

مطالعه تاثیر آلودگی نفتی بر نفوذپذیری و مقاومت برشی خاک‌های ماسه‌ای

محمدجواد مهدی‌زاده*، رضا غیائی و کامبیز بهنیا

دانشکده مهندسی عمران دانشکده فنی دانشگاه تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۶/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱/۲۱

چکیده

انتشار آلودگی‌های نفتی در خاک می‌تواند بر شاخصه‌های ژئوتکنیکی خاک تاثیر گذارد و موجب بروز مخاطراتی شود. در این مقاله تاثیر آلودگی نفتی بر مقاومت برشی و نفوذپذیری خاک‌های ماسه‌ای مطالعه شده است. برای انجام آزمایش‌ها، چهار نمونه خاک ماسه‌ای شامل ماسه خوب‌دانه‌بندی‌شده، ماسه بددانه‌بندی‌شده، ماسه لای‌دار و ماسه رس‌دار تهیه و آزمایش‌های تراکم استاندارد، حدود خمیری، برش مستقیم و نفوذپذیری بر روی آنها انجام شده‌اند. نفت خام تهیه‌شده از پالایشگاه تهران به‌عنوان آلاینده نفتی استفاده و در درصدهای وزنی ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ نسبت به وزن خشک خاک به نمونه‌ها اضافه شده است. در مجموع ۶۰ نمونه ماسه‌ای با درصدهای مختلف نفت خام تهیه و آزمایش شده است. نتایج آزمایش‌های برش مستقیم نشان‌دهنده کاهش زاویه اصطکاک داخلی نمونه‌های ماسه‌ای در اثر افزایش درصد آلودگی نفتی است. همچنین نتایج نشان دادند که آلودگی نفتی موجب کاهش چسبندگی نمونه‌های ماسه‌ای رس‌دار و افزایش چسبندگی دیگر نمونه‌ها می‌شود. تاثیر تبخیر بخشی از ترکیبات نفتی بر مقاومت برشی در نمونه‌های ۱۶ درصد آلوده آزمایش و درباره نتایج آزمایش برش مستقیم بحث شده است. نتایج آزمایش‌های نفوذپذیری نشان دادند که با افزایش مقدار نفت خام، ضریب نفوذپذیری نمونه ماسه‌ای رس‌دار افزایش می‌یابد. ضریب نفوذپذیری دیگر نمونه‌های ماسه‌ای با افزایش مقدار نفت خام در ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: نفت خام، خاک ماسه‌ای، ضریب نفوذپذیری، چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی.

مقدمه

با تصادفات تانکرها اتفاق می‌افتد. این آلودگی‌ها با دشواری فراوان از خاک و یا هر محیط دیگری زدوده می‌شوند. برای پاک‌سازی خاک‌های آلوده به ترکیبات نفتی روش‌هایی وجود دارند که از این بین می‌توان به روش‌های بیولوژیکی، خاک‌شویی، تجزیه آلاینده و مکش آلاینده از داخل خاک اشاره کرد [۱]. نفوذ آلاینده‌های نفتی در خاک از جنبه‌های مختلف مشخصه‌های خاک را تغییر می‌دهد.

تاثیر آلودگی‌های نفتی بر خاک یکی از مسائلی است که در سال‌های اخیر، به‌خصوص پس از جنگ‌های اواخر دهه ۱۹۸۰ میلادی در خاورمیانه، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. آلودگی نفتی معمولاً با نشست ترکیبات نفتی از مخازن و خطوط انتقال و

*مسئول مکاتبات

J_mehdzadeh@ut.ac.ir

آدرس الکترونیکی

اثر آلودگی با نفت خام را نشان داد [۱۰]. تحقیقات خسروی و همکارانش در زمینه تاثیر آلودگی خاک رسی با گازوییل مشخص کرد که با افزایش درصد آلودگی چسبندگی کاتولینیت کاهش و زاویه اصطکاک داخلی آن افزایش می‌یابد [۱۱]. سیم و لی نیز مطالعاتی درباره تاثیر بیودیزل بر مقاومت برشی و نفوذپذیری خاک ماسه‌ای بددانه‌بندی شده داشتند که نتایج آنها کاهش مقاومت برشی و نفوذپذیری این نوع خاک را معلوم نمود [۱۲-۱۴]. هم‌چنین مطالعات نایینی و شجاع‌الدین نشان می‌دهند که مقاومت خاک ماسه‌ای در برابر روان‌گرایی، با افزایش مقدار آلودگی خاک با نفت خام، ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد [۱۵]. به‌طور کلی جنبه‌های زیست‌محیطی آلودگی نفتی در خاک و مخاطرات ژئوتکنیکی که ممکن است در پی وقوع این نوع آلودگی در خاک رخ دهند اهمیت پژوهش در این زمینه را روشن می‌کنند. در ادامه این مقاله، تاثیر درصدهای مختلف آلاینده نفتی بر مشخصات مکانیکی چهار نوع خاک به‌صورت آزمایشگاهی بررسی شده است.

برنامه آزمایش‌ها

مشخصات خاک‌ها و نفت خام

در این پژوهش، برای در اختیار داشتن یک گروه از خاک‌های ماسه‌ای، چهار نمونه خاک ماسه‌ای با دانه‌بندی متفاوت به‌صورت مصنوعی ساخته و استفاده شدند. هر یک از این خاک‌ها معرف یکی از انواع خاک‌های ماسه‌ای مطابق روش رده‌بندی متحده خاک‌هاست. منحنی دانه‌بندی چهار خاک ماسه‌ای استفاده‌شده در آزمایش‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. ماسه خوب‌دانه‌بندی شده^۱ (SW) و ماسه بددانه‌بندی شده^۲ (SP) استفاده‌شده در آزمایش‌ها فاقد ریزدانه هستند.

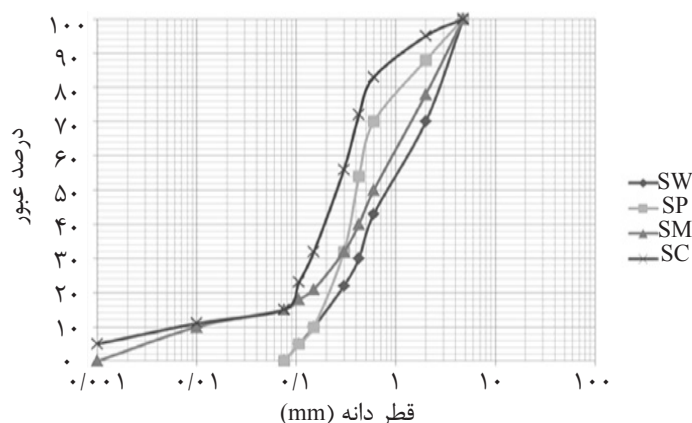
آلودگی نفتی می‌تواند موجب آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی شود و بر کشاورزی نیز تاثیر گذارد. نفوذ آلاینده‌های نفتی با مشخصات فیزیکی و شیمیایی متفاوت با آب می‌تواند پارامترهای ژئوتکنیکی خاک را نیز تغییر دهد. چون ظرفیت باربری پی و پایداری شیروانی‌ها در اثر آلودگی اغلب کاهش می‌یابد، بروز آلودگی نفتی ممکن است موجب بروز مخاطراتی شود [۲].

تحقیقات السند و همکارانش نشان داد که افزایش مقدار نفت خام موجب کاهش مقاومت برشی و نفوذپذیری خاک ماسه‌ای بددانه‌بندی شده می‌شود [۳]. شین و همکارانش با آزمایش تاثیر نفت خام بر مقاومت برشی خاک ماسه‌ای بددانه‌بندی شده به این نتیجه رسیدند که آلودگی با نفت خام موجب کاهش اندک زاویه اصطکاک داخلی می‌شود و این کاهش اندک به کاهش قابل توجه ظرفیت باربری پی‌های سطحی در خاک‌های دانه‌ای می‌انجامد [۴]. تحقیقات خامه‌چیان و همکارانش نشان داد که حضور نفت خام در نمونه‌های ماسه‌ای رسی سبب کاهش نفوذپذیری می‌شود. هم‌چنین نتایج این تحقیقات حاکی از تاثیر دوگانه نفت خام بر پارامترهای مقاومت برشی خاک ماسه‌ای و خاک رسی هستند [۵]. تحقیقات رحمان و همکارانش نشان‌دهنده کاهش مقاومت برشی زه‌کشی‌نشده و کاهش نفوذپذیری خاک سیلتی بر اثر آلودگی با نفت خام و روغن موتور هستند [۶ و ۷]، در حالی که نتایج تحقیقات نظیر^۱ بیانگر آن هستند که نفوذپذیری خاک رسی بر اثر آلودگی با روغن موتور افزایش و مقاومت فشاری محصورنشده بر اثر این آلودگی کاهش می‌یابد [۸]. تحقیقات ایجمدیا و ایگبورو نشان دادند که آلودگی خاک رسی با روغن موتور در درصدهای کم موجب افزایش مقاومت فشاری و در درصدهای بالاتر موجب کاهش مقاومت فشاری می‌شود [۹]. تحقیقات محرم‌زاده و همکارانش روی خاک‌های سطحی آلوده پالایشگاه تبریز کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های خاک بر

1. Nazir

2. Well Graded Sand

3. Poorly Graded Sand



شکل ۱ منحنی دانه‌بندی خاک‌های ماسه‌ای.

تبخیر بخشی از ترکیبات موجود در نفت خام بر پارامترهای مقاومت برشی خاک‌های ماسه‌ای، نمونه‌های ۱۶ درصد آلوده ۷۲ ساعت در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و آزمایش برش مستقیم روی آنها انجام شد. نمونه‌های آزمایش شده برحسب نوع خاک، درصد آلودگی و دمای نگهداری مطابق جدول ۴ نام‌گذاری شده‌اند.

روش آزمایش

آزمایش برش مستقیم

در این پژوهش برای سنجش مقاومت برشی و پارامترهای زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی، آزمایش برش مستقیم با رعایت استاندارد ASTM D3080 روی نمونه‌ها انجام شد [۱۹]. برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر و صحیح‌تر، آزمایش برش مستقیم سه بار روی هر نمونه انجام شد که میانگین نتایج حاصل از تکرار آزمایش‌ها به‌عنوان نتیجه نهایی گزارش شده است. ابعاد نمونه‌های آزمایش شده $6 \times 6 \times 2$ سانتی‌متر است و همگی نمونه‌ها در تراکم نسبی ۷۰ درصد آزمایش شده‌اند. سرعت اعمال کرنش دستگاه برش مستقیم برای نمونه‌های ماسه‌ای خوب دانه‌بندی شده و بددانه‌بندی شده 0.6 mm/min انتخاب شد.

ماسه لای‌دار (SM) حاوی ۱۵ درصد وزنی، لای و ماسه رس‌دار (SC) حاوی ۱۵ درصد وزنی رس است. چگالی ویژه دانه‌های جامد ماسه، لای و رس استفاده شده در ساخت نمونه‌ها مطابق استاندارد ASTM D8۵۴ اندازه‌گیری و در جدول ۱ ارائه شده است [۱۶]. همچنین حدود اتربرگ^۴ ریزدانه‌های به‌کاررفته در ساخت نمونه‌ها مطابق استاندارد ASTM D4318 اندازه‌گیری شده و نتایج در جدول ۲ نشان داده شده‌اند [۱۷]. آزمایش تراکم پروکتور استاندارد مطابق استاندارد ASTM D698 بر روی هر چهار خاک ماسه‌ای انجام شد که منحنی تراکم خاک‌های ماسه‌ای در شکل ۲ نشان داده شده است [۱۸]. آلاینده نفتی استفاده شده در این پژوهش نفت خام پالایشگاه تهران است که مشخصات فنی آن در جدول ۳ ارائه شده‌اند.

آماده‌سازی نمونه‌ها

برای مطالعه تاثیر مقدار آلودگی نفتی بر پارامترهای ژئوتکنیکی، هر یک از خاک‌های ماسه‌ای به پنج نمونه تقسیم‌بندی شدند که یک نمونه فاقد نفت خام است و چهار نمونه دیگر به ترتیب با ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ درصد وزنی نسبت به وزن خشک خاک با نفت خام مخلوط شدند. نمونه‌های آماده شده برای اختلاط نسبتاً مناسب با نفت خام ۷۲ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و سپس آزمایش برش مستقیم^۵ و آزمایش نفوذپذیری با هد ثابت^۶ روی آنها انجام شد. برای مطالعه تاثیر

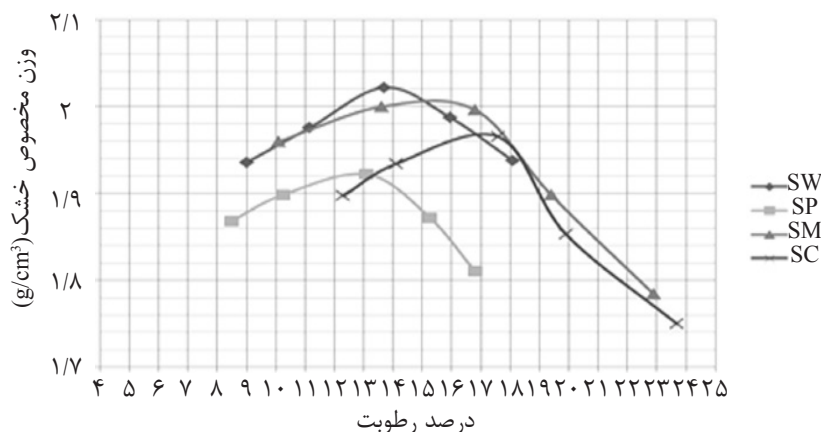
1. Muddy Sand
 2. Clayey Sand
 3. American Society of Testing Method
 4. Atterberg Limits
 5. Direct Shear Test
 6. Constant Head Permeability Test

جدول ۱ نتایج حاصل از تعیین چگالی دانه‌های جامد.

نوع خاک	چگالی ویژه دانه جامد G_p
ماسه فیروزکوه	۲/۶۷
لای	۲/۶۹
رس	۲/۷۱

جدول ۲ نتایج حاصل از تعیین حدود خمیری ریزدانه‌ها.

نوع ریزدانه	حد روانی (%)	حد خمیری (%)	نشانه خمیری (%)
لای	۳۶/۲	۲۵/۳	۱۰/۹
رس	۱۰۳/۵	۳۸/۹	۶۴/۶



شکل ۲ منحنی تراکم استاندارد خاک‌های ماسه‌ای.

جدول ۳ مشخصات فنی نفت خام پالایشگاه تهران.

۴۱/۳	ویسکوزیته دینامیکی (cP)
۰/۸۹	وزن مخصوص (gr/cm^3)
۴۴/۱	نقطه اشتعال ($^{\circ}C$)
۰/۸۹	چگالی ویژه

جدول ۴ نام‌گذاری نمونه‌های ماسه‌ای.

نوع خاک	فاقد نفت خام	با ۴٪ نفت خام	با ۸٪ نفت خام	با ۱۲٪ نفت خام	با ۱۶٪ نفت خام	با ۱۶٪ نفت خام تبخیر شده
خاک ماسه‌ای خوب دانه بندی شده	SW0	SW4	SW8	SW12	SW16	SW16*
خاک ماسه‌ای بد دانه بندی شده	SP0	SP4	SP8	SP12	SP16	SP16*
خاک ماسه‌ای لای دار	SM0	SM4	SM8	SM12	SM16	SM16*
خاک ماسه‌ای رس دار	SC0	SC4	SC8	SC12	SC16	SC16*

آزمایش نفوذپذیری با هد ثابت

برای سنجش نفوذپذیری، آزمایش نفوذپذیری با هد ثابت با رعایت استاندارد ASTM D2434 بر روی نمونه‌ها انجام شد [۲۰]. در این جا نیز برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر و صحیح‌تر، آزمایش نفوذپذیری سه بار روی هر نمونه انجام شد که میانگین نتایج حاصل از تکرار آزمایش‌ها برای هر نمونه، نتیجه نهایی مشخص شده است. قطر سلول نفوذپذیری سنج ۸ سانتی‌متر و ارتفاع نمونه‌ها ۹

سرعت اعمال کرنش دستگاه برای نمونه‌های ماسه‌ای لای دار و رس دار به دلیل وجود ریزدانه و ایجاد فرصت برای زایل شدن فشار حفره‌ای اضافی $0/12$ mm/min انتخاب شد. آزمایش برش مستقیم هم روی نمونه‌هایی که در دمای $25^{\circ}C$ نگهداری شده بودند و هم روی نمونه‌های ۱۶٪ آلوده که در دمای $45^{\circ}C$ نگه داشته شده بودند انجام شد. نتایج حاصل از آزمایش برش مستقیم در بخش نتایج بررسی شده‌اند.

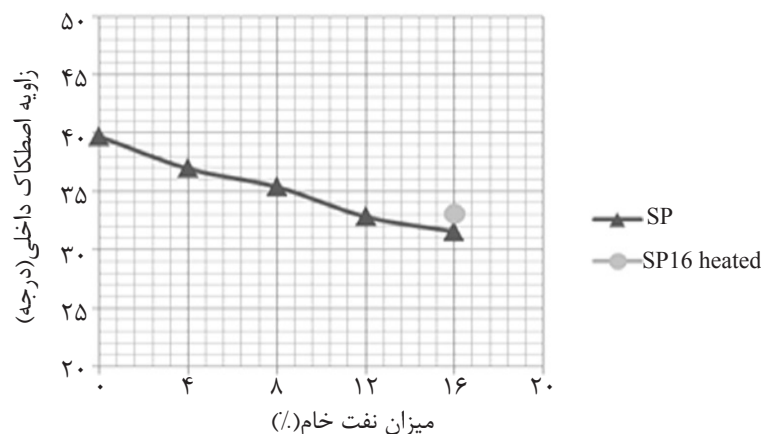
و چسبندگی نمونه ۱۶ درصد آلوده که بخشی از ترکیبات نفت خام موجود در آن تبخیر شده با علامت * در منحنی‌ها نشان داده شده است. منحنی زاویه اصطکاک داخلی به‌زای درصد نفت خام موجود در نمونه‌ها برای هر یک از خاک‌های ماسه‌ای در شکل‌های ۳ تا ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که این منحنی‌ها نشان می‌دهند زاویه اصطکاک داخلی خاک‌های ماسه‌ای بر اثر افزایش مقدار نفت خام کاهش می‌یابد. مقدار کاهش زاویه اصطکاک داخلی در نمونه ماسه‌ای لای‌دار بیش از دیگر نمونه‌ها مشاهده شد (در حدود ۱۲ درجه). نمونه‌های ماسه‌ای رس‌دار کم‌تر از دیگر نمونه‌ها کاهش زاویه اصطکاک داخلی داشته‌اند. مقدار کاهش زاویه اصطکاک داخلی ماسه رس‌دار در بحرانی‌ترین حالت ۳ درجه بوده است.

سانتی‌متر است. برای تمام نمونه‌ها در تراکم نسبی ۷۰٪ آزمایش نفوذپذیری با هد ثابت انجام شد. ضریب نفوذپذیری هر یک از نمونه‌های تمیز و آلوده از آزمایش به دست آمد که در بخش نتایج درباره آن بحث شده است.

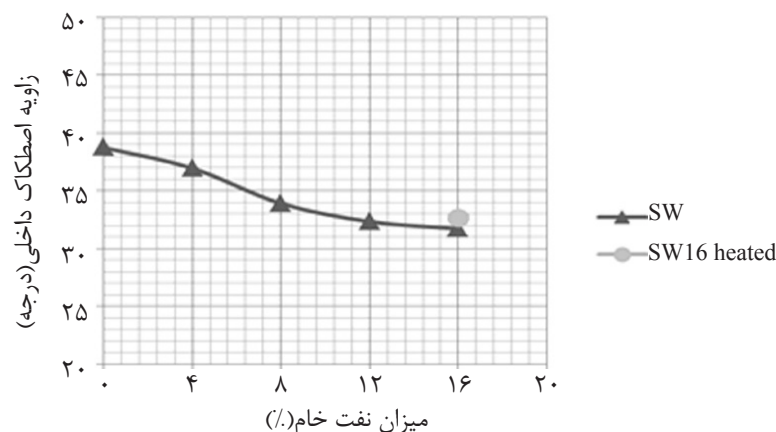
نتایج و بررسی

مقاومت برشی

آزمایش برش مستقیم مطابق روش شرح‌داده‌شده در بخش قبل انجام شد و پارامترهای زاویه اصطکاک داخلی^۱ و چسبندگی^۲ از منحنی‌های مقاومت برشی به دست آمدند. منحنی‌های تغییرات زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی نمونه‌ها به‌زای تغییرات درصد نفت خام ترسیم شده‌اند. زاویه اصطکاک داخلی

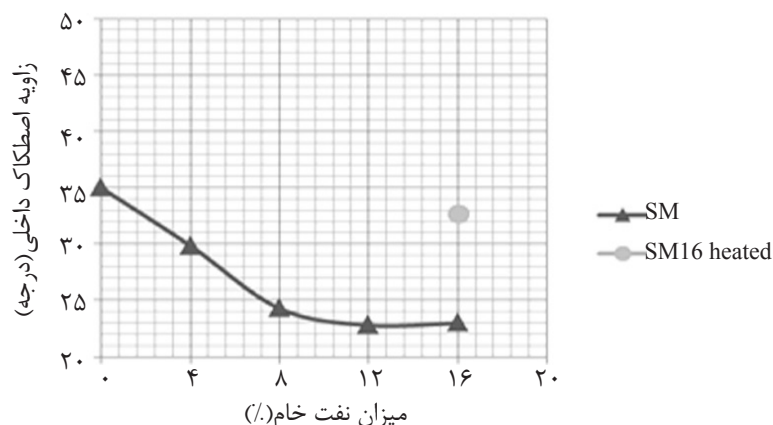


شکل ۳ تاثیر مقدار نفت خام بر زاویه اصطکاک داخلی خاک ماسه‌ای بددانه‌بندی‌شده.

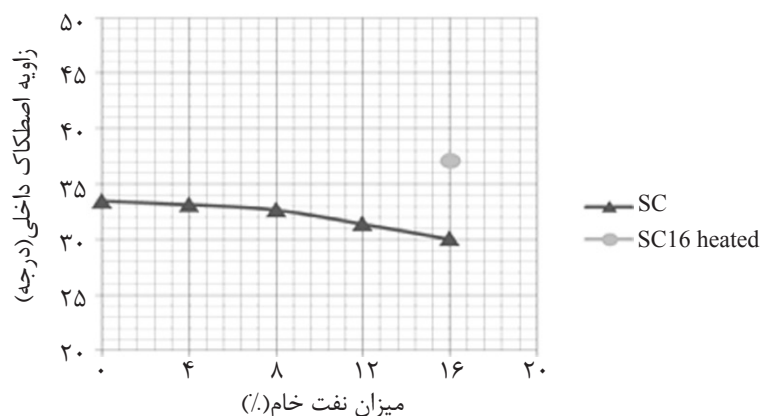


شکل ۴ تاثیر مقدار نفت خام بر زاویه اصطکاک داخلی خاک ماسه‌ای خوب‌دانه‌بندی‌شده.

1. Friction Angle
2. Cohesion



شکل ۵ تاثیر مقدار نفت خام بر زاویه اصطکاک داخلی خاک ماسه‌ای لای‌دار.



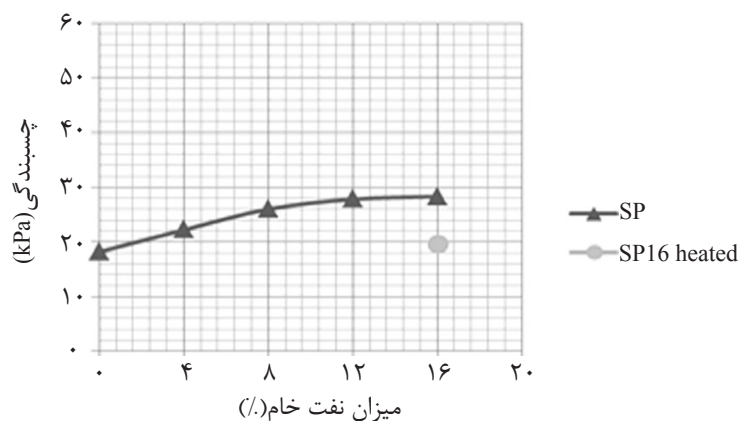
شکل ۶ تاثیر مقدار نفت خام بر زاویه اصطکاک داخلی خاک ماسه‌ای رس‌دار.

و همکارانش روی خاک ماسه‌ای بددانه‌بندی شده و لای‌دار، کاهش زاویه اصطکاک داخلی به‌ازای افزایش مقدار نفت خام را نشان می‌دهند [۵]. علت آن که در نتایج پژوهش حاضر، شیب کاهش زاویه اصطکاک داخلی در ماسه رس‌دار کم‌تر از دیگر خاک‌های ماسه‌ای است می‌تواند تغییر خواص رس موجود در این نمونه باشد. خامه‌چیان و همکارانش به این نتیجه رسیدند که نفت خام موجب افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک رسی می‌شود [۵].

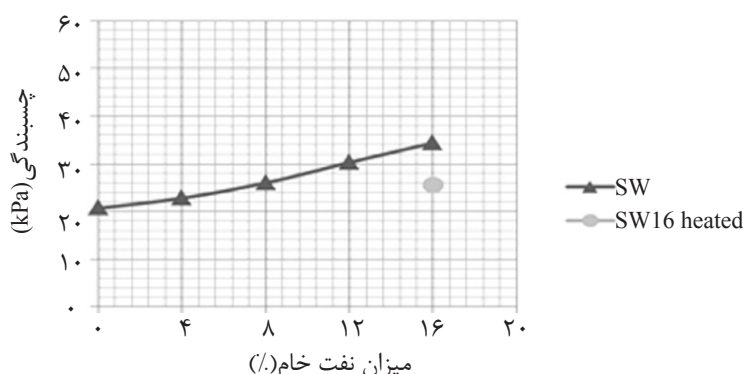
کاهش زاویه اصطکاک داخلی همه نمونه‌های ماسه‌ای می‌تواند به تاثیر نفت خام بر ذرات ماسه مربوط باشد. چون نفت خام با ویسکوزیته بالاتر از آب ذرات خاک را احاطه می‌کند، موجب می‌شود ذرات ماسه راحت‌تر روی هم بلغزند و دچار گسیختگی برشی شوند [۱ و ۶]. شین و داس، در بررسی خاک ماسه‌ای بددانه‌بندی شده، کاهش زاویه اصطکاک داخلی را بر اثر آلودگی نفتی مشاهده کردند [۲]. آزمایش‌های خامه‌چیان

کاهش حدود ۱۵ کیلوپاسکالی چسبندگی نمونه ماسه رس دار می‌شود که ناشی از کاهش چسبندگی رس موجود در نمونه بر اثر وجود نفت خام است. خامه‌چیان و همکارانش کاهش چسبندگی خاک رسی بر اثر آلودگی نفتی را نیز گزارش کرده‌اند [۵]. از دلایل کاهش چسبندگی رس بر اثر آلودگی نفتی می‌توان به این موارد اشاره کرد: ۱- کاهش ظرفیت تبادل کاتیونی: اگر ظرفیت تبادل کاتیونی رس کاهش یابد، مقدار چسبندگی رس نیز کاهش می‌یابد. نتایج تحقیقات حبیب‌الرحمان و همکارانش نشان می‌دهند که حضور نفت خام در اطراف ذرات رس موجب کاهش ظرفیت تبادل کاتیونی می‌شود که این به کاهش چسبندگی رس می‌انجامد [۲۱]؛ ۲- نشست مولکول‌های نفت خام به جای آب در اطراف ذرات رس: یکی از علل چسبندگی رس‌ها کشش سطحی مولکول‌های آبی است که در لایه دوگانه رس قرار دارند. چون مولکول‌های نفت خام کشش سطحی کم‌تری دارند، حضور مولکول‌های نفت خام در اطراف رس تا اندازه‌ای از چسبندگی ذرات رس می‌کاهد؛ ۳- کاهش سطح مخصوص رس: یکی دیگر از عوامل چسبندگی در رس‌ها سطح مخصوص زیاد آنهاست.

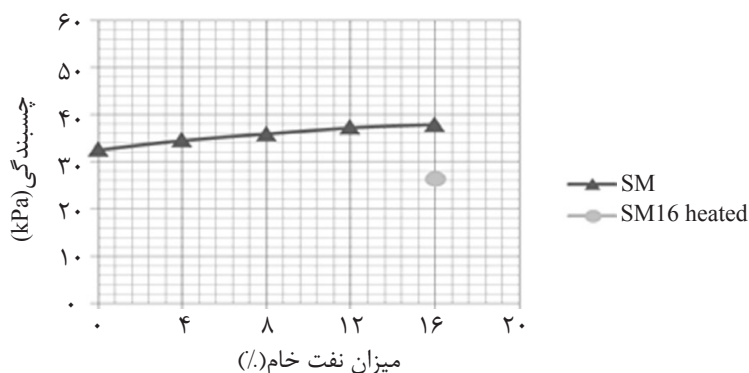
نتایج تحقیقات حبیب‌الرحمان و همکارانش نشان دادند که دانه‌های رس بر اثر آلودگی نفتی تجمع می‌کنند که قطر این ذرات تجمعی به اندازه لای و حتی ماسه ریز می‌رسد [۲۱]. تجمع ذرات رس می‌تواند موجب شبیه شدن رفتار رس به رفتار خاک‌های دانه‌ای شود. با توجه به مطالب یادشده، منطقی به نظر می‌رسد که به دلیل تغییر رفتار و افزایش زاویه اصطکاک داخلی رس موجود در نمونه، زاویه اصطکاک داخلی نمونه ماسه‌ای رس دار در مجموع با شیبی کم‌تر از دیگر خاک‌های ماسه‌ای کاهش یابد. شکل‌های ۷ تا ۱۰ تغییرات چسبندگی را به‌زای درصد نفت خام موجود در نمونه برای هر یک از خاک‌های ماسه‌ای نشان می‌دهند. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهند، افزایش مقدار نفت خام در نمونه‌های ماسه‌ای بددانه‌بندی‌شده، خوب دانه‌بندی‌شده و لای دار موجب افزایش چسبندگی می‌شود (شکل‌های ۷ تا ۱۰) که مقدار این افزایش در این سه نوع نمونه با ۱۶ درصد آلودگی به نفت خام به حدود ۱۰ کیلوپاسکال می‌رسد. چسبندگی ایجادشده می‌تواند به لزجت نفت خام مربوط باشد که موجب ایجاد یک چسبندگی ظاهری میان ذرات خاک ماسه‌ای می‌شود [۲]؛ اما نتایج برای ماسه رس دار به گونه‌ای دیگر است. افزایش درصد نفت خام موجب



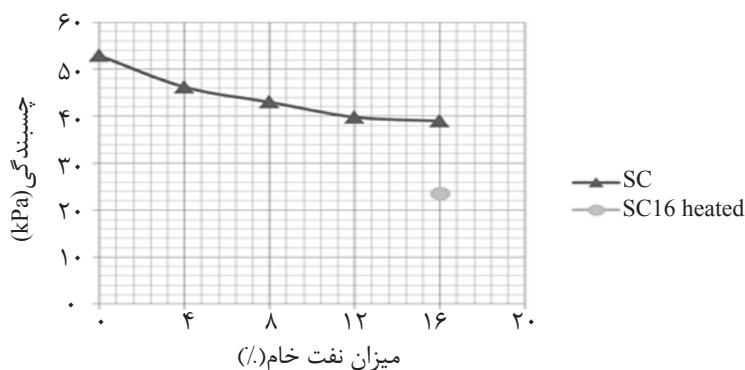
شکل ۷ تاثیر مقدار نفت خام بر چسبندگی خاک ماسه‌ای بددانه‌بندی‌شده.



شکل ۸ تاثیر مقدار نفت خام بر چسبندگی خاک ماسه‌ای خوب دانه بندی شده.



شکل ۹ تاثیر مقدار نفت خام بر چسبندگی خاک ماسه‌ای لای دار.



شکل ۱۰ تاثیر مقدار نفت خام بر چسبندگی خاک ماسه‌ای رس دار.

خام، ۷۲ ساعت در دمای 50°C نگهداری شدند و سپس آزمایش برش مستقیم روی آنها انجام شد که نتایج آن نشان می‌دهند که تبخیر بخشی از ترکیبات نفت خام در نمونه‌های ماسه بدانه‌بندی شده، خوب دانه‌بندی شده و لای دار موجب بازگشت نسبی مقادیر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی نمونه آلوده به مقادیر نمونه تمیز می‌شود؛ به این معنی که زاویه اصطکاک داخلی این نمونه‌ها که بر اثر آلودگی نفتی کاهش یافته بود، پس از تبخیر ترکیبات نفت خام افزایش می‌یابد.

همان‌طور که گفته شد، ذرات رس بر اثر آلودگی نفتی دچار نوعی تجمع گروهی می‌شوند که این به کاهش سطح مخصوص و کاهش چسبندگی می‌انجامد. با توجه به مطالب گفته شده، کاهش چسبندگی نمونه ماسه‌ای رس دار منطقی به نظر می‌رسد.

تأثیر تبخیر ترکیبات نفت خام از نمونه‌ها: در مطالعات پیشین تأثیر تبخیر مشتقات نفتی بر مقاومت برشی خاک آلوده به نفت خام و مشتقات آن مطالعه نشده است. در این پژوهش نمونه‌هایی با ۱۶٪ آلودگی، برای تبخیر بخشی از ترکیبات نفت

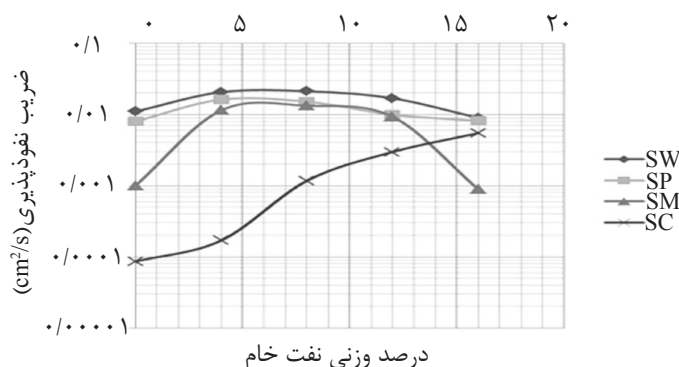
شده است که در مقایسه با کاهش اولیه مقدار چسبندگی نمونه ماسه‌ای رس‌دار قابل توجه است. چون نفت خام تأثیری شیمیایی بر ذرات رس دارد، به‌نظر می‌رسد که نگهداری نمونه‌ها در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و تبخیر برخی از ترکیبات موجود در نفت خام موجب ادامه واکنش آن با ذرات رس می‌شود که این امر موجب کاهش بیش‌تر چسبندگی و افزایش زاویه اصطکاک داخلی در رس شده است.

نفوذپذیری

آزمایش نفوذپذیری مطابق روش شرح‌داده‌شده در بخش قبل انجام شد. نتایج آزمایش نفوذپذیری با هد ثابت روی خاک‌های ماسه‌ای در شکل ۱۱ به‌صورت منحنی‌های ضریب نفوذپذیری به‌ازای درصد آلودگی نمونه با نفت خام نشان داده شده است. همان‌طور که منحنی‌ها نشان می‌دهند با افزایش مقدار نفت خام، ضریب نفوذپذیری نمونه‌های ماسه‌ای بددانه‌بندی‌شده، خوب‌دانه‌بندی‌شده و لای‌دار ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. السند و همکارانش کاهش مداوم نفوذپذیری ماسه بددانه‌بندی‌شده را بر اثر آلودگی نفتی مشاهده کردند [۳]. خامه‌چیان و همکارانش نیز کاهش مداوم نفوذپذیری ماسه بددانه‌بندی‌شده و ماسه لای‌دار را بر اثر آلودگی نفتی گزارش کردند و دلیل آن را کاهش حجم خلل و فرج خاک به‌دلیل حضور نفت خام دانستند [۵].

افزایش زاویه اصطکاک داخلی به‌دلیل تبخیر رخ‌داده در نمونه‌های ماسه‌ای بددانه‌بندی‌شده و خوب‌دانه‌بندی‌شده جزئی است، اما در نمونه‌های ماسه‌ای لای‌دار، افزایش زاویه اصطکاک داخلی بسیار قابل توجه است طوری که زاویه اصطکاک داخلی نمونه آلوده که ۱۲ درجه کاهش یافته بود حدود ۹ درجه افزایش می‌یابد و بخشی قابل توجه از کاهش مقاومت جبران می‌شود. همچنین چسبندگی ظاهری ایجادشده از آلودگی نفتی در این نمونه‌ها کاهش می‌یابد. تأثیر نفت خام بر خاک‌های دانه‌ای صرفاً فیزیکی است، لذا احتمالاً تبخیر بخشی از ترکیبات نفت خام موجب تغییر خواص فیزیکی نفت خام می‌شود و خاصیت روغنی و لزجت آن را کم می‌کند که این نیز به افزایش زاویه اصطکاک داخلی و کاهش چسبندگی در نمونه‌های ماسه‌ای بددانه‌بندی‌شده، خوب‌دانه‌بندی‌شده و لای‌دار می‌انجامد.

مقدار زاویه اصطکاک داخلی نمونه ماسه‌ای رس‌دار، که بر اثر آلودگی نفتی کاهش یافته بود، در فرآیند تبخیر ترکیبات نفت خام افزایش می‌یابد. افزایش زاویه اصطکاک داخلی نمونه ماسه‌ای رس‌دار آلوده به حدی است که مقدار زاویه اصطکاک داخلی پس از فرآیند تبخیر بیش از زاویه اصطکاک داخلی نمونه فاقد نفت خام است، اما چسبندگی این نمونه که بر اثر آلودگی نفتی کاهش یافته بود پس از فرآیند تبخیر باز هم کاهش می‌یابد. این کاهش چسبندگی در حدود ۱۶ کیلوپاسکال مشاهده



شکل ۱۱ تأثیر مقدار نفت خام بر ضریب نفوذپذیری خاک‌های ماسه‌ای.

کاهش ضخامت لایه دوگانه رس می‌شود که این نیز به افزایش نفوذپذیری رس می‌انجامد [۲۳]. بنابراین با توجه به این که ثابت دی‌الکتریک نفت خام از آب کم‌تر است، افزایش نفوذپذیری رس و متعاقباً افزایش مداوم نفوذپذیری نمونه ماسه رس‌دار منطقی به نظر می‌رسد.

نتیجه‌گیری

- افزایش مقدار نفت خام در خاک ماسه‌ای فاقد رس نوعی چسبندگی ظاهری ایجاد می‌کند که مقدار آن با افزایش آلودگی نمونه‌ها افزایش می‌یابد و در نهایت به حدود ۱۰ کیلوپاسکال می‌رسد؛

- افزایش مقدار نفت خام در تمام خاک‌های ماسه‌ای آزمایش شده موجب کاهش زاویه اصطکاک داخلی خاک می‌شود. بیش‌ترین مقدار کاهش زاویه اصطکاک داخلی مربوط به ماسه لای‌دار است، حال آن که زاویه اصطکاک داخلی ماسه رس‌دار کم‌ترین حساسیت را به آلودگی نشان می‌دهد؛ - افزایش مقدار نفت خام در خاک ماسه‌ای رس‌دار موجب کاهش مقدار چسبندگی این نمونه می‌شود. بیش‌ترین مقدار کاهش چسبندگی برای نمونه‌های ۱۶ درصد آلوده در حدود ۱۵ کیلوپاسکال مشاهده شده است؛

- تبخیر بخشی از ترکیبات نفت خام موجود در نمونه‌ها موجب افزایش زاویه اصطکاک داخلی و جبران بخشی از کاهش زاویه اصطکاک داخلی نسبت به نمونه تمیز می‌شود. افزایش زاویه اصطکاک داخلی نمونه ماسه‌ای رس‌دار بر اثر تبخیر ترکیبات نفت خام به حدی است که مقدار زاویه اصطکاک داخلی این نمونه بدون آلودگی نیز بیش‌تر می‌شود؛

- تبخیر بخشی از ترکیبات نفت خام موجود در نمونه‌ها موجب کاهش چسبندگی نمونه‌ها می‌شود. این کاهش چسبندگی نمونه‌های ماسه‌ای خوب دانه‌بندی شده، بدانه‌بندی شده و لای‌دار کاهش آن چسبندگی ظاهری

نتایج این مقاله نشان می‌دهند که ضریب نفوذپذیری نمونه‌های ماسه‌ای بدانه‌بندی شده، خوب‌دانه‌بندی شده و لای‌دار ابتدا با افزایش آلودگی افزایش می‌یابد. ضریب نفوذپذیری در نمونه‌های ماسه‌ای آلوده خوب‌دانه‌بندی شده و بدانه‌بندی شده در بحرانی‌ترین حالت حدود ۲ برابر ضریب نفوذپذیری نمونه فاقد آلودگی است، در حالی که برای ماسه لای‌دار آلوده در بحرانی‌ترین حالت در حدود ۱۱ برابر ضریب نفوذپذیری نمونه فاقد آلودگی است. برای توجیه افزایش نفوذپذیری این نمونه‌ها در ابتدای افزایش درصد آلودگی باید گفت که نفت خام موجب چرب شدن سطوح خلل و فرج و دانه‌های خاک می‌شود؛ بنابراین ممکن است آب با سرعت بیش‌تری از میان خلل و فرج خاک آلوده عبور کند و ضریب نفوذپذیری افزایش یابد. بنابراین منطقی به نظر می‌رسد که با افزایش درصد نفت خام، ضریب نفوذپذیری این نمونه‌ها تا حدی افزایش یابد و پس از آن، با افزایش بیش‌تر درصد آلودگی، نفت خام موجب مسدود شدن خلل و فرج خاک شود و ضریب نفوذپذیری این نمونه‌ها کاهش یابد [۳، ۵ و ۲۲].

اما نتایج برای نمونه ماسه‌ای رس‌دار به گونه‌ای دیگراند. ضریب نفوذپذیری این نمونه با افزایش نفت خام مدام افزایش می‌یابد. این افزایش به قدری قابل توجه است که ضریب نفوذپذیری نمونه ماسه رس‌دار ۱۶ درصد آلوده در حدود ۵۰ برابر ضریب نفوذپذیری نمونه ماسه رس‌دار تمیز است. علت ضریب نفوذپذیری کم نمونه ماسه رس‌دار تمیز وجود رس در این نمونه است؛ لذا می‌توان نتیجه گرفت که علت این افزایش قابل توجه ضریب نفوذپذیری نمونه ماسه رس‌دار افزایش شدید نفوذپذیری رس موجود در نمونه باشد. نظیر افزایش ضریب نفوذپذیری رس بر اثر آلودگی با روغن موتور را گزارش کرد [۸]. ثابت دی‌الکتریک سیال و ضریب نفوذپذیری رس ارتباطی تنگاتنگ دارند، طوری که هر چه ثابت دی‌الکتریک سیال کم‌تر باشد، موجب

کاهش می‌یابد؛

- با افزایش مقدار نفت خام، افزایش ضریب نفوذپذیری خاک‌های ماسه‌ای رس‌دار قابل توجه است، طوری که ضریب نفوذپذیری ماسه رس‌دار ۱۶٪ آلوده، حدود ۵۰ برابر ضریب نفوذپذیری ماسه رس‌دار فاقد آلودگی است.

است که بر اثر آلودگی با نفت خام در این نمونه‌ها به وجود می‌آید؛ اما در نمونه ماسه‌ای رس‌دار، این کاهش چسبندگی در واقع ادامه کاهش چسبندگی رس موجود در این نمونه به دلیل آلودگی با نفت خام است؛

- ضریب نفوذپذیری خاک‌های ماسه‌ای فاقد رس در اثر افزایش مقدار نفت خام ابتدا افزایش و سپس

مراجع

- [1]. Aiban S. A. "The effect of temperature on the engineering properties of oil-contaminated sand," Journal of Environmental International, Vol. 24, Issues 1-2, pp. 153-161, January-February 1998.
- [2]. Shin E. C. and Das B. M. "Bearing capacity of unsaturated oil contaminated sand," International Journal of Offshore and Polar Engineering, Vol. 11, Issue 3, pp. 220-227, 2001.
- [3]. Alsanad H. A., Eid W. K. and Ismael N. F., "Geotechnical properties of oil contaminated Kuwaiti sand," Journal of Geotechnical Engineering, ASCE 121, Vol. 121, Issue 5, May 1995.
- [4]. Shin E. C., Lee J. B. and Das B. M. "Bearing capacity of a model scale footing on crude oil-contaminated sand," Journal of Geotechnical and Geological Engineering, Vol. 17, Issue 2, pp. 123-132, June 1999.
- [5]. Khamchian M., Charkhabi A. M. and Tajik M. "Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils," Journal of Engineering Geology, Vol. 89, Issues 3-4, pp. 220-229, 6 February 2007.
- [6]. Rahman Z. A., Hamzah U. and Ahmad N. "Geotechnical characteristic of oil contaminated granitic and metasedimentary soils," Asian Journal of Applied Sciences, 3: pp. 237-249, 2010.
- [7]. Rahman Z. A., Hamzah U., Taha M. R., Ithnain N. S. and Ahmad N. "Influence of oil contamination on geotechnical properties of basaltic residual soil," American Journal of Applied Sciences, 7 (7): pp. 954-961, 2010.
- [8]. Nazir A. K. "Effect of motor oil contamination on geotechnical properties of over consolidated clay," Alexandria Engineering Journal, Vol. 50, Issue 4, pp. 331-335 Dec. 2011.
- [9]. Ijimdiya T. S. and Igboro T. "Effect of used oil on the strength and compressibility behavior of lateritic soil," 4th West Africa Built Environment Research Conference, Vol. 1, pp. 715-723, Abuja, Nigeria 24-26 July 2012.
- [۱۰]. محرم‌زاده سرای خ.، محمدی س. د.، نیکودل م. ر.، غبرایی ر. و کنگری م. ک. "بررسی خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌های سطحی آلوده پالایشگاه تبریز،" سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، ۱۳۹۱، تهران.
- [۱۱]. خسروی الف.، صبور م. ر.، قاسم‌زاده ح. و کاهی ف. "مطالعه آزمایشگاهی تاثیر گازوییل بر پارامترهای مقاومت برشی کائولینیت،" دومین سمپوزیوم بین‌المللی مهندسی محیط زیست، ۱۳۹۰، تهران.
- [12]. Sim Y. L. and Lee C. Y. "Some geotechnical properties of palm biodiesel contaminated mining sand and weathered granite soil," IJASTER Research Paper, Vol. 1, Issue 4, 2012.
- [13]. Sim Y. L. and Lee C. Y. "Behavior of piles in palm biodiesel contaminated mining sand," International Journal of Environmental Sciences, Vol. 3, pp. 1822-1830, 2013.
- [14]. Sim Y. L. and Lee C. Y. "Aging effect on palm biodiesel contaminated mining sand," Journal of Research in Architecture and Civil Engineering, Vol. 1, pp. 5-8, 2013.

- [15]. Naeini, S. A. & M. M. Shojaedin. "Effect of Oil Contamination on the Liquefaction Behavior of Sandy Soils," International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering, Vol. 8, 2014.
- [16]. ASTM D854, 2010, "Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer".
- [17]. ASTM D4318, 2010, "Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soil".
- [18]. ASTM D698, 2007, "Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristic of Soil Using Standard Effort".
- [19]. ASTM D3080, 2011, "Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils under Consolidated Drained Conditions".
- [20]. ASTM D2434, 2006, "Standard Test Method for Permeability of Granular Soils(Constant Head)".
- [21]. Ur-Rehman, H., S. N. Abduljauwad & T. Akram. "Geotechnical Behavior of Oil-Contaminated Fine Grained Soils," Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 12A, 2007.
- [22]. Chew, S.J. & C. Y. Lee. "Simple Shear Behavior of Palm Biodiesel Contaminated Soil," ARPJ Journal of Engineering and Applied Science, Vol. 5, pp. 6-9, 2010.
- [23]. Mitchell, J. K. "Fundamentals of Soil Behaviour," New York, John Wiley & Sons, Inc., 1993.