





دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی عمران

گرایش خاک و پی

تعیین پارامترهای مقاومتی خاک آلوده به مواد نفتی

مرتضی محمدبیگی سلحشور

استاد راهنما

دکتر حسن قاسم زاده

بهمن ماه ۱۳۹۳

چکیده

مناطق مختلف در سراسر جهان به دلایل بسیاری نظیر ریزش و نشت نفت و فرآورده‌های نفتی در حین استخراج، انتقال، ذخیره و بهره برداری، با آلودگی‌های نفتی مواجه هستند. این آلودگی نفتی اثرات منفی بر روی محیط زیست و اکولوژی منطقه آلوده دارد و نیز ممکن است خصوصیات ژئوتکنیکی خاک را تغییر دهد. استفاده کردن از خاک‌های آلوده به عنوان مصالح پرکننده و زیرساخت راه‌ها یک روش مرسوم می‌باشد. بنابراین ارزیابی اثر آلودگی‌های نفتی بر خصوصیات مکانیکی خاک ضروری است.

این پایان‌نامه یک پژوهش آزمایشگاهی بوده که هدف از آن تعیین پارامترهای مقاومتی خاک‌های آلوده به مواد نفتی می‌باشد. در همین راستا آزمایش‌های تک محوری و برش مستقیم بر روی مخلوط‌های مختلف بنتونیت و کائولینیت آلوده به گازوئیل با درصدهای آلودگی مختلف و میزان آب ثابت انجام پذیرفته است. همچنین جهت بررسی ترتیب افزودن آب و آلاینده بر پارامترهای مقاومتی نمونه‌ها یک بار آزمایش‌ها روی نمونه‌هایی که ابتدا با آب مخلوط شده‌اند انجام شده و بار دیگر بر روی نمونه‌هایی که ابتدا با گازوئیل مخلوط شده‌اند انجام پذیرفته است.

نتایج آزمایشات تک محوری نشان می‌دهد که در خاک‌های مختلف مورد مطالعه با افزایش میزان آلاینده، مقاومت برشی زهکشی نشده نمونه‌ها کاهش می‌یابد. همچنین مقاومت برشی زهکشی نشده نمونه‌ها هنگامی که ابتدا آلاینده و سپس آب به خاک اضافه شود بیشتر از هنگامی است که ابتدا آب و سپس آلاینده به خاک اضافه گردد. بررسی نتایج آزمایشات برش مستقیم نشان داد که با افزایش میزان آلاینده در مخلوط‌های مختلف بنتونیت و کائولینیت چسبندگی افزایش و زاویه اصطکاک داخلی کاهش می‌یابد. همچنین در حالتی که ابتدا آب به خاک اضافه شده است چسبندگی‌های به دست آمده بیشتر و نیز زاویه اصطکاک‌های به دست آمده کمتر از حالتی بوده‌اند که ابتدا گازوئیل به خاک اضافه شده است.

کلمات کلیدی: پارامترهای مقاومتی، آلودگی خاک، کائولینیت، بنتونیت، گازوئیل، آزمایش‌های

آزمایشگاهی

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ ساختار پایان نامه	۳
فصل دوم: مبانی تئوری و مروی بر تحقیقات پیشین	۵
۱-۲ مقدمه	۶
۲-۲ خاک	۶
۱-۲-۲ طبقه‌بندی خاک	۷
۲-۲-۲ خاک رسی	۸
۱-۲-۲-۲ ساختار خاک رس	۹
۲-۲-۲ کانی‌های رسی	۱۰
۳-۲ آلودگی خاک	۱۲
۱-۳-۲ نفت و فرآورده‌های نفتی	۱۲
۴-۲ مقاومت برشی خاک	۱۴
۱-۴-۲ مقاومت برشی خاک غیر اشباع	۱۵
۵-۲ مروری بر پژوهش‌های پیشین	۱۷
۱-۵-۲ آزمایش برش مستقیم	۱۸
۲-۵-۲ آزمایش سه محوری	۲۴
۳-۵-۲ حدود اتربرگ	۲۸
۴-۵-۲ تراکم پذیری	۳۰
۵-۵-۲ نفوذپذیری	۳۳
۶-۵-۲ پارامترهای تحکیم	۳۴

۳۶	۷-۵-۲ آزمایش‌های تک محوری
۳۸	۶-۲ جمع بندی
۳۹	فصل سوم: روش تحقیق
۴۰	۱-۳ مقدمه
۴۰	۲-۳ خاک مورد استفاده
۴۰	۳-۳ گازوئیل مورد استفاده
۴۰	۴-۳ نحوه آماده‌سازی نمونه‌های آلوده
۴۱	۵-۳ تعیین برخی از ویژگی‌های خاک‌های مورد استفاده
۴۱	۱-۵-۳ تعیین چگالی ویژه
۴۲	۲-۵-۳ تعیین درصد رطوبت
۴۴	۳-۵-۳ تعیین دانه‌بندی خاک
۴۶	۴-۵-۳ تعیین PH خاک
۴۷	۵-۵-۳ آزمایش حدود اتربرگ
۴۹	۶-۵-۳ آزمایش تراکم
۵۲	۶-۳ آزمایش تک محوری
۵۴	۷-۳ آزمایش برش مستقیم
۵۵	۸-۳ جمع بندی
۵۶	فصل چهارم: نتایج
۵۷	۱-۴ مقدمه
۵۷	۲-۴ آزمایش دانه‌بندی
۵۷	۳-۴ چگالی ویژه
۵۸	۴-۴ حدود اتربرگ
۵۸	۵-۴ آزمایش تراکم
۶۱	۶-۴ آزمایشات تک محوری

۶۲	 ۱-۶-۴ تاثیر میزان آلاینده بر نتایج آزمایشات تک محوری
۶۴	 ۲-۶-۴ تاثیر میزان آب بر مقاومت برشی زهکشی نشده خاک‌های آلوده
۶۶	 ۳-۶-۴ تاثیر ترتیب افزودن آب و آلاینده به نمونه بر مقاومت برشی زهکشی نشده خاک‌ها ...
۶۹	 ۷-۴ آزمایشات برش مستقیم
۷۷	 ۸-۴ جمع بندی
۸۱	 فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۸۲	 ۱-۵ مقدمه
۸۲	 ۲-۵ نتایج
۸۳	 ۳-۵ پیشنهادات
۸۳	 منابع و مراجع

فهرست شکل‌ها

..... شکل ۱-۲: ساختار دانه‌ای [۷]	۶
..... شکل ۲-۲: کانی‌های رس: واحدهای سازنده [۷]	۱۰
..... شکل ۳-۲: ساختار لایه کائولینیت [۷]	۱۰
..... شکل ۴-۲: ساختار لایه ایلیت [۷]	۱۱
..... شکل ۵-۲: ساختار لایه مونت موریلونیت [۷]	۱۲
..... شکل ۶-۲: پوش گسیختگی موهر-کولمب تعمیم یافته برای خاک‌های غیر اشباع	۱۶
..... شکل ۷-۲: تاثیر درصد گازوئیل و آب بر روی چسبندگی کائولینیت [۷]	۱۹
..... ی اصطکاک کائولینیت [۱۸] شکل ۸-۲: تاثیر درصد گازوئیل و آب بر روی زاویه	۱۹
..... شکل ۹-۲: تاثیر درصد گازوئیل و آب بر روی مقاومت برشی کائولینیت [۱۸]	۱۹
..... شکل ۱۰-۲: تغییرات زاویه اصطکاک در مقابل تغییرات درجه اشباع [۲۴]	۲۱
..... SM و SP های آلوده شکل ۱۱-۲: تغییرات زاویه اصطکاک داخلی در نمونه	۲۲
..... SM و SP های آلوده شکل ۱۲-۲: تغییرات چسبندگی در نمونه	۲۲
..... $D_p = 45\%$ شکل ۱۳-۲: زاویه اصطکاک تنش کل در مقابل درصد نفت)	۲۳
..... $D_p = 75\%$ شکل ۱۴-۲: زاویه اصطکاک تنش کل در مقابل درصد نفت)	۲۳
..... شکل ۱۵-۲: تغییرات زاویه اصطکاک داخلی در مقابل عمر نمونه‌های آلوده [۲۸]	۲۴
..... شکل ۱۶-۲: تاثیر هیدروکربن بر مقادیر مقاومت برشی در درصدهای مختلف هیدروکربن [۲۹]	۲۵
..... شکل ۱۷-۲: منحنی‌های تنش-کرنش به دست آمده از آزمایشات سه محوری تحکیم یافته زهکشی نشده [۲۷]	۲۶
..... α های سه محوری شکل ۱۸-۲: تغییرات تنش تفاضلی در مقابل کرنش محوری برای آزمایش	۲۷
..... α های سه محوری شکل ۱۹-۲: تغییرات فشار آب منفذی در مقابل کرنش محوری برای آزمایش	۲۷
..... شکل ۲۰-۲: مشخصات خمیری رس آلوده با درصدهای مختلف گازوئیل [۲۸]	۲۸
..... های گرانیته و رسوبی با منشاء سنگ دگرگون	۲۸
..... های حدود اتربرگ روی خاک شکل ۲۱-۲: نتایج آزمایش	۲۹
..... (الف) حد روانی (ب) حد خمیری	۲۹
..... شکل ۲۲-۲: منحنی‌های (الف) وزن مخصوص خشک حداکثر در مقابل درصد نفت و (ب) درصد رطوبت بهینه در مقابل	۳۱
..... [۶] V و V درصد نفت برای خاک‌های بازالتی هوازده درجه	۳۱
..... شکل ۲۳-۲: نمودار وزن مخصوص در مقابل درجه اشباع [۲۴]	۳۲
..... های با درصدهای آلودگی متفاوت شکل ۲۴-۲: نمودارهای آزمایش تراکم برای نمونه	۳۳
..... شکل ۲۵-۲: تاثیر درصد گازوئیل بر روی مشخصات تحکیمی گازوئیل [۲۵]	۳۵
..... های ماسه تمیز و آلوده شکل ۲۶-۲: نمودار تحکیم برای نمونه	۳۶
..... شکل ۲۷-۲: تاثیر مقدار گازوئیل بر مقاومت برشی زهکشی نشده گازوئیل	۳۷
..... شکل ۱-۳: رابطه بین حجم و درصد رطوبت در خاک‌های ریزدانه [۳۸]	۴۷
..... شکل ۲-۳: منحنی تراکم-جهت گیری ذرات رس در قسمت‌های مختلف منحنی نشان داده شده است [۳۸]	۵۰
..... شکل ۱-۴: منحنی‌های دانه‌بندی خاک‌های کائولینیت و بنتونیت مورد استفاده	۵۷

شکل ۴-۲: منحنی تراکم به دست آمده برای مخلوط خاک بنتونیت و کائولینیت با ترکیب ۲۰٪ بنتونیت-۸۰٪ کائولینیت	۵۹
شکل ۴-۳: منحنی تراکم به دست آمده برای مخلوط خاک بنتونیت و کائولینیت با ترکیب ۳۵٪ بنتونیت-۶۵٪ کائولینیت	۵۹
شکل ۴-۵: منحنی تراکم به دست آمده برای مخلوط خاک بنتونیت و کائولینیت با ترکیب ۵۰٪ بنتونیت-۵۰٪ کائولینیت	۵۹
شکل ۴-۶: منحنی تراکم به دست آمده برای مخلوط خاک بنتونیت و کائولینیت با ترکیب ۶۵٪ بنتونیت-۳۵٪ کائولینیت	۶۰
شکل ۴-۷: تغییرات چسبندگی زهکشی نشده در مقابل تغییر میزان آلودگی برای نمونه‌های با میزان ۵٪ آب در حالتی	۶۲
شکل ۴-۸: تغییرات چسبندگی زهکشی نشده در مقابل تغییر میزان آلودگی برای نمونه‌های با میزان ۵٪ آب در حالتی	۶۳
شکل ۴-۹: تغییرات چسبندگی زهکشی نشده در مقابل تغییر میزان آلودگی برای نمونه‌های با میزان ۱۰٪ آب در	۶۳
شکل ۴-۱۰: تغییرات چسبندگی زهکشی نشده در مقابل تغییر رطوبت کل (مجموع آب و گازوئیل) برای ترکیب ۲۰٪ بنتونیت-۸۰٪ کائولینیت	۶۴
شکل ۴-۱۱: تغییرات چسبندگی زهکشی نشده در مقابل تغییر رطوبت کل (مجموع آب و گازوئیل) برای ترکیب ۳۵٪ بنتونیت-۶۵٪ کائولینیت	۶۵
شکل ۴-۱۲: تغییرات چسبندگی زهکشی نشده در مقابل تغییر رطوبت کل (مجموع آب و گازوئیل) برای ترکیب ۵۰٪ بنتونیت-۵۰٪ کائولینیت	۶۵
شکل ۴-۱۳: تغییرات چسبندگی زهکشی نشده در مقابل تغییر رطوبت کل (مجموع آب و گازوئیل) برای ترکیب ۶۵٪ بنتونیت-۳۵٪ کائولینیت	۶۶
شکل ۴-۱۴: تغییرات چسبندگی زهکشی نشده در مقابل تغییر میزان گازوئیل برای نمونه‌های ساخته شده از خاک با ترکیب ۲۰٪ بنتونیت-۸۰٪ کائولینیت و میزان ۵٪ آب	۶۷
شکل ۴-۱۵: تغییرات چسبندگی زهکشی نشده در مقابل تغییر میزان گازوئیل برای نمونه‌های ساخته شده از خاک با ترکیب ۳۵٪ بنتونیت-۶۵٪ کائولینیت و میزان ۵٪ آب	۶۷
شکل ۴-۱۶: تغییرات چسبندگی زهکشی نشده در مقابل تغییر میزان گازوئیل برای نمونه‌های ساخته شده از خاک با ترکیب ۵۰٪ بنتونیت-۵۰٪ کائولینیت و میزان ۵٪ آب	۶۸
شکل ۴-۱۷: تغییرات چسبندگی زهکشی نشده در مقابل تغییر میزان گازوئیل برای نمونه‌های ساخته شده از خاک با ترکیب ۶۵٪ بنتونیت-۳۵٪ کائولینیت و میزان ۵٪ آب	۶۸
۷۰هایی که در آنها ابتدا آب اضافه شده است شکل ۴-۱۸: تغییرات چسبندگی در مقابل تغییر میزان گازوئیل برای نمونه‌هایی که در آنها ابتدا آب اضافه شده شکل ۴-۱۹: تغییرات زاویه اصطکاک در مقابل تغییر میزان گازوئیل برای نمونه	۷۰

شکل ۴-۲۰: تغییرات چسبندگی در مقابل تغییر میزان گازوئیل برای نمونه‌هایی که در آن‌ها ابتدا گازوئیل اضافه شده	۷۱
شکل ۴-۲۱: تغییرات زاویه اصطکاک در مقابل تغییر میزان گازوئیل برای نمونه‌هایی که در آن‌ها ابتدا گازوئیل اضافه شده است	۷۱
شکل ۴-۲۲: تغییرات چسبندگی در مقابل تغییرات میزان گازوئیل برای مخلوط خاک بنتونیت و کائولینیت با ترکیب ۲۰٪ بنتونیت-۸۰٪ کائولینیت	۷۲
شکل ۴-۲۳: تغییرات چسبندگی در مقابل تغییرات میزان گازوئیل برای مخلوط خاک بنتونیت و کائولینیت با ترکیب ۳۵٪ بنتونیت-۶۵٪ کائولینیت	۷۳
شکل ۴-۲۴: تغییرات چسبندگی در مقابل تغییرات میزان گازوئیل برای مخلوط خاک بنتونیت و کائولینیت با ترکیب ۵۰٪ بنتونیت-۵۰٪ کائولینیت	۷۳
شکل ۴-۲۵: تغییرات چسبندگی در مقابل تغییرات میزان گازوئیل برای مخلوط خاک بنتونیت و کائولینیت با ترکیب ۶۵٪ بنتونیت-۳۵٪ کائولینیت	۷۴
شکل ۴-۲۶: تغییرات زاویه اصطکاک در مقابل تغییرات میزان گازوئیل برای مخلوط خاک بنتونیت و کائولینیت با ترکیب ۲۰٪ بنتونیت-۸۰٪ کائولینیت	۷۵
شکل ۴-۲۷: تغییرات زاویه اصطکاک در مقابل تغییرات میزان گازوئیل برای مخلوط خاک بنتونیت و کائولینیت با ترکیب ۳۵٪ بنتونیت-۶۵٪ کائولینیت	۷۵
شکل ۴-۲۸: تغییرات زاویه اصطکاک در مقابل تغییرات میزان گازوئیل برای مخلوط خاک بنتونیت و کائولینیت با ترکیب ۵۰٪ بنتونیت-۵۰٪ کائولینیت	۷۶
شکل ۴-۲۹: تغییرات زاویه اصطکاک در مقابل تغییرات میزان گازوئیل برای مخلوط خاک بنتونیت و کائولینیت با ترکیب ۶۵٪ بنتونیت-۳۵٪ کائولینیت	۷۶
شکل ۴-۳۰: تغییرات مقاومت برشی در مقابل تغییرات میزان گازوئیل برای مخلوط خاک بنتونیت و کائولینیت با ترکیب ۲۰٪ بنتونیت-۸۰٪ کائولینیت	۷۷
شکل ۴-۳۱: تغییرات مقاومت برشی در مقابل تغییرات میزان گازوئیل برای مخلوط خاک بنتونیت و کائولینیت با ترکیب ۳۵٪ بنتونیت-۶۵٪ کائولینیت	۷۸
شکل ۴-۳۲: تغییرات مقاومت برشی در مقابل تغییرات میزان گازوئیل برای مخلوط خاک بنتونیت و کائولینیت با ترکیب ۵۰٪ بنتونیت-۵۰٪ کائولینیت	۷۸
شکل ۴-۳۳: تغییرات مقاومت برشی در مقابل تغییرات میزان گازوئیل برای مخلوط خاک بنتونیت و کائولینیت با ترکیب ۶۵٪ بنتونیت-۳۵٪ کائولینیت	۷۹

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱: تعدادی از حوادثی که منجر به نشت گازوئیل شده‌اند [۲]	۲
جدول ۱-۲: حدود جداکننده اندازه ذرات خاک [۸]	۸
جدول ۱-۳: آزمایشات تک محوری انجام شده	۵۳
جدول ۲-۳: آزمایشات برش مستقیم انجام شده	۵۴
جدول ۱-۴: حدود اتربرگ بدست آمده برای خاک‌های کائولینیت و بنتونیت مورد استفاده	۵۸
جدول ۲-۴: خصوصیات تراکمی مخلوط‌های خاک بنتونیت و کائولینیت با ترکیبات مختلف حاصل از انجام آزمایشات	
تراکم با آب	۶۰
جدول ۳-۴: خصوصیات تراکمی مخلوط‌های خاک بنتونیت و کائولینیت با ترکیبات مختلف حاصل از انجام آزمایشات	
تراکم با گازوئیل	۶۱

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

نفت خام اهمیت قابل توجهی برای توسعه‌ی هر کشور از لحاظ تولید انرژی، سوخت و اشتغال دارد و به عنوان یک منبع مواد خام برای صنایع پتروشیمی است. به هر حال، اکتشاف، استخراج و فرآوری نفت ممکن است باعث ریزش مواد نفتی گردند که خاک را آلوده می‌کند [۱]. آلودگی مواد نفتی ممکن است از طریق نشت مخازن ذخیره، ریختن و نشت در حین جابجایی، استخراج و نشت طبیعی رخ بدهد. در سال‌های اخیر حوادث زیادی رخ داده که باعث نشت گازوئیل شده است. برای مثال در تاریخ ۷ دی ماه ۱۳۹۳ ترکیدن خط انتقال گازوئیل در نزدیکی رودخانه کرخه باعث نشت گازوئیل و آلودگی منطقه شد. در جدول زیر تعدادی از حوادثی که منجر به نشت گازوئیل شده‌اند آورده شده است.

جدول ۱-۱: تعدادی از حوادثی که منجر به نشت گازوئیل شده‌اند [۲]

کشور	سال	مقدار گازوئیل ریخته شده
تایلند	۶ مارس ۱۹۹۴	۱۰۵۶۷۰ گالون
مالزی	۲ نوامبر ۲۰۰۰	۱۱۶ تن
اکوادور	۱۶ ژوئن ۲۰۰۱	۱۶۰۰۰۰ گالون
برزیل	۲۰ مارس ۲۰۰۱	۳۱۶۰۰۰ گالون
ایالات متحده آمریکا	۸ آوریل ۲۰۰۱	۳۵۰۰۰ گالون
ویتنام	۷ سپتامبر ۲۰۰۱	۱۹۰۰۰ تن
برزیل	۱۸ نوامبر ۲۰۰۴	در دسترس نیست

هنگامی که مواد نفتی بر روی خاک می‌ریزد، وسعت آلودگی به خواص خاک بستگی خواهد داشت [۳]. زمین آلوده به مواد نفتی، به کار زیادی برای بازیابی نیاز دارد. بازیابی ممکن است شامل روش‌های شستشویی، جدا کردن توسط خلا و جداسازی با سانتریفیوژ و سیستم‌های جداکننده، روش‌های جذبی یا بیولوژیکی، باشد. یکی از راهکارهای ممکن برای به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی استفاده مناسب از این خاک‌ها در ساخت و ساز است. علاوه بر این، می‌توانند به صورت مستقل در خاک‌ریزها با پوشش مناسب استفاده شوند تا انتقال اثرات زیست محیطی آن‌ها نظیر آلودگی آب‌های زیرزمینی کاهش یابد. استفاده از خاک‌های آلوده در جاده‌ها، پارکینگ‌ها و پر کردن‌ها می‌تواند مزیت‌های اقتصادی و زیست محیطی فراوانی داشته باشند [۴].

هنگامی که خاک توسط مواد نفتی آلوده می‌گردد، منجر به تغییر خواص مهندسی آن می‌شود. خاک رس که از لحاظ الکترو- شیمیایی فعال است، عمدتاً توسط محیط تاثیر می‌پذیرد [۵]. آلودگی نفتی ممکن است بر پایداری و نفوذپذیری خاک رس در محل تاثیر بگذارد و نیز نشت آلاینده‌های نفتی در جایی که خطوط لوله خوابانده شده‌اند ممکن است باعث انقباض یا انقباض خاک شود [۶].

هدف از این پایان‌نامه بررسی پارامترهای مقاومتی خاک‌های آلوده به مواد نفتی می‌باشد. از همین رو در این مطالعه پارامترهای مقاومتی مخلوط‌های مختلف بنتونیت و کائولینیت آغشته به درصد‌های متفاوت گازوئیل و آب و همچنین تاثیر ترتیب افزودن سیال نافذ، توسط آزمایش‌های آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۲ ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه شامل پنج فصل می‌باشد. در فصل اول به علل به وجود آمدن آلودگی‌های نفتی و ضرورت بررسی پارامترهای مقاومتی خاک‌های آلوده پرداخته شده است.

در فصل دوم در ابتدا به بیان کلیات و تعریف مفاهیم پایه‌ای پرداخته شده است. و در انتها نیز خلاصه‌ای از پژوهش‌های انجام شده مرتبط با موضوع مورد مطالعه آمده است.

در فصل سوم روش انجام آزمایش‌ها و مواد مورد استفاده، شرح داده شده است.

در فصل چهارم، نتایج به دست آمده، مقایسه و تفسیر آن‌ها مورد توجه واقع گشته است.

فصل پنجم به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات جهت توسعه مبحث اختصاص داده شده است.

فصل دوم

مبانی تئوری و مروری بر تحقیقات پیشین

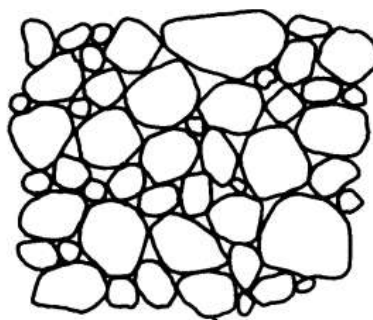
۱-۲ مقدمه

جهت درک بهتر موضوع، این فصل به مروری بر مفاهیم پایه‌ای و کلیات اختصاص داده شده است. به همین منظور در ابتدا به معرفی خاک و ساختار خاک‌های رسی پرداخته شده است. در بخش‌های بعدی توضیحاتی درباره آلودگی خاک، نفت و فرآورده‌های نفتی و مقاومت برشی خاک‌ها آمده است. در انتها نیز مروری بر پژوهش‌های پیشین، انجام گرفته است.

۲-۲ خاک

در مهندسی عمران، خاک هرگونه توده سیمانی نشده و یا ضعیف سیمانی شده از ذرات کانی تشکیل شده توسط هوازدگی سنگ‌ها است، فضای خالی بین ذرات را هوا و یا آب تشکیل می‌دهد. اگر محصولات هوازدگی در محل اصلی خود باقی بمانند، خاک‌های برجا را تشکیل می‌دهند. اگر محصولات جابه‌جا شوند و در مکانی متفاوت ته‌نشین شوند، خاک‌های جابه‌جا شده را تشکیل می‌دهند. عوامل جابجایی جاذبه، باد، آب و یا یخ‌رود می‌باشند.

فرآیند تخریب در تشکیل خاک ممکن است فیزیکی و یا شیمیایی باشد. فرآیند فیزیکی ممکن است فرسایش توسط باد، آب یا یخ‌رود یا تجزیه در اثر تناوب ذوب و یخبندان در ترک‌های سنگ باشد. آرایش ساختاری ذرات درشت (شکل ۱-۲) به عنوان دانه‌ای معرفی می‌شوند، هر دانه با ذرات کناری بدون هیچ پیوندی در تماس مستقیم است. حالت ذرات می‌تواند متراکم، نیمه متراکم و شل باشد.



شکل ۱-۲: ساختار دانه‌ای [۷]

حاصل فرآیند شیمیایی، تغییر در شکل کانی سنگ مادر به علت واکنش آب، اکسیژن و کربن دی اکسید است. حاصل هوازدگی شیمیایی شکل گیری گروهی از ذرات کریستالی در اندازه کلوئیدی (0.002mm) شناخته شده به عنوان کانی‌های رسی است. برای مثال کانی رسی، با شکسته شدن فلدسپات توسط واکنش آب و دی اکسید کربن شکل گرفته است. اکثر ذرات کانی رس صفحه‌ای شکل، دارای سطح ویژه بالایی هستند که در نتیجه، ساختار آن‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تاثیر نیروهای سطحی است [۷].

۲-۲-۱ طبقه‌بندی خاک

طبقه‌بندی خاک مرتب کردن خاک به گروه‌ها یا زیرگروه‌های مختلف برای فراهم کردن یک زبان رایج جهت بیان خصوصیات عمومی، به طور خلاصه و بدون توصیف جزئیات می‌باشد. طی سال‌ها، سازمان‌های مختلف تلاش کرده‌اند که حدود اندازه شن، ماسه، لای و رس را ارائه دهند. بعضی از این حدود اندازه در جدول (۲-۱) نشان داده شده‌اند. در حال حاضر، دو سیستم طبقه‌بندی اصلی برای استفاده مهندسی در دسترس می‌باشد. که شامل سیستم متحد و سیستم آشتو می‌باشند. هر دو سیستم از خصوصیات شاخص ساده نظیر توزیع اندازه دانه‌ها، حد مایع و شاخص خمیری خاک استفاده می‌کنند [۸].

جدول ۲-۱: حدود جداکننده اندازه ذرات خاک [۸]

سازمان	طبقه‌بندی	حدود اندازه (mm)
سازمان کشاورزی آمریکا	شن	>۲
	ماسه خیلی درشت	۲-۱
	ماسه درشت	۱-۰/۵
	ماسه متوسط	۰/۵-۰/۲۵
	ماسه ریز	۰/۲۵-۰/۱
	ماسه خیلی ریز	۰/۱-۰/۰۵
	لای	۰/۰۵-۰/۰۰۲
	رس	<۰/۰۰۲
انجمن جهانی مکانیک خاک	شن	>۲
	ماسه درشت	۲-۰/۲
	ماسه ریز	۰/۲-۰/۰۲
	لای	۰/۰۲-۰/۰۰۲
	رس	<۰/۰۰۲
انستیتو تکنولوژی ماساچوست آمریکا	شن	>۲
	ماسه درشت	۲-۰/۶
	ماسه متوسط	۰/۶-۰/۲
	ماسه ریز	۰/۲-۰/۰۶
	لای	۰/۰۶-۰/۰۰۲
	رس	<۰/۰۰۲
انجمن ادارات راه و ترابری آمریکا	شن	۷۶/۲-۲
	ماسه درشت	۲-۰/۴۲۵
	ماسه ریز	۰/۴۲۵-۰/۰۷۵
	لای	۰/۰۷۵-۰/۰۰۲
	رس	<۰/۰۰۲
سیستم طبقه‌بندی متحد	شن	۷۶/۲-۴/۷۵
	ماسه درشت	۴/۷۵-۲
	ماسه متوسط	۲-۰/۴۲۵
	ماسه ریز	۰/۴۲۵-۰/۰۷۵
	لای و رس (ریزدانه‌ها)	<۰/۰۷۵

۲-۲-۲ خاک رس

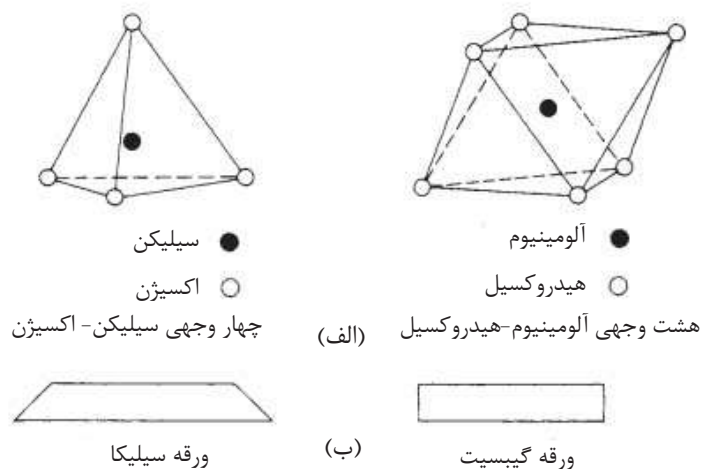
رس یک خاک ریزدانه است که بر طبق درصد رطوبش منقبض و متورم می‌شود. کانی‌های رسی معمولاً در دوره‌های طولانی هوازدگی شیمیایی تدریجی سنگ‌ها با کربنیک اسید با غلظت پایین و

دیگر حلال‌های رقیق، تشکیل شده‌اند. علاوه بر فرآیند هوازدگی، بعضی از کانی‌های رسی با فعالیت-های گرمایی تشکیل شده‌اند.

منشا رس‌ها به محیط زمین شناختی که آن‌ها تشکیل شده‌اند بسیار نزدیک است، دما و شیمی فاکتورهای اولیه‌ای هستند که نوع رسی که تشکیل شده‌اند را تعیین می‌کنند [۹]. کانی‌های رسی قابلیت تغییر حجم با جذب مولکول‌های آب یا دیگر یون‌های قطبی در ساختارشان را دارند، اگرچه همه رس‌ها آب را در سطح خود جذب می‌کنند اما بعضی از رس‌ها آب را در ساختارشان حفظ می‌کنند. رس‌های حساس، نسبت آب بیشتری را در اجزای کوچک خود دارند و در طی دوره‌های خشکسالی، ممکن است از دست دادن آب شدید باشد و انقباض خاک در رس حساس رخ می‌دهد.

۱-۲-۲-۲ ساختار خاک رس

واحدهای ساختاری اکثر کانی‌های رسی چهاروجهی‌های سیلیکن-اکسیژن و هشت وجهی‌های آلومینیوم-هیدروکسیل هستند که در شکل (۲-۲-الف) شرح داده شده است. در دو واحد نابرابری ظرفیت شیمیایی وجود دارد، که نتیجه آن بار منفی خالص است. واحدهای چهاروجهی با به اشتراک گذاشتن یون‌های اکسیژن ترکیب می‌شوند تا ورقه سیلیکا را شکل دهند. واحدهای هشت وجهی از طریق یون‌های هیدروکسیل به اشتراک گذاشته شده ترکیب می‌شوند تا ورقه گیبسیت را شکل دهند. ورقه سیلیکا دارای بار منفی است اما ورقه گیبسیت از لحاظ بار خنثی است. سیلیکن و آلومینیوم ممکن است موضعی با سایر عناصر جایگزین شوند، که عدم توازن بار را نتیجه می‌دهد. ساختارهای ورقه‌ای به صورت شماتیک در شکل (۲-۲-ب) ارائه شده‌اند. سپس ساختارهای لایه‌ای توسط پیوند ورقه سیلیکا با یک یا دو ورقه گیبسیت شکل می‌گیرد. ذرات کانی رس شامل این لایه‌ها با شکل‌های متفاوت پیوند بین آن‌ها است [۷].

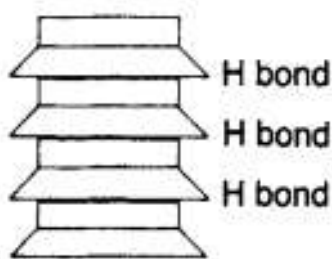


شکل ۲-۲ کانی‌های رس: واحدهای سازنده [۷]

۲-۲-۲ کانی‌های رسی

کائولینیت: شامل ساختار مبتنی بر ترکیب یک ورقه سیلیکا با یک ورقه گیبسیت است. ترکیب ورقه-های سیلیکا-گیبسیت توسط پیوند هیدروژنی به صورت نسبتاً قوی به یکدیگر نگه داشته شده‌اند. یک ذره کائولینیت ممکن است شامل بیش از ۱۰۰ توده باشد [۷].

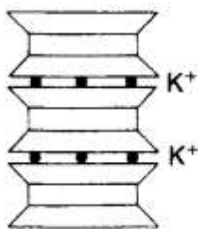
پایدار ماندن پیوند هیدروژنی در حضور آب، کائولینیت را از حیث خصوصیات شکل‌پذیری، چسبندگی، تورم و انقباض در مرتبه پایینی قرار می‌دهد. سطح مخصوص ذرات کائولینیت در حدود $15\text{mm}^2 / \text{g}$ است [۹].



شکل ۲-۳ ساختار لایه کائولینیت [۷]

ایلیت: یک ساختار پایه شامل یک ورقه گیبسیت در وسط و ترکیب با دو ورقه سیلیکا دارد. ورقه‌های ترکیب شده توسط پیوند نسبتاً ضعیف به علت یون‌های پتاسیم غیرقابل تعویض نگه داشته شده بین آن‌ها به یکدیگر متصل شده‌اند [۷].

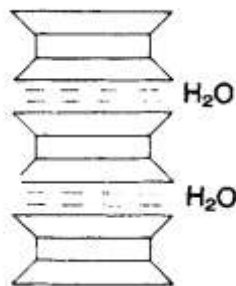
پیوند ایجاد شده بین لایه‌های مشابه (توسط یون پتاسیم) از پیوند هیدروژنی ضعیف‌تر می‌باشد لذا خاصیت خمیری این گروه از کانی‌ها که از توانایی جذب آب کانی‌های رسی ناشی می‌شود از گروه کائولینیت بیشتر است. هر چند که وجود یون پتاسیم خود باعث ایجاد محدودیت برای جذب آب و یون‌های قطبی می‌گردد و به همین دلیل فاصله بین هر سه لایه که فاصله بنیادی نام دارد به حدود ۱۰ آنگسترم محدود می‌گردد.



شکل ۲-۴ ساختار لایه ایلیت [۷]

مونت موریلونیت: ساختار پایه مشابه ایلیت دارد. فضای بین ورقه‌های ترکیب شده توسط مولکول‌های آب و کاتیون‌های قابل تعویض به غیر از پتاسیم و در نتیجه پیوندهای بسیار ضعیف تصرف شده است. تورم قابل ملاحظه مونت موریلونیت می‌تواند به علت آب اضافه‌ای که بین ورقه‌های ترکیب شده جذب می‌شود رخ دهد.

رس بنتونیت به گروه مونت موریلونیت تعلق دارد. از نظر تجاری بنتونیت به دو گروه عمده که عبارتند از متورم شونده و غیر متورم شونده تقسیم می‌شوند. نوع متورم شونده در صنعت کاربرد فراوانی دارد که از آن جمله می‌توان به استفاده از آن به عنوان گل حفاری اشاره کرد.



شکل ۵-۲ ساختار لایه مونت موریلونیت [۷]

۳-۲ آلودگی خاک

آلودگی خاک توسط مواد شیمیایی ساخت بشر یا تغییرات دیگر در محیط خاک ایجاد می‌شود. آلودگی عموماً از طریق فعالیت‌های صنعتی، مواد شیمیایی کشاورزی، یا دور ریختن نامناسب زباله ایجاد می‌شود. رایج‌ترین مواد شیمیایی بغرنج هیدروکربن‌های نفتی، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (مانند نفتالین)، آفت‌کش‌ها، حلال‌ها، سرب و دیگر فلزات سنگین هستند [۱۰].

خاک آلوده ممکن است با الگوهای ترک سطحی، رنگ‌ها، بو و تغییر حجم در پی تجزیه‌ی شیمیایی مربوطه، قابل شناسایی باشد. به هر حال، آلاینده‌های مربوط به نفت خام که برای محیط زیست خطرناک هستند برای شناسایی سخت هستند و اثرات آن‌ها طولانی مدت است و پاکسازی خاک‌های آلوده ممکن است گران باشد [۱۱].

۳-۲-۱ نفت و فرآورده‌های نفتی

نفت یا نفت خام یک مایع قهوه‌ای تیره اشتعال‌پذیر و غلیظ تشکیل شده توسط فساد غیرهوازی ماده آلی، تحت افزایش دما و فشار در میان سنگ‌های رسوبی است. ماده آلی به نفت مایع و گاز شکسته می‌شود. گاز و مایع هر دو مایل به حرکت از سنگ منشا از طریق سنگ‌های متخلخل و سنگ نفوذپذیر (معمولاً ماسه سنگ) هستند، تا به لایه‌های نفوذناپذیر برخورد کنند. نفت خام شامل مخلوط

پیچیده‌ای از ترکیبات شیمیایی متفاوت زیاد در محدوده‌ای از ترکیبات خیلی فعال سبک نظیر پنتان و بنزن، تا ترکیبات سنگین نظیر قیرها و آسفالت‌ها می‌باشد [۱۲].

نفت خام به وسیله دریل کردن و پمپ کردن از مخازن استخراج می‌شود و پس از آن به وسیله تقطیر پالایش می‌شود. فرآورده‌های پالایش شامل نفت سفید، بنزن، بنزین، پارافین، قیر و غیره است. چهار هیدروکربن سبک‌تر متان (CH_4)، اتان (C_2H_6)، پروپان (C_3H_8) و بوتان (C_4H_{10}) تمام گازهایی هستند که به عنوان سوخت استفاده می‌شوند. زنجیره‌های آلکان با ۵ تا ۷ کربن سبک و فرار هستند و به عنوان حلال‌ها و مایع‌های تمیز کننده خشک استفاده می‌شوند. زنجیره‌های آلکان با ۶ تا ۱۲ کربن با یک‌دیگر ترکیب شده و برای سوخت استفاده می‌شوند. نفت سفید با زنجیره‌های در محدوده ۱۰ تا ۱۵ کربن، به دنبال آن سوخت دیزل (۱۰ تا ۲۰ کربن) و روغن‌های سوخت سنگین‌تر، مانند آن چه در موتورهای کشتی استفاده می‌شود، همه این ترکیبات نفتی در دمای اتاق مایع هستند و چگالی کمتر از آب دارند. زنجیره‌های آلکان با بیش از ۲۰ کربن (پارافین، قیر و قیر آسفالتی) جامد هستند.

آلودگی محیط توسط نفت و فرآورده‌های نفتی ممکن است در حین استخراج، پالایش، جابجایی، ذخیره و استفاده رخ دهد. ریزش و نشت عامل‌های اصلی آلودگی نفتی خاک، آب زیرزمینی و آب سطحی هستند، که برای کیفیت خاک و آب، زندگی گیاه و حیوان، و سلامتی انسان خطر ایجاد می‌کند. وجود نفت در آب می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای طعم و بو را تحت تاثیر قرار دهد و می‌تواند آب را برای استفاده به عنوان آب آشامیدنی نامناسب کند.

سرنوشت زیست محیطی نفت ریخته شده، توسط فرآیندهای طبیعی مختلف که مقدار و سمیت نفت در خاک یا آب را کاهش می‌دهند کنترل می‌شود و در نتیجه شدت تخریب محیط زیست توسط نفت را کاهش می‌دهد. این فرآیندها شامل تبخیر، امولسیون سازی، اکسایش، جذب، و تجزیه بیولوژیکی هستند.

۲-۳-۱ گازوئیل

گازوئیل یک ترکیب پیچیده حاصل از تقطیر جز به جز نفت خام در دمای بین ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. گازوئیل شامل ۶۴٪ هیدروکربن‌های آلیفاتیک، ۳۵٪ هیدروکربن‌های آروماتیک و ۱ تا ۲٪ هیدروکربن‌های الفینی می‌باشد. فرمول شیمیایی میانگین برای گازوئیل‌های رایج $C_{12}H_{23}$ می‌باشد، که محدوده آن به طور تقریبی از $C_{10}H_{20}$ تا $C_{15}H_{28}$ است. گازوئیل معمولاً در دمای حدود ۸/۱- درجه سانتی‌گراد یخ می‌زند. نقطه جوش گازوئیل بین ۱۶۳ تا ۳۵۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

گازوئیل در حین فرآیند ساخت، حمل و استفاده بر روی زمین ریخته می‌شود. نشت مخازن ذخیره می‌تواند منابع خاک و آب را آلوده کند. گازوئیل به سختی جذب ذرات خاک می‌شود و همراه با آب زیرزمینی منتقل می‌شود. تجزیه زیستی گازوئیل خیلی کند روی می‌دهد و به عامل‌هایی نظیر نوع خاک، هوادادگی، حضور میکرواورگانیسم‌هایی که قادر به متابولیزم کردن سوخت هستند و اندازه ترکیبات درون سوخت وابسته می‌باشد. گازوئیل یک مایع روغنی است و تمایل دارد که به سطح گیاهان و حیوانات جذب شود و باعث آسیب یا مرگ آن‌ها گردد [۱۳].

۲-۴ مقاومت برشی خاک

اگر در یک نقطه از هر صفحه‌ای درون یک توده خاک تنش برشی برابر مقاومت برشی خاک شود، در آن هنگام گسیختگی در آن نقطه رخ خواهد داد. میزان مقاومت برشی (τ_f) در یک نقطه واقع بر روی یک سطح معین در یک خاک برای اولین بار توسط کولمب به صورت یک تابع خطی از تنش قائم (σ_f) در همان نقطه ارائه شد.

$$\tau_f = c + \sigma_f \cdot \tan \phi \quad \text{رابطه (۲-۱)}$$