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 گازوئیل بر ویژگی‌های تراکمی خاک‌های ماسه رسی

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

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

چکیده

گازوئیل یا نفت گاز یکی از پر مصرف ترین مواد هیدروکربنی می باشد و حجم قابل ملاحظه ای از آن در مخازن زیرزمینی و ایستگاه های سوخت نگهداری می‌شود که در اثر نشت از این مخازن، می‌تواند خاک و آب زیرزمینی مجاور را به شدت آلوده کند. لذا بررسی تغییر خصوصیات خاک در اثر این نوع آلودگی اهمیت زیادی دارد. در این پژوهش با آلوده کردن خاک ماسه رسی توسط ۸ درصد گازوئیل در محیط آزمایشگاهی به بررسی تأثیر این آلاینده بر روی خصوصیات تراکمی خاک مورد نظر توسط آزمایش تراکم پروکتور استاندارد طی بازه های زمانی ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روز پرداخته شد. نتایج این آزمایش‌ها نشان داد که افزودن گازوئیل به خاک مورد آزمایش سبب افزایش دانسیته‌ی خشک خاک و کاهش رطوبت بهینه متناظر با آن می‌گردد. در نتیجه حضور گازوئیل در خاک، تا حدی باعث بهبود خصوصیات تراکمی خاک ماسه رسی مورد استفاده می‌گردد. همچنین تصاویر به‌دست آمده از میکروسکوپ پیناکولار نشان داد که با افزودن گازوئیل به خاک، تخلخل مفید و مساحت سطح مخصوص خاک کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: تراکم پروکتور، رطوبت اپتیمم، خصوصیات مهندسی، خاک ماسه رسی، گازوئیل

۱- مقدمه

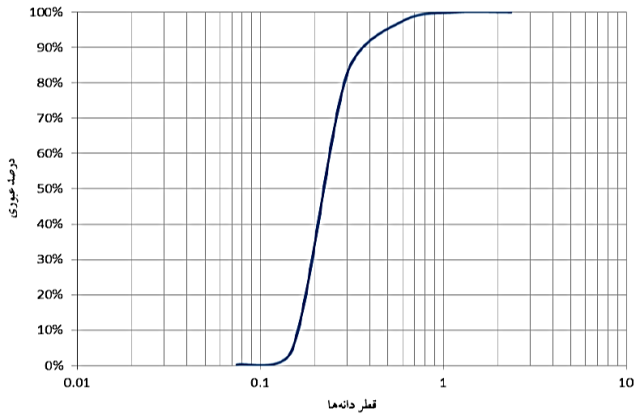
آلودگی‌های ناشی از فرآورده‌های نفتی از طریق نشت و یا تراوش از مخازن نگهداری فرآورده‌های نفتی و حمل و نقل و توزیع باعث ایجاد آسیب های جدی به محیط‌ها می‌شود [۱]. آلودگی‌های مواد نفتی به طور مستقیم و یا غیر مستقیم بر روی ویژگی‌های مهندسی خاک‌های سطحی تاثیر می‌گذارند. در اثر فرآیندهای فیزیکی- شیمیایی که بین آلاینده‌ها و خاک رخ می‌دهد، رفتار ژئوتکنیکی خاک تغییر می‌کند که این امر می‌تواند باعث کاهش ظرفیت باربری پی و نشست در خاک گردد. بنابراین در ساخت سازه‌ها مساله وجود آلودگی مواد نفتی در مکان‌هایی که آلودگی به ماده نفتی ممکن است وجود داشته باشد باید در نظر گرفته شده و در صورت احداث سازه در آن منطقه تمهیدات لازم جهت بهسازی خاک اجرا شود [۲]. امروزه استفاده‌ی بیشتر از مواد نفتی منجر به ساخت پالایشگاه‌ها و تانکرهای عظیم ذخیره‌ی این‌گونه مواد شده است. درنتیجه به هنگام نشت در این‌گونه مکان‌ها، باعث ایجاد آلودگی در خاک و توزیع آن می‌شود. علاوه بر ایجاد آلودگی در محیط‌زیست، با نفوذ آلودگی در سفره‌های آب زیرزمینی، منابع آبی هم آلوده می‌شوند [۳]. مقابله و برطرف کردن این‌گونه از آلودگی‌ها نیاز به هزینه‌های بالا، ماشین‌آلات و مهندسی پیشرفته دارد [۴]. اما می‌توان با تحقیق و بررسی بر روی تغییر رفتار ایجاد شده در این‌گونه از خاک‌های آلوده، در طراحی‌ها و انواع پروژه‌های عمرانی و حتی استفاده‌ی مستقیم از آن‌ها در ساخت‌وساز پروژه‌های مختلف استفاده کرد [۵]. رجائی (۱۳۹۱) در بررسی خود بر روی خاک ماسه‌ای سیلت و رس دار که با درصدهای ۴ و ۸ و ۱۲ و ۱۶ از وزنشان به مواد نفتی آلوده شده است به این نتایج دست‌یافت که در آزمایش تراکم، از آلودگی صفر تا ۴ درصد رطوبت بهینه‌ی خاک کاهش‌یافته ولی دانسیته خشک خاک

افزایش می‌یابد؛ اما در آلودگی بیش از ۴ درصد تراکم‌پذیری خاک کاهش می‌یابد دلیل این امر این است که آلودگی کمتر از ۴ درصد باعث روغن‌کاری بین دانه‌های خاک می‌شود و تراکم را بیشتر می‌کند اما در آلودگی بیش از ۴ درصد این امر اتفاق نمی‌افتد [۶]. کرمانی و عبادی (۱۳۹۰) به بررسی تأثیر آلودگی نفتی از نوع روغن بر روی خواص ژئوتکنیکی خاک‌های ریزدانه پرداخته‌اند. نتایج حاصله از این بررسی‌ها نشان داده است که افزایش میزان آلودگی نفتی، رطوبت بهینه خاک را کاهش می‌دهد؛ با افزایش آلودگی نفتی، حداکثر وزن مخصوص خشک خاک افزایش می‌یابد [۷].

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 [۸]. 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 زیر ارائه شده است.

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 ۸۲۰-۸۶۰ 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

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 نشان داده شده است.

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

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 تراکم پروکتور استاندارد

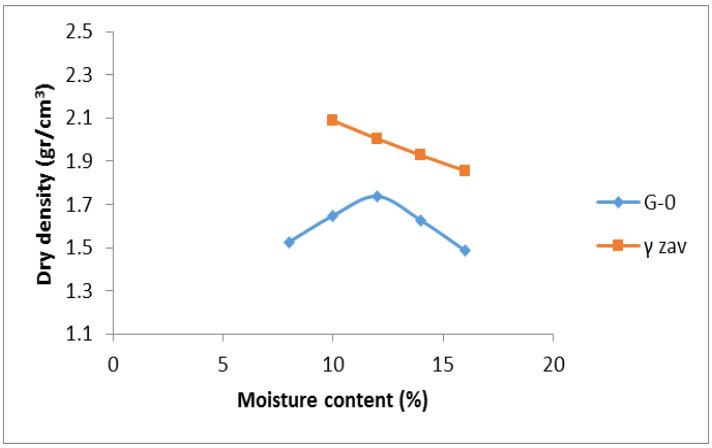
آزمایش تراکم پروکتور استاندارد در این پژوهش بر روی خاک حاوی ۷۰٪ ماسه و ۳۰٪ رس کائولینیت مطابق با استاندارد ASTM-D-698-78 صورت گرفته است [۹]. در این پژوهش از قالب تراکم با قطر داخلی ۱۰/۶ سانتیمتر و ارتفاع ۱۱/۹ سانتیمتر استفاده شده است. تعداد ضربات برای رسیدن حداکثر دانسیته‌ی خشک در این روش طبق استاندارد ۲۵ ضربه و سایر موارد از جمله وزن و ارتفاع چکش پروکتور نیز بر اساس استاندارد معرفی شده بوده که با روش پراکتور استاندارد کالیبره شده است. از نتایج به دست آمده از آزمایش تراکم بر روی خاک شاهد برای آزمایش های دیگر استفاده گردید. نتایج آزمایش تراکم مربوط به خاک شاهد و خاک آلوده به گازوئیل طی بازه های زمانی ۱۴ الی ۴۲ روز در جدول ۴ ارائه شده است. در شکل ۳ نیز تصویری از نحوه انجام آزمایش تراکم پروکتور استاندارد نشان داده شده است. همانطور که در نمودار ملاحظه می‌شود وزن مخصوص خشک حداکثر برای خاک سالم فاقد آلاینده گازوئیل ۱/۷۳ گرم بر سانتیمتر مکعب و درصد رطوبت بهینه بدست آمده از این آزمایش ۱۲٪ می‌باشد. در نمودارهای تراکم منحنی ۱۰۰ درصد اشباع (صفر درصد هوا) که بهترین وضعیت تراکم خاک را نشان می دهد نیز نشان داده شده است.

جدول ۴: خلاصه نتایج آزمایش تراکم خاک فاقد آلودگی و خاک های حاوی گازوئیل با سن های مختلف

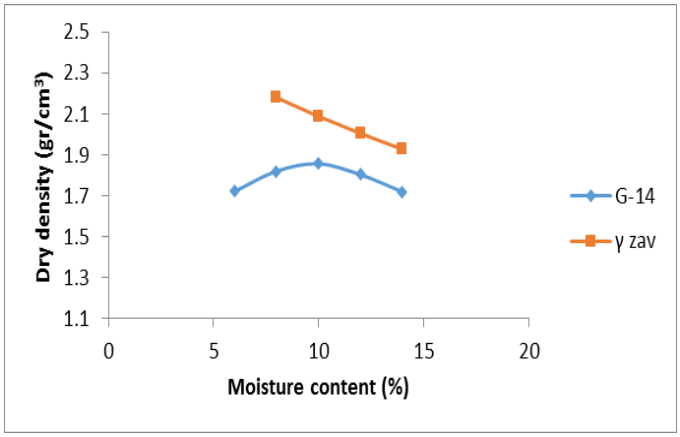
نوع خاک	وزن مخصوص خشک (γ_d)	وزن مخصوص کل (γ) gr/cm^3	درصد رطوبت بهینه ٪ (w_{opt})
خاک شاهد (فاقد آلودگی)	۱/۷۳	۱/۹۴	۱۲
خاک آلوده به گازوئیل (۲۸ روزه)	۱/۸۵	۲/۰۴	۱۰
خاک آلوده به گازوئیل (۱۴ روزه)	۱/۸۷	۲/۰۲	۸
خاک آلوده به گازوئیل (۴۲ روزه)	۱/۸۶	۲/۰۳	۹

شکل ۳: انجام آزمایش تراکم پروکتور استاندارد بر روی خاک حاوی گازوئیل (سن ۴۲ روز)

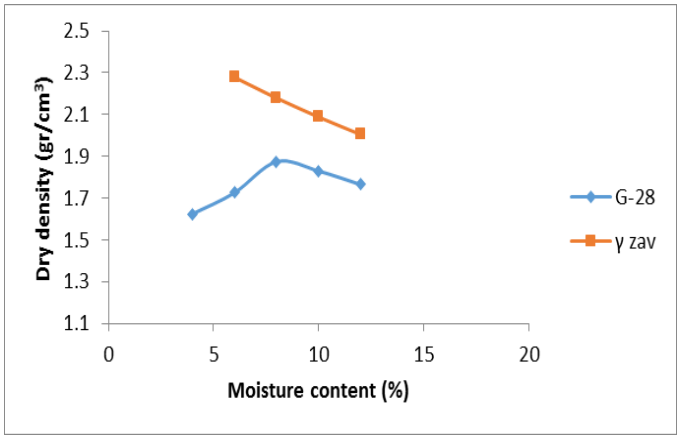
در عمل متراکم کردن، آبی که به خاک اضافه می‌شود نقش ماده روان‌کننده روی ذرات خاک را خواهد داشت. در حین تراکم، ذرات خاک روی هم لغزیده و در وضعیت متراکم‌تری در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. ولی بعد از رسیدن به درصد بالایی از اشباع، آب فضاهایی را که می‌تواند توسط ذرات خاک پر شود، اشغال می‌کند و مقدار هوای محبوس شده در خاک اساسا ثابت می‌ماند. اگر میزان آب از حد معینی بیشتر شود، آب انرژی وارد شده را بدون تغییر شکل جذب کرده (فشار وارد شده به فشار آب حفرهای تبدیل می‌شود) و مانع از آن می‌شود که انرژی به دانه‌های خاک وارد شده، آنها را جابجا کند. بنابراین یک مقدار بهینه آب برای خاک موردنظر و عمل تراکمی که بیشینه وزن مخصوص خاک را می‌دهد، وجود دارد. در شکل‌های ۴ نمودار تراکم خاک شاهد (فاقد آلودگی) و در شکلهای ۵ الی ۷ نمودار تراکم خاکهای حاوی ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روز آلاینده گازوئیل و نهایتا در شکل ۸ نمودار مقایسه ای داده های تراکم خاک فاقد آلودگی و خاک های آلوده به گازوئیل طی بازه های زمانی مختلف ارائه شده است.



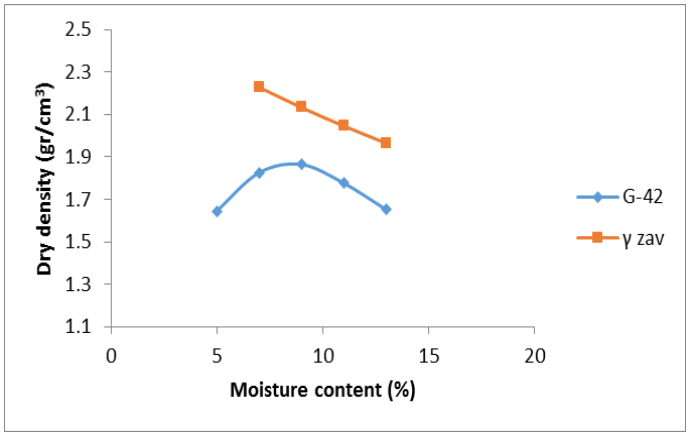
شکل ۴: نمودار تراکم خاک شاهد (فاقد آلودگی)



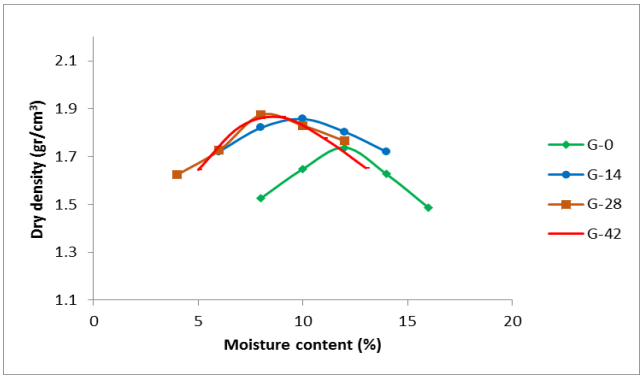
شکل ۵: نمودار تراکم خاک آلوده به گازوئیل با سن ۱۴ روز



شکل ۶: نمودار تراکم خاک آلوده به گازوئیل با سن ۲۸ روز



شکل ۷: نمودار تراکم خاک آلوده به گازوئیل با سن ۴۲ روز

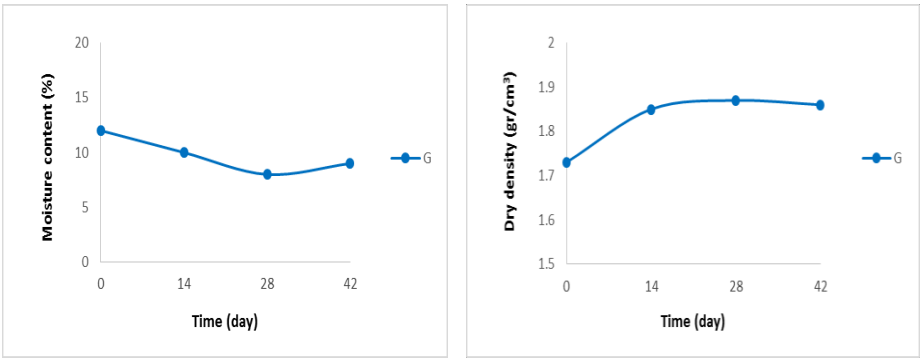


شکل ۸: نمودار داده های تراکم خاک فاقد آلودگی و خاک های آلوده به گازوئیل طی بازه های زمانی مختلف

همانگونه که در نمودارهای فوق مشاهده می‌گردد با افزایش گازوئیل به خاک، وزن مخصوص خشک خاک افزایش یافته و رطوبت بهینه کاهش می‌یابد. اما گذشت زمان تاثیر چشمگیری در نتایج آزمایش تراکم نشان نداد و نتایج سن ۲۸ و ۴۲ روز اختلاف معنی داری را نشان نمی دهد. از آنجاییکه مواد نفتی از جمله گازوئیل اثر تسهیل کنندگی دارند در نتیجه با میزان آب کمتری می توان به حداکثر دانسیته خشک رسید و به طور کلی می توان گفت حضور گازوئیل در خاک باعث بهبود خصوصیات تراکمی خاک می‌گردد.

در منحنی های تراکم هر چه شاخه پایین رونده منحنی تراکم آزمایشگاهی از منحنی ۱۰۰ درصد اشباع فاصله بگیرد، وضعیت تراکم نامطلوب‌تر است و بالعکس هر چه شاخه پایین رونده منحنی به منحنی اشباع نزدیک تر شود، وضعیت تراکم مطلوب‌تر می‌باشد. در نمودار تراکم خاک آلوده ۱۴ روزه نسبت به خاک شاهد ملاحظه می‌شود که شاخه پایین رونده منحنی تراکم به منحنی ۱۰۰ درصد اشباع (zav) نزدیک تر شده است این وضعیت در منحنی‌های خاک آلوده ۲۸ روزه و ۴۲ روزه نیز دیده می‌شود که نشان دهنده وضعیت تراکمی بهتر خاک آلوده نسبت به خاک فاقد آلودگی می‌باشد.

در شکل‌های ۹ (الف و ب) به ترتیب نمودار تغییرات حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک در مقابل زمان حضور گازوئیل نشان داده شده است.



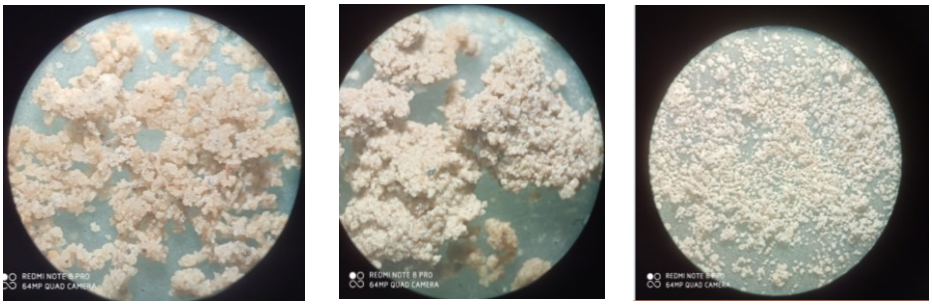
شکل ۹: الف) نمودار تغییرات حداکثر وزن مخصوص خشک خاک نسبت به زمان حضور گازوئیل و ب) نمودار تغییرات رطوبت بهینه خاک نسبت به زمان حضور گازوئیل

در نمودارهای شکل ۹ ملاحظه می‌گردد که افزایش زمان حضور گازوئیل در خاک تاثیر چندانی در خصوصیات تراکمی خاک آلوده به گازوئیل تا سن ۴۲ روز ندارد و این نتیجه برای وزن مخصوص حداکثر بیشتر صدق می‌کند. تنها در زمان افزودن گازوئیل به خاک سالم شاهد افزایش چشمگیر در حداکثر وزن مخصوص خشک خاک و کاهش رطوبت بهینه خاک بودیم به‌عبارتی می توان عنوان کرد که پس از افزودن ۸ درصد گازوئیل به خاک با درصد رطوبت بهینه کمتر به حداکثر وزن مخصوص بیشتری دست خواهیم یافت.

هنگامیکه ذرات و دانه‌های خاک توسط گازوئیل پوشانده می‌شوند از آنجاییکه این آلاینده به‌عنوان یک روان‌کننده خیلی قوی عمل می‌کند باعث می‌شود با درصد رطوبت کمتری، به وزن مخصوص بیشتر دست یابیم و درنتیجه دانسیته‌ی خشک خاک افزایش و رطوبت بهینه متناظر با آن، کاهش می‌یابد. به طور کلی می‌توان گفت حضور گازوئیل در خاک، تا حدی باعث بهبود خصوصیات تراکمی خاک گردید.

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. 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 پراکنده ی خاک به ساختار توده ای تبدیل می‌شود. همچنین مساحت سطح مخصوص خاک کاهش می‌یابد که این کاهش سطح مخصوص خاک، تأیید کننده‌ی کاهش مقاومت خاک در حضور آلاینده گازوئیل می‌باشد.



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

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

حضور گازوئیل در خاک ماسه رسی سبب افزایش دانسیته‌ی خشک خاک و کاهش رطوبت بهینه متناظر با آن می‌گردد. در نتیجه حضور گازوئیل در خاک، تا حدی باعث بهبود خصوصیات تراکمی خاک می‌گردد به عبارتی می‌توان بیان کرد که پس از افزودن ۸ درصد گازوئیل به خاک، با درصد رطوبت بهینه کمتری می‌توان به حداکثر وزن مخصوص دست یافت. همچنین نتایج آزمایش های حاصل این پژوهش نشان داد که افزایش زمان حضور گازوئیل در خاک تاثیر چندانی در خصوصیات تراکمی خاک آلوده به گازوئیل تا سن ۴۲ روز ندارد.

با افزودن آلاینده گازوئیل به نمونه خاک شاهد، خاک حالت فلوکوله پیدا کرده و ساختار پراکنده‌ی خاک به ساختار توده-ای تبدیل می‌شود. همچنین مساحت سطح مخصوص خاک کاهش می‌یابد که این کاهش سطح مخصوص خاک، تأیید کننده‌ی کاهش مقاومت خاک در حضور آلاینده گازوئیل می‌باشد.

کد مجوز ISC وزارت علوم
۹۹۲۰۰-۱۹۶۲۶

۷. مراجع

[1] KARPUZCU, M. (2018). Influence of oil contamination on geotechnical properties of sandy soil. Polytechnic Journal, 8(2), 129-141.

[2] Shin, E.C., J.B. Lee and B.M. Dass, 1999. Bearing capacity of a model scale footing on crude oil-contaminated sand. Geotech. Geol. Eng., 17: 123-132. DOI: 10.1023/A:1016078420298.

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

[4] Little D.N., Thompson R.L., Terrell R.L., Epps J.L. and Borenberg E.J., (1987), "Soil stabilization for roadways and airfields", AFESC final report , USA.

[5] Shah, S.J., A.V. Shroff, J.V. Patel, K.C. Tiwari and D. Ramakrishnan, 2003. Stabilization of fuel oil contamination soil-a case study. Geotech. Geol. Eng., 21: 415-427. DOI: 10.1023/B:GEGE.0000006052.61830.1a.

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

[۷] کرمانی، محمد، عبادی، تقی، ۱۳۹۰، "بررسی تأثیر آلودگی خاک به نفت خام بر پارامترهای ژئوتکنیکی آن"، دانشگاه امیرکبیر تهران.

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

[9] ASTM D698-78, 2002, Standard test methods for the standard Proctor compaction test, Annual Books of ASTM Standards.