

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده پردیس خوارزمی

گروه مهندسی عمران-ژئوتکنیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی پارامترهای مقاومتی در خاک های درشت دانه آلوده به مواد هیدروکربنی

علی رحیمی

استاد راهنما :

دکتر سید مهدی حسینی

شهریور ماه ۱۳۹۴

تقدیم به

پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آنانکه همواره دعای خیرشان حامی و پشتیبانم در تمامی

مراحل زندگی بود

مَشکُرو قدردانی

در پایان این مرحله از تحصیل بر خود لازم میدانم که از خانواده عزیز، دلسوز و مهربانم که آرامش روحی و آسایش فکری فراهم نمودند تا با حمایت های همه جانبه در محیطی مطلوب، مراتب تحصیلی و نیز پایان نامه دسی را به نحو احسن به اتمام برسانم سپاسگزاری نمایم. بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، بازبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بخاریم، اما از آنجایی که تجلیل از معلم، پاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تائین می کند و سلامت امانت های را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب ”من لم یَشکُرِ المنعم من المخلوقین لم یَشکُرِ الله عزوجل“ : از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر حسینی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ لکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛ از جناب آقای مهندس کلاتری، مؤهل محترم آزمایشگاه ژئوتکنیک دانشگاه شاهرود، که در این مدت با مشورت ها و راهنمایی های خود کمک فراوانی به اینجانب کردند و بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید؛ و از اساتید فرزانه و دلسوز؛ جناب آقایان دکتر بزرگافشان و دکتر واقعی که زحمت داورسی این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را پاس گوید.

تعهد نامه

اینجانب علی رحیمی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوتکنیک دانشکده پردیس خوارزمی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی پارامترهای مقاومتی در خاک های درشت دانه آلوده به مواد هیدروکربنی تحت راهنمایی دکتر سید مهدی حسینی متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصال برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

نشت یک عامل خارجی آلوده کننده به داخل خاک با توجه به ماهیت آن می تواند باعث تغییراتی در ساختار فیزیکی و یا شیمیایی خاک شود. یکی از مهمترین و متداول ترین این عوامل، مواد نفتی و یا یکی از مشتقات آن می باشند که در خانواده مواد هیدروکربنی جای میگیرند. نشت و انتشار این مواد می تواند بر اثر عوامل طبیعی مانند نشت طبیعی و یا نشست زمین در سایت های تولید و نگهداری آن و یا عوامل انسانی مانند تصادف تانکر ها ، آسیب دیدگی لوله های انتقال و مخازن و... باشد. این ورود و انتشار به داخل خاک علاوه بر مخاطرات زیست محیطی متعدد از جمله آلودگی منابع زیر زمینی آب می تواند باعث تغییرات در پارامتر های مربوط به خاک شود. این تغییرات با توجه به نوع و ساختار خاک می تواند به تغییراتی در خصوصیات فیزیکی و یا بافت و ساختار آن شود. تغییر در پارامتر های ژئوتکنیکی خاک نیز ممکن است سبب بهبود و یا افت در بخشی از عملکرد خاک شود. از طرفی به علت هزینه بر و زمان بر بودن پاکسازی خاک آلوده شده با این مواد و همچنین صرفه اقتصادی ساخت در منطقه آلوده شده ، لازم است که حتما خصوصیات مهندسی و پارامتر های ژئوتکنیکی خاک آلوده مورد مطالعه قرار گرفته تا در هنگام طراحی و ساخت سازه های مورد نظر ، نتایج حاصله مورد لحاظ قرار گیرد.

از آنجایی که مقاومت برشی خاک به عنوان یکی از مهمترین عوامل تعیین کننده کیفیت خاک ظاهر می شود و در تحلیل و بررسی موضوعاتی از قبیل فشار افقی در برابر دیوار های حائل و سپر ها و مهاربند ها ، پایداری شیب ها ، ظرفیت باربری نهایی خاک و ... نقش اساسی دارد ، این پارامتر در پایان نامه حاضر مورد بررسی قرار گرفته است. مبنا پژوهش فوق بر اساس آزمایش برش مستقیم می باشد که در دستگاه خاص خود انجام می پذیرد.

خاک مورد استفاده در این تحقیق از نوع درشت دانه شنی – ماسه ای می باشد که از محوطه سایت نفتی شاهرود جمع آوری گشته است. به منظور تعیین اثر نوع آلاینده ، مقدار آلودگی و گذشت زمان ، نمونه هایی بدون آلودگی به عنوان پایلوت در ابتدا مورد آزمایش قرار گرفته و سپس نتایج بدست آمده از نمونه های آلوده با آن مقایسه گردیده است.

نمونه های خاک پس از آلوده شدن با دو ماده هیدروکربنی نفت سفید (نفت) و نفت گار (گازوئیل) و در مقادیر ۲٪ و ۴٪ و پس از ۱۰ روز گذشت زمان مورد آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس با جعبه برش ۱۵ × ۳۰ × ۳۰ و نرخ اعمال برش ۲,۰۶۷ میلیمتر بر دقیقه قرار گرفته اند. علاوه بر این جهت مشاهده تاثیر عامل گذشت زمان بر مقاومت ، نمونه هایی ساخته شد که پس از ۲ برابر مدت زمان گذشت قبلی آزمایش بر آن انجام شد.

نتایج بیانگر کاهش محسوس مقاومت نمونه پس از آلودگی به گازوئیل و رفتار مشابه آن پس از آلودگی به نفت می باشد که البته این روند با افزایش مقدار مواد آلوده کننده ، افزایش می یابد. در نتیجه با توجه به تفاوت های ساختاری بین دو ماده نفت و گازوئیل ، نمونه های آلوده به گازوئیل نسبت به نمونه های مشابه آلوده به نفت مقاومت کمتری از خود نشان می دهد. همچنین با افزایش میزان آلودگی ، زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) کاهش و میزان چسبندگی (C) افزایش می یابد.

کلمات کلیدی : خاک آلوده ، برش مستقیم ، پارامتر های مقاومت برشی ، نفت ، گازوئیل

بر اساس تحقیقات انجام شده در این پایان نامه و نتایج حاصل شده ، دو مقاله فوق به شرح زیر در دومین کنفرانس ملی مکانیک خاک و پی مورد پذیرش قرار گرفت :

مقایسه دو عامل نفت و گازوئیل بر عملکرد مقاومتی در خاک های درشت دانه آلوده بر پایه آزمون برش مستقیم

بررسی تاثیر آلودگی به مواد هیدروکربنی بر پارامترهای مقاومتی در خاک های درشت دانه

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	۱- مقاومت برشی خاک ها و آلودگی خاک
۲	۱- ۱- کلیات
۳	۱- ۲- آشنایی با مفهوم خاک
۴	۱- ۳- ساختار خاک های غیر چسبنده
۵	۱- ۴- عوامل موثر بر مقاومت خاک های درشت دانه
۶	۱- ۴- ۱- سطح تنش
۷	۱- ۴- ۲- تخلخل
۸	۱- ۴- ۳- مقدار ریزدانه
۸	۱- ۴- ۴- حداکثر اندازه ذرات
۹	۱- ۴- ۵- رطوبت
۹	۱- ۴- ۶- جنس ذرات
۱۰	۱- ۴- ۷- نوع آزمایش
۱۰	۱- ۴- ۸- ضریب شکل
۱۲	۱- ۴- ۹- شکست ذرات
۱۳	۱- ۵- تعریف آلودگی خاک
۱۵	۱- ۵- ۱- آلاینده های خاک
۱۵	۱- ۵- ۲- برهمکنش آلاینده های نفتی با خاک
۱۶	۱- ۵- ۳- آزمایشات
۱۶	۱- ۶- مقاومت برشی
۱۸	۱- ۶- ۱- تئوری شکست مور
۲۳	۱- ۶- ۲- تعیین مقاومت برشی خاک ها

۲۵	۱ - ۶ - ۳-عوامل موثر بر زاویه اصطکاک داخلی
۲۶	۱ - ۶ - ۴-عوامل موثر بر چسبندگی
۲۷	۱ - ۷ - تئوری آزمایش
۳۲	۱ - ۷ - ۱-بررسی اثر اصطکاک جدار در آزمایش برش مستقیم
۳۲	۱ - ۷ - ۲-بررسی اثر اندازه ذرات
۳۳	۱ - ۸ - ضرورت انجام تحقیق
۳۴	۱ - ۹ - اهداف تحقیق
۳۷	۲ - شناخت مواد هیدروکربنی و تاثیر آن بر خاک
۳۸	۲ - ۱- مقدمه
۳۹	۲ - ۲- تعریف ترکیبات نفتی
۴۰	۲ - ۳- نفت خام و شکل های مختلف آن
۴۴	۲- ۳- ۱- پارافین ها
۴۵	۲- ۳- ۲- نفتن ها
۴۵	۲- ۳- ۳- هیدروکربن های آروماتیکی
۴۶	۲- ۴- ترکیب و کاربردهای نفت خام
۴۸	۲- ۴- ۱- نفت سفید
۴۹	۲- ۴- ۲- نفت گاز
۵۰	۲- ۵- مروری بر تحقیقات گذشته خاک های آلوده به نفت
۱۰۱	۳-آزمون های آزمایشگاهی و نتایج آن
۱۰۲	۳-۱-دانه بندی و طبقه بندی خاک
۱۰۳	۳-۲-تعیین چگالی ویژه بخش جامد خاک
۱۰۵	۳-۳- تعیین دانسیته مینیمم و ماکزیمم با استفاده از میز مرتعش
۱۱۲	۳-۴-آزمایش برش مستقیم

۱۱۲	۳-۴-۱- مشخصات دستگاه
۱۱۳	۳-۴-۲- جعبه برش
۱۱۳	۳-۴-۳- سیستم بارگذاری
۱۱۴	۳-۴-۴- سیستم اندازه گیری
۱۱۵	۳-۵- نحوه آماده سازی نمونه ها برای شروع آزمایش
۱۱۹	۴-آنالیز داده ها
۱۲۰	۴-۱-آنالیز نمونه های بدون آلودگی
۱۲۴	۴-۲-آنالیز نمونه های آلوده به نفت
۱۲۹	۴-۳-آنالیز نمونه های آلوده به گازوئیل
۱۳۵	۵-بحث و جمع بندی
۱۴۵	۸-نتایج
۱۴۹	۹-پیشنهادهات
۱۵۱	۱۰-مراجع

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۱۹	شکل ۱-۱ رابطه بین تنش برشی ، تنش نرمال و زاویه α
۲۰	شکل ۲-۱ مقاومت برشی بر حسب (a) موهر و (b) کولمب
۲۱	شکل ۳-۱ دواير موهر برای نمونه های مختلف تحت تنش ، کشش ، برش و تراکم
۲۲	شکل ۴-۱ (a) $\sigma_1 > \sigma_3$ ، (b) تنش نرمال و برشی در صفحه شکست ، (c) دایره موهر برای نشان دادن وضعیت تنش در a
۲۵	شکل ۵-۱ مقاومت برشی نسبت به جابجایی افقی در انواع نمونه ها با دانسیته متفاوت
۲۷	شکل ۶-۱ شکل شماتیک دستگاه برش مستقیم
۲۷	شکل ۷-۱ شکل شماتیک جعبه برش دستگاه برش مستقیم
۳۰	شکل ۸-۱ منحنی تغییرات کرنش حجمی نسبت به جابجایی افقی در نمونه های مختلف با دانسیته متفاوت
۴۳	شکل ۱-۲ فرمول های ساختمانی برای هیدروکربن های مختلف
۴۷	شکل ۲-۲ شکل شماتیک برج تقطیر
۵۲	شکل ۳-۲ نمودار تغییرات تنش برشی در مقابل جابجایی در میزان درصد نفت ۰٪
۵۲	شکل ۴-۲ نمودار تغییرات تنش برشی در مقابل جابجایی در میزان درصد نفت ۲٪
۵۳	شکل ۵-۲ نمودار تغییرات تنش برشی در مقابل جابجایی در میزان درصد نفت ۴٪
۵۳	شکل ۶-۲ نمودار تغییرات تنش برشی در مقابل جابجایی در میزان درصد نفت ۶٪
۵۴	شکل ۷-۲ نمودار تراکم انرژی استاندارد پروکتور توسط آب و نفت
۵۴	شکل ۸-۲ نمودار تراکم ۱،۳ انرژی استاندارد پروکتور توسط آب و نفت
۵۵	شکل ۹-۲ نمودار تنش برشی - جابجایی افقی در حالت بدون نفت خام
۵۶	شکل ۱۰-۲ نمودار تنش برشی - جابجایی افقی در حالت با ۶ درصد نفت خام
۵۶	شکل ۱۱-۲ نمودار تنش برشی - جابجایی افقی در حالت تنش نرمال ۵۰ کیلو پاسکال

۵۷	شکل ۱۲-۲	نمودار تنش برشی - جابجایی افقی در حالت تنش نرمال ۱۰۰ کیلو پاسکال
۵۷	شکل ۱۳-۲	نمودار تنش برشی - جابجایی افقی در حالت تنش نرمال ۲۰۰ کیلو پاسکال
۵۸	شکل ۱۴-۲	نمودار تراکم در حالات مختلف
۶۰	شکل ۱۵-۲	نمودار تغییرات زاویه اصطکاک داخلی-درصد آلودگی به نفت خام
۶۱	شکل ۱۶-۲	نمودار تغییرات زاویه اصطکاک داخلی-تراکم نسبی
۶۱	شکل ۱۷-۲	نمودار تراکم ماسه با میزان های مختلف آلودگی به نفت خام
۶۲	شکل ۱۸-۲	نمودار تحکیم ماسه با میزان های مختلف آلودگی به نفت خام
۶۷	شکل ۱۹-۲	رابطه بین تبخیر نفت با درصد آلودگی در نمونه های متفاوت
۶۸	شکل ۲۰-۲	منحنی تراکم برای نمونه های SM
۶۹	شکل ۲۱-۲	منحنی تراکم برای نمونه های CL
۶۹	شکل ۲۲-۲	منحنی تراکم برای نمونه های SP
۷۰	شکل ۲۳-۲	تاثیر درصد آلودگی بر زاویه اصطکاک در نمونه های مختلف
۷۰	شکل ۲۴-۲	تاثیر درصد آلودگی بر چسبندگی در نمونه های مختلف
۷۱	شکل ۲۵-۲	تاثیر درصد آلودگی بر جابجایی نسبی در نمونه CL
۷۲	شکل ۲۶-۲	تاثیر درصد آلودگی بر جابجایی نسبی در نمونه SM
۷۳	شکل ۲۷-۲	تاثیر درصد آلودگی بر حدود آتربرگ و شاخص خمیری
۷۴	شکل ۲۸-۲	منحنی تراکم برای نمونه های دارای مقادیر مختلف آلودگی
۷۵	شکل ۲۹-۲	منحنی تغییرات چسبندگی نسبت به درصد آلودگی در نمونه هایی با رطوبت متفاوت و پس از ۷ روز استراحت
۷۵	شکل ۳۰-۲	منحنی تغییرات چسبندگی نسبت به درصد آلودگی در نمونه هایی با رطوبت متفاوت و پس از ۳۰ روز استراحت
۷۶	شکل ۳۱-۲	منحنی تغییرات چسبندگی نسبت به درصد آلودگی در نمونه هایی با رطوبت متفاوت و پس از ۹۰ روز استراحت

۷۶	شکل ۳۲-۲	منحنی تغییرات زاویه اصطکاک نسبت به درصد آلودگی در نمونه هایی با رطوبت متفاوت و پس از ۷ روز استراحت
۷۷	شکل ۳۳-۲	منحنی تغییرات زاویه اصطکاک نسبت به درصد آلودگی در نمونه هایی با رطوبت متفاوت و پس از ۳۰ روز استراحت
۷۷	شکل ۳۴-۲	منحنی تغییرات زاویه اصطکاک نسبت به درصد آلودگی در نمونه هایی با رطوبت متفاوت و پس از ۹۰ روز استراحت
۷۸	شکل ۳۵-۲	تاثیر گذشت زمان بر روی زاویه اصطکاک داخلی
۸۰	شکل ۳۶-۲	تصویر میکروسکوپیکی از خاک کائولینیت در حالات مختلف مخلوط با مواد
۸۰	شکل ۳۷-۲	خواص پلاستیسیته کائولینیت آلوده با مقادیر مختلف آلودگی
۸۱	شکل ۳۸-۲	تاثیر درصد آلودگی بر خواص تحکیمی کائولینیت
۸۲	شکل ۳۹-۲	تاثیر درصد آلودگی بر میزان چسبندگی در کائولینیت
۸۲	شکل ۴۰-۲	تاثیر درصد آلودگی و رطوبت بر زاویه اصطکاک کائولینیت
۸۳	شکل ۴۱-۲	تاثیر درصد آلودگی و رطوبت بر مقاومت برشی کائولینیت
۸۴	شکل ۴۲-۲	نمودار مقاومت فشاری محدود نشده در مقابل کرنش محوری برای نمونه های با درصد های گازوئیل متفاوت
۸۴	شکل ۴۳-۲	اثر گازوئیل بر مقاومت فشاری محدود نشده
۸۵	شکل ۴۴-۲	اثر زمان بر مقاومت تک محوری
۸۷	شکل ۴۵-۲	مقایسه تغییرات زاویه اصطکاک داخلی در درصد های مختلف آب و گازوئیل
۸۷	شکل ۴۶-۲	مقایسه تغییرات چسبندگی در درصد های مختلف آب و گازوئیل
۸۸	شکل ۴۷-۲	منحنی تراکم برای نمونه های دارای مقادیر مختلف آلودگی
۸۸	شکل ۴۸-۲	منحنی تنش-کرنش محوری در تست سه محوری تحکیم یافته زهکشی نشده
۸۹	شکل ۴۹-۲	منحنی پوش گسیختگی در نمونه های آلوده و غیر آلوده
۹۰	شکل ۵۰-۲	رابطه بین دانسیته نسبی با زاویه اصطکاک در نمونه های آلوده و غیر آلوده

۹۱	تغییرات درصد آلودگی نسبت به گذشت زمان در نمونه آلوده	شکل ۵۱-۲
۹۱	تغییرات زاویه اصطکاک نسبت به گذشت زمان در نمونه آلوده	شکل ۵۲-۲
۹۲	نتایج حاصل از حد روانی بر نمونه های رسوبی و گرانیتی	شکل ۵۳-۲
۹۳	نتایج حاصل از حد خمیری بر نمونه های رسوبی و گرانیتی	شکل ۵۴-۲
۹۳	تغییرات شاخص خمیری در خاک های رسوبی و گرانیتی	شکل ۵۵-۲
۹۴	تغییرات مقاومت برشی نسبت به میزان آلودگی در خاک های رسوبی و گرانیتی	شکل ۵۶-۲
۹۵	رابطه بین مقاومت برشی و کرنش محوری در خاک های رسوبی	شکل ۵۷-۲
۹۵	رابطه بین مقاومت برشی و کرنش محوری در خاک های گرانیتی	شکل ۵۸-۲
۹۶	تاثیر میزان نفت خام بر مقاومت تک محوری	شکل ۵۹-۲
۹۷	تاثیر سن آلودگی بر تغییرات مقاومت تک محوری در درصد های مختلف نفت	شکل ۶۰-۲
۹۸	منحنی میزان آلودگی - چسبندگی با درصد رطوبت متفاوت	شکل ۶۱-۲
۹۸	منحنی میزان آلودگی - زاویه اصطکاک با درصد رطوبت متفاوت	شکل ۶۲-۲
۱۰۲	منحنی دانه بندی	شکل ۱-۳
۱۱۱	نمونه خاک تحت فشار بر روی میز مرتعش	شکل ۲-۳
۱۱۲	دستگاه برش مستقیم بزرگ مقیاس مورد استفاده	شکل ۳-۳
۱۱۳	شکل شماتیک جعبه برش	شکل ۴-۳
۱۱۴	سیستم بارگذاری افقی	شکل ۵-۳
۱۱۵	گیج های اندازه گیری نیرو و جابجایی افقی	شکل ۶-۳
۱۲۰	منحنی تغییرات تنش برشی-جابجایی افقی در خاک بدون آلودگی	شکل ۱-۴
۱۲۲	منحنی تنش نرمال-تنش برشی در خاک بدون آلودگی	شکل ۲-۴
۱۲۲	منحنی جابجایی عمودی-زمان در خاک بدون آلودگی	شکل ۳-۴
۱۲۴	منحنی تغییرات تنش برشی-جابجایی افقی در خاک با ۲٪ نفت	شکل ۴-۴
۱۲۵	منحنی تغییرات تنش برشی-جابجایی افقی در خاک با ۴٪ نفت	شکل ۵-۴

۱۲۶	منحنی تنش نرمال-تنش برشی در خاک با ۲٪ نفت	شکل ۴-۶
۱۲۶	منحنی تنش نرمال-تنش برشی در خاک با ۴٪ نفت	شکل ۴-۷
۱۲۷	منحنی جابجایی عمودی-زمان در خاک با ۲٪ نفت	شکل ۴-۸
۱۲۷	منحنی جابجایی عمودی-زمان در خاک با ۴٪ نفت	شکل ۴-۹
۱۳۰	منحنی تغییرات تنش برشی-جابجایی افقی در خاک با ۲٪ گازوئیل	شکل ۴-۱۰
۱۳۰	منحنی تغییرات تنش برشی-جابجایی افقی در خاک با ۴٪ گازوئیل	شکل ۴-۱۱
۱۳۱	منحنی تنش نرمال-تنش برشی در خاک با ۲٪ گازوئیل	شکل ۴-۱۲
۱۳۲	منحنی تنش نرمال-تنش برشی در خاک با ۴٪ گازوئیل	شکل ۴-۱۳
۱۳۲	منحنی جابجایی عمودی-زمان در خاک با ۲٪ گازوئیل	شکل ۴-۱۴
۱۳۳	منحنی جابجایی عمودی-زمان در خاک با ۴٪ گازوئیل	شکل ۴-۱۵
۱۳۶	منحنی تغییرات تنش برشی - جابجایی افقی تحت تنش نرمال ۵۰ کیلو پاسکال	شکل ۵-۱
۱۳۷	منحنی تغییرات تنش برشی - جابجایی افقی تحت تنش نرمال ۱۰۰ کیلو پاسکال	شکل ۵-۲
۱۳۷	منحنی تغییرات تنش برشی - جابجایی افقی تحت تنش نرمال ۱۵۰ کیلو پاسکال	شکل ۵-۳
۱۳۸	منحنی تغییرات چسبندگی-درصد آلودگی در نمونه های آلوده به نفت و گازوئیل	شکل ۵-۴
۱۳۸	منحنی تغییرات زاویه اصطکاک-درصد آلودگی در نمونه های آلوده به نفت و گازوئیل	شکل ۵-۵
۱۴۱	منحنی تنش برشی-تنش نرمال در نمونه های آلوده و غیر آلوده	شکل ۵-۶
۱۴۲	شکل شماتیک بافت خاک آلوده به نفت	شکل ۵-۷

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۲۴	جدول ۱-۱ روابط گسیختگی ارائه شده توسط محققین مختلف
۳۱	جدول ۲-۱ مقادیر زاویه اصطکاک زهکشی شده مربوط به ماسه وها و سیلت ها
۴۱	جدول ۱-۲ ترکیب عنصری سوخت های فسیلی
۴۴	جدول ۲-۲ انواع نفت و درصد ترکیبات موجود در آن
۴۸	جدول ۳-۲ ترکیب یک نمونه نفتی
۵۲	جدول ۴-۲ میزان زاویه اصطکاک داخلی بدست آمده توسط اکبر آبادی و همکاران
۵۳	جدول ۵-۲ میزان چسبندگی بدست آمده توسط اکبر آبادی و همکاران
۵۹	جدول ۶-۲ تغییرات پلاستیسیته خاک با افزایش درصد نفت خام
۶۲	جدول ۷-۲ مقادیر مختلف CC برای ماسه های تمیز و آلوده به نفت خام در تراکم نسبی ۶۰ درصد
۶۳	جدول ۸-۲ تاثیر درجه حرارت بر مقاومت ماسه ریز دانه یکنواخت با ۶٪ آلودگی نفت خام
۶۴	جدول ۹-۲ تاثیر آلودگی و بهسازی نمونه بر پارامتر های ژئوتکنیکی مورد نظر
۶۵	جدول ۱۰-۲ تاثیر آلودگی بر خواص مکانیکی خاک
۱۰۳	جدول ۱-۳ مشخصات ظاهری خاک
۱۰۴	جدول ۲-۳ میزان تخلخل و چگالی خاک
۱۱۱	جدول ۳-۳ مشخصات دانسیته حداکثر و حداقل با استفاده از میز ویبره
۱۲۱	جدول ۱-۴ پارامتر تنش نرمال-تنش برشی در خاک بدون آلودگی
۱۲۳	جدول ۲-۴ نشست نهایی خاک بدون آلودگی در حالت قبل و بعد از اعمال نیرو افقی
۱۲۳	جدول ۳-۴ خلاصه نتایج بدست آمده از آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه بدون آلودگی
۱۲۵	جدول ۴-۴ پارامتر تنش نرمال-تنش برشی در خاک با ۲٪ نفت
۱۲۵	جدول ۵-۴ پارامتر تنش نرمال-تنش برشی در خاک با ۴٪ نفت

۱۲۶	چسبندگی و زاویه اصطکاک در خاک آلوده به نفت	جدول ۴-۶
۱۲۸	نشست نهایی خاک آلوده به نفت در حالت قبل و بعد از اعمال نیرو افقی	جدول ۴-۷
۱۲۸	نتایج بدست آمده از آزمایش نمونه های ۲۰ روزه بر روی خاک آلوده به نفت	جدول ۴-۸
۱۲۹	خلاصه نتایج بدست آمده از آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه آلوده به نفت	جدول ۴-۹
۱۳۱	پارامتر تنش نرمال-تنش برشی در خاک با ۲٪ گازوئیل	جدول ۴-۱۰
۱۳۱	پارامتر تنش نرمال-تنش برشی در خاک با ۴٪ گازوئیل	جدول ۴-۱۱
۱۳۲	چسبندگی و زاویه اصطکاک در خاک آلوده به گازوئیل	جدول ۴-۱۲
۱۳۳	نشست نهایی خاک آلوده به گازوئیل در حالت قبل و بعد از اعمال نیرو افقی	جدول ۴-۱۳
۱۳۳	نتایج بدست آمده از آزمایش نمونه های ۲۰ روزه بر روی خاک آلوده به گازوئیل	جدول ۴-۱۴
۱۳۴	خلاصه نتایج بدست آمده از آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه آلوده به گازوئیل	جدول ۴-۱۵
۱۴۰	نتایج بدست آمده از آزمایش نمونه های ۲۰ روزه	جدول ۵-۱

فصل اول

مقاومت برشی خاک و آلودگی خاک

۱-۱- کلیات

به یاری خداوند متعال و با کمک و همراهی دوستان و آشنایان و راهنمایی های اساتید گرامی رساله کارشناسی ارشد اینجانب طی تلاشی چندین ماهه آماده شد و در برابر شما قرار گرفته است. با توجه به اهمیت موضوع محیط زیست ، در این پایان نامه سعی شده است که بر روی خاک این نعمت خدادادی و با ارزش تحقیق صورت پذیرد و رفتار آن در برابر آلودگی های نفتی مورد کاوش قرار گیرد. رفتار مورد مطالعه در این پایان نامه بر اساس سنجش مقاومت آنها استوار است. مطالب این رساله در ده فصل گردآوری شده است که به شرح ذیل می باشد :

در فصل اول مقدمه کار آورده شده که در آن به شرح و خواص انواع خاک ، عوامل موثر بر مقاومت خاک و همچنین تعریف آلودگی خاک پرداخته شده است. در فصل دوم به بررسی و شناخت انواع مواد هیدروکربنی و تاثیر آن بر انواع خاک ها پرداخته ایم. فصل سوم عامل مقاومت برشی خاک و پارامتر های مرتبط با آن مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل چهارم علت انجام این تحقیق و اهدافی که در این تحقیق به دنبال آن هستیم ، آورده شده است. در فصل پنجم بررسی و شناسایی خواص ژئوتکنیکی خاک با استفاده از آزمایشات مربوطه مورد مطالعه قرار گرفته است. آنالیز انواع نمونه های مورد مطالعه در فصل ششم گردآوری شده و در فصل هفتم به جمع بندی و فصل هشتم نتیجه گیری از تحقیقات انجام شده پرداخته شده است. در نهایت در فصل نهم پیشنهاداتی جهت انجام تحقیقات تکمیلی ارائه شده و در فصل آخر منابع و ماخذ مورد استفاده ، آورده شده است.

۱-۲- آشنایی با مفهوم خاک

لغت خاک Soil از ریشه لاتین Solum به معنای زمین یا کف مشتق شده است. تعریف خاک عبارت است از سنگ دانه هایی از ذرات معدنی و مواد آلی (ذرات جامد) که فضای خالی بین این دو ذرات جامد را مایع (آب) و گاز (هوا) پر کرده است. بیشتر خواص خاک ها به وسیله اندازه ، شکل و ترکیبات شیمیایی آن بیان شده است. اندازه ذراتی که خاک از آن تشکیل می شود بسیار متغیر است. ذرات بزرگتر از ۲ میلی متر را شن ، ۲ تا ۰.۰۵ میلی متر را ماسه ، ۰.۰۵ تا ۰.۰۰۲ میلی متر را سیلت و کوچکتر از ۰.۰۰۲ میلی متر را رس می نامند. عمومی ترین تقسیم بندی خاک ، تقسیم آن به مواد معدنی (۶۰٪-۵۰٪) ، آب (۳۵٪-۲۵٪) ، هوا (۲۵٪-۱۵٪) و مواد آلی (مقدار بسیار ناچیز) می باشد.

خاک مورد استفاده در این پژوهش خاک شن - ماسه خوب دانه بندی شده GW-SW می باشد لذا لازم است ویژگی های این نوع ذرات را به صورت کلی بدانیم. آنچه در مورد استفاده از مصالح درشت دانه و سنگریزه ای در انواع تحقیقات و پروژه های سازه ای مورد اهمیت می باشد دو نکته ۱- تعیین حداکثر اندازه دانه و ۲- تعیین منحنی دانه بندی مناسب می باشد. در پروژه هایی از قبیل ساخت سد های خاکی و سنگریزه ای ، جهت انجام طراحی بهینه و مورد اعتماد و همچنین اطمینان از پایداری سازه ، لازم است که دو نکته بالا مورد لحاظ قرار گیرد. برای همین محققین جهت تعیین حداکثر اندازه دانه ها از نسبت $\frac{D}{d}$ استفاده میکنند که در این رابطه D کوچکترین بعد نمونه و d حداکثر اندازه در آزمایشگاه می باشند. همچنین جهت تعیین یک منحنی دانه بندی مناسب جهت اجرا پروژه ، از روش های مدل سازی بر اساس دانه بندی مصالح در اختیار استفاده میکنند که می توان از روش هایی مانند : ۱- سرند ، ۲- مقیاس موازی ، ۳- منحنی دانه بندی درجه ۲ و ۴- جایگزینی نام برد.

نهشته های طبیعی شن و ماسه معمولاً بر اثر فرسایش و خرد شدن انواع سنگها، حمل ذرات و قطعات حاصله توسط عوامل مختلف و بالاخره رسوب آنها در محل های مناسب ایجاد می شود. جنس ذرات شن و ماسه می تواند هر نوع سنگ یا کانی با هر درجه مقاومت فیزیکی و خواص شیمیایی باشد. البته، دانه های شن بیشتر سنگی بوده و کمتر از یک کانی منفرد تشکیل شده اند. دانه های شیلی یا سنگهای نرم دیگر، چون به سرعت فرسایش می یابند، کمتر در آنها وجود دارند. اندازه ذرات و دانه بندی تنها ویژگیهای قابل اندازه گیری شن و ماسه نیستند. شن و ماسه مصرفی در هر کاربرد خاص باید از ویژگیهای فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و دانه بندی خاصی برخوردار باشند.

شن ذرات درشت تر از ماسه و ریزتر از قلوه سنگ (۲-۶۰ میلی متر) است. رایجترین استاندارد موجود، شن را ذرات بین دو الک شماره ۳ و ۴۰ اینچ می شناسد. جنس شن و ذرات درشت تر از آن بیشتر از سنگ است. این خرده سنگها می توانند از هر جنس باشند ولی معمولاً نمونه های مقاومتر سنگ در آنها بیشتر یافت می شود.

ماسه معمولاً به ذراتی با قطر ۲ تا ۰/۰۶ میلی متر اطلاق می شود. این محدوده اندازه را می توان از سر یک چوب کبریت تا حد رویت با چشم غیر مسلح در نظر گرفت. در صنعت، ماسه معمولاً به ذراتی که در آزمون دانه بندی بین الکهای شماره ۴ و شماره ۲۰۰ قرار گیرد، اطلاق می شود. ماسه ها از نظر سنگ شناسی عمدتاً از ذرات کانی، آن هم کانیهای سخت و مقاوم، مانند کوارتز و گاه فلدسپات، درست شده اند.

۱-۳- ساختار خاکهای غیر چسبنده

دو نوع ساختار مهم در خاکهای غیر چسبنده وجود دارد: الف - ساختار تک دانه ای ب - ساختار لانه زنبوری. در ساختار تک دانه ای، در توده ذرات در حال تعادل، هر ذره خاک در تماس با ذرات احاطه

کننده خود می باشد. شکل و دانه بندی ذرات خاک و وضعیت نسبی آنها، در تراکم و در نتیجه در تخلخل خاک موثر می باشند. برای داشتن ایده ای از تغییرات نسبت تخلخل به علت وضعیت نسبی ذرات خاک، نحوه قرارگیری گوی های هم اندازه به عنوان مدل استفاده می شود. خاکهای حقیقی از این نقطه نظر که ذرات آنها نه کروی و نه هم اندازه هستند، با مدل مورد مطالعه تفاوت دارند. در خاکهایی حقیقی، ذرات ریزتر در حفرات موجود بین ذرات بزرگتر جاگرفته و در مقایسه با مدل گوی های هم اندازه، باعث کاهش نسبت تخلخل می شوند. لیکن نامنظمی در شکل ذرات معمولاً تمایل به نمایش افزایشی در نسبت تخلخل دارد.

در ساختار لانه زنبوری، ذرات ماسه و لای نسبتاً ریزدانه با تشکیل زنجیره ای از ذرات، تشکیل قوسهای کوچکی می دهند. خاکهایی که ساختار آنها لانه زنبوری است، دارای نسبت تخلخل نسبتاً بزرگ هستند و تحت بارهای استاتیک معمولی می توانند ساختار خود را حفظ کنند. لیکن تحت بارهای استاتیک سنگین و یا بارهای دینامیکی، ساختار آنها شکسته شده و به علت کاهش زیاد تخلخل، نشست قابل توجهی در خاک به وجود می آید.

۱-۴- عوامل موثر بر مقاومت خاک های درشت دانه

در مصالح درشت دانه و سنگریزه ای دو پدیده موجب کاهش مقاومت و ایجاد تغییر شکل های بزرگ و غیر قابل بازگشت می شود : ۱- لغزش بین ذرات که به مولفه های نیروهای تماسی بستگی دارد و ۲- شکست ذرات در ناحیه تماس که به شدت نیروهای تماسی بین ذرات بستگی دارد. افزودن آب به مصالح درشت دانه بسته به نوع مصالح و شدت بارگذاری می تواند بر روی هر دو پدیده تاثیر گذار باشد. وجود آب موجب گسترش درز و ترک های مویین و کاهش مقاومت ذرات و در نتیجه شکست ذرات شده و متعاقب آن شاهد کرنشی محسوس در کل مجموعه و کاهش مقاومت آن هستیم. همچنین آب با ایجاد لزجت

سبب تسهیل لغزش و در نتیجه تغییر در ترتیب قرار گیری ذرات شده و کاهش مقاومت و افزایش تغییر شکل را در پی دارد.

پارامتر های متفاوتی بر روی این نوع مصالح موثر می باشد از جمله : ۱- سطح تنش ، ۲- تخلخل و دانه بندی ، ۳- مقدار ریزدانه ، ۴- رطوبت ، ۵- حداکثر اندازه ذرات ، ۶- جنس ذرات ، ۷- نوع آزمایش ، ۸- شکل مصالح و ۹- شکست ذرات که تاثیر هر کدام به اختصار شرح داده می شود.

۱-۴-۱- سطح تنش

آنچه که ما در معیار شکست موهر-کولمب انتظار داریم ، پوش موهر به صورت خطی از مبدا مختصات بگذرد ولی در بررسی های صورت گرفته مشخص شده است که رفتار این مصالح به دلیل شکست ذرات آن دارای انحنا می باشد.(Marsal , 1973) همچنین در این مصالح با افزایش سطح تنش ، نرخ اتساع کاهش (Indraratna 1998,Gharavy 1996) ، نرخ خزش و نشست اولیه افزایش (آقامجیدی ۱۳۸۳) و کرنش حجمی با نرخ کاهنده ای افزایش می یابد.(Indraratna,1998)

با افزایش تنش همه جانبه در این روند ، به دلیل پدید قفل شدگی^۱ ، زاویه اصطکاک و تراکم پذیری کاهش یافته و به دلیل اینکه در تنش های بالا تراکم پذیری خاک همان تراکم پذیری ذرات جامد خاک می باشد ، تخلخل نیز کاهش می یابد.(Marsal , 1973)

در نتیجه به طور خلاصه می توان بیان کرد که : مصالح متراکم در سطوح تنش کم دچار اتساع و در سطوح تنش زیاد دچار انقباض می شوند.همچنین با افزایش سطح تنش شاهد کاهش زاویه اصطکاک داخلی ، افزایش کرنش حجمی و کرنش محوری در لحظه گسیختگی ، افزایش نرخ خزش و نشست اولیه و در نهایت کاهش همه جانبه تراکم پذیری هستیم.

¹ interlocking

۱-۴-۲- تخلخل

پارامتر تخلخل خود وابسته به عواملی از قبیل دانه بندی ، شکل ذرات و تراکم می باشد. مصالح متراکم و یا خوب دانه بندی شده در تنش همه جانبه مشخص ، زاویه اصطکاک بزرگتری دارند. (Marsal,1973)

افزایش تخلخل سبب افزایش تراکم پذیری ، بیشترین اتساع و مقاومت نهایی در نمونه های متراکم تر می شود. (Rassoni,1982)

افزایش تخلخل اولیه در یک سطح تنش یکسان سبب افزایش کرنش های قائم می شود. تحکیم مصالح در حالت دانه بندی گسترده با نشست کنترل می گردد در حالی که در دانه بندی یکنواخت اثرات شکست ذرات بسیار زیاد بوده و شکل منحنی نشست را دستخوش اغتشاش می کند. در حالتی که تمامی شرایط یکسان باشند ، با افزایش تخلخل اولیه میزان شکست دانه ها افزایش می یابد و این شکست دانه ها در تنش های بالا تشدید می شود و مصالح تیز گوشه تر به وضوح مشخص می شود. (Fumagalli,1969)

مصالح خوب دانه بندی شده دارای تراکم پذیری کمتر (Lee,1967) و زاویه اصطکاک این مصالح حدود ۴ درجه بزرگتر از مصالح یکنواخت می باشد. (Marsal,1973) همچنین در این مصالح شاهد تخلخل ، شکست ذرات و انحنای کمتر پوش موهر هستیم. (Zeller,1957)

در مقادیر کم تنش نرمال در آزمون برش مستقیم ، تخلخل تاثیر زیادی در مقاومت برشی دارد اما در تنش های نرمال بالاتر ، تفاوت در مقاومت برشی به دلیل تخلخل اولیه ، کمتر مشهود است. (Anagnosti,1982)

آزمایش اودنومتر نشان می دهد که نوع دانه بندی بر رفتار خزشی مصالح موثر است و با افزایش ریز دانه ، فضای خالی پر شده و نشست کاهش می یابد. در دانه بندی یکنواخت نشست اولیه نمونه و نرخ خزش

افزایش قابل ملاحظه ای نسبت به آزمایش مشابه روی مصالح خوب دانه بندی شده دارد.
(آقا مجیدی، ۱۳۸۳)

۱-۴-۳- مقدار ریزدانه

در مصالح دارای ریزدانه بیشتر ، نسبت تنش اصلی بزرگتر (تفاضل تنش های اصلی کوچکتر) بیشتر می باشد. همچنین این مصالح به علت داشتن تخلخل نسبی کمتر ، نرخ اتساع بزرگتری دارند
(Indraratna,1989)

تا هنگامی که وجود مصالح ریز دانه موجب کاهش تخلخل مصالح شود ، مقاومت برشی افزایش می یابد اما وقتی که افزایش درصد ریزدانه موجب کاهش تماس بین ذرات درشت دانه گردد ، مقاومت برشی کاهش می یابد. (Marsal,1976)

۱-۴-۴- حداکثر اندازه ذرات

در مورد حد اکثر اندازه ذرات ، نتایج بدست آمده از محققین مختلف بسیار متفاوت می باشند به طوریکه Fumagalli,1969 و Frossard,2007 بیان کردند که با افزایش اندازه ذرات ، مقاومت کاهش می یابد در حالیکه Marsal,1973 ، Holtz,1956 ، Barton,1981 و Marachi,1972 معتقد بودند که مقاومت نیز با افزایش اندازه ذرات ، افزایش می یابد ولی Charles,1980 و Lowe,1964 بر بی تاثیری این عامل بر میزان مقاومت تاکید کردند.

اثر این پارامتر بستگی به شکل ذرات دارد. اثر افزایش درهم فرو رفتگی سبب افزایش مقاومت برشی و شکست ذرات موجب کاهش مقاومت می شود. در مصالح گرد گوشه نرخ افزایش فاکتور شکست با افزایش اندازه ذرات کم است پس در این مصالح اثر غالب ، افزایش مقاومت برشی می باشد در حالیکه در مصالح

تیزگوشه نرخ افزایش شکست با افزایش اندازه ذرات بیشتر می شود بنابراین اثر غالب کاهش مقاومت برشی است. (Varadarajan, 2003)

۱-۴-۵- رطوبت

در رابطه با تاثیر این عامل بر روی خاک دارای مصالح درشت دانه می توان بیان کرد که پارامترهای مقاومتی و مدول تغییر شکل در اثر انبساط کاهش می یابند. (Alonso 2003 , Noban 1972 , Soroush 2005 , Soroush 2006) همچنین در مصالح دارای سنگریزه و دانه های درشت ، اشباع مصالح سنگی سبب تضعیف آن و کاهش مقاومت برشی می شود. (Terzaghi 1960 , Marsal 1967) لزجت ایجاد شده در اثر وجود آب در بین ذرات مصالح سبب کاهش مقاومت می شود. (Farmer 1973 , Touileb 2000) در این مصالح شیب پوش خطی دواير موهر در مصالح خشک ۱ تا ۲ درجه بیشتر از مصالح مرطوب می باشد. (Fumagalli, 1969)

افزایش تنش و تغییر حالت آزمایش از خشک به غرقاب سبب افزایش شکست ذرات می شود. همچنین در هر تنش مشخص مقدار نشست آبی و نرخ خزش به ترتیب حالت خشک ، مرطوب و غرقاب افزایش می یابد. یعنی مقدار نشست آبی و نرخ خزش در حالت غرقاب بیشترین مقدار است که می تواند به علت وجود آب ، باعث سرخوردن سنگدانه ها و شکست ذرات شده و نشست را افزایش دهد.

۱-۴-۶- جنس ذرات

مقاوم ترین مصالح از حیث جنس ، بیشترین تفاضل گسیختگی و بیشترین کاهش در تنش تفاضلی پس از گسیختگی را دارد. مقاوم ترین مصالح دارای بیشترین و ضعیف ترین مصالح دارای کمترین نرخ اتساع هستند. (Charles , 1980) همچنین نمونه های دارای دانه های مقاوم تر بیشترین مقاومت برشی را دارند. (Anagnosti , 1982)

۱-۴-۷- نوع آزمایش

زاویه اصطکاک داخلی در آزمایش برش مستقیم ۳ الی ۴ درجه از آزمایش سه محوری بزرگتر می باشد. (ریحانی، ۱۳۷۹) و آزمایش کرنش مسطح نیز زاویه اصطکاک بزرگتری نسبت به آزمایش سه محوری دارد. (Barton, 1981)

زاویه در کرنش مسطح ۸ درجه بزرگتر از سه محوری و تغییرات حجمی نیز در این حالت بزرگتر از حالت سه محوری می باشد. همچنین نسبت تنش اصلی در سه محوری کمتر از کرنش مسطح است. (Marsal, 1973)

با توجه به اینکه شرایط اعمال تنش در عمل به شرایط کرنش مسطح نسبت به سه محوری نزدیکتر است و کرنش مسطح و برش مستقیم هر دو زاویه اصطکاک داخلی بزرگتری نسبت به سه محوری دارند لذا می توان نتیجه گرفت که در عمل استفاده از زاویه اصطکاک به دست آمده از آزمایش برش مستقیم می تواند نتایج واقع بینانه تری به دنبال داشته باشد.

۱-۴-۸- ضریب شکل

نسبت حجم تعداد مشخصی از دانه ها به مجموع حجم کره های احاطه کننده آنها را ضریب شکل تعریف می کنند. در مصالح شکسته ، با افزایش ضریب شکل مقدار تخلخل اولیه کاهش می یابد. (Fumagalli, 2000)

افزایش ضریب شکل را در مصالح با ذرات سنگریزه ای گردتر شاهد هستیم که سبب کاهش کرنش در یک سطح تنش مشخص می شود به عبارت دیگر با افزایش ضریب شکل ، میزان تراکم پذیری کاهش می یابد.

کرش محوری در لحظه گسیختگی برای مصالح گرد گوشه بزرگتر از مصالح تیز گوشه است و مصالح گرد گوشه دارای رفتار انقباضی هستند درحالیکه مصالح تیز گوشه دچار اتساع می شوند. (Varadarajan, 2003) همچنین گسیختگی مصالح تیز گوشه نسبت به گرد گوشه در تغییر شکل های بزرگتر رخ می دهد. (توفیقی ریحانی ، ۱۳۷۹)

با افزایش تنش همه جانبه ، تغییر شکل های لحظه گسیختگی در مصالح رودخانه ای و سنگریزه ای افزایش می یابد اما نرخ افزایش تغییر شکل برای مصالح سنگریزه ای بیشتر از مصالح رودخانه ای است. (صادقپور ، ۱۳۸۲)

تغییر جنس سنگدانه و سختی آنها در یک توده تیز گوشه ، نسبت به یک توده گرد گوشه تاثیر بیشتری روی تغییر شکل پذیری توده در برابر بارهای وارده دارد. زیرا تغییر شکل پذیری مصالح تیز گوشه مستقیماً توسط شکست ذرات کنترل می گردد. در شرایط یکسان ، ظرفیت باربری در توده تیز گوشه مستقیماً به مقاومت و سختی سنگدانه های آن بستگی دارد درحالیکه برای توده مصالح گرد گوشه مقاومت سنگدانه ها در ظرفیت باربری کل توده چندان دخیل نبوده و تنها اثر دانه بندی و شکل دانه هاست که رفتار این مصالح را تعیین می کند. (توفیق ریحانی ، ۱۳۷۹)

افزایش اندازه ذرات و تنش همه جانبه در هر دو مصالح فاکتور شکست را افزایش می دهد. همچنین زاویه اصطکاک مصالح رودخانه ای با افزایش اندازه ذرات مصالح افزایش می یابد درحالیکه در مورد مصالح سنگریزه ای عکس آن صادق است.

این زاویه در ذرات تیز گوشه در تنش همه جانبه کم بیشتر از گرد گوشه می باشد البته این نکته حائز اهمیت می باشد که افزایش تنش همه جانبه در کلیه مصالح گرد گوشه و تیز گوشه سبب کاهش زاویه اصطکاک داخلی می شود.

۱-۴-۹- شکست ذرات

خصوصیاتی از قبیل رفتار تنش-کرنش ، فشار آب حفره ای و تغییرات نفوذ پذیری در مصالح درشت دانه و سنگریزه ای تابعی از شکست ذرات آن می باشد که این امر به دلیل تغییر در سطح تنش ذرات رخ می دهد.

عوامل موثر بر شکست ذرات عبارتند از:

- ۱- سطح تنش و مسیر تنش که با افزایش این عامل ، شکست ذرات نیز بیشتر می شود.
- ۲- زمان که می توان گفت در یک سطح تنش ثابت که به اندازه کافی بزرگ باشد ، شکست ذرات با زمان ادامه می یابد اما نرخ آن کاهنده است.
- ۳- اندازه ذرات که هرچه اندازه ذرات بزرگتر باشد ، به دلیل وجود درز و ترک بیشتر ، شکست بیشتر می شود.
- ۴- شکل ذرات که در مصالح تیز گوشه تر به دلیل تمرکز تنش در نقاط تیز گوشه شاهد شکست بیشتر هستیم.
- ۵- دانه بندی مصالح که در مصالح خوب دانه بندی شده نسبت به مصالح یکنواخت به دلیل کمتر بودن تمرکز تنش ، شکست کمتری رخ می دهد.
- ۶- تراکم نسبی که افزایش این عامل سبب کاهش شکست ذرات می شود و علتش این می باشد که با افزایش تعداد ذرات ، متوسط تنش تماسی کاهش می یابد.
- ۷- سختی مصالح که هرچه مصالح سخت تر باشد ، شکست کمتر رخ می دهد.
- ۸- وجود آب که وارد شدن آن به توده مصالح سبب افزایش میزان شکست می شود.

۱-۵- تعریف آلودگی خاک

ساده ترین تعریف آلودگ خاک عبارت است از

“pollution is environmental degradation”

که به طور بسیار مختصر و جدید ارائه شده و درعین اختصار کل مفهوم آلودگی زیست محیطی و ظهور نگرشی جدید به مفاهیم زیست محیطی را در بردارد. این تعریف از آلودگی به این صورت است که Degradation در لغت از ریشه grade (درجه) و به معنای تنزل درجه است. بر این اساس می توان بیان کرد ، در تنزل درجه محیط و برای تنزل درجه هیچ قیدی نیز بیان نشده است. بنابراین می توان گفت که مشخص نکرده است نوع تنزل درجه از لحاظ اقتصادی و زیستی و مهندسی به معنی محدود نکردن تعریف در یک چهارچوب خاص صورت گرفته است. (Miller 1998) در سطح وسیع تر هرگونه تغییری که عمدتاً تحت تاثیر فعالیت های انسانی در ویژگی های اجزا متشکله محیط زیست و از جمله خاک رخ داده به طوری که استفاده و کاربرد پیشین از محیط مقدور نشده و مستقیم و غیرمستقیم منافع بشر و حیات موجودات را به مخاطره اندازد ، آلودگی نام دارد.

مواد نفتی و مشتقات آنها در اثر حمل و نقل یا ذخیره سازی ممکن است موجب آلودگی خاک شود . هرقدر مواد نفتی به عمق بیشتری از خاک نفوذ کنند رفع آن آلودگی مشکل تر خواهد بود . آلودگی های نفتی یک پیامد اجتناب ناپذیر از افزایش سریع جمعیت و فرایند صنعتی شدن است که به دنبال آن آلودگی خاک توسط مواد هیدروکربنه نفتی به شکل وسیع در اطراف تاسیسات اکتشاف و پالایش و به شکل موضعی در مسیرهای انتقال این مواد قابل مشاهده است. برخی از باکتری ها و میکرو ارگانیسم ها در خاک می توانند موجب تجزیه مواد نفتی شوند که در بخش زدودن آلودگی به روش بیولوژیکی مورد بحث قرار می گیرند . هرچقدر مواد نفتی به عمق بیشتری از خاک نفوذ کند، رفع آلودگی آن مشکل تر و

هزینه آن چندین برابر خواهد بود. اگرچه روش‌های مختلفی جهت پالایش و بازیابی^۱ خاک‌های آلوده موجود است، اما لزوم برخورداری از دانش رفتار ژئوتکنیکی این نوع خاک‌ها به سبب وجود مناطق نفت خیز کشور و استفاده از خاک‌های سهواً آلوده در مواردی که این تغییرات می‌تواند مطلوب واقع شود امری ضروری است، زیرا با توجه به گستردگی خاک‌های آلوده مثل خاک‌های اطراف پالایشگاه‌ها امکان پالایش یا جایگزینی خاک مقرون به صرفه نمی‌باشد.

وزن مخصوص و درصد رطوبت بهینه، مقاومت فشاری خاک، چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک، ضریب نفوذپذیری، ظرفیت باربری و غیره از جمله مشخصات مهم و موثر خاک در طراحی سازه‌های مرتبط با خاک می‌باشند که در اثر آلوده شدن با مواد نفتی تغییر قابل ملاحظه‌ای عمدتاً به صورت کاهش دارند که می‌توانند طراحی را دچار اشکال و سازه مرتبط با خاک را دچار خسارات غیر قابل پیش‌بینی کنند. به منظور بررسی و برآورد تغییرات مذکور لازم است نمونه‌گیری‌ها و آزمایشات دقیقی در سایت آلوده و آزمایشگاه انجام شود که به کمک این مطالعات میدانی و آزمایشگاهی می‌توان روش مناسب رفع آلودگی از خاک را به دست آورد و قطعاً تعیین نوع و میزان ماده مناسب به منظور رفع آلودگی از خاک به کمک مطالعات مذکور امکان‌پذیر خواهد بود.

¹ remediation

۱-۵-۱-آلاینده های خاک

در حالت کلی آلاینده های خاک را می توان به این صورت طبقه بندی کرد:

۱- ترکیبات آلی فرار ، ۲- ترکیبات آلی نیمه فرار ، ۳- ترکیبات سوختی ، ۴- ترکیبات معدنی و ۵- مواد منفجره و....

از جمله آلاینده های مهمی که در خاک وجود دارند آلاینده های نفتی می باشند. آلودگی خاک به این ترکیبات خطرناک زیست محیطی جدی را دنبال خواهد داشت. از مراکز آن می توان به پالایشگاه ها ، پمپ بنزین ، مراکز استخراج نفت و ... اشاره کرد.

۱-۵-۲- برهمکنش آلاینده های نفتی با خاک

سرنوشت آلاینده های نفتی و محصولات سوخت و ساز میکروبی در محیط خاک شامل: تبخیر شدن به هوا ، تجزیه زیستی ، جذب سطح ذرات خاک ، انتقال به آب های زیر زمینی ، مبادله با عامل هیدروکسیل و سایر گروه های خاک رسی ، واکنش با اجزا آلی خاک مانند اسید هیومیک ، واکنش با محلول های آلی خاک و تشکیل رسوب و نامحلول شدن مشتقات آلاینده می باشند. (Boethling and Alexander 1979, Brusseau 1991) باقی ماندن و پایداری آلاینده ها نفتی در خاک در دو مرحله صورت میگیرد. مرحله اول کوتاه است و به سرعت خاتمه می یابد و مرحله دوم طولانی است و به کندی از بین می رود. (Brusseau 1991)

مکانیزم انتقال آلاینده های نفتی در خاک بدین صورت است که هیدروکربن های نفتی پس از ورود به خاک ، برای جایگزین شدن در حفره های خاک ، با آب و هوا رقابت می کنند. در ناحیه غیر اشباع خاک انتقال و مهاجرت آلاینده ها به لایه های زیرین بر اساس جذب سطحی ، نفوذ و نیروی گرانش صورت می

پذیرد. پس از ناحیه غیر اشباع ، ناحیه مویینه قرار دارد که در این ناحیه آب در فضای بین ذرات خاک به واسطه خاصیت مویینگی به سمت بالا حرکت می کند و در نتیجه درجه اشباع در نواحی بالاتر افزایش می یابد. ناحیه بعدی ناحیه نوسانی نام دارد. در این ناحیه سطح آب مرز ساکن ندارد اما به صورت دوره ای نوسان می کند. در اثر نوسان آب و حرکت عمودی آن ، توده هیدروکربن های موجود در فضای حفره های خاک یا هیدروکربن های جذب شده بر روی سطح ذرات خاک ، جدا می شوند و وارد آب می گردند و به این ترتیب آلاینده ها از خاک به آب های زیر زمینی منتقل می شوند. (Lee 2001)

۱-۵-۳- آزمایشات

عمده خواص مهندسی خاک که در ارتباط با مسائل آلودگی می باشند به دو گروه اصلی تقسیم می شوند :

۱ - خواصی که مربوط به فرآیند های انتقال آلودگی می باشند و عبارتند از نفوذ پذیری ، تخلخل ، دانسیته ، ساختمان خاک ، درجه اشباع و

۲ - خواصی که مقاومت و تراکم پذیری خاک را بیان می کند. یعنی ویژگی های فیزیکی و مکانیکی که مربوط به پایداری و استحکام خاک می باشد که در احداث خاکریز ها و حصارهای مهندسی کاربرد فراوانی دارند. (Das 2008)

۱-۶- مقاومت برشی

در بسیاری از مسائل مکانیک خاک، مقاومت برشی خاک، به عنوان یکی از مهم ترین خصوصیات ظاهر می شود. در واقع این گروه مشکلات شامل:

۱- پایداری شیب ها (به عنوان مثال: دامنه تپه ها، بریدگی ها، خاکریزها و سدهای خاکی)

۲- ظرفیت باربری نهایی یک خاک

۳- فشار افقی در برابر دیوارهای حائل، سپرها یا مهاربندها

۴- اصطکاک ایجاد شده توسط شمع ها

تعداد زیادی از مسائل ساختمانی در ارتباط با مقاومت برشی خاک هستند. مقاومت برشی خاک می تواند به دلیل یکی از عوامل زیر باشد:

۱- مقاومت اصطکاکی در اثر لغزش بین ذرات جامد

۲- نیروی چسبندگی بین ذرات خاک

۳- درهم قفل شدگی و یکپارچه شدگی ذرات جامد در برابر دگرشکلی

تعیین تاثیر هر یک از عوامل بر مقاومت برشی خاک، کار ساده ای نیست و در عمل امکان پذیر نمی باشد. این مشکل زمانی آشکارتر می گردد که متغیرهایی را که به طور مستقیم و غیرمستقیم بر این عوامل اثر می کنند، نیز در نظر گرفت، همچنین باید توجه داشت که اغلب خاک ها، غیر یکنواخت و ناهمگن می باشند. به عنوان مثال، تغییر درصد رطوبت و فشارهای منفذی، بهم ریختگی ساختاری، نوسانات در سطح آب های زیرزمینی، حرکت آب زیرزمینی، تاریخچه تنش، زمان و حتی واکنش های شیمیایی یا شرایط محیطی، این عوامل را تحت تاثیر قرار می دهند.

آزمایشات صحرایی و آزمایشگاهی مختلفی را می توان برای بدست آوردن مقاومت برشی یک خاک معین بکار برد که اغلب با بررسی های تئوری همراه هستند. ترکیبی از کارهای تئوری و آزمایشگاهی، زمینه و ابزاری مناسب جهت بحث کردن درباره اغلب پدیده های مرتبط با مقاومت برشی خاک ها و درک صحیح آن ها فراهم می آورند.

۱-۶-۱- تئوری شکست مور

مقاومت در برابر تغییر شکل که تحت تاثیر جابجایی برشی ممتد ذرات خاک در امتداد سطح گسیختگی ایجاد می شود، به عنوان مقاومت برشی خاک تعریف می شود. از مقاومت برشی خاک منحصرأ به عنوان توانایی خاک در مقابل تنش های ماکزیمم تعبیر نمی شود، لیکن در بررسی روز دگرشکلی که ممکن است روند آن را کنترل کرده باشد، باید مورد توجه قرار گیرد. در اینجا روشن است که گسیختگی برشی لزوماً به عنوان حالتی از دگرشکلی تلقی می گردد، هنگامی که عملکرد تابعی توده خاک تضعیف شده باشد.

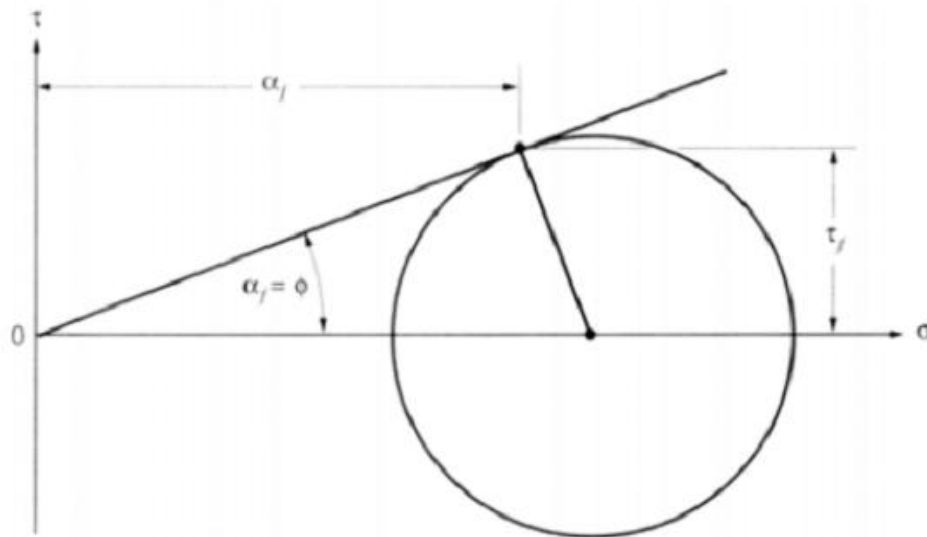
تئوری های مختلفی از تئوری ها بر اساس طبیعت و بسط دادن شرایط تنش و کرنش در لحظه گسیختگی، ارائه شده است.

گسیختگی یک توده خاک، به خصوص خاک غیرچسبنده، که مقاومت آن اساساً ناشی از مقاومت اصطکاکی ذرات جامد در بین دانه های درهم قفل شده می باشد، به نظر می رسد به بهترین حالت توسط تئوری گسیختگی مور توضیح داده شده است. بر اساس تئوری مور، تنش برشی در صفحه لغزش به حد ماکزیمم خود می رسد که به تنش نرمال عمل کننده بر همان سطوح و خواص مواد بستگی دارد. این بیانگر ترکیب تنش های برشی و نرمال است که در زاویه ماکزیمم از شیب صفحه α_f نتیجه می شود.

بنابراین، بر اساس تئوری مور، مقاومت برشی یک خاک معین تابعی از تنش نرمال و خواص خاک (به عنوان مثال پارامترهای مقاومتی c و ϕ) می باشد. برای مثال مطابق شکل ۱ در خاک های غیرچسبنده، زاویه شیب به مقدار ماکزیمم یا حدی α_f که برابر با زاویه اصطکاک ϕ می باشد، می رسد. بنابراین برای این مورد خاص، که در آن مقدار چسبندگی صفر است ($c = 0$). مقاومت برشی می تواند به صورت زیر بیان شود:

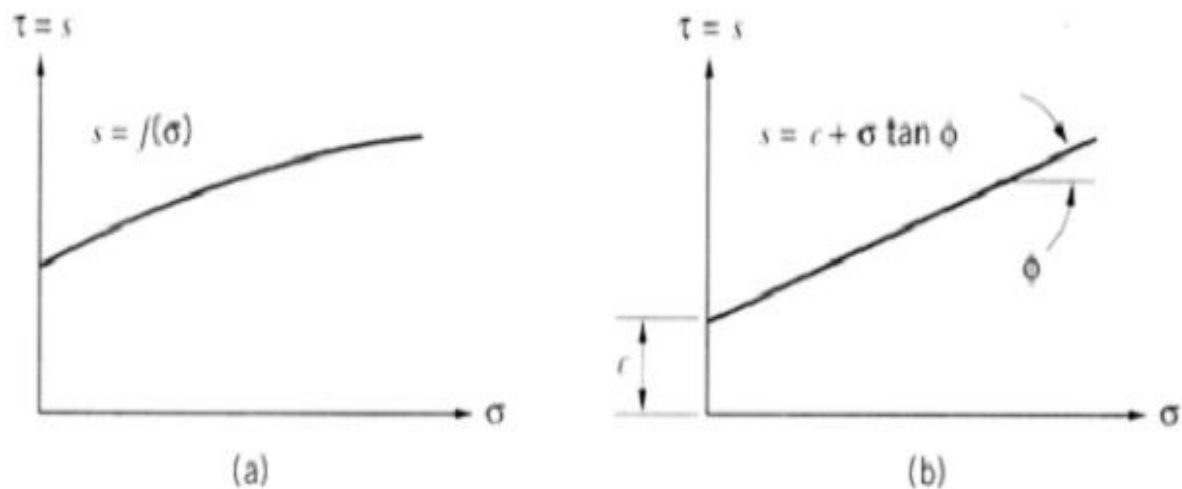
$$S = \tau_f = \sigma_f \tan \varphi$$

که در آن S نشان دهنده مقاومت برشی که به طور گسترده در خاک ها به کار می رود. توجه کنید که برای $\alpha_f > 0$ ، مقدار S همیشه کمتر از τ_{max} است.



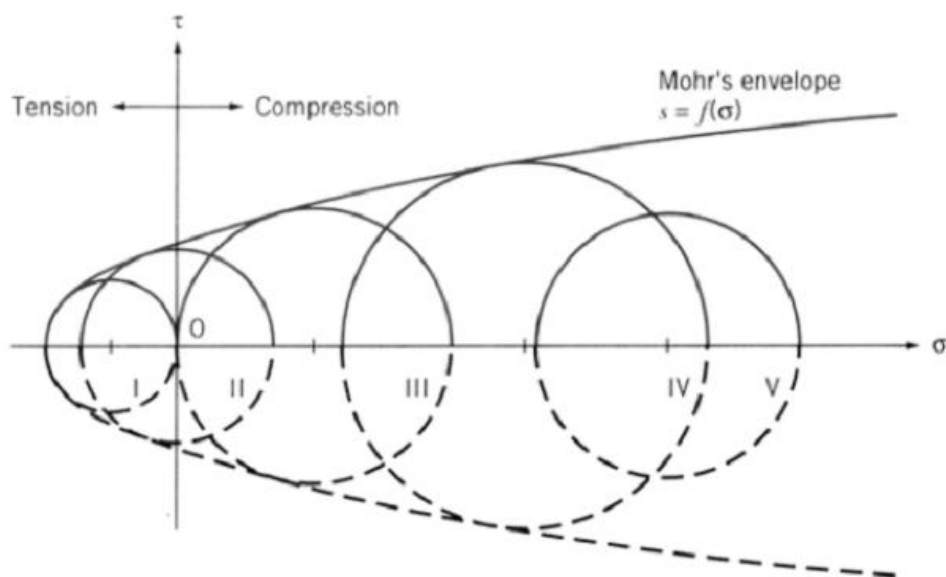
شکل ۱-۱- رابطه بین تنش برشی، تنش نرمال و زاویه α

شکل ۲-۱- رابطه کلی $S - \sigma$ را نشان می دهد در حالی که شکل ۲-۲ یک رابطه خطی را برای $S - \sigma$ نشان می دهد. این خطی بودن ممکن است کاملاً صحیح نباشد، لیکن از لحاظ منطقی صحیح بوده ولی از نظر ریاضیاتی کاملاً مناسب است.



شکل ۱-۲- مقاومت برشی بر حسب (a) موهر و (b) کولمب

اکنون فرض کنید که تابع $S = f(\sigma)$ بیانگر مقاومت برشی خاک در آستانه گسیختگی است. این می تواند توسط خطی که در شکل ۳ نشان داده شده، به عنوان پوش مور مطرح گردد. بر اساس تئوری مور، هر ترکیبی از تنش ها که درون این پوش قرار گیرند بیانگر شرایط پایدار است. همه پنج دایره مور نشان داده شده در شکل ۳ در این مقوله قرار می گیرند. توجه داشته باشید که دواير $I - IV$ بر پوش مور مماس هستند، بنابراین نشانگر شرایط آستانه گسیختگی می باشند. نقاط متناظر با تماس بیانگر برآیند تنش های نرمال و برشی برای زوایای شیب مورد نظر هستند. همچنین، مقاومت های برشی متناظر برای حالت های گوناگون، تنش های برشی در نقاط تماس هستند. از طرف دیگر دایره V به خوبی درون پوش مور قرار گرفته است. تنش برشی ماکزیمم برای این شرایط کم تر از مقاومت برشی خاک است.



شکل ۱-۳- دوائر موهر برای نمونه های مختلف تحت تنش ، کشش ، برش و تراکم

زاویه اصطکاک در اغلب خاک ها به خصوص در خاک دانه ای همراه با افزایش تنش های محدودکننده کاهش پیدا می کند. بنابراین پوش مور اندکی خمیده می شود بهترین منحنی سازگار در شکل ۳ نشان داده شده است. هر چند که، تغییر از یک خط مستقیم در اغلب موارد ناچیز است. بنابراین از نظر ریاضیاتی مناسب است که پوش مور توسط یک خط مستقیم با شیب φ نمایش داده شود. این مورد در شکل ۴-b نشان داده شده است، همانطوری که کولمب در سال ۱۷۷۶ برای اولین بار در ارتباط با مطالعاتش بر روی دیوارهای حائل آن را پیشنهاد کرده است.

شکل ۴-c یک دایره مور و پوش مقاومتی متناظر را، برای المانی که در شکل ۴-a تحت تنش قرار گرفته نشان می دهد. برای این حالت معادله مقاومت برشی، S ، می تواند به این صورت باشد: $S = c + \sigma \tan \varphi$

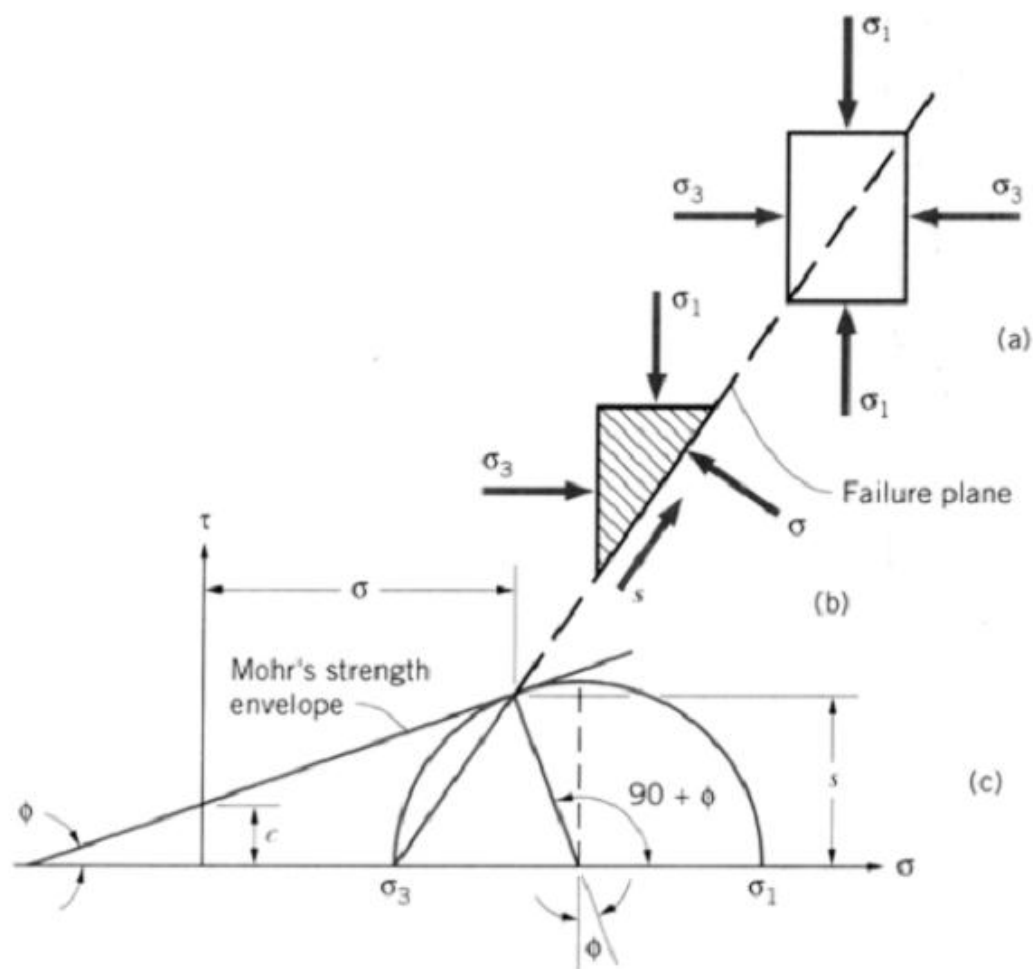
که در آن c = چسبندگی، φ = زاویه اصطکاک واقعی

همچنین از شکل ۴-۱، با توجه به صفحه تنش های اصلی بزرگ تر در یک خاک دانه ای، جهت صفحه گسیختگی را به آسانی به صورت زیر تعیین نمود:

$$2\theta_{cr} = 90 + \varphi$$

$$\theta_{cr} = 45^\circ + \varphi/2$$

تنش های نرمال و برشی بر روی صفحه گسیختگی در شکل ۴-۱ نشان داده شده اند.



شکل ۴-۱ (a) همان $\sigma_1 > \sigma_3$ ، (b) تنش نرمال و برشی در صفحه شکست، (c) دایره موهر برای نشان دادن وضعیت تنش در a

فشار آب منفذی به عنوان یک فاکتور مهم در ارزیابی مقاومت برشی تشخیص داده شده است، هر چند اندازه گیری آن به طور صحیح مشکل است. اطلاعات مورد نیاز بدست آمده از کار هورسلف استفاده از پارامترهای تنش موثر را در توصیف مقاومت برشی خاک، تایید می کند. گاهی اوقات این معادله به عنوان معیار مور-کولمب-هورسلف در نظر گرفته می شود، این رابطه عبارتست از:

$$S = \bar{c} + \bar{\sigma} \tan \bar{\varphi}$$

که در آن

مقدار چسبندگی موثر $\bar{c}$ فشار آب منفذی u

تنش عمودی موثر $\bar{\sigma} = \sigma - u$ زاویه اصطکاک داخلی موثر $\bar{\varphi}$

هر چند معادله ۱۰-۱۰ که یک رابطه مشخص بین تنش موثر و مقاومت برشی ایجاد می کند، ولیکن چندان گویا نیست، بسیاری از عوامل در این زمینه دخیل هستند، برای مثال: نسبت منافذ در گسیختگی، زمان، تاریخچه تنش، ساختار دانه ای (به عنوان مثال فلوکوله بودن یا پراکنده بودن)، شرایط محیطی (مثلاً، آب منفذی تغییرات سطح آب زیرزمینی، دما) درجه اشباع، شرایطی که تشکیلات خاک را فرموله می کنند، کشش مویینگی و تنش های موثر در جهت عمود بر صفحه دارای بزرگترین اختلاف تنش برشی، برخی از فاکتورهایی هستند که ممکن است تاثیر قابل ملاحظه ای به خصوص در مورد خاک های رسی داشته باشند.

۱-۶-۲- تعیین مقاومت برشی خاک ها

همان طور که مشاهده کردید ، مقاومت براساس تئوری موهر -کولمب، توصیف شد، ولیکن نکات عملی و آزمایشگاهی نیز حائز اهمیت اند. با وجود اینکه اظهار نظر تئوری، ابزاری قانع کننده برای تعریف

گسیختگی در خاک می باشد، ولی فایده و اعتبار آن ها زمانی است که به پارامترهای تجربی و مشاهدات صحرایی نسبت داده شود، در واقع وجود پوش های مور مختلف، داده های تجربی هستند که برای طراحی به کار می روند. معیار گسیختگی برای خاک ها بعد از بررسی سایر پارامترهای وابسته، معمولاً به طور تجربی توسط یک یا ترکیبی از آزمون های آزمایشگاهی زیر انجام می گیرد:

۱- آزمون برش مستقیم

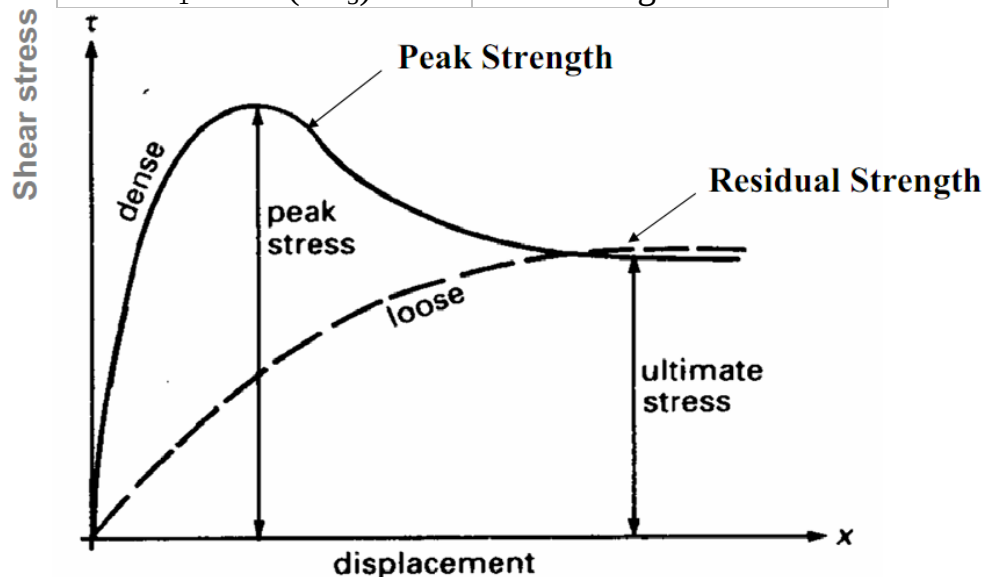
۲- آزمایش تراکمی سه محوری

۳- آزمایش تراکمی محصور نشده (تک محوری)

البته یکی از نکات مهم و قابل ذکر ، عدم الزام استفاده همیشگی از این معیار برای حالات گسیختگی خاک های متفاوت می باشد زیرا به عنوان مثال در خاک هایی که قسمت اعظم آن دارای مقادیر شن و سنگریزه است نمودار تنش برشی - تنش نرمال عموماً به صورت غیر خطی و منحنی وار می باشد ، لذا استفاده از معیار گسیختگی موهر - کولمب که به صورت خطی بوده ، سبب ایجاد خطای محسوسی در پارامتر های مورد نظر خاک می شود. پس لازم دیده شد که بعضی از معیار های دیگری را که محققین مختلف پیشنهاد نموده اند ، به طور خلاصه در جدول زیر بیاوریم.

جدول ۱-۱- روابط گسیختگی ارائه شده توسط محققین مختلف

رابطه	مرجع
$\tau = A \sigma_n^b$	Demello 1977 Charles and watts 1980
$\tau = A \left(\frac{\sigma n}{\sigma_c} \right)^B$	Sarac and popovic 1985
$\varphi' = \varphi_0 - J \log \left(\frac{\sigma n}{\sigma_c} \right)$	Gonzalez 1985
$\sigma_1' = \sigma_3' + \left(\frac{m \sigma_3'}{\sigma_c} \right)^a \sigma_c$	Doruk 1991
$\varphi' = \varphi_c' + C_1 \log \left(\frac{\sigma_3'^2}{\sigma_3'} \right)$	Charles 1991
$\left(\frac{\sigma_1'}{\sigma_c} \right) = \alpha \left(\frac{\sigma_3'}{\sigma_c} \right)^\beta$	Indraratna et al 1993 Indraratna 1994
$\left(\frac{\tau}{\sigma_c} \right) = a \left(\frac{\sigma n}{\sigma_c} \right)^b$	Indraratna et al 1993 Indraratna 1994
$\varphi' = \varphi_0' - B \log \left(\frac{\sigma_3' n}{Pa} \right)$	Gharavy 1996
$\left(\frac{\sigma_1'}{\sigma_3'} \right) = a \left(\sigma_3' \right)^b$	Indraratna et al 1998
$\left(\frac{\tau f}{\sigma_c} \right) = m \left(\frac{\sigma n}{\sigma_c} \right)^n$	Indraratna et al 1998
$\left(\frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{\sigma_3'} \right) = \beta \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_3'} \right)^\alpha$	Ramamurthy 2001
$\sigma_1' = RFI \left(\sigma_3' \right)^\alpha$	Pouglas 2002



شکل ۱-۵- مقاومت برشی نسبت به جابجایی افقی در انواع نمونه ها با دانسیته متفاوت

۱-۶-۳- عوامل موثر بر زاویه اصطکاک داخلی

۱ - اثر فشار همه جانبه : با توجه به پوش منحنی گسیختگی ، اثر فشار همه جانبه باعث کاهش زاویه اصطکاک داخلی می شود.

۲ - دانسیته نسبی : با توجه به ماهیت زاویه اصطکاک داخلی در خاک های دانه ای و اینکه قسمتی از مقاومت اصطکاکی به وسیله قفل و بست درشت دانه ها ایجاد می شود ، بدیهی است که افزایش تراکم باعث درهم رفتن ذرات درشت دانه می شود و در نهایت انرژی لازم را برای جابجا کردن آنها افزایش می دهد.

۳ - وجود ذرات ریز دانه و رطوبت : وجود ذرات رس در یک نمونه خاک دانه ای ، اصطکاک داخلی را کاهش می دهد ، زیرا ذرات رسی در بین دانه ها قرار گرفته و حرکت آنها را آسان می کند. ولی میزان این کاهش بستگی مستقیم به درصد ریز دانه دارد. برای خاک درشت دانه ، اصولاً تغییرات رطوبت عامل مهمی نیست ولی چون آب موجود عمل روغن کاری ذرات درشت دانه را انجام می دهد لذا مقاومت اصطکاکی خاک به مقدار جزئی کاهش خواهد یافت.

۴ - دانه بندی : از لحاظ دانه بندی ، هر قدر خاک خوب دانه بندی شده باشد ، به علت جفت و جور شدن بهتر دانه ها با هم مقاومت اصطکاکی زیادتر می شود و خاک های با دانه بندی بد و یکنواخت ، مقاومت کمتری ایجاد می کنند.

۵ - شکل و اندازه ذرات : در حالت کلی در شرایط کاملاً یکسان ، خاک هایی که دارای ذرات تیز گوشه هستند ، زاویه اصطکاک بیشتری نسبت به خاک های گرد گوشه دارند که این مسئله ناشی از زیاد بودن قفل و بست بین ذرات خاک است. اما این تفاوت تابع سطح تنش اعمال شده است. با افزایش سطح تنش ،

به علت خرد شدگی ذرات درشت دانه ، تاثیر ذرات تیز گوشه در افزایش مقاومت اصطکاکی کمتر می شود.

۶- اثر خرد شدگی ذرات : خرد شدگی ذرات ، رابطه مستقیم با سختی و مقاومت آنها دارد ، لذا هر قدر ذرات درشت دانه خاک ، مقاومت بالایی در مقابل خرد شدن داشته باشند ، مقاومت اصطکاکی نمونه خاک زیاد خواهد بود.مخصوصا برای فشار های بالا ، در اثر خرد شدگی ذرات ، کاهش زیاد روی زاویه اصطکاک داخلی دیده می شود و شیب منحنی پوش در تنش های بالا به علت شکستگی ذرات کاهش می یابد.

۷- سرعت بارگذاری : در آزمایش های فشاری در خاک های دانه ای ، چندان متاثر از سرعت بارگذاری نیست ولی با افزایش سرعت بارگذاری ، مقدار زاویه اصطکاک داخلی افزایش می یابد و مقدار این افزایش به دانه بندی و شکل ذرات درشت دانه بستگی خواهد داشت.

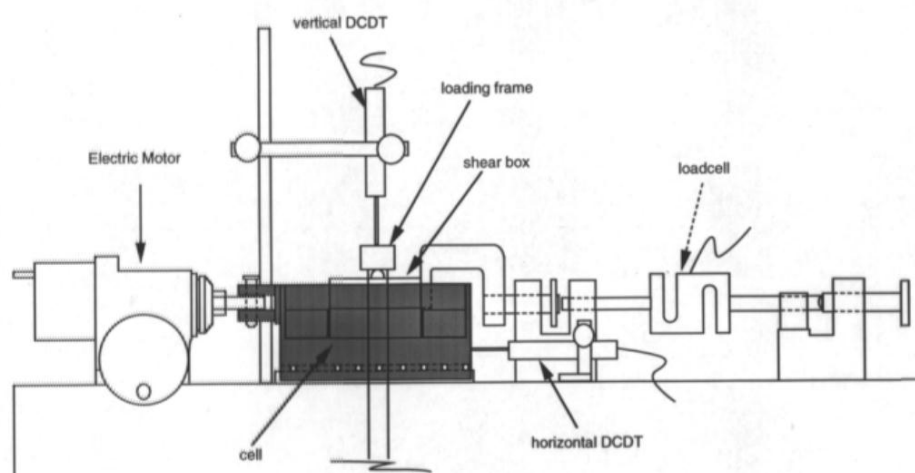
۱-۶-۴-عوامل موثر بر چسبندگی

۱- تاثیر سیمان تاسیون : با افزودن مواد چسبنده به خاک می توان چسبندگی خاک را افزایش داد. سیمان تاسیون عامل اصلی چسبندگی بوده که حالت زائل شدنی دارد ، یعنی با از بین رفتن سیمان تاسیون خاک نمی توان مجددا در حالت بعد به همان مقدار چسبندگی رسید.

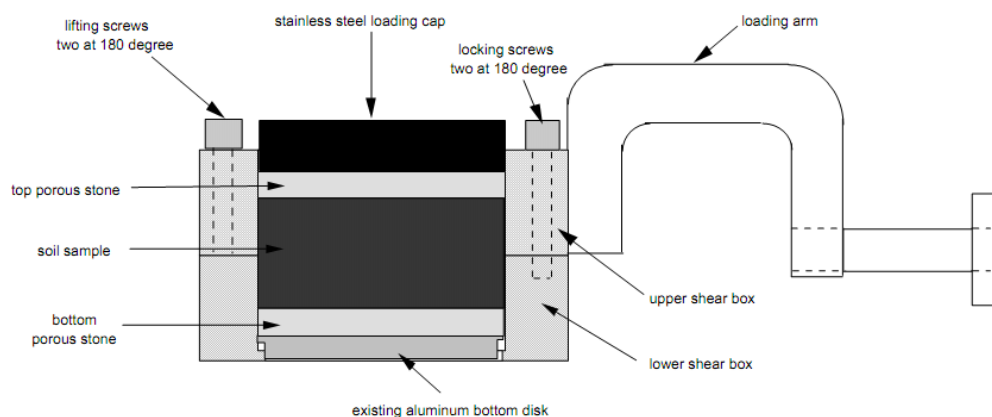
۲- تراکم : با متراکم شدن خاک میزان چسبندگی تا حدودی افزایش می یابد که این مقدار چسبندگی با از بین رفتن تراکم ، کاهش و با تراکم مجدد ظاهر می شود.

۱-۷ تئوری آزمایش

این آزمایش قدیمیترین و ساده ترین آزمایش برشی است. در شکل ۶ شماتیک وسیله آزمایش نشان داده شده که تشکیل یافته است از : دو جعبه برشی فلزی که نمونه آزمایش در داخل آنها قرار می گیرد. شکل نمونه خاک در پلان، ممکن است مربع و یا دایره باشد.



شکل ۱-۶- شماتیک دستگاه برش مستقیم



شکل ۱-۷- شماتیک جعبه برش دستگاه برش مستقیم

بر حسب تجهیزات مورد استفاده، آزمایش برشی می تواند با کنترل تنش و یا کنترل تغییرشکل باشد.

در آزمایش با کنترل تنش، نیروی برشی اعمالی با افزودن وزنه ها با گام مساوی تا لحظه گسیختگی نمونه افزایش داده می شود. شکست در امتداد صفحه جدایی دو نیمه فوقانی و تحتانی جعبه برشی رخ می دهد. بعد از اعمال هر افزایش بار، توسط یک گیج عقربه ای، تغییر مکان نیمه فوقانی جعبه برشی اندازه گیری می شود. تغییر در ارتفاع نمونه (به عبارت دیگر تغییر حجم نمونه) با قرائت یک گیج که تغییر مکان قائم نیمه فوقانی را اندازه می گیرد، به دست می آید.

در آزمایش با کنترل تغییر شکل، توسط یک موتور الکتریکی، یک تغییر مکان برشی با سرعت ثابت بر نیمه فوقانی اعمال می شود. مقدار تغییر مکان برشی با قرائت یک گیج عقربه ای که تغییر مکانهای افقی را اندازه گیری می کند، تعیین می گردد. نیروی برشی مقاوم نظیر هر تغییر مکان برشی توسط یک حلقه اندازه گیر افقی قابل اندازه گیری است. مشابه آزمایش با کنترل تنش، تغییر حجم نمونه توسط یک گیج قائم اندازه گیری می شود. سودمندی آزمایش با کنترل تغییر شکل در این است که به وسیله آن برای ماسه های متراکم هم مقاومت برشی حداکثر (در لحظه گسیختگی) و هم مقاومت برشی کمتری که بعد از نقطه گسیختگی به وجود می آید و به مقاومت برشی نهایی موسوم است، قابل مشاهده و اندازه گیری است. در آزمایشهای با کنترل تنش، تنها مقاومت برشی حداکثر قابل مشاهده و تعیین است. البته با توجه به عدم پیوستگی و پله ای بودن افزایش بارگذاری، تعیین مقاومت برشی حداکثر نیز با مقداری تقریب همراه است. با این وجود، آزمایش با کنترل تنش مدل واقع بینانه تری از وضعیت صحرایی نسبت به آزمایش با کنترل تغییر شکل به دست می دهد.

اگر این آزمایش بر روی نمونه هایی انجام گیرد که آب زیادی را نتوانند زهکشی کنند، معمولاً به عنوان آزمایش برشی زهکشی نشده در نظر گرفته می شود، این در حالی است که، بار بلافاصله بعد از قرار دادن نمونه در جعبه برش، اعمال شده است. هر چند که این نمونه خاک ممکن است قبل از اینکه آزمایش شروع شده باشد تحت تاثیر یک بار عمودی قرار گرفته و متعاقباً دچار تحکیم شده باشد. در این حالت اگر

این آزمایش به سرعت انجام گیرد، بنابراین فشار آب منفذی به وجود می آید، این آزمایش به عنوان تحکیم شده زهکشی نیافته در نظر گرفته می شود. اگر آزمایش خیلی آهسته صورت گیرد بنابراین هیچ فشار آب منفذی ایجاد نشده، آزمایش تحکیم شده زهکشی شده خواهد بود.

آزمایش برش مستقیم، شرایط ایده آلی را به نمونه خاک اعمال می کند که در آن صفحه شکست مجبور است در محل از قبل تعیین شده واقع شود. روی این صفحه دو نیرو یا تنش عمل می کنند: یکی تنش قائم که به وسیله یک بار قائم P_v ایجاد می شود و دیگری تنش برشی که ناشی از بار افقی P_h است. این تنش ها را باید با روابط زیر محاسبه کرد.

$$\sigma_n = \frac{P_v}{A} \quad \tau = \frac{P_h}{A}$$

که در اینجا A سطح مقطع اسمی نمونه (یا جعبه برش) است. البته مقدار A به دلیل تغییر مکان جانبی نمونه تحت اثر بار برشی P_h تغییر می کند ولی معمولاً مقدار A اصلاح نمی شود. این تنش باید معادله کولمب را ارضا نماید:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi$$

در رابطه فوق مقادیر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی مجهول هستند، بنابراین حداقل دو مقدار از مقادیر تنش قائم و تنش برشی برای حل معادله لازم است.

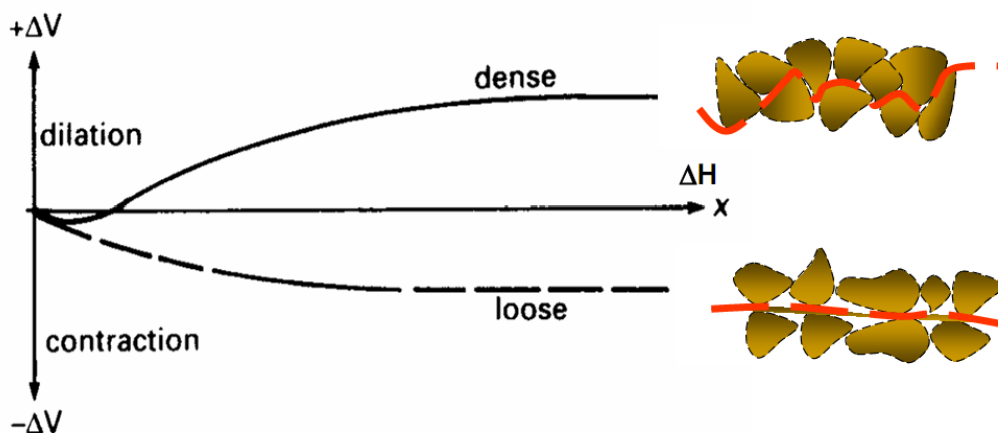
با توجه به تغییرات تنش برشی مقاوم در مقابل تغییر مکان برشی، نتایج زیر قابل حصول است :

۱- در مصالح دانه ای شل، تنش برشی مقاوم با تغییر مکان برشی افزایش می یابد تا تنش برشی گسیختگی τ_f حاصل شود. بعد از آن، مقاومت برشی برای افزایش بیشتر تغییر مکان برشی، تقریباً ثابت می ماند.

۲- در مصالح دانه ای متراکم، تنش برشی مقاوم با تغییر مکان برشی افزایش می یابد تا تنش برشی گسیختگی τ_f حاصل شود. این مقدار τ_f مقاومت برشی حداکثر نامیده می شود. بعد از تنش گسیختگی، تنش برشی مقاوم به تدریج با افزایش تغییر مکان برشی، کاهش می یابد تا بالاخره به یک مقدار ثابتی برسد که به آن مقاومت برشی نهایی می گویند.

هنگامی که تنش برشی اعمال می شود، همراه با تغییر شکل، تغییر حجمی نیز اتفاق می افتد که اتساع نامیده می شود. زاویه اتساع (ψ) با استفاده از تغییر مکان افقی (u) و تغییر مکان عمودی (v) به صورت زیر تعریف می شود:

$$\tan \psi = dv / du$$



شکل ۱-۸- منحنی تغییرات کرنش حجمی نسبت به جابجایی افقی در نمونه های مختلف با دانسیته متفاوت

بر اساس نتایج بدست آمده از این آزمایش بر روی خاک های مختلف ، مقدار C برای ماسه و سیلت آلی برابر صفر می باشد. برای خاک های رسی که به طور عادی تحکیم یافته اند نیز مقدار C تقریباً برابر با صفر است. برای رس های پیش تحکیم یافته مقدار C از صفر بزرگتر خواهد بود. همچنین مقادیر ϕ مربوط به خاک های دانه ای نیز در جدول زیر آورده شده است.

آنچه در کل در رابطه با مقاومت برشی ذرات شن و درشت دانه می توان بیان کرد تاثیر مستقیم این پارامتر با تغییر تنش مؤثر نرمال، چگالی، زبری دانه، خرد شدگی دانه و به صورت عکس، با اندازه دانه، یکنواختی دانه بندی و شکل دانه می باشد. (Marsal, 1973)

جدول ۱-۲- مقادیر زاویه اصطکاک زهکشی شده مربوط به ماسه وها و سیلت ها.

نوع خاک	ϕ (درجه)
ماسه دانه گرد	
سست	۲۷-۳۰
متوسط	۳۰-۳۵
متراکم	۳۰-۳۸
ماسه تیز گوشه	
سست	۳۰-۳۵
متوسط	۳۵-۴۰
متراکم	۴۰-۴۵
شن دارای مقداری ماسه	۳۴-۴۸
سیلت	۲۶-۳۵

از نظر گسترش تنش - کرنش مناسب در خاک، این آزمایش به خوبی عمل نمی کند. زیرا توزیع تنش برشی و شکل ناشی از آن در نمونه یکنواخت نیست و این موضوع سبب غیر واقعی شدن نتایج این آزمایش می گردد. از طرفی اجباری بودن صفحه برش در جعبه برش دستگاه باعث می گردد که مقاومت برشی تعیین شده بیش از مقدار واقعی آن باشد. جابجایی آهسته در صفحه برش سبب می شود که اصلاً فشار منفذی به وجود نیاید اما باعث ایجاد جریان پلاستیک خاک های نرم و چسبنده می شود.

۱-۷-۱- بررسی اثر اصطکاک جدار در آزمایش برش مستقیم

به دلیل درشت دانه بودن مصالح ، اصطکاک موجود بین جدار داخلی جعبه برش و نمونه می تواند روی نتایج اثرگذار باشد. به عنوان مثال در دستگاه های برشی متداول که جابجایی جعبه برش فوقانی محدود و جعبه تحتانی به صورت افقی حرکت می کند ، نیروی اصطکاک وارد بر نمونه در سطح داخلی جعبه فوقانی برای نمونه های متراکم به سمت پایین و برای نمونه های سست به سمت بالا می باشد. این امر موجب می شود که نیرو قائم مورد استفاده به دلیل تفاوت در نوع تغییرات حجمی برای نمونه های متراکم کمتر و برای نمونه های شل و سست بیشتر از مقادیر اعمال شده بر روی صفحه برش باشد. (Liu , 2005)

استاندارد ASTM D3080 برای کاهش اثر اصطکاک جدار ، استفاده از گریس یا TFE (فلوئورکربن) را توصیه نموده است درحالیکه Marsal برای کاهش اثر اصطکاک جدار در آزمایش کرنش مسطح ، از ۳ لایه ورقه پلی استایرن متراکم به ضخامت ۱ میلی متر که به وسیله گریس روغن کاری شده را پیشنهاد نمود

در طی آزمایش انجام شده در این پایان نامه جهت تسهیل حرکت قسمت های مختلف دستگاه ، کاهش لرزش مربوط به گیربکس و در نهایت کاهش اثر اصطکاک بین قسمت های بالا و پایین جعبه برش از روغن با ویسکوزیته بالا استفاده شد که سبب کاهش میزان خطا در نتایج بدست آمده شد.

۱-۷-۲- بررسی اثر اندازه ذرات

سایز نمونه های انتخابی دارای محدودیت هایی می باشد که سبب ایجاد مشکل در اجرای تست برش مستقیم و تعیین مقاومت برشی می شود. اصلی ترین مشکل در انجام آزمایش بر روی خاک های درشت دانه، اندازه ذرات آنها است. به دلیل محدودیت جعبه آزمایش در آزمون برش مستقیم به ناچار بخش

مهمی از قسمت درشت دانه خام از نمونه حذف می گردد. بدین ترتیب ضرورت مطالعه تاثیر دانه بندی و ابعاد نمونه بر روی رفتار مکانیکی محیط های دانه ای و به ویژه خاک های درشت دانه آشکار می شود. طی سال های گذشته محققان مختلفی سعی کرده اند با بررسی های تجربی تاثیر کاهش سایز ذرات را در اثر اصلاح دانه بندی نمونه ها به دست آورد. (Marsal, 1967 & 1973 ; Marachi: et al., 1972) به منظور اصلاح دانه بندی نمونه ها دو روش اصلاح حذفی و موازی متداول می باشند.

در اصلاح دانه بندی به روش موازی (Parallel gradation technique)، اندازه ذرات نمونه طوری کاهش می یابند که منحنی دانه بندی نمونه پس از اصلاح به موازات منحنی دانه بندی اولیه آن خواهد بود.

این در حالیست که در اصلاح به روش حذفی، قسمت مشخص شده از بخش درشت دانه خاک از نمونه حذف می گردد. (Scalping Method)

همچنین در حال حاضر تحقیقات بسیار کمی در مورد مقاومت برشی خاک رسی و ریزدانه که حاوی ذرات درشت دانه شن و سنگریزه باشد وجود دارد. به طور معمول تاثیرات ذرات درشت دانه در این نوع بر روی مقاومت برشی مورد لحاظ قرار نمیگیرد که به خاطر دو دلیل عمده زیر می باشد :

۱-عدم توافق محققین درباره تاثیر ذرات درشت دانه در این نوع خاک ها بر مقاومت مجموعه

۲-هزینه بر و مشکل بودن تست مخلوط فوق با تجهیزات آزمایشگاهی موجود.

۸-۱- ضرورت انجام تحقیق

ایران به عنوان یک کشور نفت خیز و با توجه به دارا بودن ۱۰ درصد از منابع نفتی جهان، به میزان زیادی در معرض آلوده شدن خاک به نفت و فراورده های نفتی قرار دارد. آلودگی خاک به آلاینده های نفتی می

تواند از منابع متعددی صورت گیرد. در این میان نشت از لوله های انتقال آسیب دیده، تصادف تانکر ها، تخلیه از تأسیسات نفتی داخل خشکی و دریا ها، نشت از مخازن نگهداری، صفحه های حفاری و استخراج و نشت طبیعی از اهمیت بیشتری برخوردارند. نشت و انتشار آلاینده های نفتی در خاک یکی از مسائلی است که امروزه به دلیل کثرت وقوع و رخداد آن به یک چالش جدی در تحقیقات تبدیل شده است. نشت هیدروکربن های مایع و حرکت آن تحت تاثیر نیروی ثقل، خاک را معمولاً به صورت جزئی، اشباع میکند. آلوده شدن زمین علاوه بر آلودگی سفره های آب زیرزمینی، باعث ایجاد تغییراتی در ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک خواهد شد. به هنگام آلودگی، ماهیت رفتار خاک با رفتار طبیعی آن، تفاوت خواهد کرد. این تغییر رفتار در خاک های مختلف، متفاوت بوده و بنابر طبیعت مسئله مورد بررسی، نتایج، مسیر تغییرات مختلفی مشاهده میشود. از سوی دیگر، به جهت استفاده از سایت های آلوده در راستای توسعه فیزیکی پالایشگاه ها، میادین نفتی و ... به ناچار باید از میان گزینه های طراحی سازه ها در سایت آلوده و یا پاکسازی خاک آلوده و طراحی معمول و کلاسیک، یک گزینه را انتخاب نمود. با در نظر گرفتن این موضوع که تمیز کردن خاک های آلوده به هیدروکربن ها یک مسئله پیچیده است و علاوه بر هزینه بالا، محدودیتهای بسیار زیادی برای ساماندهی خاک های آلوده شده دارد، گزینه بسط روابط برای طراحی سازه ها در سایت های آلوده به عنوان یک گزینه طراحی، مطرح است. بر همین اساس، برای دستیابی به یک درک مناسب از الگوی رفتاری خاک های آلوده، تحقیقات مختلفی از قبیل آزمایش های سه محوری، برش مستقیم، نفوذپذیری و تحکیم برای روشن شدن تاثیر انواع آلاینده بر پارامترهای ژئوتکنیکی خاک های مختلف از سوی پژوهشگران انجام گردیده است و نتایج کم و بیش مشابه و یا متفاوتی ارائه شده است. به منظور بسط روابط و دستیابی به درک و شناخت کافی از رفتار خاک های آلوده به هیدروکربنها، ضروری است که تمامی فاکتورهای دخیل در این موضوع را به صورت دقیق در نظر گرفت تا بتوان ضمن توسعه ی روابط، دقت کافی برای پیش بینی رفتار این خاک ها را نیز حاصل کرد.

۱-۹-اهداف

آنچه در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است ، تاثیر آلودگی در خاک هایی با ساختار درشت دانه می باشد زیرا در مطالعات گذشته ، به علت واکنش شیمیایی خاک های دارای رس با مواد هیدروکربنی ، تنها این خاک ها مورد مطالعه قرار گرفته است.همچنین با توجه به نوع و اندازه ذرات خاک می بایست از آزمایش برش مستقیم با مقیاس بزرگ استفاده کرد که همان طور که قبلا توضیح داده شد ،برای استفاده از این آزمایش با این ابعاد لازم است که عوامل موثر بر نتایج حاصله از این آزمایش شناخته و تاثیر آنها در نتیجه گیری کلی اعمال گردد.لذا در این پایان نامه به دنبال دستیابی به اهداف ذیل می باشیم :

- بررسی پارامتر های مقاومتی در خاک های درشت دانه شنی
- بررسی پارامترهای مقاومتی در خاک های آلوده با نفت سفید
- بررسی پارامتر های مقاومتی در خاک های آلوده با نفت گاز(گازوئیل)
- تاثیر عامل نوع ماده هیدروکربنی بر پارامتر های مقاومتی
- تاثیر درصد آلودگی بر میزان مقاومت خاک آلوده
- تاثیر میزان بازه زمانی آلودگی بر پارامتر های مقاومتی
- تاثیر آلودگی بر پارامتر زاویه اصطکاک داخلی
- تاثیر آلودگی بر پارامتر چسبندگی
- تاثیر عامل آلودگی بر جابجایی های افقی و عمودی
- تاثیر دستگاه برش مستقیم بزرگ مقیاس بر نتایج بدست آمده

فصل دوم

شناخت مواد پدید روگر بنی و تاثیر آن بر

حاک

نشت و ریزش مژمن عمدی و تصادفی ترکیبات نفتی توسط صنایع و کارخانه های مختلفی از جمله پالایشگاه های نفت ، پتروشیمی ها ، کارخانه های فلزکاری، تخلیه پساب های نفتی، سکو های نفتی ، پایانه های نفتی و مخازن و تانکر های ذخیره می تواند به طور مدام مقدار زیادی از این ترکیبات را وارد محیط نمایند که این ترکیبات شیمیایی خطرناک پتانسیل تخریب ساختار و عملکرد سیستم های طبیعی را دارا می باشند. در اثر فرآیندهای فیزیکی- شیمیایی که بین آلاینده و خاک رخ می دهد، رفتار ژئوتکنیکی خاک تغییر می کند. این امر می تواند باعث کاهش ظرفیت باربری خاک در محل سایت نفتی گردد و بنابراین پایداری سازه به خطر افتاده و در اثر آسیب وارده به سازه و به دلیل نشت مقادیر زیادی آلاینده، خاک و آب زیرزمینی آلوده می گردد. به هنگام آلودگی، ماهیت رفتار خاک با رفتار طبیعی آن، تفاوت خواهد کرد. این تغییر رفتار در خاک های مختلف، متفاوت بوده و بنابر طبیعت مسئله مورد بررسی، نتایج، مسیر تغییرات مختلفی را تجربه خواهند کرد. از سوی دیگر، به جهت استفاده از سایت های آلوده در راستای توسعه ی فیزیکی پالایشگاه ها، میادین نفتی و ... گزینه های طراحی سازه ها در سایت آلوده یا پاکسازی خاک آلوده و طراحی معمول و کلاسیک، وجود دارد. با در نظر گرفتن این موضوع که تمیز کردن خاک های آلوده به هیدروکربن ها یک مسئله پیچیده است و علاوه بر هزینه ی بالای، محدودیت های بسیار زیادی برای ساماندهی خاک های آلوده مطرح شده دارد، گزینه ی بسط روابط برای طراحی سازه ها در سایت های آلوده به عنوان یک گزینه ی طراحی، مطرح است.

بر همین اساس، برای دستیابی به یک درک مناسب از الگوی رفتاری خاک های آلوده، تحقیقات مختلفی از قبیل آزمایش های سه محوری، برش مستقیم، نفوذپذیری و تحکیم برای روشن شدن تاثیر انواع آلاینده بر پارامترهای ژئوتکنیکی خاک های مختلف از سو محققان انجام گردیده است و نتایج کم و بیش مشابه و یا متفاوتی ارائه شده است. به منظور بسط روابط و دستیابی به درک و شناخت کافی از رفتار

خاک های آلوده به هیدروکربن ها، ضروری است که تمامی فاکتورهای دخیل در این موضوع را به صورت دقیق در نظر گرفت تا بتوان ضمن توسعه ی روابط، دقت کافی برای پیش بینی رفتار این خاک ها را نیز حاصل کرد.

۲-۲- تعریف ترکیبات نفتی

محصولات نفتی مخلوط پیچیده ای از صدها ترکیب هیدروکربنی است. دامنه وسیعی از ترکیبات هیدروکربن های سبک و فرار ، ترکیبات آلی با زنجیره کوتاه تا سنگین و هیدروکربن های دارای زنجیره بلند را در بر می گیرد. ترکیبات واقعی محصولات نفتی بر اساس منبع نفت خام و تکنیک های مورد استفاده برای پالایش متفاوت است. نفت خامی که از مخازن زیرزمینی استخراج می شود و تفاوت زیادی در ترکیب شیمیایی آنها وجود دارد می تواند در برگیرنده بنزین ، تولوئن ، اتیلن بنزن ، زایلن ، نفتالن ، هیدروکربن های پلی آروماتیک و... می باشد. در طول فرآیند پالایش ، نفت خام به بخش هایی با نقطه جوش یکسان تقسیم می شود. این بخش ها با استفاده از فرآیندهایی از قبیل تصفیه نفت ، تغلیظ ، پولیمریزه شدن و آلکیل دار کردن اصلاح شده و به محصولات تجاری از قبیل نفت ، بنزین ، سوخت جت و نفت سوختی فرمول بندی می شوند. ترکیب هرکدام از این محصولات می تواند بر اساس نوع پالایش ، تفاوت در افزودنی ها و روش های اصلاحی و سایر پارامتر ها متفاوت باشد. (Todd1999)

لذا لازم است جهت شناخت مواد هیدروکربنی موجود (نفت و گازوئیل) و آشنایی با تفاوت های ساختاری آن به بررسی اولیه و نحوه دسته بندی این مواد و خصوصیات آنها بپردازیم.

۲-۳- نفت خام و شکل های مختلف آن

در اصطلاح عمومی نفت خام به مخلوط هیدروکربنی که از لوله های حفاری تولید می شود ، اطلاق می گردد. در تئوری تشکیل نفت از مواد معدنی ، اساس فرضیه بر این است که کربور های فلزی تشکیل شده در اعماق زمین ، در اثر تماس با آب هایی که در زمین نفوذ می کنند ابتدا ایجاد هیدروکربورهای استیلنی با زنجیره کوتاه می نماید. سپس هیدروکربورهای حاصل در اثر تراکم و پلیمریزه شدن ایجاد ترکیبات پیچیده می نمایند که اغلب آنها اشباع شده است. باید یاد آور شد که در اعماق زمین هرگز کربور های فلزی فلزات قلیایی به صورت آزاد و کربور های استیلنی یافت نشده است. (خسروی ۱۳۸۶) بر اساس تئوری تشکیل نفت از مواد آلی ، تشکیل نفت در اثر تجزیه شدن بدن حیوانات در مجاورت آب و دور از هوا صورت میگیرد. در این شرایط قسمت اعظم مواد ازته و گوگردی تخریب و مواد چرب باقیمانده در اثر آب هیدرولیز می شود. اسید های چرب حاصله ، در اثر فشار و حرارت با از دست دادن عوامل اسیدی ، تولید هیدروکربورهای با یک اتم کمتر می کنند. (خسروی ۱۳۸۶)

نفت خام ترکیبی از کربن و هیدروژن می باشد که نسبت آنها به هم ۱,۸۵ اتم هیدروژن به ۱ اتم کربن می باشد. عناصر فرعی ازت ، گوگرد و اکسیژن کمتر از ۳ درصد این ماده را تشکیل می دهند. فلزات کمیاب و سنگین مانند نیکل و وانادیوم نیز در نفت خام وجود دارد. در جدول ۱ ترکیب عنصری نفت ، گاز ، آسفالت ، زغال و کروژن سنگ های رسوبی را با هم مقایسه کرده است.

جدول ۱-۲ - ترکیب عنصری سوخت های فسیلی

عناصر	کروژن	زغال	آسفالت	نفت	گاز
کربن	۷۹	۸۳	۸۴	۸۴,۵	۷۶
هیدروژن	۶	۵	۱۰	۱۳	۲۴
سولفور	۵	۱	۳	۱,۵	۰
نیتروژن	۲	۱	۱	۰,۵	۰
اکسیژن	۸	۱۰	۲	۰,۵	۰
جمع	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

همانطور که مشاهده میکنیم با حرکت از گاز به طرف کروژن کاهش مشخصی در مقدار هیدروژن و افزایشی در مقدار گوگرد ، ازت و اکسیژن نسبت به کربن دیده می شود. تولید نفت و گاز کروژن به عوامل زیادی بستگی دارد. اما کیفیت نفت و گاز (پترولیوم) تولید شده بیشتر به وسیله مقدار هیدروژن کروژن کنترل می شود. کروژن با هیدروژن زیاد (۷ تا ۱۰ درصد) نفت و گاز بیشتری را نسبت به کروژن با هیدروژن پایین (۳ تا ۴ درصد) تولید خواهد کرد. با این حال هیدروژن نسبت به سایر عناصر موجود در کروژن عنصری سبک می باشد. بنابراین کروژن ها با مقدار هیدروژن بالا وزن مخصوص کمی دارند.

عناصر کربن و هیدروژن با هم ترکیب شده و هیدروکربن را تشکیل داده اند که ترکیبات حاصل از آنها از نظر شکل ، اندازه و نوع مولکول با هم متفاوت هستند. تفاوت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به دلیل تفاوت در شکل و اندازه هیدروکربن های مختلف و نیز درصد ازت ، گوگرد و اکسیژن می باشد.

کوچکترین مولکول موجود در نفت خام ، متان با وزن مولکولی ۱۶ می باشد. بزرگترین مولکول ها آسفالتنها با وزن مولکولی دهها تا چندین هزار می باشند. میان این دو محدوده هزاران مولکول با ترکیب ساده و پیچیده وجود دارند و هیدروکربن ها سری های همگن را تشکیل می دهند. این سری ها خانواده های مولکولی با خصوصیات مشابه هستند و فقط تفاوت آنها در اندازه آنها است که به واسطه یک گروه CH_2 به وجود می آید. فرمول سریهای پارافینی C_nH_{2n+2} می باشد که n می تواند از ۱ تا ۱۰۰ را

شامل شود. هنگامیکه اندازه مولکولی افزایش می یابد ، اعضا از گاز به مایع و سپس از مایع به جامد تبدیل می شود. در سری های پارافینهای با زنجیره مستقیم (نرمال) ، n برابر ۱ تا ۴ به شکل گاز ، ۵ تا ۱۶ به شکل مایع و ۱۶ به بالا جامد در نظر گرفته می شود. پترولیوم به وسیله تقطیر به صورت مولکول های با اندازه متفاوت جدا می شود. یک برج پالایش نمونه و ایده آل محصولات زیر به ترتیب اندازه مولکولی از کوچکتر به بزرگتر جدا میکند :

۱- گاز ۲- بنزین ۳- نفت سفید ۴- نفت گاز سبک (سوخت دیزلی) ۵- نفت گاز سنگین ۶- روغن های روان کننده و ۷- مواد باقیمانده.

مولکول های هیدروکربنی دارای شکل های ساختمانی مختلف با نام های زیر می باشند :

۱- آلکانها^۱ از نوع زنجیر باز دارای یک پیوند بین دو کربن هستند. (تک پیوندی)

۲- سیکلو آلکانها^۲ که آلکان های حلقوی هستند.

۳- آلکنها^۳ که دارای یک یا چند پیوند دوگانه هستند.

۴- آرنها^۴ که هیدروکربن های با یک حلقه بنزن یا بیشتر می باشند.

البته اکثر متخصصین مربوط به علم زمین شناسی و مهندسی نفت اصطلاح پارافین ها^۵ را به جای آلکانها و سیکلوپارافین ها^۶ یا نفتنها^۷ را به جای سیکلوآلکانها ، الفینها^۱ را به جای آلکنها و آروماتیکها^۲ را به جای آرنها به کار می برند.

¹ alkanes

² cyclo alkanes

³ alkenes

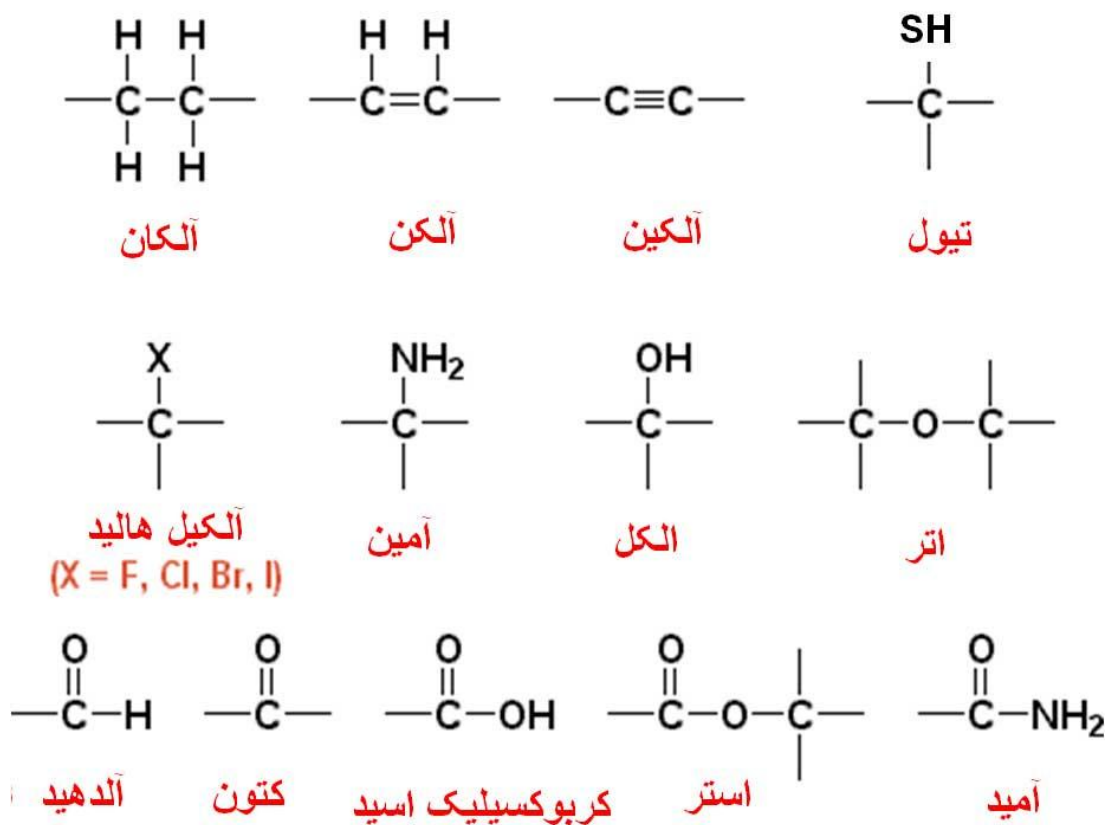
⁴ arenes

⁵ paraffins

⁶ cyclo paraffins

⁷ naphthanes

در ساختمان های مولکولی ، هم فرمول قراردادی و هم فرمول ساده شده آنها مورد استفاده قرار میگیرد که در شکل ۱، شکل های ساختمانی برای چند هیدروکربن آروماتیکی نشان داده شده است.



شکل ۱-۲ - فرمول های ساختمانی برای هیدروکربن های مختلف

در حالت کلی ترکیبات نفت خام را می توان به این صورت نام برد :

۱- کربن (۰.۸۳-۰.۸۷٪) ، ۲- هیدروژن (۰.۱۴-۰.۱۰٪) ، ۳- نیتروژن (۰.۰۱-۰.۰۲٪) ، ۴- اکسیژن (۰.۰۱-۰.۰۵٪) ،

۵- سولفور (۰.۰۵-۰.۰۶٪) و ۷- فلزات (کمتر از ۱۰۰۰ ppm) (حاتمیان ۱۳۷۹)

¹ olefins

² aromatics

از آنجایی که هیدروکربن ها نفت خام را تشکیل می دهند با توجه به نوع هیدروکربنی که بیشتر در نفت یافت می شود آن را نامگذاری می کنند. در جدول زیر انواع نفت ها و درصد ترکیبات آنها دیده می شود.

(خسروی ۱۳۸۶)

جدول ۲-۲- انواع نفت و درصد ترکیبات موجود در آن

نوع هیدروکربن	نفت خام پارافینی	نفت خام نفتینی	نفت خام آسفالتی
پارافین ها	۴۰	۱۲	۵
نفتن ها	۴۸	۷۵	۱۵
آروماتیک ها	۱۰	۱۰	۲۰
آسفالتن ها	۲	۲	۶۰

نفت ایران دارای هیدروکربن های زنجیری-حلقوی و همچنین ترکیبات مومی یا پارافینی می باشد و از این جهت نفت ایران را پارافین دار تشخیص داده اند. مقدار پارافین در نفت خام بستگی به میزان هیدروکربن های اشباع شده سنگین آن دارد. (خسروی ۱۳۸۶) به طور کلی مواد سازنده نفت خام شامل هیدروکربور های ترکیبات اکسیژنه ، سولفور ، ازته و مواد معدنی هستند. (قاسمی نده ۱۳۸۴)

۲-۳-۱- پارافین ها (CnH2n+2)Paraffins

پارافین ها بعد از نفتن ها بیشترین تشکیل دهنده های نفت خام هستند. غالب اجزا تشکیل دهنده بنزین (Gasoline) نفت خام ، ساختمان پارافینی دارند. پارافین ها همچنین قدیمی ترین هیدروکربن ها می باشند به طوریکه در مخازن عمیق پارافین ها بیشترین جزء نفت خام را تشکیل میدهند. تفاوت اعضا خانواده پارافین ها با هم در یک اتم گربن و دو اتم هیدروژن می باشند. کمتر از ۸۰ نوع مولکول پارافینی در نفت خام وجود دارد که این باعث می شود که پارافین ها در نفت خام به راحتی تشخیص داده شوند. به غیر از زنجیره های مستقیم ، زنجیره های شاخه دار نیز در پارافین ها وجود دارد. با اینکه از نظر فرمول مولکولی فقط ۸۰ مولکول پارافین در پترولیوم وجود دارد ، ولی ممکن است پارافین های شاخه دار بیش

از یک میلین ساختمان هیدروکربنی را در نفت و گاز تشکیل دهند. در هیدروکربن های پارافینی زاویه بین اتم های پیوندی کربن برابر با 109.5° درجه است که این زاویه همان زاویه بین هیدروژن و کربن در متان می باشد که پایدارترین زاویه پیوندی بین اتم های کربن است.

۲-۳-۲- نفتن ها یا سیکلو پارافین ها (Naphthenes or Cycloparaffins)

سیکلو پارافین ها با فرمول عمومی C_nH_{2n} بیشترین ساختمان مولکولی را در نفت های خام تشکیل می دهند که به وسیله اتصال اتم های کربن در یک حلقه تشکیل می شوند. حلقه های نفتن عموماً دارای ۵ تا ۶ اتم کربن هستند زیرا با این تعداد اتم کربن زاویه بین اتم ها نزدیک ترین حالت را به 109.5° دارد. زاویه پیوندی سیکلو پنتان ها ۱۰۸ می باشد. به طور متوسط نفت خام دارای ۵۰ درصد نفتن می باشد که مقدار آن در بخش های سنگین تر افزایش و در بخش های سبکتر کاهش می یابد. در بخش های سنگین تر نفتن ها تمایل به چسبیدن به یکدیگر و چند حلقه شدن دارند که در این صورت حلقه ها در دو یا چند اتم کربن با هم شریک می باشند. نفتن ها و پارافین ها هیدروکربن های اشباع نامیده می شوند چون ظرفیت اتم های کربن آنها توسط هیدروژن اشباع شده است. اگر هیدروژن از یک پارافین حذف شود ، بسته به تعداد هیدروژن حذف شده پیوند دوتایی تشکیل خواهد شد.

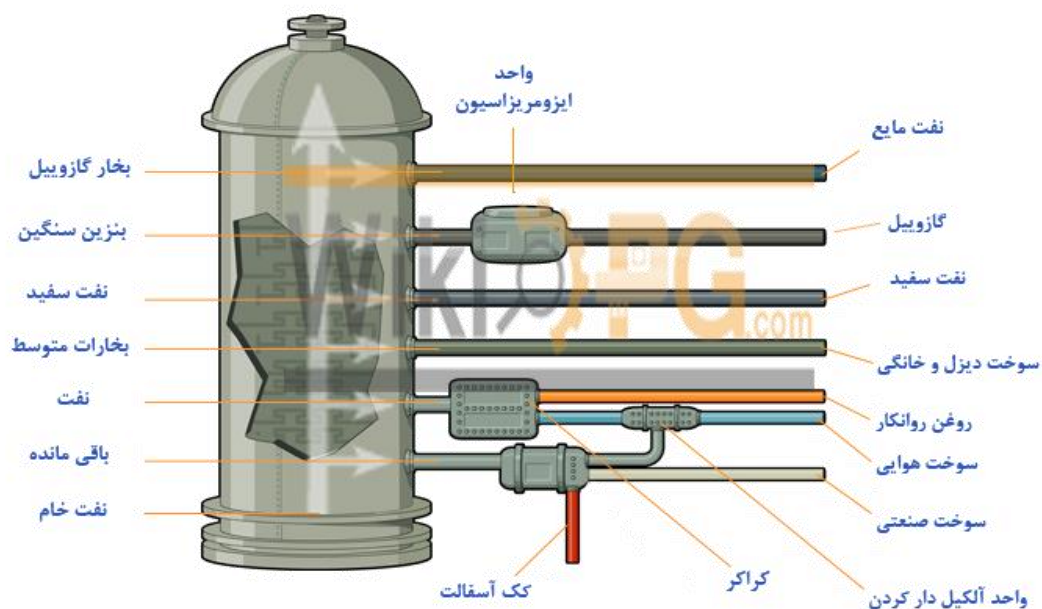
۲-۳-۳- هیدروکربن های آروماتیکی (Aromatic Hydrocarbons) C_nH_{2n-6}

اصطلاح هیدروکربن های آروماتیکی برای اجزا هیدروکربنی خوشبو به کار می رود ولی این هیدروکربن ها در حالت خالص بوی کمی دارند. همه هیدروکربن های آروماتیکی حداقل دارای یک حلقه بنزنی هستند. بنزن یک حلقه ۶ کربنی مسطح می باشد که چهارمین پیوند از هر اتم کربن در داخل حلقه به اشتراک گذاشته شده است. آروماتیک ها غیر اشباع هستند و اتم هیدروژن یا اتم های دیگر می توانند به آنها اضافه شوند. آروماتیک ها به ندرت بیشتر از ۱۵ درصد نفت خام را تشکیل می دهند. آنها تمایل به

تمرکز در بخش های سنگین نفت مانند نفت گاز ، روغن های روان کننده و باقیمانده نفت خام را دارند. مقدار آروماتیک ها در این بخش ها اغلب از ۵۰ درصد تجاوز می کند. آروماتیک ها بالاترین درجه اکتان انواع هیدروکربن ها را دارند.

۲-۴- ترکیب و کاربرد های نفت خام

برای جداسازی مواد مفید از نفت خام از روش تقطیر و از دستگاهی با همین نام استفاده می شود. در دستگاه تقطیر اجزا مختلف نفت خام به علت اختلاف در نقطه جوش به نوبت از برج تقطیر خارج می شوند. در این برج اولین محصول بدست آمده حاصل از تقطیر ، بنزین سبک و آخرین محصول ، مواد باقیمانده یا پسمانده نفت خام می باشد. ۱- بنزین سبک (Light Gasoline) در ۱۲۰ درجه ، ۲- بنزین سنگین (Heavy Gasoline) در ۱۹۰ درجه ، ۳- نفت سفید (Kerosene) در ۲۶۰ درجه ، ۴- نفت گاز (Gas Oil) در ۳۶۰ درجه ، ۵- نفت گاز سنگین (Heavy Gas Oil) ، ۶- روغن های روان کننده (Lubricating) در ۵۳۰ درجه و در نهایت ۷- پسمانده نفت خام که در دستگاه برج پالایش باقی می ماند.



شکل ۲-۲- شکل شماتیک برج تقطیر

یک ترکیب ایده آل و تیپیک نفتی در جدول ۳ نشان داده شده است. انواع مولکول ها می تواند متغیر تر از آن باشند که در این جدول آمده است. به طور متوسط نفت های خام تمایل دارند که در ترکیب بنزین بیشتر پارافین و در ترکیب باقیمانده یا پسماند ، آروماتیک ها و آسفالتنها را داشته باشند. کربن سنگین تر از هیدروژن است ، به همین علت چگالی هر نفت خامی تحت تاثیر نوع و اندازه مولکول های آن تغییر می کند. لازم به ذکر است که در نفت های خام اختلاف در اندازه مولکولها نسبت به نوع مولکولها تاثیر زیاد تری بر روی چگالی دارد. نفتی با ۵۰ درصد بنزین همیشه صرف نظر از نوع مولکول سبکتر از نفت با ۵۰ درصد روغن روان کننده و پسماند است. چگالی بالاتر مولکول های بزرگ مهمتر از اختلاف نوع مولکول می باشد. با حرکت از بنزین به سمت ترکیبات سنگین نفت ، افزایش مشخصی در مقدار آروماتیک دیده می شود تا به روغن های روان کننده سنگین می رسد. آروماتیک ها تقریباً ۷۵ درصد اجزا پسماند را تشکیل می دهد. هرچقدر پارافین ها و ایزو پارافین ها در اجزا سنگین نفت کاهش می یابد ، تبدیل هیدروکربن

های مستقیم و شاخه دار به حلقه های آروماتیکی و نفتنی افزایش می دهد. در نتیجه شکست ترکیبات سنگین نفت مقدار زیادی پارافین آزاد خواهد شد.

جدول ۲-۳ - ترکیب یک نمونه نفتی

نوع مولکول	مقدار درصدی
پارافین ها	۲۵
نفتن ها	۵۰
آروماتیک ها	۱۷
مواد آسفالتی	۸
جمع	۱۰۰

اندازه مولکولی	درصد حجمی
بنزین	۲۷
نفت سفید	۱۳
سوخت دیزلی	۱۲
گازوئیل سنگین	۱۰
روغن های روان کننده	۲۰
مواد باقیمانده	۱۸
مجموع	۱۰۰

۲-۴-۱- نفت سفید (Kerosene)

نفت سفید از اواخر قرن نوزدهم به جای سوخت جهت روشنایی و... استفاده شد. برای تهیه نفت سفید فرآیند های شکستن حرارتی بالا بر روی ترکیبات سنگین تر نفت انجام می گیرد. سپس با شکست نفت سفید بنزین تولید می شود. ولی افزایش استفاده از نفت سفید و نفت گاز در سوخت های دیزلی و موتور ها موجب شد که شکست ترکیبات سنگین تر به این دو جزء نفتی افزایش یابد. بخش نفت سفید نفت خام (C11-C13) در مقدار هیدروکربون های حلقوی افزایش نشان می دهد که در قسمت سنگین نفت غالب

هستند. مقدار آروماتیک نفت سفید ۱۰ تا ۴۰ درصد می باشد که به طور قابل ملاحظه ای بالاتر از مقدار متوسط آروماتیک در نفت خام است.

۲-۴-۲- نفت گاز (Gas Oil)

نفت گاز سبک (C14-C18) در سوخت های دیزلی استفاده می شود. پارافین ها با زنجیره بلند نرمال بهترین سوخت برای موتور های دیزلی می باشند. هیدروکربن های حلقوی و شاخه دار عدد ستان پایین و اکتان بالا دارند درحالیکه هیدروکربن های زنجیره ای دراز عدد ستان بالا و اکتان پایین دارند بنابراین نفت های خام پارافینی برای تولید سوخت دیزلی و نفت های آروماتیکی برای سوخت بنزینی مناسب می باشند.

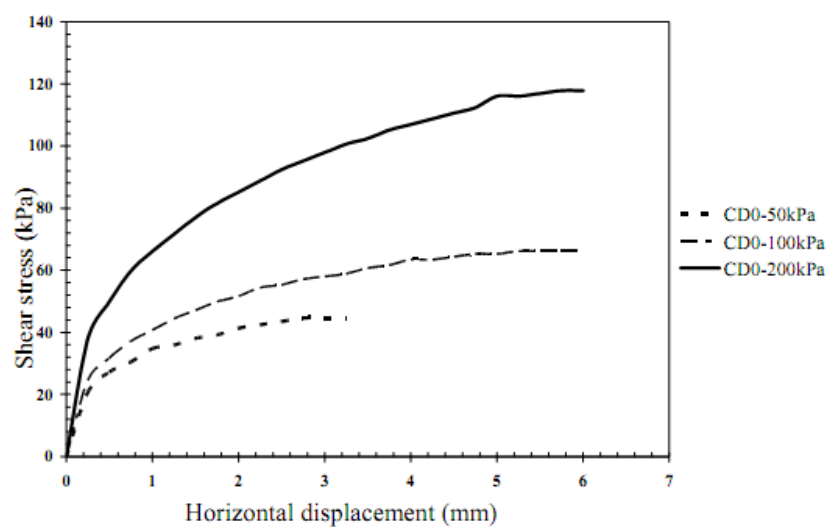
ترکیب نفت گاز در گروه بندی انواع مولکول ها مشخص شده است. این ماده شامل ۴ مولکول اشباع شده ، ۱۲ هیدروکربن آروماتیکی و ۳ مولکول غیر هیدروکربنی می باشد. از نفت دیزل به محدوده روغن های روان کننده کاهشی مشخص در پارافین ها و افزایشی در مقدار آروماتیک ها مشاهده می شود. همچنین افزایش در مقدار هیدروکربون های سه حلقه ای یا بیشتر در پارافین ها و آروماتیک های تشکیل دهنده اجزا با نقطه جوش بالا می باشد. گازوئیل از فرآورده های میان تقطیر پالایشگاه می باشد که دامنه تقطیری از ۱۵۰ تا ۳۸۵ درجه سلسیوس را در بر میگیرد. این فرآورده به گونه ای مورد تصفیه شیمیایی و فیزیکی قرار میگیرد که ترکیبات هیدروکربنی متشکله ، دارای عملکرد مناسبی در مشعل ها و موتور های احتراق داخلی باشد. رنگ طبیعی این فرآورده زرد کهربایی است. عمده ترین کاربرد آن به عنوان سوخت در موتور های درون سوز دیزلی و سوخت در انواع مشعل های خانگی و صنعتی است. (Chambers 1990)

۲-۵- مروری بر تحقیقات گذشته خاک های آلوده به نفت

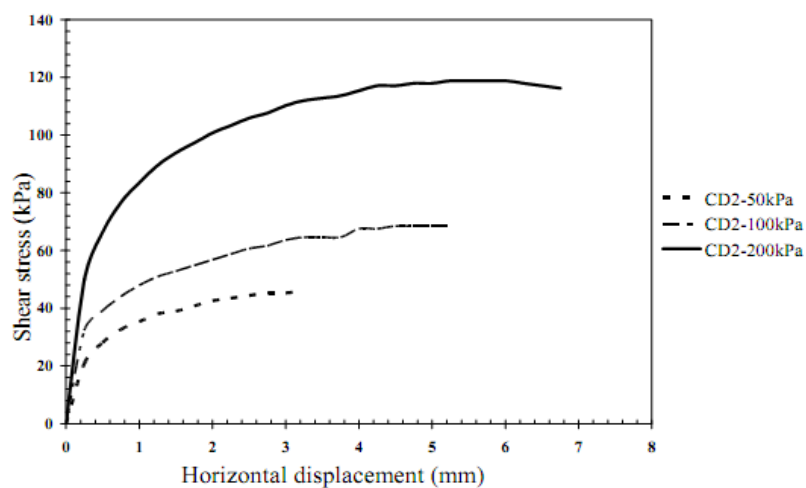
انتشار آلاینده های نفتی در خاک، ضمن تغییر در ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک، رفتار خاک را در مقایسه با رفتار حالت عادی تغییر میدهد. برای دستیابی به یک درک مناسب از الگوی رفتاری خاکهای آلوده، تحقیقات و آزمایش های ژئوتکنیکی مختلفی برای روشن شدن تاثیر انواع آلاینده ها بر پارامترهای مقاومتی و ژئوتکنیکی خاکهای مختلف انجام گردیده است و نتایج کم و بیش مشابه و یا متفاوتی از سوی پژوهشگران مختلف ارائه شده است. به هنگام آلودگی، ماهیت رفتار خاک با رفتار طبیعی آن، تفاوت خواهد کرد. این تغییر رفتار در خاکهای مختلف، متفاوت بوده و بنابر طبیعت مسئله مورد بررسی، نتایج، مسیر تغییرات مختلفی مشاهده میشود. از سوی دیگر، به جهت استفاده از سایت های آلوده در راستای توسعه فیزیکی پالایشگاهها، میادین نفتی و ... به ناچار باید از میان گزینه های طراحی سازه ها در سایت آلوده و یا پاکسازی خاک آلوده و طراحی معمول و کلاسیک، یک گزینه را انتخاب نمود. با در نظر گرفتن این موضوع که تمیز کردن خاکهای آلوده به هیدروکربن ها یک مسئله پیچیده است و علاوه بر هزینه بالا، محدودیتهای بسیار زیادی برای ساماندهی خاک های آلوده شده دارد، گزینه بسط روابط برای طراحی سازه ها در سایت های آلوده به عنوان یک گزینه طراحی، مطرح است. بر همین اساس، برای دستیابی به یک درک مناسب از الگوی رفتاری خاکهای آلوده، تحقیقات مختلفی از قبیل آزمایش های سه محوری، برش مستقیم، نفوذپذیری و تحکیم برای روشن شدن تاثیر انواع آلاینده بر پارامترهای ژئوتکنیکی خاکهای مختلف از سوی پژوهشگران انجام گردیده است و نتایج کم و بیش مشابه و یا متفاوتی ارائه شده است. به منظور بسط روابط و دستیابی به درک و شناخت کافی از رفتار خاکهای آلوده به هیدروکربنها، ضروری است که تمامی فاکتورهای دخیل در این موضوع را به صورت دقیق در نظر گرفت تا بتوان ضمن توسعه ی روابط، دقت کافی برای پیش بینی رفتار این خاک ها را نیز حاصل کرد. در راستا درک رفتار خاک آلوده به آلاینده های مختلف آزمایشاتی از قبیل برش مستقیم، نفوذپذیری، تحکیم و سه محوری

انجام شده است. نوع آلاینده های مورد استفاده در این آزمایش ها متفاوت و شامل انواع مشتقات نفت خام ، نفت سفید ، گازوئیل و بنزین بوده است. از آنجا که ترکیبات معدنی موجود در نفت مورد استفاده حاصل شده از مناطق مختلف جهان با یکدیگر تفاوت داشته است ، نتایج ، حتی در مورد نمونه های آلوده با این آلاینده ها نیز تا حدودی با یکدیگر تفاوت دارد و بنابراین حتی برای یک ماده ی مشابه از لحاظ نوع ترکیبات اصلی تشکیل دهنده ی آن ، نمی توان نتایج را تعمیم داد و همانطور که ملاحظه خواهد شد ، در بررسی نتایج پارامترهای مقاومتی حاصل شده از آزمایش بر روی یک نوع خاک نمونه ی مشابه با آلاینده متفاوت ، نتایج متغیری حاصل گردیده است .

محمدی اکبر آبادی و همکاران تاثیر نفت خام بر روی میزان مقاومت و میزان تراکم در یک خاک ماسه ای را مورد بررسی قرار دادند. خاک مورد استفاده در این تحقیق SC بوده و همچنین نفت خام استفاده شده از پالایشگاه تهران تهیه گردیده است. برای بررسی تغییرات مقاومت خاک مورد نظر از آزمایش برش مستقیم استفاده شده و نمونه ها در ابعاد $2 * 6 * 6$ سانتی متر و با درصد های ۰ ، ۲ ، ۴ و ۶ درصد وزن خاک خشک و در تراکم نسبی و درصد رطوبت مورد نظر ساخته شده اند. نتایج آزمایشات صورت گرفته در اشکال ۳ تا ۶ آمده است. همانطور که ملاحظه میشود وجود نفت خام موجب افزایش تنش برشی حداکثر قابل تحمل توسط خاک شده است. همانطور که در جدول های ۴ و ۵ مشاهده می کنید در اثر افزایش آلودگی به نفت خام میزان زاویه اصطکاک داخلی تا ۱۳ درصد کاهش و میزان چسبندگی ظاهری تا ۲۲۵ درصد افزایش یافته است. همچنین وجود نفت خام موجب افزایش تنش برشی حداکثر قابل تحمل توسط خاک می شود.



شکل ۳-۲ - نمودار تغییرات تنش برشی در مقابل جابجایی در میزان درصد نفت ۰٪



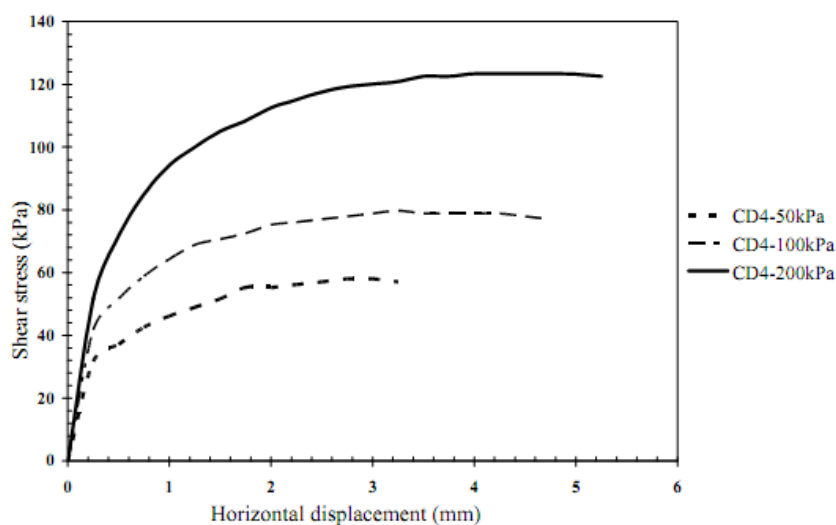
شکل ۴-۲ - نمودار تغییرات تنش برشی در مقابل جابجایی در میزان درصد نفت ۲٪

جدول ۴-۲ - میزان زاویه اصطکاک داخلی بدست آمده توسط اکبر آبادی و همکاران

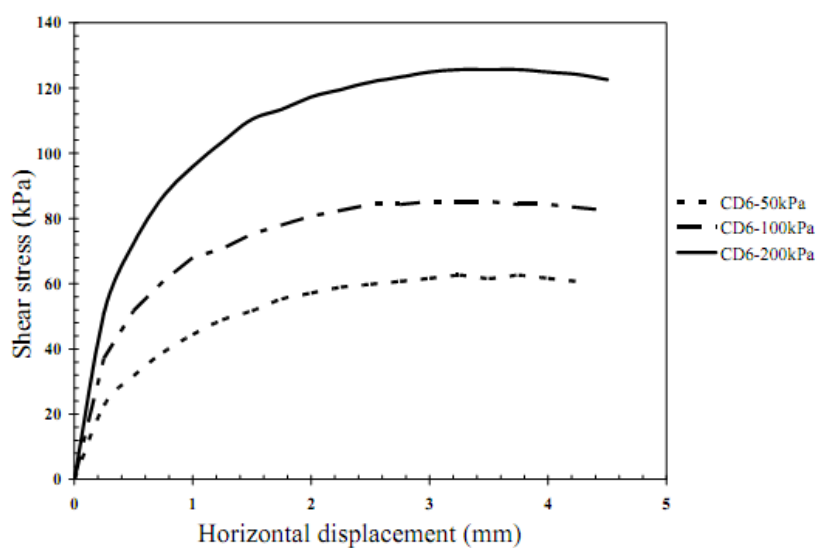
درصد نفت	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
۰٪	۲۶/۲۲
۲٪	۲۵/۴۷
۴٪	۲۳/۵۶
۶٪	۲۲/۷۰

جدول ۲-۵- میزان چسبندگی بدست آمده توسط اکبر آبادی و همکاران

چسبندگی (کیلو نیوتن بر متر مربع)	درصد نفت
۱۸/۷۵	٪۰
۲۲/۸۸	٪۲
۳۶/۲۰	٪۴
۴۲/۳۴	٪۶

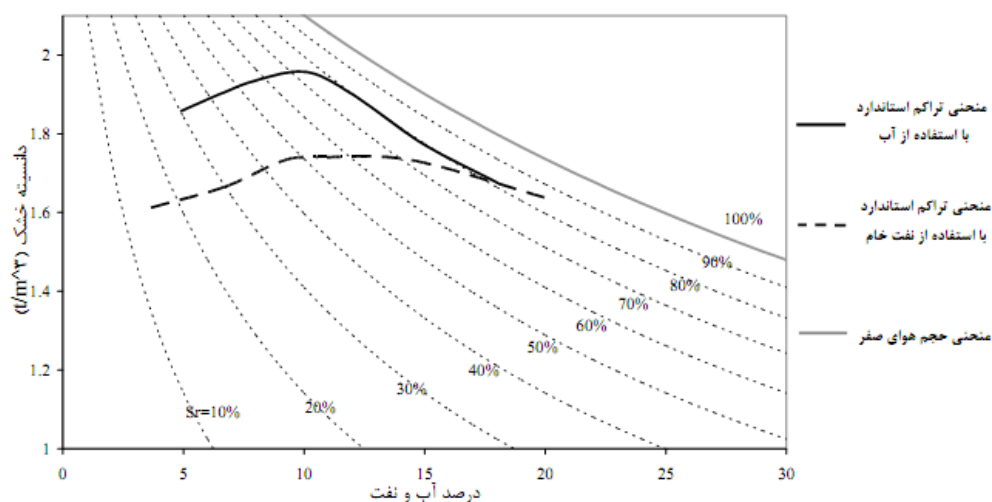


شکل ۲-۵- نمودار تغییرات تنش برشی در مقابل جابجایی در میزان درصد نفت ٪۴

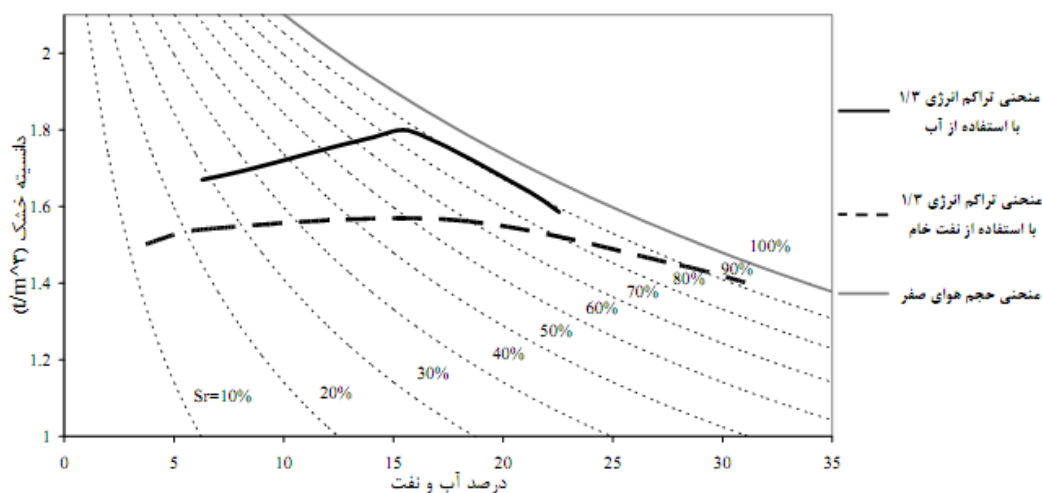


شکل ۲-۶- نمودار تغییرات تنش برشی در مقابل جابجایی در میزان درصد نفت ٪۶

برای بررسی تغییرات تراکم پذیری از آزمایش تراکم پروکتور استاندارد با انرژی تراکم ۱,۳ استاندارد پروکتور روی نمونه خاک مورد نظر توسط آب و نفت خام استفاده شده است. همان طور که در نمودار ها مشاهده می کنید در هر دو حالت انرژی تراکم ، وجود نفت خام سبب کاهش دانسیته خشک حداکثر شده که این کاهش در حالت تراکم ۱,۳ انرژی استاندارد بیشتر است. دلیل این امر را می توان مربوط به پر کردن فضای خالی بین ذرات خاک با نفت خام با افزایش آلودگی دانست. (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹)

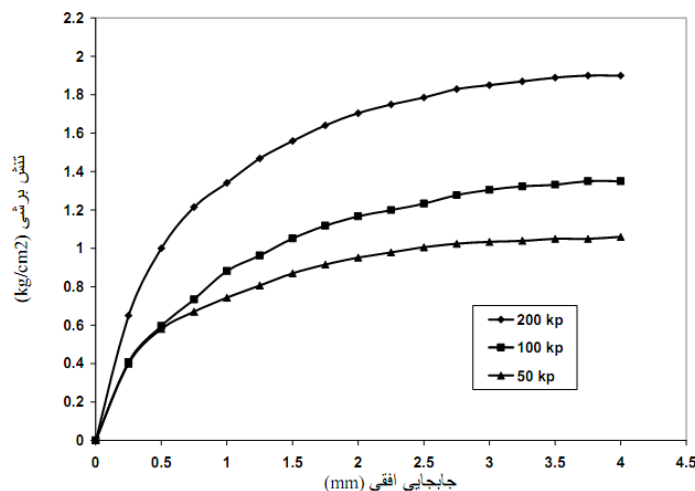


شکل ۲-۷- نمودار تراکم انرژی استاندارد پروکتور توسط آب و نفت

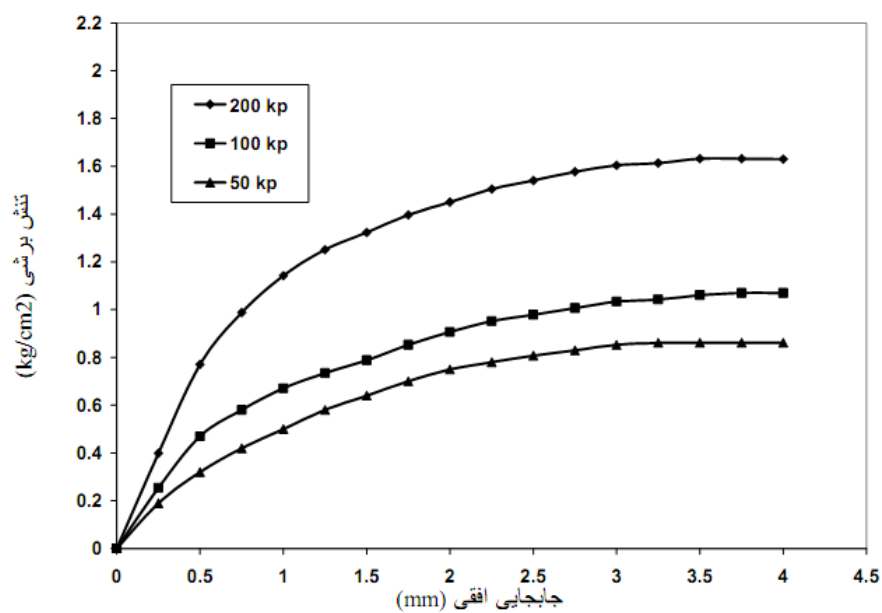


شکل ۲-۸- نمودار تراکم ۱,۳ انرژی استاندارد پروکتور توسط آب و نفت

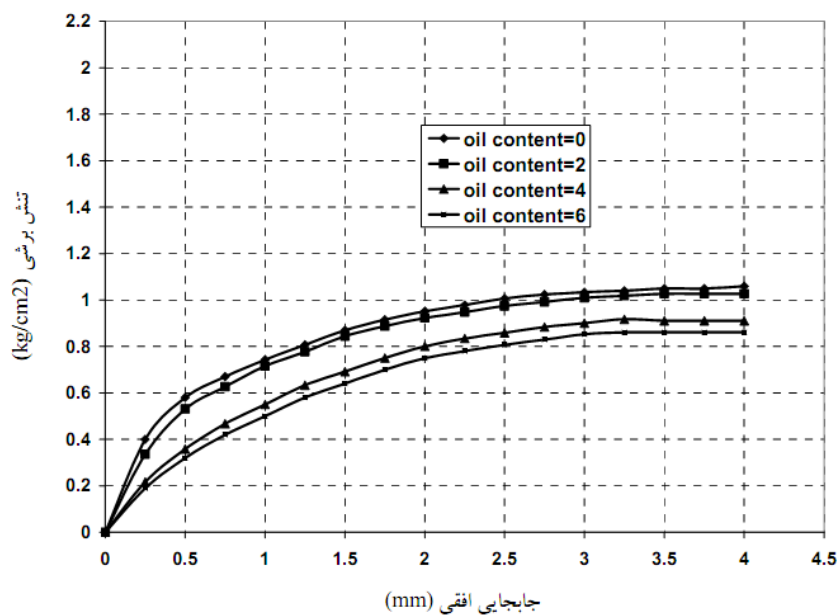
مشابه تحقیقات بالا ، خوش نشین لنگرودی و همکاران بر روی خاک رسی پیاده کردند. آنها نیز به دنبال بررسی تاثیر نفت خام بر مقاومت ، تراکم و پلاستیسیته خاک رس آلوده بودند. در این تحقیق آنها از خاک رس با پلاستیسیته پایین (CL) و همچنین نفت خام تهیه شده از پلایشگاه تهران استفاده کردند. به منظور برجسته نمودن اثر نفت خام بر مقاومت خاک ، آزمایشات در وزن مخصوص بیشینه انجام شده است. طی آزمایش برش مستقیم انجام شده ، ابعاد جعبه برش ۲۰ * ۶۰ * ۶۰ میلی متر بوده و برای یکسان نمودن شرایط آزمایشات با طبیعت ، نفت خام به فاز هوای خاک ، در وزن مخصوص بیشینه اضافه گردیده است. بدین ترتیب که ابتدا نفت خام با خاک کاملاً مخلوط شده و ۴۸ ساعت در محیط کاملاً عایق (به منظور از دست ندادن بخارات نفت) نگهداری شده و سپس آب به میزان معین به خاک اضافه گردیده است. آزمایشات با درصد های ۰ ، ۲ ، ۴ ، ۶ درصد وزن خشک خاک انجام پذیرفته و علت عدم انتخاب درصد های بالاتر از ۶ درصد ، غیر قابل کنترل بودن خروج نفت از خاک در حین تحکیم نمونه است زیرا تنش نرمال در آزمایش برش مستقیم سبب کاهش حجم نمونه می شود که این کاهش حجم ناشی از کمتر شدن حجم فاز هوا و فاز مایع در نمونه است. در درصد های بالاتر از ۶ خروج نفت از نمونه در نتیجه اعمال تنش نرمال قابل ملاحظه است.



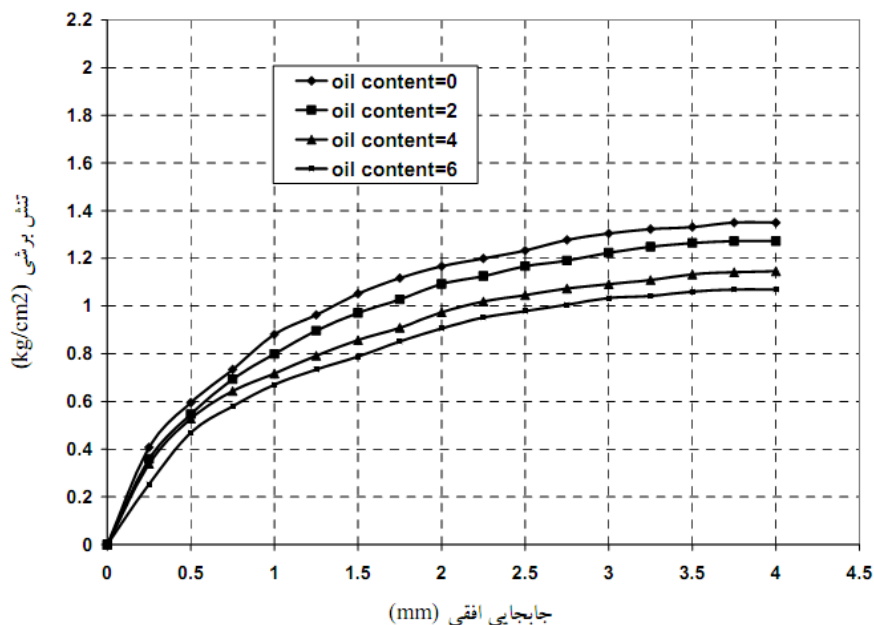
شکل ۲-۹- نمودار تنش برشی - جابجایی افقی در حالت بدون نفت خام



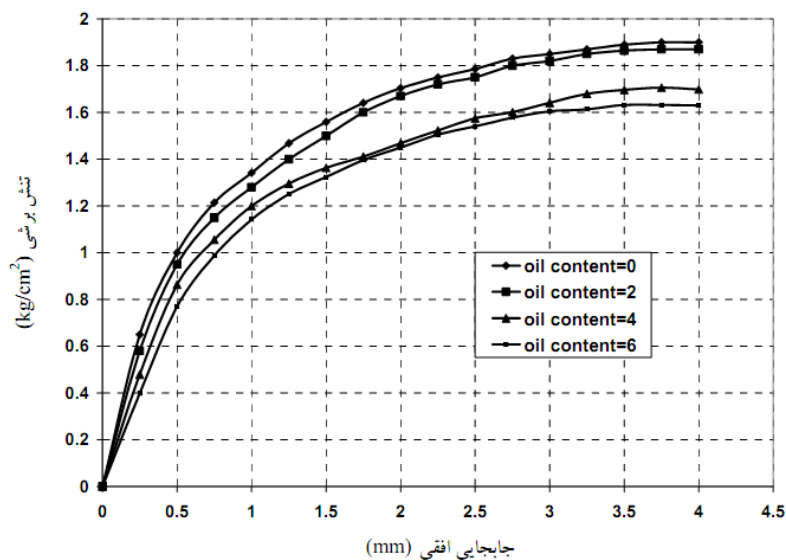
شکل ۲-۱۰- نمودار تنش برشی -جابجایی افقی در حالت با ۶ درصد نفت خام



شکل ۲-۱۱- نمودار تنش برشی - جابجایی افقی در حالت تنش نرمال ۵۰ کیلو پاسکال



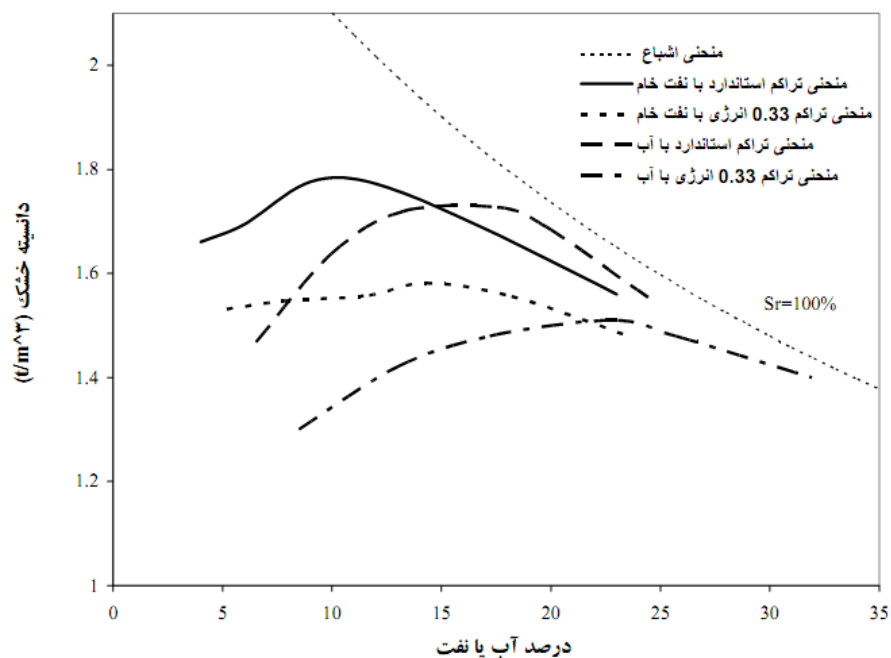
شکل ۲-۱۲- نمودار تنش برشی - جابجایی افقی در حالت تنش نرمال ۱۰۰ کیلو پاسکال



شکل ۲-۱۳- نمودار تنش برشی - جابجایی افقی در حالت تنش نرمال ۲۰۰ کیلو پاسکال

در بررسی نمودارهای بالا می توان فهمید که میزان تنش برشی حداکثر در حالت بدون نفت برای تنش های نرمال ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلو پاسکال به ترتیب ۱،۰۶، ۱،۳۵ و ۱،۹ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و در حالت حاوی ۶ درصد نفت خام، ۰،۸۶، ۱،۰۷ و ۱،۶۳ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشد. همچنین در هر سه تنش نرمال، میزان تنش برشی با افزایش درصد نفت خام کاهش یافته است. بیشترین میزان

کاهش تنش برشی با افزایش درصد نفت خام ، در نمودار با تنش نرمال ۱۰۰ کیلو پاسکال و کمترین میزان کاهش در تنش نرمال ۲۰۰ کیلو پاسکال است. علت کاهش در تنش برشی ترکیب دو اثر فیزیکی و شیمیایی نفت خام است. با افزایش درصد نفت تا حدود ۲ درصد کاهش تنش برشی ناچیز است ، درصد های بالاتر از ۴ نیز اثر کمی بر کاهش تنش برشی دارند.



شکل ۲-۱۴- نمودار تراکم در حالات مختلف

همانطور که در نمودار مربوط به بحث تراکم مشاهده می کنید به طور کلی نفت خام سبب افزایش تراکم پذیری خاک در هر دو انرژی مورد آزمایش شده است. علت فیزیکی افزایش تراکم پذیری ، روغن کاری دانه های خاک است که موجب لغزش راحت تر دانه های خاک شده و خاک بیشتری در قالب تراکم جای میگیرد. از نظر شیمیایی نیز نفت خام به علت واکنش های شیمیایی با خاک سبب کاهش تورم خاک می شود که در نتیجه فضای بیشتری برای وجود دانه های خاک ایجاد شده و دانسیته افزایش می یابد. افزایش تراکم پذیری در سطح انرژی استاندارد ، ۲,۹ درصد و در سطح انرژی ۰,۳۳ ، ۴,۶ درصد است که بیانگر این مطلب است که در انرژی تراکم پایین تر تراکم پذیری افزایش بیشتری داشته و علت این امر زیاد

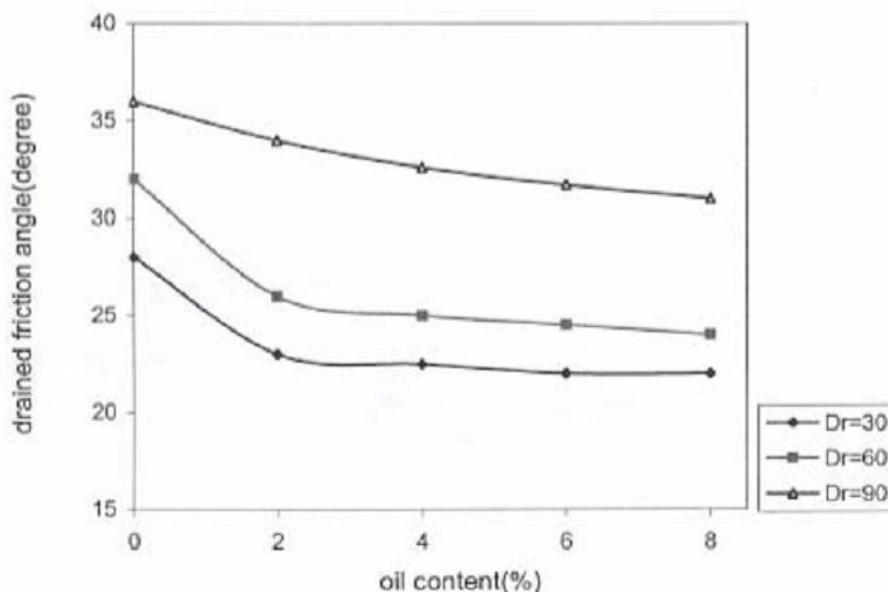
بودن حجم فاز هوای خاک در اثر انرژی تراکم پایین تر می تواند باشد ، زیرا با کاهش انرژی تراکم عملاً فضای باز بیشتری برای لغزش دانه های خاک به روی یکدیگر وجود دارد که موجب افزایش دانسیته خاک در مقایسه با انرژی تراکم بالاتر شود. همچنین در نمودار مشاهده می شود که منحنی های مورد آزمایش با آب انحنای زیاد تری نسبت به منحنی های مورد آزمایش با نفت خام دارند که به علت تمایل رفتاری خاک رسی آلوده به نفت به سمت ماسه می باشد که سبب جمع شدن منحنی تراکم شده است. در بررسی تغییرات پلاستیسیته نتایج آزمایش حدود آتبرگ در جدول زیر آمده است. حد خمیری بیانگر درصد رطوبت کمینه در جایی که خاک بدون شکستن و ترک برداشتن فیتیله می شود و حد روانی بیانگر کمترین میزان رطوبتی است که خاک تحت وزنش جاری نمی شود. این حدود بیانگر میزان استحکام و سازگاری خاک در شرایط مختلف رطوبت هستند. همان طور که در تست آتبرگ بیان شد ، نشانه خمیری بر اثر آلودگی کاهش می یابد. این کاهش در میزان پلاستیسیته خاک اجازه بهتر تراکم یافتگی را به آن می دهد. قابلیت تراکم یافتگی یک پارامتر مهم در خاک هایی می باشد که به منظور روسازی از آن استفاده می شود. مطابق با نتایج جدول با افزایش نفت خام حد خمیری افزایش یافته و حد روانی کاهش می یابد و در مجموع نشانه خمیری خاک کاهش می یابد. (خوش نشین لنگرودی و همکاران ۱۳۸۹)

جدول ۲-۶- تغییرات پلاستیسیته خاک با افزایش درصد نفت خام

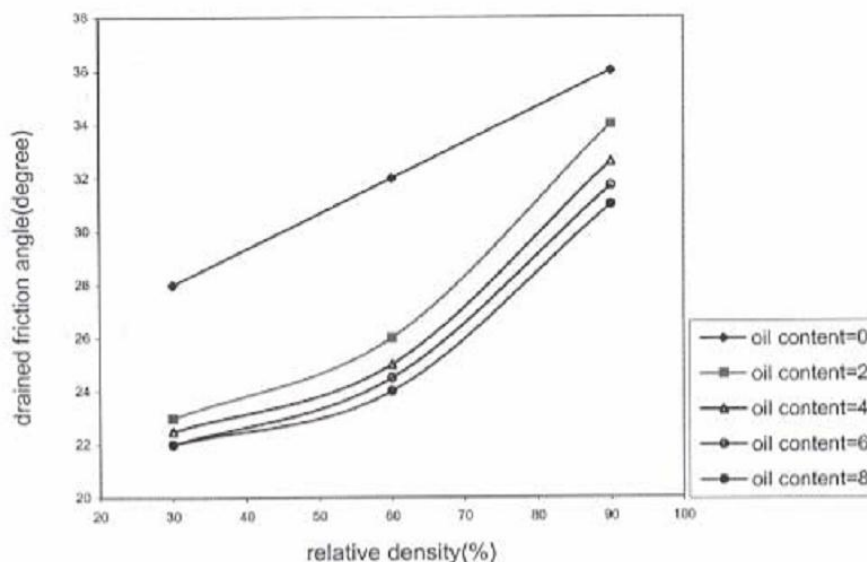
درصد نفت خام	۰	۲	۴	۶
حد روانی %	۴۶٫۵	۴۵٫۲	۴۳٫۵	۴۳
حد خمیری %	۱۶٫۸	۱۷٫۵	۱۸٫۲	۱۸٫۵
نشانه خمیری	۲۹٫۶	۲۷٫۷	۲۵٫۳	۲۴٫۵

یکی دیگر از کارهای انجام شده بر روی ماسه آلوده به نفت خام مربوط به تحقیق صدقیانی و جیریائی در رابطه با تاثیر این عامل بر پارامترهای مقاومت ، نشست و تراکم پذیری ماسه می باشد. ماسه مورد استفاده

بر اساس طبقه بندی یونیفاید SP می باشد که قبل از آزمایش با درصد رطوبت ۱ درصد و GS برابر ۲,۶۶ بوده است. نمونه های مورد آزمایش با درصد های ۰ ، ۲ ، ۴ ، ۶ و ۸ درصد وزنی با تراکم نسبی و درصد رطوبت مورد نظر ساخته شده است. همچنین نفت خام مورد نیاز از پالایشگاه تهران تهیه شده است. تحقیقات بر اساس آزمون سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده استوار است. طبق نمودار های بدست آمده در رابطه با زاویه اصطکاک داخلی به این نکته می رسیم که زاویه اصطکاک داخلی ماسه در اثر آلودگی به نفت خام تا ۳درصد کاهش می یابد. افزایش آلودگی به بیشتر از ۳درصد تاثیر قابل ملاحظه ای بر زاویه اصطکاک داخلی ندارد. دلیل این مسئله تاثیر مواد روغنی موجود در نفت خام و کاهش اصطکاک بین دانه های ماسه است. در نمونه های متراکم کاهش در زاویه اصطکاک زهکشی شده کمتر خواهد بود که به علت این است که در تراکم نسبی بالا نفت مجال کمتری برای تماس با دانه های ماسه دارد ولی هنگامی که محیط دانه های ماسه کاملاً توسط نفت خام پوشیده شد ، زاویه اصطکاک کاهش یافته و بعد از آن اضافه شدن نفت خام بیشتر، نقش بسیار کمتری در کاهش زاویه اصطکاک دارد.

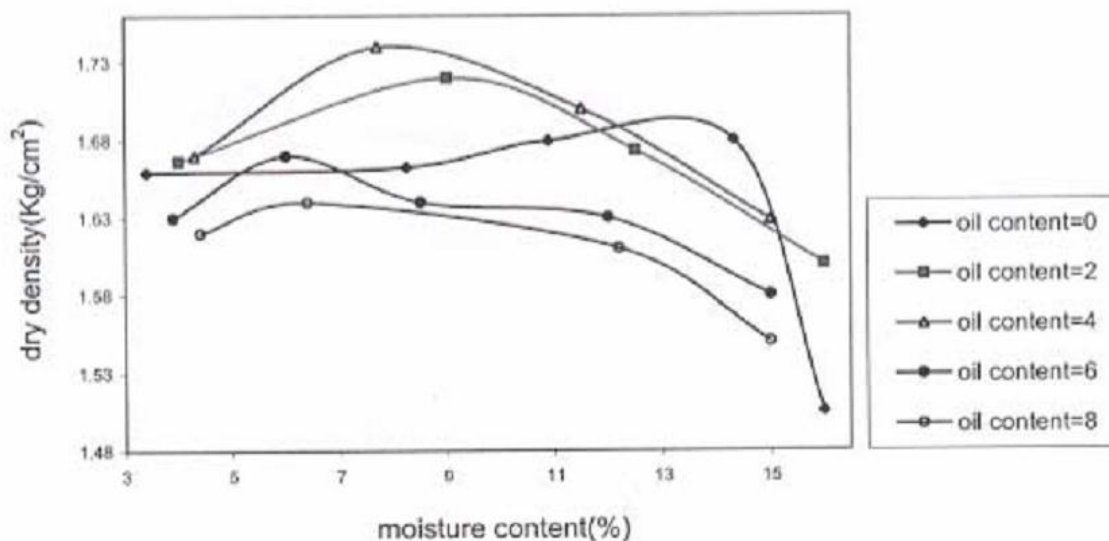


شکل ۲-۱۵- نمودار تغییرات زاویه اصطکاک داخلی-درصد آلودگی به نفت خام



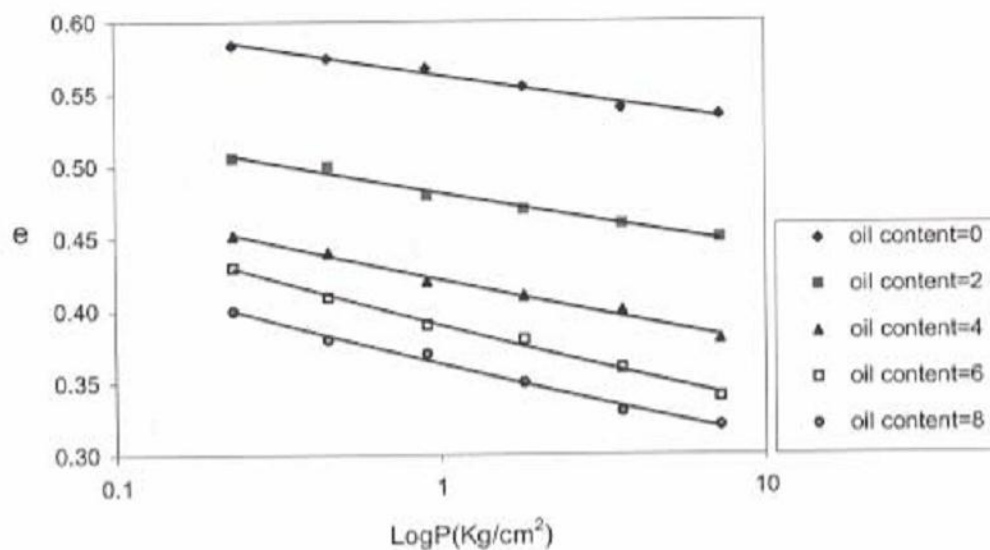
شکل ۲-۱۶- نمودار تغییرات زاویه اصطکاک داخلی-تراکم نسبی

در توضیح روند تراکم ، تراکم پذیری ماسه در اثر آلوده شدن به نفت خام تا میزان ۴ درصد افزایش می یابد. در صورتیکه میزان نفت خام بیشتر از ۴ درصد باشد تراکم پذیری ماسه کاهش می یابد. آلودگی ماسه به نفت خام به میزان بیشتر از ۸ درصد باعث می شود که ماسه آلوده به صورت لجن درآمد و بنابراین پایداری و تراکم پذیری بسیار ناچیز می شود.



شکل ۲-۱۷- نمودار تراکم ماسه با میزان های مختلف آلودگی به نفت خام

برای بررسی تغییرات نشست تحکیمی آزمایش تحکیم با همان درصد آلودگی نمونه ها و با تراکم نسبی ۶۰ درصد انجام گرفته است. همانطور که در نمودار و جدول زیر مشاهده می کنید افزایش نشانه فشردگی (CC) ماسه در اثر آلوده شدن به نفت خام به نحوی است که در اثر ۸ درصد آلودگی ماسه به نفت خام CC به دو برابر افزایش می یابد. بنابراین نشست تحکیمی ماسه که همزمان با نشست آبی رخ می دهد افزایش می یابد. (صدقیانی و جیریائی ۱۳۸۳)



شکل ۲-۱۸- نمودار تحکیم ماسه با میزان های مختلف آلودگی به نفت خام

جدول ۲-۷- مقادیر مختلف CC برای ماسه های تمیز و آلوده به نفت خام در تراکم نسبی ۶۰ درصد

درصد آلودگی به نفت	C _c
۰	۰,۰۲۷
۲	۰,۰۳۹
۴	۰,۰۴۸
۶	۰,۰۵۳
۸	۰,۰۵۵

Aiban در تحقیقات خود به تاثیر درجه حرارت بر پارامتر های مقاومتی ماسه ریزدانه یکنواخت و آلوده به ۶٪ نفت خام پرداخت. با توجه به جدول زیر که نتایج حاصل از پژوهش او را در بر میگیرد یافت که دما تاثیر قابل ملاحظه ای بر روی زاویه اصطکاک ندارد ولی درمورد چسبندگی می توان گفت که این پارامتر در دمای معمولی اتاق (۲۳ درجه سانتی گراد) صفر و با کاهش یا افزایش دما ، افزایش می یابد. افزایش چسبندگی با کاهش دما بر اثر افزایش ویسکوزیته و با افزایش دما می تواند به علت پوشیده شدن بیشتر سطح دانه های ماسه با نفت و در نتیجه بیشتر شدن تماس ذرات با نفت باشد. (Aiban , 1998)

جدول ۲-۸- تاثیر درجه حرارت بر مقاومت ماسه ریز دانه یکنواخت با ۶٪ آلودگی نفت خام

زاویه (درجه)	چسبندگی (کیلو پاسکال)	درصد وزنی	دما
۴۱,۷	۱۱,۱	۶	۱۰
۴۱,۵	۹,۲	۶	۱۵
۴۳,۱	۱,۷	۶	۳۲
۴۴,۷	۷,۳	۶	۳۵
۴۴,۹	۱۱,۹	۶	۵۰
۴۵,۵	۰	۰	۲۳

Alhamaideh در طی بررسی تاثیر نفت خام بر روی خاک و بهسازی آن به روش الکتروشیمیایی دریافت که افزایش میزان نفت خام سبب کاهش زاویه اصطکاک و چسبندگی و مقاومت تک محوری و همچنین افزایش شاخص پلاستیسیته می شود اما پس از بهسازی خواص خاک ، این پارامتر ها به طور چشمگیری بهبود می یابد به طوریکه برای نمونه با ۱۰٪ آلودگی به صورت جدول زیر مشاهده شده است. (Al- Hamaideh , 2011)

جدول ۲-۹- تاثیر آلودگی و بهسازی نمونه بر پارامتر های ژئوتکنیکی مورد نظر

خواص ژئوتکنیکی	نمونه شاهد بدون آلودگی	نمونه دارای ۱۰٪ آلودگی	نمونه بهسازی شده
شاخص پلاستیسیته	۲۱,۶	۲۳,۹	۲۶,۵
زاویه (درجه)	۱۸	۱۳	۱۵
چسبندگی (کیلوپاسکال)	۵۸	۳۸	۴۷
مقاومت تک محوری (کیلو پاسکال)	۶۰	۲۰	۴۵

Jia و همکاران طی تحقیقی که بر روی آزمایشات برجا و آزمایشگاهی در یک مطالعه خاص بر روی رسوبات دلتا رودخانه زرد چین داشتند ، دریافتند که میزان حضور ذرات رس در خاک های با آلودگی بالاتر بیشتر می باشد. همین طور حدود آتربرگ خاک با میزان آلودگی رابطه مستقیم دارد.از طرفی با افزایش ویسکوزیته سیال منفذی (ماده آلوده کننده) در یک درصد آلودگی معین میزان افزایش حدود آتربرگ بیشتر است.وی بیان کرده است که با افزایش آلودگی شاهد افزایش تراکم پذیری هستیم.همچنین بر اساس نتایج آزمون CPT انجام شده نشان دادند که با افزایش میزان آلودگی مقاومت خاک کاهش می یابد. (Jia et al , 2011)

Shah نیز در پژوهشی که در مورد بهسازی خاک آلوده به نفت در مجاورت یک مجتمع پتروشیمی در یکی از شهر های ایالت گجراتی هند بود ، نتایج زیر را که به صورت خلاصه در قالب جدول زیر می باشد بدست آورد.وی نمونه های آلوده را با ۱۰٪ نفت آلوده و برای ایجاد شرایط صحرایی یک هفته در ظروف در باز به حال خود رها کرده است.سپس روی آن آزمایشات مکانیک خاک را انجام داده است. (Shah et al , 2003)

جدول ۲-۱۰- تاثیر آلودگی بر خواص مکانیکی خاک

پارامتر های خاک	خاک آلوده	خاک غیر آلوده
درصد رطوبت طبیعی	۱۰,۵	۱۴
چگالی طبیعی ($\frac{KN}{M^3}$)	۱۰,۵۹	۱۳,۳۳
حد روانی (%)	۴۲	۳۸
حد خمیری (%)	۲۲,۹	۱۷,۴۲
شاخص خمیری	۱۹,۱۰	۲۰,۵۸
حد اکثر وزن مخصوص خشک ($\frac{KN}{M^3}$)	۱۶,۴۷	۱۷,۱۶
درصد رطوبت بهینه	۱۲,۵۰	۱۶,۴۸
مقاومت فشاری تک محوره (kPa)	۰,۳۸	۰,۵۸
چسبندگی (kPa)	۰,۲۰	۰,۶۳
زاویه اصطکاک داخلی (درجه)	۱۴	۱۸

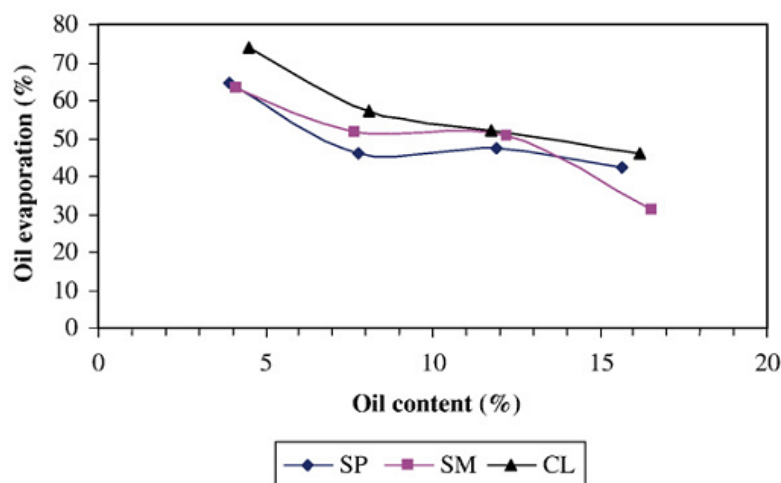
Rodrigues و همکارانش از ماسه سیلت دار (SM) در تحقیقات خود استفاده کردند. آنها ویژگی های مکانیکی (مقاومت برشی و رفتار تنش-کرنش) این خاک را در اثر آلودگی به نفت مورد بررسی قرار دادند. نمونه های تهیه شده آنها جهت آزمایش ، ۲۰ * ۶۰ * ۶۰ میلی متر بوده و آب و نفت به عنوان سیالات منفذی برای نمونه های مورد نظر استفاده شده است. همانطور که در جدول زیر مشخص شده است ، مقادیر با افزایش آلودگی ، افزایش یافته و سبب بهبودی خاک شده است. همچنین آنها فهمیدند که روش تهیه نمونه و اندازه دانه ها تاثیر زیادی در پارامتر های مورد نظر داشته است.

(Rodriguez et al , 2005)

در تحقیق بر روی خاک های آلوده رسی و ماسه ای Khomehchiyan و همکارانش به بررسی برخی خصوصیات ژئوتکنیکی از قبیل : حد آتربرگ ، تراکم ، برش مستقیم ، فشار تک محوری و تست

نفوذپذیری پرداختند. خاک مورد استفاده SP ، SM و CL می باشد که با نفت خام و مقادیر ۲٪ ، ۴٪ ، ۸٪ ، ۱۲٪ و ۱۶٪ مخلوط شده اند. نمونه های تهیه شده به مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد در اون خشک شده سپس آلوده گردیده و به مدت ۱ ماه استرحت داده می شود. همان طور که در نمودار زیر مشاهده می کنید ، از آنجاییکه خاک رسی انتقال حرارت کمتری نسبت به خاک ماسه ای دارد پس میزان جذب سطحی این خاک بیشتر بوده و همچنین میزان تبخیر آن نیز بیشتر است. این منحنی همچنین نشان می دهد که با افزایش مقدار درصد نفت در نمونه ها ، هرچه ضریب انتقال حرارتی نمونه ها افزایش یابد میزان تبخیر کاهش می یابد. در تست حدود آتبرگ مشاهده می شود که در خاک CL با افزایش میزان آلودگی ، حدود مایع و خمیری کاهش می یابد. این کاهش در میزان حدود آتبرگ به دلیل ساختار معدنی رس و نحوه قرار گیری طبیعی آب در اطراف آن می باشد. ذرات رس در سطح خود بار منفی خالصی حمل می کنند. این پدیده به علت شکست پیوستگی ساختمان مولکولی در لبه ها می باشد. هرچه سطح مخصوص کانی رس بزرگتر باشد، بار منفی بزرگتر خواهد بود. در رس خشک بار منفی با کاتیونهای قابل تعویضی نظیر Ca^{++} ، Mg^{++} ، Na^{+} و K^{+} متعادل می گردد که ذرات نگه داشته شده به وسیله جاذبه الکترواستاتیک را احاطه کرده اند. وقتی که آب به رس اضافه می شود، کاتیونهای فوق و یک تعداد از آنیونها، در حول ذرات رس شناور می شوند. این پدیده لایه مضاعف پراکنده نامیده می شود. در لایه مضاعف، تمرکز کاتیونها با فاصله از سطح ذره کاهش پیدا می کند. مولکولهای آب قطبی هستند. اتمهای هیدروژن دارای آرایش متقارن حول یک اتم اکسیژن نیستند و تحت زاویه ۱۰۵ درجه نسبت به یکدیگر قرار دارند. در نتیجه مولکول آب همانند یک میله با بار مثبت در یک انتها و بار منفی در انتهای دیگر عمل می کند. به این میله دوقطبی می گویند. در لایه مضاعف، مولکولهای دوقطبی آب هم به وسیله سطح بار منفی ذرات رس و هم به وسیله کاتیونها جذب می شوند. کاتیونها نیز به نوبه خود به وسیله ذرات خاک رس جذب می شوند. مکانیسم دیگری که آب به وسیله آن به ذرات رس جذب می شود، پیوند

هیدروژن است که در آن اتمهای هیدروژن مولکول آب به وسیله اتمهای اکسیژن واقع در سطح ذرات رس جذب می شوند. بعضی از کاتیونهای هیدراته شده جزئی در آب حفره ای نیز به سطح ذرات رس جذب می شوند. این کاتیونها مولکولهای دوقطبی آب را جذب می کنند. تمام مکانیسمهای ممکنه جذب آب به ذرات رس نشان داده شده است. نیروی جاذبه بین آب و رس با فاصله از سطح ذرات کاهش پیدا می کند. تمام آبهایی که به وسیله نیروی جاذبه در تماس با ذرات رس نگه داشته می شوند، آب لایه مضاعف نامیده می شوند. داخلی ترین لایه آب لایه مضاعف، که با جاذبه قوی توسط ذرات رس نگه داشته شده است، آب جذب سطحی نامیده می شود. این آب ویسکوزتر از آب آزاد است

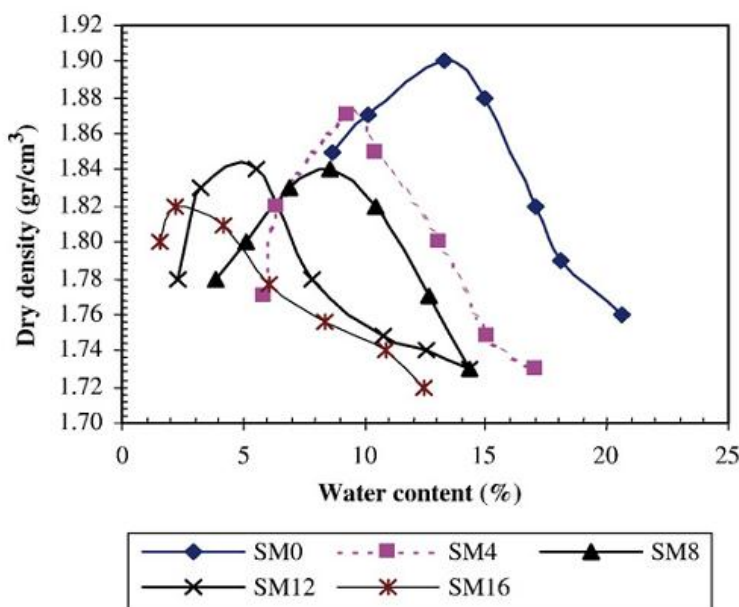


شکل ۲-۱۹- رابطه بین تبخیر نفت با درصد آلودگی در نمونه های متفاوت

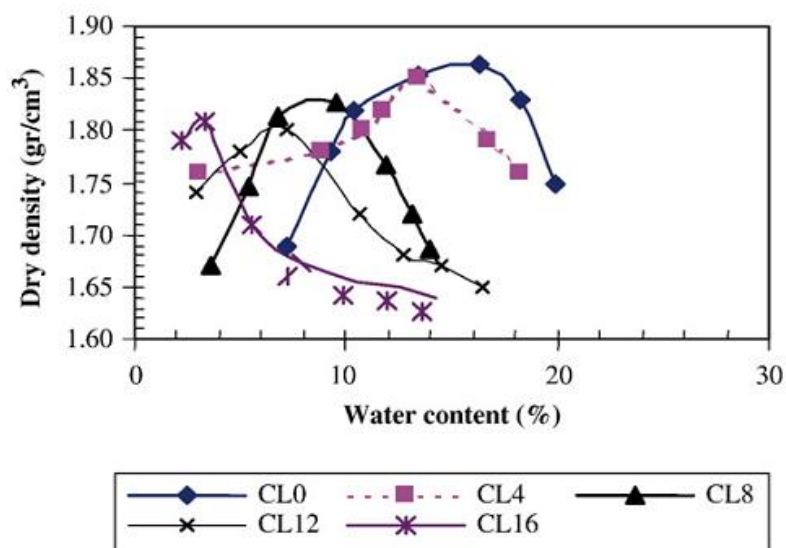
تست تراکم به صورت پروکتور استاندارد بر روی نمونه ها انجام شده است. همان طور که در شکل های ۲۰ تا ۲۲ مشاهده می کنید کاهش دانسیته خشک ماکزیمم در اثر افزایش میزان آلودگی است. این کاهش در نمونه های SM و CL سریعتر رخ می دهد. در کل نمونه ها در حضور نفت ، به منظور دستیابی به دانسیته خشک حد اکثر به میزان آب کمتری نیاز داریم. برای نمونه های دارای درصد آلودگی بالاتر از ۱۶٪ به مقدار پیک تست تراکم دست پیدا نخواهیم کرد زیرا این خاک ها حتی بدون اضافه کردن آب ، در قسمت

مرطوب منحنی قرار می گیرند و چنانچه تحت تراکم قرار گیرد ، در طول تست نمونه زهکشی شده و نفت خام اضافی خارج می گردد. بررسی ها نشان می دهد بیشینه دانسیته خشک خاک با افزایش آلودگی به نفت تا حدود ۴٪ ، افزایش یافته و بعد از این مقدار کاهش می یابد.

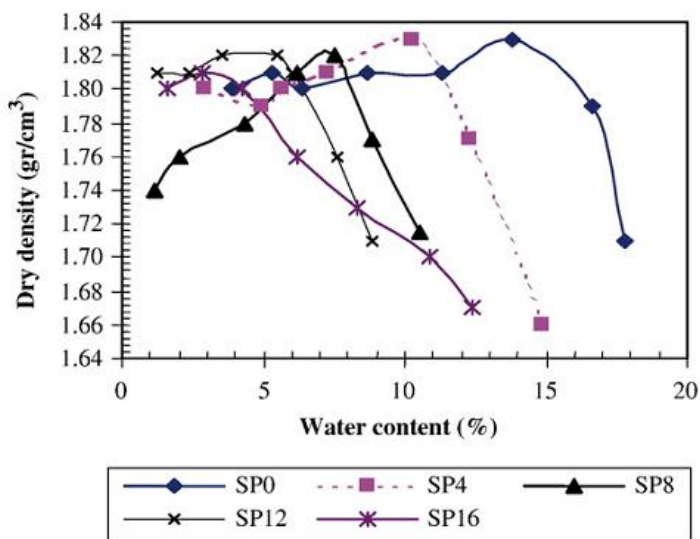
برای خاک SP ، وزن واحد حجم خاک خشک عموماً تمایل دارد که در ابتدا با افزایش میزان آلودگی کاهش یابد و سپس با افزایش میزان آب اضافی به نمونه ، روند افزایشی در مقدار بیشینه خود داشته باشد. کاهش اولیه وزن واحد خشک خاک با افزایش میزان آب می تواند به علت تاثیر کشش کاپیلاری (موینگی) مربوط باشد. در میزان رطوبت پایینتر ، کشش موینگی در آب سبب جلوگیری از جذب شدن توسط ذرات خاکی که در اطراف آن حرکت می کند می شود و در نتیجه خاک بسیار متراکم می شود.



شکل ۲-۲۰- منحنی تراکم برای نمونه های SM



شکل ۲-۲۱- منحنی تراکم برای نمونه های CL

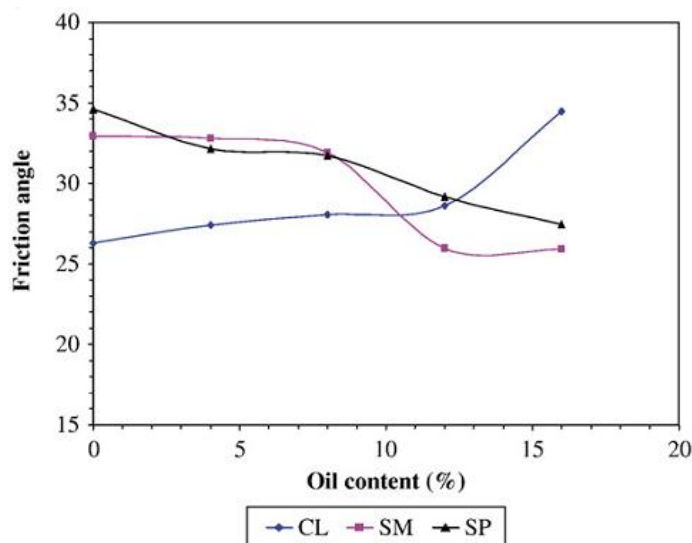


شکل ۲-۲۲- منحنی تراکم برای نمونه های SP

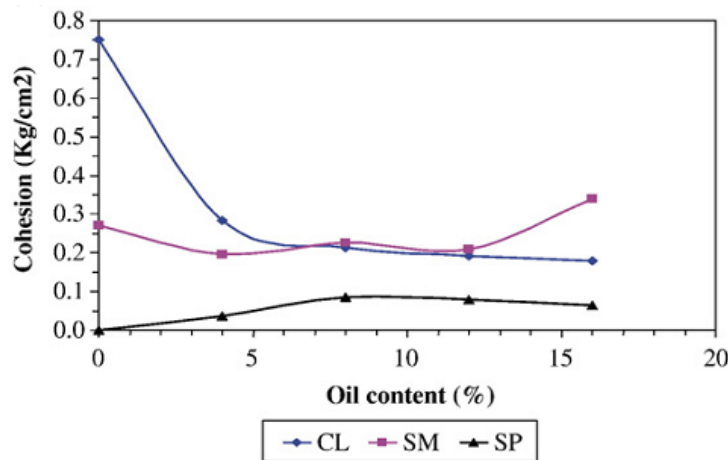
آزمایش برش مستقیم در شرایط خشک به منظور عدم زهکشی نفت از نمونه انجام پذیرفته است. همانطور که در شکل ۲۳ مشاهده می کنید ارتباط مستقیمی بین درصد نفت و زاویه اصطکاک داخلی در خاک CL و ارتباط عکس همین پارامترها در خاک SM و SP وجود دارد. با کاهش شدید چسبندگی با افزایش

درصد نفت را در CL مواجه هستیم در حالیکه در خاک های SM و SP روند تغییرات قابل پیش بینی مشاهده نمی شود.

نمونه SP چسبندگی پایینی نشان می دهد که ممکن است به دلیل وجود آلودگی نفتی در آن و خواص و ویسکوزیته و چسبندگی ذاتی نفت باشد. به هر حال مقاومت برشی همه نمونه ها با افزایش میزان آلودگی کاهش می یابد.

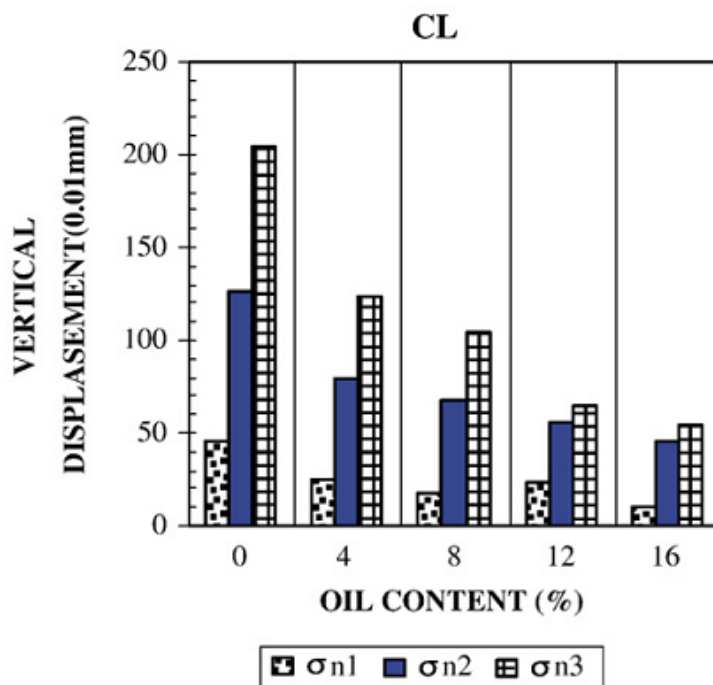


شکل ۲-۲۳- تاثیر درصد آلودگی بر زاویه اصطکاک در نمونه های مختلف

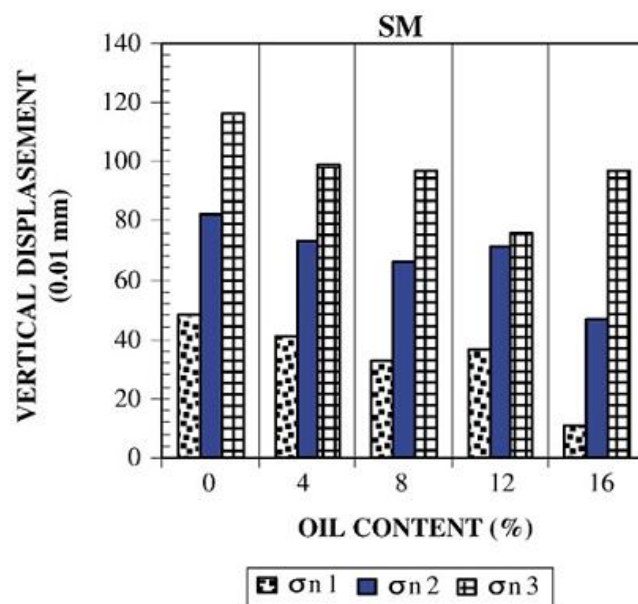


شکل ۲-۲۴- تاثیر درصد آلودگی بر چسبندگی در نمونه های مختلف

در رابطه با جابجایی عمودی می توان گفت که تا قبل از اعمال نیروی برشی ، با توجه به تاخیر ۳۰ دقیقه ای اعمال نیروی برشی در تمام نمونه ها ، شاهد افزایش این پارامتر با افزایش نیروی قائم بر روی نمونه ها هستیم. درصد نفت بر مقدار جابجایی عمودی تاثیر می گذارد به طوریکه با افزایش آلودگی در خاک CL شاهد کاهش جابجایی عمودی در آن هستیم. در حالیکه جابجایی عمودی رابطه ای عکس با درصد نفت در نمونه های SM دارد اما نرخ کاهش کمتر می باشد. ولی در رابطه با نمونه SM تا درصد آلودگی ۱۶٪ شاهد افزایش میزان جابجایی عمودی هستیم ولی این مقدار در ۱۶٪ کاهش یافته است و نشان دهنده عدم پیش بینی صحیح از روند این مقدار در تنش های بالاتر می باشد.



شکل ۲-۲۵- تاثیر درصد آلودگی بر جابجایی نسبی در نمونه CL

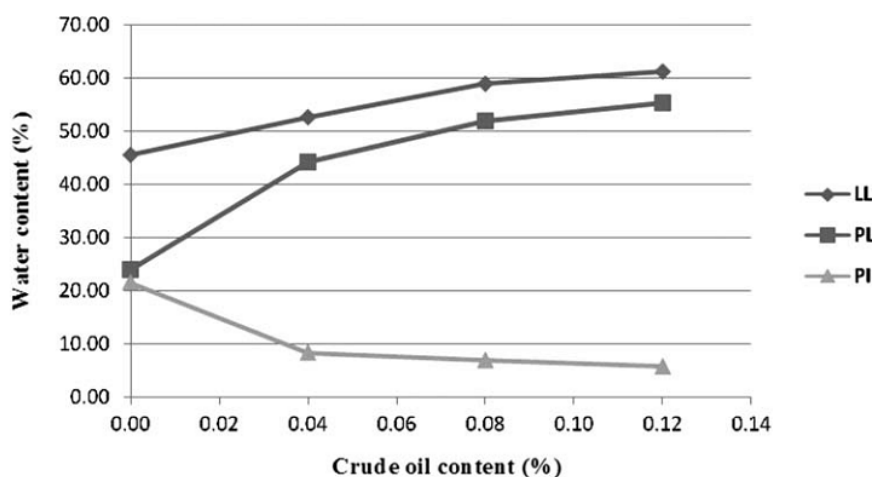


شکل ۲-۲۶- تاثیر درصد آلودگی بر جابجایی نسبی در نمونه SM

به طور کلی آلودگی نفت سبب کاهش نفوذپذیری و مقاومت تمام نمونه های خاک می شود. به هر حال تاثیر آلودگی نفت بر پارامتر های مقاومت برشی یکسان نیست و به نوع خاک بستگی دارد اما می توان گفت که میزان مقاومت برشی بیشینه در تمام نمونه های مطالعه شده کاهش می یابد. (Khamsehchiyan et al, 2006)

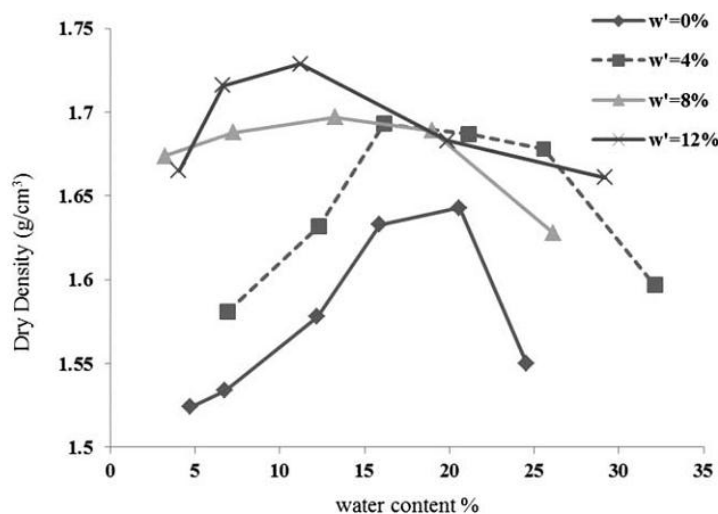
کرمانی و عبادی در یک مطالعه موردی بر روی خاک تهیه شده از محوطه سایت پالایشگاه نفت تهران ، آن را به نفت خام آلوده کرده و سپس برخی از خواص مکانیکی و مقاومتی آن را مورد بررسی قرار دادند. خاک مورد استفاده آنها شامل ۱٪ شن ، ۷٪ ماسه ، ۸۹٪ سیلت و ۳٪ رس بوده است. آنها ابتدا خاک را در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳ ساعت حرارت دادند تا مطوئن شوند که در آن هیچ نفت و ماده نفتی وجود ندارد. سپس خاک ها خرد شده تا تمام قسمت های چسبیده به هم و کلوخه شده از یکدیگر جدا شوند. سپس به این خاک به مقدار مناسب آب اضافه شده تا به درصد رطوبت دلخواه برای آزمایش برسند. سپس نفت اضافه شده و مخلوط نفت ، خاک و آب در میکسر به مدت ۱۰ دقیقه و به منظور همگن سازی ، مخلوط گردیده است. بعد از آن نمونه ها در ظروف پلاستیکی مقاوم به مدت یک هفته تا ۳ ماه در

دمای ۱۸ تا ۲۳ درجه سانتی گراد به منظور بررسی تاثیر گذشت زمان بر نمونه ها قرار داده شده اند. تست ها با درجات آلودگی ۰، ۴٪، ۸٪ و ۱۲٪ انجام شده است. نتایجی که در شکل ۲۷ آمده است بیان می کند که حد خمیری با افزایش میزان درصد آلودگی، یک افزایش محسوسی دارد. حد روانی با یک شیب آرام افزایش پیدا می کند و نشانه خمیری کاهش محسوسی دارد.



شکل ۲-۲۷- تاثیر درصد آلودگی بر حدود آتربرگ و شاخص خمیری

در تست تراکم از درصدهای آلودگی ۰، ۴٪، ۸٪ و ۱۲٪ استفاده شده است که با افزایش میزان آلودگی از ۰ تا ۱۲٪، دانسیته ماکزیمم خشک از ۱،۶۵ تا ۱،۷۳ $\frac{gr}{cm^3}$ افزایش و درصد رطوبت بهینه از ۱۹،۲٪ تا ۱۰،۱٪ کاهش می یابد. این نتایج می تواند مربوط به خاصیت روان کنندگی و روغن کاری نفت در جاییکه که ذرات رس یا گروه ذرات رس را می پوشاند، باشد. بنابراین تبدیل شکل منحنی تراکم از حالت زنگولیه ای اولیه برای حالت غیر آلوده به شکلی نامشخص برای حالت آلوده را قابل تفهیم است.



شکل ۲-۲۸- منحنی تراکم برای نمونه های دارای مقادیر مختلف آلودگی

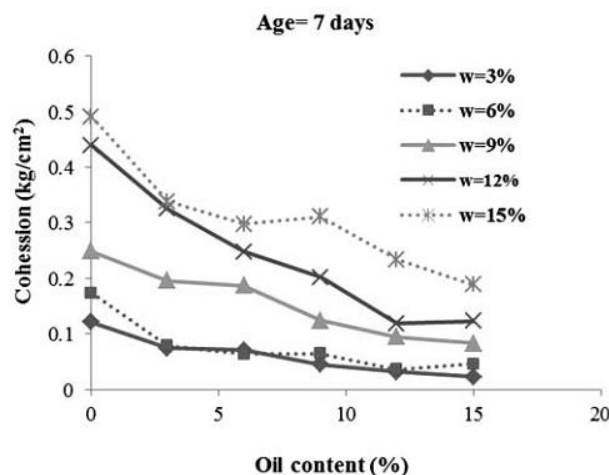
تست برش مستقیم توسط جعبه برش ۲ * ۱۰ * ۱۰ سانتی متر با نرخ برش ۱ میلیمتر بر دقیقه و تحت تنش های نرمال ۰٫۵ ، ۱ و ۱٫۵ $\frac{kg}{cm^2}$ انجام شده است. رطوبت نمونه ها به منظور اعمال تغییرات آب های زیر زمینی و تاثیر آن بر خاک بین ۳٪ تا ۱۵٪ متغیر بوده است. در این تست تاثیر آلودگی ، رطوبت و گذشت زمان بر مقاومت برشی خاک مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده به دو دسته کلی تقسیم شده اند :

۱ - تغییرات زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی نسبت به درصد آلودگی برای درصد رطوبت متفاوت در یک نمونه با استراحت زمانی خاص

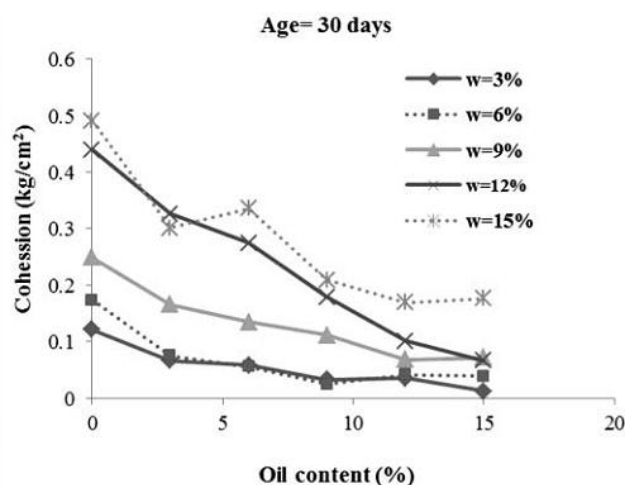
۲ - تغییرات زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی نسبت به گذشت زمان برای درصد آلودگی متفاوت در یک درصد رطوبت خاص

در اشکال ۲۹ تا ۳۱ میبینیم که برای یک نمونه با گذشت زمانی خاص ، کاهش در چسبندگی با افزایش میزان آلودگی اتفاق می افتد و با افزایش رطوبت شاهد افزایش چسبندگی هستیم. از آن جاییکه ذرات خاک توسط نفت پوشانده می شود ، سطح ویژه کاهش می یابد. بدین منظور ظرفیت تبادلی کاتیون ها در

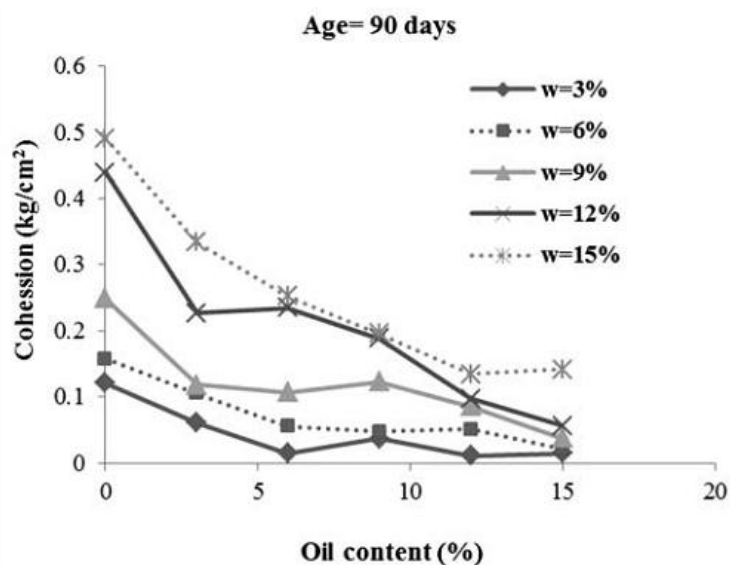
رس کاهش می یابد. کاهش در ظرفیت تبادلی کاتیون در خاک سبب کاهش در سطح ویژه می شود. کاهش در سطح ویژه موجب کاهش جذب سطحی مولکول آب توسط ذرات رس شده و کاهش در چسبندگی را نتیجه می دهد. با افزایش رطوبت مولکول های آب بیشتری به سطح ذرات رس نزدیک می شوند. ارتباط بیشتری بین ذرات معدنی رس و مولکول های آب برقرار می شود درحالیکه اتصالاتی بین این ذرات معدنی در حال برقراری است ، چسبندگی نیز افزایش می یابد. به هر حال با افزایش آلودگی تاثیر رطوبت بر چسبندگی کاهش می یابد.



شکل ۲-۲۹- منحنی تغییرات چسبندگی نسبت به درصد آلودگی در نمونه هایی با رطوبت متفاوت و پس از ۷ روز استراحت

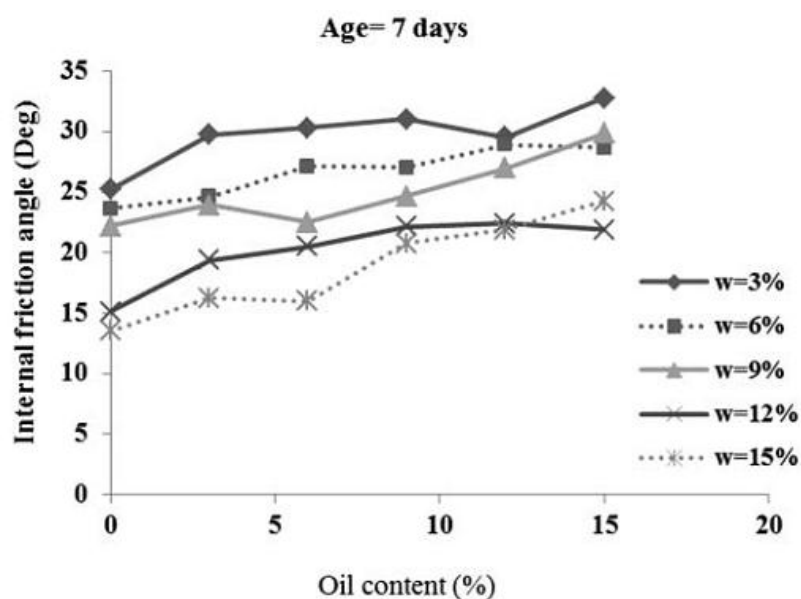


شکل ۲-۳۰- منحنی تغییرات چسبندگی نسبت به درصد آلودگی در نمونه هایی با رطوبت متفاوت و پس از ۳۰ روز استراحت

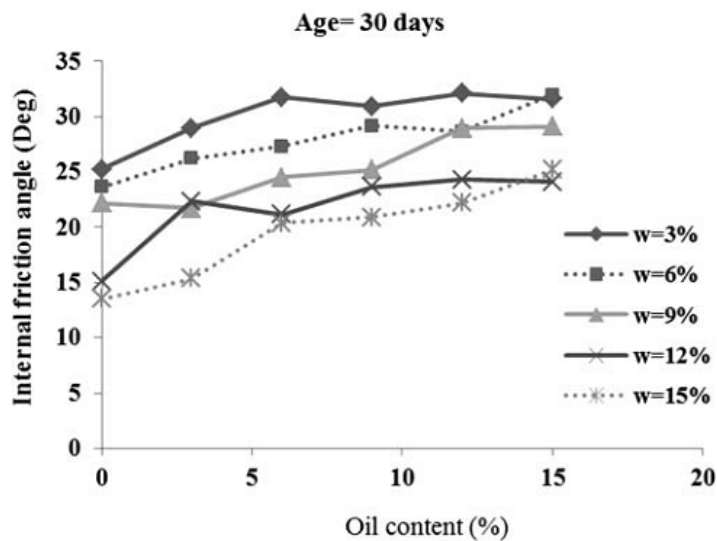


شکل ۲-۳۱- منحنی تغییرات چسبندگی نسبت به درصد آلودگی در نمونه هایی با رطوبت متفاوت و پس از ۹۰ روز استراحت

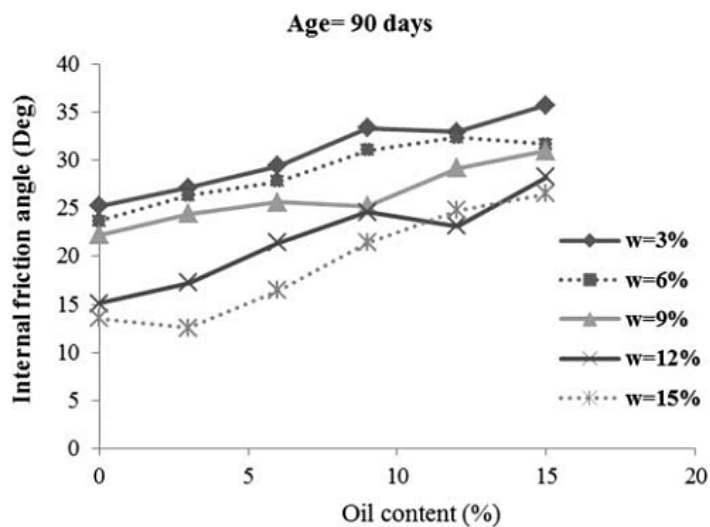
همانطور که در اشکال ۳۲ و ۳۳ و ۳۴ مشاهده میکنید برای یک نمونه با گذشت زمانی خاص ، افزایش در زاویه اصطکاک داخلی با افزایش در میزان آلودگی اتفاق می افتد. همچنین شاهد کاهش زاویه اصطکاک داخلی با افزایش میزان رطوبت هستیم.



شکل ۲-۳۲- منحنی تغییرات زاویه اصطکاک نسبت به درصد آلودگی در نمونه هایی با رطوبت متفاوت و پس از ۷ روز استراحت



شکل ۲-۳۳- منحنی تغییرات زاویه اصطکاک نسبت به درصد آلودگی در نمونه هایی با رطوبت متفاوت و پس از ۳۰ روز استراحت



شکل ۲-۳۴- منحنی تغییرات زاویه اصطکاک نسبت به درصد آلودگی در نمونه هایی با رطوبت متفاوت و پس از ۹۰ روز استراحت

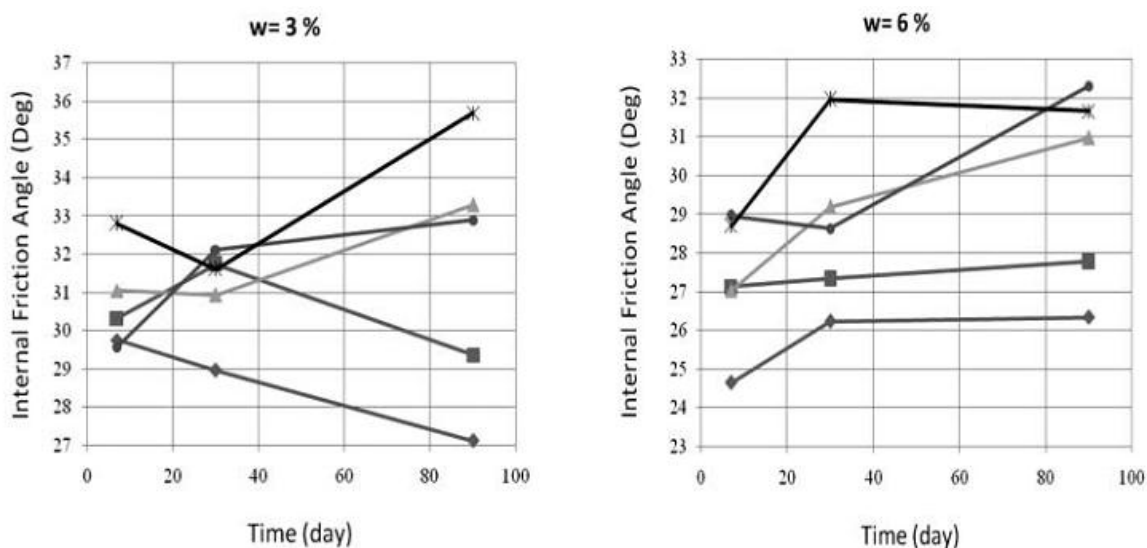
بر طبق این آزمایش با افزایش گذشت زمان شاهد کاهش چسبندگی هستیم اما نرخ کاهش با گذشت زمان کم می شود.

به علت اینکه تغییرات در چسبندگی به خاطر واکنش های شیمیایی می باشد ، با گذشت زمان ذرات رس بیشتری در معرض واکنش با نفت قرار می گیرند و در نتیجه چسبندگی کاهش می یابد. این رفتار ممکن است به رفتار کاتالیزوری آب در واکنش بین نفت و ذرات معدنی خاک مربوط شود.

شکل ۳۵ نشان می دهد که افزایش در گذشت زمان تاثیر خاصی بر زاویه اصطکاک در این نوع خاک ندارد. زیرا تغییرات در زاویه اصطکاک به علت عوامل فیزیکی مثل تراکم بهتر می باشد.

در کل می توان بیان کرد که از یک طرف ، به علت افزایش در زاویه اصطکاک داخلی و کاهش در چسبندگی اینگونه استنباط می شود که تحت تنش های نرمال بالا ، خاک های آلوده مقاومت بیشتری نسبت به خاک های بدون آلودگی دارند و از طرف دیگر ، به علت اینکه چسبندگی یک فاکتور مهم در پایداری می باشد ، عملیات حفاری و ایجاد ترانشه در خاک های آلوده پایداری کمتری دارد.

(Abadi and Kermani ,2012)



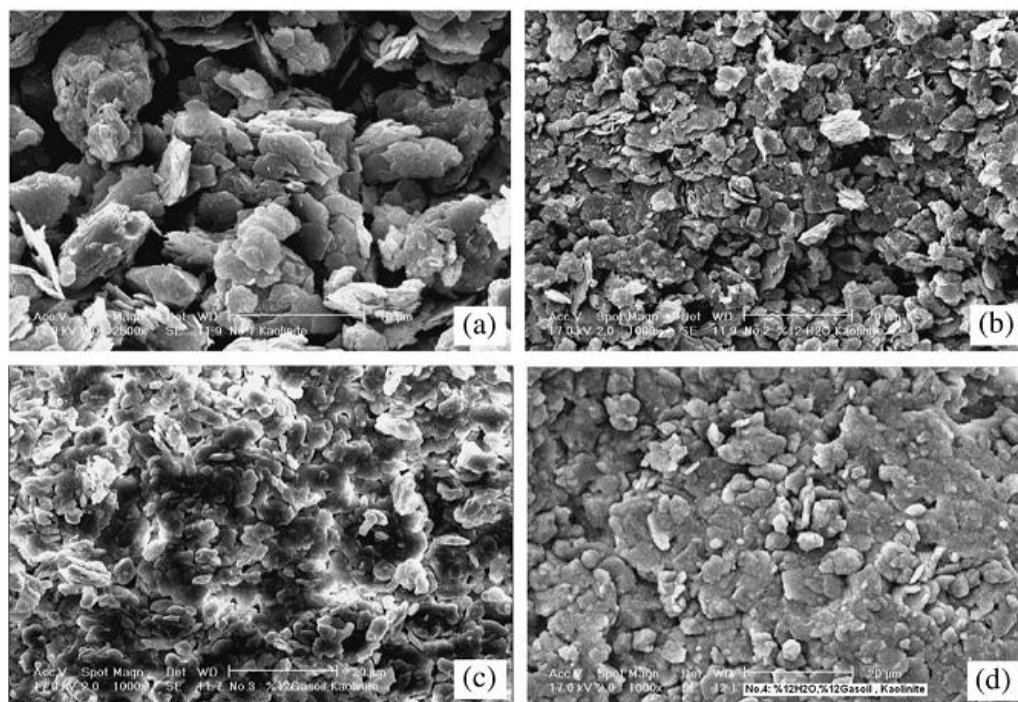
شکل ۳۵-۲- تاثیر گذشت زمان بر روی زاویه اصطکاک داخلی

در بررسی های صورت گرفته بر روی خاک رس ، خسروی با تحقیق بر روی کائولینیت که یکی از انواع این خاک است به بررسی تاثیر گازوئیل بر پارامتر های این خاک پرداخت. وی جهت آماده سازی نمونه ها

ابتدا کائولینیت را از الک #۴ عبور داد تا قسمت های درشت و کلوخه شده آن جدا گردد. سپس آن را به مدت ۲۴ ساعت در دمای ° ۱۰۵ قرار داد. وی مقادیر گازوئیل مصرفی را جهت آلوده کردن نمونه ها محاسبه کرده و سپس آن را بر روی خاک اسپری و به منظور همگن سازی به صورت دستی مخلوط می کند. مخلوط در یک ظرف پوشش دار گذاشته شده و به مدت ۷ روز در دمای ° ۳۰ در درون اون به منظور تعادل سازی مخلوط فوق نگهداری می شود. انتخاب این دما به علت نزدیکی به متوسط دمای محیط خاک در سایت های نفتی مد نظر بوده است. میزان تبخیر گازوئیل از نمونه توسط اندازه گیری روزانه تغییرات وزن نمونه ها ی آلوده شده اندازه گیری می شود. نتایج بیانگر تبخیر نسبتا بالا در هفته اول می باشد اما ادامه این روند کاهش می یابد تا هفته چهارم که متوقف می شود. در نهایت مشاهده می شود که کل گازوئیل تبخیر شده از نمونه ها کمتر از ۳٪ می باشد لذا به علت ناچیز بودن این مقدار از تاثیر تبخیر در روند محاسبات صرف نظر شده است.

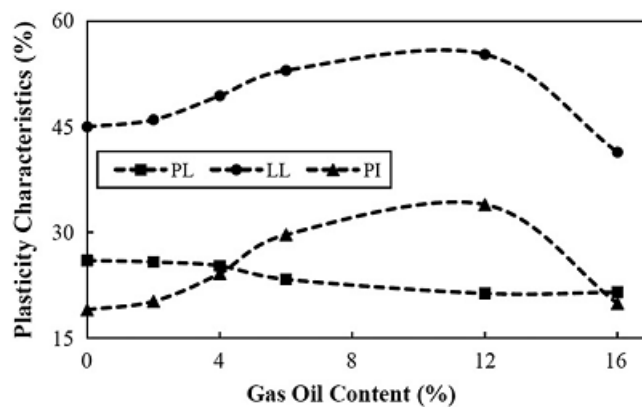
در ابتدا تست اسکن میکروسکوپ الکترونی به منظور مشاهده ریز ساختار ها و میکرواسکلت نمونه قبل و بعد از آلودگی نمونه مشاهده می شود. به طور کلی المان های لخته شده خاک دارای مقاومت بالاتر ، تراکم پذیری پایین تر و نفوذ پذیری بالاتر نسبت به المان های مشابه همان خاک که دارای تخلخل یکسانی هستند و پراکنده اند می باشند.

همان طور که در شکل ۳۶ نشان داده شده است ، a -نمونه های خاک کائولینیت پاک ، b -مخلوط با ۱۲٪ آب ، c -مخلوط با ۱۲٪ گازوئیل و d -مخلوط با ۱۲٪ آب و گازوئیل نشان داده شده است که همگی با یک میزان دقت و مقیاس میکروسکوپیکی نمایش داده شده است.



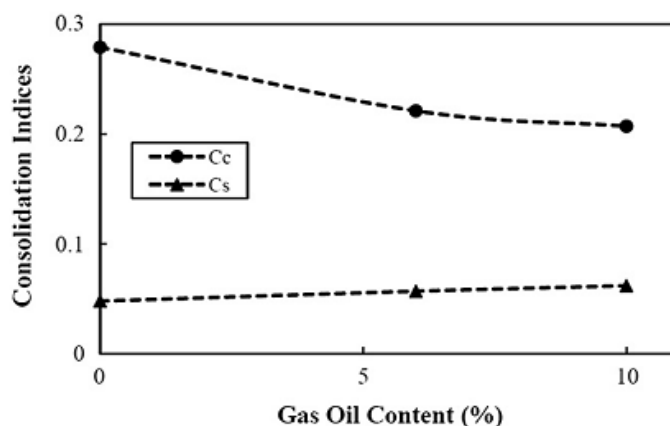
شکل ۲-۳۶- تصویر میکروسکوپیکی از خاک کائولینیت در حالات مختلف مخلوط با مواد

به منظور شناخت تغییرات خواص خمیری خاک مورد نظر نسبت به درصد های مختلف گازوئیل ، از شکل ۳۷ می توان فهمید که افزایش آلودگی تا ۱۲٪ سبب کاهش حد خمیری شده در حالی که حد روانی افزایش می یابد. بنابراین نشانه خمیری کائولینیت با افزایش میزان آلودگی افزایش می یابد در حالیکه با افزایش به بیش از ۱۲٪، این پارامتر کاهش می یابد.



شکل ۲-۳۷- خواص پلاستیسیته کائولینیت آلوده با مقادیر مختلف آلودگی

تست تحکیم به سبب شناخت خواص تحکیم پذیری کائولینیت پاک و آلوده در طی فرآیند بارگذاری و باربرداری یک بعدی می باشد. کاهش در شاخص فشردگی می تواند به دلیل استفاده از سطح انرژی موجود در فضای بین گازوئیل - آب باشد. این سطح انرژی یک کشش سطحی بزرگ در فضا را فراهم می کند که سبب می شود قطرات کوچکتر آب به هم متصل شوند و زهکشی آب را کاهش دهند. این به هم آمیختگی قطرات آب به خوبی در زمان تست تراکم قابل مشاهده است. نتایج نشان می دهد که شاخص فشردگی^۱ کاهش می یابد در حالیکه شاخص تورم^۲ تقریباً ثابت می ماند. مقایسه بین تصاویر میکروسکوپی کائولینیت با آب و با ترکیب آب و گازوئیل نشان می دهد که حفرات و فضای خالی بسیاری در نمونه ای که فقط با آب مخلوط شده است موجود می باشد که موجب نشست بیشتر و شاخص های تراکم بزرگتر می شود.



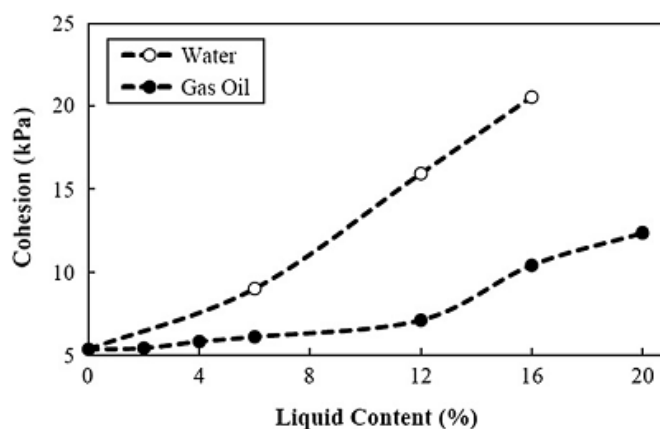
شکل ۲-۳۸- تاثیر درصد آلودگی بر خواص تحکیمی کائولینیت

مجموعه ای از تست های برش مستقیم بر روی نمونه های پاک و آلوده به درصد های ۰.۲٪، ۰.۶٪، ۱.۲٪، ۱۶٪ و ۲۰٪ با نرخ برش $1 \frac{mm}{min}$ انجام شده است. شکل ۳۹ نشان می دهد که نمونه های کائولینیت با درصد های بالاتر آلودگی چسبندگی بزرگتری نسبت به مقدار ۵.۳ KPa نمونه های پاک آن دارند. نرخ

^۱ CC

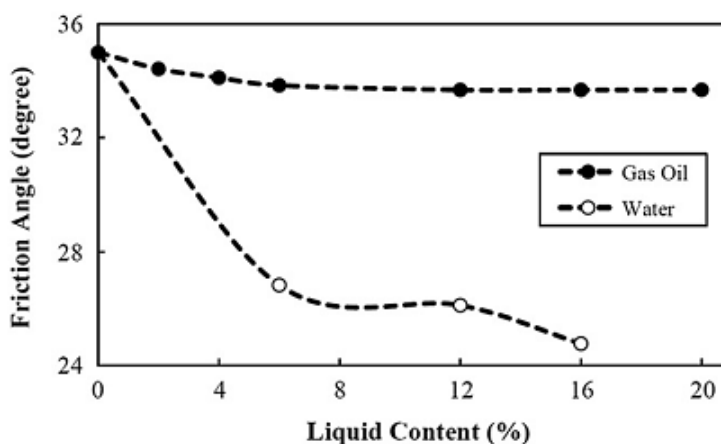
^۲ CS

افزایش با سرعت زیادی تا مقدار ۱۲٪ پیش می رود. سهم پیوند کوالانسی در نیروهای الکترواستاتیک بین ذرات رس توسط میزان چسبندگی رس در حضور آب محاسبه می شوند. چسبندگی رس با کاهش در مقدار ثابت دی الکتریک مایع مورد استفاده در خاک ، کاهش می یابد لذا شکل ۳۹ نمایش دهنده تاثیرات خاص پیوند کوالانسی بر چسبندگی رس است.



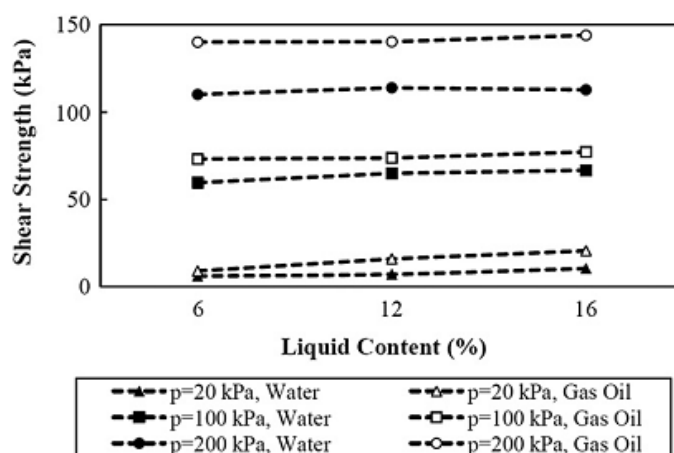
شکل ۲-۳۹- تاثیر درصد آلودگی بر میزان چسبندگی در کائولینیت

شکل ۴۰ بیانگر تاثیر گازوئیل و آب بر روی زاویه اصطکاک داخلی کائولینیت است. همان طور که میبینید با وجود اینکه آلودگی گازوئیل به مقدار مشخصی تغییر در مقدار زاویه اصطکاک به وجود نمی آورد اما افزایش مقدار اندکی آب سبب کاهش محسوس مقدار زاویه اصطکاک کائولینیت می شود. کاهش اندک زاویه اصطکاک در حضور گازوئیل می تواند به خاصیت روغن کاری گازوئیل بر سطوح کائولینیت مربوط باشد.



شکل ۲-۴۰- تاثیر درصد آلودگی و رطوبت بر زاویه اصطکاک کائولینیت

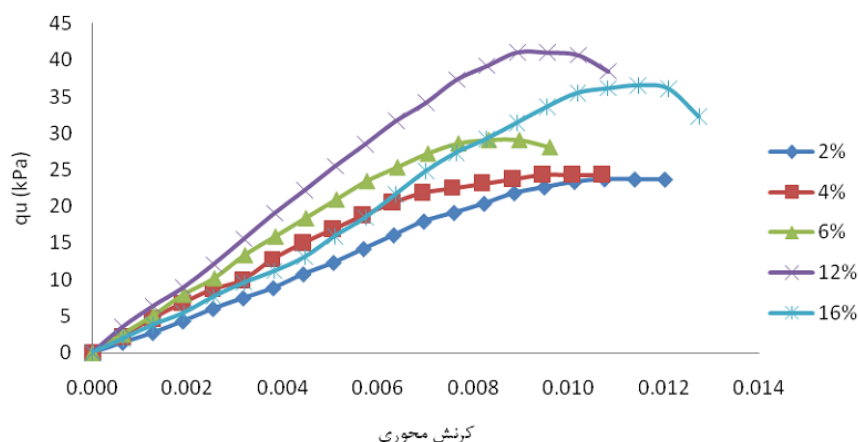
مقاومت برشی این خاک بر اساس معیار موهر-کولمب در شکل ۴۱ نشان داده شده است. این منحنی نشان می دهد که مقاومت برشی کائولینیت به طور مشخص متاثر از آب یا گازوئیل در میزان دامنه مقدار مطالعه شده نیست. همچنین نشان می دهد که نمونه های آلوده شده با گازوئیل دارای مقاومت برشی بزرگتری در مقایسه با نمونه مخلوط شده با آب و با همان درصد هستند. تفاوت بین مقاومت برشی نمونه ها با مقدار تنش عمودی اعمال شده افزایش می یابد. (Khosravi, 2013)



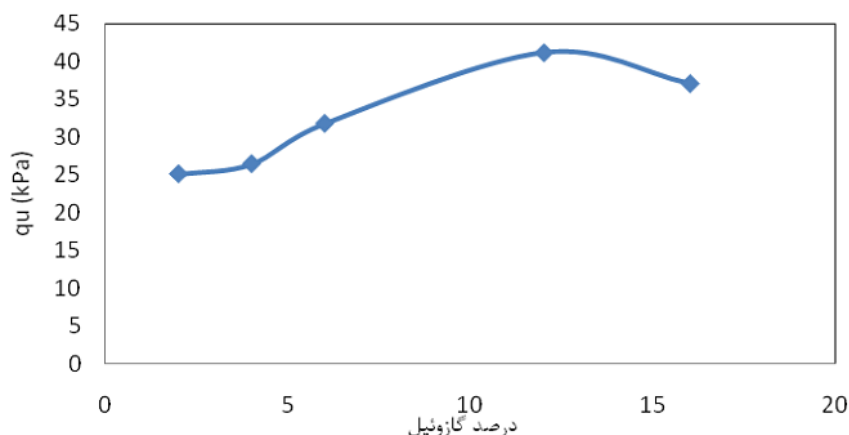
شکل ۲-۴۱- تاثیر درصد آلودگی و رطوبت بر مقاومت برشی کائولینیت

در پژوهشی دیگر ، خاک کائولینیت آلوده به گازوئیل تحت آزمون تک محوری قرار داده شد و اثر آن بر مقاومت فشاری محدود نشده این خاک مورد بررسی قرار گرفت. طبقه بندی خاک و روند آماده سازی

نمونه ها همانند تحقیق پیشین می باشد. از لحاظ تئوری نتیجه ی این آزمایش باید مشابه آزمایش سه محوری تحکیم نیافته زهکشی نشده باشد، اما از آنجا که نمونه در این آزمایش از اطراف حمایت نمی شود مقاومت کمتری از خود نشان می دهد. در حالت کلی این آزمایش برای بررسی مقاومت کوتاه مدت خاک، مناسب است چرا که در مدت زمان کوتاه، خاک امکان تحکیم یافتن و زهکشی شدن را نمی یابد. این آزمایش تنها برای خاک های چسبنده کاربرد دارد چرا که تهیه ی نمونه از خاک های غیرچسبنده برای این آزمایش ممکن نیست. این آزمایش از جهاتی نسبت به آزمایش برش مستقیم دارای برتری است. تنش و کرنش در این آزمایش به شکل یکنواخت تری توزیع می گردد. علاوه بر این سطح شکست برخلاف آزمایش برش مستقیم که در حد فاصل قسمت بالایی و قسمت پایینی جعبه می باشد، اجباری نیست و شکست در ضعیف ترین سطح رخ می دهد. همان گونه که در شکل ۴۳ مشخص است مقاومت فشاری محدود نشده ی خاک کائولینیت با افزایش میزان گازوئیل تا درصد معینی، افزایش می یابد و پس از آن با افزایش بیشتر گازوئیل، کاهش می یابد. شکل ۴۲ نیز این قضیه را تایید می کند. در صورتی که کرنش مشخصی در روی این نمودار در نظر گرفته شود دیده می شود که تنش متناظر آن، با افزایش میزان گازوئیل تا ۱۲ درصد افزایش و پس از آن کاهش می یابد.

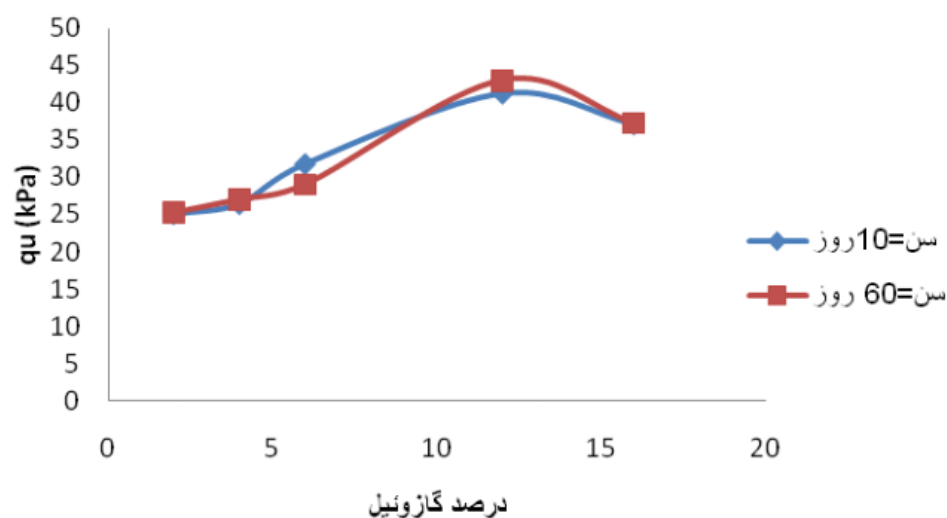


شکل ۲-۴۲- نمودار مقاومت فشاری محدود نشده در مقابل کرنش محوری برای نمونه های با درصد های گازوئیل متفاوت



شکل ۲-۴۳- اثر گازوئیل بر مقاومت فشاری محدود نشده

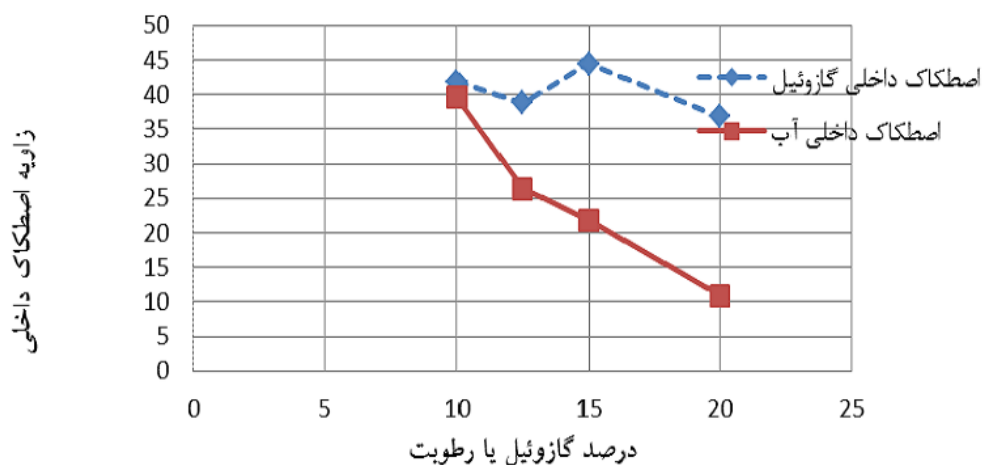
مدول الاستیسیته خاک رابطه ی مستقیمی با مقاومت برشی زهکشی نشده (S_u) دارد و مقاومت برشی زهکشی نشده تقریباً برابر نصف مقاومت فشاری محدود نشده است لذا می توان نتیجه گیری کرد که مدول الاستیسیته خاک به دلیل افزایش مقاومت فشاری محدود نشده با افزایش میزان گازوئیل تا ۱۲ درصد افزایش یابد و پس از آن با افزایش میزان گازوئیل کاهش می یابد. به عبارتی با افزودن آلاینده گازوئیل به خاک تا درصد معینی، خاک سخت تر می گردد، این بدین معناست که تحت بار یکسان نمونه ی با درصد گازوئیل بیشتر کرنش کمتری از خود نشان می دهد. برای بررسی اثر زمان بر ویژگی های مقاومتی خاک، نمونه هایی آماده شده و به مدت ۲ ماه به مانند بقیه نمونه ها در اون نگهداری شده و سپس مورد آزمایش تک محوری قرار گرفته است. در شکل ۴۴، نتایج این آزمایشات به همراه نتایج آزمایشات مربوط به نمونه های ۱۰ روزه آورده شده است. مقدار q_u برای نمونه های مشابه با سن متفاوت بسیار به یکدیگر نزدیک می باشد. تنها فرآیند محتمل بین رس و گازوئیل جذب می باشد، لذا گذر زمان نمی تواند اثری بر رفتار خاک داشته باشد. (قدردان و همکاران)



شکل ۲-۴۴- اثر زمان بر مقاومت تک محوری

رجائی و همکاران نیز در یک بررسی موردی بر روی خاک منطقه شیروان ، تاثیرات آلودگی گازوئیل را بر روی خصوصیات ژئومکانیکی خاک رس منطقه مورد تحقیق قرار دادند. خاک موجود در محدوده رس لاغر CL قرار دارد. گازوئیل با درصد های ۱۰٪ ، ۱۲٫۵٪ ، ۱۵٪ و ۲۰٪ به نمونه ها اضافه شده و برای جلوگیری از دست رفتن بخارات گازوئیل به مدت ۴۸ ساعت در محیط کاملاً عایق نگهداری شد و سپس آزمایش ها در دمای ۲۳ درجه سانتیگراد انجام گرفتند. ابعاد جعبه برش ۶۰×۶۰×۳۶ میلی متر، تنش های نرمال (σ_n) ۰/۵ و ۱ و $1/5 \text{ kg/cm}^2$ و سرعت برش نمونه ها 1 mm/min می باشد. با توجه به اشکال ۴۵ و ۴۶ می توان گفت در حالت کلی با افزایش درصد رطوبت در نمونه های طبیعی مقادیر چسبندگی و زوایه اصطکاک داخلی خاک کاهش می یابد. در شکل ۴۵ با افزایش درصد آلودگی به گازوئیل زوایه اصطکاک داخلی نیز کاهش می یابد. در صورت وجود گازوئیل ذرات باردار توسط گازوئیل پوشیده می شوند و به دنبال آن زوایه اصطکاک داخلی کاهش می یابد. برای مقادیر چسبندگی نیز که در شکل ۴۶ نشان داده شده است اگرچه به طور کلی با افزایش درصد آلودگی مقادیر چسبندگی نیز افزایش می یابد اما همین تغییرات، روند کاملاً متفاوتی را نشان می دهد به طوریکه با افزایش درصد رطوبت و گازوئیل تفاوت در میزان زوایه اصطکاک داخلی بیشتر و برای چسبندگی کمتر می شود. ذکر این نکته بسیار

ضروری است که با تغییرات درصد آلودگی، تغییرات چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی رفتارهای غیر یکنواختی را نشان می دهد. بدین معنا که در ۱۵٪ زاویه اصطکاک داخلی به یکباره زیاد شده و چسبندگی نیز به یکباره کاهش می یابد. به نظر می رسد که در تغییرات این پارامترها در شرایط آلوده نباید به سادگی روند یکنواخت صعودی یا نزولی را در نظر گرفت و حتی می توان از یک نقطه بهینه (optimum) نیز در خصوصیات خاک آلوده نام برد که البته این مورد نیاز به آزمون های بیشتری دارد. (رجائی و همکاران)

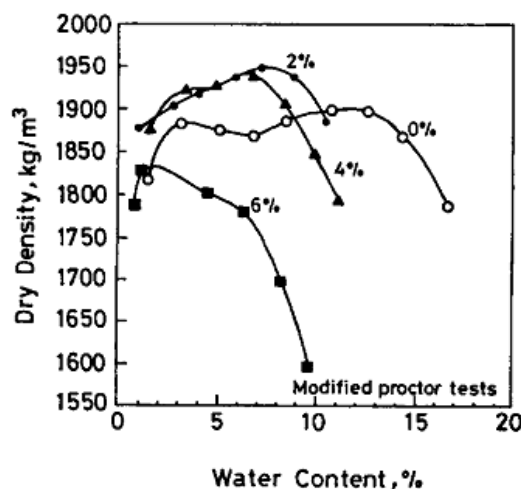


شکل ۲-۴۵- مقایسه تغییرات زاویه اصطکاک داخلی در درصد های مختلف آب و گازوئیل



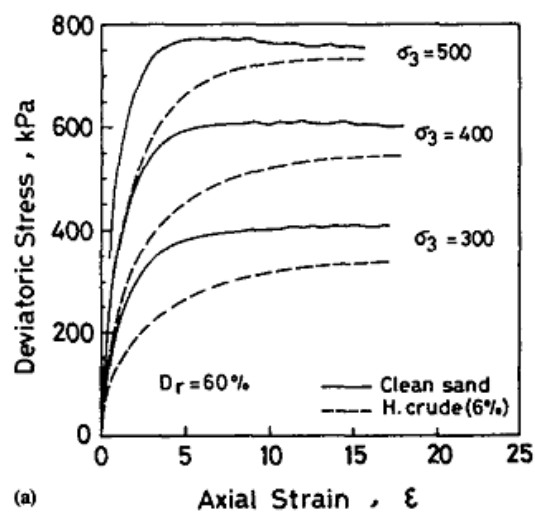
شکل ۲-۴۶- مقایسه تغییرات در درصد های مختلف آب و گازوئیل

در جریان جنگ خلیج فارس ، مقادیر بسیار زیادی ماسه توسط نفت در اثر انفجار سایت های نفتی و آسیب دیدگی مخازن آلوده شد که Alsanad بر روی خواص این ماسه ها تحقیق کرد. نوع خاک مورد تحقیق SP بوده و در آن از تاثیر ۴ نوع ماده نفتی و از مشتقات نفت خام که شامل بنزن ، نفت خام سنگین ، نفت خام سبک و نفت گاز می باشد استفاده شده است. تست پروکتور اصلاح شده بر روی خاک مورد نظر با درصد های ۰.۲ ، ۰.۴ و ۰.۶ با نفت خام سنگین زده شد. در منحنی دانسیته خشک نسبت به درصد رطوبت ، دانسیته بیشینه خشک در درصد رطوبت بهینه ۱۲٪ بدست آمده است. در حضور آلودگی بالاتر از ۰.۴٪ شاهد بهبود خواص تراکمی بدست آمده به علت خاصیت روغن کاری نفت هستیم که سبب تسهیل تراکم و کاهش مقدار آب مورد نیاز جهت رسیدن به دانسیته ماکزیمم می شود. با این حال در مقدار ۰.۶٪ آلودگی ، منحنی به صورت جدا و غیر مشابه با خواص تراکمی پایین تر می باشد.

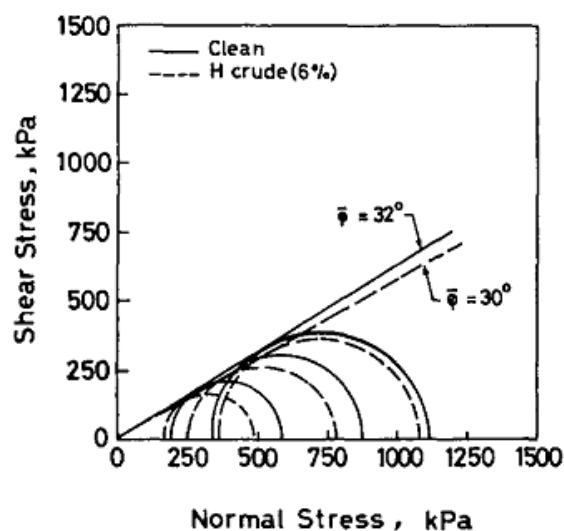


شکل ۲-۴۷- منحنی تراکم برای نمونه های دارای مقادیر مختلف آلودگی

دو سری تست تحکیم یافته زهکشی نشده آزمون سه محوری با قابلیت اندازه گیری فشار منفذی بر ۱- خاک پاک و ۲- خاک آلوده با مخلوط ۰.۶٪ نفت خام سنگین انجام پذیرفته است. نمودار تنش کرنش در شکل ۴۸ و شکست دو خاک در شکل ۴۹ نمایش داده شده است.



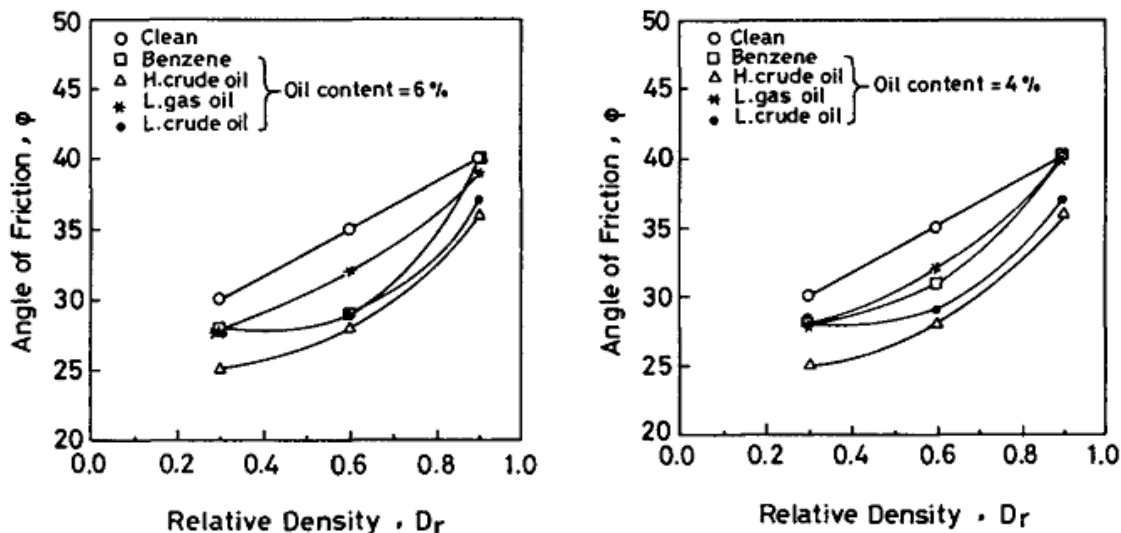
شکل ۲-۴۸- منحنی تنش- کرنش محوری در تست سه محوری تحکیم یافته زهکشی نشده



شکل ۲-۴۹- منحنی پوش گسیختگی در نمونه های آلوده و غیر آلوده

این منحنی ها نشان دهنده آن است که چسبندگی در دو خاک صفر و زاویه اصطکاک خاک پاک ۳۲ و خاک آلوده ۳۰ می باشد و به معنای کاهش میزان زاویه بر اثر آلودگی است. منحنی تنش - کرنش نشان دهنده یک واکنش نرم و منعطف برای خاک های آلوده می باشد. بر خلاف خاک پاک ، در خاک آلوده هیچ میزان مقاومت بیشینه ای در سطوح فشار همه جانبه مشاهده نشده است.

در تست برش مستقیم تست ها با دانسیته های ۰.۳۰ ، ۰.۶۰ و ۰.۹۰ درصد آلودگی ۰.۲ ، ۰.۴ و ۰.۶ و با هر ۴ نوع ماده نفتی و در جعبه های ۲ * ۱۰ * ۱۰ سانتی متر انجام شده است.

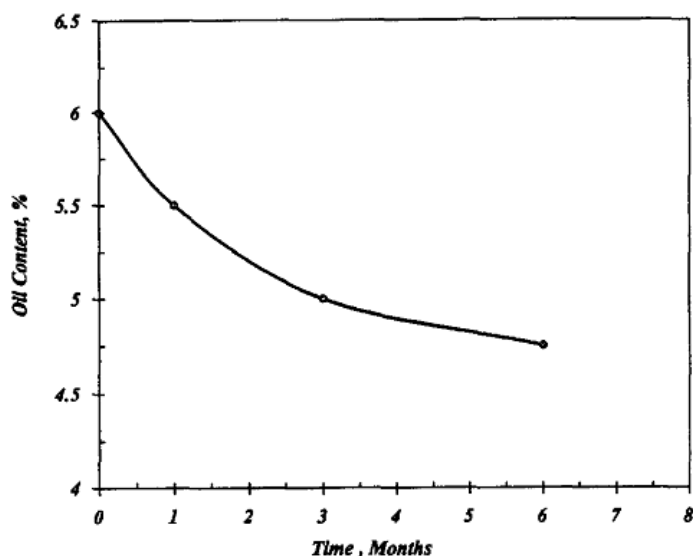


شکل ۲-۵۰- رابطه بین دانسیته نسبی با زاویه اصطکاک در نمونه های آلوده و غیر آلوده

شکل ۵۰ نشانگر رابطه بین زاویه اصطکاک و دانسیته نسبی بر ماسه پاک ، مخلوط با نفت خام سنگین و مخلوط با نفت خام سبک با درصد های مختلف آلودگی می باشد. واضح است که بیشینه کاهش زاویه اصطکاک با نفت خام سنگین و میزان ۵° - ۷° می باشد. این از مقدار مشاهده شده در آزمون سه محوری تجاوز می کند. علاوه بر این تاثیر آلودگی بر زاویه اصطکاک بسیار ناچیز و اندک مشاهده می شود. این اشکال بیانگر نوسان رفتار زاویه اصطکاک با دانسیته نسبی برای انواع نفت مورد استفاده و خاک پاک می باشد. با آلودگی نفت زاویه اصطکاک عموماً کاهش می یابد که بیشترین کاهش در آلودگی با نفت خام سنگین مشاهده میشود. این کاهش در تمام دانسیته های استفاده شده از خیلی سست تا خیلی متراکم قابل ذکر است. (Al-Sanad et al , 1995)

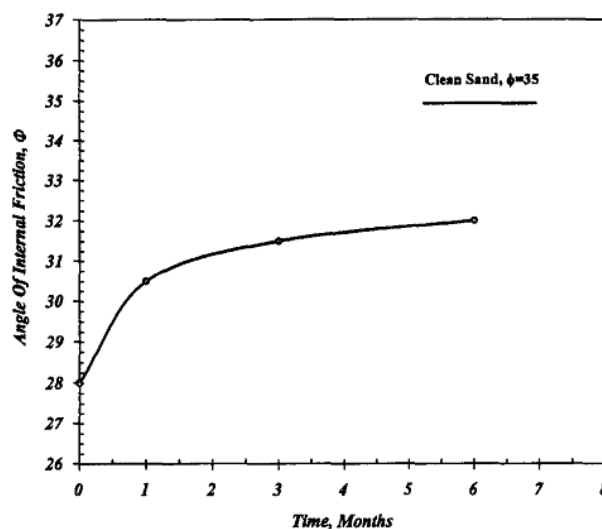
وی برای بررسی عامل گذشت زمان ، خاک آلوده شده را از عمق یک متری زمین و به فواصل زمانی مشخص گرفت و مورد آزمایش قرار داد. بر اثر گذشت زمان یک کاهش محسوس ۱٪ در میزان نفت در ۳

ماهه اول رخ می دهد که این تغییرات بر اثر تبخیر مواد فرار و سبک با گذشت زمان به خصوص در ماه های تابستانی می باشد.



شکل ۲-۵۱- تغییرات درصد آلودگی نسبت به زمان در نمونه آلوده

در طی تست برش مستقیم انجام شده ، مقدار زاویه اصطکاک بر روی خاک پاک ۳۵ است در حالیکه بلافاصله پس از آلودگی این میزان ۲۸ می شود. با گذشت زمان پس از ۶ ماه این مقدار به ۳۲ افزایش می یابد. به هیچ چسبندگی قابل اندازه گیری طی آلودگی یا گذشت زمان برخورد نشده است. در مورد میزان مقاومت شاهد افزایش ۱۷,۵٪ پس از ۶ ماه بودیم ولی با وجود گذشت زمان میزان مقاومت هنوز ۱۱٪ از ماسه پاک پایین تر بود. (Al-Sanad et al, 1997)

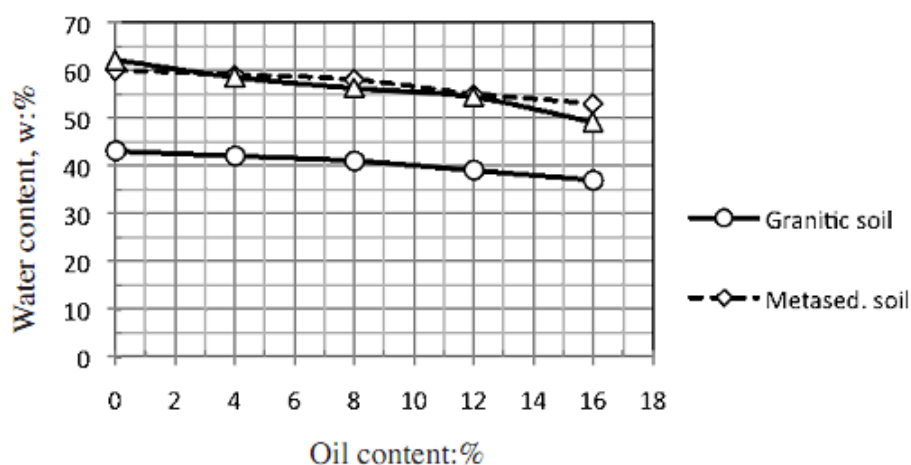


شکل ۲-۵۲- تغییرات زاویه اصطکاک نسبت به گذشت زمان در نمونه آلوده

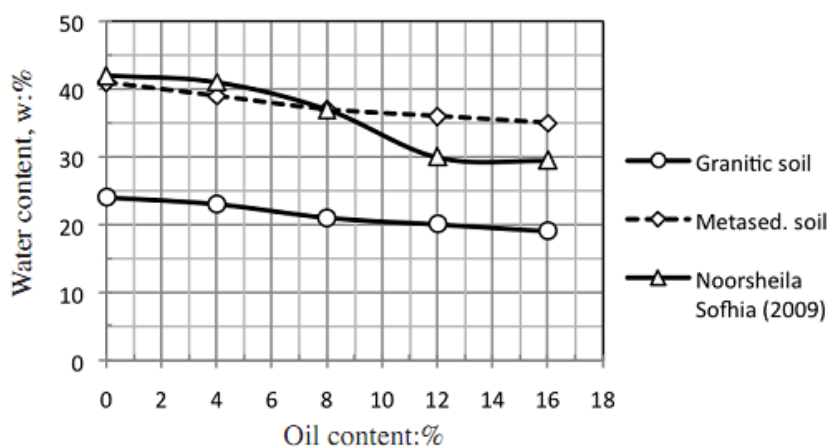
Rahman خاک مانده از دو سنگ گرانیتی و رسوبی را پس از تعیین خواص فیزیکی خاک شامل توزیع دانه بندی ، چگالی مخصوص و انکسار امواج X^1 با درصد ۰.۴ ، ۰.۸ ، ۰.۱۲ و ۰.۱۶ آلوده کرده و برخی خواص از جمله حدود آتربرگ ، تراکم و مقاومت برشی در حالت تحکیم نیافته زهکشی نشده را مورد مطالعه قرار داد.

خاک مانده از سنگ گرانیتی دارای ۳۸٪ ماسه ، ۳۳٪ سیلت و ۴٪ رس و شامل کوارتز ، کائولینیت و گیبسیت بوده در حالیکه خاک مانده از سنگ رسوبی دارای ۴۰٪ ماسه ، ۴۳٪ سیلت و ۲۹٪ رس و شامل کوارتز و کائولینیت بوده است. نتایج بدست آمده درمورد حدود آتربرگ در شکل ۵۳ و ۵۴ آمده است. مواد هیدروکربنی اضافه شده به وضوح بر روی خواص مهندسی خاک های آلوده تاثیر می گذارد. افزایش در میزان هیدروکربن های خاک سبب کاهش در میزان رطوبت حد روانی و حد خمیری می شود. برای خاک های گرانیتی میزان رطوبت حد روانی و حد خمیری همیشه کمتر از خاک های رسوبی می باشد. مقدار بالای حد روانی برای خاک های رسوبی بیانگر این است که این خاک ها دارای قابلیت جذب آب بیشتری در مقایسه با خاک گرانیتی هستند.

¹ XRD

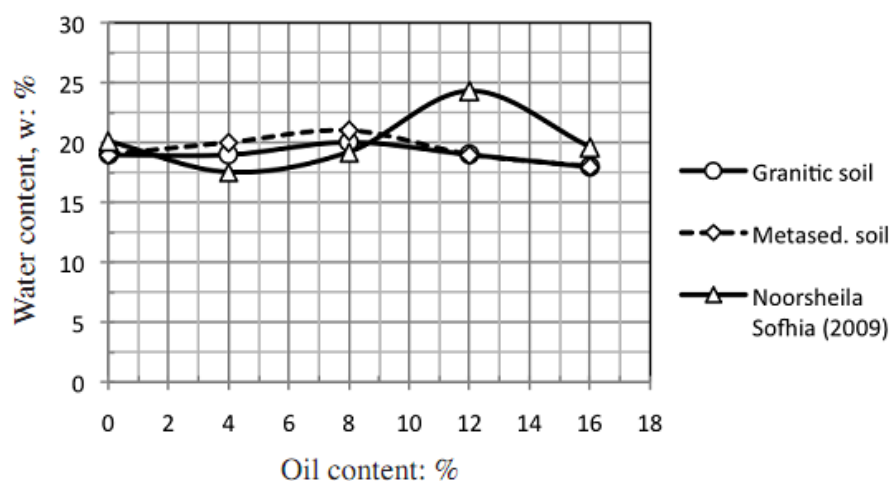


شکل ۲-۵۳- نتایج حاصل از حد روانی بر نمونه های رسوبی و گرانیتی



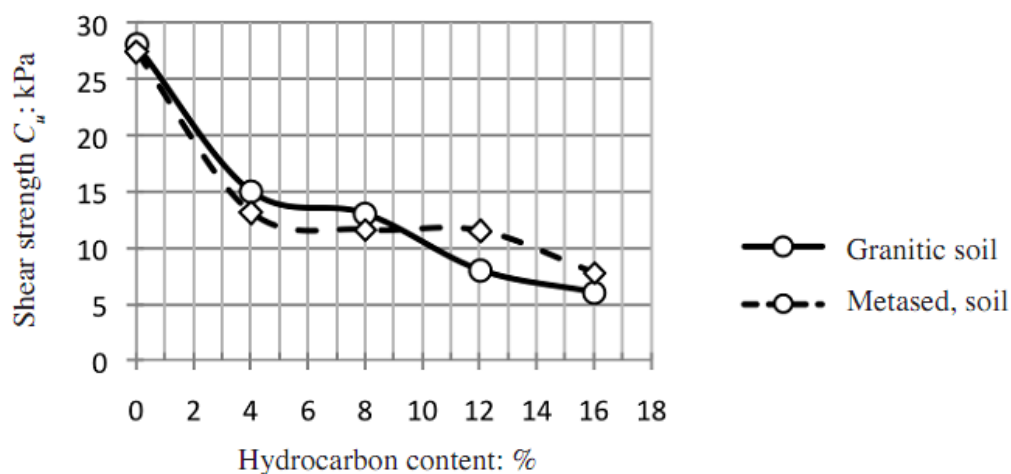
شکل ۲-۵۴- نتایج حاصل از حد خمیری بر نمونه های رسوبی و گرانیتی

نشانه خمیری در مقایسه با درصد آلودگی هر دو خاک در شکل ۵۵ آمده است. افزایش میزان هیدروکربن در هر دو خاک تغییر محسوسی در مقدار شاخص خمیری به وجود نمی آورد. به روشنی می توان فهمید که افزایش میزان هیدروکربن ، رفتار خاک را به قسمت سمت چپ نمودار پلاستیسیته هدایت می کند و کاهش در میزان رطوبت حد روانی را برای هر دو خاک سبب می شود. خاک گرانیتی در قسمت CL و خاک رسوبی در قسمت MH نمودار است.



شکل ۵۵-۲- تغییرات شاخص خمیری در خاک های رسوبی و گرانیتی

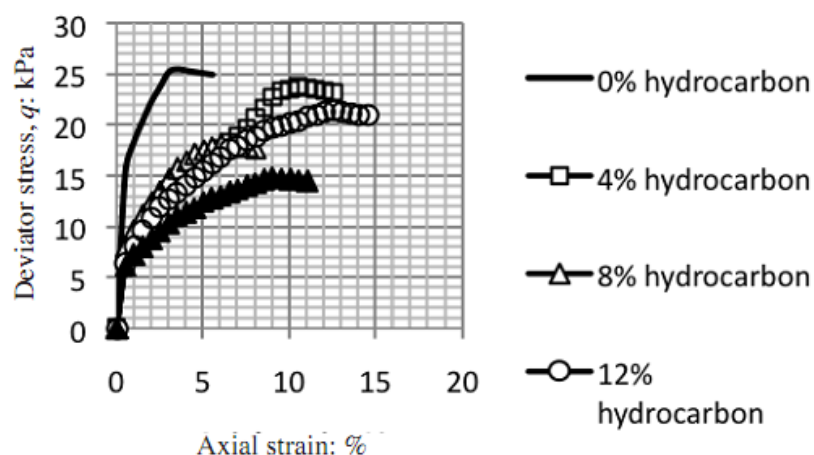
تست سه محوری بر اساس شرایط تحکیم نیافته زهکشی نشده انجام پذیرفته و برش تا زمان رسیدن به ۲۰٪ کرنش موجود انجام شده است. شکل ۵۶ میزان مقاومت برشی را بر اساس معیار موهر-کولمب نشان می دهد که نشانگر کاهش میزان مقاومت با افزایش درصد آلودگی است.



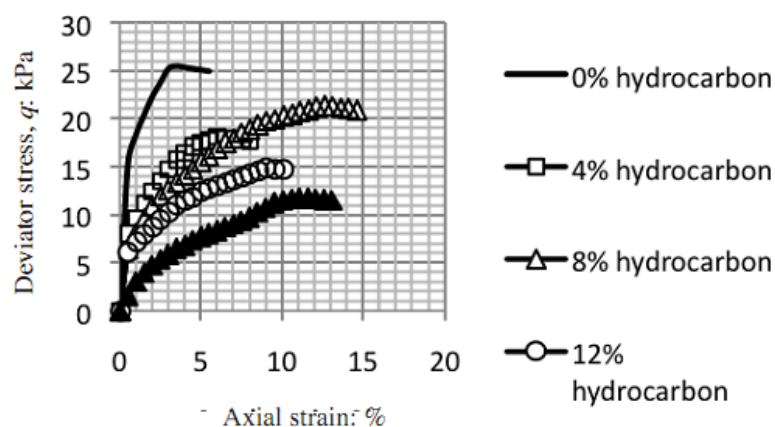
شکل ۵۶-۲- تغییرات مقاومت برشی نسبت به میزان آلودگی

در شکل ۵۷ که نشانگر منحنی تنش - کرنش در خاک رسوبی و شکل ۵۸ مربوط به خاک گرانیتی می باشد، نتایج بیانگر آن است که خاک بدون آلودگی تنش بزرگتری را تحمل می کند. کاهش در تنش برشی بر اثر افزایش در ویسکوزیته نفت و از این رو کاهش در زاویه اصطکاک ذرات خاک است. اختلاف

مربوط به این دو خاک می تواند به علت متفاوت بودن سائز ذرات و درصد مواد معدنی موجود در هر نوع خاک باشد. تفاوت در سائز ذرات سبب تاثیر بر همگن سازی نمونه و در نتیجه میزان زاویه اصطکاک بین ذرات خاک شود. (Rahman et al, 2011)



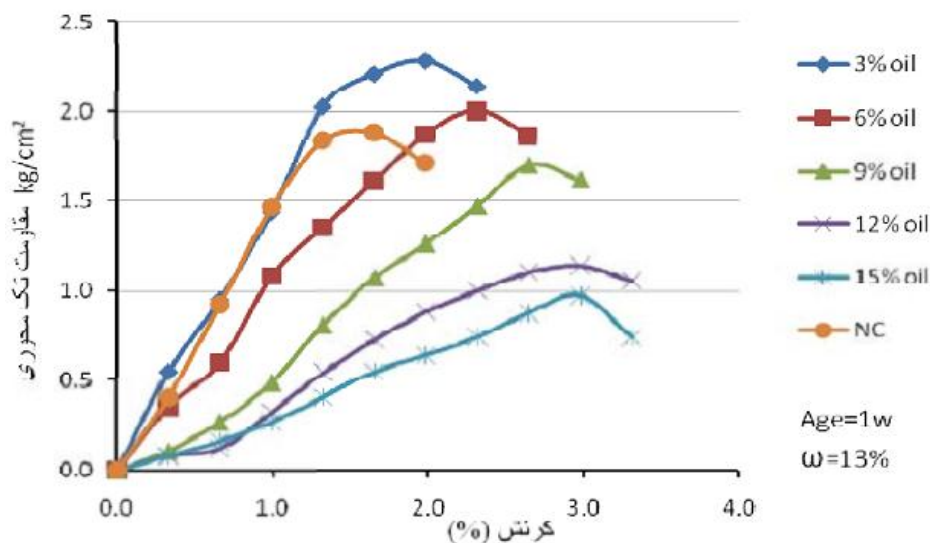
شکل ۲-۵۷- رابطه بین مقاومت برشی و کرنش محوری در خاک رسوبی



شکل ۲-۵۸- رابطه بین مقاومت برشی و کرنش محوری در خاک گرانیتی

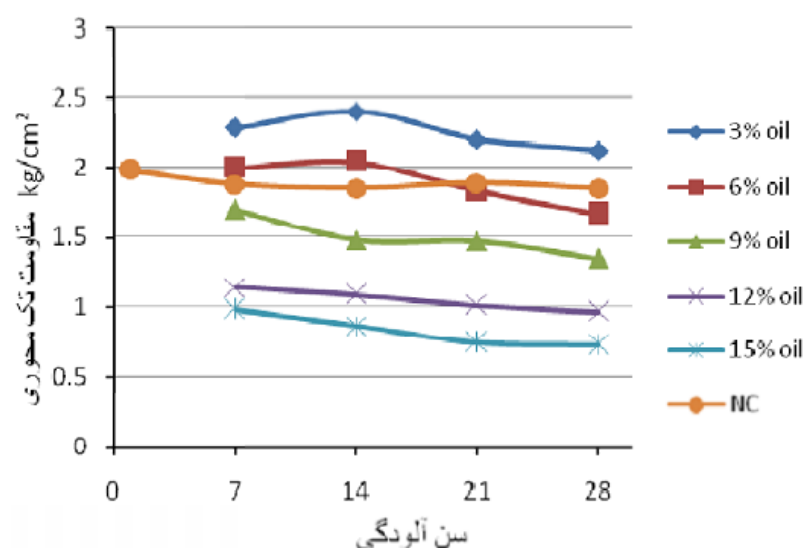
جعفری و همکاران خاک اطراف پالایشگاه تهران را به نفت خام آلوده کرده و پارامترهای مقاومتی آن را بر پایه آزمایش های مقاومت تک محوری و برش مستقیم مورد مطالعه قرار دادند. خاکی که آنها تهیه کردند از عمق یک متری حاشیه پالایشگاه بوده که پس از انجام تست های اولیه شناسایی به نوع CL

طبقه بندی شده است. نمونه ها ابتدا به مدت ۲۴ ساعت درون اون قرار داده شده است تا رطوبت خاک به حداقل رسیده و کلوخه بودن و نحوه قرار گیری ذرات تصحیح گردد. سپس نمونه ها به سرعت با آب مقطر به رطوبت دلخواه رسیده و در بسته بندی پلاستیکی به منظور همگن سازی رطوبت و خاک به مدت ۲۴ ساعت نگهداری می شود. نفت خام تحویلی از پالایشگاه تهران با درصد های ۰ ، ۳ ، ۶ ، ۹ ، ۱۲ ، و ۱۵٪ بر طبق وزن خاک خشک به نمونه ها اضافه گردیده و به مدت ۱ هفته تا ۱ ماه در بسته بندی های چند لایه قرار داده شده است. در آزمایشات مقاومت تک محوری پس از بررسی بر روی درصد های متفاوت رطوبت ، در نهایت رطوبت ۱۳٪ با توجه به نتایج مقاومت تک محور و مشاهده شکل ترک شکست مورد انتخاب قرار گرفته است. در نمونه های آلوده ، این آزمایش در یک پروسه یک ماهه و در درصد های مختلف آلودگی انجام پذیرفته است. همان طور که در شکل ۵۹ مشاهده می کنید تأثیر میزان نفت خام مخلوط شده در نمونه ها در هفته های ابتدایی تا حدود مقادیر ۳٪ و ۶٪، رفتار منظمی از منظر تغییرات نداشته و کاهش مقاومت تک محوری در تمام سنین آلودگی به طور محسوس در مقادیر ۹ و ۱۲ و ۱۵ درصدی اتفاق می افتد.



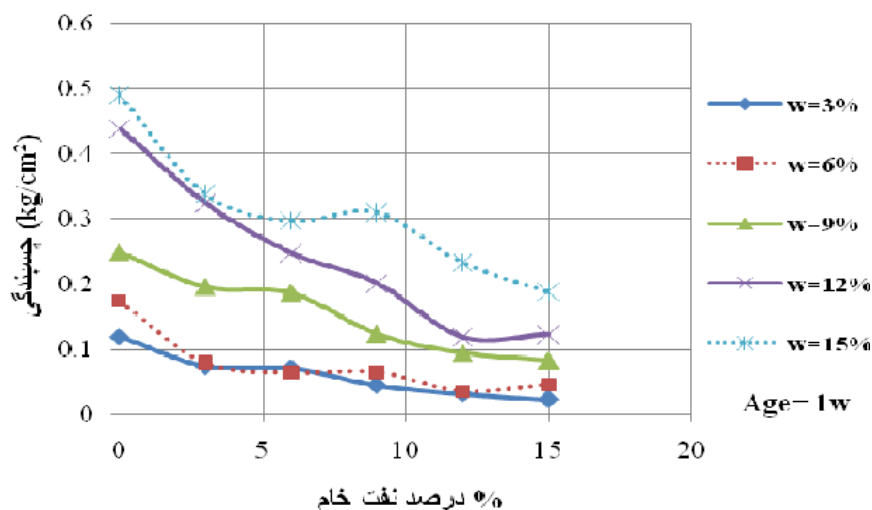
شکل ۵۹-۲- تأثیر میزان نفت خام بر مقاومت تک محوری

نتایج منحنی سن آلودگی- مقاومت تک محوری در شکل ۶۰ نشان می دهد که در صورت ماندگاری آلودگی در خاک های ریزدانه و برقراری تعادل ، حضور ۳٪ نفت موجب افزایش مقاومت خاک می شود و از طرفی دیگر افزایش نفت در مقادیر بالاتر موجب کاهش پیوسته مقاومت تک محوری می گردد که این تغییر رفتار را می توان به تشکیل ذرات رس کروی پوشیده شده با نفت نسبت داد. (ذرات کروی امکان لغزش بیشتری روی همدیگر داشته و زمان گسیختگی را کاهش می دهد).

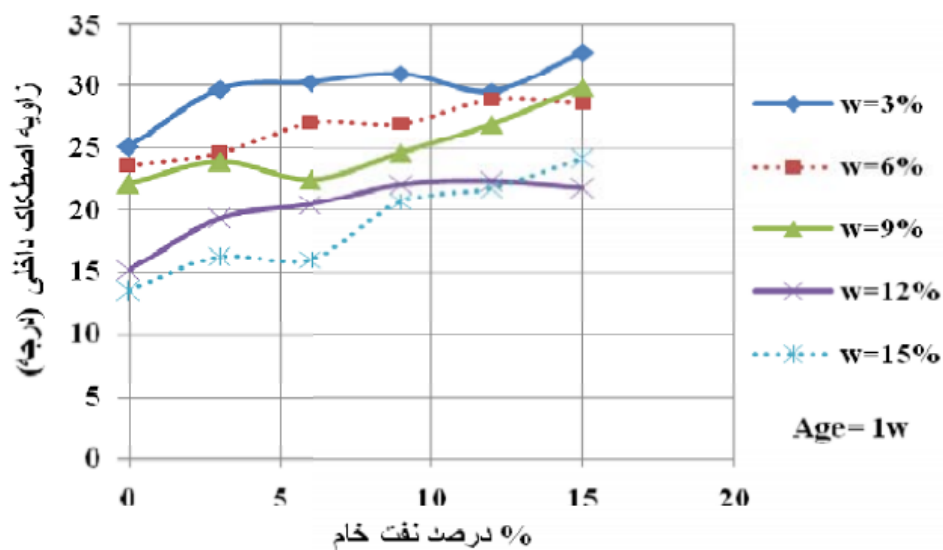


شکل ۶۰-۲- تاثیر سن آلودگی بر تغییرات مقاومت تک محوری در درصد های مختلف نفت

نتایج آزمایش های برش مستقیم بیانگر کاهش چسبندگی خاک با افزایش درصد وزنی آلودگی و افزایش آن با افزایش میزان رطوبت می باشد و بیانگر افزایش در زاویه اصطکاک داخلی خاک با افزایش درصد وزنی آلودگی می باشد. همچنین با افزایش میزان رطوبت، زاویه اصطکاک داخلی کاهش می یابد. تشکیل توده های مجزا از هم و نزدیک شدن ساختار خاک به دانه ای و نیز، در هم فرو رفتن و درگیر شدن بیشتر ذرات خاک، می تواند دلیل افزایش زاویه اصطکاک داخلی باشد. همچنین با دقت در رنج تغییرات زاویه اصطکاک داخلی خصوصاً پس از به تعادل رسیدن نمونه ها (سن ۴ هفته) مشاهده می شود با افزایش میزان آلودگی تاثیر رطوبت (آب) بر چسبندگی کمتر می شود. (جعفری و همکاران ، ۱۳۸۹)



شکل ۲-۶۱- منحنی میزان آلودگی - چسبندگی با درصد رطوبت متفاوت



شکل ۲-۶۲- منحنی میزان آلودگی - زاویه اصطکاک داخلی با درصد رطوبت متفاوت

همچنین قنواتی در بررسی بر روی خاک CL آلوده به گازوئیل به نتایج زیر دست یافت :

ماهیت و گسترش لایه مضاعف در اطراف کانی های رسی تحت تاثیر غلظت و ترکیب محلول الکترولیت ، بار الکتریکی ذرات کلوئیدی و دما می باشد. دلیل کاهش حد خمیری را می توان در مولکول های غیر قطبی گازوئیل جست و جو کرد. از آنجا که مولکول های گازوئیل آب گریز هستند بنابراین هنگامی که

ذرات رسی خاک آلوده می شوند یک لایه نازک از مواد نفتی اطراف ذره را دربر میگیرد. به نظر می رسد که همین لایه نازک مانع از واکنش آب با ذرات باردار رس می شود. در نتیجه لایه مضاعف آب که معمولا در اطراف رس تشکیل می شود بسیار نازک می گردد. هرچه مقدار مواد نفتی افزایش یابد ، سطح آلودگی ذرات نیز بیشتر شده در نتیجه آن شاهد کاهش سطح تماس آب می شویم و در نتیجه لایه مضاعف نازک تر می شود. درصد های کم آلودگی به دلیل کم بودن درصد گازوئیل و کوچک بودن اندازه ذرات نمونه خاک ، آلاینده تاثیری بر کاهش زاویه اصطکاک داخلی ندارد. اما با افزایش بیشتر گازوئیل با اینکه همچنان روند حداکثر وزن مخصوص خشک افزایشی است ، مقدار زاویه اصطکاک داخلی رفته رفته کاهش می یابد. با اضافه شدن گازوئیل تا حدود ۶٪ به دلیل روغن کاری شدن دانه ها و ذرات خاک تراکم پذیری نمونه ها بیشتر می شود. یعنی همزمان با افزایش گازوئیل ، به حداکثر وزن مخصوص بالاتری با درصد رطوبت بهینه کمتر دست پیدا خواهیم کرد. اما با افزایش بیشتر گازوئیل خود ماده نفتی مانع از تراکم پذیری بیشتر می شود. با افزایش درصد گازوئیل ، رطوبت بهینه کاهش می یابد زیرا گازوئیل اضافه شده مقداری از فضاهای خالی خاک را پر می کند. پس با مقدار کمتر آب می توان به نقطه پیک منحنی تراکم دست یافت همچنین قابلیت تراکم پذیری با افزایش اندازه ذرات افزایش می یابد.

در مورد نمونه ماسه ای مشاهده می شود که تا حدود ۸٪ آلودگی ، زاویه اصطکاک داخلی با شیب کمی کاهش می یابد. این مسئله را می توان به بزرگتر بودن ذرات و کوچکتر بودن سطح موثر آنها مربوط دانست. اما با افزایش میزان آلودگی روند کاهشی زاویه اصطکاک داخلی سرعت میگیرد. به دلیل پوشیده شدن سطح ذرات با مواد نفتی و لغزنده شدن محل تماس آنها با یکدیگر است. در آلودگی با درصد بیشتر به دلیل پوشیده شدن تمام سطح ذرات این پدیده بیشتر قابل مشاهده است. در این خاک با آلوده شدن به مواد نفتی مقداری چسبندگی دیده می شود که احتمالا مربوط به لزجت و چسبندگی ذاتی گازوئیل است.

در خاک های رسی با افزایش درصد گازوئیل میزان چسبندگی کاهش می یابد. می توان گفت با افزایش درصد گازوئیل ذرات به هم چسبیده و بزرگتر می شوند (کلوخه شدن) و به دنبال آن سطح تماس ذرات کمتر و چسبندگی کاهش می یابد. (قنواتی ، ۱۳۹۱)

Shin و Das در سال ۲۰۰۱ به بررسی ظرفیت باربری ماسه ی غیر اشباع آلوده پرداختند. آزمایش ها بر روی نمونه های تمیز و آلوده به ۲ تا ۶ درصد از آلاینده های نفت دیزل، نفت خام، نفت Lamp انجام شده است. در این مطالعه از آزمایش برش مستقیم برای بررسی اثر آلاینده ها بر روی زاویه اصطکاک داخلی خاک استفاده شده و همچنین از یک مدل آزمایشگاهی برای شبیه سازی یک پی سطحی کمک گرفته شد. با استفاده از آزمایش برش مستقیم به این نتیجه رسیدند که افزایش آلاینده باعث کاهش زاویه اصطکاک داخلی ماسه می گردد. نتیجه دیگر بدست آمده این بود که هر چه ویسکوزیته ی آلاینده بیشتر باشد مقدار زاویه اصطکاک داخلی خاک، برای یک درصد مشخص از آلاینده کمتر خواهد بود و ظرفیت باربری پی نواری با افزایش درصد آلاینده کاهش می یابد. (Shin and Das ,2000)

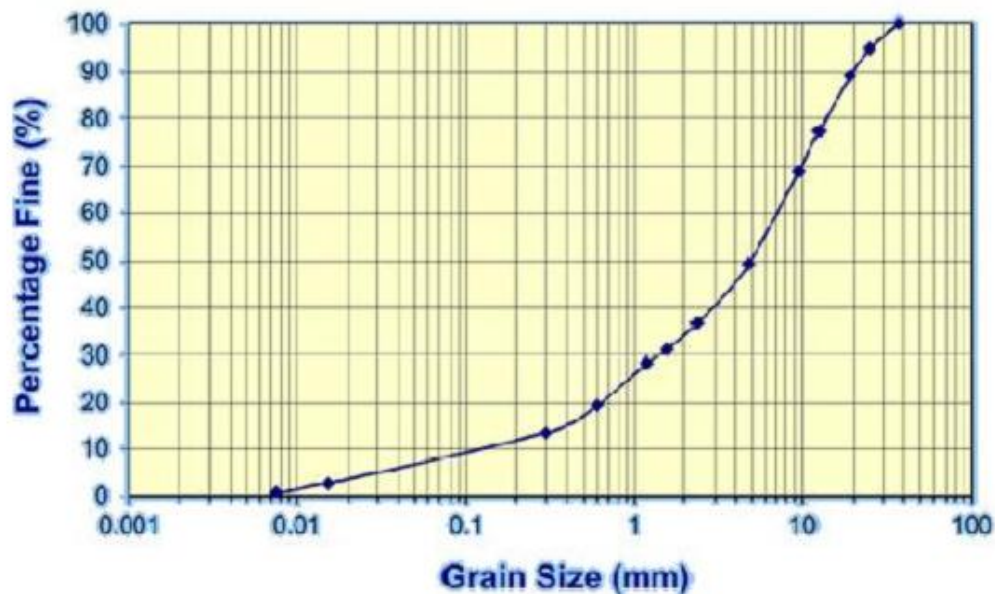
Vijay K. Puri در سال ۲۰۰۰ با انجام آزمایش هایی بر روی ماسه خشک و آلوده به نفت، به این نتیجه رسیدند که میزان زاویه ی اصطکاک داخلی نمونه های آلوده حدود % ۲۰ تا % ۲۵ نسبت به حالت خاک خشک با تراکم نسبی مشابه، کمتر می باشد. بر طبق این مطالعات، با افزایش میزان تراکم نسبی اولیه در نمونه ها اختلاف بین زاویه اصطکاک داخلی در دو حالت خشک و آلوده مشهودتر است. بنابراین پایداری شیروانی ها و سازه های احداث شده بر روی خاک های آلوده در اثر کاهش زاویه اصطکاک داخلی به خطر می افتد. (Vijey K . Puri,2000)

فصل سوم

آزمون های آزمایشگاهی و نتایج آن

۳-۱- دانه بندی و طبقه بندی خاک

جهت شروع کار و تحقیقات با یک نوع خاکی که مورد نظر می باشد ، مهمترین بخش شناسایی و پی بردن به نوع خاک است تا بتوان بر همین اساس در تست های بعدی ، آزمایش ها و نتایج بدست آمده از آن را با این نوع خاک تطبیق داد. به همین جهت ابتدا لازم است که تست دانه بندی انجام پذیرد. با مشاهده اولیه خاک بدست آمده متوجه می شویم که با یک خاک درشت دانه رو به رو هستیم. لذا حال بر اساس استاندارد ASTM D422_63 موجود در آیین نامه انجمن تست مواد آمریکا شروع به انجام آزمایش دانه بندی خاک کرده و به نتایجی بر اساس مقادیر رد شده و باقیمانده بر روی الک های مشخص می رسمیم که در منحنی زیر آمده است.



شکل ۳-۱- منحنی دانه بندی

آنچه قابل ذکر می باشد این است که طبق استاندارد ملاک محاسبات وزنی برای این آزمون ، وزن خاک خشک و بدون رطوبت است لذا قبل از انجام تست خاک مورد نظر ابتدا در گرمخانه به مدت ۲۴ ساعت خشک شده و سپس تست انجام گرفته . همانطور که مشاهده می کنید به علت مقادیر ناچیز کوچکتر از

الک #۲۰۰ ، از تست هیدرومتری و همچنین آزمون های مربوط به خاک ریز دانه صرف نظر شده است. با توجه به این که بعد از دانه بندی تقریباً روی الک ها به مقدار نزدیک به هم خاک باقی مانده است پس می توان گفت که با یک خاک خوب دانه بندی شده مواجه هستیم. حال بر اساس طبقه بندی سیستم متحد و با توجه به مقادیر بدست آمده از نمودار دانه بندی جدول مشخصات زیر تنظیم می شود.

جدول ۳-۱- مشخصات ظاهری خاک

طبقه بندی خاک طبق سیستم یونیفاید	GW-SW
D ₁₀	۰,۱
D ₃₀	۱,۵
D ₆₀	۷
C _c	۷۰
C _u	۳,۲

۳-۲- تعیین چگالی ویژه بخش جامد خاک

با توجه به اینکه خاک دارای مقادیر بالای شن و ماسه و ذرات درشت دانه می باشد لازم است تا برای داشتن چگالی تقریبی خاک ، چگالی بخش جامد ذرات خاک را بدست آوریم. به همین منظور از آزمایش استاندارد تعیین چگالی ویژه بخش جامد خاک توسط پیکنومتر آب بر اساس استاندارد ASTM D854_10 و برای انجام این تست از روش B این آزمون جهت آزمون های خشک شده در گرمخانه استفاده می کنیم.

طبق استاندارد ابتدا جرم پیکنومتر را یادداشت کرده سپس با تعیین جرم خشک خاک برای هر تست (مانده بر روی الک #۴ و رده شده از الک #۴) آن را درون پیکنومتر مخصوص خود ریخته و بعد از آن تا محل مدرج بر روی پیکنومتر را با آب مقطر در دمای محیط پر کرده و ضمن اندازه گیری مجموع وزن

ظرف، خاک درون آن به همراه آب ، میزان دمای مخلوط را نیز توسط دماسنج اندازه گیری می کنیم. حال با توجه به داشتن جرم خاک و ظرف قبل و بعد از اضافه کردن آب ،میزان جرم آب محاسبه شده و با داشتن چگالی در دمای مورد نظر میزان حجم آب استفاده شده بدست می آید. سپس برای خارج کردن هوای محبوس درون خاک ظرف مخلوط را به مدت مشخص حرارت داده و به جوشاندن می رسانیم. بعد از آن تا دمای مشخصی اجازه می دهیم خنک شود و دوباره عملیات محاسبه میزان حجم آب موجود را دوباره انجام داده و با توجه به میزان اختلاف بین دو حجم آب و دانستن حجم پیکنومتر موجود ، میزان حجم خاک محاسبه می شود. با داشتن میزان جرم در مراحل قبل و میزان حجم محاسبه شده در این مرحله ، چگالی خاک بدست می آید. نتایج و محاسبات مربوط به این آزمایش در جدول زیر آمده است.

جدول ۳-۲- میزان تخلخل و چگالی خاک

چگالی مصالح مانده روی الک #۴ (G_1)	۲,۵۸۷
درصد مصالح مانده روی الک #۴ (R_1)	۵۰,۷۶۲
چگالی مصالح رد شده از الک #۴ (G_2)	۲,۳۷۲
درصد مصالح رد شده از الک #۴ (P_1)	۴۹,۲۳۸
چگالی متوسط مصالح (G_{ave})	۲,۴۷۶
تخلخل ماکزیمم (e_{max})	۰,۷۹۸
تخلخل مینیمم (e_{min})	۰,۶۳۶

۳-۳- آزمایش استاندارد برای تعیین اندیس دانسیته ماکزیمم و مینیمم خاکها با استفاده از

میز مرتعش

به دلیل اینکه نمونه های تهیه شده جهت آزمایش به صورت دست خورده می باشد لذا لازم است که برای انجام آزمایش برش مستقیم ، بر اساس یک دانسیته مشخص نمونه های آلوده را ساخت و درون جعبه برش دستگاه قرار داد. به همین منظور ۲ تست تعیین دانسیته ماکزیمم و دانسیته مینیمم بر روی خاک انجام شد و در نهایت آزمایش اصلی با دانسیته ۵۰٪ خاک موجود انجام پذیرفت.

از آنجائیکه تست های تعیین دانسیته ماکزیمم و مینیمم خاک به دلیل نبود وسایل آزمایش به خصوص میز مرتعش و همچنین نوع و حجم خاک مورد آزمایش ، به صورت عام انجام نمیگردد و جزو آزمایشات خاص مکانیک خاک می باشد ، این تست ها به همراه نتایج بدست آمده به صورت زیر شرح داده شده است.

در ابتدا روش تعیین اندیس دانسیته حداکثر خاکهای غیرچسبنده بازهکش آزاد را با استفاده از میز مرتعش شرح میدهیم. چهار روش در تعیین اندیس دانسیته حداکثر بشرح ذیل ارائه میشود :

۱. روش A1 با استفاده از خاک خشک شده در اون و میز با ارتعاش عمودی الکترومغناطیسی

۲. روش B1 با استفاده از خاک تر و میز با ارتعاش عمودی الکترومغناطیسی

۳. روش A2 با استفاده از خاک خشک شده در اون و میز با ارتعاش عمودی و مبدل دوار یا فلکه ای

۴. روش B2 با استفاده از خاک تر و میز با ارتعاش عمودی و مبدل دوار یا فلکه ای

خاکهای مورد استفاده در این روش ها بایستی خاکهای غیر چسبنده موجود در طبیعت ، ترکیبات یا مخلوط هایی از خاکهای طبیعی، یا مخلوط هایی از ذرات طبیعی و دانه ای محسوب گردند . بشرطی که زهکش آزاد باشند .

دانسیتة حداکثر خاک معین با زهکش آزاد با ریختن خاک خشک شده در اون و یا خاک تر در یک قالب، با بکار بردن سربار ۱۴ کیلو پاسکال (جرم مرده) بر روی سطح خاک و سپس ارتعاش عمودی قالب، خاک و سربار تعیین میشود. از یک میز مرتعش الکترومغناطیسی، یا مبدل دوار یا فلکه دار که حرکت سینوسی شکل با زمان عمودی داشته و دامنه عمودی ارتعاش دوگانه (پیک تا پیک) آن حدود ۰/۰۱۳ اینچ (۰/۳۳ میلیمتر) برای ۸ دقیقه در ۶۰ هرتز یا حدود ۰/۰۱۹ اینچ (۰/۴۸ میلیمتر) برای ده دقیقه در ۵۰ هرتز باشد استفاده می نمایند. اندیس دانسیته حداکثر با تقسیم جرم در اون خشک شده خاک متراکم شده به حجم آن (متوسط ارتفاع و سطح مقطع قالب) محاسبه میشود. عمدتاً مشخص شده که هم دانسیته نسبی و هم درصد تراکم نشانه خوبی از وضعیت تراکمی توده خاک معین می باشد. البته خصوصیات فنی مانند مقاومت، قابلیت فشردگی و نفوذ پذیری خاک که به روش های مختلف تا وضعیت تراکمی معین متراکم شده بطور قابل ملاحظه ای میتواند تغییر کند.

در طی این آزمایش با اصطلاحات و اندیس هایی مواجه می شویم که لازم دیده شد در این قسمت به تعریف و نحوه محاسبه آن بپردازیم.

دانسیتة حداکثر : دانسیته خشک خاک در متراکم ترین وضعیت و تراکمی که میتوان با روش تراکمی آزمایشگاهی استاندارد که بهم خوردگی و شکستگی ذرات خاک را به حداقل میرساند بدست آورد.

نسبت منفذی حداقل : نسبت منفذی یک خاک در اندیس دانسیته حداکثر (e_{min})

دانسیتة حداقل : دانسیته خشک خاک در شل ترین وضعیت تراکمی ممکن با استفاده از روش آزمایشگاهی استاندارد که از حجیم شدن جلوگیری کرده و بهم خوردگی ذره ای را به حداقل میرساند.

(pd_{min})

نسبت منفذی حداکثر : نسبت منفذی مرجع خاک در اندیس دانسیته خاک (e_{max})

نسبت منفذی معین : نسبت منفذی در محل یا مستقر رسوب یا خاکریز (e)

دانسیتة خشک (pd): دانسیته خشک رسوب خاکی یا خاکریز در نسبت منفذی معین

دانسیتة نسبی : نسبت اختلاف بین اندیس نسبت منفذی حداکثر و نسبت منفذی معین خاک غیر چسبنده با زهکشی آزاد . به اختلاف بین نسبت منفذی حداکثر و حداقل که بر حسب درصد بیان میشود نیز گفته می شود. (Dd) و معادله آن بشرح ذیل است :

$$Dd = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} * 100$$

یا برحسب دانسیته خشک مربوطه به صورت زیر می باشد :

$$Dd = \frac{\rho d_{\max}(\rho d - \rho d_{\min})}{\rho d(\rho d_{\max} - \rho d_{\min})} * 100$$

درصد تراکم یا تراکم نسبی (RC) : نسبت دانسیته خشک خاک معین به اندیس دانسیته حداکثر که بر حسب درصد بیان میشود .

$$Rc = \frac{\rho d}{\rho d_{\max}} * 100$$

میز مرتعش مورد استفاده بر روی یک کف بتنی و یا توده ای که از نظر اندازه و شکل مانع از انتقال ارتعاش به سایر سطوح آزمایش گردد، سوار خواهد شد، صفحه مرتعش عمودی میز بایستی به اندازه کافی بزرگ بوده و سختی آن به حدی باشد که مجموعه قالب مورد استفاده را بتوان به آن متصل کرد و در حین آزمایش ثابت نگاه داشت . طبق استاندارد میز بایستی قادر به ارتعاش عمودی مجموعه قالب به طریقه سینوسی در زمان بوده و دامنه دو گانه متوسط آن 0.05 ± 0.33 میلیمتر با فرکانس ۶۰ هرتز یا 0.08 ± 0.48 میلیمتر با فرکانس ۵۰ هرتز تحت شرایط آزمایش باشد . همچنین میز باید قابلیت تنظیم فرکانس ارتعاش بین ۰ تا ۶۰ هرتز و در رابطه با طرح یا بررسی های مخصوص قابلیت تنظیم دامنه دو

گانگی ارتعاشی آن بین حدود ۰/۰۰۸ تا ۰/۰۲۵ اینچ در فرکانس ۶۰ هرتز یا حدود ۰/۰۱۲ تا ۰/۰۳۶ اینچ در فرکانس ۵۰ هرتز باشد .

اندازه نمونه های آزمایشی و قالب مورد استفاده به اندازه ذره ای حداکثر موجود در نمونه اصلی و منحنی دانه بندی نمونه بستگی دارد همچنین نمونه انتخاب شده بایستی از مقدار تعیین شده از فرمول ذیل کمتر نباشد:

$$Mr = 0.00247 Vm$$

که در آن Mr جرم لازم بر حسب کیلوگرم و Vm حجم قالب بر حسب سانتیمتر مکعب می باشد.

اگر روش های $A1$ و $A2$ استفاده میشود ، باید نمونه را در اون در درجه حرارت 230 ± 9 فارنهایت با جرم ثابت خشک کرد . برای شروع محاسبات باید جرم و حجم قالب تعیین شود به همین منظور جرم قالب خالی با استفاده از ترازو اندازه گیری میشود و حجم هر قالب هم به طریق اندازه گیری مستقیم و هم به طریق استفاده از آب انجام میگردد . حجم بدست آورده یا هر روش بایستی حدود ۱/۵ درصد مقدار عددی حجم قالب باشد . آیین نامه پیشنهاد می کند که هم روش اندازه گیری مستقیم و هم روش استفاده از آب بکار رود . اگر اختلاف بین احجام محاسبه شد، از هر دو روش از ۰/۵ درصد مقدار عددی قالب مورد استفاده تجاوز کند، بایستی کالیبراسیون انجام گردد . حجم بدست آورده با روش استفاده از آب بایستی بعنوان حجم قالب محسوب گردد زیرا روش استفاده از آب بطور صحیح تری وضعیت تمام قالب را منعکس میکند. برای روش اندازه گیری مستقیم ، حجم قالب از متوسط حداقل سه قطر داخلی و سه ارتفاع محاسبه میشود. این اندازه گیری ها بایستی در سرتاسر قالب بطور یکنواخت از یکدیگر فاصله داشته و دقت آنها ۰/۰۰۱ اینچ باشد . ولی جهت استفاده از روش آب ، قالب را از آب کاملاً پر کرده . یک صفحه شیشه ای را بر روی بالای سطح قالب غلطانید تا مطمئن شده که قالب کاملاً از آب پر شده است . جرم و

درجه حرارت آب لازم برای پر کردن قالب را معین می شود . سپس با استفاده از جداول راهنما حجم واحد آب بر حسب میلی لیتر در گرم در درجه حرارت محیط بدست آورده می شود.

در روش خشک (روش A1 یا A2) نمونه خشک شده در اون مخلوط می شود تا بخش یکنواختی از اندازه ذرات بدست آید یعنی بهم خوردگی تا حد ممکن کم شود حال قالب را از خاک پر کرده و سطح آن را با استفاده از روش هایی که بهم خوردگی را به حداقل میرساند صاف می کنیم. از یک بیلچه و یا وسیله ریزشی دیگری مانن قیف برای ریختن خاک، در قالب بایستی استفاده شود. به کنار های قالب میتوان بوسیله یک میله فلزی، چکش لاستیکی یا شبیه آن چندین بار ضرباتی وارد آورد به نحویکه صفحه پایه سربار پس از نشست خاک به آسانی در محل خود قرار گیرد. سپس صفحه پایه سربار مربوطه را روی سطح خاک گذاشته و آنرا به آرامی چندین بار می چرخانیم به نحویکه به محکمی و یکنواختی در تماس با سطح خاک قرار گیرد. حال قالب را به میز مرتعش وصل میکنیم و رابط راهنما را محکم به مولد متصل کرده و وزنه سربار مربوطه را بر روی صفحه اصلی سربار به پایین می آوریم. مجموعه قالب و نمونه را بمدت $0,25 \pm 8$ دقیقه در 2 ± 60 هرتز و بمدت $0,25 \pm 12$ دقیقه در 2 ± 50 هرتز به ارتعاش در می آوریم. سپس وزنه سربار و رابط راهنما را از قالب جدا می کنیم و بعد صفحه پایه سربار را از قالب و قالب را از میز مرتعش جدا میکنیم، در طی این عملیات، از ورود ذرات ریز که در سطوح صفحه پایه سربار و لبه قالب جمع شده اند به قالب جلوگیری می شود. جرم قالب و خاک را تعیین و یادداشت کرده و محاسبات انجام می پذیرد. جهت محاسبه دانسیته حداقل خاکها و دانسیته نسبی به روش زیر عمل می کنیم. سه روش مختلف جهت تعیین ضریب دانسیته حداقل بشرح ذیل ارائه میشود :

- ۱- روش A با استفاده از وسیله ریزشی قیفی شکل یا بیلچه دستی جهت ریختن مصالح در قالب .
- ۲- روش B ریخته شدن مواد در قالب به طریق خروج از لوله ای که از خاک پر شده است .
- ۳- روش C ریخته شدن مواد در قالب به طریق سرازیر کردن یک استوانه مدرج .

روش A طبق آیین نامه ترجیح داده شده است که ما هم در این آزمون از همین روش جهت محاسبه دانسیته مینیمم استفاده میکنیم. این روشها در مورد خاکهایی بکار میرود که تا ۱۵٪، نسبت به وزن خشک، شامل ذراتی باشد که از الک ۲۰۰ گذشته باشند به شرطیکه هنوز خواص غیر چسبندگی و زهکش آزاد را حفظ کرده باشد. روش A در مورد خاکهایی بکار میرود که ۱۰۰٪ نسبت به وزن خشک، شامل ذراتی باشد که از الک ۳ اینچ (۷۵ میلیمتر) گذشته و تا ۳۰٪، نسبت به وزن خشک شامل ذراتی باشد که روی الک $1\frac{1}{2}$ اینچ (۳۷/۵ میلیمتر) باقی مانده باشد. روش B در خاکهایی قابل استفاده است که در آن ۱۰۰٪، نسبت به وزن خشک، ذرات خاک از الک $\frac{3}{4}$ اینچ عبور کرده باشند. روش C فقط در ماسه های ریز و متوسط قابل استفاده است که در آنها ۱۰۰٪، نسبت به وزن خشک، ذرات خاک از الک $\frac{3}{8}$ اینچ گذشته و ممکن است تا ۱۰٪، نسبت به وزن خشک، شامل ذراتی باشد که روی الک شماره ۱۰ باقی مانده اند.

حداقل، شل ترین وضعیت خاک غیرچسبنده با زهکش آزاد است که میتوان با یک روش استاندارد آزمایشگاهی بدست آورد که در آن از حجم شدن جلوگیری و بهم خوردگی ذره ای را به حداقل برساند. هر روشی که انتخاب گردد از تعیین دانسیته خاک خشک شده در اون تشکیل میگردد. خاک، در ظرفی با حجم معلوم به طریقی ریخته میشود که از حجم شدن و بهم خوردگی ذره ای جلوگیری و تراکم خاک را به حداقل برساند. قبل از آزمایش، نمونه را بایستی به نحوی نگهداری گردد که از یخ زدگی و آلودگی با سایر مواد جلوگیری شود. باید نمونه را در یک اون خشک کننده در درجه حرارت 5 ± 110 درجه سانتی گراد تاجرم ثابت خشک کرد. برای روش A لازم است ک نمونه در اون خشک شده را مخلوط کرد تا توزیع یکنواختی از اندازه ذرات ایجاد شود سپس خاک را تا حد امکان به حالت شل در قالب ریخته. به این منظور وسایل ریختن را صاف و عمودی و یا تقریباً عمودی نگاه دارید تا خاک به صورت جریان ثابتی بریزد. قالب را تقریباً به اندازه ۱۲ میلیمتر تا ۲۵ میلیمتر بالاتر از سطح بالایی قالب یا تا ارتفاعی که تمام

نقاط سطح خاک بالای سطح لبه قالب باشد از خاک پر می کنیم. خاک اضافی روی قالب را با صاف کردن سطح بوسیله صاف کننده دور ریخته و در حین پر کردن و صاف کردن نهایت دقت میکنیم تا از تکان خوردن قالب یا بهم خوردگی شدید سطح خاک جلوگیری شده و موجب بازسازی و نشست دانه های خاک نگردد. سپس به محاسبه و تعیین دانسیته مینیمم می پردازیم. جدول زیر نتایج تعیین دانسیته ماکزیمم و مینیمم را به طور خلاصه بیان کرده است.

جدول ۳-۳- مشخصات دانسیته حداکثر و حداقل با استفاده از میز ویبره

وزن نمونه خشک (g)	حجم سیلندر (cm^3)	دانسیته غیر متراکم (g/cm^3)	دانسیته متراکم (g/cm^3)
۲۲۳۰۰	۱۴۰۵۴,۱۵	۱,۴۸۲	--
۲۲۳۰۰	۱۲۳۴۳,۲۱	--	۱,۸۰۷



شکل ۳-۲- نمونه خاک تحت فشار بر روی میز مرتعش

۳-۴- آزمایش برش مستقیم

آزمایش برش مستقیم اولین بار توسط کولمب در سال ۱۷۷۶ مورد استفاده قرار گرفت. از آن زمان تاکنون مهمترین وسیله آزمایشگاهی جهت تعیین زاویه اصطکاک داخلی خاک بوده است. در دستگاه برش مستقیم می توان از جعبه های برش در اندازه های مختلف استفاده کرد ، لذا مقایسه پارامتر های مقاومت برشی حاصل از آزمایش برش با اندازه جعبه های مختلف بر روی نمونه یکسان و تاثیر عوامل مختلف بر آنها می تواند اهمیت ویژه ای داشته باشد.

۳-۴-۱- مشخصات دستگاه

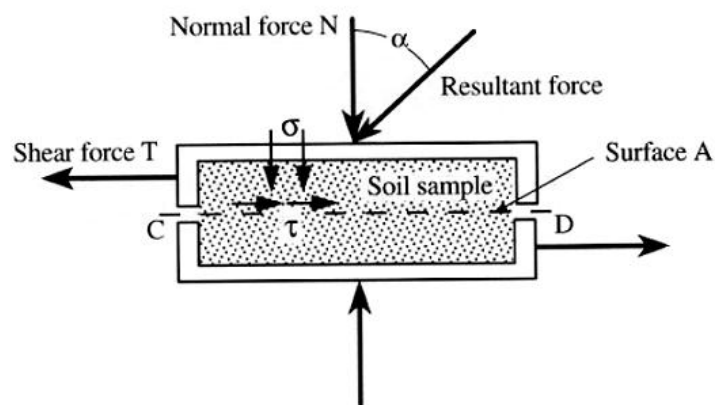
از مزایای دستگاه ، هیدرولیکی بودن سیستم بارگذاری قائم آن است. زیرا در دستگاه های معمولی با سیستم اهرمی ، در اثر جابجا نمودن در زمان اعمال برش ، سربار از حالت قائم خارج شده و روی نتایج تاثیر می گذارد. اما در این سیستم به دلیل هیدرولیکی بودن دستگاه ، سربار همواره به حالت قائم باقی می ماند و باعث کاهش خطا می گردد.



شکل ۳-۳- دستگاه برش مستقیم بزرگ مقیاس مورد استفاده

۳-۴-۲- جعبه برش

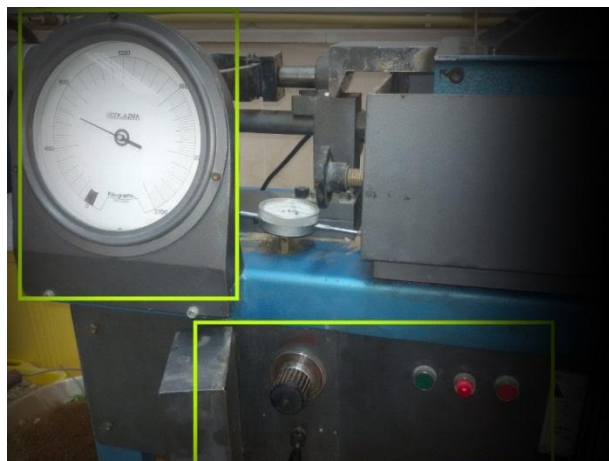
یک جعبه فولادی مکعب مستطیل به ابعاد ۱۵ * ۳۰ * ۳۰ است که دارای ۲ نیمه بالایی و پایینی می باشد که امکان ایجاد صفحه برش را در نمونه ایجاد می کند. در هنگام برش نیمه بالایی حرکت کرده و نیمه پایینی ثابت باقی می ماند.



شکل ۳-۴- شکل شماتیک جعبه برش

۳-۴-۳- سیستم بارگذاری

بار قائم توسط یک جک هیدرولیکی وارد می شود. این دستگاه به طور اسمی قابلیت اعمال بار قائم تا ۲۷۰۰ کیلوگرم را دارد. فشار مورد نظر توسط جک به بازوهای قائم اعمال شده و این بازوها فشار را به صفحه فلزی روی نمونه وارد می کنند. طی آزمایشات میزان بار اعمالی بر نمونه ها برابر ۴۵۰ ، ۹۰۰ و ۱۳۵۰ کیلوگرم در نمونه های ۱۰ روزه و بار ۷۲۰ و ۱۰۸۰ کیلوگرم در نمونه های ۲۰ روزه بوده است.



شکل ۳-۵- سیستم بارگذاری افقی

این سیستم به منظور اعمال نیروی برشی است. سرعت اعمال نیرو می تواند کند یا تند باشد. دستگاه موجود دارای ۶ نرخ اعمال سرعت نیروی برشی ۰,۰۰۲۰ ، ۰,۰۰۸۰ ، ۰,۰۳۲۳ ، ۰,۱۲۹۲ ، ۰,۵۱۶۸ و ۲,۰۶۷ میلی متر بر دقیقه می باشد که در طول این آزمایش از سرعت ۲,۰۶۷ استفاده شد.

۳-۴-۴- سیستم اندازه گیری

برای اندازه گیری نیروها و تغییر شکل ها از گیج های زیر استفاده شده است :

گیج جابجایی قائم : بر روی صفحه فلزی بالای نمونه قرار می گیرد و میزان تغییر شکل قائم را با دقت ۰,۰۱ میلی متر اندازه گیری می کند.

گیج جابجایی افقی : این گیج نیز در کنار جعبه برش نصب شده و میزان تغییرات جابجایی افقی را در حین اعمال نیروی برشی نشان می دهد. دقت گیج های استفاده شده در این حالت نیز برابر ۰,۰۱ میلی متری باشد.

گیج اندازه گیری نیروی برشی : با قرائت مقادیر این گیج در طول اعمال بار افقی و ضرب آن در ضریب

رینگ می توان مقدار نیروی برشی را محاسبه نمود. ضریب فنر استفاده شده برابر ۵,۵۷ و دقت آن برابر ۰,۰۰۵ می باشد.



شکل ۳-۶- گیج های اندازه گیری نیرو و جابجایی افقی

۳-۵- نحوه آماده سازی نمونه ها برای شروع آزمایش

خاک ماسه ای که شامل ذرات شن است نسبتاً در طبیعت متداول می باشد. علاوه بر این استفاده از خاکریز های طبیعی یا مصنوعی که متشکل از ذرات درشت دانه باشد در حال افزایش است. در نتیجه بررسی خواص برشی و تغییر شکل یافتگی برخی از مواد برای کاربردهای سودمند و قابل استفاده مانند سد های خاکی و راهسازی مهم می باشد. در هنگام آلودگی در این نوع خاک ها ، در اثر نیروی ثقلی، نفت خام در خاک محیط نفوذ کرده و علاوه بر احتمال آلودگی آب های زیرزمینی موجب تغییرات پارامترهای ژئوتکنیکی قابل ملاحظه ای در خاک می شود و امکان گسیختگی و شکست سازه ای در خاک های آلوده به مواد نفتی که خاک آلوده را در بستر سازه خود دارند، افزایش می دهد.

درجه آلودگی یک خاک به صورت درصد وزنی میزان آلودگی نسبت به وزن خشک خاک تعیین می شود. مرز بین آلودگی وعدم آلودگی خاک می تواند درصدی از آلودگی که به ازای آن مشخصات مهندسی

خاک تغییر قابل توجهی داشته باشند، تعیین می گردد. این درصد بسته به نوع آلودگی، نوع خاک، شرایط محیطی و غیره می تواند متفاوت باشد. در هر پژوهش برای بررسی بهتر یک پدیده و جهت پی بردن به اثر یک متغیر مستقل بر متغیرهای وابسته، باید سعی شود که بقیه ی متغیرها برای تمامی نمونه ها ثابت نگه داشته شود لذا در آزمایشگاه خاک مورد نظر نمونه با یک درصد مشخص آلودگی بایک ماده نفتی مشخص آلوده شده و برای یک مدت زمان مشخص در آزمایشگاه باقی می ماند تا آلودگی تا حد قابل قبول جذب خاک شده و به حالت واقعی در سایت نزدیک شود. این زمان با توجه به نوع ماده نفتی و نوع خاک می تواند متغیر باشد.

یک طبقه خاک مشخص نه تنها پیوسته و همگن نیست بلکه ایزوتروپ (همسانگرد) هم نیست. بنابراین حتی در بهترین شرایط نیز تعداد محدودی آزمایش، خصوصیات لایه را آشکار نشان می دهد. بنابراین واضح است که نمونه خاک مورد آزمایش باید تا حد امکان مثل نمونه در محل، بازسازی شده باشد و تا جایی که ممکن است دست نخورده بماند. همچنین، میزان بار اعمال شده و سایر شرایط آزمایش، باید تا حد امکان مطابق با شرایط در محل باشد. تاکنون مشخص شده است که عملیات برداشت یک نمونه از یک نهشته طبیعی، هر چند با دقت انجام شود، به طور اساسی شرایط تنش و کرنش القا شده را تغییر می دهد.

برای بدست آوردن مشخصات مکانیکی خاکها در عمق نیم تا یک متری حاشیه سایت مورد نظر استفاده شده است. نمونه گیری از نوع دست خورده می باشد . انتخاب منطقه مورد مطالعه با توجه به پارامترهای احتمال آلودگی، سابقه آلودگی ، گسترش سازه ای و عمرانی سایت بوده است به نحوی که شبیه سازی آلودگی با اضافه کردن درصد وزنی مواد هیدروکربنی به خاک های غیر آلوده محل (uncontaminated) صورت پذیرفت، همچنین با توجه به نفوذ سطحی نفت خام در محیط های آلوده و مطالعات ژئوتکنیکی انجام شده در خاک های منطقه به جهت عدم تغییر نوع خاک تا عمق ۳۰ متری

در بسیاری از نقاط مورد آزمایش و هزینه بر بودن حفر گمانه، خاک مورد مطالعه خاک سطحی و در عمق یک متری زمین انتخاب گردد.

در غالب آزمایشات انجام گرفته روی نمونه های آلوده، آزمایش ها بلافاصله پس از آمیختن خاک با نفت انجام گرفته است، که به آزمایش های کوتاه مدت (Short term) معروف می باشند، این در حالی است که در طبیعت خلاف آن اتفاق می افتد و با توجه به نشت تدریجی نفت علی الخصوص در خاک های ریزدانه و عدم رسیدن به تعادل در مدت زمان کوتاه، نتایج کوتاه مدت از بهره مندی لازم برخوردار نمی باشد

لذا جهت ساختن نمونه های آلوده در ابتدا بر اساس محاسبات انجام شده، برای هر نمونه به میزان ۲۲,۷۰۰ کیلوگرم خاک معمولی را برداشته و در اون به مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک می کنیم. سپس با توجه به نوع نمونه ، به میزان ۲٪ و ۴٪ وبا نفت یا گازوئیل آلوده و خوب به صورت دستی مخلوط می کنیم. نمونه های آلوده شده را در بسته بندی های چند لایه با پلاستیک محکم و قطور به مدت ۱۰ و ۲۰ روز در دمای محیط نگهداری می کنیم. این کار را به سبب ۱- جلوگیری از تبخیر مواد نفتی از خاک و ۲- همگن سازی و واکنش مواد نفتی با ذرات بیشتر خاک انجام می دهیم.

انتقال حرارت توسط خاک اساسا توسط ذرات جامد آن ، به علت دارا بودن ضریب رسانایی حرارتی بزرگتر در مقایسه با آب و هوا موجود در آن ، انجام می پذیرد. این مطلب بیانگر آن است که هرچه دانسیته خاک بیشتر باشد ، میزان انتقال حرارتی آن نیز بالاتر است. علاوه بر این از آن جاییکه آب دارای میزان رسانایی حرارتی بالاتری نسبت به هوا می باشد در نتیجه در خاک های مرطوب شاهد انتقال حرارتی بیشتری نسبت به خاک های خشک هستیم. (Mitchell , 1993) وقتی خاکی دارای ضریب هدایت حرارتی بزرگتری باشد بدین معناست که حرارت از طریق آن سریعتر عبور داده می شود و تبخیر صورت میگیرد.

تبخیر ماده نفتی به تله افتاده در خاک به خواص فیزیکی و شیمیایی ماده نفتی، دما و رطوبت محیط، نوع خاک، اندازه و ترکیب ذرات و ضریب هدایت گرمایی خاک و ماده نفتی بستگی دارد. آنچه واضح است هر چقدر خاک ریزدانه تر باشد به دلیل ماندگاری بیشتر گرما در خاک و در نتیجه ضریب هدایت گرمایی کمتر آن انتظار تبخیر بیشتر برای ماده نفتی موجود در خاک وجود دارد. همچنین هر چقدر میزان آلودگی بیشتر باشد به دلیل فشردگی بیشتر در خاک و ضریب هدایت گرمایی بیشتر، تبخیر کمتر خواهد بود.

تبخیر تحت شرایط نزدیک به شرایط محیطی مثل دما و زمان مشابه با کاهش در سایز ذرات خاک، افزایش یافته و با افزایش در میزان درصد آلودگی، کاهش می یابد. به نظر می رسد این پدیده به خواصی از قبیل میزان هدایت حرارتی، چسبندگی و ترکیب و به هم آمیختگی با ذرات خاک مربوط می شود. (Khamehciyan) یکی از مسائل مهم در نگهداشت مواد نفتی توسط خاک سطح ویژه آنها می باشد. خاکهای با سطح ویژه بالا قابلیت جذب آب و جذب آلودگی بیشتری داشته و لذا قابلیت تورم بیشتری را دارند. بنابراین پرواضح است که سطح ویژه ذرات خاک یک پارامتر مهم و کلیدی در جذب آلودگی ها توسط خاک می باشد.

نکته قابل ذکر و مهم دیگر در مورد تعیین رطوبت مصالح آلوده به مواد نفتی می باشد زیرا که نمونه های آلوده به نفت را نمی توان مستقیماً درون اون قرار داد تا خشک شود زیرا مواد نفتی دارای ترکیبات پیچیده ای هستند و ممکن است برخی ترکیبات در دمای اتاق تبخیر شوند در حالیکه برخی دیگر به صورت جامد باقی بمانند. درصد رطوبت بهینه که از فرمول $\omega = \frac{WW}{WS} * 100$ استفاده می شود در خاک های آلوده به نفت و مواد هیدروکربنی قابل استفاده نیست به علت اینکه مواد هیدروکربنی موجود یک ترکیب پیچیده می باشند و حتی در دما اتاق تبخیر می شوند در حالی که ممکن است بخشی از ذرات جامد این مواد باقی بمانند.

فصل چهارم

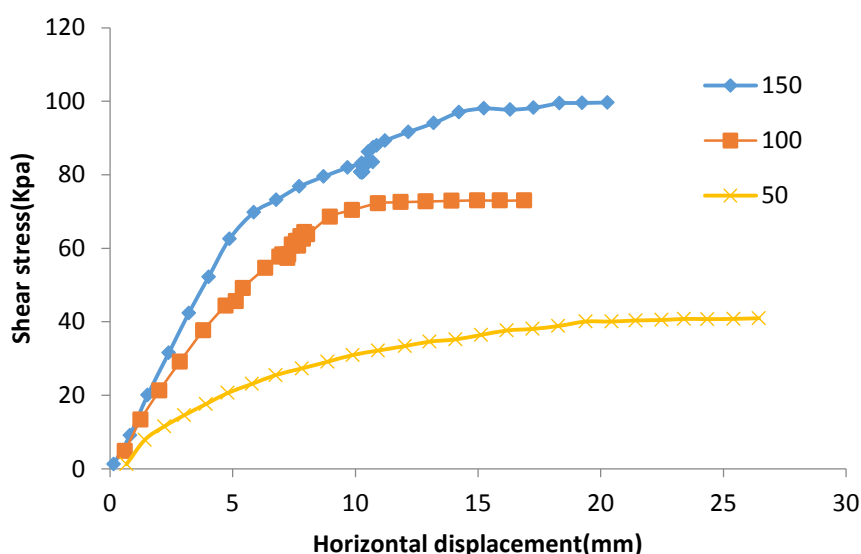
آنا لیز داده ها

۴-۱- آنالیز نمونه های بدون آلودگی

در این فصل به بررسی و تجزیه و تحلیل نتایج حاصله از آزمایش ها می پردازیم. برای بررسی تغییرات ایجاد شده در خواص مهندسی خاک مورد نظر در اثر آلودگی ، لازم است که ابتدا خاک بدون آلودگی تحت آزمایش قرار گیرد و پس از دستیابی به مقدار پارامتر های مورد کاوش ، نتایج مربوطه با آن مقایسه شود.

بدین منظور به مقدار مناسب از خاک بدون آلودگی برداشته و پس از قرار دادن به مدت ۲۴ ساعت درون اون ، آن را در جعبه برش ریخته و بعد از پروسه آماده سازی دستگاه ، نمونه را مورد آزمایش قرار می دهیم.

با توجه به اعداد قرائت شده از آزمایش ، در ابتدا لازم است که برای ادامه محاسبات ، نمودار مربوط به تنش - کرنش در حالت افقی رسم شود. لذا در شکل ۱ شاهد تغییرات تنش برشی نسبت به جابجایی افقی هستیم. با توجه به شکل ، نمودار تحت ۳ تنش قائم اعمالی ۵۰ ، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلو پاسکال رسم شده است که میزان تنش برشی نهایی در این خاک به ترتیب ۴۰٫۶۶ ، ۷۲٫۸۳ و ۹۷٫۱۱ بدست آمده است.



شکل ۴-۱- منحنی تغییرات تنش برشی-جابجایی افقی در خاک بدون آلودگی

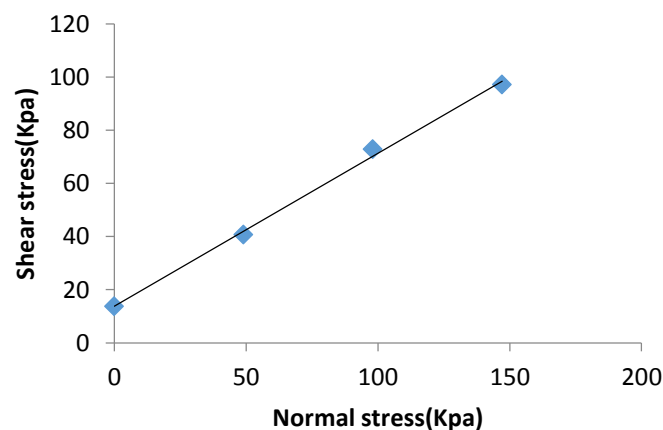
در جدول ۱ نتایج بدست آمده از نمودار به طور خلاصه آمده است :

جدول ۴-۱- پارامتر تنش نرمال-تنش برشی در خاک بدون آلودگی

τ	σ
۴۰,۶۶	۵۰
۷۲,۸۳	۱۰۰
۹۷,۱۱	۱۵۰

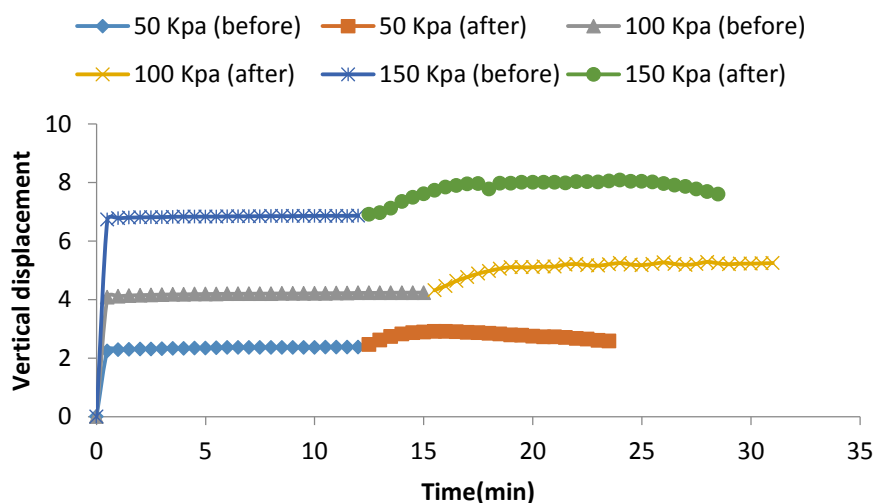
پس از قرار گیری این اعداد در منحنی ۲ و بر اساس معیار شکست موهر- کولمب ، مقدار چسبندگی برابر ۱۳,۷۶ کیلو پاسکال و میزان زاویه اصطکاک برابر ۲۹,۹۲ درجه بدست آمده است. بر اساس نوع خاک ، میزان چسبندگی بدست آمده باید مقداری بسیار کوچک باشد که با توجه به مقادیر چسبندگی بدست آمده از بررسی های محققین مختلف در گذشته ، این عدد تقریباً معتبر می باشد ولی در مورد اینکه چرا عدد فوق صفر نشد می توان بیان کرد که : ۱- در خاک فوق بر خلاف اینکه ساختار کلی آن درشت دانه می باشد ولی بر طبق نمودار دانه بندی دارای مقداری ریزدانه است که سبب به وجود آمدن چسبندگی در آن می شود.

۲- با توجه به مقاومت محدود دانه ها و بالا بودن میزان فشار وارد بر آنها در دستگاه فوق ، پس از اعمال بار ، شاهد خرد شدگی ذرات و دانه ها هستیم که در اثر آن نیز به حجم مواد ریز دانه مخلوط اضافه می گردد و در نتایج تاثیر گذار می باشد.



شکل ۴-۲- منحنی تنش نرمال-تنش برشی در خاک بدون آلودگی

در این دستگاه در هنگام اعمال بار عمودی می توان با قرار دادن گیج اندازه گیری جابجایی عمودی ، میزان نشست نمونه را محاسبه کرد. در طی پروسه انجام شده آزمایش ، ابتدا به مدت تقریبی ۱۰ دقیقه قبل از شروع برش ، با شروع اعمال بار اجازه نشست را به نمونه داده و سپس بعد از زمان فوق دستگاه را روشن کرده و شروع به بررسی ادامه روند نشست می کنیم. آنچه در منحنی های زیر می بینید روند تغییرات جابجایی عمودی نسبت به زمان می باشد.



شکل ۳-۴- منحنی جابجایی عمودی-زمان در خاک بدون آلودگی

در این منحنی همان طور که مشاهده می کنید ، میزان جابجایی در قبل از اعمال برش (before) و بعد از اعمال برش (after) نشان داده شده است.

با وجود اینکه پس از اعمال برش و شروع کار دستگاه ، باید منتظر افزایش نشست باشیم اما قسمتی از این برش می تواند مربوط به لرزش دستگاه و خطای ایجاد شده طی آن باشد. بر اساس این منحنی نشست تقریبی نهایی در ۳ حالت تنش ۵۰ ، ۱۰۰ و ۱۵۰ و قبل و بعد از اعمال برش به طور خلاصه در جدول زیر آمده است.

جدول ۴-۲- نشست نهایی خاک بدون آلودگی در حالت قبل و بعد از اعمال نیرو افقی

تنش قائم	نشست قبل از اعمال نیرو افقی	نشست بعد از اعمال نیرو افقی
۵۰	۲,۳۷	۲,۸
۱۰۰	۴,۲	۵,۲
۱۵۰	۶,۸	۸,۰۲

آنچه به طور خلاصه در جدول زیر مشاهده میکنید نتایج حاصل شده از آزمون برش مستقیم بر روی نمونه بدون آلودگی می باشد :

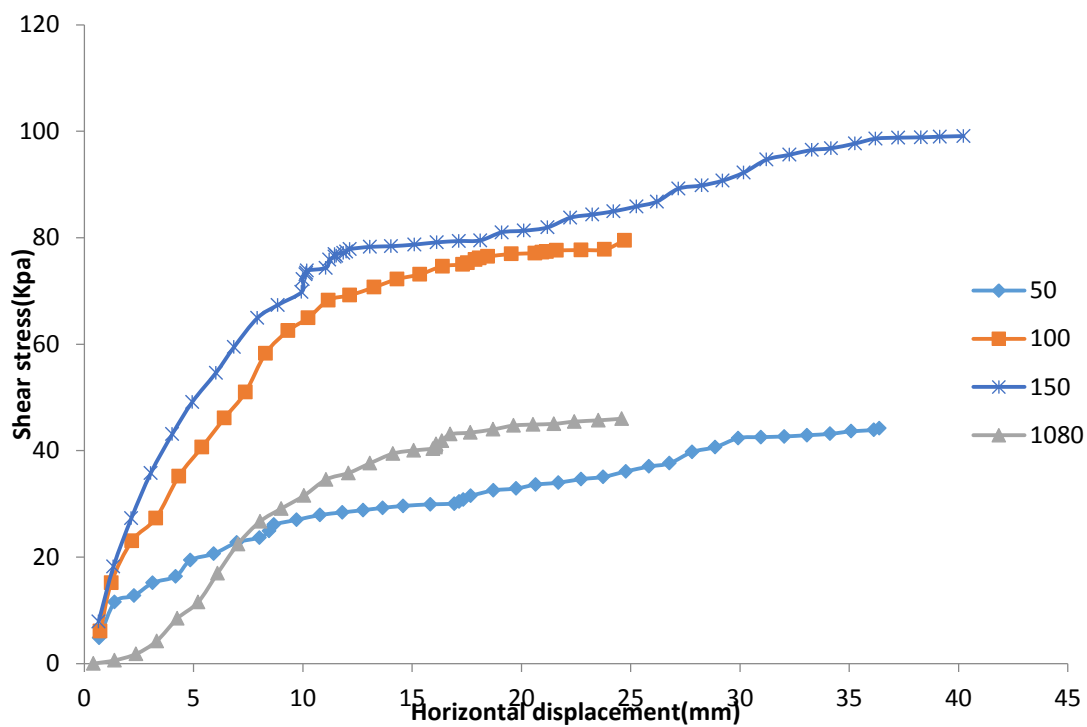
جدول ۴-۳- خلاصه نتایج بدست آمده از آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه بدون آلودگی

نوع آلوده کننده	_____	
درصد آلودگی	۰	
چسبندگی	۱۳,۷۶	
زاویه اصطکاک	۲۹,۹۲	
تنش قائم	تنش برشی	جابجایی قائم
۵۰	۴۰,۶۶	۲,۸
۱۰۰	۷۲,۸۳	۵,۲
۱۵۰	۹۷,۱۱	۸,۰۲

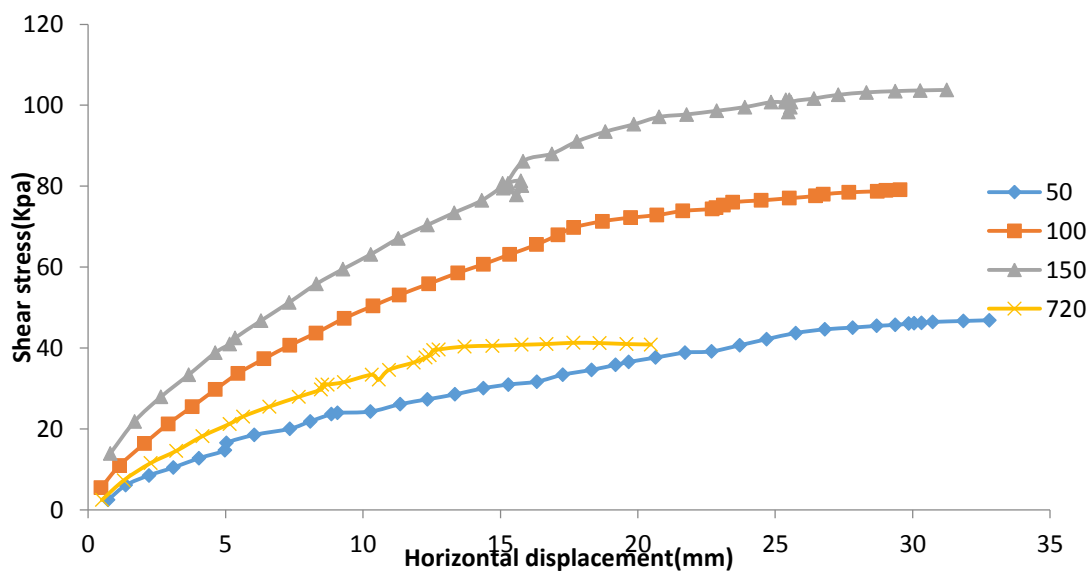
۴-۲- آنالیز نمونه های آلوده به نفت

حال لازم است جهت مقایسه نتایج بین نمونه های آلوده و نمونه های بدون آلودگی ، پارامتر های این آزمون را در حالت های آلوده به نفت و گازوئیل بدست بیاوریم.

نتایج آنالیز تنش برشی - جابجایی افقی در منحنی های زیر تحت ۲ نوع درصد آلودگی متفاوت ۲٪ و ۴٪ در شکل زیر رسم شده است. با مشاهده منحنی های زیر میزان تنش برشی نهایی بدست می آید که در جدول ۴ و ۵ به طور خلاصه آمده است.



شکل ۴-۴- منحنی تغییرات تنش برشی-جابجایی افقی در خاک با ۲٪ نفت



شکل ۴-۵- منحنی تغییرات تنش برشی-جابجایی افقی در خاک با ۴٪ نفت

جدول ۴-۴- پارامتر تنش نرمال-تنش برشی در خاک با ۲٪ نفت

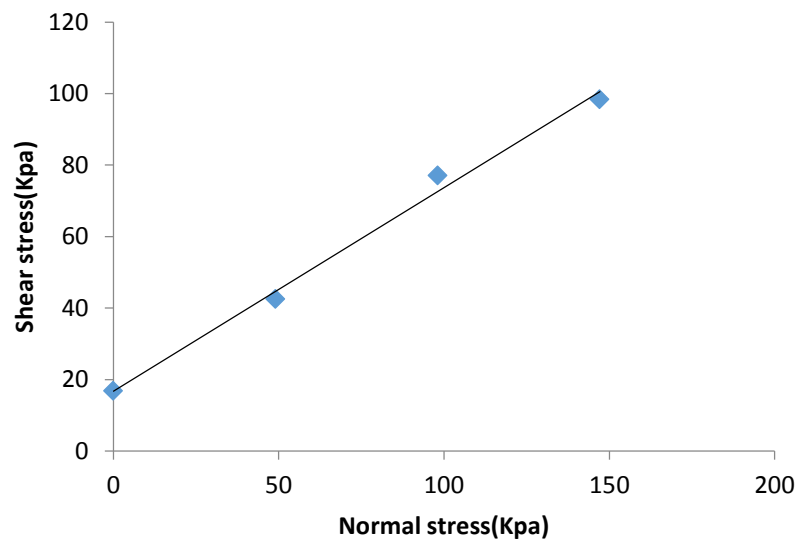
τ	σ
۴۲,۴۸	۵۰
۷۷,۰۸	۱۰۰
۹۸,۳۲	۱۵۰

جدول ۴-۵- پارامتر تنش نرمال-تنش برشی در خاک با ۴٪ نفت

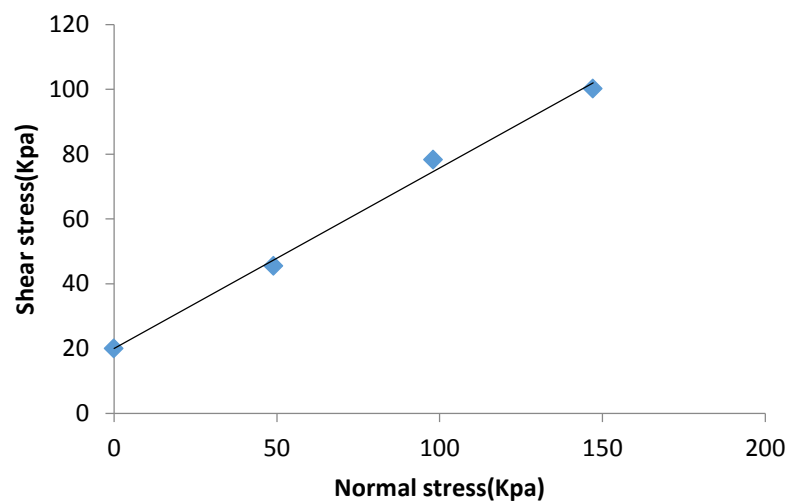
τ	σ
۴۵,۵۲	۵۰
۷۸,۲۹	۱۰۰
۱۰۰,۱۴	۱۵۰

به منظور تعیین چسبندگی و میزان زاویه اصطکاک ، اعداد استخراج شده از مرحله قبل را در منحنی

تنش برشی - تنش نرمال قرار داده و خط گسیختگی را رسم میکنیم.



شکل ۴-۶- منحنی تنش نرمال-تنش برشی در خاک با ۲٪ نفت

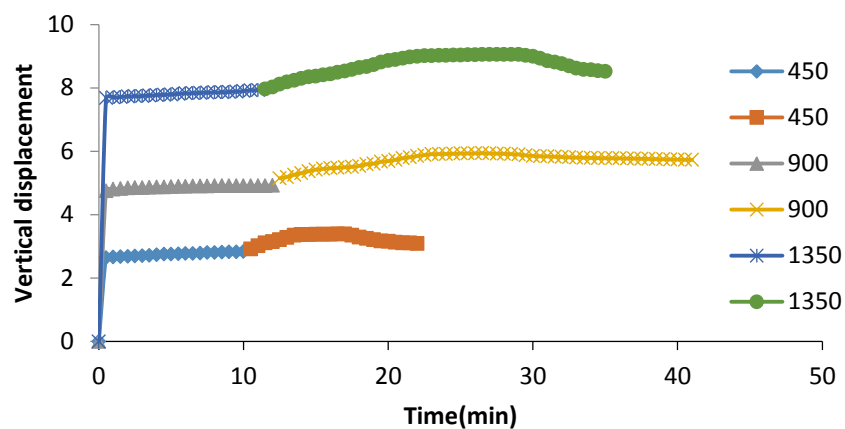


شکل ۴-۷- منحنی تنش نرمال-تنش برشی در خاک با ۴٪ نفت

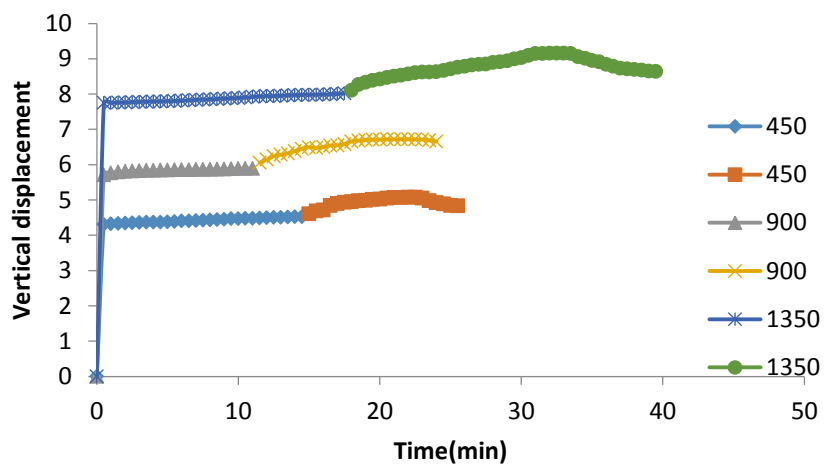
جدول ۴-۶- چسبندگی و زاویه اصطکاک در خاک آلوده به نفت

زاویه اصطکاک	چسبندگی	درصد آلودگی
۲۹,۶۶	۱۶,۷۹	۲
۲۹,۱۲	۲۰,۰۳	۴

پس از انجام مراحل قبل به منظور تعیین اثر آلودگی بر نشست ، نمودارهای تنش نرمال – جابجایی عمودی را رسم می کنیم که طبق توضیحات گذشته در دو مرحله قبل و بعد از اعمال نیروی برشی نمایش داده شده است.



شکل ۴-۸- منحنی جابجایی عمودی-زمان در خاک با ۲٪ نفت



شکل ۴-۹- منحنی جابجایی عمودی-زمان در خاک با ۴٪ نفت

جدول ۴-۷- نشست نهایی خاک آلوده به نفت در حالت قبل و بعد از اعمال نیرو افقی

درصد آلودگی	تنش قائم	نشست قبل از اعمال نیرو افقی	نشست بعد از اعمال نیرو افقی
۲	۵۰	۲,۷۷	۳,۲
	۱۰۰	۴,۹	۵,۸
	۱۵۰	۷,۸۵	۹,۰۵
۴	۵۰	۴,۴۵	۵,۰۵
	۱۰۰	۵,۸۶	۶,۶
	۱۵۰	۷,۹۴	۸,۸

در این پروسه انجام شده به منظور تعیین اثر گذشت زمان بر مقاومت نمونه های آلوده ، نمونه هایی طبق مکانیزم عمل شده و یکسان با نمونه های ۱۰ روزه ولی این بار پس از استراحت به مدت ۲۰ روز مورد آزمایش قرار گرفت. جدول نتایج مربوط به این آزمایش در زیر رسم شده است.

جدول ۴-۸- نتایج بدست آمده از آزمایش نمونه های ۲۰ روزه بر روی خاک آلوده به نفت

درصد آلودگی	تنش قائم اعمال شده	مقاومت برشی بدست آمده از آزمایش	مقاومت برشی محاسبه شده از برازش منحنی
۲	۱۰۸۰	۴۵,۵	۷۳,۸
۴	۷۲۰	۴۰,۷	۶۳,۷

در نهایت نتایج بدست آمده از این آزمایش طی میزان آلودگی های مختلف و گذشت زمان متفاوت در جدول ۹ به طور خلاصه آمده است.

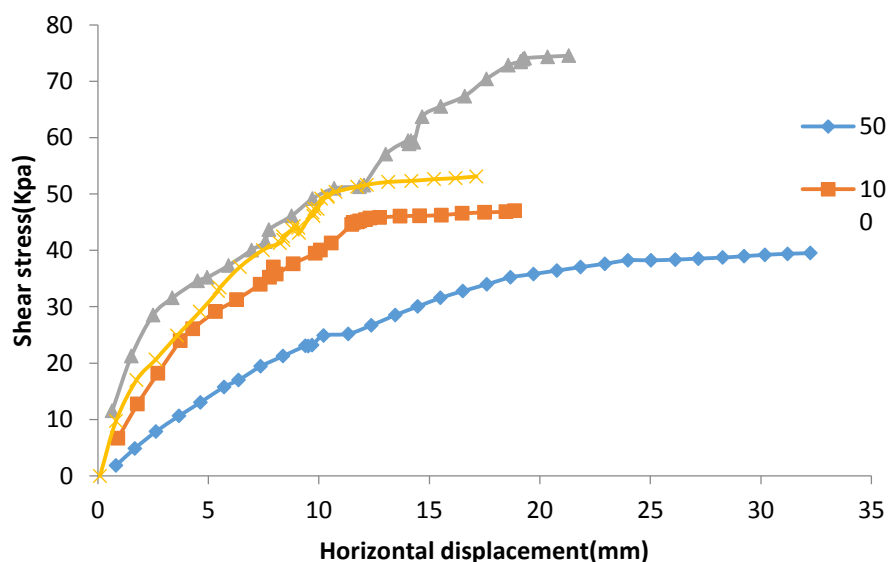
جدول ۴-۹- خلاصه نتایج بدست آمده از آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه آلوده به نفت

	نوع آلوده کننده	
	درصد آلودگی	نفت
	چسبندگی	۲
	زاویه اصطکاک	۱۶,۷۹
جابجایی قائم	تنش قائم	۲۹,۶۶
	۵۰	تنش برشی
	۱۰۰	۴۲,۴۸
	۱۵۰	۷۷,۰۸
	درصد آلودگی	۹۸,۳۲
	چسبندگی	۴
	زاویه اصطکاک	۲۰,۰۳
	تنش قائم	۲۹,۱۲
جابجایی قائم	۵۰	تنش برشی
	۱۰۰	۴۵,۵۲
	۱۵۰	۷۸,۲۹
		۱۰۰,۱۴

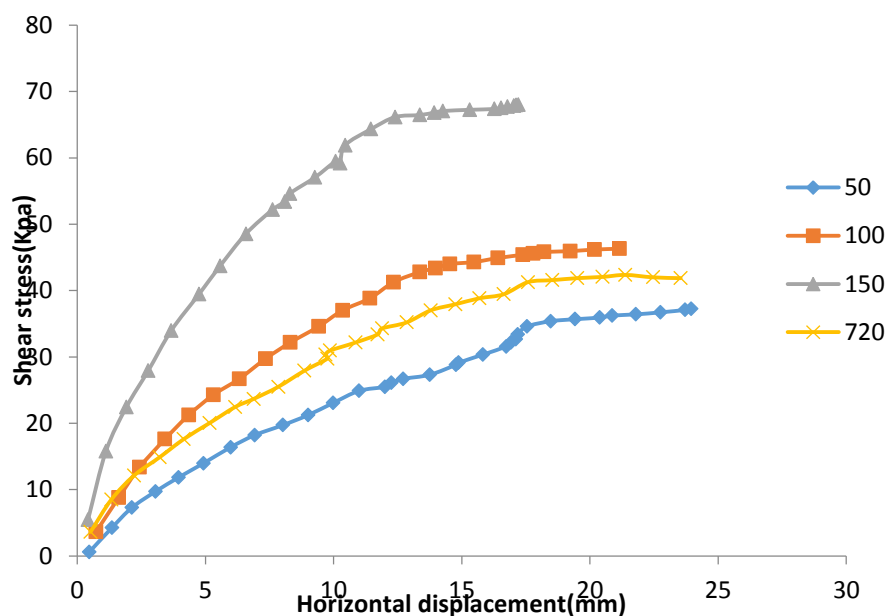
۴-۳- آنالیز نمونه های آلوده به گازوئیل

در این پایان نامه علاوه بر بررسی تاثیر دو عامل میزان آلودگی و گذشت زمان بر روی پارامتر های مقاومتی خاک مورد نظر ، عامل سومی هم منظور می گردد که آن نوع آلودگی می باشد. بدین منظور علاوه بر نفت سفید ، از یک هیدروکربن دیگر نیز جهت مشاهده و مقایسه نتایج آن با آنالیز های گذشته استفاده شده است که این هیدروکربن ، گازوئیل می باشد که توضیحات کاملی در مورد ساختار آن در فصل دوم داده شده بود. لذا اینک به بررسی روند اثرات این ماده بر روی نمونه ها می پردازیم.

در ابتدا منحنی تغییرات تنش برشی-جابجایی افقی رسم شده و نتایج حاصله از این منحنی ها در جداول زیر آورده شده است.



شکل ۴-۱۰- منحنی تغییرات تنش برشی-جابجایی افقی در خاک با ۲٪ گازوئیل



شکل ۴-۱۱- منحنی تغییرات تنش برشی-جابجایی افقی در خاک با ۴٪ گازوئیل

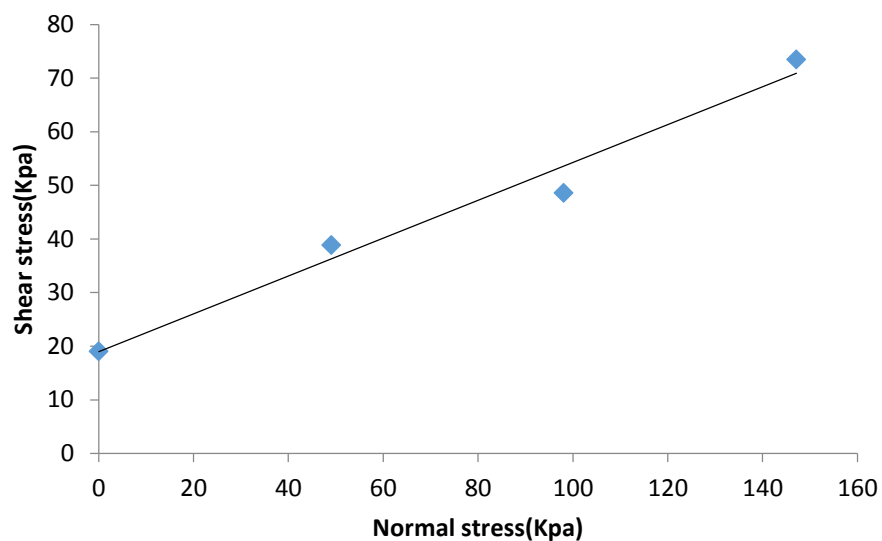
جدول ۴-۱۰- پارامتر تنش نرمال-تنش برشی در خاک با ۲٪ گازوئیل

τ	σ
۳۸,۸۴	۵۰
۴۸,۵۵	۱۰۰
۷۳,۴۴	۱۵۰

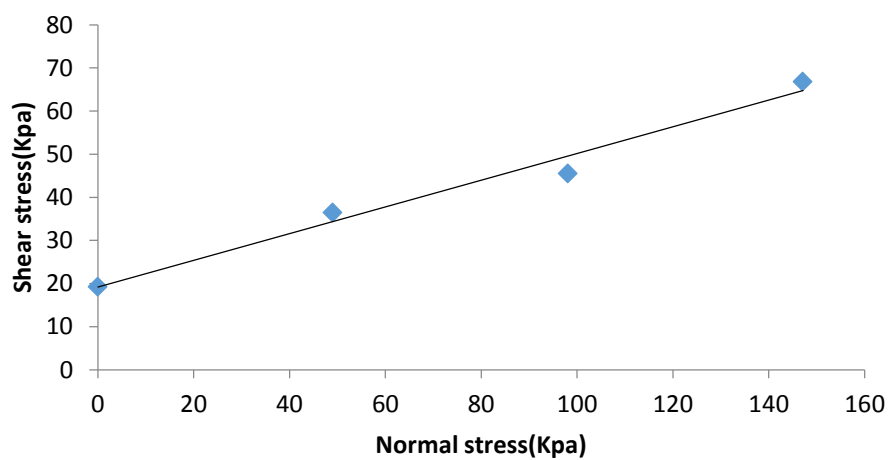
جدول ۴-۱۱- پارامتر تنش نرمال-تنش برشی در خاک با ۴٪ گازوئیل

τ	σ
۳۶,۴۲	۵۰
۴۵,۵۲	۱۰۰
۶۶,۷۶	۱۵۰

حال نتایج مندرج در بالا را در منحنی تنش برشی - تنش نرمال قرار داده و میزان پارامترهای چسبندگی و زاویه اصطکاک را بدست می آوریم.



شکل ۴-۱۲- منحنی تنش نرمال-تنش برشی در خاک با ۲٪ گازوئیل



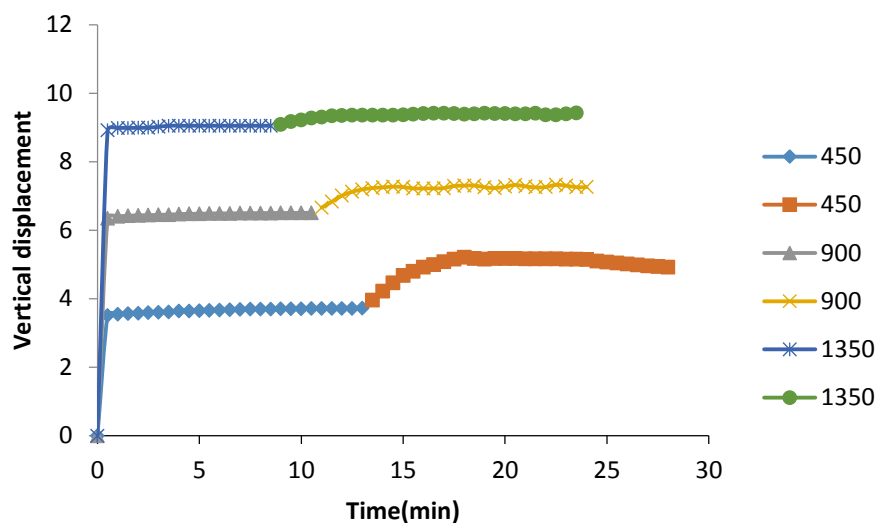
شکل ۴-۱۳- منحنی تنش نرمال-تنش برشی در خاک با ۴٪ گازوئیل

جدول ۴-۱۲- چسبندگی و زاویه اصطکاک در خاک آلوده به گازوئیل

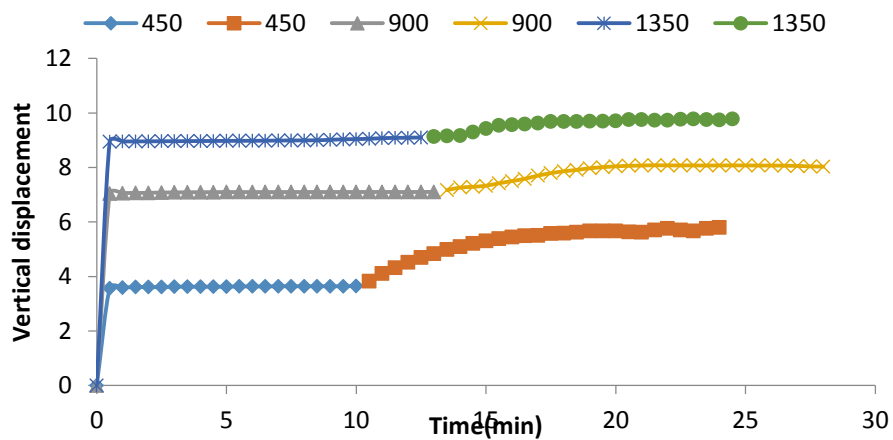
زاویه اصطکاک	چسبندگی	درصد آلودگی
۱۹,۴۳	۱۹,۰۱۷	۲
۱۷,۱۹	۱۹,۲۲	۴

در این قسمت همانند قسمت گذشته جهت مشاهده رفتار نشست خاک ، منحنی های مربوطه را رسم می

کنیم و نتایج را در جدول ۱۳ می آوریم.



شکل ۴-۱۴- منحنی جابجایی عمودی-زمان در خاک با ۲٪ گازوئیل



شکل ۴-۱۵- منحنی جابجایی عمودی-زمان در خاک با ۴٪ گازوئیل

جدول ۴-۱۳- نشست نهایی خاک آلوده به گازوئیل در حالت قبل و بعد از اعمال نیرو افقی

درصد آلودگی	تنش قائم	نشست قبل از اعمال نیرو افقی	نشست بعد از اعمال نیرو افقی
۲	۵۰	۳,۷	۵,۱۵
	۱۰۰	۶,۵	۷,۲۵
	۱۵۰	۹,۰۵	۹,۴
۴	۵۰	۳,۶۵	۵,۶
	۱۰۰	۷,۱	۸,۰۵
	۱۵۰	۸,۹	۹,۷

نمونه هایی که برای بررسی اثر گذشت زمان مورد تست قرار داده شد است تحت دو تنش ۱۲۰ کیلو پاسکال برای نمونه ۲٪ و ۸۰ کیلو پاسکال برای نمونه ۴٪ می باشد. نتایجی که از آزمایش بر این نمونه ها بدست آمده در جدول زیر نمایش داده شده است.

جدول ۴-۱۴- نتایج بدست آمده از آزمایش نمونه های ۲۰ روزه بر روی خاک آلوده به گازوئیل

درصد آلودگی	تنش قائم اعمال شده	مقاومت برشی بدست آمده از آزمایش	مقاومت برشی محاسبه شده از برآزش منحنی
۲	۱۰۸۰	۵۲,۲	۶۰,۵
۴	۷۲۰	۴۱,۹	۴۳,۵

پس از تمام شدن کل آزمایشات و ختام کار لازم است که نتایج حاصل شده از این آزمایش تحت آلودگی با گازوئیل به طور خلاصه آورده شود که این مقادیر در جدول ۱۵ آمده است.

جدول ۴-۱۵- خلاصه نتایج بدست آمده از آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه آلوده به گازوئیل

	گازوئیل	نوع آلوده کننده
	۲	درصد آلودگی
	۱۹,۰۱۷	چسبندگی
	۱۹,۴۳	زاویه اصطکاک
جابجایی قائم	تنش برشی	تنش قائم
۵,۱۵	۳۸,۸۴	۵۰
۷,۲۵	۴۸,۵۵	۱۰۰
۹,۴	۷۳,۴۴	۱۵۰
	۴	درصد آلودگی
	۱۹,۲۲	چسبندگی
	۱۷,۱۹	زاویه اصطکاک
جابجایی قائم	تنش برشی	تنش قائم
۵,۶	۳۶,۴۲	۵۰
۸,۰۵	۴۵,۵۲	۱۰۰
۹,۷	۶۶,۷۶	۱۵۰

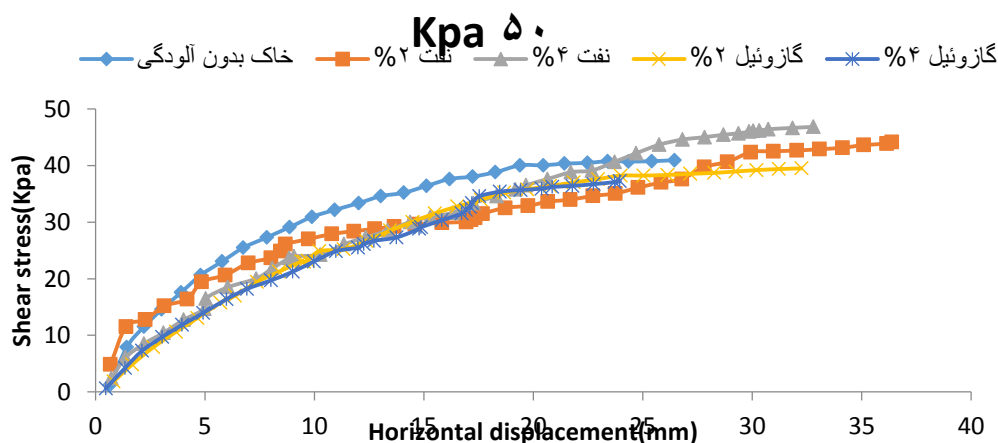
فصل پنجم

بحث و جمع بندی

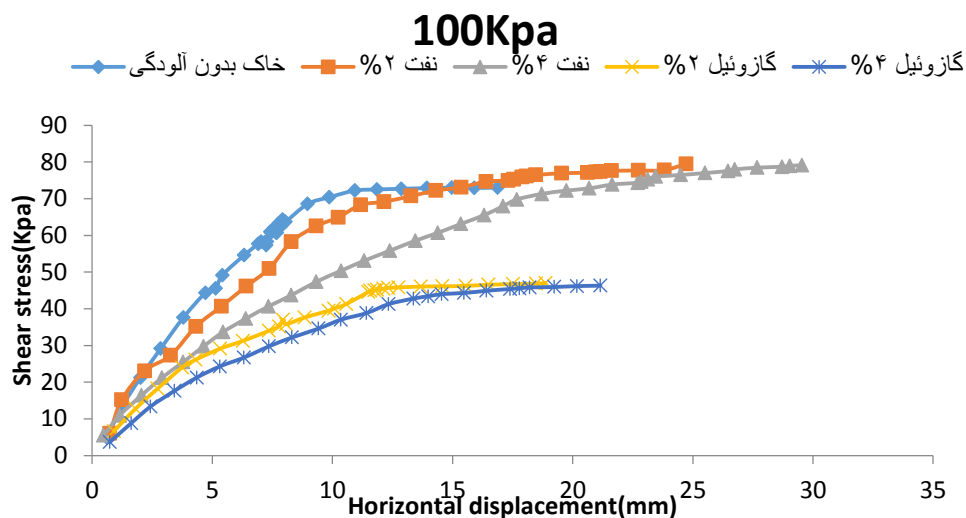
۵- جمع بندی

امروزه، آلودگی خاک ها و آب های زیر زمینی توسط آلاینده های آلی خطرناک، به عنوان یک معضل زیست محیطی، در گستره ی وسیعی، مطرح شده است که از مهمترین آلاینده های خاک، مواد مرتبط با صنایع نفتی است. از دیدگاه زیست محیطی فرآورده های ناشی از استخراج و پالایش نفت خام، محصولات فرعی، مواد زائد و پساب های حاصل از این فعالیت ها از آلاینده های بسیار خطرناک محسوب شده که به مقدار زیادی در منابع مختلف پراکنده شده اند. آلودگی خاک توسط این مواد سبب تغییراتی در ویژگی های ژئوتکنیکی آن می شود به همین علت لازم است که این تغییرات شناسایی شده و در طراحی های بعدی، منظور گردند.

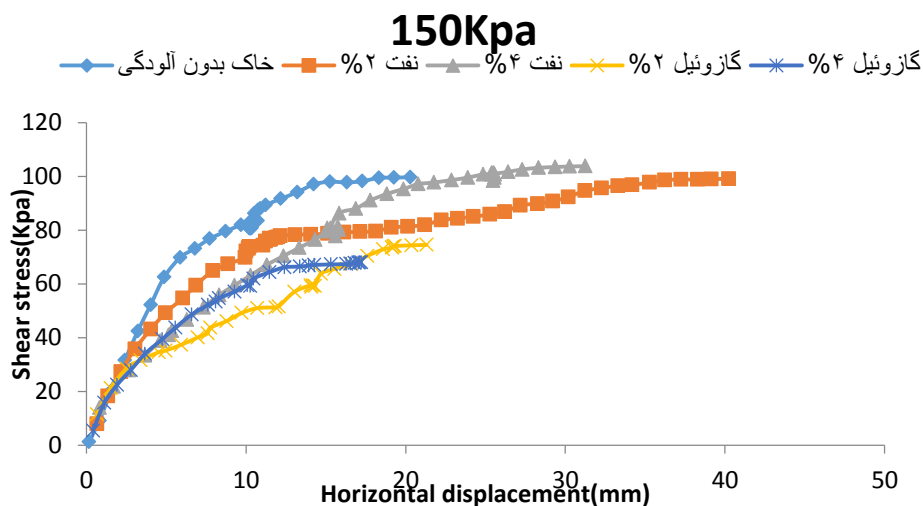
پس از انجام آنالیز ها و محاسبات مربوط به تحقیق پیش رو و تجزیه و تحلیل نمودار ها و بررسی تحقیقات پیشین با منحنی های ترکیبی و نهایی زیر مواجه می شویم که می توان از آن به نتایج کلی کار رسید. آنچه در ابتدا شاهد آن هستیم نمودار تنش برشی - جابجایی افقی می باشد. در این نمودار همان طور که مشاهده می کنیم رفتار نمونه های آلوده به نفت تقریبا مشابه رفتار خاک اصلی ولی با تغییرات اندک افزایشی می باشد ولی در نمونه های آلوده به گازوئیل با کاهش محسوس مقاومت مواجه هستیم.



شکل ۵-۱- منحنی تغییرات تنش برشی - جابجایی افقی تحت تنش نرمال ۵۰ کیلو پاسکال

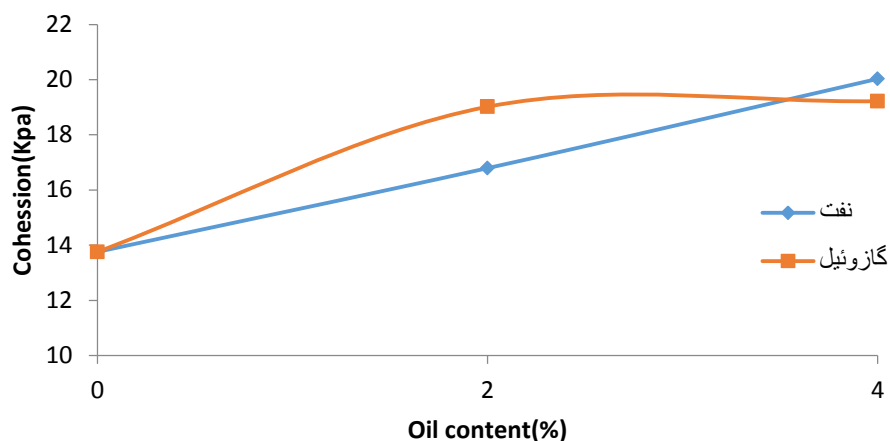


شکل ۵-۲- منحنی تغییرات تنش برشی - جابجایی افقی تحت تنش نرمال ۱۰۰ کیلو پاسکال

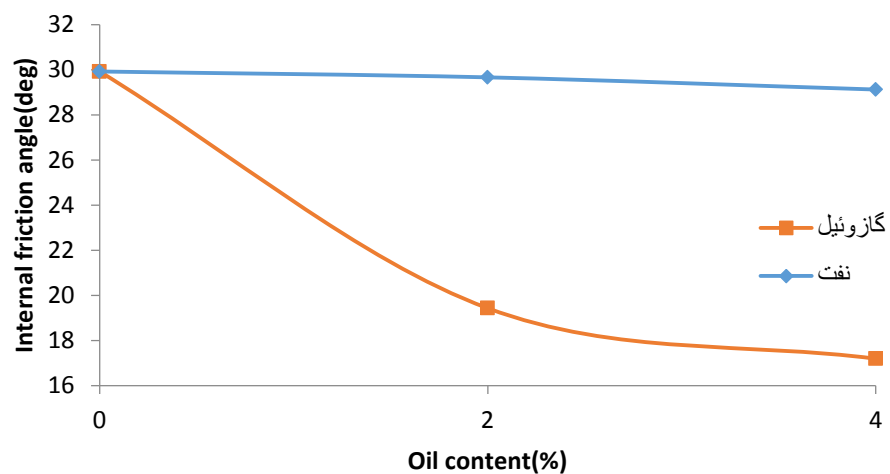


شکل ۵-۳- منحنی تغییرات تنش برشی - جابجایی افقی تحت تنش نرمال ۱۵۰ کیلو پاسکال

در نسبت تفاوت بین دو نمونه آلوده به نفت و گازوئیل، در هر دو زاویه اصطکاک کاهش و چسبندگی افزایش می یابد. البته در تغییرات زاویه اصطکاک، رفتار منحنی آلوده به نفت روند کاهش ملایم تری نسبت به منحنی آلوده به گازوئیل دارد ولی در چسبندگی با وجود اینکه هر دو افزایش می یابد اما نمودار آلوده به نفت با یک تغییر خطی و نمودار آلوده به گازوئیل، منحنی وار می باشد.



شکل ۴-۵- منحنی تغییرات چسبندگی-درصد آلودگی در نمونه های آلوده به نفت و گازوئیل



شکل ۵-۵- منحنی تغییرات زاویه اصطکاک-درصد آلودگی در نمونه های آلوده به نفت و گازوئیل

در مورد مصالح درشت دانه مشاهده می شود که در ابتدا و در مقادیر کم آلودگی ، زاویه اصطکاک داخلی با شیب کمی کاهش می یابد. این مسئله را می توان به بزرگتر بودن ذرات و کوچکتر بودن سطح موثر آنها مربوط دانست. اما با افزایش میزان آلودگی روند کاهشی زاویه اصطکاک داخلی سرعت میگیرد که به دلیل پوشیده شدن سطح ذرات با مواد نفتی و لغزنده شدن محل تماس آنها با یکدیگر است. در آلودگی با درصد بیشتر به دلیل پوشیده شدن تمام سطح ذرات این پدیده بیشتر قابل مشاهده است. همچنین در این مصالح

با آلوده شدن به مواد نفتی افزایش چسبندگی دیده می شود که احتمالا مربوط به لزجت و چسبندگی ذاتی مواد هیدروکربنی است. (قنواتی ، ۱۳۹۱)

سه دلیل باعث روی دادن پدیده نشست ناگهانی می شود : ۱- کاهش ناگهانی فشار محدود کننده وارد بر توده خاک ، ۲- لغزش آسان تر ذرات به علت اثر روان کنندگی آب و ۳- شکستگی ذرات خاک به علت اندرکنش آب و ترک های ریز سطحی دانه ها. عوامل موثر بر روی نشست ناگهانی مصالح شنی را میتوان میزان تراکم و چگالی نسبی مصالح ، سطح تنش اعمال شده بر روی نمونه ، مسیر تنش ، شکل ذرات و دانه بندی مصالح ، نسبت رطوبت هنگام تراکم و میزان تنش نام برد. (Soroush and Aghaei 2005)

البته یکی از پارامتر های مهم بررسی اثر نشست ، عامل رطوبت می باشد چنانچه مقاومت برشی ، زاویه اتساع و سختی برشی مصالح خشک تماما بیشتر از همین پارامتر ها در مصالح اشباع هستند. با افزایش تنش عمودی بر روی نمونه های شنی ، مقدار افت تنش برشی در زمان اشباع سازی ، میزان نشست ناگهانی و ضریب کاهش تنش افزایش پیدا می کند. با افزایش درصد ماسه در نمونه ها ، تمایل مصالح به نشست ناگهانی بیشتر می شود. به طوریکه میزان افت تنش برشی در زمان اشباع سازی و میزان فرونشست افزایش و ضریب کاهش تنش کاهش می یابد. چنانچه مصالح شنی ریخته شده در جعبه آزمایش برش مستقیم با چگالی بالایی تهیه شوند ، در آزمایش نشست ناگهانی هنگام اشباع سازی این نمونه ها، میزان افت تنش برشی و نشست ناگهانی کمتر می شود و ضریب کاهش تنش افزایش می یابد. اضافه کردن درصد رطوبت به نمونه های شنی ، تمایل این مصالح را به تغییر شکل کاهش می دهد و سبب می شود که میزان افت تنش برشی در نمونه ها و مقدار نشست ناگهانی کاهش یابد و نتیجتا باعث افزایش ضریب کاهش تنش شود. (مهین روستا و عشتاقی، ۱۳۹۰)

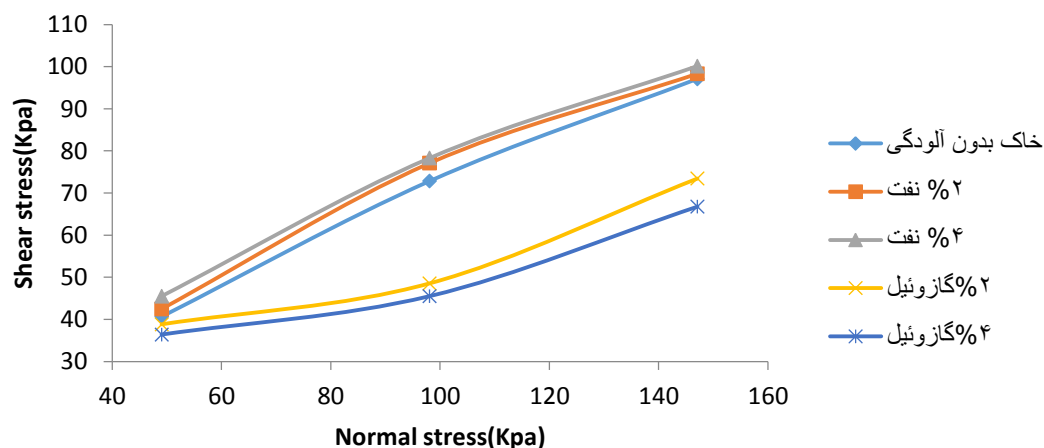
در بررسی های صورت گرفته بر روی منحنی های نشست ، تغییرات محسوسی در آنها دیده نمی شود که می تواند به دلیل ساختار دانه ای و درشت ذرات خاک باشد اما اگر ساختار خاک چسبنده می بود ، شاهد تغییرات قابل ملاحظه ای می بودیم.

همانطور که در جدول زیر مشاهده می کنید نتایج حاصل از آنالیز نمونه های ۲۰ روزه در تمامی نمونه های آلوده به نفت و گازوئیل آمده است. نحوه محاسبه به این صورت بود که آنها را در دو تنش قائم اعمالی ۸۰ و ۱۲۰ کیلو پاسکال تحت فشار قرار دادیم. علت اینکه این نمونه ها را نیز همانند نمونه های ۱۰ روزه با همان تنش ها مورد تست قرار ندادیم این می باشد که چنانچه اگر در نتایج نمونه های ۱۰ روزه خطایی داشتیم این خطا در بررسی تفاوت بین مقاومت نمونه های ۱۰ و ۲۰ روزه وارد نشود. لذا پس از ثبت نتایج بدست آمده از تست نمونه های ۲۰ روزه ، اعداد معادل همان تنش را از منحنی مربوط به نمونه ۱۰ روزه برازش کرده و نتایج آن دو را با هم مقایسه نمودیم. نتایج نشانگر کاهش محسوس میزان مقاومت به خصوص در نمونه های آلوده به نفت می باشد. نشان می دهد که واکنش نفت با خاک آرام و واکنش گازوئیل با خاک سریع می باشد.

جدول ۵-۱- نتایج بدست آمده از آزمایش نمونه های ۲۰ روزه

نوع هیدروکربن	درصد آلودگی	تنش قائم اعمال شده	مقاومت برشی بدست آمده از آزمایش	مقاومت برشی محاسبه شده از برازش منحنی
نفت	۲	۱۰۸۰	۴۵,۵	۷۳,۸
نفت	۴	۷۲۰	۴۰,۷	۶۳,۷
گازوئیل	۲	۱۰۸۰	۵۲,۲	۶۰,۵
گازوئیل	۴	۷۲۰	۴۱,۹	۴۳,۵

با توجه به منحنی های زیر ، پوش گسیختگی مصالح فوق تقریباً غیر خطی است و این غیر خطی بودن در سطح تنش پایین تر خود را بیشتر نشان می دهد. در حقیقت دلیل غیر خطی بودن پوش گسیختگی مصالح شنی و سنگریزه ای کاهش نرخ افزایش حجم و اتساع مصالح (به علت شکسته شدن ذرات) با بالا رفتن سطح تنش می باشد. بنابراین معیار خطی موهر-کولمب برای تعریف کردن رفتار دقیق این مصالح مناسب نیست. بر اساس مطالعه پژوهشگران پیشین روابط بسیاری برای پوش گسیختگی مصالح درشت دانه پیشنهاد شده است که به طور اختصار قبلاً ذکر شد.



شکل ۵-۶- منحنی تنش برشی-تنش نرمال در نمونه های آلوده و غیر آلوده

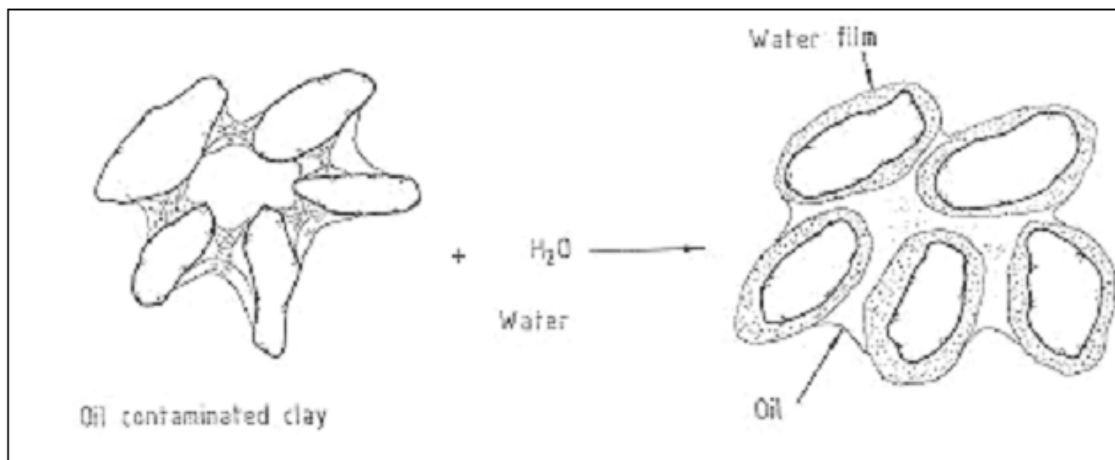
نمودار تنش نرمال - تنش برشی که بر اساس معیار موهر - کولمب رسم شده نشانگر منحنی بودن خطوط گسیختگی بر خلاف انتظار خطی بودن آن است.

آنچه در نتایج بالا قابل ذکر است ۲ نکته اساسی زیر می باشد :

۱- یکی از علل تفاوت بین نتیجه های دو ماده هیدروکربنی فوق ، به علت تفاوت در ساختار و ویژگی های فیزیکی و ظاهری بین نفت و گازوئیل می باشد. اختلاف بین هیدروکربن ها به دلیل تفاوت در طول زنجیره ، تفاوت در شاخه های زنجیره و در حلقه ها ، حضور اکسیژن ، نیتروژن و گوگرد می باشد. هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای (PAHS) یا هیدروکربن ها آروماتیک چند هسته ای در

طی عملیات با دمای بالا تشکیل می گردند. افزایش در وزن مولکولی و تعداد حلقه های موجود در مولکول PAHS منجر به کاهش سمیت و فراریت و افزایش ظرفیت جذب می گردد. (Chambers 1990)

۲- وجود رس در خاک باعث به وجود آمدن واکنش بین آن و آب یا مواد نفتی می شود. هرچقدر میزان رس بیشتر باشد، تاثیرگذاری آن هم بیشتر می شود چنانچه افزودن نفت خام به خاک باعث تشکیل مجموعه هایی مجزا از هم از ذرات رس و تشکیل ساختار توده ای (Aggregated) می گردد. در نتیجه سطح ویژه کاهش می یابد. همچنین مطالعات نشان می دهد، ظرفیت تبادل کاتیون (CEC) برای رس آلوده بطور چشمگیری کمتر از رس غیر آلوده می باشد که این امر، کاهش سطح ویژه را تایید می کند. کاهش در سطح ویژه باعث کاهش در چسبندگی خاک می شود. در پژوهش های پیشین نیز رفتار خاک های رسی آلوده با پلاستیسیته بالا در آزمایش بر مستقیم به خاک های غیر چسبنده تشبیه شده است. (Ur-rehman et al, 2007) و همچنین نمونه ها در اثر آلودگی به گازوئیل خاصیت خمیری خود را از دست می دهند و Nanplastic می شوند، چون ذرات باردار خاک توسط گازوئیل احاطه می شوند گازوئیل مانع تاثیرات آب بر ذرات رسی می شود و این پدیده سبب تمایل تغییر رفتار خاک رسی به ماسه ای می شود. (رجائی و همکاران)



شکل ۵-۷- شکل شماتیک بافت خاک آلوده به نفت

۳ - آزمایش برش مستقیم از نقطه نظر اجرایی نسبتاً ساده است، لیکن دارای چند عیب ذاتی می باشد و قابلیت اعتماد نتایج به دست آمده، ممکن است زیر سوال رود. این مسئله ناشی از آن است که در آزمایش برش مستقیم اجازه داده نمی شود که خاک در امتداد ضعیفترین صفحه گسیخته شود و گسیختگی اجباراً در صفحه جدایی دو نیمه فوقانی و تحتانی جعبه برش رخ می دهد. همچنین توزیع تنش برشی در روی سطح گسیختگی یکنواخت نیست . به همین دلایل در واقع این آزمایش مقاومت برشی خاک را کمی بیش از مقدار واقعی آن اندازه گیری می کند .علیرغم این عیوب، آزمایش برش مستقیم، ساده ترین و اقتصادی ترین آزمایش برای خاکهای درشت دانه شنی و ماسه ای است .

فصل ششم

نتایج

۶- نتیجه گیری

با توجه به تمامی مطالب ارائه شده در این پایان نامه و بررسی اعداد و پارامتر های بدست آمده از جداول و نمودار ها ، نتایج کلی زیر بدست می آید :

نمونه های آلوده به نفت رفتار مشابه نمونه اصلی بدون آلودگی ولی با کمی افزایش مقاومت دارند درحالیکه در نمونه های آلوده به گازوئیل شاهد کاهش مقاومت و تغییر در رفتار آن هستیم.

در نمودار تنش برشی - تنش نرمال رسم شده بر اساس پارامتر های بدست آمده و معیار موهر - کولمب ، گسیختگی مربوط به نفت دارای رفتار مشابه نمونه بدون آلودگی و در رده بالاتر می باشد. به این معنا که در یک تنش نرمال خاص ، نمونه دارای آلودگی نفت بیشتر ، در برابر تنش برشی بیشتری ، از نمونه بدون آلودگی ، از خود مقاومت نشان می دهد. اما رفتار نمونه های آلوده به گازوئیل دقیقا بر عکس بوده و دارای میزان افت بیشتری هستند.

میزان زاویه اصطکاک طی هر دو آلودگی کاهش یافت اما میزان تغییرات طی آلودگی با نفت برابر ۲,۶۷٪ و آلودگی با گازوئیل برابر ۴۲,۵۵٪ می باشد. همان طور که مشاهده میکنید این کاهش با شیب تندی در نمونه های آلوده با گازوئیل همراه است.

میزان چسبندگی در نمونه های آلوده به نفت به میزان ۴۵,۵۸٪ به صورت خطی افزایش می یابد ولی منحنی نمونه های دارای گازوئیل علی رغم افزایش ۳۹,۷٪ رفتار خاصی را نشان نمی دهد به طوریکه تا حدود ۲٪ آلوده به گازوئیل ، شیب افزایشی تندی دارند و پس از این مقدار با یک شیب نرم افزایش می یابند.

در بررسی های صورت گرفته بر روی نشست ، هیچ اختلاف خاصی بین نمونه های آلوده و غیر آلوده به طور محسوس مشاهده نمی شود و نتایج بدست آمده ، عدم رابطه ای خاص بین نشست و آلودگی در خاک های دانه ای و درشت دانه را نشان می دهد.

برای مشاهده اثر گذشت زمان همان طور که ذکر شد نمونه های ۲۰ روزه دارای افت شدید مقاومتی نسبت به نمونه های ۱۰ روزه می باشند که علت این امر علاوه بر خواص ساختاری مواد هیدروکربنی ، ترکیب و مخلوط شدن با ذرات بیشتر خاک طی مدت استراحت و واکنش شیمیایی آن با همان ذرات می باشد. این کاهش در نمونه های آلوده به نفت بیشتر از نمونه های آلوده به گازوئیل بود که نشان می دهد گازوئیل سریع با خاک واکنش داده و نتایج آن در کوتاه مدت قابل ملاحظه است ولی واکنش نفت با خاک آرام بوده و در بلند مدت و طی زمان بیشتر واکنش با آن ، اثرگذار می باشد.

فصل، منقسم

پیشہادات

جهت انجام تحقیقات مشابه و تکمیل بررسی های صورت گرفته ، مواد زیر پیشنهاد میگردد :

- در این پایان نامه از دو ماده هیدروکربنی نفت سفید (نفت) و نفت گاز (گازوئیل) به عنوان ماده آلوده کننده استفاده شد که می توان در پژوهش های دیگر از مواد بیشتری از قبیل نفت خام ، بنزین و ... استفاده کرد تا بتوان اثر تغییرات ساختاری در این مواد را بر روی پارامتر های دلخواه بررسی کرد.
- خاک مورد استفاده در این پژوهش ، شنی و درشت دانه می باشد که جهت بررسی اثر ذرات ریزتر بر مقاومت خاک ، می توان با درصد های متفاوت ، ماسه و ذرات چسبنده را به آن اضافه کرد و نمونه های جدیدی ساخت و مورد آزمایش قرار داد.
- دستگاه استفاده شده دارای ۶ نرخ اعمال نیروی برشی متفاوت می باشد که در این پایان نامه تنها بر روی یکی از این موارد ، دستگاه تنظیم گردید لذا می توان اثر تغییرات نرخ اعمال برش های مختلف را بر روی پارامتر های مقاومتی خاک در این آزمایش مورد لحاظ قرار داد.
- در بررسی عامل گذشت زمان ، چنانچه امکان این امر وجود داشت می توان نمونه هایی به فواصل زمانی یک ماهه و یا حتی کمتر به مدت یک سال ساخت تا شناخت دقیق تری از تاثیر این عامل بر مقاومت خاک آلوده داشت.
- می توان با افزایش دامنه میزان آلودگی ، اثر آن را به صورت جزئی تر مشاهده کرد اما باید این نکته را مد نظر قرار داد که پس از افزایش این میزان تا یک حد مشخصی ، شاهد اشباع خاک هستیم که این امر سبب ایجاد تغییرات کلی در ساختار خاک و آزمایش می شود.
- در نهایت می توان نمونه هایی با همین مشخصات و میزان آلودگی ساخت ولی آنها را در آزمایشات دیگر به کار برد و اثرات عوامل ذکر شده را بر پارامتر های دیگر شناخته شده علم ژئوتکنیک مورد تحقیق قرار داد.

فصل ہشتم

مراجع

۱. آقا مجیدی، محمد. (۱۳۸۳) "مطالعه آزمایشگاهی خزش در مصالح سنگریزه ای" پایان نامه کارشناسی ارشد ،دانشگاه تربیت مدرس
۲. اسدزاده، مؤگان. (۱۳۸۷) "مطالعه رفتار مصالح پاره سنگی با استفاده از آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس" پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشگاه صنعتی امیر کبیر
۳. باقرزاده خلخالی، امیر قاسمی، ع. (۱۳۸۱) "بررسی عددی تاثیر دانه بندی و ابعاد نمونه بر روی مقاومت برشی خاک های درشت دانه" سومین همایش بین المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران، پژوهشگاه نیرو، تهران
۴. جاوید، ن. توفیق، م. (۱۳۹۰) "بهبود آزمایشگاهی و تئوری نتایج آزمایشات برش مستقیم" ششمین کنگره ملی مهندسی عمران ، دانشگاه سمنان ، سمنان
۵. جعفری، ه. دقیق، م. کرمانی، م. (۱۳۸۹) "بررسی تغییرات پارامترهای مقاومتی خاک های آلوده به نفت خام از دیدگاه ژئوتکنیک بر پایه آزمایش های مقاومت تک محوری و برش مستقیم: مطالعه موردی خاک اطراف پالایشگاه تهران" چهارمین همایش بین المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران، تهران
۶. خوش نشین لنگرودی ، م. یثربی ، محمدی اکبر آبادی ، م. (۱۳۸۹) "بررسی تاثیر آلودگی نفت خام بر پارامتر های مقاومتی خاک رس" پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی، مشهد
۷. خسروی، ا. صبور، م. قاسم زاده ، ح. "مطالعه آزمایشگاهی تاثیر گازوئیل بر پارامتر های مقاومت برشی کائولینیت" دومین سمپوزیوم بین المللی مهندسی محیط زیست.
۸. رجائی، ف. لشکری پور، غ. غفوری، م. "بررسی تاثیرات آلودگی گازوئیل بر روی خصوصیات ژئومکانیکی خاک رس : مطالعه موردی منطقه شیروان" پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس
۹. صدقیانی ، م. ح. جیریائی ، م. (۱۳۸۳) "بررسی آزمایشگاهی تاثیر آلودگی به نفت خام بر پارامتر های مقاومت ، نشست و تراکم پذیری" اولین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.
۱۰. عبادی، ت. کرمانی، م. (۱۳۸۸) "بررسی تاثیر آلودگی به نفت خام بر پارامترهای ژئوتکنیکی آن" هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز، شیراز
۱۱. فتاحی، ب. عبدی، م. "تاثیر دانه بندی و ابعاد نمونه بر روی مقاومت برشی خاک درشت دانه در آزمون برش مستقیم"

۱۲. فلاح، م.، ابراهیمی، س.، شعبان پور، م. "انتقال آلاینده های هیدروکربونی در حالت ضربه و شرایط پایلوت در محیط متخلخل خاک اشباع" مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد بیستم، شماره سوم، ۱۳۹۲.
۱۳. قدردان، م.، قاسم زاده، ح.، صبور، م. ر.، خسروی، ا. "مطالعه آزمایشگاهی تاثیر آلاینده گازوئیل بر مقاومت فشاری محدود نشده خاک کائولینیت" دومین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، دانشگاه تهران
۱۴. قنوتی، نیما. (۱۳۹۱) "تاثیر بهسازی بر ویژگی های زمین شناسی مهندسی خاک های آلوده نفتی جنوب استان خوزستان" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس
۱۵. کمالی، م. ر.، قربانی، ب. "ژئوشیمی آلی از فیتوپلانکتون تا تولید نفت" انتشارات آراین زمین، چاپ اول، تابستان ۱۳۸۵.
۱۶. کنگانی، م.، قاسم زاده، ح. (۱۳۹۱) "رهیافتی بر چرایی و چگونگی حصول نتایج مختلف و متغیر در بررسی خواص ژئوتکنیکی خاک های آلوده به آلاینده های نفتی" نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان
۱۷. لشکری پور، غ.، غفوری، م.، رجائی، ف. (۱۳۸۹) "تاثیر آلودگی نفتی روی خصوصیات مکانیکی ماسه، سیلت و رس" چهارمین همایش ملی زمین شناسی، مشهد.
۱۸. مویدی، ح.، عبادی، م.، حیدریان، ه.، زمردیان، م. (۱۳۸۸) "بررسی معایب آزمون برش مستقیم و تاثیر آن بر نتایج پارامتر های مقاومت برشی" هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
۱۹. مهین روستا، ر.، عشتاقی، و. "بررسی تاثیر اشباع شدن خاک دانه ای بر مقاومت و نشست ناگهانی آن در آزمایش برش مستقیم" مهندسی عمران، دوره ۲۹-۲، شماره ۱، ص. ۱۱۴-۱۰۳
۲۰. محمدی اکبرآبادی، م.، یثربی، ش.، خوش نشین لنگرودی، م. (۱۳۸۹) "بررسی تاثیر آلودگی نفت خام بر برخی از ویژگی های ژئوتکنیکی خاک ماسه ای" مجموعه مقالات پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی، مشهد.

21. Al-Sanad, H., Eid, W.K., and Ismael, N.F. (1995), "Geotechnical Properties of Oil-Contaminated Kuwaiti Sand," International journal of Geotechnical Engineering, 121(5), pp 407-412

22. Al-Sanad, H. and Ismael, N.F. (1997), "Aging Effects On Oil-Contaminated Sand," Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 123(3), pp 290–293
23. Al-Aghbari, M., Dutta, R.K., and E-A. Mohamedzeini, Y (2011), "Effect of diesel and gasoline on the properties of sands – a comparative study," International journal of Geotechnical Engineering, 5 pp (61-68).
24. Aiban, A. (1998) "The Effect of Temperature on the Engineering Properties of Oil – contaminated Sand". Journal of Environmental International, V.24, 1998, PP: 153-161
25. Alonso, E (2003) "exploring the limits of unsaturated soil mechanics : the behavior of coarse granular soil and rock fill"
26. Anagnosti, P. and Popovic, M. (1982) "evaluation of shear strength for coarse grained granular materials"
27. Barton, N. and Kjaernsli, B. (1981) "shear strength of rockfill"
28. Boethling, R.S. and Alexander, M. (1979). "Effect of concentration of organic chemicals on their biodegradation by natural microbial communities" J.App. Environ. Microbial., 37: 1211-1216.
29. Charles, J.A. and Watts, (1980) "the influence of confining pressure on the shear strength of compacted rockfill"
30. Das, Braja M. Principles of geotechnical engineering, PWS Engineering, 2008.
31. Evgin, E. and Das, B.M. (1992), "Mechanical Behavior of an Oil Contaminated Sand," Environmental Geotechnology, H. Usman and Y. Acar, Eds., Balkema Publishers, Rotterdam, pp 101–108
32. Farmer, I.W. (1973) "the effect of particle strength on the compression of crushed aggregates"
33. Frasson, A. (1982) "large scale laboratory tests for the mechanical characterization of granular materials for embankment dam"

34. Frassoni, A. (2007) "safety of large rockfill dams, scale effect in rockfill shear strength and in dam safety factor"
35. Fumogalli, E. (1969) "test on cohesionless materials for rockfill"
36. Gharavy, M. (1996) "experimental and numerical investigations into the mechanical characteristics of rockfill material"
37. Hamidi, A., Alizadeh, M., Soleimani, S. M. (2009) "effect particle crushing on shear strength and dilation characteristics of sand-gravel mixtures." *international journal of civil engineering*, vol 7, No.1
38. Holtz, W. G. (1956) "triaxial shear test on previous gravelly soils"
39. Indraratna, B. (1998) "shear behavior of railway ballast based on large scale triaxial test"
40. Jia, Y. G., Wu, Q., Shang, H., Yang, Z. N., Shan, H. X., (2011). "The influence of oil contamination on the geotechnical properties of coastal sediments in the Yellow River Delta", China. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 70, 517–525.
41. Khamsehchiyan, M., and Charkhabi, A. H., and Tajik, M., (2007), "Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils Method," *Engineering Geology* 89 ,220–229
42. Khosravi, E., Ghasemzadeh, H., Sabour, M., Yazdani, H. (2013) "Geotechnical properties of gas oil contaminated kaolinite" *Engineering Geology* 166, pp 11-16
43. kermani, M. and Ebadi, T., (2012). "the effect of oil contamination on the geotechnical properties of fine-grained soils" *an international journal*, 21:5, 655-671, DOI:10.1080
44. Lade, P. (1996) "significance of particle crushing in granular materials"
45. Lee, K. (1967) "compressibility and crushing of granular soils in anisotropic triaxial test"
46. Lee, D. S., Kim, K. Y., Oh, G. D. & Jeong, S. S., (2008) "Shear characteristics of coarse aggregates sourced from quarries". *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 46:210-18

- 47.Liu,S.(2005)”on the interface friction in direct shear test”
- 48.Miller, G.A. and Muraleetharan, K.K.(1998).” In situ testing in unsaturated soil”, Proceedings of the 2nd International Conference on Unsaturated Soils 1: 416–421.Beijing, China.
- 49.Marachi,N.(1972)”Evaluation of properties of rockfill materials”
- 50.Marsal,R.J.(1967)”large scale testing of rockfill materials”
- 51.Marsal,R.J.(1973)”mechanical properties of rockfill”
- 52.Marsal,R.J.(1976)”mechanical properties of rockfill soil mixtures”
- 53.Meegoda, N.J., Ratnaweera, P., (1994), “Compressibility of contaminated fine grained soils,” Geotechnical Testing Journal, 17 (1), 101–112.
- 54.Nobari,E.S.(1972)”effect of reservoir filling on stresses and movements in earth and rockfill dam”
- 55.Rammamurthy,T.(2001)”shear strength response of some geotechnical materials in triaxial compression.”
- 56.Rehman, H.U, Abduljawad, S.N, Akram, T., (2007). “Geotechnical behavior of oil-contaminated finegrained soils,”, Electronic Journal of Geotechnical Engineering Vol. 12, No. A, 2007, pp 1-12.
- 57.Rahman, Z.A., Umar, H. and Taha, M. R.)2010), “ Geotechnical Influence of Oil Contamination on Geotechnical Properties of Basaltic Residual Soil,”. American Journal of Applied Sciences , pp 941-948
- 58.Soroush,A.(2005)”uncertainties in mechanical behavior of rockfill during first impounding of rockfill dams”
- 59.Soroush,A.(2006)”analysis of behavior of a high rockfill dam”
- 60.Shah, S.J., A.V. Shroff, J.V. Patel, K.C. Tiwari and Ramakrishnan .D, (2003).” Stabilisation of fuel oil contamination soil: A case study.” Geotech. Geological Eng., 21: 415-427.

61. Shin, E.C., and Das, B.M. (2001), "Bearing Capacity of Unsaturated Oil-Contaminated sand", Journal of Offshore and Polar Engineering, 11, pp 220-226
62. Shin, E.C., Lee, J.B. and Das, B.M.(1999), "Bearing capacity of a model scale footing on crude oil contaminated sand", Geotechnical and Geological Engineering 17, pp.123-132
63. Vallejo, L.E.(2001) "interpretation of the limits in shear strength in binary granular mixtures"
64. Vijay K. Puri., (2000), "Geotechnical Aspects of Oil-Contaminated Sands," Soil and Sediment Contamination, 9(4):359-374
65. Varadarajan, A.(2003) "testing and modeling two rockfill materials."
66. Yazdanjou, V. Salimi Eshkevari, N. Hamidi, A.(2008) "effect of gravel content on the shear behavior of sandy soils" the 4th national conference on civil engineering, university of Tehran.
67. Zeller, J.(1957) "the shear strength of the shell materials for the goschenenalp dam"
68. Zulfahmi, A.R. Umar, H.(2011) "engineering geological properties of oil-contaminated granitic and metasedimentary soils" sinas malaysiana 40(4)(2011) :293-300

Abstract

Due to the nature of external contaminants into the soil, it can cause changes in the physical structure and chemical soils. One of the most important and most common of these factors, or one of its derivatives, which are petroleum hydrocarbons in the family fit.

Leakage and emissions of these substances can leak due to natural factors such as natural or Earth Summit in production and storage sites And human factors such as accident tankers, pipelines and reservoirs injury, etc.

The entry and release into the soil in addition to environmental hazards such as pollution of underground water can be multiple causes changes in soil parameters. It changes according to the type and structure of the soil can cause changes in the physical properties or texture. Changes in soil geotechnical parameters may improve or decline in performance on the part of soil. However, due to the costly and time-consuming cleanup of soils contaminated with this material, as well as economical construction in the affected area, It is necessary to have the contaminated soil geotechnical characteristics and parameters studied engineering in the design of the structures in question, the results are considered to be. Since the soil shear strength as one of the most important factors that determine soil quality appear and analyze issues such as the horizontal pressure against the separation fence and shield and bracing, the slope stability and the bearing capacity of the soil and ... plays an important role, this parameter was investigated in the present thesis. The above study is based on direct shear tests performed on your particular device.

The soil used in the study of coarse sand that has been collected from the area shahrood oil site. To determine the effect of pollution, contamination and over time, samples without contamination as pilot-tested at the beginning and then the results were compared with samples of contaminated.

After two hydrocarbon contaminated soil samples with kerosene (oil) and gas oil (diesel) and in quantities of 2% and 4% and after 10 days of large-scale direct shear tests with box cutter 15*30*30 And 2.067 mm per minute rate cut has been applied. In addition to observing the effect of resistance over time, examples were made from time to relax after 2 previous testing was done. The results showed a significant reduction of resistance after exposure to gasoline

and similar behavior after exposure to oil, but the process by increasing the amount of contaminants increases. As a result, given the structural differences between the two oil and diesel, compared to the same samples contaminated with diesel oil contaminated with less resistance than the show itself. The increase of pollution, internal friction angle (ϕ) reduce adhesion (C) increases.

Keywords: contaminated soil, direct shear, shear strength, oil, gasoline



University of Shahrood

Faculty of Khawrazmi

Study on strength parameters of soil contaminated with hydrocarbons

Ali Rahimi

Supervisor:

Dr. S.M. Hoseini

September 2015