National Conference on Architecture, Civil Engineering,
Urban Development and Horizons of Islamic Art
in the Second Step Statement of the Revolution
Tabriz Islamic Art University / 26 November. 2020

کد مجوز ISC وزارت علوم
۹۹۲۰۰-۱۹۶۲۶

بررسی تاثیر حضور گازوئیل بر حدود آتربرگ خاک های ماسه رسی

نسیبه سادات وزیری[۱] *، محمد غفوری[۲]، جعفر بلوری بزاز[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، nasibehsadat68@gmail.com
۲- استاد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ghafoori@um.ac.ir
۳- استاد گروه عمران- ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، bolouri@um.ac.ir

چکیده

در اثر فرآیندهای فیزیکی- شیمیایی که بین خاک و آلاینده‌های نفتی رخ می‌دهد خصوصیات مهندسی خاک ها تغییر می‌کند. لذا بررسی تغییر خصوصیات خاک در اثر این نوع از آلودگی ها حائز اهمیت می‌باشد. در این پژوهش با آلوده کردن خاک توسط ۸ درصد گازوئیل در محیط آزمایشگاهی به بررسی تأثیر این آلاینده بر روی حدود آتربرگ (حد روانی) خاک ماسه رسی طی بازه های زمانی ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روز پرداخته شد. نتایج این آزمایش نشان داد که افزودن گازوئیل به خاک مورد نظر باعث کاهش حد روانی می‌گردد ولیکن مدت زمان حضور گازوئیل در خاک مورد آزمایش تا ۴۲ روز تاثیر چندانی در نتایج آزمایش حد روانی خاک ندارد. تصاویر گرفته شده از نمونه خاک شاهد (فاقد آلودگی) و خاک‌های حاوی آلاینده گازوئیل نشان داد که افزودن گازوئیل به خاک موجب افزایش تخلخل کل و کاهش تخلخل مفید در بین ذرات خاک می‌شود.

واژه‌های کلیدی: حدود آتربرگ، حد روانی، خصوصیات مهندسی، خاک ماسه رسی، گازوئیل

۱- مقدمه

به دلیل نفت خیز بودن کشورمان و مصرف بالای مواد نفتی و افزایش تعداد تاسیسات نفتی که عمدتا داخل یا روی خاک احداث می‌گردند، آلودگی خاک به مواد نفتی یکی از معضلات اساسی در زمینه‌های های مختلف از جمله مهندسی و محیط زیست می باشد [۱]. آلودگی‌های ناشی از فرآورده‌های نفتی معمولا از طریق نشت و یا تراوش از مخازن نگهداری فرآورده‌های نفتی و حمل و نقل و توزیع این مواد می‌باشد با این وجود فرار تصادفی از پالایشگاه‌ها در اثر حوادث و یا سهل‌انگاری نیز وجود دارد که در این شرایط ممکن است مقادیر قابل توجهی از هیدروکربن‌ها در دوره‌های طولانی به طبیعت وارد گردد. حفاری و گودبرداری در مناطق آلوده به مواد نفتی یکی از روش‌های معمول بهسازی است، اما این روش تنها مشکل را از نقطه‌ای به نقطه دیگر منتقل می‌کند [۲]. هر نوع آلودگی به طور مستقیم و یا غیر مستقیم بر روی ویژگی‌های خاک‌های سطحی تاثیر می‌گذارد. مثلا ریزش باران بر روی خاک‌های آلوده شده می تواند باعث انتقال آلودگی به سیستم آب‌های زیرزمینی شود. اگر آب آلوده در مجاورت پی‌های سازه قرار گیرد و یا اگر از آب و یا خاک آلوده به جهت ساختن بتن استفاده شود باعث می‌شود که کارایی و دوام بتون تحت تاثیر قرار گیرد. در ساخت خاکریزها و سدهای خاکی نیز آلودگی می‌تواند بر روابط دانسیته رطوبت خاک متراکم شده تاثیر بگذارد. به همین دلیل بررسی میزان آلودگی

خاک و تاثیر این آلودگی بر خصوصیات مهندسی خاک و همچنین تدبیر روش های نوین و اقتصادی جهت پاکسازی هیدروکربن های نفتی از محیط در مقیاس وسیع ضروری می باشد [۳].

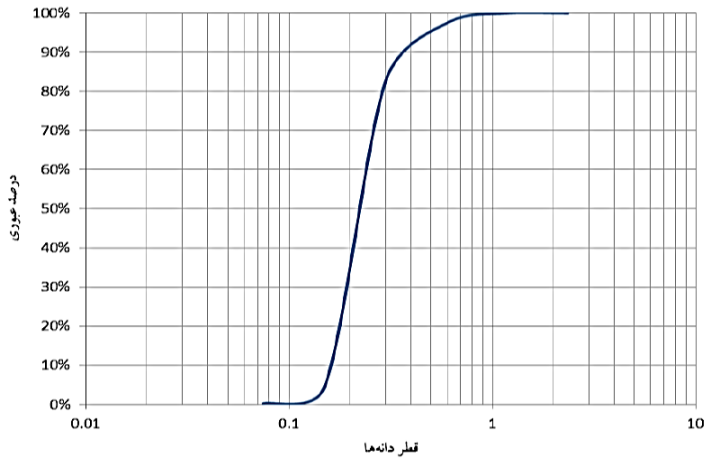
افزایش میزان آلودگی در خاک‌ها به‌خصوص ذرات سیلت و رس باعث کاهش حدود خمیری و روانی و خواص پلاستیسیته خاک می‌شود. دلیل این امر این است که ذرات باردار رس که تمایل به جذب آب دارند در زمان حضور مواد نفتی مواد نفتی با ذرات رس ایجاد پیوند می‌کنند و مانع از اتصال مولکول‌های آب می‌شود [۴]. نتایج آزمایش حدود آتربرگ نشان می‌دهد که با افزایش آلودگی در خاک تغییرات شاخص خمیری هم افزایش می‌یابد و در آزمون SEM هم خاک بدون آلودگی با ساختار پراکنده و واگرا در زمان ایجاد آلودگی و افزایش آن، به ساختار متراکم و توده ای تبدیل می‌شود [۵]. افزایش آلودگی سبب افزایش دامنه‌ی خمیری خاک می‌شود [۶].

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان در زمان برخورد با این‌گونه از آلودگی نفتی موجود در خاک، در طراحی‌های مهندسی و ساخت انواع پروژه‌ها عمرانی و راه‌سازی رفتار خاک را پیش‌بینی نموده و تمهیدات لازم را جهت بهسازی خاک انجام داد.

۲. ارسال مواد و مصالح مورد استفاده

۲-۱- ماسه

خاک ماسه مورد استفاده در این پژوهش، ماسه‌ی استاندارد فیروزکوه ۱۶۱ (ریزدانه) است. این ماسه دارای رنگ زرد متمایل به طلایی است و دانه‌بندی یکنواختی دارد که از نوع شکسته سیلیسی بوده و به شکل صنعتی توسط سنگ‌شکن در شمال کشور تولید می‌شود. آزمایش دانه‌بندی این ماسه بر مبنای استاندارد ASTM D-422 انجام گرفته است [۷]. این ماسه طبق سیستم طبقه‌بندی متحد از نوع SP است. D50 برای این ماسه ۰/۲۳ میلی‌متر است. Cc و Cu برای این ماسه به ترتیب ۱/۹ و ۰/۸۸ و چگالی ویژه دانه‌ها ۲/۶۵ است. دیگر خصوصیات این ماسه در جدول ۱ و منحنی دانه بندی خاک ماسه‌ای در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱: منحنی دانه بندی خاک مورد مطالعه (ماسه فیروزکوه ۱۶۱)

با توجه به ضریب دانه بندی و ضریب یکنواختی، خاک مورد استفاده در این مطالعه در گروه بد دانه بندی شده (SP) جای می‌گیرد. مشخصات دقیق این ماسه در جدول ۱ ارائه شده است.

کد مجوز ISC وزارت علوم
۹۹۲۰۰-۱۹۶۲۶

جدول ۱: مشخصات ماسه استاندارد فیروزکوه ۱۶۱

چگالی ویژه (Gs)	۲/۶۴
اندازه موثر دانه ها (mm)	۰/۱۷
ضریب یکنواختی	۱/۵۹
ضریب نفوذپذیری (m/s)	۵ × ۱۰-۵
رطوبت بهینه (٪)	۱۲/۶
وزن مخصوص خشک حداکثر (KN/m3)	۱۶

۲-۲- رس

رس مورد استفاده در این پژوهش که برای تهیه ماسه رس دار بکار رفته نوعی رس مصنوعی از نوع کائولن با نام تجاری ZWNK1-T می‌باشد که از فروشگاه وسایل شیمیایی کیان شیمی خریداری شده است که دارای مشخصات ارائه شده در جدول ۲ می باشد.

جدول ۲: مشخصات رس کائولینیت مورد استفاده در این پژوهش

چگالی ویژه (Gs)	۲/۱۸
حد خمیری (PL)	۲۱
حد روانی (LL)	۳۵
شاخص پلاستیسیته (PI)	۱۴

علت استفاده از رس کائولن در این پژوهش خنثی بودن آن از نظر شیمیایی می باشد. بدلیل استفاده از نانورس مونت موریلونیت در مرحله بهسازی خاک آلوده و بدلیل خواص تبادل کاتیونی و فعالیت شیمیایی آن، رس مورد استفاده در ترکیب خاک را از نوع کائولن که از نظر شیمیایی کاملا خنثی می باشد انتخاب نمودیم. لازم به ذکر است که مفاهیم نانورس و ذرات با ابعاد و اندازه رس کاملا متفاوت می باشند.

۲-۳- گازوئیل

گازوئیل یا نفت گاز یا سوخت دیزل به عنوان سوخت موتورهای دیزلی و تأسیسات حرارتی بکار می‌رود. محدوده هیدروکربن‌های آن بین C_{14}-C_{20} و حتی C_{25} با دامنه نقطه جوش ۳۸۵-۲۵۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. نفت گاز عمدتاً از سه گروه پارافینیک ، نفتنیک و آروماتیک تشکیل شده است که دارای حداقل نقطه اشتعال $54^{°C}$ و ماکزیمم نقطه ریزش $0^{°C}$ می‌باشد. دانسیته آن در دمای $15/6^{°C}$ برابر با ۸۶۰-۸۲۰ kg/m^3 می‌باشد. مشخصات دقیق گازوئیل به کار رفته در این پژوهش در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: مشخصات فنی گازوئیل مورد استفاده بعنوان آلاینده

محدوده هیدروکربن C_{14} - C_{20}	۲/۶۴
دمای اشتعال (درجه سانتیگراد)	۲۲
دانسیته (Kg/m^3)	۳۴
نقطه ریزش (درجه سانتیگراد)	۰
دمای احتراق (درجه سانتیگراد)	۱۱۰

کد مجوز ISC وزارت علوم
۹۹۲۰۰-۱۹۶۲۶

۳. شرایط آماده سازی نمونه ها

جهت انجام این پژوهش حدود ۶۰ کیلوگرم خاک ماسه رس‌دار به نسبت ۷۰ درصد ماسه استاندارد ۱۶۱ فیروزکوه و ۳۰ درصد رس صنعتی کائولینیت در محیط آزمایشگاه تهیه شد. خاک‌ها کاملا خشک بوده بنابراین با افزودن ۱۲درصد رطوبت (رطوبت اپتیمم حاصل از نتایج آزمایش تراکم) به آن ها در مرحله اول آزمایش های ژئوتکنیکی نمونه خاک سالم (شاهد) انجام شد. پس از آن خاک های حاوی ۱۲ درصد رطوبت توسط ۸ درصد گازوئیل آلوده شد (در این پژوهش میزان گازوئیل بر اساس نسبت وزن گازوئیل به وزن تر خاک تعریف شد). پس از اختلاط کامل خاک و آلاینده گازوئیل، خاک ها در ظرف های پلاستیکی فشرده ضخیم دربدار به دور از نور، رطوبت و اکسیژن (به گونه ای که نیمی از ظرف جهت هم زدن خاک خالی باشد)، تا مدت زمان عمل‌آوری نگهداری شد. در شکل ۲ شرایط نگهداری نمونه خاک ها در آزمایشگاه و در شکل ۳ تصویری از اختلاط سخت آب با نمونه خاک آلوده به مواد نفتی نشان داده شده است.

شکل ۲: شرایط نگهداری خاک های آلوده شده توسط گازوئیل در آزمایشگاه

شکل ۳: عدم اختلاط آسان آب با نمونه های SC آلوده به مواد نفتی

پس از گذشت ۱۴روز در مرحله دوم آزمایش تراکم پروکتور استاندارد بر روی خاک آلوده به گازوئیل طی دو روز (روز ۱۴ و ۱۵ پس از آلودگی) انجام شد. خاک آلوده حاوی ۱۲ درصد رطوبت اولیه (اپتیمم) و ۸ درصد گازوئیل بوده و در مجموع حاوی ۲۰ درصد مایع بین منفذی می‌باشد. این آزمایش ها بر روی خاک‌های حاوی ۲۸ و ۴۲ روز آلاینده نیز جهت بررسی اثر گازوئیل و همچنین اثر زمان ماندگاری گازوئیل بر پارامترهای مهندسی خاک تکرار گردید.

۴. آزمایش تعیین حدود آتربرگ

از آنجا که نوع خاک مورد استفاده در این پژوهش ماسه رسی می باشد (ماسه بد دانه بندی شده) Non PI بوده و تنها حد روانی آن قابل تعیین است. حد روانی (LL) معرف کمترین مقدار رطوبتی است که خاک رفتاری مشابه مایع را خواهد داشت و بعبارتی از حالت خمیری به حالت روانی تغییر ساختار می‌دهد، درحالی‌که حد خمیری کمترین مقدار رطوبتی است که خاک حالت خمیری از خود نشان می‌دهد و از حالت خمیری به حالت نیمه جامد تغییر می‌کند. همچنین شاخص خمیری اختلاف بین حد روانی و حد خمیری می‌باشد. هرچه حد-روانی خاک بیشتر باشد رطوبت بیشتری لازم است تا خاک از حالت خمیری به مایع تبدیل شود. حدود آتربرگ شاخصی مناسب جهت بیان حالت و طبقه‌بندی خاک‌ها به‌شمار می‌روند که در صورت تغییر خاصیت خمیرایی خاک تأثیر آن را نمایان می‌کنند [۸]. در این پژوهش‌حدود آتربرگ برای خاک ماسه رسی آلوده به گازوئیل طی بازه‌های زمانی ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روز، مطابق استاندارد ASTM-D-4318، با استفاده از دستگاه کاساگرانده حاصل شد [۹]. در شکل ۴ تصویری از دستگاه کاساگرانده استفاده شده نشان داده شده است. در جدول ۴ تقسیم بندی خاک ها بر اساس حد روانی ارائه شده است.

شکل ۴- دستگاه کاساگرانده استفاده‌شده

جدول ۴- تقسیم بندی خاک ها بر اساس حد روانی

نوع خاک	حد روانی
خاک با حد روانی کم	<۳۰
خاک با حد روانی متوسط	۳۰ - ۵۰
خاک با حد روانی زیاد	۵۰ - ۷۰
خاک با حد روانی خیلی زیاد	>۷۰

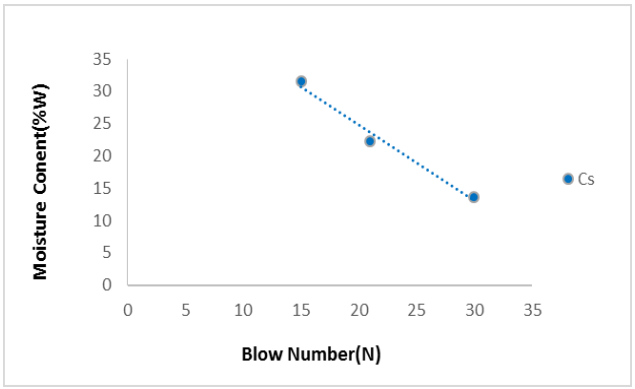
۴-۱- نتایج آزمایش تعیین حدود روانی

با توجه به این‌که خاک مورد مطالعه، حاوی ۷۰٪ ماسه است، فاقد نشانه خمیری (PI) می‌باشد و تنها حد روانی (LL) برای آن قابل اندازه-گیری است. شکل ۵ تصویری از نحوه انجام آزمایش حد روانی بر روی خاک آلوده به گازوئیل را نشان می‌دهد. نمودار مقایسه داده های حد روانی خاک آلوده به گازوئیل طی بازه های زمانی مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است که در آن Cs (G-0) یا Control soil خاک سالم و فاقد آلاینده گازوئیل و G (Gas oil) نشان دهنده خاک محتوی آلاینده گازوئیل می‌باشد. در شکل های ۶ الی ۱۰ نتایج آزمایش تعیین حد روانی بر روی خاک ماسه رسی فاقد آلاینده و محتوی آلاینده طی زمان‌های ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روز ارائه شده است.

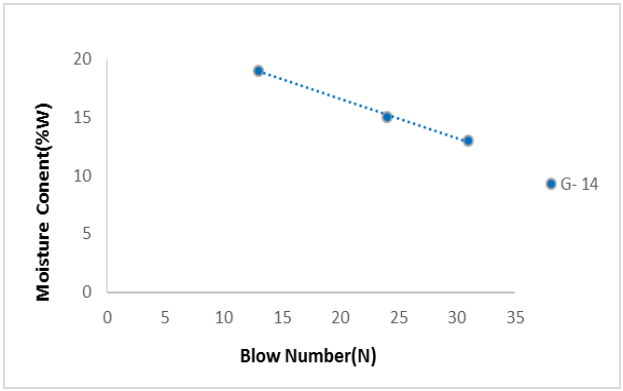
شکل ۵- انجام آزمایش حد روانی بر روی خاک محتوی گازوئیل (سن ۴۲ روز)

جدول ۵- نتایج آزمایش حدروانی خاک های سالم و خاک آلوده به گازوئیل

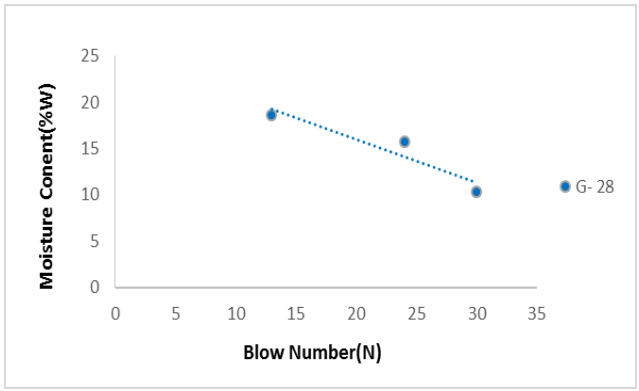
نوع خاک و افزودنی	درصد	مدت زمان عمل آوری	حد روانی (LL)
سالم	–	۰	۱۸/۲
آلوده	۸٪	۱۴	۱۴/۹۰
	۸٪	۲۸	۱۳/۶۱
	۸٪	۴۲	۱۳/۳۹



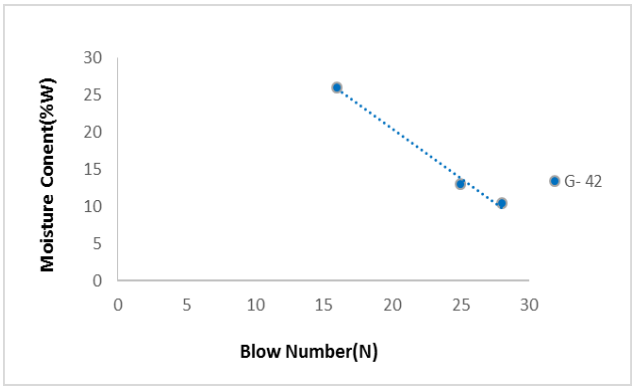
شکل ۶- نمودار حد روانی خاک شاهد (فاقد آلاینده)



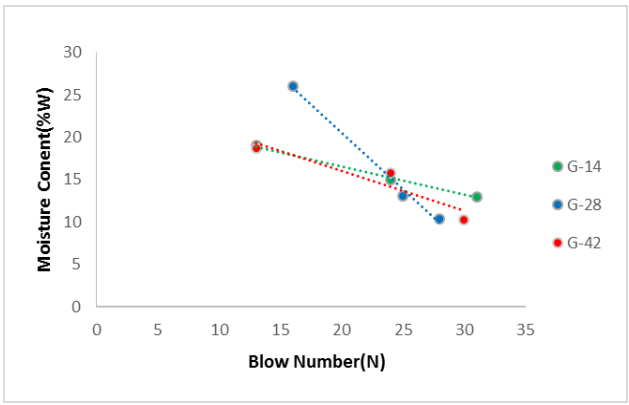
شکل ۷- نمودار حد روانی خاک آلوده به ٪۸ گازوئیل در سن ۱۴ روز



شکل ۸- نمودار حد روانی خاک آلوده به ۸٪ گازوئیل در سن ۲۸ روز



شکل ۹- نمودار حد روانی خاک آلوده به ۸٪ گازوئیل در سن ۴۲ روز



شکل ۱۰- مقایسه داده های حد روانی خاک آلوده به ۸٪ گازوئیل طی بازه های زمانی مختلف

همانگونه که در نتایج جدول ۵ و نمودارهای فوق مشاهده می‌گردد با افزودن گازوئیل به خاک، حد روانی شروع به کم شدن می‌کند؛ دلیل این امر را می‌توان به وجود مولکول‌های آب اطراف ذرات رس باردار نسبت داد که کمتر از مایع غیر قطبی احاطه کننده خاک است، گازوئیل می‌تواند سریع‌تر در تماس با ذرات باردار خاک قرار بگیرد و به همین دلیل است که مانع تأثیر بین آب و ذرات (رس) خاک می‌شود و در ادامه با انجام آزمایش طی بازه های زمانی مختلف ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روز ملاحظه شد که مدت زمان حضور گازوئیل در خاک مورد آزمایش تا ۴۲ روز تاثیر چندانی در نتایج حد روانی خاک ندارد. مطابق تقسیم بندی جدول فوق خاک مورد آزمایش در تمامی مراحل در رده حد روانی کم تقسیم بندی می‌شود.

۵. مقاطع میکروسکوپی

به دلیل وجود آلودگی نفتی در خاک های مورد بررسی، گرفتن تصاویر SEM فقط در صورت شستشوی نمونه ها با اسید امکان پذیر بود (بدلیل آسیب دیدن دستگاه عکس برداری) که در این صورت بافت و ساخت خاک به کلی از بین می‌رفت. از این‌رو جهت بررسی تغییرات ایجاد شده در اثر افزودن گازوئیل نمونه‌ها در زیر میکروسکوپ نوری پیناکولار بررسی شدند. تصاویر میکروسکوپی مربوط به نمونه خاک شاهد و نمونه خاک‌های آلوده به گازوئیل (۱۴ و ۴۲ ورزه) در شکل ۱۱ (الف و ب و ج) ارائه شده است.

شکل ۱۱- الف) نمونه خاک ماسه رسی سالم ب) خاک محتوی گازوئیل پس از ۱۴ روز ج) خاک محتوی گازوئیل پس از ۴۲ روز

در شکل ۱۱- الف تصویر میکروسکوپی از مقطع خاک سالم مورد آزمایش نشان داده شده که این تصویر بیانگر ساختار غیر چسبنده‌ی تک‌دانه‌ای ذرات خاک است؛ همین‌طور فضای خالی بین ذرات (تخلخل مفید) در این نوع خاک تقریبا زیاد است. تصاویر گرفته شده از نمونه های حاوی گازوئیل با سن ۱۴ روز و ۴۲ روز به ترتیب در شکل‌های ۱۱- ب و ۱۱- ج نشان می‌دهد که با افزودن آلاینده گازوئیل به نمونه خاک شاهد، خاک حالت فلوکوله پیدا کرده و ساختار پراکنده‌ی خاک به ساختار توده‌ای تبدیل می‌شود. همچنین مساحت سطح مخصوص خاک کاهش می‌یابد که این کاهش سطح مخصوص خاک، تأیید کننده‌ی کاهش مقاومت خاک در حضور آلاینده گازوئیل می-باشد. بطور کلی بررسی مقاطع میکروسکوپی پیناکولار در شکل فوق نشان می‌دهد که افزودن گازوئیل به خاک باعث تجمع و به هم چسبیدن ذرات خاک در برخی مناطق در نتیجه سبب افزایش تخلخل کلی خاک و کاهش تخلخل مفید خاک می‌گردد.

۶. نتیجه گیری

افزودن گازوئیل به خاک ماسه رسی ، باعث کاهش حد روانی می‌گردد دلیل این امر را می‌توان به وجود مولکول‌های آب اطراف ذرات رس باردار نسبت داد که کمتر از مایع غیر قطبی احاطه کننده خاک است، گازوئیل می‌تواند سریع‌تر در تماس با ذرات باردار خاک قرار بگیرد و به همین دلیل است که مانع تأثیر بین آب و ذرات (رس) خاک می‌شود. مدت زمان حضور گازوئیل در خاک مورد آزمایش تا ۴۲ روز تاثیر چندانی در نتایج آزمایش حد روانی خاک ندارد. همچنین با افزودن گازوئیل به خاک شاهد، خاک حالت فلوکوله پیدا کرده و ذرات خاک در مناطقی تجمع یافته و به هم می‌چسبند در نتیجه باعث افزایش تخلخل کلی خاک و کاهش تخلخل مفید شده و از سوی دیگر مساحت سطح مخصوص خاک کاهش می‌یابد. حالت تجمعی ذرات خاک محتوی گازوئیل با گذشت زمان در نمونه ۴۲ روز کمتر شده که می‌تواند بدلیل ته نشست گازوئیل در انتهای ظرف نمونه باشد.

کد مجوز ISC وزارت علوم
۹۹۲۰۰-۱۹۶۲۶

۷. مراجع

[۱] خامه چیان، ماشاءالله، چرخابی، امیرحسین و تاجیک، مجید، ۱۳۸۳، "ارزیابی تاثیر نفت خام بر تراکم پذیری رسوبات"، هشتمین انجمن زمین شناسی ایران.

[2] Kostecki P., T., Calabrese E., J., 1990, Petroleum contaminated soils, Lewis Publishers.

[3] Puri, V. K. (2000). Geotechnical aspects of oil-contaminated sands. Soil and Sediment Contamination, 9(4), 359-374.

[۴] رجایی، فاطمه، ۱۳۹۱، "مطالعه آزمایشگاهی تاثیر روغن‌موتورسوخته بر خصوصیات ژئوتکنیکی خاک"، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.

[۵] کنگانی، مهران، ۱۳۹۰، "بررسی خواص مکانیکی خاک‌های آلوده به نفت خام"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران (خاک و پی)، دانشکده آب و محیط زیست، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور).

[۶] خسروی، الهه، ۱۳۸۹، "اثر آلاینده‌های نفتی بر پایداری بستر رسی مخازن نفتی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران (محیط زیست)، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

[7] ASTM D422, 2002, Standard test methods for particle size analysis of soils, Annual Booksof ASTM Standards.

[8] Consoli N.C., Montardo J.P. and Pasa G.S., (2002), "Engineering behavior of a sand reinforced with plastic waste", Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, ASCE, 128(6), 462-472.

[9] ASTM D3080, 2002, Standard Test Method for Liquid. Limit and Plastic Limit, Annual Books of ASTM Standards.