[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

بررسی تأثیر آلودگی ناشی از گازوئیل بر فرسایش‌پذیری خاک‌های غنی از آهک در حاشیه انبار نفت همدان با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران

سید داود محمدی*، الهه حسین آبادی؛
دانشگاه بوعلی سینا، گروه زمین‌شناسی

تاریخ: دریافت ۹۵/۰٤/۱۹ پذیرش ۹٦/۰٤/۲٦

چکیده

آلودگی خاک‌ها با هر کدام از فرآورده‌های نفتی باعث تغییر در ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی خاک‌ها شده و رفتار خاک‌ها را تغییر می‌دهد. در این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر آلودگی ناشی از گازوییل بر فرسایش‌پذیری خاک‌ها، محدودهٔ انبار نفت همدان انتخاب گردید و به این منظور از دستگاه شبیه‌ساز باران استفاده شد. براساس نتایج حاصل از بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، سه لایه خاک در محدودهٔ بررسی شده وجود دارد که مطابق رده‌بندی یونیفاید در ردهٔ SM قرار دارند و دارای مقادیر بسیار بالای آهک، یعنی ۸۵/۱۵٪ در لایهٔ بالایی، ٦۲/۱٦٪ در لایهٔ میانی و ۸۸/۷۲٪ در لایهٔ پایینی هستند. تعیین ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی نمونه‌ها با انجام آزمایش‌های تعیین درصد رطوبت، دانه‌بندی و هیدرومتری، کلسی‌متری، تعیین G_S، حدود آتربرگ، تراکم استاندارد، برش مستقیم و مقاومت فشاری تک‌محوری روی نمونه‌های غیرآلوده و آلوده به گازوییل انجام شد. برای بررسی اثر ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی نمونه‌های غیرآلوده و آلوده به گازوییل بر فرسایش‌پذیری با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران، از شیب‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤۰ درجه، شدت بارش مشابه با میانگین شدت بارش منطقه و تراکم خاک با رطوبت بهینه استفاده شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که آلودگی ناشی از گازوییل باعث کاهش مقادیر پارامترهای مقاومتی خاک‌های منطقهٔ بررسی شده و این کاهش مقادیر پارامترهای

*نویسنده مسئول d.mohammadi@basu.ac.ir

مقاومتی، خود باعث افزایش فرسایش‌پذیری خاک‌های آلوده نسبت به خاک‌های غیرآلوده شده است. بدین صورت که حداکثر مقدار فرسایش در سه لایهٔ خاک در ۱۹ و ۱۵ درصد گازوییل تقریباً ۳ برابر مقدار فرسایش در حالت غیرآلوده است.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی خاک، دستگاه شبیه‌ساز باران، فرسایش‌پذیری، انبار نفت، همدان.

مقدمه

باتوجه به استفاده روز افزون بشر از مواد نفتی، آلودگی خاک در سال‌های اخیر سبب ایجاد نگرانی‌هایی درحوزهٔ محیط زیست و ژئوتکنیک شده است، به‌گونه‌ای که مطالعات به بررسی پالایش خاک در مناطق نفت خیز جهان، ظرفیت باربری و تغییرات ایجاد شده حاصل از نفوذ آلودگی درخاک سوق داده شده است. خاک آلوده از لحاظ زیست‌محیطی مشکل‌زا بوده و روش‌های گوناگون زدودن آلودگی بسته به کیفیت پالایش، عمق تأثیر آلودگی در خاک، زمان، نحوه و نوع اجرای آن، هزینه‌بر است. میزان مشکل‌زا بودن خاک‌های آلوده برای محیط زیست متفاوت است و به پارامترهای نوع خاک و ساختمان آن، درصد مواد آلی موجود در خاک، میزان نفوذپذیری، شرایط اقلیمی و نوع آلاینده موجود در خاک بستگی دارد [۲۰]. از لحاظ ژئوتکنیک بررسی‌های متفاوتی روی خاک‌های آلوده با حضور آلودگی‌های گوناگون انجام شده که نتایج آن منجر به استفاده بهینه و کاربردی به‌عنوان مصالح راه‌سازی و کاهش هزینه‌ها شده است [۱۰]. جورج و همکاران به بررسی ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک ماسه‌ای آلوده به روغن موتور پرداختند. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که با افزودن درصدهای مختلفی از روغن موتور (۰، ٤، ۸ و ۱۲ درصد وزنی) به خاک، حدود آتربرگ و حداکثر دانسیته خشک کاهش، و مقدار درصد رطوبت بهینه افزایش می‌یابد. به‌طورکلی نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد که با افزایش میزان روغن موتور به خاک مقاومت برشی خاک کاهش می‌یابد [۱۷]. ژنگ و همکاران به بررسی مکانیسم انتقال آلودگی ناشی از جیوه در خاک‌ها، در فرایند فرسایش، در حین بارندگی و رواناب پرداختند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که آلودگی جیوه به‌همراه بخش آلی خاک منتقل می‌شود [۲٤]. نائینی و شجاع الدین اثر

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

آلودگی نفتی روی رفتار روان‌گرایی خاک‌های ماسه‌ای را بررسی کردند. نمونه‌های بررسی شده را با درصدهای مختلفی از نفت خام (٤، ٨ و ١٢ درصد) آلوده کردند و مجموعه‌ای از آزمایش‌های سه‌محوری را روی آن‌ها انجام دادند. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که آلودگی نفتی، حداکثر تا ٨ درصد، باعث افزایش در مقاومت روان‌گرایی خاک می‌شود، و سپس با افزایش آلودگی، مقاومت در برابر روان‌گرایی کاهش می‌یابد [۲۲]. با توجه به حاد و بحرانی بودن مسئلهٔ فرسایش خاک در ایران، انجام فعالیت‌های گسترده از دیدگاه‌های تحقیقاتی و اجرا ضروری است. در این راستا در سال‌های اخیر شبیه‌سازی باران به‌طور وسیعی در شناخت فرسایش و فرایندهای مربوط به آن استفاده شده است [۲۱]. ابری با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران به بررسی میزان فرسایش‌پذیری خاک‌های بخش بالادست سد اکباتان و ارتباط آن با ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی خاک‌های منطقه پرداخته است. به این منظور از شیب‌های ١٠، ٢٠، ٣٠ و ٤٠ درجه، شدت بارش مشابه با میانگین شدت بارش منطقه و تراکم خاک با رطوبت‌های مختلف استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که میزان فرسایش درحالت تراکم با رطوبت بهینه، کم‌تر از میزان فرسایش در تراکم‌های سمت خشک و اشباع است. شیب بحرانی منطقه ٣٠ درجه تخمین زده شد و بیش‌ترین مقدار فرسایش برای تمامی خاک‌های بررسی شده در این شیب مشاهده شده است. هم‌چنین با افزایش عوامل مقاومت برشی خاک‌های منطقه، فرسایش‌پذیری در رطوبت بهینه کاهش یافته است. افزایش نسبت باربری کالیفرنیا، کاهش مقادیر فرسایش‌پذیری را نشان می‌دهد [١]. عبدی نژاد و همکاران بیان کردند که هرچه میزان سیلت موجود در خاک‌ها زیاد باشد، به‌دلیل جذب نشدن آب یا قابلیت جذب کم آب در این واحدها، زمان شروع رواناب سریع و حجم تولیدی رواناب زیاد است و بنابراین میزان فرسایش افزایش می‌یابد [٩]. در این پژوهش، با افزودن درصدهای مختلفی از گازوییل به خاک، ویژگی‌های مهندسی خاک آلوده شده بررسی شده است و اثر آن روی فرسایش‌پذیری خاک نیز بررسی شده است. با توجه به این‌که امکان توسعهٔ مجموعه انبار نفت همدان با افزایش ساخت مخازن دیگر، ساخت سازه‌ها و تأسیسات جانبی وجود دارد، بررسی خاک‌های آلوده این محدوده از

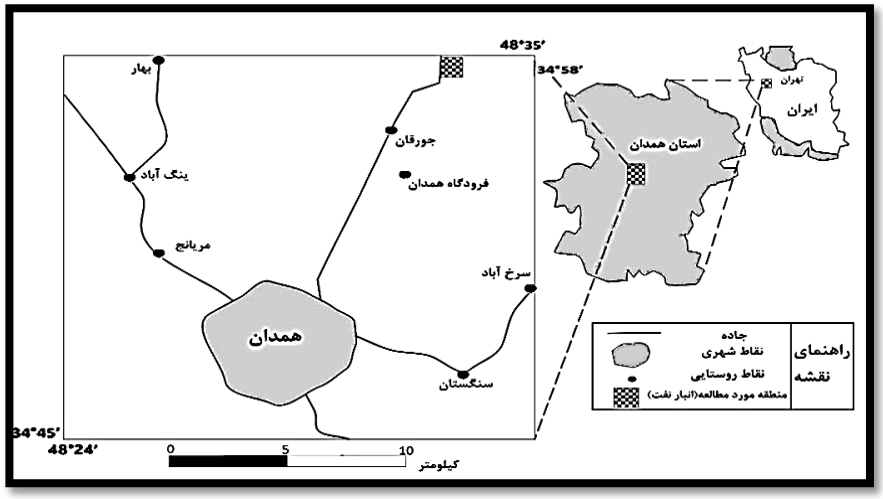
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

ضروریات است. هم‌چنین مجموعه مذکور در محدودهٔ شهری قرار داشته و امکان خطرات زیست‌محیطی ناشی از نشت مواد نفتی به داخل خاک وجود دارد. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی میزان فرسایش پذیری خاک‌های آلوده شده محدودهٔ بررسی شده است.

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی عمومی منطقه

مجموعهٔ انبار نفت همدان با موقعیت طول جغرافیایی E ″۱۱ ′۳۵ °۴۸ و عرض جغرافیایی N ″۰۸ ′۵۸ °۳٤ بررسی شده است. این انبار در کیلومتر۱۷/۷ همدان قرار داشته و جاده دسترسی به آن جاده همدان- تهران است. شکل ۱ موقعیت ناحیهٔ بررسی شده را نشان می‌دهد.

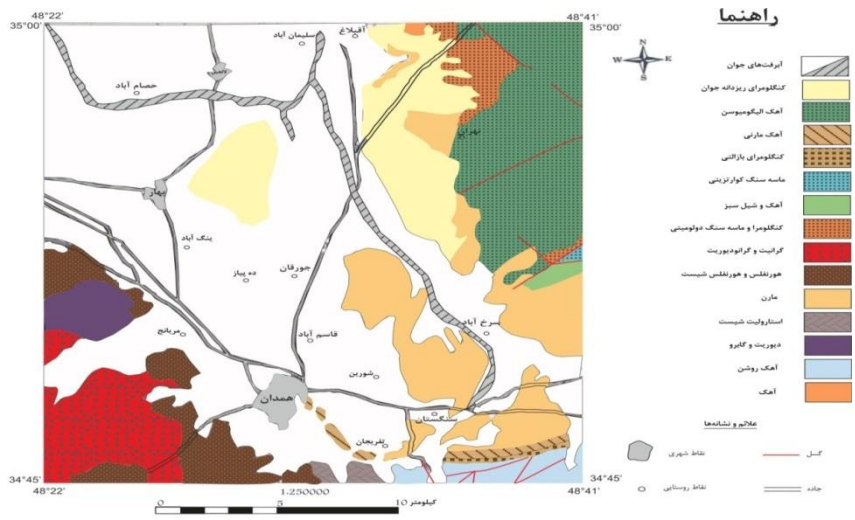


شکل ۱. موقعیت ناحیهٔ بررسی شده [۱۱]

از نظر تقسیمات ساختاری و چینه‌شناسی ایران این منطقه در زون سنندج-سیرجان قرار دارد. این زون جزء ناآرام‌ترین و به‌عبارتی فعال‌ترین زون ساختمانی ایران به‌شمار می‌رود و تا سنوزوئیک فازهای دگرگونی و ماگماتیسم مهمی را پشت سر گذاشته است. فرآیندهای دگرگونی موجب پدیداری اسلیت‌ها، اسلیت‌های لکه‌دار، شیست‌ها، هورنفلس‌ها و انواع

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

گوناگون شیست‌های استرولیت‌دار، کیانیت آندالوزیت‌دار و غیره در این منطقه شده است. شواهد بسیاری در مناطق مجاور و در این منطقه وجود دارد که نشان‌دهندهٔ نفوذ گرانیتوئیدها پس از گابرو است. هم‌چنین لایهٔ میانی موجود در منطقهٔ حاوی ندول‌های ژیپسی است [۷]. بر اساس نتایج حاصل از بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی در این پژوهش، سه لایهٔ خاک در محدودهٔ بررسی شده شناسایی شده که به‌دلیل فراوانی ترکیبات آهکی، به‌رنگ روشن مشاهده می‌شوند. پژوهش حاضر روی خاک‌های این بخش انجام شده است. شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی محدودهٔ بررسی شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲. نقشهٔ زمین‌شناسی محدودهٔ بررسی شده [۲]

مواد و روش‌ها

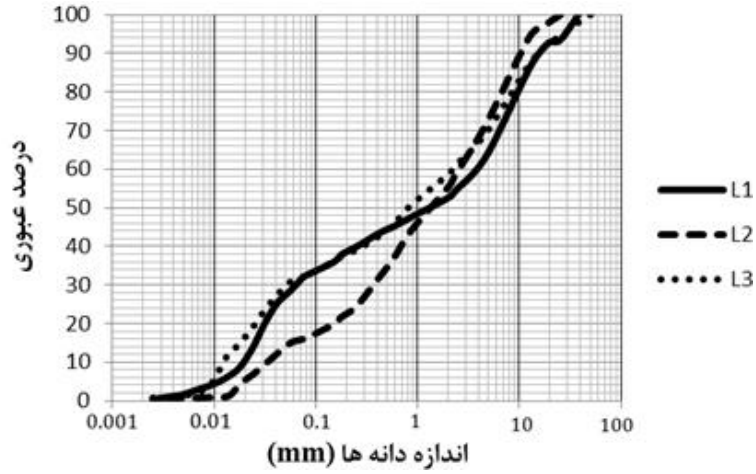
به‌منظور بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی و فرسایش‌پذیری سه لایه خاک موجود در منطقهٔ بررسی شده، نمونه‌برداری دست خورده انجام شد. براساس نتایج حاصل از بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، سه لایه خاک موجود در محدودهٔ بررسی شده مطابق

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

رده‌بندی یونیفاید در ردهٔ SM قرار دارند و مقادیر بسیار زیاد آهک دارند (جدول ۱ و شکل ۳).

جدول ۱. نتایج آزمایش‌های تعیین حدود آتربرگ، ردهٔ خاک و درصد آهک

لایه	نمونه	LL%	PL%	PI%	نوع دانه بندی	درصد آهک
بالایی	L1	٤٩/٦٤	٤٠/٦٥	٨/٩٩	SM	٨٥/١٥
میانی	L2	٤٧/٦١	٣٢/١٢	١٥/٤٩	SM	٦٢/١٦
پایینی	L3	٤٢/٦	٢٧/١٤	١٥/٤٦	SM	٨٨/٧٢



شکل ۳. نمودار دانه‌بندی سه لایه خاک

برنامه آزمایش‌ها در این پژوهش به دو بخش آزمایش‌های زمین‌شناسی مهندسی و آزمایش‌های فرسایش‌پذیری تقسیم می‌شود.

۱. آزمایش‌های زمین‌شناسی مهندسی روی خاک آلوده و غیرآلوده

همهٔ آزمایش‌های زمین‌شناسی مهندسی انجام شده در راستای این پژوهش مطابق استانداردهای ASTM (2000) (جدول ۲) ابتدا روی خاک پایه انجام شد، سپس با آلوده کردن خاک، این آزمایش‌ها بر خاک‌های آلوده انجام گرفت. برای آماده‌سازی نمونه‌های آلوده، در مرحلهٔ اول آزمایش تراکم استاندارد ابتدا با آب خالص برای تعیین مقادیر کنترلی و سپس با گازوییل برای تعیین حداکثر میزان گازوییل قابل جذب به‌وسیلهٔ خاک انجام گرفته است.

طبق نتایج حاصل از این آزمایش مشخص شد که لایه بالایی و پایینی تا ۱۹٪ گازوییل (به دلیل زیاد بودن میزان آهک) و لایه میانی تا ۱۵٪ گازوییل خاک را اشباع می‌کنند، بدین مفهوم که در این درصد گازوییل، حداکثر وزن واحد حجم خشک را دارند. با معلوم شدن درصدی از گازوییل که خاک را اشباع می‌کند، مقادیر ۷، ۱۳ و ۱۹٪ گازوییل به خاک‌های لایهٔ بالایی و پایینی و مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵٪ گازوییل به خاک‌های لایهٔ میانی به‌صورت مصنوعی اضافه شد. بنابراین ۹ نمونه خاک آلوده برای انجام آزمایش‌های زمین‌شناسی مهندسی خاک تهیه شد [٤].

جدول ۲. آزمایش‌های زمین‌شناسی مهندسی براساس استاندارد موجود [۵]، [۱۲]، [۱۶]

نوع آزمایش	استاندارد آزمایش
دانه بندی و رده بندی خاک	ASTM-D422(2000)
حدود آتربرگ	ASTM-D4318-87(2000)
تراکم استاندارد	ASTM-D698(2000)
برش مستقیم	ASTM-D3080(2000)
مقاومت فشاری تک‌محوری	ASTM-D2166-87(2000)

در آزمایش برش مستقیم برای تهیهٔ نمونه از یک قالب مربعی شکل ۱۰×۱۰ سانتی‌متری با ارتفاع ۲ سانتی‌متر استفاده می‌شود. سپس نمونهٔ تهیه شده در داخل جعبه برش قرار داده شده و تنش عمودی مورد نظر روی نمونه اعمال می‌شود. تنش عمودی مورد نظر از حاصل‌ضرب وزن واحد حجم مرطوب لایهٔ خاک در ضخامت سربار به‌دست آمده است. بر اثر تنش عمودی اعمال شده دو قالب جعبه برش با نرخ جابه‌جایی ثابت نسبت به هم حرکت داده می‌شوند و در حین حرکت نیروی لازم برای اعمال این جابه‌جایی اندازه‌گیری می‌شود. این آزمایش در شرایط تحکیم نیافته- زهکشی نشده (UU) و با وزن واحد حجم خشک حداکثر (γ_{dmax}) و درصد رطوبت بهینه (ω_{opt}) حاصل از آزمایش تراکم استاندارد انجام شده است.

در آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری نمونه‌ها با وزن واحد حجم خشک حداکثر (γ_{dmax}) و درصد رطوبت بهینه (ω_{opt}) حاصل از آزمایش تراکم استاندارد آماده‌سازی شده‌اند. برای تهیه نمونه‌های تک‌محوری از قالب دو کفه‌ای و استوانه‌ای شکل به قطر ۵

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

سانتی‌متر و طول ۱۰ سانتی‌متر استفاده شده است. بر اساس این آزمایش یک نمونه از خاک مورد نظر تا رسیدن به گسیختگی تحت بار محوری به‌صورت کنترل کرنش قرار گرفته و مقاومت آن بر اساس تنش کل ایجاد شده در نمونه در هنگام گسیختگی محاسبه می‌شود. نتایج حاصل از آزمایش‌های زمین‌شناسی مهندسی روی نمونه‌های آلوده و غیرآلوده در جدول ۳ آورده شده است.

جدول۳. نتایج آزمایش‌های زمین‌شناسی مهندسی نمونه‌های آلوده و غیرآلوده

نمونه‌ها	درصد گازوییل	حد روانی (٪)	حد خمیری (٪)	شاخص خمیری (٪)	حداکثر وزن واحد حجم خشک (g/cm^3)	درصد رطوبت بهینه (٪)	زاویهٔ اصطکاک داخلی (ϕ)	چسبندگی (kPa)	مقاومت فشاری تک‌محوری (kPa)
L1	٪۰	٤۹/٦٤	٤۰/٦٥	۸/۹۹	۱/٦٥	۲۲	٤/٦	۷/٤	۱۸/٤
	٪۷	٥٤	٤۰/۱۳	۱۳/۸۷	۱/۸۷	۱۰/٥	٤/۰٤	٦/٦	۸/۷
	٪۱۳	٥٥/٦۷	٤۳/۷۱	۱۱/۹٥	۱/۸۸	۸/٥	۳/۲٦	۳/۷	۷/۸
	٪۱۹	٥٥	٤۰/٦٥	۱٤/۳٤	۱/۹٦	۳	۲/۳	۲/۷٥	۳/٥
L2	٪۰	٤۷/٦۱	۳۲/۱۲	۱٥/٤۹	۱/۸۷	۱٤	٦/۹۷	٦	۹/٦
	٪٥	٦٤	٤۰/۳۹	۲۳/٦۱	۲/۰۸	۹	٥/۷۳	٥/٥	۷
	٪۱۰	٦٦	٤٦/٦۳	۱۹/۳۷	۲/۱۱	٦	٥/۱٥	٤	٦/۱
	٪۱٥	٦۸	٤۹/۰۹	۱۸/۹۱	۲/۱٤	۳/٥	٤	۲	۱/۲٥
L3	٪۰	٤۲/٦	۲۷/۱٤	۱٥/٤٦	۱/٦۲	۲۲/۳	۲/٦	۱۰/۷	۲۲/٦
	٪۷	٥٦	۳۹/۲۷	۱٦/۷۲	۱/۹۲	۹/٥	۲/٤۱	۸/٥	۱۰/٥
	٪۱۳	٥۷/۱۸	٤۱/٦٦	۱٥/٥۱	۲/۰۱	٦	۲/۱۷	۷/۳	۷/۸
	٪۱۹	٦۳	٤۲	۲۰/۹۹	۲/۰۳	۳	۱/٤٥	٦/۹	٤/٤

۲. آزمایش‌های فرسایش‌پذیری

به‌منظور بررسی اثر گازوییل بر فرسایش‌پذیری خاک‌ها، ابتدا آزمایش‌های فرسایش‌پذیری خاک پایه و سپس آزمایش‌های فرسایش‌پذیری خاک آلوده با درصدهای مختلف گازوییل بر روی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران (شکل ٤) موجود در دانشگاه بوعلی سینا و ظروف مخصوص(pan) تراکم نمونه انجام گرفت. این ظروف با ابعاد ۱٥×۳۰×۳۰ سانتی‌متر است و قبل از تراکم خاک در آن‌ها، از یک لایه زهکش شنی با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر استفاده شده و خاک بررسی شده به‌صورت یک لایه ٥ سانتی‌متری روی آن متراکم شده

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

است. برای متراکم کردن خاک از یک چکش پلاستیکی با وزن تقریبی ۲ کیلوگرم به‌منظور اعمال نیروی عمودی بر سطح خاک و هم‌چنین وزن واحد حجم خشک حداکثر و رطوبت بهینه به‌دست آمده از نمودار تراکم استاندارد (جدول ۳) استفاده شده است. شدت بارش استفاده شده برای بارش، معادل میانگین شدت بارش در منطقه به مقدار ۲۹ میلی‌متر در ساعت بوده است. بعد از جمع‌آوری رواناب و آب نفوذی، میزان رسوب موجود در آن‌ها اندازه‌گیری شده و نهایتاً مقادیرافت وزنی خاک بر اثر فرسایش به‌دست می‌آید. برای انجام آزمایش فرسایش‌پذیری از شیب‌های غالب منطقه که بین ۱۰ تا ٤۰ درجه است استفاده شده است [٤]. جدول ٤ نتایج حاصل از این آزمایش‌ها را بر نمونه‌های آلوده و غیرآلوده نشان می‌دهد.



شکل ٤. بخش‌های مختلف دستگاه شبیه‌ساز باران استفاده شده

تحلیل نتایج

در این بخش نتایج حاصل از آزمایش‌های خاک پایه و خاک‌های آلوده به گازوییل محدودهٔ انبار نفت همدان و آزمایش‌های مربوط به فرسایش‌پذیری این نمونه‌ها بررسی شده قرار گرفته است. هدف از این کار یافتن روابط میان پارامترهای به‌دست آمده از نمونه‌های انجام شده است، تا با استفاده از این روابط، ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی خاک‌های پایه و آلوده منطقهٔ بررسی شده با فرسایش‌پذیری معرفی شود.

جدول٤. نتایج آزمایش‌های فرسایش‌پذیری نمونه‌های آلوده و غیرآلوده در شیب‌های مختلف*

نمونه ها	درصدگازوییل	شیب ۱۰°	شیب ۲۰°	شیب ۳۰°	شیب ٤۰°
L1	٪۰	٥٦/٤	۷۰/٤	۷۳/۲	۱۱۱/۰٦
	٪۷	۱٤۹/٦	۱۷۸/۸	۲٤۸/٤	۲۰۲/٥۳
	٪۱۳	۱٦٦/٥۳	۲۲۷/۲	۲٤۱/٦	۲۷۸/۹۳
	٪۱۹	۲۲۷/۸٦	۲٥٦/٦٦	٤۱۹/۸٦	۳۳٤/٦٦
L2	٪۰	۳۰/۸	۱۰۲/٥۳	۱٥٦/٥۳	۳۱۷/۷۳
	٪٥	٥۸/٦٦	۱٤۲/٦٦	۱٥۱/۲	۳۲٤/۸
	٪۱۰	۷٤/۹۳	۱٦۸/٦٦	۲٤٤/٥۳	۳٦٥/۷۳
	٪۱٥	۱۰٥/۷۳	۲۸۳/۷۳	۳٥۹/۸٦	٦۰۸/۱۳
L3	٪۰	۱۳/۳۳	۷٥/۰٦	۷۹/٤٦	۸٦/۲٦
	٪۷	٥٥/۲	۹۸/٥۳	۷۸/۱۳	۸۱/۰٦
	٪۱۳	۱۲٤/۱۳	۱۷٦/۸	۱٤٥/۷۳	۱٤۰/۰٦
	٪۱۹	۱۹٦/٤	۲۷۹/٤٦	۲۰۰/۹۳	۲۱۰

* **مقادیر افت وزنی حاصل از فرسایش بر حسب $kg/m^2.hr$ است.**

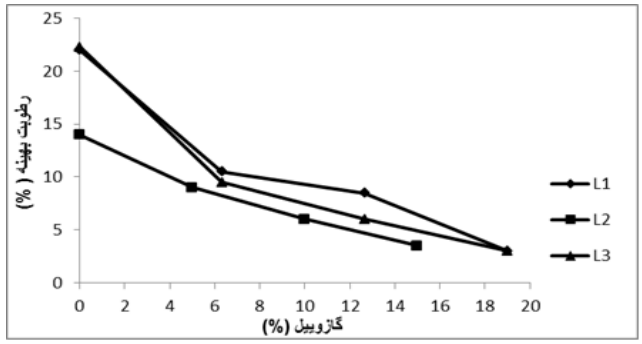
۱. تحلیل نتایج ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی خاک آلوده به گازوییل

۱-۱. تحلیل نتایج آزمایش تراکم استاندارد

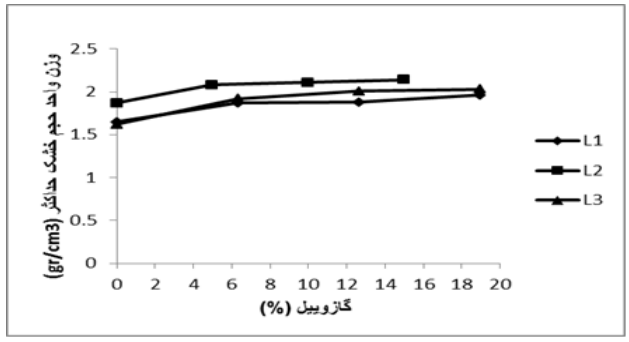
براساس نتایج به‌دست آمده از این آزمایش، مشاهده می‌شود که با افزایش درصد گازوییل، وزن واحد حجم خشک حداکثر در هر سه لایه خاک بررسی شده روند افزایشی و درصد رطوبت بهینه سه لایه روند کاهشی داشته است (شکل ٥ و ٦). احاطه شدن ذرات به‌وسیلهٔ گازوییل و وجود آب در خاک به‌صورت هم‌زمان قرارگیری ذرات ریز در بین ذرات درشت‌تر را تسهیل می‌بخشد، به‌گونه‌ای که گازوییل سطح ذرات را لغزنده و آب سبب جابه‌جایی و ایجاد آرایش جدید در ذرات می‌شود. هم‌چنین میزان آب جذب شده به‌وسیلهٔ ذرات کاهش می‌یابد. در نتیجه میزان آب بین دانه‌ای لازم برای لغزیدن ذرات روی هم کاهش می‌یابد و خاک با رطوبت کم‌تر به حداکثر چگالی خشک می‌رسد [۳]. تأثیر آلودگی نفتی روی خواص ژئوتکنیکی خاک‌های ریزدانه به‌وسیلهٔ کرمانی و عبادی بررسی شد. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که افزایش میزان نفت به خاک، باعث افزایش حداکثر دانسیته خشک و کاهش درصد رطوبت بهینه می‌شود [۱۹]. شایان ذکر است که انجام آزمایش تراکم‌پذیری به‌وسیلهٔ میگودا و راتنویرا روی دو نوع رس آلوده با پلاستیسیته کم و زیاد،

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

نشان‌دهندهٔ افزایش تراکم‌پذیری بوده است [۲۰]. بنابراین می‌توان دریافت که تراکم‌پذیری خاک وابسته به نوع ماده آلاینده، جنس رسوبات و نوع آزمایش انجام شده است.



شکل ۵. تغییرات درصد رطوبت بهینه در مقابل گازوییل



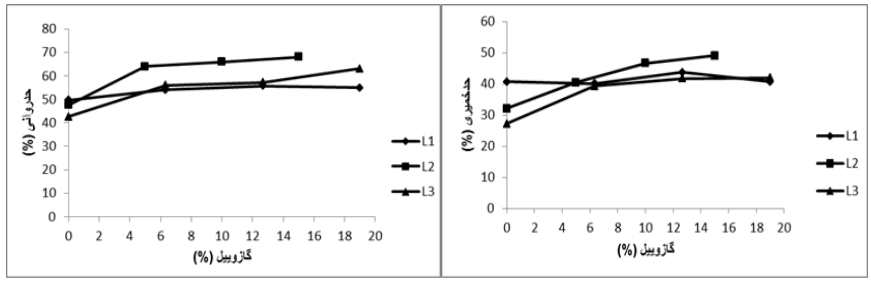
شکل ٦. تغییرات وزن واحد حجم خشک حداکثر در مقابل گازوییل

۱-۲. تحلیل نتایج آزمایش حدود آتربرگ

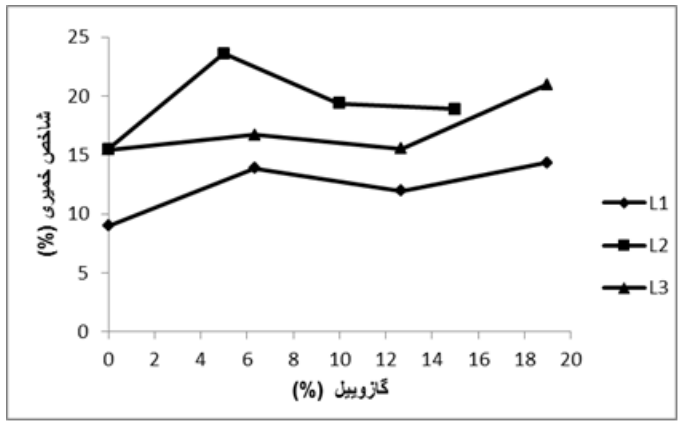
نتایج حاصل از آزمایش‌های تعیین حدود آتربرگ نشان می‌دهد که با افزایش درصد گازوییل حدود روانی و خمیری خاک در هر سه لایه روندی افزایشی داشته‌اند که این روند در لایه میانی بیشتر بوده است (شکل ۷). مقادیر شاخص خمیری نیز، در هر سه لایه خاک در حالت آلوده بیش‌تر از حالت غیرآلوده است. چنان‌که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، پارامتر شاخص خمیری در حالت آلوده مقادیر یک‌نواختی را نشان نمی‌دهد. به‌طوری‌که در لایهٔ بالایی و پایینی میزان شاخص خمیری در ۷ و ۱۹ درصد آلودگی افزایش، و در ۱۳ درصد آلودگی مقدار کم‌تری را نشان می‌دهد. اما در لایهٔ میانی مقدار این پارامتر در ۷ درصد آلودگی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

بیش از سایر درصدهای آلودگی است.



شکل ۷. تغییرات حد روانی و حد خمیری در مقابل گازوییل



شکل ۸. تغییرات شاخص خمیری در مقابل گازوییل

اگر از آب به‌عنوان سیال منفذی استفاده شود، تأثیر فاکتورهای مکانیکی یک‌سان باقی می‌ماند، چنان‌چه به‌جای آب از سیال آلی استفاده شود، ویژگی‌های فیزیکی سیال به‌عنوان مثال ویسکوزیته، روی حد روانی تأثیر دارد. به‌عبارت دیگر افزایش ویسکوزیته باعث مقاومت بیش‌تر یا نیروی کششی ایجاد شده مانع از حرکت ذرات می‌شود و از این رو حد روانی بالاتر می‌رود [۲۰].

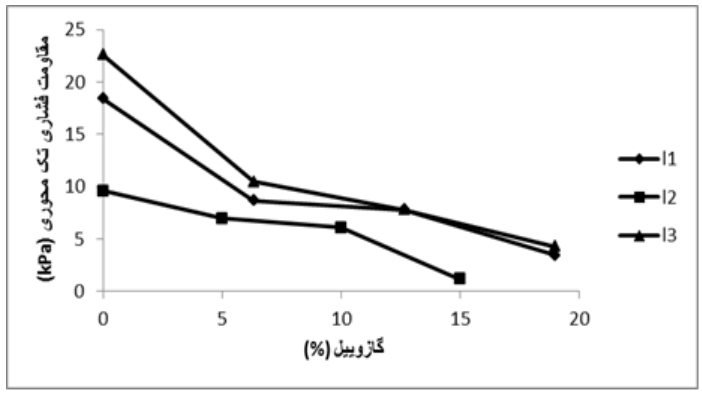
۱-۳. تحلیل نتایج آزمایش تعیین مقاومت فشاری تک‌محوری

طبق نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری، مشاهده می‌شود که مقادیر مقاومت فشاری زهکشی نشده در نمونه‌ها با افزایش درصد گازوییل کاهش یافته است

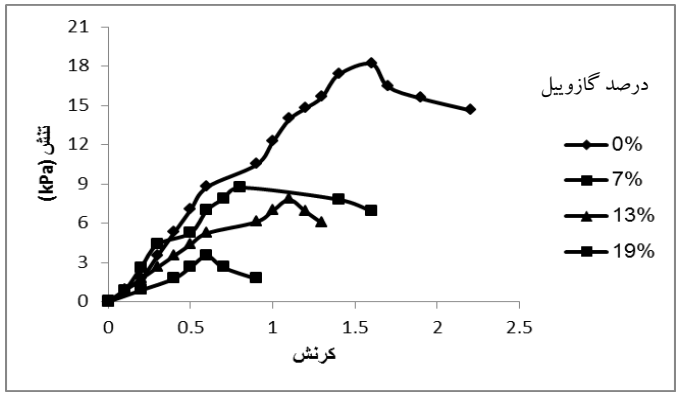
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

(شکل ۹). با افزایش میزان ماده نفتی، اصطکاک بین ذره‌ای به‌دلیل اثر روانکاوی ایجاد شده به‌وسیلهٔ ماده نفتی کاهش یافته و منجر به شکست در دورهٔ زمانی کوتاه می‌شود و در نتیجه مقاومت کاهش می‌یابد [۱۸]. هم‌چنین نمودارهای تنش-کرنش هر سه لایه خاک با درصدهای مختلف آلودگی در شکل‌های ۱۰، ۱۱و ۱۲ نشان داده شده است. در آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری، مقاومت برشی خاک (τ_f) نصف مقاومت فشاری محدود نشده (q_u) است و مقاومت برشی نشان‌دهندهٔ چسبندگی (Cu) خاک است.

$$\tau f = \frac{\sigma 1}{2} = \frac{q2}{2} = C$$

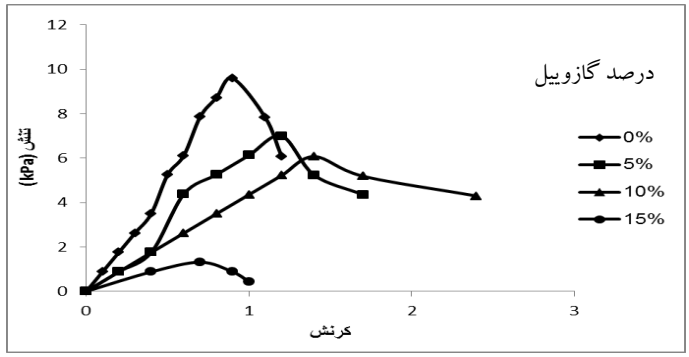


شکل ۹. تغییرات مقاومت فشاری تک‌محوری در مقابل گازوییل

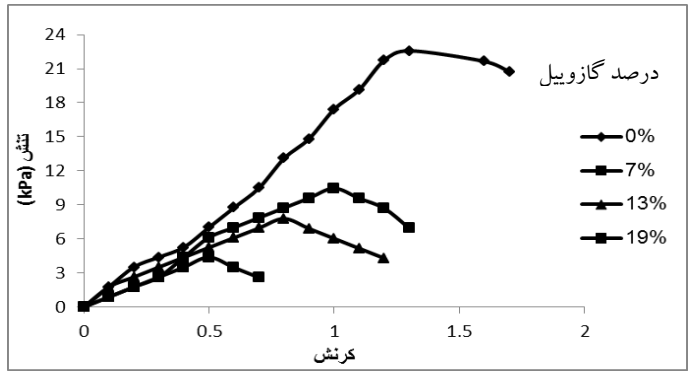


شکل ۱۰. نمودار مقاومت فشاری تک‌محوری خاک‌های آلوده لایهٔ بالایی (L1)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]



شکل ۱۱. نمودار مقاومت فشاری تک‌محوری خاک‌های آلوده لایه میانی (L2)



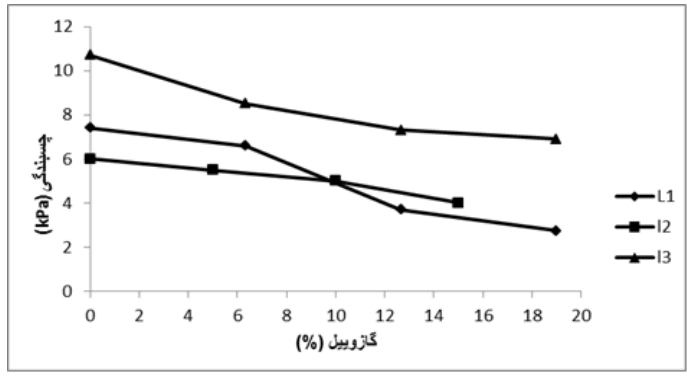
شکل ۱۲. نمودار مقاومت فشاری تک‌محوری خاک‌های آلوده لایهٔ پایینی (L3)

۱-٤. تحلیل نتایج آزمایش برش مستقیم

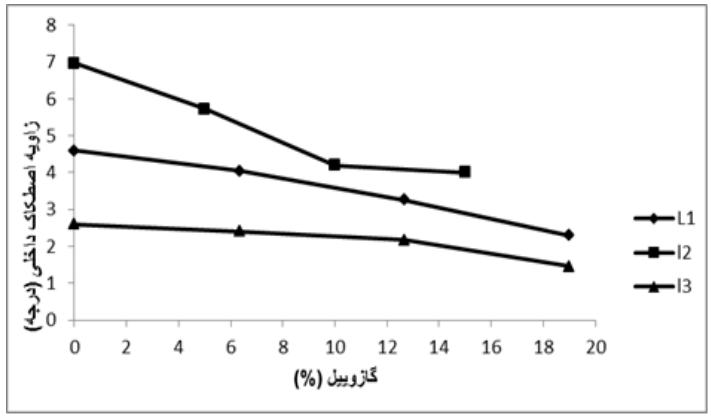
با توجه به نتایج به‌دست آمده از این آزمایش مشاهده شد که با افزایش آلودگی در نمونه‌ها، مقاومت برشی کاهش می‌یابد. در هر سه لایهٔ بررسی شده پارامترهای مقاومت برشی یعنی چسبندگی و زاویهٔ اصطکاک داخلی روند نزولی را دنبال کرده و با افزایش درصد گازوییل مقادیر چسبندگی و زاویهٔ اصطکاک داخلی کاهش می‌یابد. شکل ۱۳ و ١٤مقادیر چسبندگی و زاویهٔ اصطکاک داخلی را در درصدهای مختلف گازوییل نشان می‌دهد. هم‌چنین شکل ۱۵ نمودارهای تغییرات مقاومت برشی هر سه لایه خاک را با درصدهای مختلف آلودگی نشان می‌دهد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]



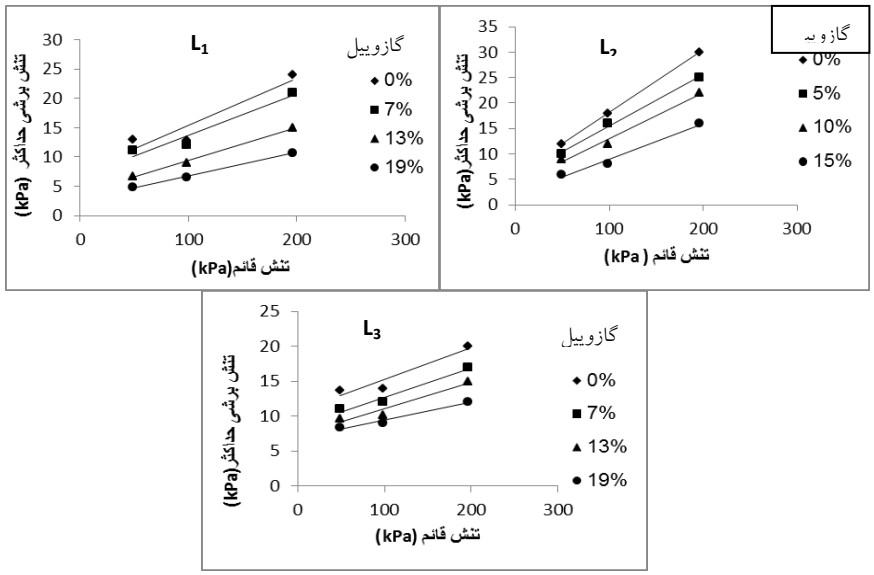
شکل ۱۳. تغییرات چسبندگی در مقابل گازوییل



شکل ١٤. تغییرات زاویهٔ اصطکاک داخلی در مقابل گازوییل

علت کاهش در تنش برشی ترکیب دو اثر فیزیکی و شیمیایی ماده نفتی است. از نظر فیزیکی وجود ماده نفتی سبب آسان شدن لغزش دانه‌های خاک به روی یک‌دیگر در هنگام برش شده که موجب کاهش تنش برشی خاک شده است. از نظر شیمیایی تورم خاک ریزدانه با جذب آب بیش‌تر از جذب نفت است که به‌دلیل آب دوست بودن خاک ریزدانه است [٦]. رجائی تأثیر آلودگی نفتی روی ویژگی‌های مکانیکی ماسه، سیلت و رس را بررسی کرده است. نتایج حاصل از این تحقیق، نشان می‌دهد که با افزایش درصد مواد نفتی به خاک، مقادیر پارامترهای مقاومتی خاک‌ها از جمله مقاومت برشی کاهش می‌یابد [۸]. هم‌چنین جورج و همکاران به بررسی ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک ماسه‌ای آلوده به روغن موتور

پرداختند. نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد که با افزایش میزان روغن موتور به خاک مقاومت برشی خاک کاهش می‌یابد [۱۷].



شکل ۱۵. تغییرات مقاومت برشی هر سه لایه خاک آلوده

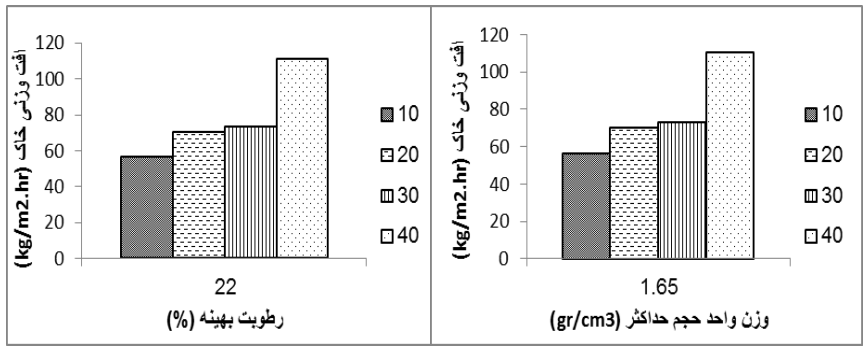
۲. بررسی روابط ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی خاک غیرآلوده با فرسایش‌پذیری

۲-۱. رابطهٔ تراکم با فرسایش‌پذیری

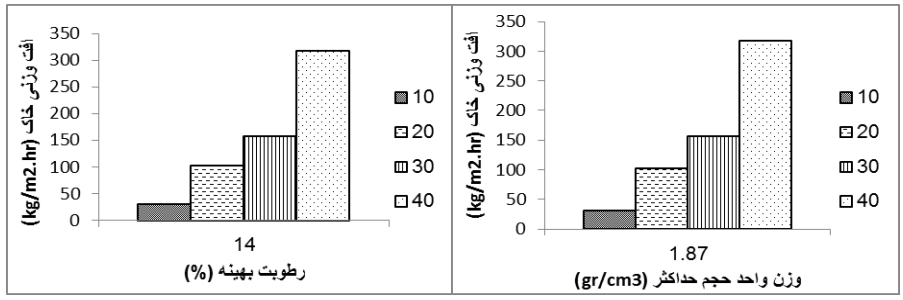
شکل های ۱٦، ۱۷ و ۱۸ مقادیر افت وزنی خاک را نسبت به تراکم برای هر سه لایه خاک در شیب‌های ۱۰ تا ٤۰ درجه نشان می‌دهد. چنان‌که مشاهده می‌شود خاک لایهٔ میانی که دارای تراکم بیش‌تری است مقدار افت وزنی بیش‌تری را نشان داده است. تراکم بالای آن به‌دلیل وجود بخش ریزدانه کم‌تر که نشان از وجود بخش درشت دانه بیش‌تر است، است. در حالی که بخش ریزدانه کم‌تر و یا بخش درشت دانه بیش‌تر به‌دلیل نیاز به نیروی برشی بیش‌تر برای فرسایش، باید فرسایش کم‌تری را نشان دهد. با توجه به این‌که بارزترین مشخصه خاک‌های بررسی شده، درصد زیاد آهک نمونه‌های خاک است، از این‌رو، بخش ریزدانه عمدتاً از ترکیبات آهکی است. از این رو حضور آهک طبیعی کم‌تر در بخش ریزدانه خاک لایه میانی نسبت به لایه‌های بالایی و پایینی می‌تواند باعث مقاومت کم‌تری در مقابل

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

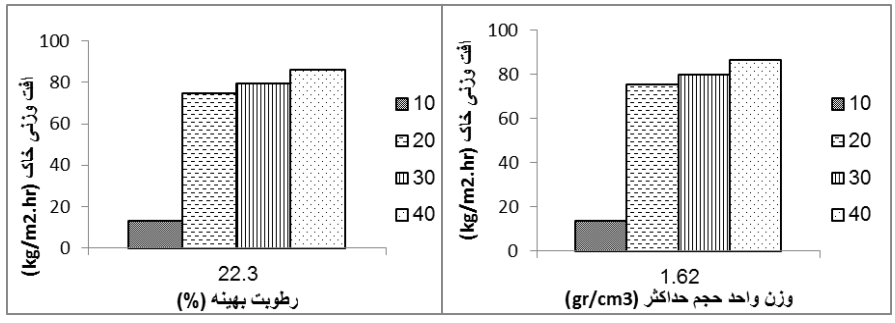
فرسایش شود. هم‌چنین عامل انحلال آهک تحت بارش ناشی از دستگاه شبیه‌ساز باران می‌تواند به فرسایش آهک کمک کند. در تمامی نمونه‌ها شیب بحرانی ٤٠ درجه است.



شکل١٦. رابطه وزن واحد حجم خشک حداکثر و درصد رطوبت بهینه در مقابل فرسایش‌پذیری



شکل١٧. رابطهٔ وزن واحد حجم خشک حداکثر و درصد رطوبت بهینه در مقابل فرسایش‌پذیری لایهٔ میانی



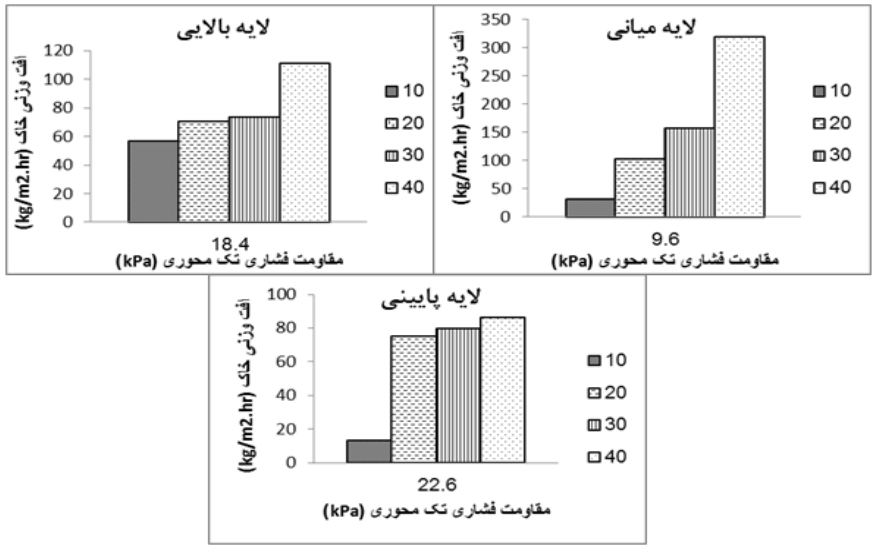
شکل ١٨. رابطهٔ وزن واحد حجم خشک حداکثر و درصد رطوبت بهینه در مقابل فرسایش‌پذیری لایهٔ پایینی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

۲-۲. رابطه مقاومت فشاری تک محوری با فرسایش پذیری

شکل ۱۹ رابطهٔ مقاومت فشاری تک‌محوری و فرسایش‌پذیری را برای هر سه لایه خاک در شیب‌های مختلف ۱۰ تا ٤٠ درجه نشان می‌دهد. چنان‌که مشاهده می‌شود بیش‌ترین مقاومت فشاری متعلق به خاک لایه پایینی به‌دلیل حضور آهک طبیعی بیش‌تر است و بیش‌ترین درصد افت وزنی مربوط به خاک لایه میانی به‌دلیل حضور آهک طبیعی کم‌تر در بخش ریزدانه است.



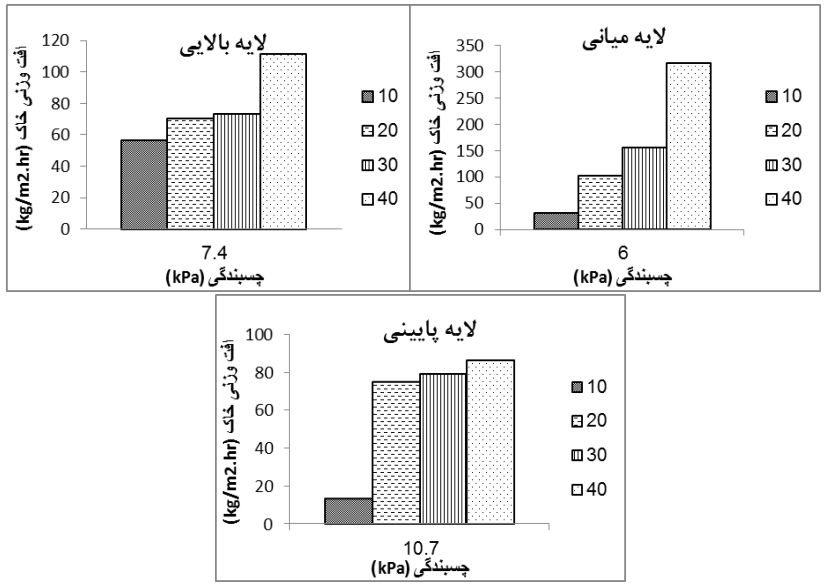
شکل ۱۹. رابطه مقاومت فشاری تک‌محوری با فرسایش‌پذیری سه لایه

۲-۳ . رابطهٔ مقاومت برشی با فرسایش‌پذیری

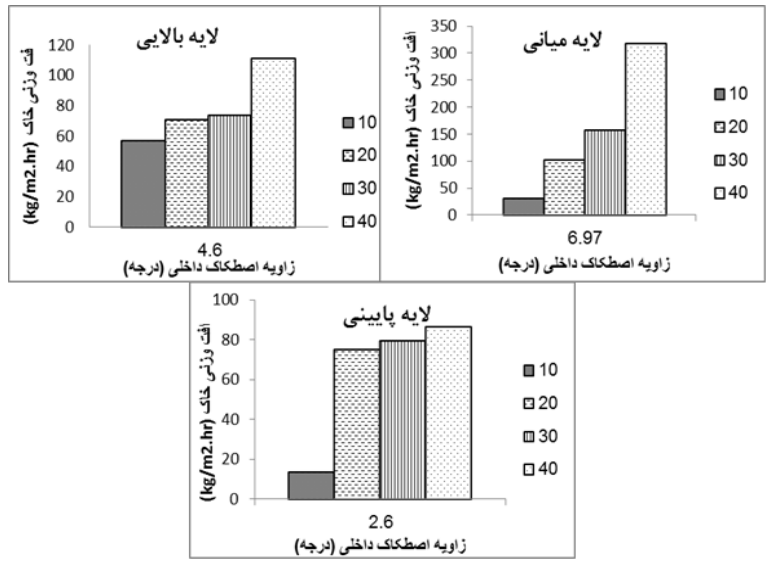
نمودارهای رابطهٔ بین چسبندگی خاک حاصل از آزمایش‌های برش مستقیم با فرسایش‌پذیری سه لایه خاک در شکل ۲۰ آمده است. این نمودارها بیان‌گر این مطلب است که بیش‌ترین افت وزنی خاک مربوط به لایهٔ میانی است، که دارای کم‌ترین میزان چسبندگی است. این موضوع بیان کننده مقاومت کم این لایه در برابر فرسایش است.

هم‌چنین نمودارهای رابطهٔ زاویهٔ اصطکاک داخلی در مقابل میزان افت وزنی خاک‌ها در اثر فرسایش در شکل ۲۱ آورده شده است. روند این نمودارها نشان می‌دهد که لایهٔ میانی

دارای حداکثر فرسایش در شیب بحرانی ٤٠ درجه و حداکثر زاویهٔ اصطکاک داخلی است، و لایهٔ پایینی به‌دلیل مقاومت برشی بیش‌تر، فرسایش کم‌تری دارد.



شکل ۲۰. رابطهٔ چسبندگی با فرسایش‌پذیری سه لایه خاک



شکل ۲۱. رابطهٔ زاویهٔ اصطکاک داخلی با فرسایش‌پذیری سه لایه خاک

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

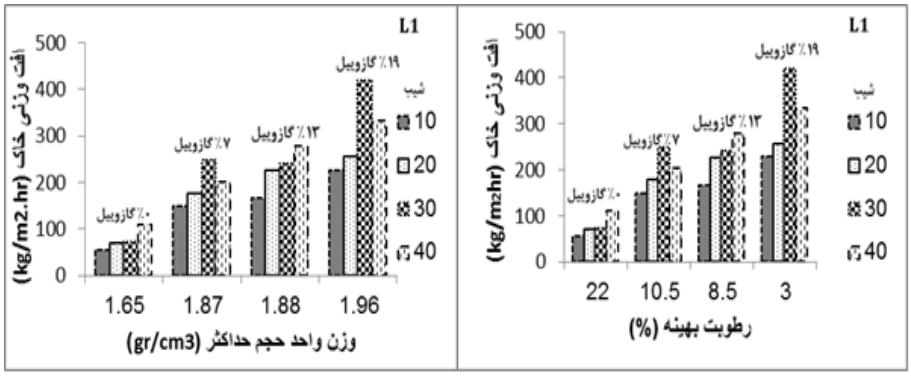
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

۳. بررسی روابط ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی خاک آلوده با فرسایش‌پذیری

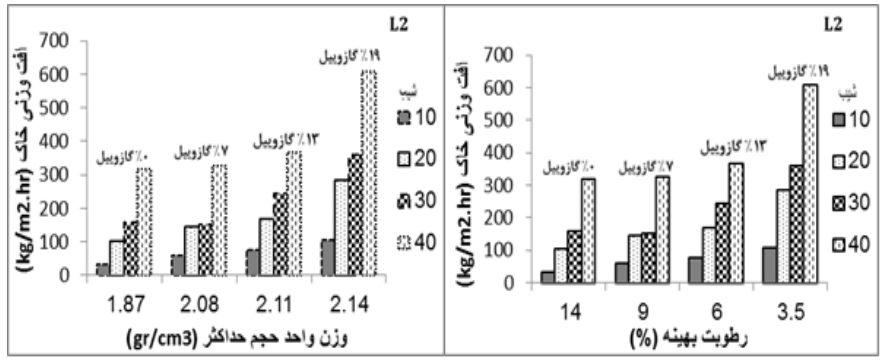
۳-۱. رابطهٔ تراکم خاک آلوده با فرسایش‌پذیری

با توجه به دو فاکتور (وزن واحد حجم خشک حداکثر و درصد رطوبت بهینه) که از آزمایش تراکم استاندارد خاک به‌دست می‌آید و رابطهٔ بین وزن واحد حجم خشک حداکثرخاک‌های آلوده با فرسایش‌پذیری، با افزایش آلودگی، وزن واحد حجم افزایش می‌یابد که به‌دنبال آن مقدار افت وزنی خاک یا به‌عبارتی فرسایش خاک نیز افزایش یافته است. یعنی رابطهٔ مستقیمی بین فرسایش و وزن واحد حجم خشک حداکثر در هر سه لایه خاک آلوده وجود دارد.

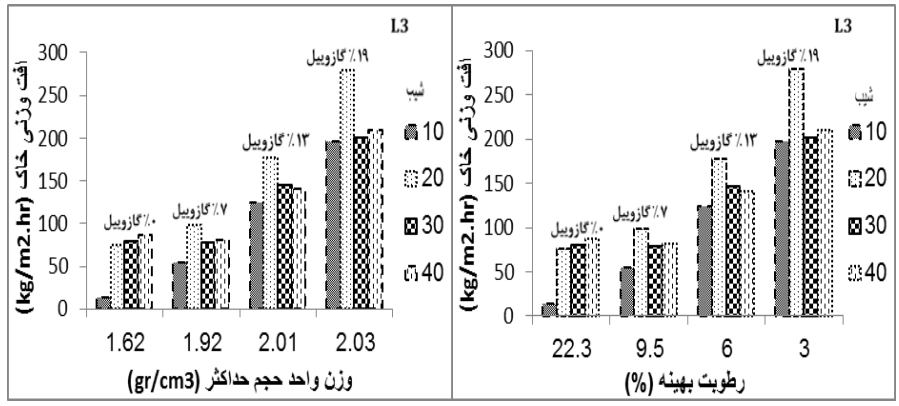
هم‌چنین از بررسی رابطهٔ درصد رطوبت بهینه خاک‌های آلوده با فرسایش‌پذیری چنین برمی‌آید که با افزایش آلودگی و کاهش درصد رطوبت بهینه، مقدار افت وزنی خاک افزایش می‌یابد. به این معنا که رابطهٔ معکوسی بین درصد رطوبت بهینه و فرسایش‌پذیری خاک آلوده وجود دارد. نمودارهای مربوط در شکل‌های ۲۲، ۲۳ و ۲٤ نشان داده شده است.



شکل ۲۲. تغییرات وزن واحد حجم خشک حداکثر و درصد رطوبت بهینه خاک آلوده در مقابل فرسایش‌پذیری (لایه بالایی)



شکل ۲۳. تغییرات وزن واحد حجم خشک حداکثر و درصد رطوبت بهینه خاک آلوده در مقابل فرسایش‌پذیری (لایه میانی)

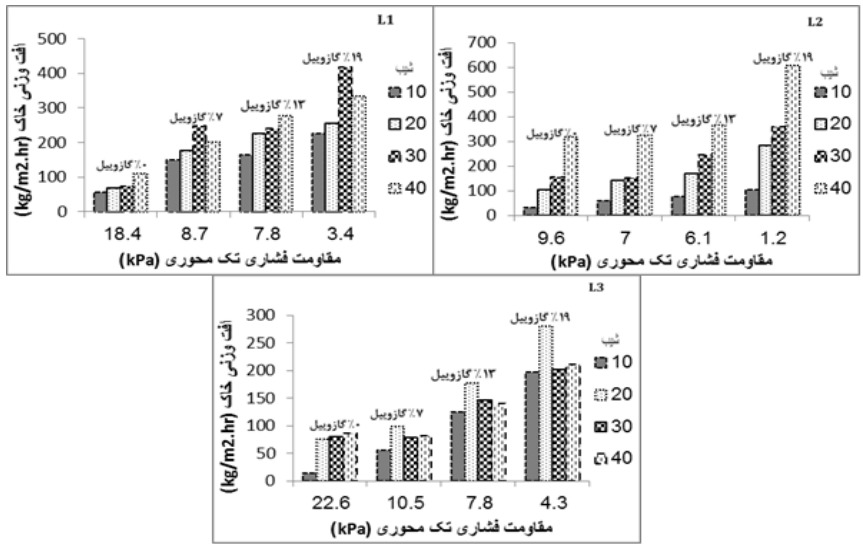


شکل۲٤. تغییرات وزن واحد حجم خشک حداکثر و درصد رطوبت بهینهٔ خاک آلوده در مقابل فرسایش‌پذیری (لایهٔ پایینی)

۳-۲. رابطهٔ مقاومت فشاری تک‌محوری خاک آلوده با فرسایش‌پذیری

رابطهٔ بین مقاومت فشاری تک‌محوری خاک آلوده با افت وزنی خاک در شکل ۲۵ نشان داده شده است. چنان‌که مشاهده می‌شود با افزایش آلودگی و کاهش مقاومت فشاری تک‌محوری، مقاومت خاک در برابر فرسایش کاهش یافته است و در نتیجه یک نسبت عکس بین مقاومت فشاری تک‌محوری خاک آلوده با فرسایش‌پذیری خاک وجود دارد.

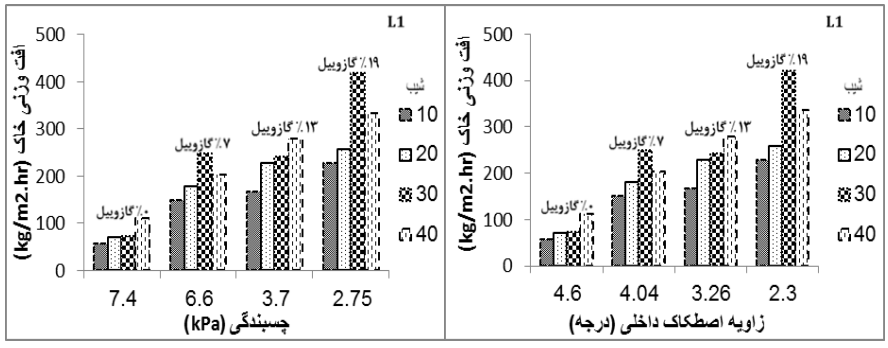
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]



شکل ۲۵. تغییرات مقاومت فشاری تک‌محوری خاک آلوده با فرسایش‌پذیری (سه لایه)

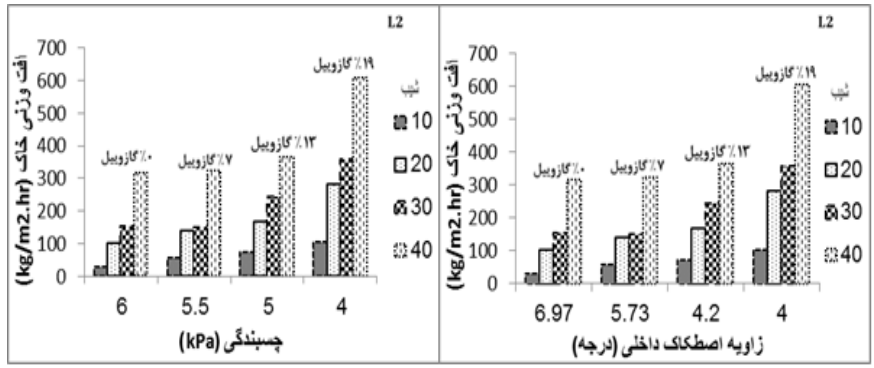
۳-۳. رابطهٔ مقاومت برشی خاک آلوده با فرسایش‌پذیری

مقادیر چسبندگی و زاویهٔ اصطکاک داخلی خاک بر اثر آلودگی کاهش می‌یابند. از این‌رو، چنان‌که در شکل‌های ۲۶، ۲۷ و ۲۸ مشاهده می‌شود بین چسبندگی و زاویهٔ اصطکاک داخلی با افت وزنی خاک، با توجه به افزایش آلودگی رابطهٔ عکس وجود دارد. از این‌رو، هرچه میزان آلودگی بیش‌تر می‌شود چسبندگی و زاویهٔ اصطکاک داخلی کاهش می‌یابد و در نتیجه فرسایش افزایش می‌یابد. که در هر سه لایه نتایج مشابهی نشان می‌دهد.

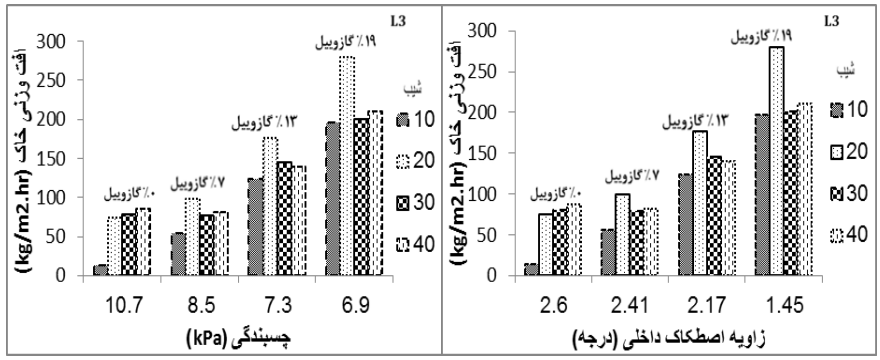


شکل ۲۶. تغییرات مقاومت برشی خاک آلوده در مقابل فرسایش‌پذیری (لایهٔ بالایی)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]



شکل۲۷. تغییرات مقاومت برشی خاک آلوده در مقابل فرسایش‌پذیری (لایهٔ میانی)



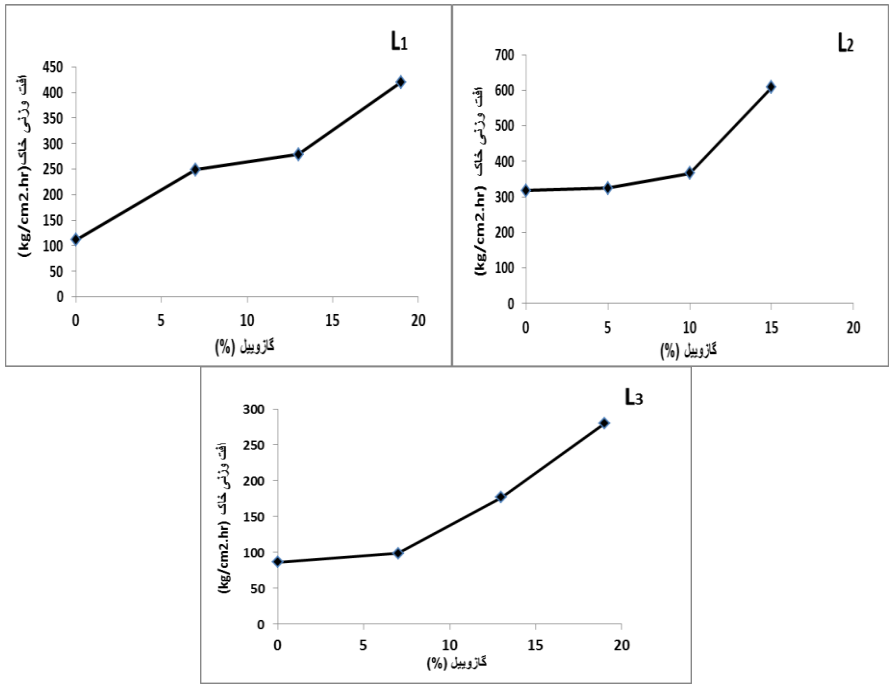
شکل ۲۸. تغییرات مقاومت برشی خاک آلوده در مقابل فرسایش‌پذیری (لایهٔ پایینی)

٤. بررسی روابط حداکثر مقادیر فرسایش خاک آلوده و غیرآلوده

با توجه به نتایج حاصل از آزمایش‌های فرسایش‌پذیری روی خاک غیرآلوده مشخص شد که حداکثر میزان فرسایش در هر سه لایه خاک غیرآلوده در شیب ٤٠ درجه بوده است بنابراین این شیب بحرانی‌ترین شیب از نظر فرسایش برای هر سه لایه خاک در این منطقه است و بیش‌ترین میزان حفاظت نیز باید برای این شیب صورت گیرد. اما حداکثر میزان فرسایش در خاک آلوده در شیب‌های مختلف بر حسب درصدهای مختلف آلودگی متغیر است بنابراین شیب بحرانی منطقه برای سه لایه خاک آلوده با توجه به میزان آلودگی متغیر بوده و یک‌سان نیست.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

شکل ۲۹ نمودارهای مربوط به مقادیر فرسایش را در درصدهای مختلف آلودگی برای هر سه لایه خاک نشان می‌دهد. چنان‌که مشاهده می‌شود مقادیر فرسایش با افزایش آلودگی افزایش یافته و در ۱۹ و ۱۵٪ آلودگی در هر سه لایه مقادیر فرسایش بیش‌ترین مقدار را نشان داده است. به‌گونه‌ای که در لایهٔ میانی مقدار فرسایش به‌علت کم‌تر بودن آهک نسبت به دو لایه دیگر (٦٢/١٦٪)، بیش‌تر است. اما لایه پایینی به‌دلیل بیش‌تر بودن آهک (٨٨/٧٢٪) نسبت به لایهٔ میانی و بالایی مقدار فرسایش کم‌تری را نشان داده است. در نتیجه حداکثر مقدار فرسایش در سه لایه خاک در ۱۹ و ۱۵٪ گازوییل تقریباً ۳ برابر مقدار فرسایش در حالت غیرآلوده است.



شکل ۲۹. تغییرات حداکثر مقادیر فرسایش سه لایهٔ خاک در مقابل گازوییل

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]

[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

نتیجه‌گیری

۱. طبق نتایج آزمایش دانه‌بندی نمونه‌ها، سه لایه خاک در محدودهٔ انبار نفت همدان از نوع SM با درصد بالای آهک است.

۲. در هر سه لایه خاک با افزایش درصد گازوییل حدود روانی و خمیری خاک روندی افزایشی داشته‌اند که این روند در لایه میانی بیش‌تر بوده است. مقادیر شاخص خمیری، مقادیر یک‌نواختی را نشان نمی‌دهند ولی به‌طور کلی در خاک‌های آلوده مقادیر شاخص خمیری بیش‌تر از خاک‌های غیرآلوده است.

۳. طبق نتایج حاصل از تراکم خاک آلوده بر فرسایش‌پذیری، خاک لایه میانی که دارای تراکم بیش‌تری است (بخش ریزدانه کم‌تر و بخش درشت‌دانه بیش‌تر)، مقدار افت وزنی بیش‌تری را نشان داده است. این موضوع را می‌توان به این مطلب نسبت داد که حضور آهک طبیعی کم‌تر در بخش ریزدانه خاک لایه میانی نسبت به لایه‌های دیگر می‌تواند باعث مقاومت کم‌تری در مقابل فرسایش شود. هم‌چنین حضور گازوییل هم به این روند کمک کرده و باعث افزایش فرسایش شده است.

۴. در اثر آلودگی خاک‌ها با گازوییل مقاومت خاک‌ها در برابر فرسایش کاهش یافته و مقدار افت وزنی بیش‌تر شده است. در نتیجه مقاومت فشاری تک‌محوری خاک‌های آلوده با فرسایش‌پذیری نسبت عکس دارد.

۵. هر چه میزان آلودگی افزایش می‌یابد چسبندگی و زاویهٔ اصطکاک داخلی کاهش یافته و در نتیجه فرسایش افزایش می‌یابد. بین مقاومت برشی خاک آلوده و فرسایش رابطهٔ معکوسی وجود دارد.

۶. در لایهٔ میانی مقدار فرسایش به‌علت کم‌تر بودن آهک نسبت به دو لایهٔ دیگر (۶۲/۱۶٪)، بیش‌تر است. اما لایهٔ پایینی به‌دلیل بیش‌تر بودن آهک (۸۸/۷۲٪) نسبت به لایهٔ میانی و بالایی مقدار فرسایش کم‌تری را نشان داده است.

۷. حداکثر مقدار فرسایش در سه لایه خاک در ۱۹ و ۱۵ درصد گازوییل تقریباً ۳ برابر مقدار فرسایش در حالت غیرآلوده است.

۸. شیب بحرانی منطقه برای هر سه لایه خاک غیرآلوده ٤٠ درجه است. اما در خاک آلوده شیب بحرانی سه لایه با توجه به نوع پارامتر استفاده شده متغیر بوده و یک‌سان نیست.

۹. با توجه به این‌که مجموعه انبار نفت همدان در محدودهٔ شهری قرار داشته و امکان خطرات زیست‌محیطی حاصل از نشت مواد نفتی به داخل خاک و در پی آن افزایش فرسایش‌پذیری خاک وجود دارد، در این تحقیق سعی شده است این پدیدهٔ مهم به‌صورت کمی و عددی بیان شود تا با بررسی این موضوع به‌وسیلهٔ مدیران مربوط، قدمی در جهت ممانعت از توسعه و نشر آلودگی‌های حاصل به محدوده شهری و هم‌چنین جلوگیری از افزایش فرسایش هر چه بیش‌تر خاک برداشته شود.

منابع

۱. ابری ر.، "بررسی تأثیر برخی از پارامترهای زمین‌شناسی مهندسی بر فرسایش بارانی خاک در بخش بالادست سد اکباتان با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران"، پایان نامهٔ کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشکدهٔ علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان (۱۳۸۲).

۲. اقلیمی ب.، "نقشهٔ ۱:۲۵۰۰۰۰ چهار گوش همدان"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۹ب).

۳. بایزیدی ا.، "بررسی تأثیر آلودگی ناشی از گازوییل بر ویژگی‌های مهندسی خاک‌های سطحی محدودهٔ انبار نفت همدان»، پایان نامهٔ کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشکدهٔ علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان (۱۳۹۰).

۴. حسین‌آبادی ا.، "بررسی تأثیر آلودگی ناشی از گازوییل بر فرسایش‌پذیری خاک‌های سطحی حاشیه انبار نفت همدان با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران»، پایان نامهٔ کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشکدهٔ علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان (۱۳۹٤).

۵. حیدریان ه.، "روش‌های استاندارد نمونه‌های آزمایشگاه مکانیک خاک براساس استاندارد ASTM2000"، انتشارات آوند اندیشه (۱۳۸۷) ۲٤۸ .

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

۶. خوش‌نشین لنگرودی م.، یثربی ش.، محمدی اکبرآبادی م.، "بررسی تأثیر آلودگی نفت خام بر برخی از ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک ماسه‌ای"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۹).

۷. درویش‌زاده ع.، "زمین‌شناسی ایران"، دانشگاه امیرکبیر (۱۳۸۹) ٤٣٤.

۸. رجائی ف.، "تأثیر آلودگی نفتی روی ویژگی‌های مکانیکی ماسه، سیلت و رس"، چهارمین همایش ملی زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور مشهد (۱۳۸۹).

۹. عبدی‌نژاد پ.، فیض نیا س.، پیروان ح.، فیاضی ف.، شعبانی ا.، "ارزیابی تولید رواناب در واحدهای مارنی سازندهای زمین شناسی استان زنجان با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران"، مجله علمی-پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، جلد پنجم، شمارهٔ ۱۷(۱۳۹۰) ۳۳-٤٦.

۱۰. قدیانی م.، حمیدی ا.، "ارزیابی پارامترهای مقاومت برشی خاک رسی آلوده به نفت"، اولین همایش تخصصی زیست پالایی تهران، دانشگاه صنعتی شریف (۱۳۹۲).

۱۱. نقشهٔ گیتا شناسی همراه با راه‌های اصلی (۱۳۸٦).

12.ASTM D 2166-90, "Standard test methods for unconfined compressive strength of cohesive soils", Annual books of ASTM standards (2000).

13. ASTM D 3080. “Standard test method for direct shear test of soils” Annual books of ASTM standards (2000).

14. ASTM D 422, "Standard test methods for particle size analysis of soils", Annual books of ASTM standards (2000).

15. ASTM D 4318-87, "Standard test method for liquid limit, plastic limit and plasticity index of soil", Annual books of ASTM standards (2000).

16.ASTM D 698, "Standard test methods for laboratory compaction characteristic", Annual books of ASTM standards (2000).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1398.13.2.8.1]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.13.2.289]

17. George S., EA A., Sabu B., NP K., George M., "Study on geotechnical properties of Disel oil contaminated soil", International Journal of Civil and Structural Engineering Research, Vol. 2(2015) 113-117.

18. Ijimdiya T. S., "The Effects of oil contamination on the consolidation properties of Lateritic soil", Development and Applications of Oceanic Engineering (DAOE), Vol. 2 (2013) 53-59.

19. Kermani M., Ebadi T., "The Effect of oil contamination on the geotechnical properties of fine-grained soils", Soil and Sediment contamination, An International Journal, Vol. 21(2012) 655-671.

20. Lerner D. N., "Urban Groundwater Pollution", Taylor & Francis e-Library (2005).

21. Meegoda N. I., Ratnaweera P., "Compressibility of contaminated fine soil" Journal of Geotechnical testing, 17(1) (1994) 101-112.

22. Morgan R. P. C., "Soil erosion and conservation", Second edition, National Soil Resources Institute, Cranfield University (1995).

23. Naeini S. A., Shojaedin M. M., "Effect of oil contamination on the Liquefaction behavior of sandy soils", International Journal of Environmental, Earth Science and Engineering Vol. 8 (5) (2014) 257-260.

24. Zhang Y., Xiaolin L., Zhang W., Wu X., Zhang J., Han F., "Transport mechanisms of soil-bound mercury in the erosion process during rainfall-runoff events", Vol. 215 (2016) 10-17.