روی شاخص خمیری خاک

آزمایش تراکم

از آزمایش تراکم اصلاح شده مقدار وزن مخصوص خشک حداکثر خاک برابر ۱/۸۳ کیلو نیوتن بر مترمکعب و میزان رطوبت بهینهٔ آن حدود ۱۲ درصد به دست آمد که از نتایج آن برای انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری تک‌محوری و آزمایش برش مستقیم استفاده شد.



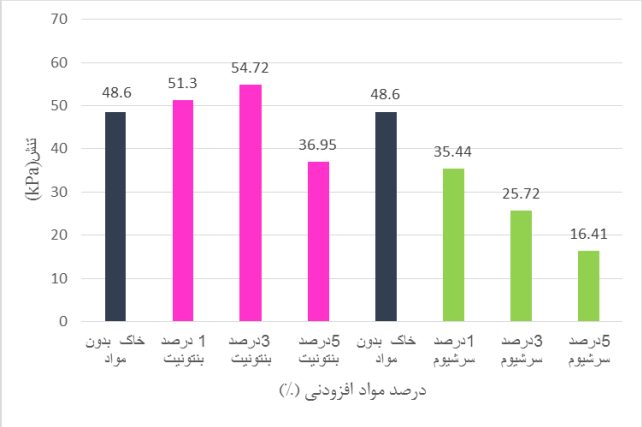
شکل ۵. نمودار تراکم خاک مورد مطالعه

مقاومت فشاری تک‌محوری

آزمایش تک‌محوری به‌منظور تعیین مقاومت فشاری نمونه خاک بدون مواد افزودنی و خاک مخلوط شده با ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی از بنتونیت و سریشم بر اساس استاندارد ASTMD 2166 انجام شد، نمونه‌ها با توجه به درصد رطوبت بهینه و وزن واحد حجم خشک حداکثر از آزمایش تراکم ساخته شدند. روی نمونه شاهد مقدار مقاومت فشاری تک‌محوری ٤۸/٦ کیلوپاسکال شد زمانی که درصدهای وزنی ۱، ۳ و ۵ بنتونیت افزوده شد مقدار مقاومت فشاری تک‌محوری از ٤۸/٦ کیلوپاسکال به ترتیب ۵۱/۳، ٥٤/۷۲ و ۳٦/۹۵ کیلوپاسکال تغییر پیدا کرد. با افزودن درصدهای ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی سریشم مقدار مقاومت فشاری نمونه‌ها به ۳۵/٤٤، ۲۵/۷۳ و ۱٦/٤۱ کیلوپاسکال تغییر پیدا کرد. طبق نمودار شکل ٦ با افزودن سریشم

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

به خاک تا یک درصد وزنی منجر به افزایش مقاومت فشاری تک‌محوری می‌شود با افزودن بیش‌تر این ماده، روند کاهشی در مقاومت فشاری تک‌محوری دیده می‌شود. بنابراین در یک درصد وزنی سریشم به عنوان درصد وزنی بهینه، مقاومت فشاری تک‌محوری خاک بیشینه می‌شود، به طوری که در صورت افزودن این مواد به خاک بیش از این درصد، به دلیل اشباع شدن مخلوط از سریشم، نه تنها افزایش مقاومت فشاری تک‌محوری به همراه ندارد بلکه منجر به کاهش آن نیز می‌شود. در مورد افزودن بنتونیت به نمونه‌ها، همان‌طور که در شکل ٦ دیده می‌شود با افزایش مادهٔ افزودنی به نمونه، در درصدهای وزنی یک و سه درصد افزایش مقاومت تراکمی تک‌محوری نسبت به نمونه شاهد می‌شود و با افزایش بنتونیت به پنج درصد وزنی، مقاومت نمونه‌ها کاهش می‌یابد و مقدار سه درصد افزودنی به عنوان مقدار بهینه این ماده به خاک تعیین می‌شود. دلیل کاهش مقاومت نمونه‌ها در پنج درصد وزنی ماده افزودنی بنتونیت، افزایش ضخامت ماده بنتونیت بین دانه‌ها و لغزش آنها می‌توان بیان نمود.



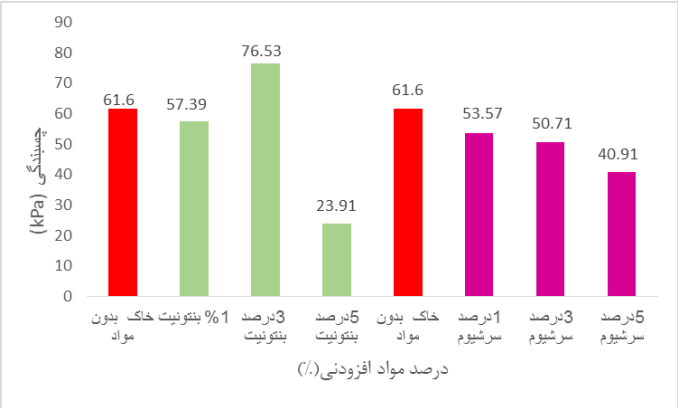
شکل٦. تأثیر درصدهای وزنی مختلف بنتونیت و سریشم بر روی مقاومت فشاری خاک رسی

آزمایش برش مستقیم

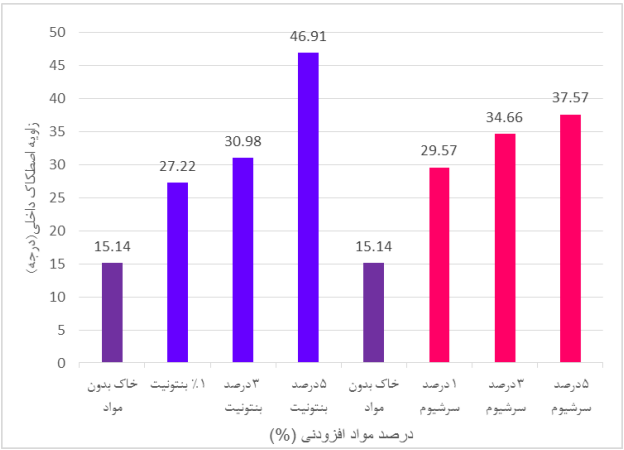
با توجه به این‌که در آزمایش تراکم برای مصالح خاکی و مخلوط نانو ذرات و خاک با درصدهای مختلف وزنی، وزن واحد حجم خشک مشخص شده است؛ در تهیهٔ نمونه برای انجام آزمایش برش مستقیم، مصالح آزمایشی با توجه به وزن واحد حجم اندازه‌گیری شده در آزمایش تراکم، آماده و در قالب برش جای داده شده است. برای این کار نخست حجم قالب محاسبه شد. سپس با توجه به این حجم و وزن واحد حجم، مقدار خاکی که باید در قالب جای داده شود؛ تعیین شد و در ادامه با توجه به درصد رطوبت بهینه، خاک در قالب متراکم می‌شود. نمونهٔ آماده شده باید در قالب برش برابر با استاندارد جای داده شود. بعد از قرارگیری صحیح صفحات و نمونه در قالب برش، بر روی دستگاه مستقر شد و با تنظیمات مربوط به گیج‌ها و سرعت بارگذاری که ۰/۵ میلی‌متر بر دقیقه است؛ آزمایش‌ها انجام شده‌اند جهت تعیین خصوصیات مقاومتی خاک رسی (از قبیل چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی)، آزمایش برش مستقیم روی آن انجام شده که در این مطالعه، انجام آزمایش مذکور از نوع تند، تحکیم یافته زهکشی نشده بوده و سرعت بارگذاری ۰/۵ میلی‌متر بر دقیقه منظور شده است. ابتدا

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

آزمایش برش مستقیم روی نمونه‌ای که بدون مواد بود انجام گرفت که مقدار چسبندگی و زاویهٔ اصطکاک داخلی آن به دست آمد سپس در ادامهٔ آزمایش با درصدهای وزنی ۱، ۳ و ۵ درصد بنتونیت و سریشم انجام گرفت. نتایج این آزمایش در نمودار شکل‌های ۷ و ۸ آورده شده است. همان‌گونه که در نمودارهای شکل ۷ و ۸ مشاهده می‌شود مقدار چسبندگی برای نمونه شاهد ٦١/٦ کیلوپاسکال به دست آمد. زمانی که درصدهای وزنی ۱، ۳ و ۵ درصد بنتونیت اضافه شد مقدار چسبندگی به ترتیب ۵۷/۳۹، ۷٦/۵۳ و ۲۳/۹۱ کیلوپاسکال تغییر یافت و زاویهٔ اصطکاک داخلی برای این درصدهای وزنی از ۱۵/٤۱ درجه برای نمونه شاهد به ۲۷/۲۲، ۳۰/۹۸ و ٤٦/۹۱ درجه تغییر پیدا کرد. با توجه به این‌که هدف از انجام این آزمایش تعیین پارامترهای مقاومتی خاک مولد ریزگرد می‌باشد زاویه اصطکاک داخلی خاک مورد توجه قرار گرفته است گرچه مقدار چسبندگی این خاک‌ها در تولید ریزگرد بسیار مهم و مؤثر می‌باشد ولی در خاک‌های بسیار سست نیز مقدار زاویه اصطکاک داخلی و مقاومت اصطکاکی ناشی از آن قابل چشم‌پوشی نمی‌باشد لذا در این مطالعات هر دو پارامتر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی نمونه آزمایش شده مورد توجه قرار گرفته‌اند.



شکل ۷. تأثیر درصدهای وزنی مختلف بنتونیت و سریشم بر روی چسبندگی خاک رسی



شکل۸. نمودار تأثیر درصدهای وزنی مختلف بنتونیت و سریشم بر روی زاویه اصطکاک داخلی خاک رسی

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

بحث و نتایج

تأثیر بنتونیت

با توجه به نمودار شکل ۷ نتیجه می‌شود که حداکثر مقاومت برشی در نمونه‌های تثبیت شده با سه درصد وزنی بنتونیت به دست آمده است که طبق نتایج آزمایشگاهی زمانی که درصدهای وزنی مختلف بنتونیت به خاک مورد مطالعه افزوده می‌شود، بیش‌ترین افزایش چسبندگی در سه درصد وزنی رخ داده که با کاهش میزان زاویهٔ اصطکاک داخلی همراه بوده است، با افزودن بنتونیت به علت افزایش بخش ریزدانهٔ خاک و غلبهٔ آن بر بخش درشت دانه‌تر می‌باشد، که رفتار مکانیکی خاک، بیش‌تر با همین بخش کنترل می‌شود. با کاهش اثر بخش دانه‌ای، پارامتر زاویهٔ اصطکاک داخلی که از مشخصات خاک‌های دانه‌ای و درشت‌تر است،کاهش می‌یابد، در تأیید تحقیق حاضر در پژوهش‌های قبلی نیز هادی و همکاران در سال ۱۳۹۳ به نتایج مشابهی دست یافته‌اند، که با افزایش درصد وزنی بنتونیت، زاویهٔ اصطکاک داخلی کاهش و میزان چسبندگی خاک افزایش می‌یابد [۲۱]. همچنین نتایج به دست‌آمده با نتایج تحقیقات حاصل از تحقیقات گودودا و همکاران هم‌خوانی دارد [۲۲]

تأثیر سریشم

در مادهٔ افزودنی سریشم طبق نتایج آزمایشگاهی زمانی که درصدهای وزنی مختلف سریشم به خاک اضافه می‌شود، در یک درصد وزنی بیش‌ترین مقدار چسبندگی و کم‌ترین مقدار زاویهٔ اصطاک داخلی رخ می‌دهد که علت آن نیز مشابه بنتونیت به علت افزایش بخش ریزدانهٔ خاک و غلبه آن بر بخش درشت دانه‌تراست، که رفتار مکانیکی خاک، بیش‌تر با همین بخش کنترل می‌شود. با کاهش اثربخش دانه‌ای، پارامتر زاویهٔ اصطکاک داخلی که از مشخصات خاک‌های دانه‌ای و درشت‌تر است، کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

در این کار تحقیقاتی تأثیر افزودن تثبیت کننده‌های بنتونیت و سریشم بر روی پارامترهای مقاومتی خاک‌های مولد ریزگرد در ناحیهٔ ورامین با افزودن درصدهای مختلف بنتونیت و سریشم و بدون افزایش این مواد مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج آزمایشگاهی آن‌ها، نتایج زیر قابل استخراج است:

در سه درصد وزنی بنتونیت بیش‌ترین مقدار چسبندگی وجود دارد که این افزایش چسبندگی نسبت به نمونه خاک بدون بنتونیت بیش‌تر است، که سریشم در این نوع خاک هیچ‌گونه افزایش چسبندگی را از خود نشان نمی‌دهد و سیر نزولی دارد. و در یک درصد وزنی به بیش‌ترین مقدار چسبندگی می‌رسد، که علت این تغییرات به دو دلیل می‌تواند صورت بگیرد.

۱- افزایش بخش ریزدانهٔ خاک و غلبه آن بر بخش درشت دانه‌تر، می‌باشد که رفتار مکانیکی خاک، بیش‌تر با همین بخش کنترل می‌شود. با کاهش اثر بخش دانه‌ای، پارامتر زاویه اصطکاک داخلی که از مشخصات خاک‌های دانه‌ای و درشت‌تر است، کاهش می‌یابد.

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

۲- این تغییرات به علت جایگزینی ذرات بنتونیت در منافذ خاک رسی می‌باشد که با حضور در این منافذ علاوه بر افزایش چگالی نمونه، سبب ایجاد چسبندگی بیش‌تری بین دانه‌های خاک و افزایش سطح تماس دانه‌ها می‌شود و موجب ایجاد سطح برش در نمونهٔ مذکور به نیروی برشی بیش‌تری نسبت به خاک رسی بدون افزودنی نیازمند است،که سبب افزایش مقاومت برشی نمونه خاک ذرات بنتونیت می‌شود.

با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها که نشان می‌دهد در رطوبت بهینهٔ ۱۲ درصد و مواد افزودنی ۳ درصد بنتونیت و ۱ درصد سریشم بهترین نتیجه به دست آمده است. در عمل می‌توان با افزودن مواد افزودنی سریشم با ۱ درصد وزنی و بنتونیت با ۳ درصد وزنی و رطوبت بهینهٔ ۱۲ درصد خاک را از نظر فرسایش‌پذیری در مقابل باد پایدار نمود. این عمل می‌تواند با طرح اختلاط خاک و مواد افزودنی انجام شود. به این طریق که زمین مورد نظر توسط دستگاه شخم‌زن اول شخم زده می‌شود و بعد با پاشیدن مواد افزودنی که به صورت پودر می‌باشند بر روی زمین و اضافه نمودن آب به میزان مورد نظر تا رسیدن رطوبت خاک به ۱۲ درصد و مجدداً مخلوط کردن خاک و مواد افزودنی اجازه می‌دهیم تا به صورت طبیعی فرآوری شود و زمین به‌سختی مناسب برسد.

تقدیر و تشکر

از مدیر گران‌قدر و فرهیختهٔ شرکت مهندسی هندسه پارس کاوش جناب آقای دکتر اکبر چشمی و هم‌چنین جناب آقای مهندس خلیلی جهت حمایت انجام فعالیت‌های آزمایشگاهی نهایت سپاس و قدردانی را داشته باشم.

منابع

1. Miller S.D., Kuciauskas A.P., Liu M., Ji Q., Reid J.S., Breed W.D., Walker A.L., Mandoos A.A.," Haboob dust storms of the southern Arabian Peninsula", Journal of Geophysical Research, (2008) 113(116), 1-18 p.

۲. سازمان حفاظت محیط زیست، دبیرخانهٔ ملی مقابله با آثار زیان‌بار پدیدهٔ گرد و غبار، (۱۳۹۰).

3. Goudie A.S., "Dust storms: recent developments", Journal of Environmental Management, (2009) 90, 89–94 p.

4. Prospero J.,Ginoux p., Torres o., Nicholson s., and Gill T., “Environmental characterization of global sources of atmospheric solid dust intensified with the Nimbus 7 Total Ozon Mapping spectrometer (TOMS) absorbingaerosol product", (2002) 10.108801748-9326010100110.

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

۵. زرسواندی ع.، طرح پژوهشی بررسی اثرات زیست‌محیطی گرد و غبار در استان خوزستان، ادارهٔ کل حفاظت محیط زیست استان خوزستان، صفحهٔ ۵۶۳. (۱۳۸۸).

۶. علیجانی ب، آب و هوای ایران، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۹۱۳ص(۱۳۷۶).

7. DTF "integrated Desert Terrain Forecasting for Military Operations", *Earth and Ecosystem Sciences*. https:// www.researchgate.net /fgure /276048930_fg1_Figure–10 –Global–Dust –Potential–Map–After–DTF–(2013) (accessed 1 April 2016).

8. Rezazadeh M., Irannejad P and Shao Y., "Climatology of the Middle East dust events. Aeolian Research", (2013), 10: 103-109.

۹. بارزی. ش.، وفائیان م .، ابطحی م.، تثبیت خاک‌های دانه‌ای با پلیمرهای مایع، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه مشهد، اردیبهشت (۱۳۸۹).

10. Constatinescu M., "Composition for consolidating and im-permeabilizing sand striate", Interprindera Metrou Rom RO, (1980) pp 75-311

11. Xiaohao S., Linchang M., Junhao Y., Hengxing and W Linyu W., "Application of enzymatic calcification for dust control and rainfall erosion resistance improvement", Science of The Total Environment, (2020) 143468.

12. Lee T., Kim S., Kim S., Kwon N.-Y., Rho S., Hwang D. S and Kim M., "Environmentally Friendly Methylcellulose-Based Binders for Active and Passive Dust Control", ACS Applied Materials and Interfaces, (2020).

13. Bhatt R and Khera KL., "Effect of tillage and mode of straw mulch application on soil erosion in the Submontaneous tract of Punjab", India. Soil and Tillage Research, (2006) 88(1–2):107–115

۱۴. حضیرئی ف و زارع ارنانی م.، بررسی تأثیر مالچ رسی - آهکی بر تثبیت ماسه‌های روان، نشریه آب و خاک، جلد ۲۷، شمارهٔ ۲، صفحه‌های ۳۶۰ تا ۳۷۳ (۱۳۹۲).

15. Shawqui M., Lahalih A., Neaz B.,"Effect of new soil stabilizers on the compressive strength of dune sand. Construction and Building Materials", (1998), 12, 321-328 p.

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

16. Kenneth N., Nwankwo P. E.," Polyacrylamide as a soil stabilizer for erosion control", Wisconsin department of transportation, Report No, W1, (2001) 6-98 p

17. Zandieh A.R., Yasrobi Sh.S., "Study of Factors Affecting the Compressive Strength of Sandy Soil Stabilized with Polymer", Geotech Geol Eng, 28:139–145 DOI 10.1007/s10706-009-9287-7, (2010).

۱۸. ربیعی ا، گیلانی م، جمشیدی ه، تهیه پلی‌الکترولیت آنیونی‌بر پایه آکریل‌آمید به عنوان تثبیت کنندهٔ خاک، تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران (۱۳۹۰).

۱۹. خراسانی. م.م.، یوسفی ع.ا و لنگرودی ا.ا.، رفتار ویسکوالاستیک ژل‌های سریش-بوراکس، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال نوزدهم، شمارهٔ ۱، ۱۳۸۵: ۱۱-۳ (۱۳۸٤).

۲۰. خرم‌جاه. ف، مروری بر انواع بنتونیت و کاربردهای آن در صنایع مختلف به ویژه صنعت حفاری، اولین همایش ملی تکنیک‌های نوین در تجهیزات و مواد آزمایشگاهی صنعت نفت ایران، تهران، مرکز پژوهش‌های صنعتی و معدنی هم اندیشان چرخهٔ علم و صنعت. (۱۳۹٤).

۲۱. هادی. م، اجللوئیان ر، صادقپور ا. ح، ارزیابی تأثیر افزودن بنتونیت بر خصوصیات رفتاری خاک‌های ریزدانه، نشریهٔ زمین‌شناسی مهندسی، جلد هشتم، شمارهٔ ۳ (۱۳۹۳).

22. Gueddouda M., I Goual., M Lamara and N Aboubaker., "Hydraulic conductivity and shear strength of compacted dune sand-bentonite mixtures", Proceedings of the International Conference on Construction and Building Technology, (2008) ICCBT.

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