Archive of SID

تأثیر آلودگی نفت خام بر خصوصیات ژئوتکنیک خاک رس کائولینیت در بستر راه

سید محسن روشن قیاس*، دانشجوی دکتری مهندسی خاک و پی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

محمد حسین باقری پور، استاد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

Email: mohsenroshan@eng.uk.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۹ - پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۳۱

چکیده

آلودگی‌های نفتی یک پیامد اجتناب‌ناپذیر از افزایش سریع جمعیت و فرایند صنعتی شدن است که به دنبال آن آلودگی خاک توسط مواد هیدروکربنه نفتی به شکل وسیع در اطراف تأسیسات اکتشاف و پالایش و به شکل موضعی در مسیرهای انتقال این مواد قابل مشاهده می‌باشد. نشت نفت خام علاوه بر تأثیرات منفی محیط‌زیستی، مانند آلودگی منابع آب زیرزمینی، باعث تغییراتی در خصوصیات ژئوتکنیک خاک محل می‌شود. این تغییرات در خاک‌های دانه‌ای به صورت تغییر در خصوصیات فیزیکی و در خاک‌های ریزدانه به شکل تغییر در بافت و ساختار خاک می‌باشد. در این راستا، تغییر در مشخصات مهندسی لایه خاک می‌تواند منجر به کاهش ظرفیت باربری و افزایش نشست کلی و نسبی پی سازه‌ها شده و باعث گسیختگی سازه‌ای شود. هدف از این پژوهش، بررسی آلودگی خاک رس کائولینیتی با نفت خام و تعیین اثر آلودگی بر خصوصیات ژئوتکنیک خاک از قبیل حدود اتربرگ، چگالی ویژه، تراکم، مقاومت فشاری تک‌محوری و نفوذپذیری خاک می‌باشد. خاک با درصدهای مختلف نفت خام آلوده گردید. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش درصد نفت خام در خاک، حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیری کاهش می‌یابد. همچنین،، با افزایش آلودگی در نمونه‌ها، حداکثر وزن مخصوص خشک خاک آلوده افزایش و درصد رطوبت بهینه کاهش یافت. علاوه بر این، افزایش آلودگی باعث کاهش ضریب نفوذپذیری خاک آلوده شد. افزایش میزان مواد نفتی در آزمایش تک‌محوری خاک‌های آلوده اثری متفاوت داشت. مشاهده گردید که در آلودگی ۲ درصد، مقاومت تک‌محوری نسبت به خاک غیرآلوده افزایش می‌یابد. همچنین، در آلودگی‌های ۴ و ۶ درصد، مقاومت تک‌محوری نسبت به حالت خاک غیرآلوده افزایش می‌یابد؛ اما نرخ این افزایش، کاهش می‌یابد. نواحی خاک آلوده شده به نفت خام، قبل از استفاده در ساخت و سازها، نیازمند تثبیت یا اصلاح می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: نفت خام، خصوصیات ژئوتکنیک، خاک‌های آلوده به نفت خام، مقاومت تک‌محوری، ضریب نفوذپذیری

۱. مقدمه

نشت و ریزش هیدروکربن‌ها بزرگترین نگرانی در کشورهای تولید کننده نفت خام می‌باشد. خراب شدن مکرر لوله‌های نفتی توسط افراد اخلالگر، یا اتفاقات غیرقابل پیش‌بینی، باعث می‌شود که آلودگی‌های نفتی در هوا، آب و خاک پخش شوند. همچنین،، نشت قابل توجه نفت خام و مشتقات آن می‌تواند به آتش سوزی مهیب منتهی شود (بنهاهیا و همکاران، ۲۰۰۵) رهاسازی نفت خام و مشتقات نفتی در مخازن بزرگ سبب می‌شود که مساحت بزرگی از زمین آلوده شده و در اعماق خاک

www.SID.ir

Archive of SID

نفوذ کند (Mashalah و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین، نشت نفت از مخازن فرسوده ذخیره‌سازی در پالایشگاه-های نفتی و نیز به علت بارگیری یا خالی کردن نفت در تانکرها، ، موجب آلودگی در سطح گسترده‌ای از خاک اطراف در عمق می‌شود (Udiwalو Patel، ۲۰۱۰).

نشت نفت خام در محیط به لحاظ زیست‌محیطی قابل چشم‌پوشی نیست و نمی‌توان آن را نادیده گرفت. علاوه بر این، نشت و ریزش نفت خام و مشتقات آن، یکی از مهمترین عواملی می‌باشد که سبب تغییرات خصوصیات مهندسی و رفتار خاک‌ها می‌شود (اکین‌وومی و همکاران، ۲۰۱۴) این تغییرات، اثرهای بسیار زیادی روی سازه‌هایی می‌گذارد که قرار است روی خاک آلوده بنا شده و به آن تکیه کنند. همچنین، تغییرات خصوصیات مهندسی خاک‌ها می‌تواند منجر به گسیختگی خاک زیر پی و عملکرد نامطلوب سازه‌ای آن شود؛ علی-الخصوص زمانی که آلودگی سبب کاهش چشم‌گیر خصوصیات خمیری و ظرفیت باربری خاک و افزایش نشست شود و همچنین از زهکشی آب و دیگر مایعات جلوگیری به عمل آورد (محمد و شهاب‌الدین، ۲۰۰۸؛ Ahmed، ۲۰۰۹؛ مرات ومصطفی، ۲۰۱۰). بنابراین، سبب کاهش دامنه پروژه و منع استفاده از سایت‌های آلوده و همچنین افزایش هزینه‌های برآورده شده برای پروژه‌های راه‌سازی و سازه‌ای مهم می‌شود. افزایش هزینه پروژه‌های راه‌سازی ممکن است به علت انجام آزمایش‌های ژئوتکنیک و شیمیایی برای تعیین میزان آلودگی و اثر آلاینده‌ها بر خاک محل و انتخاب یک فونداسیون سازه‌ای گران برای پایداری بیشتر و همچنین هزینه استفاده از فناوری اصلاح یا تثبیت خاک‌های آلوده باشد (اُکاگبو و اُنیئوبی، ۱۹۹۹؛ اکین‌وومی و همکاران، ۲۰۱۲؛ اکین-وومی، ۲۰۱۴؛ استبرق و همکاران، ۲۰۱۵). آلودگی‌های نفتی به سبب نیروی وزن خود به طرف پایین و در لایه-های خاک نفوذ می‌کنند. تحرک و پویایی نفت خام و مشتقات آن در خاک به ویسکوزیته، مقدار نشت آلودگی و نفوذپذیری خاک وابسته می‌باشد. در هنگام نفوذ نفت خام به درون لایه‌های خاک، در حالتی که سطح آب‌های زیرزمینی به اندازه کافی پایین باشد، نفت خام قبل از رسیدن به آب‌های زیرزمینی در ناحیه خاک‌های غیراشباع حرکت کرده و در برخورد با توده‌های خاک اشباع نشده، جذب می‌شود. نفت خام جذب شده توسط خاک‌ها، سبب تغییرات خصوصیات ژئوتکنیک آنها از قبیل حد خمیری و حد روانی شده و همچنین باعث رقیق شدن نفت خام می‌شود (رحمان و همکاران، ۲۰۱۰؛ رجبی و شریفی پور، ۲۰۱۷).

آلودگی‌های نفتی مثل بنزین بر اثر طبیعت ترکیبات غیرآلی بسیار فرار خود، تمایل به تبخیر زیادی دارند. بنابراین، نفت خام و مشتقات آن، به دلیل حضور در مقادیر زیاد و در مدت زمان طولانی، به‌تدریج در لایه‌های خاک نفوذ کرده و باعث تغییرات خصوصیات ژئوتکنیک آنها و پیامدهای زیست‌محیطی قابل توجه می‌شود (Jinlan و همکاران، ۲۰۱۱؛ تونجان و پاموکچو، ۱۹۹۲). طی چند دهه گذشته، توجه بیشتری به آلودگی خاک توسط نفت خام و مشتقات نفتی، به‌واسطه نشت در مخازن ذخیره سازی، حوادث حمل‌ونقل جاده‌ای، تأسیسات تولیدات پتروشیمی و کارخانه‌های صنعتی فرسوده شده است (فالسیگلیا و واگلیاسیندی، ۲۰۱۵).

ایران جزو اولین کشورهایی می‌باشد که تولید نفت خام در خاورمیانه را شروع کرده است. در سال‌های اخیر، خاک‌های آلوده، به دلیل میزان زیاد نشت نفت خام و مشتقات آن بر اثر حوادث و حمل‌ونقل جاده‌ای، در نقاط مختلف کشور افزایش یافته و از همین رو بیشتر به عنوان موضوع مورد مطالعه قرار گرفته است. تحقیقات زیادی در زمینه تعیین خصوصیات ژئوتکنیک خاک‌های رسی آلوده صورت نگرفته و بیشتر آزمایش‌ها در مورد خاک‌های درشت‌دانه آلوده به مواد نفتی می‌باشد. بررسی تأثیر آلودگی خاک به نفت خام از دهه ۹۰ تاکنون توسط محققین زیادی انجام گرفته است. در این پژوهش‌ها، خاک با درصدهای مختلف وزنی با نفت خام مخلوط و پس از گذشت مدت زمان یک هفته الی یک ماه، مورد آزمایش قرار گرفته است. تغییرات قابل توجه در خصوصیات ژئوتکنیک و زیست‌محیطی خاک‌ها در حضور آلاینده‌های نفتی، باعث علاقمندی پژوهشگران به تحقیق روی این نوع خاک‌ها شده است. میگودا و راتناویرا (۱۹۹۴)تحقیقاتی روی تراکم‌پذیری خاک‌های آلوده ریزدانه با حدروانی کم و زیاد توسط آزمایش تحکیم انجام دادند. همچنین، السند و نبیل (۱۹۹۵) به بررسی ژئوتکنیک خاک‌های ماسه‌ای آلوده شده، بر اثر تخریب

www.SID.ir

Archive of SID

تأسیسات استخراج و ذخیره نفت خام و نشت آن به سبب جنگ خلیج در کشور کویت، پرداختند. نتایج نشان داد که نفوذپذیری و مقاومت خاک آلوده کاهش و تراکم-پذیری آن افزایش یافته است. اشرف (۲۰۱۱) به بررسی تأثیر آلودگی روغن موتور روی خاک رس پیش‌تحکیمی پرداخت و در گزارش خود از کاهش حدود اتربرگ و مقاومت فشاری محدود نشده و افزایش در نفوذپذیری، تراکم و پتانسیل تورم خاک آلوده خبر داد. همچنین، شاه و همکاران (۲۰۰۳) یک سری آزمایش‌های ژئوتکنیک روی رس‌های آلوده به نفت در یک مجموعه پتروشیمی انجام دادند. مطالعات انجام شده نشان داد که با کاهش ٪۴ وزن مخصوص خشک ماکزیمم، چسبندگی ۶۶٪، زاویه اصطکاک داخلی ۲۳٪ و مقاومت فشاری تحکیم نیافته ۳۵٪ کاهش و حد روانی ۱۱٪ افزایش می‌یابد. اُرحمان و همکاران (۲۰۰۷) به منظور بررسی مشخصات ژئوتکنیک خاک‌های آلوده به روغن موتور برای دو نوع خاک رسوبی از منشا گرانیتی و بازالتی، آزمایش‌هایی انجام دادند. ایزدبسکا و ترژینسکی (۲۰۰۸) به منظور بررسی تغییرات ریزساختاری خاک رس آلوده به گازوئیل، آزمایش‌هایی را انجام دادند. الگون و ییلدیز (۲۰۱۰) به منظور بررسی تأثیر آلودگی متانول، اتانول، ایزوپروپیل الکل و اسید استیک بر خاک رس، آزمایش‌های حدود اتربرگ، تحکیم و مقاومت برشی انجام دادند. اُیگبیل و آیینینولا (۲۰۱۳) آزمایش‌های آزمایشگاهی برای تعیین اثر آلودگی نفت خام بر مقاومت برشی خاک‌های سرخ (لاتریت) انجام دادند. ایلوج و آنیاگو (۲۰۱۶) به منظور بررسی تأثیر نفت خام بر ویژگی نفوذپذیری خاک رس با حد روانی کم، آزمایش تحکیم انجام دادند. نتایج نشان داد که با ۲٪ آلودگی نفت خام در خاک رس، نفوذپذیری خاک به‌صورت چشم‌گیری کاهش می‌یابد. خامه‌چیان و همکاران (۲۰۰۷) و عبادی و کرمانی (۲۰۱۲) به تأثیر آلودگی نفت خام بر حدود اتربرگ و خصوصیات تراکمی خاک‌های ریزدانه پرداختند. اما تحقیقات آنها به نتایج یکسان نرسیده است. به همین دلیل، توصیف کلی و جامع از تأثیر آلودگی نفت خام بر خاک رسی دشوار می‌باشد.

همان گونه که ذکر شد، مطالعات قابل توجهی در خصوص رفتار ژئوتکنیک خاک‌های آلوده به مواد نفتی انجام شده است. اما علی‌رغم پوشیده شدن مساحت قابل توجهی از سطح زمین با خاک‌های رسی، مطالعات جامعی در خصوص خاک‌های رسی آلوده انجام نگرفته است. بر همین اساس، در این تحقیق، آزمایش‌هایی در مورد پارامترهای ژئوتکنیک خاک‌های رسی آلوده به مواد نفتی، از جمله چگالی ویژه، حدود اتربرگ، مقاومت، تراکم و نفوذپذیری خاک رس کائولینیت انجام گرفت. دلیل انتخاب نمونه‌های رسی کائولینیت آن است که در خاک-های رسی، فراوان‌ترین کانی موجود در سطح زمین، کانی رسی کائولینیت می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. مواد مصرفی

نمونه‌های خاک از سه ناحیه متفاوت در منطقه و به علت جلوگیری از برخورد با خاک‌های هوازده، از دیواره کناری در عمق ۳ متری سطح زمین، جمع‌آوری و برای جلوگیری از ورود آب به نمونه‌های خاک درون کیسه‌های پلاستیکی قرار گرفتند. برای تعیین رطوبت طبیعی نمونه‌های خاک، کیسه‌ها به آزمایشگاه مکانیک خاک فرستاده شدند. در آزمایشگاه، نمونه‌های خاک با هم مخلوط گردیده و آزمایش دانه‌بندی روی آنها انجام گرفت. در جدول ۱، ویژگی‌های ژئوتکنیک نمونه رسی کائولینیت ارائه شده است. همچنین، نفت خام مورد استفاده در این آزمایش، از میدان‌های نفتی چاه‌های نفت گچساران برداشت شده است که مشخصات آن در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

مشخصه	مقدار
ماسه (٪)	۴
سیلت (٪)	۳۸
رس (٪)	۵۸
رطوبت طبیعی (٪)	۱۳/۱
چگالی (gr/cm^3)	۲/۷۵
مواد آلی (٪)	۱
pH	۸/۹۳
حد روانی (LL)	۳۶
حدخمیری (PL)	۲۰
دامنه خمیری (PI)	۱۶

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. مشخصات فیزیکی و شیمیایی نفت خام

مشخصه	مقدار
وزن مخصوص در دمای ۱۵/۵۶ °c	۰/۷۵۰۱
API (American Petroleum Institute)	۳۶/۳۵
درصد آب	۰/۰۴>Trace
ثابت دی الکتریک	۲/۲
ویسکوزیته در دمای ۱۰°c	۱۱/۷۱
ویسکوزیته در دمای ۲۰°c	۸/۶۸
ویسکوزیته در دمای ۴۰°c	۳/۸۱
نقطه جاری شدن	-۲۱
درصد نمک (P.B.T)	۹/۸

۲-۲. تهیه نمونه‌ها

پس از مخلوط کردن سه نمونه‌ی خاک برداشته شده و انجام آزمایش‌ها دانه‌بندی، خاک درون کوره حرارتی در دمای ۴۰ درجه سلسیوس قرار داده شد تا رطوبت اولیه خاک به طور کامل از بین برود. نمونه‌ها پس از خشک شدن، به منظور جلوگیری از کلوخه شدن ، توزین شده و قطعات بزرگ‌تر شکسته شده تا به قطعات کوچک‌تر خرد گردند. سپس، بلافاصله نمونه‌ها پخش و به ۶ قسمت تقسیم گردیدند. هر بخش به ترتیب با صفر، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ درصد وزن خشک نمونه‌های خاک، با نفت خام ترکیب شد. نمونه‌های خاک با نفت خام به‌طور کامل مخلوط شده و هر ۲۴ ساعت یک‌بار تکان داده شده تا کاملاً همگن و یکنواخت گردند. نمونه‌های آلوده در ظروف دربسته به مدت یک ماه نگهداری شدند. انتخاب یک ماه به عنوان زمان مورد نیاز در این تحقیق صرفاً به جهت ترکیب هر چه بهتر خاک رس و نفت خام بوده است. ضمناً با توجه به حضور مواد فرار در نفت خام، اضافه نمودن نفت خام به نمونه‌های خاک در کمتر از ۲ هفته از زمان تحویل نفت خام انجام گرفت تا آزمایش‌ها منطبق بر واکنش‌های واقعی نفت خام با خاک باشد. پس از سپری شدن یک ماه از آلوده کردن نمونه‌های خاک، آزمایش‌های وزن مخصوص، حدود اتربرگ، تراکم اصلاح شده، نفوذپذیری و تک‌محوری روی نمونه‌های آلوده و غیرآلوده انجام گرفت.

۲-۳. روش انجام آزمایش‌ها

در این تحقیق، چگالی ویژه نمونه‌ها با استفاده از استاندارد ASTM D854-02 تعیین شده است. برای برآورد چگالی ویژه از روش A برای نمونه‌های مرطوب استفاده شده است. آزمایش‌های حد روانی و حد خمیری نیز با استفاده از استاندارد ASTM D4318-10 انجام شد. حد روانی به‌صورت آزمایش چندنقطه‌ای و حدود خمیری به روش جام کاساگرانده تعیین شد. از آنجایی که خاک مورد مطالعه دارای ذراتی کوچک‌تر از الک شماره ۴ می‌باشد، برای تعیین تراکم‌پذیری خاک به روش تراکم استاندارد اصلاح شده مطابق با استاندارد ASTM D1557-09 از روش A استفاده شد. در این روش، از قالب ۱۰۱/۶ میلی‌متری و چکش ۴۴/۴۸ نیوتن که از ارتفاع ۴۵۷/۲ میلی‌متر رها می‌شد استفاده گردید و خاک مورد آزمایش در ۵ لایه و هر لایه با ۲۵ ضربه متراکم گردید. برای انجام آزمایش مقاومت تک‌محوری محدود نشده، از استاندارد ASTM D2166-85 استفاده شده است. در این آزمایش، نمونه خاک مورد نظر تا رسیدن به گسیختگی تحت بار محوری به صورت کنترل کرنش قرار گرفته و مقاومت آن بر اساس تنش کل ایجاد شده در نمونه در هنگام گسیختگی محاسبه شد. برای آماده‌سازی نمونه‌های دست نخورده از قالب استوانه‌ای شکل به قطر ۳۶ میلی‌متر و ارتفاع ۷۲ میلی‌متر استفاده شد. همچنین، بارگذاری به صورت قائم و با سرعت ثابت ۱ میلی‌متر بر دقیقه روی سطح نمونه وارد شد. آزمایش نفوذپذیری طبق استاندارد ASTM

www.SID.ir

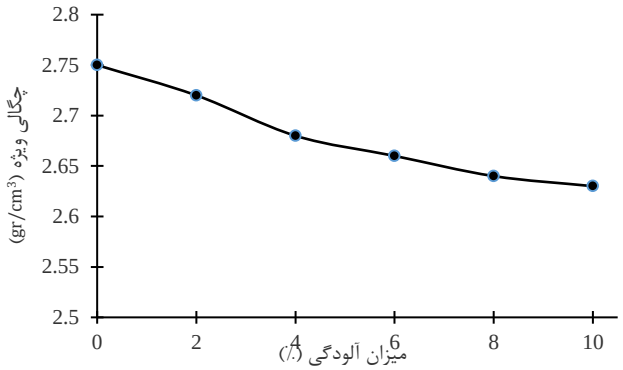
Archive of SID

D2434-87 انجام شده که به‌صورت آزمایش با پتانسیل (بار آبی) نزولی بود.

۳. تجزیه و تحلیل نتایج

۳-۱. چگالی ویژه

چگالی ویژه خاک غیرآلوده برابر ۲/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. نمودار رسم شده در شکل ۱ نتایج آزمایش چگالی ویژه خاک‌های مخلوط شده با درصدهای مختلف آلودگی به نفت خام را نشان می‌دهد. چگالی ویژه خاک آلوده از نمونه خاک غیر آلوده کمتر بوده و هرچه میزان درصد آلودگی افزایش یابد، چگالی ویژه نمونه‌های آلوده به صورت غیرخطی کاهش می‌یابد. این کاهش به‌واسطه چگالی ویژه نفت خام می‌باشد.



شکل ۱. تغییرات چگالی ویژه نسبت به میزان آلودگی

۳-۲. حدود اتربرگ

نتایج حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیری در شکل ۲ نشان داده شده است. به منظور کم کردن خطای آزمایش، برای هر نمونه، سه آزمایش انجام گردید و میانگین آنه محاسبه شد.

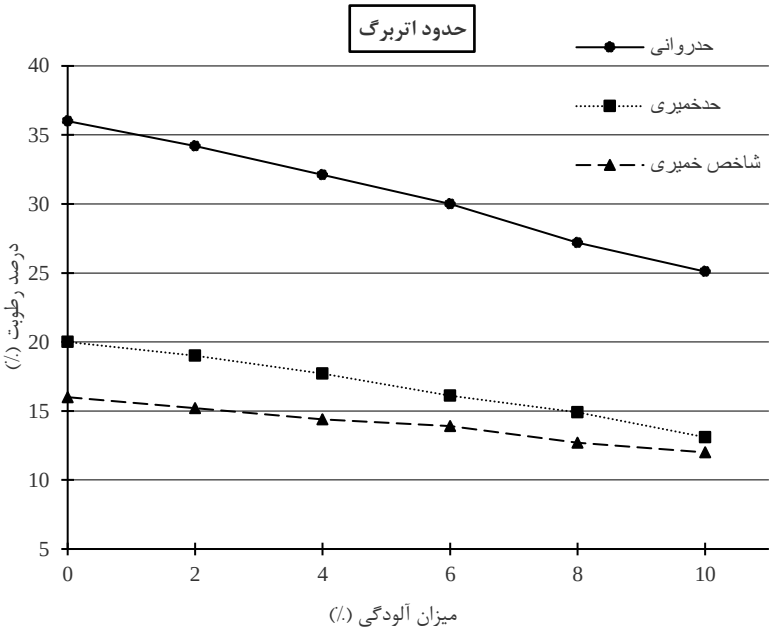
همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار آلودگی نفت خام به خاک رس، حد روانی و حد خمیری کاهش می‌یابند. اضافه کردن نفت خام باعث تغییرات میکروساختاری خاک رس می‌شود. به نظر می‌رسد که در میان کانی‌های رسی، باعث ایجاد یک لایه جدید می‌شود. احتمالاً، نفت خام، کانی‌های رسی خاک و آب جذب سطحی شده روی سطح کانی رسی را پوشانده و به دلیل این که مولکول‌های نفت غیرقطبی می‌باشند می‌توان دلیل کاهش حد روانی و حد خمیری را این مسأله دانست. همچنین، مولکول‌های نفت خام، آب‌گریز بوده و هنگامی که کانی‌های رسی آلوده می‌گردند، لایه به‌وجود آمده مانع از واکنش آب با ذرات باردار می‌شود. در نتیجه، ضخامت لایه مضاعف دوگانه که در اطراف کانی‌های رسی پدیدار می‌شود کاهش می‌یابد و هرچه مقدار آلودگی نفت خام افزایش یابد سطح آلودگی کانی‌های رسی بیشتر شده و در نتیجه سطح تماس با آب کمتر و لایه مضاعف دوگانه نازک‌تر می‌شود. بنابراین، برای تأمین ضخامت لایه دوگانه برای تغییر دادن وضعیت خاک، بایستی آب کمتری به خاک اضافه کرد و این سبب کاهش حد روانی و حد خمیری می‌شود.

در ضمن، ماهیت و گسترش ضخامت لایه مضاعف تحت تأثیر غلظت، ترکیب محلول الکترولیت و بار الکتریکی ذرات کلوئیدی و دما می‌باشد. در غلظت‌های زیاد الکترولیت، ضخامت لایه دوگانه مضاعف کاهش می‌یابد و الکترولیت‌هایی که دارای یون مثبت با ظرفیت زیاد هستند، می‌توانند متراکم‌ترین لایه دوگانه مضاعف را به وجود آورند؛ زیرا باعث می‌شوند پراکندگی بین ذرات کمتر شده و ذرات به هم نزدیک‌تر شوند.

با افزایش آلودگی نفت خام، شاخص خمیری به‌صورت تصاعدی کاهش می‌یابد که باعث می‌شود فعالیت خاک رس کم شود.

www.SID.ir

Archive of SID

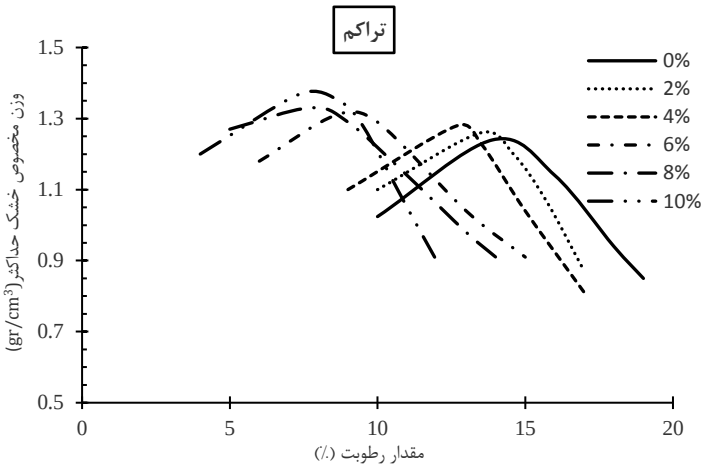


شکل ۲. تغییرات حدود اتربرگ نسبت به میزان آلودگی

۳-۳. نتایج حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه

نتایج آزمایش تراکم روی نمونه‌های رس غیرآلوده و آلوده در شکل ۳ نشان داده شده است. همچنین، در شکل‌های ۴ و ۵، به ترتیب تغییرات رطوبت بهینه و حداکثر وزن مخصوص خشک بر حسب میزان آلودگی نشان داده شده است.

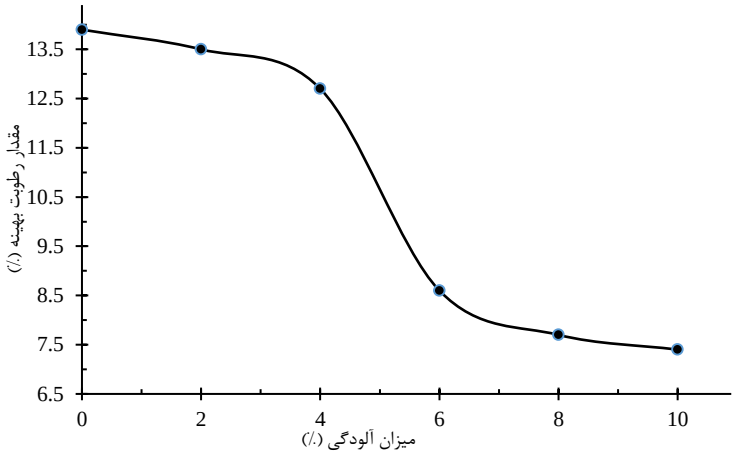
همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار نفت خام در نمونه خاک رسی، مقدار رطوبت بهینه کاهش و حداکثر وزن مخصوص خشک افزایش می‌یابد. هنگامی که رطوبت خاک کم باشد، نیروی اصطکاک بین ذرات بیشتر شده و اثر اعمال انرژی تراکمی بر ذرات کمتر می‌شود. بنابراین، وزن مخصوص خشک حداکثر کم و فضای خالی بین ذرات بیشتر می‌شود. هنگامی که آب به خاک اضافه می‌شود، به عنوان یک عامل لغزنده عمل کرده و باعث نرم شدن خاک و تراکم‌پذیری بیشتر شده و حداکثر وزن مخصوص خشک خاک افزایش می‌یابد.



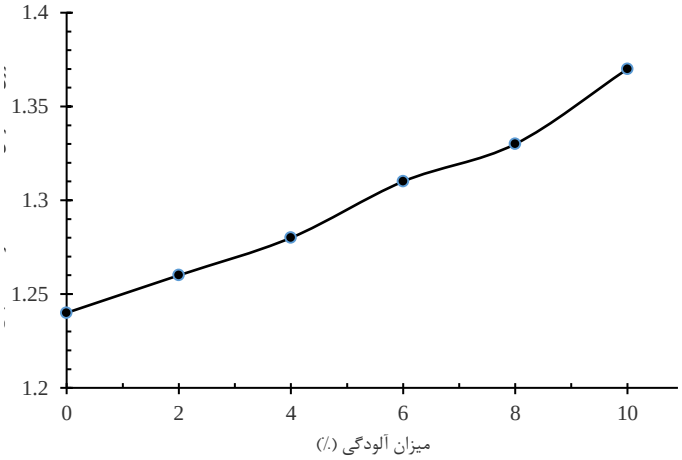
شکل ۳. نمودارهای آزمایش تراکم برای درصدهای مختلف آلودگی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴. تغییرات مقدار رطوبت بهینه نسبت به میزان آلودگی



شکل ۵. تغییرات حداکثر وزن مخصوص خشک نسبت به میزان آلودگی

متراکم شدن خاک‌های چسبنده به علت شکسته شدن اتصالات الکتروشیمیایی و بعضاً صفحات رسی و جابجایی و در هم رفتن این صفحات در مجاورت آب می باشد. علاوه بر آب، الکترولیت‌های دیگر نیز باعث لغزندگی ذرات و ایجاد آرایش جدید در خاک می‌شوند. اما به نظر می‌رسد که توانایی آب برای متراکم نمودن خاک‌ها بیشتر از نفت خام باشد. زیرا آب دارای ویسکوزیته کمتری بوده و به راحتی در بین ذرات خاک حرکت کرده و می‌تواند سطوح بیشتری را به لغزش در آورد.

نتایج به‌دست آمده از آزمایش تراکم روی خاک نشان داد که با افزایش میزان آلودگی نفت خام، درصد رطوبت بهینه کاهش می‌یابد. نفت خام آب‌گریز است و در اطراف لایه‌های ذرات خاک رسی مثل یک غشا پخش می‌شود و اجازه عمل واکنش آب با ذرات رس را نمی‌دهد؛ البته به جز آب جذب سطحی، که با لایه‌های رس در ارتباط می باشد. این می‌تواند پاسخی برای کاهش مقدار رطوبت بهینه برای رسیدن به حداکثر وزن مخصوص خاک با افزایش مقدار نفت خام باشد. همچنین، مشاهده می‌شود که تغییرات درصد رطوبت بهینه در مقادیر آلودگی ۲ و ۴ درصد نسبت به نمونه‌های غیر آلوده کم، ولی در میزان آلودگی ۶ درصد، کاهش چشم‌گیری می‌یابد. این بدان معناست که در مقادیر ۲ و ۴ درصد، بیشتر جذب ذرات خاک شده و حفرات خالی بین ذرات را کمتر پر می‌کند. اما در نمونه‌های با مقادیر ۶، ۸ و ۱۰ درصد آلودگی، نفت

www.SID.ir

Archive of SID

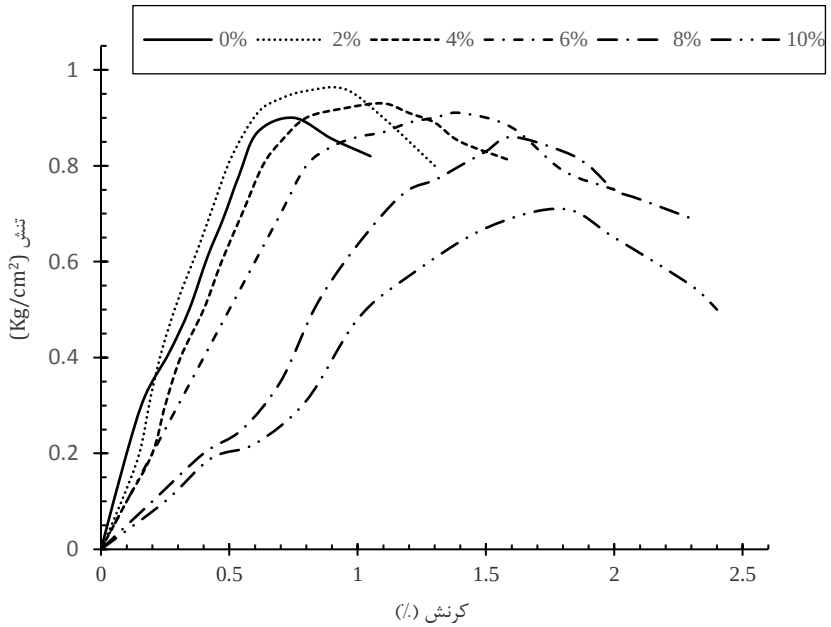
خام پس از جذب توسط ذرات رس، حفرات خالی بین ذرات رس را پر می‌کند.

همچنین، همان‌گونه که در قسمت قبل گفته شد، حضور نفت خام باعث کاهش ضخامت لایه دوگانه می شود. بنابراین، استفاده از یک انرژی یکسان برای متراکم کردن خاک غیرآلوده، ذرات رس کمتر با هم جفت و بست شده و در نتیجه حداکثر وزن مخصوص خشک خاک آلوده افزایش می‌یابد.

۴-۳. مقاومت تک‌محوری محدود نشده

آزمایش تک‌محوری یک روش سریع برای تعیین مقاومت زهکشی نشده خاک‌های چسبنده می‌باشد. در شکل ۶، منحنی‌های تنش- کرنش به‌دست آمده از آزمایش مقاومت فشاری محدود نشده روی نمونه‌های خاک غیرآلوده و آلوده به نفت خام در درصدهای مختلف آلودگی نشان داده شده است. همچنین، در شکل ۷، تغییرات مقاومت تک‌محوری محدود نشده بر حسب آلودگی نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مقاومت تک‌محوری محدود نشده خاک‌های آلوده، با افزایش آلودگی نفت خام کاهش می‌یابد. اما این تأثیر بر کاهش مقاومت تک‌محوری همه‌ی خاک‌های آلوده یکسان نمی‌باشد. این بدین معنی است که با اضافه کردن ۲٪ آلودگی نفت خام به خاک‌های رسی، مقاومت فشاری به اندازه ۷٪ افزایش می‌یابد. اما با افزایش مقادیر آلودگی ۴، ۶، ۸ و ۱۰ درصد نفت خام، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. در ضمن، برای بررسی نتایج به‌دست آمده، آزمایش مقاومت فشاری برای هر نمونه سه مرتبه تکرار و اعداد میانگین حاصله ارائه گردید تا صحت نتایج تأیید گردد.

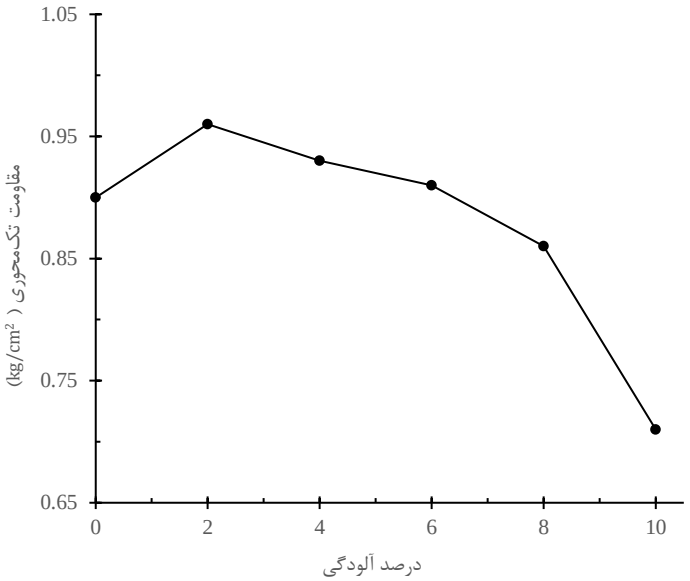
همان‌گونه که در نمودارهای شکل‌های ۶ و ۷ مشاهده می‌گردد، افزودن ۲٪ آلودگی نفت خام به خاک رس سبب افزایش مقاومتی فشاری خاک می‌شود. احتمالاً، تراکم بهتر ذرات خاک رس به‌دلیل وجود نفت خام سبب افزایش مقاومت فشاری خاک آلوده به میزان ۲٪ در مقایسه با خاک غیرآلوده می‌باشد. اما افزایش مقادیر آلودگی ۴، ۶، ۸ و ۱۰ درصد نفت خام به خاک رس سبب کاهش مقاومت تک‌محوری نمونه‌های آلوده می‌شود. احتمالاً، این امر به دلیل کلوخه شدن ذرات خاک رس توسط نفت خام و در نتیجه کاهش چسبندگی ذرات توجیه می‌گردد. به طوری که افزایش آلودگی به مقدار ۱۰٪ نفت خام، مقاومت تک‌محوری خاک آلوده در مقایسه با خاک غیرآلوده ۲۱٪ کاهش می‌یابد. در ضمن، بایستی توجه داشت که افزودن نفت خام به نمونه‌های خاک سبب پوشیده‌تر شدن ذرات رس توسط نفت خام شده و درنتیجه ذرات راحت‌تر روی یکدیگر می‌لغزند. این عامل سبب افزایش کرنش گسیختگی در نمونه‌های با درصد بیشتر آلودگی می‌شود.



شکل ۶. نمودارهای تنش- کرنش برای درصدهای مختلف آلودگی

www.SID.ir

Archive of SID

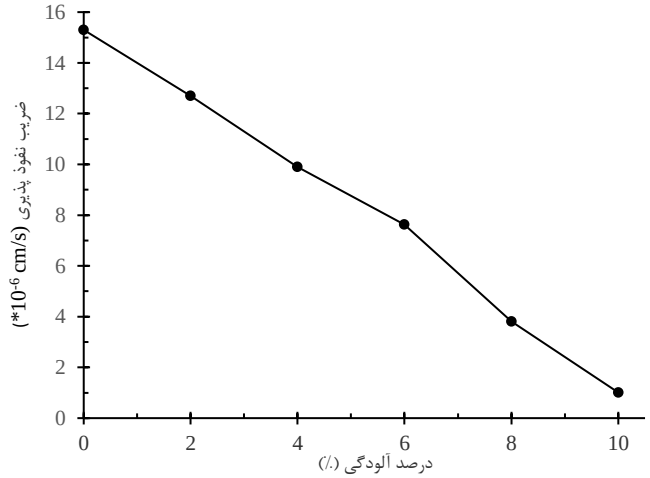


شکل ۷. تغییرات مقاومت تک‌محوری محدود نشده نسبت به درصد آلودگی

۵-۳. نفوذپذیری خاک

به طور کلی، نفوذپذیری خاک‌ها به دو عامل مشخصات محیط و سیال عبوری مربوط می‌شود. در خاک‌های رس-دار، ساختار خاک تأثیر مهمی بر ضریب نفوذپذیری دارد. سایر عوامل مهم که در نفوذپذیری رس‌ها مؤثر می‌باشند عبارتند از: تمرکز یونی و ضخامت لایه آبی که در اطراف ذرات رسی نگه داشته شده است. در شکل ۷، نتایج آزمایش نفوذپذیری روی خاک‌های رسی آلوده برحسب درصدهای مختلف آلودگی با نفت خام نشان داده شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، ضریب نفوذپذیری نمونه‌های خاک رس آلوده با افزایش میزان درصد آلودگی کاهش می‌یابد. این موضوع را می‌توان چنین تشریح نمود که ذرات آب باید درون فضاهای خالی در خاک حرکت کنند. اما نفت خام فضاهای خالی درون خاک را پر کرده و همچنین فضاهای خالی را پوشانده و مانع از حرکت آب درون این حفرات می‌شود. در نتیجه، با افزایش آلودگی، فضاهای بیشتری توسط نفت خام اشغال شده و باعث کندتر شدن حرکت آب در خاک می‌شود. همچنین، با توجه به اینکه لزجت نفت خام در مقایسه با آب بیشتر است، در نتیجه باعث سخت‌تر شدن عبور در بین فضاهای خالی خاک شده و ضریب نفوذپذیری کاهش می‌یابد.



شکل ۷. تغییرات ضریب نفوذپذیری نسبت به درصد آلودگی

www.SID.ir

Archive of SID

۴. نتیجه‌گیری

مهمترین نتایج پژوهش حاضر به شرح زیر می‌باشد:

- به دلیل غیرقطبی بودن مولکول‌های نفت خام و نازک شدن ضخامت لایه مضاعف دوگانه در حضور نفت خام، اضافه کردن نفت خام به خاک رس کائولینیتی باعث کاهش حد روانی، حد خمیری و اندیس خمیری در خاک های آلوده می‌شود.

- به واسطه وزن مخصوص کم نفت خام، وزن مخصوص خاک با افزایش آلودگی به صورت تصاعدی کاهش می‌یابد.

- به دلیل حضور نفت خام، اصطکاک بین ذرات کم شده و لذا با افزایش آلودگی نفت خام تراکم‌پذیری خاک-های رسی کائولینیتی افزایش می‌یابد. مقدار رطوبت بهینه با افزایش درصد آلودگی کاهش می‌یابد. با افزایش آلودگی از ۴ به ۶ درصد، تراکم‌پذیری به اندازه ۳۲٪ کاهش می-یابد.

- افزایش درصد آلودگی نفت خام در خاک رس کائولینیتی سبب یک روند ثابت تغییرات در مقاومت تک‌محوری نمی‌شود. به طوری که ابتدا با افزایش ۲٪ آلودگی، مقاومت فشاری افزایش می‌یابد؛ ولی با افزودن بیشتر نفت خام، مقاومت تک‌محوری خاک‌های آلوده کاهش می‌یابد.

- اضافه کردن نفت خام سبب کاهش نفوذپذیری خاک‌های رسی کائولینیتی می‌شود. این موضوع به دلیل پرشدن حفرات خالی خاک توسط نفت خام و سنگینی لزجت نفت خام نسبت به آب می‌باشد.

- با توجه به تضعیف برخی از پارامترهای مهم مقاومتی نمونه‌ی رسی کائولینیت آلوده به آلاینده مواد نفتی، از جمله چگالی ویژه، حدود اتربرگ و رطوبت بهینه، بهسازی و اصلاح خصوصیات رفتاری و مقاومتی آن ضروری به نظر می رسد.

۵. مراجع

عبادی، ت. و کرمانی، م. ۱۳۸۸. "بررسی تأثیر آلودگی خاک به نفت خام بر پارامترهای ژئوتکنیکی آن". هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز.

Akinwumi, I. I. 2012. “Utilization of steel slag for stabilization of a lateritic soil”. M. Eng. Dissertation, Covenant University, Ota.

Akinwumi, I. I., Adeyeri, J. B. and Ejohwomu, O. A. 2012. “Effects of steel slag addition on the plasticity, strength and permeability of a lateritic soil”. Proceedings of Second International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction, ASCE, Texas, pp. 457-464.

Akinwumi, I. I. 2014. “Plasticity, strength and permeability of reclaimed asphalt pavement and lateritic soil blends”. Int. J. Sci. Eng. Res., 5(6): 631-636.

Akinwumi, I. I., Diwa, D. and Obianigwe, N. 2014. “Effects of crude oil contamination on the index properties, strength and permeability of lateritic clay”. Int. J. Appl. Sci. Eng. Res., 3(4): 816-824.

Al-Sanad, H. A. and Nabil, F. I. 1997. “Aging effects on oil contaminated Kuwaiti sand”. Int. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 123: 290-293.

Ashraf, K. N. 2011. “Effect of motor oil contamination on geotechnical properties of over consolidated clay”. Int. J. Alexandria Eng., 50: 331-335.

Benyahia, F., Abdulkarim, M., Zekri, A., Chaalal, O. and Hasanain, H. 2005. “Bioremediation of crude oil contaminated soils: A black art or an engineering challenge”. Process Safety Environ. Prot., 83(4): 364-370.

Estabragh, A. R., Beytolahpour, I., Moradi, M. and Javadi, A. A. 2015. “Mechanical behavior of a clay soil contaminated with glycerol and ethanol”. J. Environ. Civ. Eng., 20: 503-519.

Falciglia, P. P. and Vagliasindi, F. G. A. 2015. “Remediation of hydrocarbon polluted soils using 2.45 GHz frequency-heating: Influence of operating power and soil texture on soil temperature profiles and contaminant removal kinetics”. J. Geochem. Explor., 151: 66-73.

Fernandez, F. and Quigley, R. M. 1985. “Hydraulic conductivity of natural clays permeated with simple liquid hydrocarbons”. Can. Geotech. J., 22(2): 205-214.

Iloeje, A. F. and Aniago, V. 2016. “Effect of crude oil on permeability properties of the soil”. Int. J. Trend Sci. Res. Dev., 1(1): 39-43.

Izdebska-Mucha, D. and Trzcinski, J. 2008. “Effects of petroleum pollution on clay soil microstructure”. Geologija, 50: S68-S74.Khamehchiyan, M., Charkhabi, A. H. and Tajik, M. 2007. “Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils”. Eng. Geol., 89(3): 220-229.

www.SID.ir

Archive of SID

Meegoda, N. J. and Ratnaweera, P. 1994. “Compressibility of contaminated fine-grained soils”. Int. J. Geotech. Test., 17: 101-112.

Mohammad, H. M. and Shahaboddin, S. Y. 2008. “Volume change behaviour of compacted clay due to organic liquids as permeant”. Appl. Clay Sci., 39: 60-71.

Murat, O. and Mustafa, Y. 2010. “Effect of organic fluids on the geotechnical behaviour of a highly plastic clayey soil”. Appl. Clay Sci., 48: 615-621.

Nasr, A. M. A. 2009. “Experimental and theoretical studies for the behaviour of strip footing on oil contaminated sand”. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 135(12): 1814-1822.

Okagbue, C. O. and Onyeobi, T. U. S. 1999. “Potential of marble dust to stabilise red tropical soils for road construction”. Eng. Geol., 53: 371-380.

Olgun, M. and Yildiz, M. 2010. “Effect of organic fluids on the geotechnical behaviour of a highly plastic clayey soil”. Int. J. Appl. Clay Sci. 4: 615-621.

Oyegbile, O. B. and Ayininuola, G. M. 2013. “Laboratory studies on the influence of crude oil spillage on lateritic soil shear strength: A case study of Niger Delta Area of Nigeria”. Int. J. Earth Sci. Geotech. Eng., 2: 73-83.

Rahman, Z. A., Hamzah, U., Taha, M. R., Ithnain, N. S. and Ahmad, N. 2010. “Influence of oil contamination on geotechnical properties of basaltic residual soil”. Amer. J. Appl. Sci., 7(7): 954-961.

Rajabi, H. and Sharifipour, M. 2017. “Effects of light crude oil contamination on small-strain shear modulus of Firoozkooh sand”. Eur. J. Environ. Civ. Eng., 23(11): 1351-1367.

Shah, S. J., Shroff, A. V., Patel, J. V., Tiwari, K. C. and Ramakrishnan, D. 2003. “Stabilization of fuel oil contaminated soil-A case study”. Int. J. Geotech. Geol. Eng. 21: 415-427.

Tuncan, A. and Pamukcu, S. 1992. “Predicted mechanism of crude oil and marine clay interactions”. Proc. of Environmental Geotechnology, Usman and Acar (Eds.), May 25-27, Cesme, Turkey, pp. 205-210.

Ur-Rehman, H., Abduljauwad, S. N. and Akram, T. 2007. “Geotechnical behavior of oil-contaminated fine-grained soils”. Elect. J. Geotech. Eng., 12: 1-12.

www.SID.ir

www.SID.ir