مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران
بهار و تابستان ۱۳۹٤، جلد هشتم، شماره ۱ و۲، صفحه ۹۱ تا ۹۸

بررسی تاثیر گلیسرول بر مقاومت فشاری خاک و خاک سیمان

مهدی خطیبی [*۱]، علی رئیسی استبرق [۲]،

دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۵/۰۲ پذیرش مقاله: ۹٤/۰٤/۲۳

چکیده

گلیسرول از آلوده کننده‌های آلی محیط زیست است که منشا آن ترکیبات هیدروکربنی می‌باشد. در این پژوهش اثر افزودن درصدهای وزنی مختلف گلیسرول بر مقاومت خاک و خاک سیمان مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌هایی از یک خاک رسی، خاک سیمان تهیه شده از خاک طبیعی (حاوی ۳ و ٦ درصد سیمان)، خاک حاوی درصدهای گوناگون گلیسرول (۳، ٦ و ۹ درصد) و همچنین خاک سیمان (حاوی ۳ و٦ درصد سیمان) که به درصدهای وزنی مختلف گلیسرول (۳، ٦ و ۹ درصد) آغشته شده بودند به روش استاتیکی تهیه و آزمایش‌های مقاومت فشاری تک محوری بر روی آن‌ها انجام گردید. این آزمایش بر روی نمونه‌های دارای سیمان در زمان‌های عمل‌آوری ۳، ۷، ١٤ و ۲۸ روزه انجام شد. نتایج نشان داد که افزودن گلیسرول به خاک موجب کاهش مقاومت و افزایش شکل‌پذیری خاک می‌شود که این کاهش با افزایش درصد گلیسرول همراه است. همچنین افزودن این ماده باعث افزایش مقاومت خاک سیمان در درصدهای پایین گلیسرول (۳درصد) می‌شود، در صورتی که در درصدهای بالاتر(٦ و ۹ درصد) باعث کاهش مقاومت از میزان مقاومت خاک سیمان متناظر می‌گردد.

کلید واژه‌ها: *خاک سیمان، گلیسرول، مقاومت فشاری، زمان عمل آوری.*

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه تهران، mehdi.khatibi@ut.ac.ir
۲. دانشیار گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
* مسئول مکاتبات

۱. مقدمه

آلودگی خاک به وسیله هیدروکربن‌ها از مسائل بسیار مهم ژئوتکنیکی محسوب می‌شوند که می‌توانند بر کیفیت خاک و آب اثر بگذارند. آلاینده‌های هیدروکربنی دارای منشا نفتی می‌باشند که در اثر نشت از مخازن روزمینی و زیرزمینی، صدمه دیدن تاسیسات انتقال و غیره وارد خاک می‌گردند. هیدروکربن‌های نفتی معمولا به دو دسته LNAPLs که سبک‌تر از آب و DNAPLs که سنگین‌تر از آب می‌باشند تقسیم بندی می‌شوند. لیکن اکثر آلاینده‌ها از نوع LNAPLs می‌باشند (Pichtel, 2007) . وقتی که مواد آلاینده مذکور وارد خاک می‌گردند عمل متقابل بین آن‌ها و خاک بستگی به عواملی مانند دانه بندی، نحوه‌ی اتصال ذرات، ظرفیت تبادل یونی و غیره دارد، به طوری که ممکن است مواد آلاینده در بین ذرات قرار بگیرد یا با ذرات خاک واکنش نشان دهد. برای این امر Fang and Daniels(1997) شاخصی به نام شاخص حساسیت معرفی نمودند که تغییرات آن بین ۰-۱ می‌باشد، همچنین آن‌ها مقدار این شاخص را برای خاک‌های چسبنده ۰/٦ - ۰/۹ و برای خاک‌های دانه‌ای ۰/۰۱ - ۰/۱ تعیین کردند. افزایش این شاخص نشان دهنده‌ی واکنش بیشتر خاک و مواد آلاینده است، که مطابق با آن خاک‌های چسبنده بیشترین واکنش را از خود نشان می‌دهند، که که می‌توان گفت سطح ویژه ذرات و باردار بودن آن‌ها نقش موثری در این خصوص دارند. در خاک‌های دانه‌ای این مواد آلاینده در بین ذرات قرار می‌گیرند و سطح ذرات را مانند یک لایه پوشش می‌دهند. محققینی مانند Moore and Mitchell (1974)، Ladd and Martin (1967) و Evans et al. (1985) از آزمایش‌های خاک بر روی نمونه‌های خاک ماسه‌ای آغشته به مواد هیدروکربنی نتیجه‌گیری نمودند که تغییراتی در مقاومت خاک پدید می‌آید. Evgin and Das (1992) از مطالعه‌ی خود روی نمونه‌های ماسه غیر متراکم و متراکم آغشته به مواد نفتی به این نتیجه رسیدند که مقاومت نمونه‌های مذکور کاهش می‌یابد. Al-sanad et al. (1995) نیز به نتایج مشابهی مبنی بر کاهش مقاومت نمونه‌های آغشته به مواد نفتی دست یافتند. et Khamehchiyan al. (2007) به بررسی خواص ژئوتکنیکی خاک‌های رسی و ماسه‌ای آلوده به نفت خام پرداختند و نتیجه گرفتند که مقاومت خاک‌های آلوده کاهش می‌یابد. سایر محققین ایرانی نیز بر روی ویژگی‌های خاک‌های آلوده به مواد هیدروکربنی به مطالعه و تحقیق پرداخته‌اند که می‌توان به پژوهش‌های اکبرآبادی و همکاران، ۱۳۸۹، محرم زاده سرای و همکاران، ۱۳۹۱ و غیره اشاره داشت. بررسی منابع نشان می‌دهد که بیشتر مطالعات متمرکز به خاک‌های دانه‌ای می‌باشند و در خصوص خاک‌های چسبنده تحقیقات محدود می‌باشد که از آن جمله میتوان به تحقیقات(Singh etal. 2008)، Ratnaweera and Meegoda (2006) و (2007).et al Khamehchiyan اشاره نمود. این محققین نتیجه‌گیری نمودند کاهش مقاومت در اثر آلودگی مواد هیدروکربنی در خاک رخ می‌دهد.

با افزودن سیمان به عنوان ماده‌ی افزودنی به خاک ماده‌ای به نام خاک سیمان که جزء مصالح ساختمانی است ایجاد می‌شود که قدمت استفاده از این روش به ۱۰۰ سال می‌رسد. سیمان جهت تثبیت آلاینده‌های معدنی نیز مورد استفاده قرار گرفته است لیکن تا کنون تحقیقات گسترده‌ای در خصوص خواص مکانیکی خاک سیمان تهیه شده از خاک آلوده به مواد هیدروکربنی صورت نگرفته است. بنابراین هدف از این تحقیق عبارت است از بررسی مقاومت فشاری خاک آلوده شده با درصدهای مختلف (۳، ٦ و ۹ درصد) گلیسرول و نیز ارزیابی تغییرات مقاومت خاک سیمان با درصدهای ثابت سیمان (۳ و ٦ درصد) و تهیه شده با خاک حاوی درصدهای مختلف گلیسرول و در نهایت ارایه نتایج و بحث و مقایسه در مورد هر یک از آن‌ها می‌باشد.

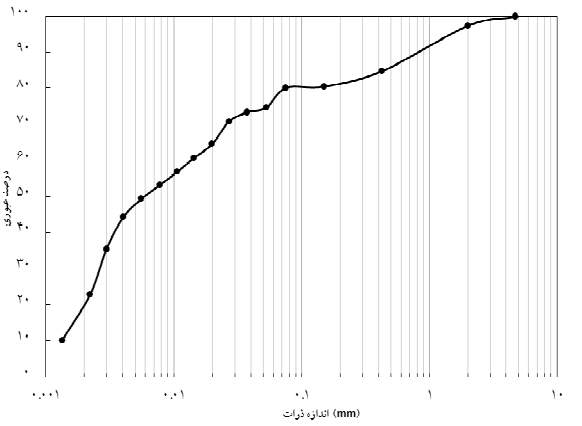
۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. مواد مورد استفاده

الف- خاک

منحنی دانه‌بندی خاک مورد استفاده در شکل ۱ ارایه شده است. نتایج آزمایش حدود اتربرگ نشان داد که خاک مذکور دارای حد روانی (LL)، حد خمیری (PL) و حد انقباض (SL) به ترتیب برابر ٤٦، ٢٤ و ۲۰ درصد است. خاک مورد استفاده رس با پلاستیسیته کم (CL) در سیستم طبقه‌بندی

متحد می‌باشد. نتایج آزمایش تراکم استاندارد نشان داد که این خاک دارای وزن واحد حجم خشک بیشینه برابر ۱۷/۷ کیلونیوتن بر متر مربع و رطوبت بهینه‌ی ۱۶/۷ درصد می‌باشد. لازم به ذکر است که آزمایش حدود اتربرگ بر اساس استاندارد ASTM D4318-10 و آزمایش تراکم بر اساس استاندارد ASTM D698-12 صورت پذیرفته است. نتایج آزمایش‌های شیمیایی نشان داد که خاک مذکور دارای pH و EC به ترتیب برابر ۸/۲ و ۵/۰۱ دسی متر می‌باشد. سایر مشخصات شیمیایی در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱. نمودار دانه‌بندی خاک

ب- آب

آب مورد استفاده از نوع شرب بوده و مشخصات شیمیایی آن در جدول ۲ آورده شده است.

ج- سیمان

سیمان استفاده شده در این تحقیق پرتلند نوع ۲ که دارای وزن مخصوص جامد ۳/۱۵ می‌باشد. مشخصات فیزیکی و مکانیکی آن مطابق استاندارد ASTM C109-03 استخراج گردید. میزان غلظت نرمال برابر ۲۵/۵ درصد بدست آمد و زمان گیرش اولیه و زمان گیرش نهایی به ترتیب برابر ۱۶۶ و ۲۲۰ دقیقه تعیین گردید. مقدار مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه به ترتیب برابر ۱۹/۲ و ۲۵/۸ مگاپاسکال اندازه گیری شد.

جدول ۱. مشخصات شیمیایی خاک مورد استفاده

مشخصه	مقدار(meq/L)	مشخصه	مقدار(meq/L)
Na+	٤٢	Mg2+	٢/٢
K+	٠/٤	Cl-	٢٦/٢
Ca2+	٤/٦	CO32-	٠/٢
SO42-	١٩/٢	HCO3-	٣/٧

جدول ۲. مشخصات شیمیایی آب مورد استفاده

مشخصه	مقدار	مشخصه	مقدار(meq/L)
pH	٧/٧٢	Ca2+- Mg2+	٩/٤
(ds/m) EC	١/٢	Cl-	١/٧

د- گلیسرول

در این کار تحقیقاتی از گلیسرول با غلظت ٤٥ درصد استفاده شد. گلیسرول یک الکل سه عاملی با فرمول $C3H5(OH)3$ است. مشخصات فیزیکی آن بر اساس اطلاعات ارائه شده توسط تولید کننده در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول۳. مشخصات فیزیکی گلیسرول

نوع ماده	چگالی جرمی(kg/m^3)	ویسکوزیته مطلق(cp)	ثابت دی الکتریک	هدایت الکتریکی(mmhos/cm)
آب مقطر	٩٩٧/٠٥	٠/٨٩٤	٧٨/٥	$٨/٤\times١٠^{-٣}$
گلیسرول	١٢٥٨/٠٢	١٥٠٠	٤٠/١٠	$٦/٤٢\times١٠^{-٥}$
٤٥٪ گلیسرول+آب	١٠٩٧/١٠	٤/٣١	٦٧/١٠	$٨/٤\times١٠^{-٣}$

۲-۲. تهیه نمونه‌های آزمایشی

تهیه خاک آلوده به درصدهای مختلف گلیسرول مطابق روش Singh et al. (2008) صورت پذیرفت. ابتدا درصد مشخصی از آلاینده به خاک افزوده و پس از اختلاط به صورت دستی در کیسه پلاستیکی و در بسته به مدت یک هفته نگهداری شد. آزمایش تراکم استاندارد بر روی خاک معمولی، مخلوط خاک سیمان با ۳ و ٦ درصد سیمان، خاک آلوده به درصدهای مختلف گلیسرول (۳، ٦ و ۹ درصد)، وخاک سیمان حاصل از خاک آلوده با درصدهای مختلف گلیسرول و سیمان انجام گردید و وزن واحد حجم خشک بیشینه و رطوبت بهینه برای هر یک از آن‌ها تعیین شد؛ سپس نمونه‌های آزمایشگاهی در یک قالب مخصوص استوانه‌ای به قطر ۵۰ میلی‌متر و ارتفاع

۱۰۰ میلی‌متر به روش تراکم استاتیکی و با یک دستگاه بارگذاری ویژه تهیه گردید به طوری که وزن واحد حجم خشک و رطوبت آن‌ها منطبق بر وزن واحد حجم خشک بیشینه و رطوبت بهینه‌ی بدست آمده از آزمایش تراکم استاندارد باشد.

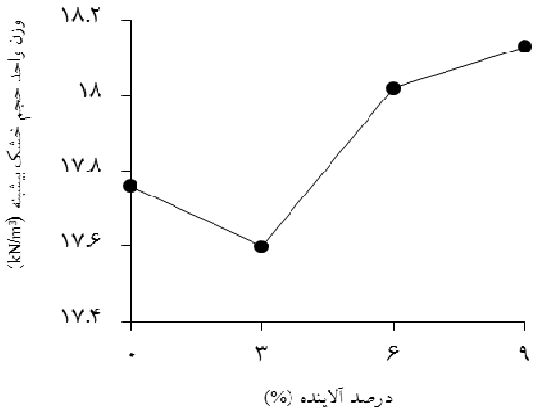
۲-۳. روش انجام آزمایش

آزمایش مقاومت فشاری تک محوری مطابق استاندارد ASTM D2166-00 انجام و سرعت بارگذاری ۱ میلی‌متر بر دقیقه روی نمونه‌های گوناگون اعمال شد و عمل بارگذاری تا وقوع گسیختگی در نمونه‌ی مورد آزمایش ادامه یافت. در طول انجام آزمایش داده‌ها به صورت پیوسته ثبت و به محاسبه تنش و کرنش وارد شده به نمونه‌ها اقدام شد. سپس از آن‌ها در بحث و تحلیل نتایج استفاده گردید.

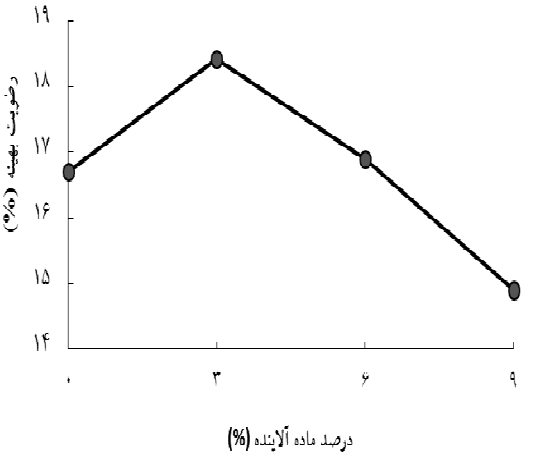
۳. نتایج و بحث

شکل ۲ و ۳ تغییرات وزن واحد حجم خشک بیشینه و رطوبت بهینه را برای نمونه‌های آلوده شده با درصدهای وزنی ۳، ٦ و ۹ درصد گلیسرول را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که وزن واحد حجم بیشینه و رطوبت بهینه ابتدا در درصد کم آلاینده (۳ درصد) به ترتیب کاهش و افزایش و با افزایش درصد ماده آلاینده (٦ و ۹ درصد) به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابند.

افزودن ماده آلی هیدروکربنی به خاک معمولی موجب تغییراتی در خواص فیزیکی و مکانیکی آن می‌گردد. شکل ۲ و ۳ نشان دهنده آن است که افزودن گلیسرول در درصد کم (۳ درصد) به خاک طبیعی موجب کاهش وزن واحد حجم بیشینه و افزایش رطوبت بهینه می‌گردد، درصورتی که با افزایش درصد گلیسرول (٦ و ۹ درصد) میزان وزن واحد حجم خشک افزایش و رطوبت بهینه کاهش می‌یابد. این نتایج بیانگر آن است که مقادیر ٦ و ۹ درصد گلیسرول باعث کاهش اصطکاک بین ذرات خاک، لغزش و کاهش فضای بین آن‌ها و در نتیجه افزایش وزن واحد حجم خشک ماکزیمم می‌باشد اما مقدار ۳ درصد گلیسرول دارای قدرت کافی جهت حذف نیروی جاذبه و اصطکاک بین ذرات و جابجایی آن‌ها مانند مقادیر ٦ و ۹ درصد گلیسرول نیست و در نتیجه مقدار وزن واحد حجم خشک ماکزیمم کاهش و رطوبت بهینه افزایش می‌یابد نتایج نشان می‌دهد هرچه درصد ماده آلی بیشتر باشد این تغییرات بیشتر است، زیرا ماده آلی بیشتری در بین ذرات قرار می‌گیرد و جابجایی آن‌ها را امکان‌پذیر می‌نماید.



شکل ۲. نمودار وزن واحد حجم خشک بیشینه برای نمونه‌های خاک طبیعی و خاک آلوده شده با ۳، ٦ و ۹ درصد گلیسرول

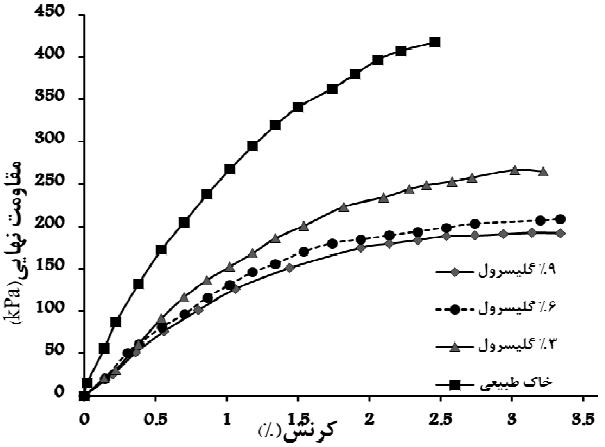


شکل ۳. نمودار رطوبت بهینه برای نمونه‌های خاک طبیعی و خاک آلوده شده با ۳، ٦ و ۹ درصد گلیسرول

بنابراین می‌توان گفت لزوجت ماده آلی مصرفی نقش مهمی را در تراکم خاک دارد و این افزایش لزوجت نسبت به آب

می‌باشد که افزایش وزن واحد حجم و کاهش رطوبت را موجب شده است. مشابه این نتایج بوسیله (Al-Sanad et al. 1995) با انجام آزمایش خاک‌های دانه‌ای آلوده به مواد نفتی گزارش گردید.

منحنی تغییرات تنش و کرنش حاصل از نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوری برای نمونه‌هایی از خاک طبیعی و خاک طبیعی اختلاط یافته با ۳، ٦ و ۹ درصد گلیسرول در شکل ٤ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد مقاومت نهایی خاک طبیعی ٤۱۷ کیلوپاسکال در کرنش ۲/٤٦ درصد می‌باشد. لیکن افزایش گلیسرول موجب کاهش قابل ملاحظه مقاومت نهایی می‌شود، بطوریکه مقاومت نهایی برای نمونه خاک حاوی ۳ درصد گلیسرول معادل ۲٦۷ کیلوپاسکال در کرنش ۳ درصد می‌باشد که مقدار کاهش آن نسبت به خاک طبیعی برابر ۳٦ درصد می‌باشد. افزایش درصدهای بیشتر گلیسرول باعث کاهش مقاومت نسبت به خاک طبیعی و یکدیگر می‌شوند، بطوریکه مقاومت برای نمونه‌ای که حاوی ۹ درصد گلیسرول نسبت به نمونه خاک طبیعی ٦٤ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان گفت با افزایش درصد گلیسرول منحنی‌های تنش و کرنش موقعیت نزولی به خود می‌گیرند و از میزان خواص شکنندگی آن‌ها کاسته می‌شود.



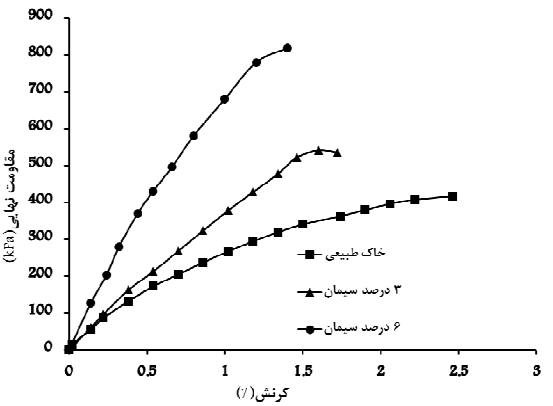
شکل ٤. نمودار تنش-کرنش را برای خاک طبیعی و خاک آلوده شده با ۳، ٦، و ۹ درصد گلیسرول

نتایج آزمایش‌های مقاومت (شکل ٤) نشان داد که افزودن گلیسرول موجب کاهش مقاومت نمونه نسبت به خاک معمولی و افزایش درصد گلیسرول موجب کاهش بیشتر آن می‌گردد. افزودن ماده آلی به خاک‌های چسبنده منجر به واکنش ذرات خاک با ماده آلی می‌شود که تحت واکنش‌های فیزیکوشیمیایی مرسوم است. اثر این واکنش‌ها منجر به تغییراتی در ضخامت لایه مضاعف و فلوکوله شدن ساختمان خاک می‌گردد. محققین(1973) Sridharan & Rao، Moore & Mitchell (1974) دریافتند که این واکنش‌ها موجب می‌گردد که مقاومت خاک اختلاط یافته با ماده آلی افزایش یابد. لیکن در این تحقیق یافته‌های مقاومتی با تحقیقات آن‌ها هماهنگی ندارد و می‌توان گفت در این حالت قرار گرفتن ماده آلی در بین ذرات نقش مهمی را داراست، زیرا موجب جابجایی و تغییر شکل زیاد ذرات می‌گردد محققینی همانند Ratnaweera & Meegoda (2006) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند و نتیجه‌گیری نمودند که ماده آلی بین ذرات نقش بسیار مهمی در تغییرات مقاومت دارد. کانی‌های تشکیل دهنده خاک‌های رسی حاوی بار الکتریکی می‌باشند و خاصیت جذب آب بوسیله آن‌ها به میزان بار الکتریکی و سطح ویژه آن‌ها مرتبط است. محققینی مانند(1996) Sheng et al. و Jaynes & Wang (1999) گزارش نمودند که خاک‌های رسی از طریق کاتیون‌هایی مانند Na+ ، K+ ، Ca++ و Mg++ می‌توانند مواد آلی مانند فنول، بنزن، تلوئن و غیره را جذب نمایند. بخشی از مواد آلی به علت عدم وجود کانی‌های لازم و نیز سطح ویژه مناسب جذب ذرات رس شده و در فضای بین ذرات باقی می‌مانند. جذب مواد آلی موجب تغییراتی در ساختمان خاک می‌گردد، لیکن ماده آلی موجود در فضای بین ذرات در تغییرات مکانیکی مانند سهولت جابجایی ذرات موثر می‌باشد. می‌توان عامل موثر در کاهش مقاومت خاک آلوده به گلیسرول (شکل ٤) نسبت به خاک طبیعی را به این مسأله مربوط دانست. از آنجایی که قدرت جذب مواد آلی بوسیله ذرات رس محدود می‌باشد، افزایش درصد ماده آلاینده موجب افزایش بیشتر مقدار آن‌ها در فضای بین ذرات می‌گردد که کاهش بیشتر مقاومت را در پی دارد.

در شکل ۵ منحنی‌های تنش و کرنش برای خاک طبیعی و خاک سیمان حاوی ۳ و ٦ درصد سیمان برای زمان عمل‌آوری ۱٤ روز نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود

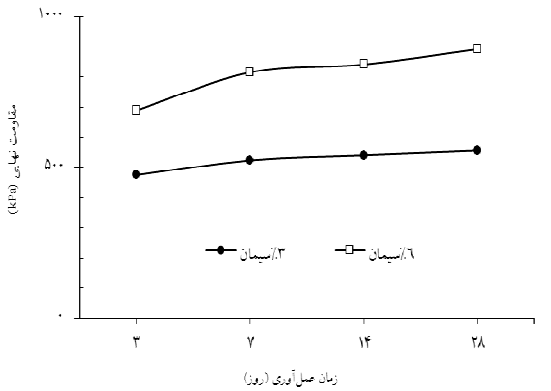
افزایش سیمان به خاک موجب افزایش مقاومت و افزایش شیب اولیه منحنی تنش و کرنش می‌شود که نشان دهنده‌ی سخت‌شدگی نمونه و افزایش خاصیت شکنندگی در آن‌ها است بطوریکه این خصوصیت با افزایش درصد سیمان افزایش می‌یابد. مقاومت نهایی نمونه خاک طبیعی ٤۱۷ کیلوپاسکال در کرنش ۲/٤٦ درصد می‌باشد. لیکن افزودن ٦ درصد سیمان مقاومت نهایی را به ۸۱۸ کیلوپاسکال در کرنش ۱/٤ درصد می‌رساند.

شکل ٦ میزان مقاومت نهایی را برای خاک سیمان با ۳ و ٦ درصد سیمان در زمان‌های عمل آوری ۳، ۷، ١٤ و ۲۸ روزه را نمایش می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد، افزایش زمان عمل آوری و درصد سیمان موجب افزایش در مقاومت نهایی نمونه‌ها شده است، بطوری که مقاومت ۳ روزه خاک سیمان با ٦ درصد سیمان برابر با ۸٥٤ کیلوپاسکال می‌باشد، در صورتی که مقاومت نهایی آن در زمان عمل آوری ۲۸ روز برابر ۱۱۰۸ کیلوپاسکال می‌باشد که افزایش ۲۳ درصدی را نشان می‌دهد.

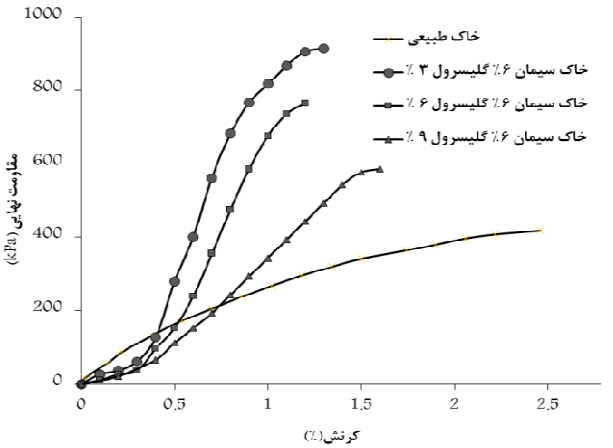


شکل ٥. نمودار تنش- کرنش برای خاک طبیعی و خاک سیمان با ۳ و٦ درصد سیمان برای مدت زمان عمل‌آوری ١٤روز

شکل ۷ منحنی‌های تنش و کرنش را برای خاک طبیعی و خاک سیمان شامل ٦ درصد سیمان و درصدهای مختلف گلیسرول (۳، ٦ و۹) نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که افزایش سیمان موجب افزایش مقاومت خاک اختلاط یافته با درصدهای مختلف گلیسرول می‌شود، لیکن میزان افزایش برای نمونه‌های حاوی ۳ درصد گلیسرول بیشترین مقدار را داراست و با افزایش درصد گلیسرول این مقدار کاهش یافته و شکل پذیری نمونه افزایش می‌یابد. قابل ذکر است که مشابه همین تغییرات برای نمونه‌های خاک سیمان که شامل ۳ درصد سیمان و ۳، ٦ و ۹ درصد گلیسرول بودند، بدست آمد.



شکل ٦. نمودار مقاومت نهایی خاک سیمان با ۳ و ٦ درصد سیمان در زمان‌های عمل آوری مختلف

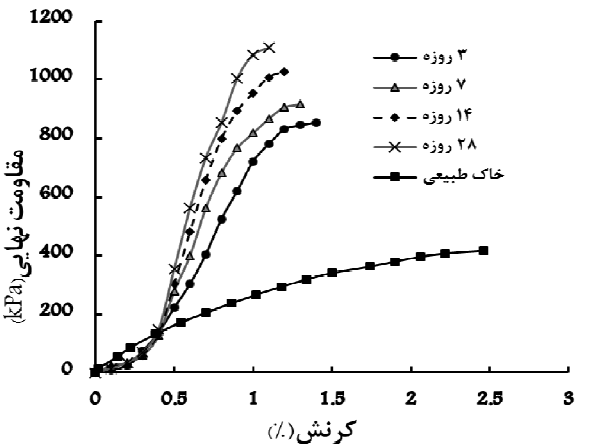


شکل ۷. نمودار تغییرات تنش و کرنش برای خاک طبیعی و خاک سیمان با ٦ درصد سیمان و درصدهای مختلف گلیسرول به ازای زمان عمل‌آوری ۷ روز

نتایج نشان داد (شکل٦ و۷) که افزودن سیمان به خاک منجر به افزایش مقاومت می‌گردد. وقتی که سیمان با خاک رس مخلوط می‌گردد یون‌های کلسیم درمراحل اولیه هیدراسیون آزاد می‌گردند و با ذرات خاک واکنش نشان می‌دهند که موجب کاهش پلاستیسیته خاک می‌گردد. این واکنش‌ها موجب تغییر بار الکتریکی اطراف ذرات رس می‌شوند به طوری که خصوصیت ذرات خاک را به حالت دانه‌ای تغییر

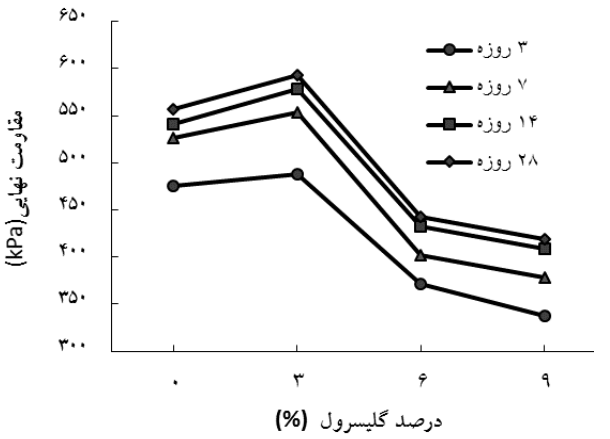
می‌دهند. عمل هیدراسیون سیمان موجب پیدایش یک شبکه‌ی محکمی در اطراف ذرات خاک می‌گردد که از حرکت ذرات و لغزش آن‌ها بر روی یکدیگر جلوگیری می‌نمایند. بنابراین سیمان نه تنها پلاستیسیته‌ی خاک را کاهش می‌دهد بلکه ذرات را بهم می‌چسبانند و یک جسم صلب تشکیل می‌دهد (Estabragh et al., 2010).

شکل ۸ تغییرات منحنی تنش-کرنش را برای خاک سیمان تهیه شده با ٦ درصد سیمان و ۳ درصد گلیسرول درزمان‌های عمل‌آوری ۳، ۷، ١٤ و ۲۸ روزه نشان می‌دهد. مقاومت نهایی نمونه ۳ روزه برابر ۸٥٤ کیلوپاسکال در کرنش ۱/٤ ٪ و مقاومت نمونه ۲۸ روزه برابر ۱۱۰۸ کیلوپاسکال در کرنش ۱/۱ می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود افزایش زمان عمل‌آوری موجب افزایش مقاومت و افزایش خاصیت شکنندگی در نمونه‌ها می‌شود.



شکل۸. نمودار تغییرات تنش – کرنش را برای خاک سیمان با ٦ درصد سیمان و۳ درصد گلیسرول درزمان‌های عمل‌آوری مختلف

افزودن گلیسرول موجب افزایش مقاومت خاک سیمان در درصدهای پایین گلیسرول (۳ درصد وزنی) می‌گردد که این افزایش مقاومت قابل ملاحظه می‌باشد. در شکل ۹ نتایج تغییرات مقاومت نهایی خاک سیمان با ۳ درصد سیمان و خاک سیمان با ۳ درصد سیمان حاوی درصدهای مختلف گلیسرول (۳، ٦ و ۹ درصد) در زمان‌های عمل‌آوری مختلف (۳، ۷، ١٤ و ۲۸ روز) را نشان می‌دهد.



شکل ۹. نمودار تغییرات مقاومت نهایی خاک سیمان با ۳ درصد سیمان و خاک سیمان با ۳ درصد سیمان حاوی درصدهای مختلف گلیسرول درزمان‌های عمل‌آوری مختلف

شکل ۹ افزایش مقاومت خاک سیمان تهیه شده از خاک آلوده به ۳ ، ٦ و ۹ درصد گلیسرول برای ۳ درصد سیمان را نشان می‌دهد. همانطوری که مشاهده می‌گردد با افزودن سیمان به خاک حاوی ۳ درصد گلیسرول مقاومت نسبت به خاک سیمان تهیه شده از خاک طبیعی افزایش می‌یابد. معمولاً در مخلوط خاک سیمان یکسری واکنش‌های شیمیایی بعلت وجود سیمان صورت می‌پذیرد که منجر به تشکیل یک ژل می‌گردد که با ذرات خاک پیوندی محکم ایجاد می‌کند و منجر به تولید یک ماده سخت می‌شود. در خاک‌های حاوی ماده آلی همانطور که بیان شد ممکن است مقدار محدودی از ماده آلی جذب ذرات شود و در تشکیل ماده سخت که از ژل ایجاد شده بوسیله سیمان و ذرات خاک بوجود می‌آید مشارکت داشته باشد و به افزایش مقاومت هم کمک کند. باقی مانده ماده آلی در فضاها باقی می‌ماند و هیچگونه واکنش با سیمان انجام نمی‌دهد (Botta et al., 2004) و سهولت تغییر شکل نمونه را فراهم می‌نماید. لذا افزایش درصد ماده آلی کاهش مقاومت خاک سیمان را در پی خواهد داشت.

٤. نتیجه‌گیری

در این کار تحقیقاتی خواص مکانیکی خاک آلوده با درصدهای مختلف گلیسرول و نیز خاک سیمان تهیه شده از

خاک معمولی و خاک حاوی مواد آلاینده مورد بررسی و تحقیق قرار گرفت. نتایج زیر را می‌توان از این کار ارائه نمود: افزودن گیسرول به خاک معمولی موجب کاهش مقاومت و افزایش شکل‌پذیری آن نسبت به خاک معمولی می‌گردد. کاهش مقاومت و افزایش شکل‌پذیری تابعی از افزایش درصد وزنی گلیسرول می‌باشد. افزایش سیمان به خاک معمولی موجب افزایش مقاومت و خاصیت شکنندگی آن می‌گردد. افزایش مقاومت تابعی از درصد وزنی سیمان و زمان عمل‌آوری می‌باشد.

افزودن سیمان به خاک آلوده به گلیسرول موجب افزایش مقاومت در خاک آلوده به ۳ درصد گلیسرول می‌گردد لیکن با افزایش درصد گلیسرول مقاومت سیر نزولی دارد. همچنین تغییرات مقاومت تابعی از درصد سیمان و زمان عمل‌آوری نمونه‌ها می‌باشد.

منابع

محرم زاده سرای، خ.، محمدی، د.، نیکودل، م.، غبرایی، ر.. ۱۳۹۱. بررسی خصوصیات ژئوتکنیکی خاکهای سطحی آلوده پالایشگاه تبریز، سی و یکمین همایش علوم زمین، تهران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

محمدی اکبرآبادی، م.، یثربی، ش.، خوش نشین لنگرودی، م.، ۱۳۸۹. بررسی تاثیر آلودگی نفت خام بر برخی از ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک ماسه‌ای، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد.

Al-Sanad, H.A., Eid, W.K., Ismael, N.F., 1995. Geotechnical properties of oil-contaminated Kuwaiti sand. Journal of geotechnical engineering, 121(5): 407-412.

ASTM International and American Society for Testing and Materials, 2004. Annual book of ASTM standards. American Society for Testing and Materials.

Botta, D., Dotelli, G., Biancardi, R., Pelosato, R., Natali Sora, I., 2004. Cement–clay pastes for stabilization/solidification of 2-chloroaniline. Waste Management, 24(2): 207-216.

Estabragh, A., Beytolahpour, I., Javadi, A., 2010. Effect of resin on the strength of soil-cement mixture. Journal of Materials in Civil Engineering, 23(7): 969-976.

Evans, J.C., Kugelman, I.J., Fang, H.Y., 1985. Organic fluids effects on the strength, deformation and permeability of soil-bentonite slurry walls.

Evgin, E., Das, B.M., 1992. Mechanical behavior of an oil contaminated sand. Environmental Geotechnology, Usmen & Acar (eds), Balkema, Rotterdam.

Fang, H.Y., Daniels, J., 1997. Introduction to environmental geotechnology. CRC Press.

Jaynes, W.F., Vance, G.F., 1999. Sorption of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene (BTEX) compounds by hectorite clays exchanged with aromatic organic cations. Clays and Clay Minerals, 47(3): 358-365.

Khamehchiyan, M., Charkhabi, A., Tajik, M., 2007. Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils. Engineering Geology, 89(3): 220-229.

Ladd, C.C., Martin, R.T., 1967. The effects of pore fluid on the undrained strength of kaolinite. Contract Report S-69, 5.

Moore, C.A., Mitchell, J.K., 1974. Electromagnetic forces and soil strength. Geotechnique, 24(4): 627-640.

Pichtel, J., 2007. Fundamentals of Site Remediation: For Metal and Hydrocarbon-contaminated Soils. Government Institutes.

Ratnaweera, P., Meegoda, J.N., 2006. Shear strength and stress-strain behavior of contaminated soils. ASTM geotechnical testing journal, 29(2): 133-140.

Sheng, G., Xu, S., Boyd, S.A., 1996. Mechanism (s) controlling sorption of neutral organic contaminants by surfactant-derived and natural organic matter. Environmental science & technology, 30(5): 1553-1557.

Singh, S.K., Srivastava, R.K., John, S., 2008. Settlement characteristics of clayey soils contaminated with petroleum hydrocarbons. Soil & sediment contamination, 17(3): 290-300.

Sridharan, A., Venkatappa Rao, G., 1973. Mechanisms controlling volume change of saturated clays and the role of the effective stress concept. Geotechnique, 23(3): 359-382.