

مطالعه تأثیر آلودگی‌های نفتی بر پارامترهای مقاومت برشی خاک‌های دانه‌ای با تأکید بر اثر مقیاس آزمایش برش مستقیم

مهدی خداپرست*^۱ و حسین حاجی^۲

^۱ دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه قم

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوتکنیک، گروه مهندسی عمران، دانشگاه قم

(دریافت: ۹۵/۱۰/۹، پذیرش: ۹۷/۱۱/۶، نشر آنلاین: ۹۷/۱۱/۶)

چکیده

در سال‌های اخیر به علت حجم گسترده آلودگی‌های نفتی و ورود آن‌ها به داخل خاک در اطراف پالایشگاه‌ها و محل عبور لوله‌های انتقال، مطالعات وسیعی در مورد اثرات آلودگی‌های نفتی بر روی خواص خاک انجام شده است. در این مطالعه به منظور بررسی تأثیر آلودگی نفت گاز بر مقاومت برشی خاک، ابتدا خاک درشت‌دانه شنی آلوده شده توسط نفت گاز به میزان ۰،۳، ۰،۶ و ۱۲ درصد تهیه شده و سپس با استفاده از دستگاه برش مستقیم با ابعاد جعبه ۱۰x۱۰ سانتی‌متر مورد آزمایش قرار می‌گیرد. جهت بررسی اثر تراکم و تنش قائم بر پارامترهای مقاومت برشی، آزمایش‌ها در دو وزن مخصوص خشک و در دو سطح تنش قائم پایین و بالا بر روی نمونه‌ها انجام گرفته است. در این تحقیق سعی شده علاوه بر بررسی تأثیر آلودگی بر رفتار برشی خاک درشت‌دانه، تأثیر تغییر ابعاد جعبه آزمایش برش مستقیم بر پارامترهای مقاومت برشی خاک نیز مطالعه گردد. نتایج آزمایش‌های برش مستقیم نشان می‌دهد که همواره با افزایش درصد آلودگی، زاویه اصطکاک داخلی خاک کاهش می‌یابد. لیکن از نظر چسبندگی، در نمونه‌های آزمایش شده با جعبه کوچک با افزایش درصد آلودگی چسبندگی کاهش و در آزمایش‌های با جعبه بزرگ با افزایش درصد آلودگی، میزان چسبندگی خاک افزایش یافته است. همچنین با مقایسه نتایج می‌توان گفت که تأثیر ابعاد جعبه برش بر پارامترهای مقاومت برشی تا حد زیادی بستگی به میزان درصد آلودگی خاک، وزن مخصوص خشک و مقدار تنش‌های قائم دارد.

کلیدواژه‌ها: آزمایش برش مستقیم، نفت گاز، خاک درشت‌دانه، پارامترهای مقاومت برشی، ابعاد جعبه برش.

۱- مقدمه

صورت افقی منتشر شده و خاک بیشتری را آلوده کند. همچنین نفتی که در نزدیکی ساحل وارد آب می‌گردد، خاک تمام خط ساحلی را آلوده می‌کند. به منظور رفع آلودگی از خاک در این مواقع باید خواص ژئوتکنیکی خاک آلوده شده با توجه به شرایط محیطی، نوع خاک، نوع ماده آلوده کننده به طور مناسب برآورد شود. به عنوان بزرگ‌ترین آلودگی‌های نفتی در دهه‌های اخیر می‌توان به آلودگی نفتی در اثر جنگ خلیج فارس در کویت اشاره کرد که در آن حجمی از خاک برابر ۹ میلیون متر مکعب در سطحی برابر ۱۹/۰۵ میلیون متر مربع به نفت آلوده گردید. همچنین در حدود ۶۹ دریاچه برای جمع‌آوری نفت خام پخش شده ایجاد شد. از موارد دیگر هم می‌توان به بمباران پالایشگاه آبادان و تهران و آلودگی‌های ناشی از تخریب مخازن این پالایشگاه‌ها در جنگ ایران و عراق اشاره نمود.

در کشورهای نفت‌خیز مثل ایران که همواره در معرض آلوده شدن خاک و آب به نفت و فرآورده‌های نفتی قرار دارد، مسئله آلودگی خاک‌ها به مواد نفتی از جمله نفت خام، گازوئیل و روغن موتور سوخته در ابعاد گسترده‌ای مطرح می‌باشد. خاک آلوده به مواد نفتی به عنوان یک مشکل شایع محیط زیستی مطرح می‌شود اما در اثر فرآیندهای فیزیکی-شیمیایی که بین این آلاینده‌ها و خاک رخ می‌دهد، رفتار ژئوتکنیکی خاک نیز تغییر می‌کند که این موضوع می‌تواند باعث کاهش ظرفیت باربری خاک، تغییر در پارامترهای مقاومتی خاک و تغییرات در خواص مهندسی و ژئوتکنیکی خاک گردند. هنگامی که نشت یا ریزش نفت اتفاق می‌افتد، این مایع هیدروکربنی، تحت اثر نیروی ثقل، به آب‌های زیرزمینی رسیده و خاک‌های مسیر خود را نیمه اشباع می‌کند. علی‌رغم رسیدن به سطح آب زیرزمینی، این مایع می‌تواند به

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۹۱۲۱۵۳۵۰۸۸

Shin و همکاران (۲۰۰۲)؛ Alsanad and Ismael (۲۰۰۲)؛ Otunyo (۲۰۱۰)؛ Soltani و همکاران (۲۰۱۷)؛ پورعلیزاده و همکاران (۱۳۹۴)؛ صدقیانی و جیریایی شراهی (۱۳۸۳)؛ نورزاد و همکاران (۱۳۹۰)؛ Nasehi و همکاران (۲۰۱۶)، همگی نشان دادند که با افزایش درصد آلودگی نفت، زاویه اصطکاک داخلی خاک کاهش می‌یابد.

مطالعات Otunyo (۲۰۱۰)؛ کرمانی و عبادی (۱۳۸۹)؛ محمدی و همکاران (۱۳۸۹) در مورد تأثیر آلودگی نفتی بر میزان چسبندگی خاک نشان داد که با افزایش درصد آلودگی، چسبندگی نیز مانند زاویه اصطکاک داخلی کاهش می‌یابد. هرچند رحیمی و حسینی (۱۳۹۴)؛ Nasehi و همکاران (۲۰۱۶) با مطالعه بر روی خاک‌های درشت‌دانه آلوده به نفت و نفت گاز به این نتیجه رسیدند که با افزایش درصد آلودگی، چسبندگی افزایش پیدا می‌کند. اما در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که با آلوده شدن خاک به مواد نفتی، مقاومت برشی خاک نیز دچار کاهش می‌شود که البته تحقیقات خضری و همکاران (۱۳۹۳)؛ محمدی و همکاران (۱۳۸۹)؛ Adeoye و همکاران (۲۰۱۵)؛ Rasheed و همکاران (۲۰۱۴) و George و همکاران (۲۰۱۴) کاهش مقاومت برشی خاک‌های آلوده به نفت را نشان می‌دهد.

با وجود مطالعات زیاد گذشته با این حال مطالعات بیشتر برای تعیین اثر آلاینده‌های نفتی بر پارامترهای ژئوتکنیکی انواع خاک‌ها لازم به نظر می‌رسد. در مطالعات گذشته همان‌طور که ذکر شد اکثر آزمایش‌ها بر روی خاک ماسه‌ای و یا ریزدانه رسی آلوده به نفت انجام گرفته است. به همین جهت در این تحقیق از خاک درشت‌دانه شنی حاوی رس (از نوع GW-GC) استفاده شده است. همچنین از نفت گاز به عنوان ماده آلوده کننده استفاده شده است که در مطالعات گذشته کمتر به عنوان ماده آلوده کننده مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق از نتایج مطالعات انجام شده توسط خداپرست و همکاران (۱۳۹۵) به‌وسیله دستگاه برش مستقیم با ابعاد بزرگ مقیاس ۳۰×۳۰ سانتی‌متر بر روی نمونه‌های خاک درشت‌دانه شنی آلوده به نفت گاز نیز استفاده شده تا امکان مقایسه نتایج دو دستگاه برش مستقیم با ابعاد متفاوت را فراهم شود. لازم به ذکر است که آزمایش‌های برش مستقیم کوچک-مقیاس از نظر میزان تراکم و سطح تنش قائم دقیقاً مشابه آزمایش-های برش بزرگ مقیاس، بر روی خاک آلوده به نفت گاز انجام گرفته است تا بتوان تأثیر ابعاد جعبه برش و اصلاح دانه‌بندی خاک را نیز بر پارامترهای مقاومت برشی خاک‌های آلوده به نفت گاز بررسی کرد. البته مطالعات زیادی توسط محققین در مورد تأثیر ابعاد جعبه برش بر پارامترهای مقاومت برشی خاک‌های مختلف انجام شده است.

در چند سال اخیر مطالعات زیادی در ارتباط با خواص فیزیکی و شیمیایی خاک آلوده به مشتقات نفتی انجام شده که تعدادی از این تحقیقات به بررسی پارامترهای ژئوتکنیکی خاک‌های درشت-دانه و ریزدانه پرداخته‌اند. در ادامه به برخی از مهم‌ترین تحقیقات انجام شده بر روی خاک‌های آلوده به مواد نفتی اشاره می‌شود. در خصوص تأثیر مواد آلوده کننده بر مشخصات خمیری خاک، Ashraf (۲۰۱۲) با انجام آزمایش بر روی خاک رس پیش تحکیم یافته آلوده به روغن موتور گزارش کرد که کاهش محسوسی در حدود خمیری و روانی خاک آلوده رخ می‌دهد.

Khamehchiyan و همکاران (۲۰۰۷) با انجام آزمایشاتی بر روی خاک رسی آلوده به نفت خام در منطقه جنوب ایران دریافتند که آلودگی نفتی باعث کاهش حدود اتربرگ^۱ در خاک‌های رسی می‌شود و علت این کاهش را به دلیل غیرقطبی بودن نفت و مشتقات آن گزارش نمودند. Pandey (۲۰۱۴) نیز با مطالعه روی آلودگی نفتی در ماسه آبرفتی نتیجه گرفت که حدود روانی، خمیری و انقباض بخش ریزدانه خاک با حضور و افزایش آلودگی کاهش می‌یابد. اما نتایج آزمایش‌های Ur-Rehman (۲۰۰۷) و Adeoye (۲۰۱۵) نشان داد که در خاک رس آلوده شده به نفت، حدود اتربرگ و نشانه خمیری دچار افزایش می‌شوند. همچنین نتایج آزمایش‌های حمیدی و جداری (۱۳۸۹) بر روی خاک‌های رسی نشان داد با افزایش درصد ماده نفتی، حد روانی افزایش خواهد داشت و علت آن را لزجت بالای آلاینده و ایجاد چسبندگی بیشتر در خاک بیان کرد. همچنین اسکندری و همکاران (۱۳۹۴) و Akinwumi (۲۰۱۴) با بررسی خاک مخلوط شده با درصد‌های مختلف نفت خام مشاهده کردند آلوده شدن خاک رس باعث افزایش درحد مایع، حد پلاستیک و شاخص شکل‌پذیری می‌شود.

عسکریوکی و همکاران (۱۳۹۶) نیز با بررسی اثر نفت گاز بر روی خاک ماسه ریزدانه به این نتیجه رسیدند که در آلودگی‌های کمتر از یک درصد، درصد رطوبت بهینه، حد روانی و حد خمیری افزایش می‌یابد اما در درصد آلودگی‌های بیش از یک درصد به دلیل غلبه ماده نفتی به ملکول‌های آب، حد روانی و خمیری با کاهش مواجه می‌شوند. در مورد اثر ماده آلوده کننده بر مقاومت برشی خاک، Alhassan (۲۰۱۳) با انجام آزمایش سه محوری زهکشی نشده روی ماسه و لاتریت آلوده شده به نفت خام به این نتیجه رسید که مقاومت برشی با افزایش درصد آلودگی افزایش می‌یابد. اما تحقیقات Safehian و همکاران (۲۰۱۸) بر روی خاک رس آلوده به مواد نفتی نشان داد افزایش درصد آلودگی باعث کاهش زاویه اصطکاک داخلی، کاهش چسبندگی و کاهش مقاومت برشی خاک می‌گردد. نتایج آزمایش‌های برش مستقیم انجام گرفته بر روی ماسه آلوده به نفت توسط دیگر محققین همچون Ghaly

جدول ۱- تعداد و حالات مختلف آزمایشات

تعداد آزمایش‌ها	مقدار	پارامتر مورد مطالعه
۲	۱/۷ ۱/۹	وزن مخصوص خشک (گرم بر سانتی-متر مکعب)
۲	۰/۱ - ۰/۳ - ۰/۵ ۰/۵ - ۱/۰ - ۱/۵	تنش‌های قائم (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)
۵	۰ ۳ ۶ ۹ ۱۲	درصد آلودگی نفت گاز
۲×۲×۵ = ۲۰		مجموع تعداد آزمایش برش مستقیم

این اصلاح دانه‌بندی باعث حذف قسمت شن دانه خاک و افزایش درصد ریزدانه خاک می‌گردد. برای تهیه نمونه‌های آلوده به نفت گاز ابتدا وزن خاک مورد نیاز برای آزمایش با توجه به حجم جعبه برش و از روی وزن مخصوص خشک به دست آمده و مقدار نفت گاز نیز با توجه به میزان درصد آلودگی به نمونه خاک اضافه شده و مخلوط گردید. پس از اختلاط، به منظور جلوگیری از فرار و تبخیر ماده آلوده کننده، نمونه‌ها در ظرف‌های با درب بسته و در داخل کیسه پلاستیکی نگهداری شدند.



شکل ۱- دستگاه برش مستقیم با ابعاد ۱۰×۱۰ سانتی‌متر



شکل ۲- نمونه آلوده شده نفتی پس از آزمایش در دستگاه برش مستقیم

در خصوص مهم‌ترین تحقیقات انجام گرفته در زمینه تأثیر ابعاد جعبه برش بر پارامترهای مقاومت برشی خاک می‌توان به مطالعات انجام شده توسط Parsons (۱۹۳۶)؛ Taylor and Leps (۱۹۳۸)؛ Bishop (۱۹۴۸)؛ Ingold (۱۹۸۲)؛ Gerato و همکاران (۲۰۰۶)؛ Bareither و همکاران (۲۰۰۸)؛ Wu و همکاران (۲۰۰۸)؛ Dadkhah و همکاران (۲۰۱۰)؛ Moayed و Alizadeh (۲۰۱۱) و صادق‌پور و همکاران (۱۳۹۶) اشاره کرد. این محققان در مطالعات خود بر روی خاک‌های مختلف به وسیله دستگاه‌های برش با ابعاد متفاوت نشان دادند که با تغییر در ابعاد جعبه برش، نتایج و پارامترهای به دست آمده از آزمایش برش مستقیم نیز تغییر می‌کند. بیشتر این تحقیقات نشان داده‌اند که با افزایش ابعاد جعبه برش، زاویه اصطکاک داخلی خاک کاهش می‌یابد. اما در تحقیقات گذشته تاکنون چنین مقایسه‌ای بر روی نمونه خاک‌های آلوده به مشتقات نفتی انجام نگرفته است.

۲- روش تحقیق

گستره این تحقیق شامل بررسی اثر نفت گاز بر تنش برشی و پارامترهای مقاومت برشی شامل زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی خاک می‌باشد. مشخصات آزمایش‌های برش مستقیم کوچک‌مقیاس انجام گرفته در این تحقیق، از نظر درصد آلودگی، میزان تراکم، سطح تنش قائم و سایر مشخصات دقیقاً مشابه آزمایش‌های برش بزرگ‌مقیاس، بر روی خاک آلوده به نفت گاز که توسط خداپرست و همکاران (۱۳۹۵) انجام شده بود، در نظر گرفته شده است. به همین منظور آزمایش‌های برش مستقیم طبق استاندارد ASTM D3080 با ابعاد جعبه برش ۱۰×۱۰×۳ سانتی‌متر بر روی نمونه خاک آلوده شده به درصد‌های مختلف ۳، ۶، ۹ و ۱۲ درصد انجام گرفت (شکل‌های (۱) و (۲)). جهت بررسی اثر تراکم و تنش قائم بر نتایج آزمایش برش مستقیم، نمونه‌ها در دو شرایط تراکمی مختلف با وزن مخصوص خشک ۱/۷ و ۱/۹ گرم بر سانتی-متر مکعب و در دو سطح تنش قائم بالا ۱/۵، ۱/۰، ۰/۵، ۰/۳، ۰/۱، ۰/۵، ۰/۳، ۰/۱ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، مورد آزمایش قرار گرفتند. این شرایط چگالی و تنش‌های قائم مشابه آزمایش‌های برش بزرگ‌مقیاس بر روی خاک آلوده به نفت گاز که توسط خداپرست و همکاران (۱۳۹۵) انجام گرفته، انتخاب شده است تا امکان مقایسه نتایج دو دستگاه برش مستقیم فراهم گردد. خلاصه حالات مختلف آزمایش‌های برش مستقیم انجام گرفته بر روی خاک این پژوهش در دستگاه برش کوچک‌مقیاس در جدول (۱) ارائه شده است. با توجه به درشت‌دانه بودن خاک و محدودیت‌هایی که آیین‌نامه ASTM برای بزرگ‌ترین سنگدانه موجود در خاک جهت انجام آزمایش برش مستقیم در نظر گرفته، لذا از خاک عبوری از الک نمره ۴ جهت انجام آزمایش برش مستقیم در این تحقیق استفاده شده است.

جدول ۳- مشخصات ماده آلوده کننده مورد استفاده در تحقیق

پارامتر	مقدار
چگالی (kg/m^3)	۸۴۰
شاخص ستان	۵۰
دمای تقطیر (درجه سانتیگراد)	۲۵۰
سولفور (درصد جرمی)	۱
ویسکوزیته کینماتیکی (mm^2/s)	۴
توده کربن (درصد جرمی)	۱
خاکستر (درصد جرمی)	۱
آب و رسوبات (درصد حجمی)	۵

۵- نتایج و بحث

در این بخش تأثیر درصدهای مختلف آلودگی نفت گاز بر مقاومت برشی، زاویه اصطکاک و چسبندگی خاک به طور جداگانه برای دستگاه برش مستقیم با ابعاد جعبه بزرگ مقیاس $30 \times 30 \times 30$ و کوچک مقیاس $10 \times 10 \times 10$ سانتی متر بررسی می‌شود. در ادامه تأثیر ابعاد جعبه برش بر هر یک پارامترهای مقاومت برشی خاک مطالعه می‌گردد.

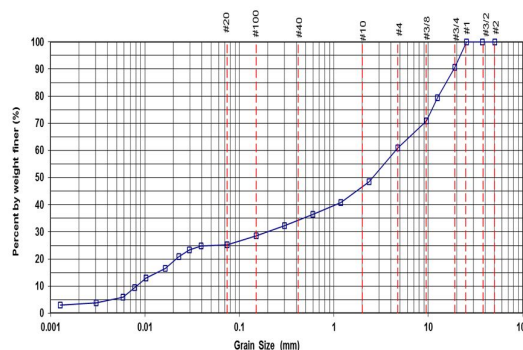
۵-۱- تأثیر آلودگی بر مقاومت برشی

با توجه به نتایج آزمایش‌های انجام شده اثر آلودگی نفتی بر نمودار تنش- کرنش خاک درشت‌دانه آلوده تحت آزمایش برش مستقیم با ابعاد جعبه $10 \times 10 \times 10$ سانتی متر در تنش قائم پایین 0.1 کیلوگرم بر سانتی متر مربع در دو وزن مخصوص خشک مختلف در شکل‌های (۴) و (۵) نشان داده شده است. با توجه به شکل‌ها مشاهده می‌شود که با افزایش آلودگی به میزان تنها ۳ درصد، مقاومت برشی خاک کاهش می‌یابد. اما در آلودگی‌های بیش از ۳ درصد این میزان کاهش بسیار کم شده و می‌توان گفت افزایش آلودگی بیشتر تأثیر چندانی در کاهش مقاومت ندارد. همچنین همان‌طور که مشاهده می‌شود رفتار منحنی تنش- کرنش خاک در دو حالت تراکمی متفاوت (با وزن مخصوص خشک $1/7$ و $1/9$ گرم بر سانتی متر مکعب) یکسان نمی‌باشد. در شکل (۴) که مربوط به نمونه‌های با شرایط تراکمی و وزن مخصوص خشک کمتر است، مشاهده می‌شود که نمودار تنش- کرنش در حالت غیر آلوده روند متفاوتی با سایر نمونه‌های آلوده دارد. در این حالت با شروع اعمال نیروی برشی، تنش برشی به مقدار ماکزیمم خود رسیده و بعد از آن دچار کاهش می‌شود. اما در سایر نمونه‌های آلوده منحنی فاقد نقطه ماکزیمم می‌باشد. با افزایش وزن مخصوص خشک و متراکم- تر شدن خاک (مطابق شکل (۵))، همه نمودارهای تنش- کرنش نمونه‌های غیر آلوده و آلوده دارای نقطه ماکزیمم هستند. در این حالت مشاهده می‌شود با افزایش آلودگی، تنش برشی ماکزیمم در کرنش‌های بزرگتری اتفاق می‌افتد و در مجموع با افزایش درصد ماده آلوده کننده مقاومت برشی کاهش می‌یابد.

خاک با درصدهای آلودگی مختلف در سه لایه درون جعبه آزمایش ریخته شده و کوبیده شدند تا تراکم مورد نظر حاصل گردد. سپس آزمایش برش مستقیم با سرعت یک میلی‌متر بر دقیقه بر روی کلیه نمونه‌ها انجام گرفت.

۳- مشخصات نمونه خاک

خاک مورد استفاده در این تحقیق طبق طبقه‌بندی یونیفاید^۲ از نوع شن رس‌دار خوب دانه‌بندی شده (GW-GC) در شرایط خشک می‌باشد که از یکی از مناطق مرکزی شهر قم اخذ شده است. منحنی دانه‌بندی و مشخصات خاک به ترتیب در شکل (۳) و جدول (۲) آمده است.



شکل ۳- منحنی دانه‌بندی خاک مورد استفاده در این تحقیق

جدول ۲- مشخصات خاک مورد مطالعه

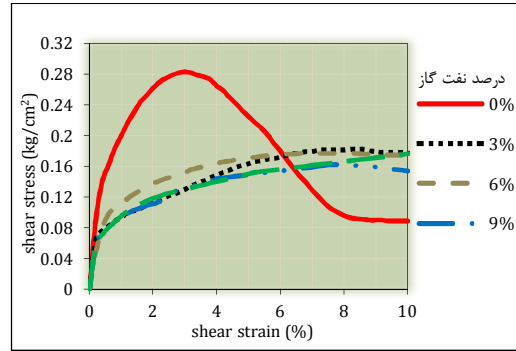
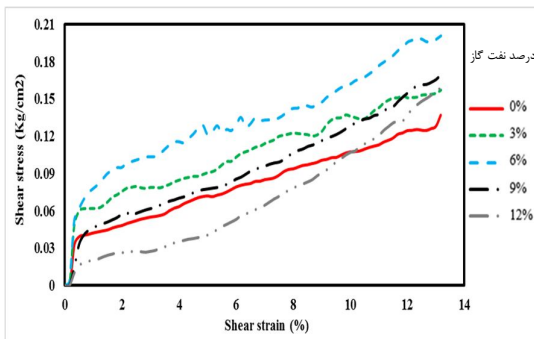
پارامتر	مقدار
ضریب یکنواختی	۸/۵۵۹
ضریب دانه‌بندی	۱/۰۲
حد روانی LL	۴۹
حد خمیری PL	۲۴
حد خمیری PL	۲۵
وزن مخصوص خشک ماکزیمم (KN/m^3)	۲۰/۸۸
وزن مخصوص خشک مینیمم (KN/m^3)	۱۵/۸۴
چگالی مانده روی الک ۴ (g/cm^3)	۲/۷۳
چگالی عبوری از الک ۴ (g/cm^3)	۲/۸۸۶

۴- مشخصات ماده آلوده کننده

مشخصات نفت گاز استفاده شده در این تحقیق به عنوان ماده آلوده کننده، در جدول (۳) آورده شده است. نفت گاز در نظر گرفته شده از جایگاه‌های سوخت تهیه شده و از نوع مصرفی برای موتورهای دیزل می‌باشد. دلیل انتخاب این آلوده کننده به خاطر فراوانی و در نتیجه احتمال آلوده شدن خاک‌ها در بخش‌های مختلف از پهنا کشور ایران می‌باشد.

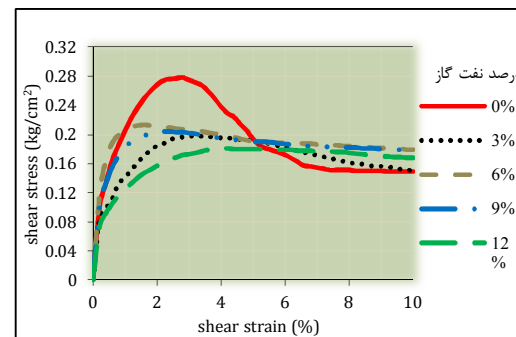
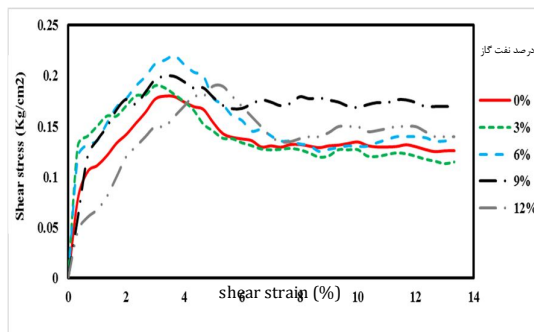
سوی دیگر به علت ایجاد نوعی روغن کاری بین دانه‌های خاک، موجب می‌شود دانه‌های خاک آسان‌تر بر روی یکدیگر بلغزند و در نهایت باعث کاهش زاویه اصطکاک داخلی خاک می‌گردد که در مجموع منجر به افزایش مقاومت برشی می‌شود. لیکن با افزایش درصد ماده آلوده کننده به ۱۲ درصد این روند برعکس شده و اثر کاهش زاویه اصطکاک داخلی غالب می‌گردد.

نمودارهای تنش- کرنش تحت سایر تنش‌های قائم آورده شده در جدول (۱)، نیز بسیار مشابه تنش ۰/۱ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است. با افزایش تنش قائم تغییر محسوسی در شکل منحنی-ها به وجود نیامده و فقط با افزایش تنش‌های قائم، مقاومت نهایی نمونه‌ها افزایش داشته است. با بررسی تمامی این نمودارها، به طور کلی می‌توان گفت که افزایش ابعاد جعبه برش تأثیری در روند نمودار تنش- کرنش و همچنین مقاومت برشی نهایی نمونه‌های آلوده شده به نفت گاز نداشته و فقط در نمونه غیر آلوده با افزایش ابعاد جعبه برش، مقاومت نهایی خاک کاهش می‌یابد.



شکل ۴- نمودار تنش- کرنش نمونه‌های با درصد‌های آلودگی مختلف تحت تنش قائم پایین 0.1 kg/cm^2 و وزن مخصوص خشک 1.7 g/cm^3 در آزمایش برش مستقیم با ابعاد جعبه 10×10 سانتی‌متر

شکل ۶- نمودار تنش- کرنش نمونه‌های با درصد‌های آلودگی مختلف تحت تنش قائم پایین 0.1 kg/cm^2 و وزن مخصوص خشک 1.7 g/cm^3 در آزمایش برش مستقیم با ابعاد جعبه 30×30 سانتی‌متر



شکل ۵- نمودار تنش- کرنش برای نمونه با درصد‌های آلودگی مختلف تحت تنش نرمال پایین 0.1 kg/cm^2 و وزن مخصوص خشک 1.9 g/cm^3 در آزمایش برش مستقیم با ابعاد جعبه 10×10 سانتی‌متر

شکل ۷- نمودار تنش- کرنش برای نمونه با درصد‌های آلودگی مختلف تحت تنش نرمال پایین 0.1 kg/cm^2 و وزن مخصوص خشک 1.9 g/cm^3 در آزمایش برش مستقیم با ابعاد جعبه 30×30 سانتی‌متر

شکل‌های (۶) و (۷) نمودارهای تنش- کرنش آزمایش برش مستقیم با ابعاد جعبه 30×30 سانتی‌متر در تنش قائم 0.1 کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در دو وزن مخصوص خشک مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در هر دو شکل به جز نمونه غیر آلوده، در سایر نمونه‌های آلوده شکل منحنی تنش- کرنش تقریباً مشابه با نمودارهای جعبه برش 10×10 سانتی‌متر می‌باشد. اما نتایج آزمایش‌ها با جعبه برش 30×30 سانتی‌متر بر خلاف نتایج جعبه برش 10×10 سانتی‌متر، نشان می‌دهد که در بیشتر موارد با افزایش درصد آلودگی، مقاومت برشی خاک افزایش یافته است. همان‌طور که در شکل‌های (۶) و (۷) مشاهده می‌شود با افزایش آلودگی تا میزان ۹ درصد مقاومت خاک افزایش یافته و فقط در نمونه با آلودگی ۱۲ درصد کاهش مقاومت رخ می‌دهد. دلیل این مسئله می‌تواند آن باشد که تا ۹ درصد آلودگی، ماده آلوده کننده از یکسو باعث افزایش چسبندگی خاک می‌شود. اما از

۲-۵- تأثیر آلودگی بر زاویه اصطکاک داخلی خاک

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در هر دو دستگاه برش مستقیم با ابعاد بزرگ و کوچک مقیاس، افزایش درصد آلودگی منجر به کاهش زاویه اصطکاک داخلی خاک می‌شود. مطالعات انجام گرفته توسط دیگر محققین همچون Safehian و همکاران (۲۰۱۸) و پورعلیزاده و همکاران (۱۳۹۴) در زمینه خاک‌های آلوده به مشتقات نفتی نیز تقریباً همین نتیجه را نشان می‌دهد.

همان‌طور که قبلاً ذکر شد علت این کاهش در واقع می‌تواند این باشد که از نظر فیزیکی حضور ماده نفتی در خاک باعث ایجاد نوعی روغن کاری بین دانه‌های خاک شده و موجب می‌گردد دانه‌های خاک آسان‌تر بر روی یکدیگر بلغزند و در نهایت باعث کاهش زاویه اصطکاک داخلی خاک می‌شود. در ادامه به تفکیک آزمایش‌های برش مستقیم کوچک و بزرگ مقیاس به بررسی تأثیر ماده آلوده کننده بر این پارامتر پرداخته می‌شود.

۱-۲-۵- تأثیر آلودگی بر زاویه اصطکاک داخلی بر اساس

آزمایش‌های برش مستقیم با جعبه ۱۰×۱۰ سانتی‌متر

در جدول (۴) مقادیر زاویه اصطکاک داخلی به دست آمده از آزمایش‌های برش مستقیم کوچک مقیاس بر نمونه‌های آلوده آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش میزان آلودگی خاک، زاویه اصطکاک داخلی کاهش می‌یابد. با مقایسه نتایج می‌توان گفت که تقریباً با اضافه شدن ۳ درصد نفت گاز به خاک، زاویه اصطکاک داخلی بین ۳ تا ۵ درجه کاهش می‌یابد. با افزایش آلودگی به میزان ۶ درصد، زاویه اصطکاک داخلی بین ۱ تا ۳ درجه کاهش می‌یابد. اما در آلودگی‌های بیش از ۶ درصد روند کاهش زاویه اصطکاک بسیار کم (حدود ۱ درجه) شده است. این موضوع نشان می‌دهد که روغن کاری سطوح دانه‌ها تا این درصد آلودگی به حداکثر مقدار خود رسیده و زاویه اصطکاک داخلی به کم‌ترین مقدار کاهش یافته است. زاویه اصطکاک داخلی خاک از حالت بدون آلودگی تا بیش‌ترین میزان آلودگی (۱۲ درصد) در حدود ۹ درجه کاهش یافته است. کاهش زاویه اصطکاک داخلی به این دلیل است که نفت گاز سطح ذرات خاک را پوشانده و همچون یک لغزان کننده عمل کرده و در نتیجه قفل و بست بین دانه‌های خاک کمتر شده و منجر به کاهش زاویه اصطکاک داخلی خاک می‌گردد.

همچنین در جدول (۴) مشاهده می‌شود که با افزایش تنش قائم و وزن مخصوص خشک، زاویه اصطکاک داخلی افزایش یافته که دلیل آن بیشتر شدن قفل و بست و درگیری بین دانه‌های خاک است.

جدول ۴- مقادیر زاویه اصطکاک داخلی به دست آمده از

آزمایش‌های برش مستقیم با جعبه کوچک مقیاس ۱۰×۱۰ cm				
درصد آلودگی				
ابعاد	وزن	تنش قائم	درصد آلودگی	
جعبه	مخصوص	(kg/cm ²)	۰	۳
برش	خشک	(g/cm ³)	زاویه اصطکاک داخلی φ (درجه)	
۱۰×۱۰	۱/۷	۰/۱ - ۰/۳ - ۰/۵	۲۸	۲۹
		۰/۵ - ۱/۰ - ۱/۵	۳۲	۳۳
۱۰×۱۰	۱/۹	۰/۱ - ۰/۳ - ۰/۵	۳۱	۳۳
		۰/۵ - ۱/۰ - ۱/۵	۳۲	۳۵

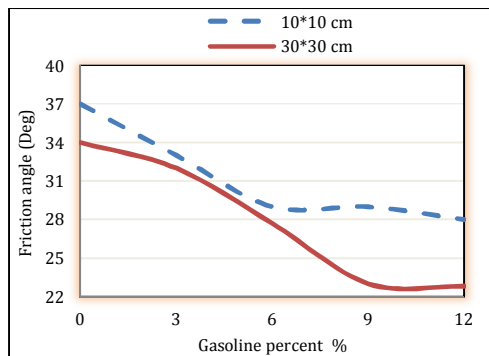
۲-۲-۵- تأثیر آلودگی بر زاویه اصطکاک داخلی بر اساس

آزمایش‌های برش مستقیم با جعبه ۳۰×۳۰ سانتی‌متر

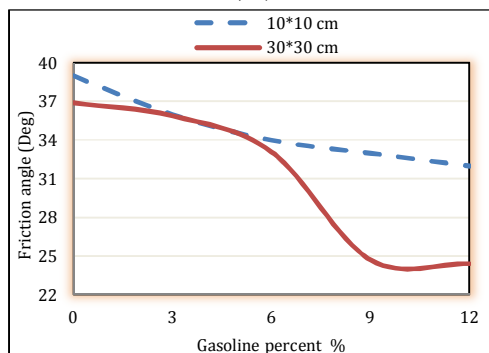
مقادیر زاویه اصطکاک داخلی به دست آمده از آزمایش‌های برش مستقیم بزرگ مقیاس بر نمونه‌های آلوده به نفت گاز در جدول (۵) نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در این حالت نیز با افزایش میزان آلودگی خاک، زاویه اصطکاک داخلی کاهش یافته است. میزان کاهش زاویه اصطکاک داخلی از نمونه غیر آلوده تا نمونه با بیش‌ترین آلودگی (۱۲ درصد) بین ۸ تا ۱۳ درجه می‌باشد. البته در آزمایش‌های برش مستقیم بزرگ-مقیاس برخلاف کوچک مقیاس، بیش‌ترین کاهش زاویه اصطکاک در آلودگی‌های ۹ و ۱۲ درصد اتفاق افتاده که دلیل آن می‌تواند گستردگی بیشتر اندازه دانه‌های خاک در آزمایش‌های بزرگ-مقیاس باشد. همچنین در جدول (۵) مشاهده می‌شود که با افزایش تنش قائم و وزن مخصوص خشک، زاویه اصطکاک داخلی همانند آزمایش‌های برش مستقیم کوچک مقیاس افزایش یافته است. هرچند نتایج جدول (۵) نشان می‌دهد که افزایش وزن مخصوص خشک و تراکم در آزمایش‌های بزرگ مقیاس نسبت به کوچک مقیاس بیشتر تأثیرگذار بوده است. علت این موضوع می‌تواند آن باشد که با افزایش ابعاد جعبه برش، محدوده دانه‌بندی و اندازه دانه‌های خاک افزایش یافته و در نتیجه با حضور دانه‌های درشت‌تر در خاک، اثر تراکم بر نتایج بیشتر خود را نشان می‌دهد.

جدول ۵- مقادیر زاویه اصطکاک داخلی به دست آمده از

آزمایش‌های برش مستقیم با جعبه بزرگ مقیاس ۳۰×۳۰ cm				
درصد آلودگی				
ابعاد	وزن	تنش قائم	درصد آلودگی	
جعبه	مخصوص	(kg/cm ²)	۰	۳
برش	خشک	(g/cm ³)	زاویه اصطکاک داخلی φ (درجه)	
۳۰×۳۰	۱/۷	۰/۱ - ۰/۳ - ۰/۵	۲۳	۲۳
		۰/۵ - ۱/۰ - ۱/۵	۲۴	۲۵
۳۰×۳۰	۱/۹	۰/۱ - ۰/۳ - ۰/۵	۳۴	۳۷
		۰/۵ - ۱/۰ - ۱/۵	۳۶	۴۴



(الف)



(ب)

شکل ۸- مقایسه زاویه اصطکاک داخلی به دست آمده از دو دستگاه برش مستقیم بزرگ و کوچک مقیاس: (الف) برای نمونه در وزن مخصوص خشک $1/7 \text{ g/cm}^3$ تحت تنش قائم kg/cm^2 ۰/۱، ۰/۳ و ۰/۵، (ب) برای نمونه در وزن مخصوص خشک g/cm^3 ۱/۷ تحت تنش قائم kg/cm^2 ۰/۵، ۱/۰ و ۱/۵

به طوری که چسبندگی در آزمایش‌های برش مستقیم 30×30 سانتی‌متر با افزایش درصد آلودگی، افزایش یافته است. در واقع این‌گونه می‌توان استنباط نمود که ماده آلوده کننده با ایجاد چسبندگی بین دانه‌های درشت و ریز خاک، سبب افزایش چسبندگی نمونه خاک شده است. اما در آزمایش‌های برش مستقیم 10×10 سانتی‌متر، با اضافه شدن ماده آلوده کننده نفت گاز به خاک و غلبه ماده نفتی بر مولکول‌های آب و قرارگیری بین دانه‌های ریز خاک، باعث از بین رفتن چسبندگی بخش ریزدانه خاک شده است. این نتایج نشان می‌دهد که تأثیر آلودگی نفتی در چسبندگی خاک کاملاً به اندازه ابعاد جعبه برش و اندازه دانه‌های خاک مورد آزمایش بستگی دارد که این مسئله، اهمیت بسیار زیاد ابعاد جعبه برش در بررسی پارامترهای خاک‌های آلوده به مواد نفتی را نشان می‌دهد. در ادامه به تفکیک آزمایش‌های برش مستقیم کوچک و بزرگ مقیاس به بررسی تأثیر ماده آلوده کننده بر این پارامتر پرداخته می‌شود.

۳-۲-۵- تأثیر ابعاد جعبه آزمایش برش مستقیم بر زاویه اصطکاک داخلی

در مورد تأثیر ابعاد جعبه برش بر مقدار زاویه اصطکاک داخلی خاک می‌توان گفت که بسته به میزان تراکم خاک، نتایج متفاوت می‌باشد. شکل (۸) تغییرات زاویه اصطکاک داخلی با افزایش درصد آلودگی در نمونه‌های با وزن مخصوص خشک $1/7$ گرم بر سانتی-متر مکعب تحت دو تنش قائم را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که مقادیر زاویه اصطکاک داخلی به دست آمده از آزمایش‌های برش کوچک مقیاس با ابعاد 10×10 سانتی‌متر بیشتر از آزمایش‌های بزرگ مقیاس با ابعاد 30×30 سانتی‌متر می‌باشد. به گونه‌ای که این اختلاف تا آلودگی ۶ درصد حدود ۱ تا ۲ درجه بوده اما با افزایش آلودگی به میزان ۹ و ۱۲ درصد این اختلاف زاویه به حدود ۵ تا ۸ درجه می‌رسد. علت این موضوع می‌تواند این‌گونه باشد که در تراکم پایین $1/7$ گرم بر سانتی‌متر مکعب (فصل و بست و درگیری دانه‌ها در جعبه برش 10×10 سانتی‌متر، به دلیل محدودتر بودن ابعاد این جعبه برش بیشتر بوده و در واقع فضای خالی بین دانه‌های خاک در جعبه برش 30×30 سانتی‌متر در تراکم‌های پایین بیشتر ایجاد می‌شود که این موضوع باعث کاهش زاویه اصطکاک داخلی آن نسبت به آزمایش‌های با جعبه 10×10 سانتی‌متر می‌گردد. اما همان‌گونه که در شکل (۹) مشاهده می‌شود با افزایش وزن مخصوص خشک نمونه‌ها به $1/9$ گرم بر سانتی‌متر مکعب و در حالت متراکم‌تر، زاویه اصطکاک به دست آمده از آزمایش‌های برش با ابعاد 30×30 سانتی‌متر بیشتر از آزمایش‌های برش با ابعاد 10×10 سانتی‌متر می‌باشد. بیشترین اختلاف زاویه اصطکاک به دست آمده از دو دستگاه برش در این حالت نیز در حدود ۷ درجه می‌باشد که مربوط به نمونه‌های با آلودگی ۳ و ۶ درصد است. این نتایج نشان می‌دهد که با افزایش ابعاد جعبه برش، تأثیر تراکم بر زاویه اصطکاک خاک بسیار زیاد می‌شود. متراکم شدن خاک (وزن مخصوص $1/9$ گرم بر سانتی‌متر مکعب) در جعبه برش بزرگ مقیاس باعث می‌شود که درگیری دانه‌های درشت خاک بیشتر شده و زاویه اصطکاک داخلی بیشتری را نسبت به جعبه برش کوچک مقیاس که دانه‌های درشت آن حذف شده است، نشان دهد.

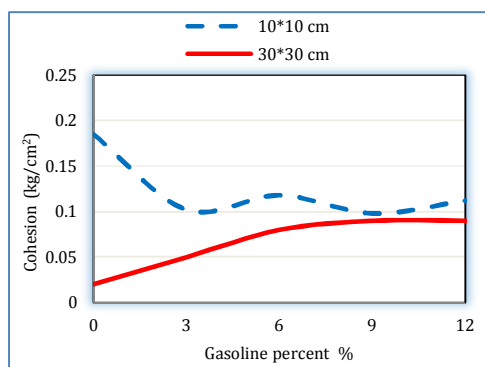
۳-۲-۵- تأثیر آلودگی بر چسبندگی خاک

در جدول‌های (۶) و (۷) تأثیر آلودگی بر مقدار پارامتر چسبندگی خاک نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود تأثیر درصد‌های مختلف نفت گاز بر میزان چسبندگی خاک در آزمایش‌های برش مستقیم کوچک و بزرگ مقیاس متفاوت می‌باشد.

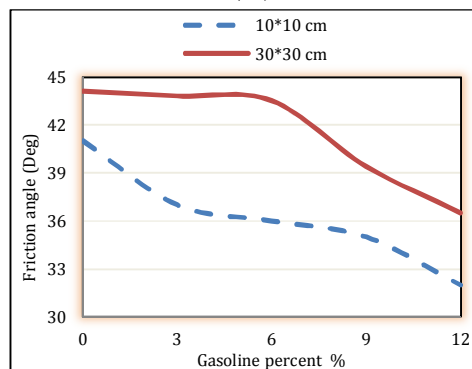
ذرات رس به وسیله ماده آلوده کننده، تغییرات چسبندگی ثابت بوده و اضافه شدن بیشتر نفت گاز دیگر تأثیری در تغییرات چسبندگی ندارد.

۲-۳-۵- تأثیر آلودگی بر چسبندگی خاک بر اساس آزمایش‌های برش مستقیم با جعبه ۳۰×۳۰ سانتی‌متر

در آزمایش‌های برش مستقیم بزرگ مقیاس با افزایش درصد آلودگی خاک، چسبندگی افزایش یافته است. مطابق جدول (۷) چسبندگی خاک از نمونه بدون آلودگی تا نمونه با آلودگی ۱۲ درصد به میزان ۰/۰۷ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع افزایش یافته است.

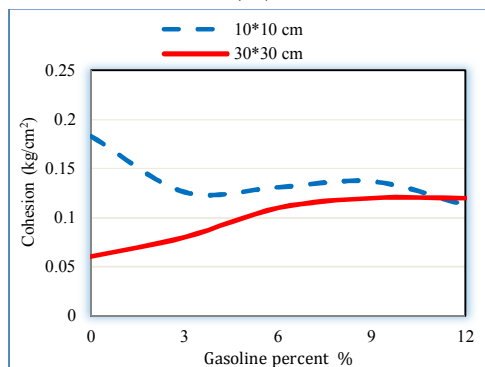


(الف)



(ب)

شکل ۹- مقایسه زاویه اصطکاک داخلی به دست آمده از دو دستگاه برش مستقیم بزرگ و کوچک مقیاس: الف) برای نمونه در وزن مخصوص خشک $1/9 \text{ g/cm}^3$ تحت تنش قائم kg/cm^2 ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ب) برای نمونه در وزن مخصوص خشک kg/cm^3 ۱/۹ تحت تنش قائم kg/cm^2 ۱/۵ و ۱/۰.



(ب)

شکل ۱۰- مقایسه چسبندگی به دست آمده از دو دستگاه برش

مستقیم بزرگ و کوچک مقیاس: الف) برای نمونه در وزن مخصوص خشک $1/7 \text{ g/cm}^3$ تحت تنش قائم kg/cm^2 ۰/۱، ۰/۳ و ۰/۵، ب) برای نمونه در وزن مخصوص خشک $1/9 \text{ g/cm}^3$ تحت تنش قائم kg/cm^2 ۰/۱، ۰/۳ و ۰/۵.

همچنین مشاهده می‌شود که تا آلودگی ۶ درصد چسبندگی روند افزایشی دارد اما در نمونه‌های با آلودگی ۹ و ۱۲ درصد تقریباً چسبندگی ثابت مانده و تغییر زیادی نداشته است. افزایش چسبندگی خاک با افزایش درصد آلودگی را می‌توان به اثر

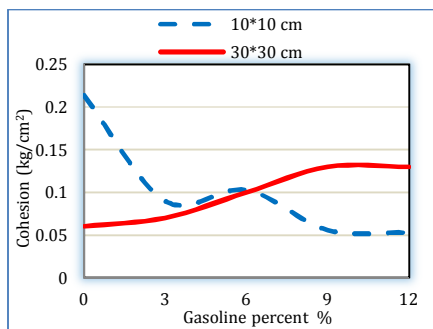
۱-۳-۵- تأثیر آلودگی بر چسبندگی خاک بر اساس

آزمایش‌های برش مستقیم با جعبه ۱۰×۱۰ سانتی‌متر

در جدول (۶) مشاهده می‌شود که در وزن مخصوص خشک و تنش‌های قائم مختلف، با افزایش درصد آلودگی خاک چسبندگی کاهش می‌یابد. در نمونه‌های آزمایش شده به وسیله دستگاه برش مستقیم کوچک مقیاس، چسبندگی خاک با افزایش آلودگی از حالت غیر آلوده تا آلودگی ۱۲ درصد تقریباً بین ۰/۰۷ تا ۰/۱۶ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع کاهش داشته است.

به طور کلی تحقیقات انجام گرفته، به عنوان مثال Otunyo (۲۰۱۰) و کرمانی و عبادی (۱۳۸۹)، بیانگر این موضوع بوده است که اضافه کردن مشتقات نفتی به خاک‌هایی که دارای رس می‌باشند، باعث ایجاد مجموعه‌هایی مجزا از هم از ذرات رس شده و باعث تشکیل ساختار توده‌ای در خاک می‌شود. خاک در این وضعیت رفتاری همانند خاک ماسه‌ای داشته و این موضوع باعث کاهش مقدار چسبندگی خاک می‌شود. با توجه به جدول (۶) مشاهده می‌شود که بیشترین کاهش چسبندگی در آلودگی ۳ درصد رخ داده و در آلودگی بیش از ۹ درصد، به دلیل احاطه شدن

آلودگی چسبندگی به دست آمده از آزمایش برش مستقیم کوچک مقیاس بیشتر از آزمایش برش بزرگ مقیاس می باشد. در نمونه های با آلودگی ۳ و ۶ درصد تقریباً چسبندگی به دست آمده از هر دو دستگاه برش یکسان بوده اما در آلودگی های ۹ و ۱۲ درصد چسبندگی دستگاه برش بزرگ مقیاس بیشتر از دستگاه برش کوچک مقیاس می شود. بیشترین اختلاف چسبندگی نیز در این حالت مربوط به نمونه با ۱۲ درصد آلودگی و به میزان kg/cm^2 ۰/۰۷ می باشد. این نتایج بیانگر این موضوع است که چسبندگی خاک می تواند تا حد زیادی وابسته به ابعاد جعبه برش، درصد آلودگی و شرایط انجام آزمایش باشد.



شکل ۱۱- مقایسه چسبندگی به دست آمده برای دو دستگاه برش بزرگ و کوچک مقیاس برای نمونه در وزن مخصوص خشک $1/7 g/cm^3$ تحت تنش قائم $0/5, 1/0, 1/5 kg/cm^2$

چسبندگی ماده آلوده کننده در خاک های درشت دانه مربوط دانست. نتایج سایر محققین نیز همانند رحیمی و حسینی (۱۳۹۴) و Nasehi و همکاران (۲۰۱۶) با مطالعه بر روی خاک های درشت-دانه آلوده به نفت گاز این نتیجه را نشان داد که با افزایش درصد آلودگی، چسبندگی افزایش می یابد.

۳-۳-۵- تأثیر ابعاد جعبه آزمایش برش مستقیم بر چسبندگی خاک

مقایسه نتایج به دست آمده نشان می دهد که تأثیر ابعاد جعبه برش بر میزان چسبندگی خاک بسته به میزان تنش های قائم اعمال شده، متفاوت است. بر اساس شکل (۱۰) ملاحظه می شود که در نمونه های آزمایش شده در سطح تنش قائم $0/1, 0/3, 0/5$ کیلوگرم بر سانتی متر مربع، چسبندگی به دست آمده از آزمایش های برش مستقیم با ابعاد جعبه 10×10 سانتی متر بیشتر از چسبندگی نمونه های آزمایش شده در دستگاه برش 30×30 سانتی متر می باشد. البته در این سطح تنش به تدریج با افزایش درصد آلودگی، چسبندگی دو دستگاه برش مستقیم نزدیک به همدیگر می شود. بیشترین اختلاف چسبندگی به دست آمده از آزمایش های برش کوچک و بزرگ مقیاس مربوط به نمونه غیر آلوده و در حدود $0/15 kg/cm^2$ می باشد.

در تنش قائم $0/5, 1/0$ و $1/5$ کیلوگرم بر سانتی متر مربع نیز تأثیر ابعاد جعبه برش متناسب با افزایش درصد آلودگی تغییر می کند. بر مبنای شکل (۱۱) ملاحظه می گردد که در نمونه بدون

جدول ۶- مقادیر چسبندگی به دست آمده از آزمایش های برش مستقیم با جعبه برش کوچک مقیاس $10 \times 10 cm$

ابعاد جعبه برش (cm)	وزن مخصوص خشک (g/cm^3)	تنش قائم (kg/cm^2)	درصد آلودگی				
			۰	۳	۶	۹	۱۲
			ضریب چسبندگی خاک (kg/cm^2)				
10×10	$1/7$	$0/0-1/0-3/5$	$0/185$	$0/102$	$0/118$	$0/098$	$0/112$
		$0/1-5/1-0/5$	$0/214$	$0/09$	$0/103$	$0/056$	$0/053$
10×10	$1/9$	$0/0-1/0-3/5$	$0/183$	$0/126$	$0/131$	$0/137$	$0/113$
		$0/1-5/1-0/5$	$0/191$	$0/115$	$0/1$	$0/057$	$0/106$

جدول ۷- مقادیر چسبندگی به دست آمده از آزمایش های برش مستقیم با جعبه برش بزرگ مقیاس $30 \times 30 cm$

ابعاد جعبه برش (cm)	وزن مخصوص خشک (g/cm^3)	تنش قائم (kg/cm^2)	درصد آلودگی				
			۰	۳	۶	۹	۱۲
			ضریب چسبندگی خاک (kg/cm^2)				
30×30	$1/7$	$0/1-0/0-3/5$	$0/02$	$0/05$	$0/08$	$0/09$	$0/09$
		$0/5-1/1-0/5$	$0/06$	$0/07$	$0/1$	$0/13$	$0/12$
30×30	$1/9$	$0/1-0/0-3/5$	$0/06$	$0/08$	$0/11$	$0/12$	$0/12$
		$0/5-1/1-0/5$	$0/07$	$0/1$	$0/13$	$0/14$	$0/14$

۶- نتیجه‌گیری

در سالیان اخیر، محققان زیادی تحقیقات خود را بر روی بررسی رفتار خاک‌های آلوده به مواد نفتی متمرکز کرده و دلایلی را برای توجیه تغییر در پارامترهای ژئوتکنیکی انواع خاک‌ها ارائه داده‌اند. بررسی نتایج نشان می‌دهد که عوامل زیادی در بررسی‌ها دخیل هستند و از این‌رو، این مسئله باعث حصول نتایج متفاوت در شرایط مشابه آزمایشگاهی و نوع خاک و آلاینده مشابه شده است. بنابراین انجام آزمایش‌های مختلف در شرایط متفاوت آزمایشگاهی بر روی انواع خاک‌های درشت‌دانه و ریزدانه آلوده شده با آلاینده‌های نفتی ضروری به نظر می‌رسد. به همین منظور در این تحقیق جهت بررسی تأثیر آلودگی نفتی بر پارامترهای مقاومت برشی و رفتار تنش- کرنش آن، انجام آزمایش‌های برش مستقیم کوچک و بزرگ‌مقیاس بر روی خاک درشت‌دانه شنی آلوده به درصد‌های مختلف نفت گاز مد نظر قرار گرفت. همچنین تأثیر ابعاد جعبه برش بر پارامترهای مقاومت برشی خاک آلوده نیز بررسی گردید. از مهم‌ترین نتایج به دست آمده از آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- در آزمایش‌های برش مستقیم کوچک‌مقیاس با اضافه شدن ۳ درصد نفت گاز به خاک، مقاومت برشی به شدت کاهش می‌یابد و در آلودگی‌های بیش از ۳ درصد این روند کاهشی کمتر شده و با پوشیده شدن دانه‌های خاک توسط گازوئیل، دیگر افزایش آلودگی تأثیر چندانی بر مقاومت خاک ندارد. این در حالی است که در آزمایش‌های برش مستقیم بزرگ‌مقیاس با افزایش آلودگی تا ۶ درصد مقاومت برشی افزایش می‌یابد و در آلودگی بیش از ۹ درصد کاهش مقاومت رخ می‌دهد. این تفاوت در مقاومت برشی به دلیل تأثیر متفاوت آلودگی بر مقدار زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی نمونه خاک حاصل شده است.

۲- بر اساس نتایج آزمایش‌های انجام شده در نمونه خاک بدون آلودگی با کاهش ابعاد جعبه برش، افزایش مقاومت برشی رخ می‌دهد. اما در نمونه‌های آلوده شده به نفت گاز، تغییر ابعاد جعبه برش تأثیری در شکل نمودار تنش- کرنش و مقاومت برشی ماکزیمم نداشته است.

۳- با افزایش درصد آلودگی خاک، زاویه اصطکاک داخلی به دست آمده از آزمایش‌های برش مستقیم هم کوچک‌مقیاس و هم بزرگ‌مقیاس کاهش می‌یابد. علت این موضوع به سبب ایجاد روغن‌کاری بین دانه‌های خاک توسط ماده آلوده کننده برمی‌گردد چنانچه دیگر محققان نیز در تحقیقات خود به این مسأله اشاره داشته‌اند. این کاهش از نمونه غیرآلوده تا نمونه با بیش‌ترین آلودگی در آزمایش‌های با ابعاد جعبه ۱۰×۱۰ سانتی‌متر حدود ۹ درجه بوده و در آزمایش‌های با ابعاد جعبه ۳۰×۳۰ سانتی‌متر کاهش زاویه اصطکاک بین ۸ تا ۱۳ درجه می‌باشد.

۴- تأثیر ابعاد جعبه آزمایش برش مستقیم بر زاویه اصطکاک داخلی خاک آلوده متناسب با وضعیت تراکم خاک متفاوت است. به این صورت که در نمونه‌های با وزن مخصوص خشک ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب، زاویه اصطکاک داخلی به دست آمده از آزمایش برش ۱۰×۱۰ سانتی‌متر بیشتر از برش ۳۰×۳۰ سانتی‌متر می‌باشد اما بر عکس در نمونه‌های با وزن مخصوص خشک ۱/۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب، زاویه اصطکاک داخلی از آزمایش برش ۳۰×۳۰ بیشتر از زاویه اصطکاک داخلی از آزمایش برش ۱۰×۱۰ سانتی‌متر است. این اختلاف زاویه اصطکاک در هر دو حالت بین ۵ تا ۷ درجه می‌باشد.

۵- تأثیر درصد‌های مختلف نفت گاز بر میزان چسبندگی به دست آمده از نتایج آزمایش‌های برش مستقیم کوچک و بزرگ-مقیاس متفاوت است. به طوری که در آزمایش‌های برش مستقیم با ابعاد جعبه ۳۰×۳۰ سانتی‌متر با افزایش درصد آلودگی، به دلیل ایجاد چسبندگی توسط ماده آلوده کننده در دانه‌های خاک، پارامتر چسبندگی افزایش یافته است. این در حالی است که در آزمایش‌های برش ۱۰×۱۰ سانتی‌متر با اضافه شدن ماده آلوده کننده به خاک، در چسبندگی بخش ریزدانه خاک تأثیر گذاشته و باعث کاهش چسبندگی خاک شده است.

۶- تأثیر ابعاد جعبه آزمایش برش مستقیم بر چسبندگی نمونه‌های خاک آلوده به نفت گاز بستگی به میزان تنش قائم اعمال شده دارد. اما در نمونه خاک غیر آلوده چسبندگی به دست آمده از آزمایش برش مستقیم کوچک‌مقیاس در حدود 0.13 kg/cm^2 بیشتر از چسبندگی به دست آمده از آزمایش برش مستقیم بزرگ-مقیاس می‌باشد.

۷- با توجه به تحقیقات گذشته انجام شده در زمینه تأثیر ابعاد جعبه برش بر نتایج آزمایش برش مستقیم، تمامی مطالعات نشان دهنده تأثیر ابعاد جعبه برش، بر پارامترهای مقاومت برشی خاک-های ریزدانه و درشت‌دانه بوده است، لذا در این پژوهش این موضوع در خاک‌های آلوده نفتی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش به وضوح نمایانگر این موضوع است که در خاک‌های آلوده به نفت گاز نیز اثر مقیاس بر پارامترهای مقاومت برشی بسیار تأثیرگذار بوده و لازم است که این مسئله حتماً مورد توجه قرار گیرد.

۸- برای انجام آزمایش برش مستقیم بر روی خاک‌های درشت‌دانه شن و ماسه‌ای نیاز به دستگاه برش مستقیم بزرگ با ابعاد ۳۰×۳۰ سانتی‌متر می‌باشد. اگر بر روی این نوع خاک‌ها از دستگاه برش مستقیم با ابعاد ۱۰×۱۰ سانتی‌متر استفاده شود، از آن جایی که لازم است ابتدا دانه‌بندی خاک اصلاح شده و عمده بخش درشت‌دانه خاک حذف گردد، این اصلاح دانه‌بندی، باعث افزایش درصد ریزدانه و ایجاد خطا در تعیین دقیق پارامترهای

مقاومت برشی خاک می‌شود. در این مقاله با بررسی آزمایش‌های برش مستقیم انجام گرفته بر روی نمونه خاک‌های درشت‌دانه آلوده نفتی ملاحظه گردید که حذف بخش درشت‌دانه خاک در آزمایش برش مستقیم با ابعاد کوچک می‌تواند تأثیر قابل توجهی در نتایج داشته باشد لذا توصیه می‌گردد هم در کارهای پژوهشی و هم در پروژه‌های عملی در خاک‌های درشت‌دانه شنی آلوده، از دستگاه برش با ابعاد بزرگ 30×30 سانتی‌متر استفاده گردد تا نتایج به واقعیت نزدیک‌تر باشد.

۷- مراجع

اسکندری شهرکی ع، بهبودی ع، پیکان‌پور فرد پ، مهدی‌زاده ر، "بررسی آلودگی نفت بر پارامترهای ژئوتکنیکی خاک"، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و زیرساخت‌های شهری، ایران، تبریز، ۱۳۹۴.

پورعلیزاده ح، محمدی ا ح، عبادی ت، "بررسی تأثیر آلودگی نفت خام بر خواص تراکمی و مقاومت برشی ماسه حاوی بنتونیت"، دومین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی قم، ۱۳۹۴.

حمیدی ا، جداری س، "بررسی خصوصیات تحکیمی خاک‌های رسی آلوده به سیال آلی"، مجله علمی-پژوهشی مهندسی عمران شریف، ۲۹ (۲)، ۱۳۸۹.

خداپرست م، رجبی ع م، شکری م، "مطالعه تأثیر آلودگی نفت گاز بر رفتار برشی خاک‌های درشت‌دانه"، مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، ۱۳۹۵.

خضری ش، جانعلی‌زاده ع، یوسفی کبریا د، "اثر آلودگی نفتی بر نفوذپذیری خاک‌ها"، اولین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شهید رجایی تهران، ۱۳۹۳.

رحیمی ع، حسینی س م، "مقایسه دو عامل نفت و گازوئیل بر عملکرد مقاومتی در خاک‌های درشت‌دانه آلوده بر پایه آزمون برش مستقیم"، دومین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی قم، ۱۳۹۴.

صادق‌پور م، زمانی م، شفيعی ه، "تأثیر ابعاد جعبه بر نتایج آزمایش برش مستقیم کوچک‌مقیاس و بزرگ‌مقیاس و مقایسه آن با برش برجا"، کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ۱۳۹۶.

صدقیانی م ح، جیریایی شراهی م، "بررسی آزمایشگاهی تأثیر آلودگی به نفت خام بر پارامترهای مقاومت، نشست و تراکم پذیری ماسه"، اولین کنفرانس مهندسی عمران، ۱۳۸۳.

کرمانی م، عبادی ت، "تأثیر میزان آلودگی خاک به نفت خام بر پارامترهای مقاومت برشی و تراکم پذیری آن- مطالعه موردی خاک‌های اطراف پالایشگاه تهران"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران، مکانیک خاک و پی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، ۱۳۸۹.

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

محمدی اکبرآبادی م، یثربی س ش ا، خوش‌نشین لنگرودی م، "بررسی تأثیر آلودگی نفت خام بر پارامترهای مقاومتی خاک رسی"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۹.

نورزاد ع، قاسم‌زاده ح، کنگانی م، "بررسی خواص مکانیکی خاک‌های آلوده به نفت خام"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران، مکانیک خاک و پی، دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، ۱۳۹۰.

Adeoye O, Olatokunbo O, Ademola A, "Effect of crude oil contamination on the index properties, strength and permeability of lateritic soil", *New York Science Journal*, 8 (10), 2015.

Akinwumi II, Diwa D, Obianigwe N, "Effects of crude oil contamination on the index properties strength and permeability of lateritic clay", *Int. Journal of Applied Sciences and Engineering Research*, 2014, 3 (4).

Alhassan HM, Fagge SA, "Effects of Crude Oil, Low Point Pour Fuel Oil and Vacuum Gas Oil Contamination on the Geotechnical Properties Sand, Clay and Laterite Soils", *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2013, (IJERA) ISSN: 2248-9622.

Al-Sanad HA, Eid WK, Ismael NF, "Geotechnical properties of oil-contaminated Kuwaiti sand", *Journal of geotechnical engineering*, 1995, 121 (5), 407-412.

- University of Science and Technology, Port Harcourt, 2010.
- Pandey A, Bind YK, "Effects of Oil Contamination on Geotechnical Properties of Alluvial Soil Naini, Allahabad", International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering ISSN: 2278-3075, Volume-3, Issue-8, 2014.
- Parsons JD, "Progress Report on an Investigation of the Shearing Resistance of Cohesionless Soils", Proceedings of the 1st International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1936, 2, 133-138.
- Rasheed ZN, Ahmed FR, Jassim HM, "Effect of crude oil products on the geotechnical properties of soil", WIT Transactions on Ecology and The Environment, 2014, 186.
- Safehian H, Rajabi AM, Ghasemzadeh H, "Effect of diesel-contamination on geotechnical behavior of illite Soil", Engineering Geology, 2018.
- Shin EC, Omar MT, Tahmaz AA, Das BM, "Shear strength and hydraulic conductivity of oil-contaminated sand", In de Mello, L.G., Almeida, M. (Eds.), Proceedings of the Fourth International Congress on Environmental Geotechnics, Rio de Janeiro, Brazil, vol. 1. A.A. Balkema Publishers, Lisse, 2002, 9-13.
- Soltani H, Molamahmood HV, Ebadi T, Soorki AA, "Effect of oil-degrading bacteria on geotechnical properties of crude oil contaminated sand", Environmental and Engineering Geoscience, 2017, 1078-7275.
- Spagnoli G, Sridharan A, Oreste P, Di Matteo L, "A probabilistic approach for the assessment of the influence of the dielectric constant of pore fluids on the liquid limit of smectite and kaolinite", Applied Clay Science, 2017, 145, 37-43.
- Talukdar DK, Aikia BD, "Effect of Crude Oil on Some Consolidation Properties of Clayey Soil", International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering ISSN 2250-2459, 2013.
- Taylor DW, Leps TM, "Shearing properties of Ottawa standard sand as determined by the M.I.T. strain-controlled direct shearing machine", In Record of Proceedings of Conference on Soils and Foundations, U.S. Corps of Engineers, Boston, Mass, 1938.
- Ur-Rehman H, Abduljauwad SN, Akram T, "Geotechnical behavior of oil-contaminated fine-grained soils", Electronic Journal of Geotechnical Engineering 12A, 2007.
- Wu P, Matsushima K, Tatsuoka F, "Effects of specimen size and some other factors on the shear strength and deformation of granular soils in direct shear tests", Geotechnical Testing Journal, 31 (1), 45-64, 2008.
- Wenxi F, Xing Z, Xiaozhang L, Jianhui D, "Using a modified direct shear apparatus to explore gap and size effects on shear resistance of coarse-grained soil", Society of Particuology and Institute of Process Engineering, 2015, 27, 5724-8541.
- Alsanad HA, Ismael NF, "Aging effects on oil-contaminated Kuwaiti sand", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 1997, 123 (3), 290-293.
- Ashraf KN, "Effect of Motor Oil Contamination on Geotechnical Properties of Over Consolidated Clay", Alexandria Engineering Journal, 2011, 50, 331-335.
- Bareither CA, Benson CH, Edil TB, "Comparison of shear strength of sand backfills measured in small-scale and large-scale direct shear tests", Canadian Geotechnical Journal, 2008, 45, 1224-1236.
- Bishop AW, "A large shear box for testing sands and gravels", In Proceedings of the 2nd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rotterdam, the Netherlands, 1948, 21-30.
- Cerato AB, Lutenegeger AJ, "Specimen size and scale effects of direct shear box tests on sands", Geotechnical Testing Journal, 29 (6), 507-516, 2006.
- Dadkhah R, Ghafoori M, Ajalloeian R, Lashkaripour GR, "The effect of direct shear test on the strength parameters of clayey sand in Isfahan City, Iran", Journal of Applied Sciences, 2010, 10 (18), 2027-2033.
- Estabragh AR, Beytollahpour I, Moradi M, Javadi AA, "Consolidation behavior of two fine-grained soils contaminated by glycerol and ethanol", Engineering Geology, 2014, 178, 102-108.
- George S, Aswathy E, Sabu B, Krishnaprabha N, George M, "Study on Geotechnical Properties of Diesel Oil Contaminated Soil", International Journal of Civil and Structural Engineering Research ISSN 2348-7607 (Online), 2 (2), 2014.
- Ghaly AM, "Strength remediation of oil contaminated Sands", The Eventeenth International Conference on Solid Waste Technology and Management, Philadelphia, 2001.
- Ingold TS, "Some Observations on the Laboratory Measurement of Soil-Geotextile Bond", Geotechnical Testing j, 1982, 5, 57-67.
- Khamehchiyan M, Charkhabi AH, Majid T, "Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils", Engineering Geology, 2007, 89, 220-229.
- Moayed RZ, Alizadeh A, "Effects of shear box size on the strength of silty sands in direct shear tests", In Proceedings of the 5th Asia Pacific conference on unsaturated soils, Vol. 1 Pattaya, Thailand, 2011, 265-271.
- Naeini SA, "Effect of Oil Contamination on the Liquefaction Behavior of Sandy Soils", World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Environmental, Ecological, Geological and Mining Engineering, 2014, 8 (5).
- Nasehi SA, Uromeihy A, Nikudel MR, Morsali A, "Influence of Gas Oil Contamination on Geotechnical Properties of Fine and Coarse-Grained Soils", Geotechnical and Geological Engineering, 2016, 34, 333-345.
- Otunyo AW, "Reduction of the shear strength of soils in the niger delta area of nigeria due to crude oil production", Unpublished Ph.D. Thesis, Rivers State

EXTENDED ABSTRACT

Effect of Oil- Contamination on Shear Strength Parameters of Grain Soils with Emphasis on the Effect of Dimensions of Direct Shear Test Box

Mahdi Khodaparast* , Hossein Haji

Faculty of Civil Engineering, University of Qom, Iran

Received: 29 December 2016; Accepted: 05 February 2019

Keywords:

Direct shear tests, Gas oil, Coarse soil, Shear strength parameters, Shear box dimensions.

1. Introduction

Petroleum contamination in soils induced by oil products such as crude oil, gasoline, and motor oil is an issue raised widely in oil-rich countries like Iran. Contaminated soil with oil products is considered as a common environmental problem, but under the physical-chemical processes that occurred between these contaminants and soil, new geotechnical behavior is expected, which can reduce the soil bearing capacity, change the soil strength parameters and vary engineering and geotechnical properties of soil. Once the leakage occurs, resulted by self-gravity, the oil flows towards the groundwater level, which will cause soil-saturation with this hydrocarbon liquid. In spite of this, lateral propagation of the liquid may result in a wider scale of contamination. Oil pollution near the shore, contaminates the soil across the entire coastline. In this case, to account for the pollution of soil, regarding the environmental conditions, soil type, and type of contaminants the geotechnical properties are revised. The largest oil contamination in soil occurred in recent decades due to the Persian Gulf war in Kuwait, where a volume of 9 million cubic meters of soil in 19.05 million square meters was contaminated to oil; about 69 lakes were created to gather the diffused crude oil. Another case is the destruction of tanks of the refinery of Tehran and Abadan in the war between Iran and Iraq, which caused intense oil-pollution.

2. Methodology

This study is conducted to evaluate the effects of oil pollution in shear stress and shear strength parameters of soil including the angle of internal friction and cohesion. According to ASTM (American Society for Testing and Materials) D3080, direct shear tests were performed with box dimensions of 10x10x3 cm on soil samples contaminated to oil with different percentages of 0, 3, 6, 9 and 12. Due to the limitations of ASTM regulations for the biggest aggregate in the soil for the direct shear test, aggregates passed by sieve No. 4 were used in this study. This modification eliminates the gravel portion of soil and increases the fine-grained portion. Moreover, to evaluate the effect of density and vertical stress on the results of direct shear tests, the samples were tested in two different dry density conditions of 1.7 and 1.9 g/cm³ and in two different vertical stress increments of 0.5, 1.0, 1.5 and 0.1, 0.3, 0.5 kg/cm². The shear force was applied with a speed of 1 mm/min. Properties of small scale direct shear tests in terms of density and vertical stress level and other characteristics are considered similar to the large-scale direct shear tests on soils contaminated with gas oil described by Khodaparast and et al (2015). The different direct shear tests which performed by small-scale shear test apparatus on the studied soil are presented in Table 1.

* Corresponding Author

E-mail addresses: khodaparast@qom.ac.ir (Mahdi khodaparast), h.showkati@urmia.ac.ir (Hossein Haji).

Table1. Numbers and different types of the experiments

Studied parameters	Amounts	Numbers of the tests
Dry density (g/cm ³)	1.7	2
	1.9	
Vertical stress values (kg/cm ²)	0.1- 0.3 -0.5	2
	0.5- 1.0- 1.5	
Percent of pollution	0	5
	3	
	6	
	9	
	12	
The total number of tests		2x2x5=20

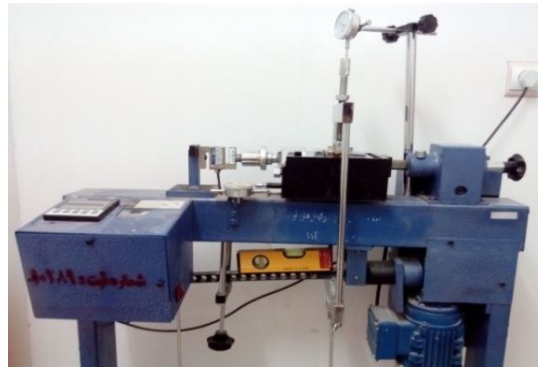


Fig. 1. The direct shear apparatus with dimensions of 10x10 cm used in this study

3. Results and discussion

3.1. The effect of pollution on shear strength

The effects of oil pollution on the stress-strain diagram of coarse soil have been investigated by direct shear tests with two different densities with box dimensions of 10x10 cm at the vertical stress of 0.1 kg/cm² (Fig. 1). Shear strength of soil sharply reduced in the infection rate of only 3%, but in the pollution more than 3%, this reduction was very low further increase in pollution did not have a significant impact in reducing resistance. Also, the behavior of the stress-strain curve in two different dry densities (1.7 and 1.9 g/cm³) is not the same. The obtained results follow the trend of stress-strain charts for direct shear tests through the two different densities in 30x30cm boxes with the vertical stress of 0.1 kg/cm², except for the non-infected cases. But contrary to 10x10 cm shear box, in 30x30 cm shear box results show that soil shear strength increases by increasing the percentage of pollution.

3.2. The effect of pollution on the angle of internal friction

The results show that in both large and small-scale direct shear tests, increasing the level of pollution reduces internal friction angle (Fig. 2). The past studies by other researchers in this field also show relatively the same results. The cause of this decline could actually be that the physical presence of oil in the soil causes some lubrication between soil grains and so makes it easier for soil aggregates to slide over each other and consequently reduces the internal friction angle.

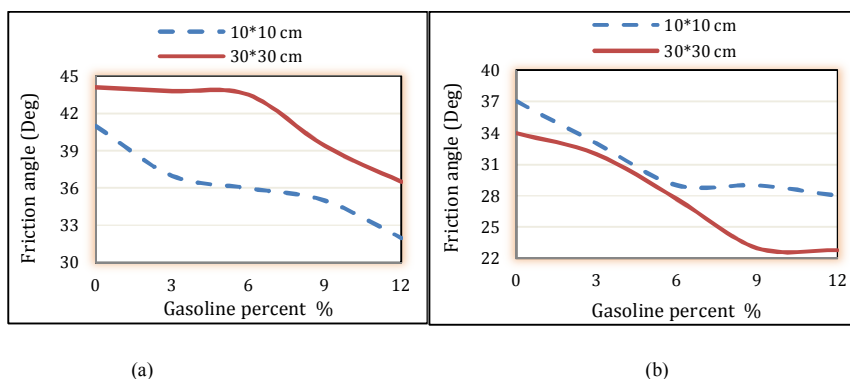


Fig. 2. Comparison of the internal friction angle obtained from both small and large-scale direct shear tests: (a) for dry density of 1.7 g/cm³ and normal stress of 0.1, 0.3, 0.5 kg/cm², (b) for dry density of 1.9 g/cm³ and normal stress of 0.5, 1.0, 1.5 kg/cm²

3.3. The effect of pollution on soil cohesion

The effect of different percentages of gas oil on the soil cohesion in small and large-scale direct shear tests is different, so that in direct shear tests of 30x30 cm with the increasing pollution, cohesion increases but it reduces in direct shear tests of 10x10 cm by increasing the contaminants in soil. The results show that the effect of oil pollution on soil cohesion depends on box dimensions and soil grain size entirely.

4. Conclusions

- 1- In small-scale direct shear tests shear strength greatly reduced by adding 3% of gas oil to the soil. However, in large direct shear tests, increasing pollution up to 6 percent increases the shear strength and increasing to more than 9 percent, reduction in resistance occurs.
- 2- Based on the results of the tests on non-polluted soil samples, by reducing the dimensions of the box, an increase in shear strength occurs. But in samples contaminated by oil gas, changes in dimensions don't affect the shape of the stress-strain and maximum shear strength.
- 3- By increasing the level of soil contamination, the friction angles obtained from both small-scale and large-scale direct shear tests are reduced.
4. The effects of various percentages of gas oil on cohesion obtained from small and large scale direct shear tests are different. Cohesion in direct shear test boxes of 30x30 cm increases with an increase of pollution, but in test boxes of 10x10 cm, the increase of contaminants in soil has a decreasing effect on cohesion.

5. References

- Al-Sanad HA, Eid WK, Ismael NF, "Geotechnical properties of oil-contaminated Kuwaiti sand", Journal of Geotechnical Engineering, 1995, 121 (5), 407-412.
- Khamehchiyan M, Charkhabi AH, Majid T, "Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils", Engineering Geology, 2007, 89, 220-229.
- Khodaparast M, shokri M, "Effect of gas oil-contamination on Shear strength behavior of Grain Soils", Iranian Association of Engineering Geology, 2015
- Talukdar DK, Aikia BD, "Effect of Crude Oil on Some Consolidation Properties of Clayey Soil", International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 2013, ISSN 2250-2459.
- Safehian H, Rajabi A M, Ghasemzadeh H, "Effect of diesel-contamination on geotechnical behavior of illite soil", Engineering Geology, 2018,