



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده عمران

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش خاک و پی

عنوان:

پاکسازی خاک‌های آلوده به گازوئیل با استفاده از روش خاکشویی

استاد راهنما:

دکتر حسن قاسم زاده

دانشجو:

محمد زینلی دهج

۸۸۰۱۲۲۴

بهمن ۱۳۹۰

تقدیم به :

پدر و مادر دلسوزم

و

همسر مهربان و فداکارم

با تشکر و قدردانی از :

- ۱- استاد ارجمند جناب آقای دکتر قاسم زاده که در تمامی مراحل انجام و تدوین پایان نامه از راهنمایی‌ها و تجربیات علمی و مساعدت ایشان بهره‌مند گشته و نصایح ایشان همواره فرا راه دانش اندوزی من بوده است.
- ۲- استادان گرامی آقایان دکتر میر باقری و دکتر عبدی که برزگوارانه از مساعدت و یاری بنده در امور آزمایشگاهی، دریغ نفرمودند.
- ۳- مسئول محترم آزمایشگاه مکانیک خاک جناب آقای منافی جهت همکاری و مساعدت بی‌دریغشان.
- ۴- جناب آقای مهندس طبیعت نژاد که از راهنمایی‌هایشان در راستای این پایان‌نامه دریغ نفرمودند. و تمامی کسانی که مرا در انجام این پایان نامه یاری نموده‌اند.

چکیده :

امروزه آلودگی خاک به انواع مواد نفتی (TPH : total petroleum hydrocarbon) از جمله معضلاتی است که محیط زیست انسان و سایر موجودات زنده وابسته به خاک را با خطر جدی مواجه نموده است. پاکسازی این آلاینده در خاک به دلیل سمی و شیمیایی بودن از اهمیت بسزایی برخوردار است.

جهت پاکسازی خاک به آلاینده‌های نفتی روش‌های زیادی طی سال‌های اخیر بررسی و ابداع شده است. از میان این روش‌ها از جمله روش‌ها با بازدهی بالا، هزینه پایین نسبت به دیگر روش‌ها و آسانی اجرا می‌توان به روش خاکشویی اشاره نمود. روش خاکشویی بنا به روش اجرا به دو صورت درجا و دگرجا قابل استفاده بوده است. در این تحقیق به بررسی روش خاکشویی دگرجا پرداخته‌ایم؛ که در زیر به صورت اجمالی به آن اشاره می‌نماییم.

موضوع اصلی پیگیری شده در این پایان نامه بررسی روش خاکشویی به کمک شوینده سورفکتانت به عنوان یکی از روش‌های فیزیکی-شیمیایی جهت پاکسازی خاک از گازوئیل بوده است. جهت انجام این تحقیق از خاک با دانه‌بندی مشخص که به صورت مصنوعی به گازوئیل آلوده شد، مورد استفاده قرار گرفته است. میزان آلودگی خاک پس از آلوده سازی از طریق آزمایش TPH در حدود 104 gr/lit گزارش شده است. پروسه پاکسازی خاک به روش خاکشویی، بوسیله دستگاه خاکشویی که در راستای این تحقیق طراحی و ساخته شد، انجام شده است. در این تحقیق از یک سورفکتانت آنیونی و دو سورفکتانت غیر یونی به عنوان شوینده استفاده شده؛ که به ترتیب عبارتند از: SDS، Tween ۸۰ و Brij ۳۵. علاوه بر بررسی روش خاکشویی به صورت دگرجا، به بررسی عوامل تاثیرگذار بر بازده خاکشویی از جمله نوع سورفکتانت و غلظت مناسب آن، PH و دما پرداخته شده است. در انتها پس از انجام پروسه خاکشویی و بررسی عوامل تاثیرگذار بر بازده آن، به بازیابی سورفکتانت‌های استفاده شده در این تحقیق، به عنوان یکی از عوامل تاثیرگذار در انتخاب سورفکتانت مناسب جهت پاکسازی خاک از گازوئیل پرداخته‌ایم. جهت تعیین میزان آلاینده موجود در خاک از آزمایش TPH بهره گرفته‌ایم.

در بررسی PH و دما به صورت کلی این نتیجه حاصل شد که؛ افزایش PH (محیط قلیایی) و افزایش دما آب در مرحله آبکشی باعث افزایش بازده خاکشویی به صورت چشمگیری خواهد شد. اما با بررسی اقتصادی این دو مقوله افزایش PH بر افزایش دمای آب ترجیح داده می‌شود؛ زیرا که هزینه مربوط به تاسیسات جهت گرم نمودن آب در مقایسه با هزینه مربوط به افزایش PH بسیار زیاد خواهد شد.

نتایج بدست آمده در این تحقیق حاکی از این است که از میان سه سورفکتانت استفاده شده بهترین عملکرد بنا بر غلظت بحرانی مسیل (CMC) سورفکتانت‌ها، سورفکتانت Tween ۸۰ بوده است. میزان پاکسازی خاک در هنگام استفاده از این سورفکتانت در غلظت معادل CMC ۵۰ (0.65 گرم بر لیتر) که به عنوان غلظت مناسب انتخاب شد، میزان پاکسازی خاک با استفاده از این غلظت در حدود ۸۷٪ گزارش شده است. این در حالی است که میزان پاکسازی خاک در همین غلظت برای دو سورفکتانت SDS و Brij ۳۵ به ترتیب برابر ۸۱/۶۶٪ و ۸۳/۶۹٪ گزارش شده است؛ از طریق افزایش PH ($\text{PH}=11$) و افزایش دما آب مورد استفاده در مرحله آبکشی (دمای 35°C) میزان پاکسازی در غلظت معادل غلظت CMC ۵۰ به ترتیب ۹۷/۱۳٪ و ۹۷/۳۲٪ افزایش یافت.

اما با در نظر گرفتن میزان بازیابی سورفکتانت‌ها و همچنین هزینه مربوط به تهیه سورفکتانت‌ها از میان سه سورفکتانت استفاده شده سورفکتانت SDS به عنوان سورفکتانت برگزیده جهت پاکسازی خاک آلوده به گازوئیل پیشنهاد می‌شود چراکه میزان

بازیابی این سورفکتانت در حدود ۵۴/۳۸٪ بوده است؛ این در حالی است که میزان بازیابی دو سورفکتانتمرد استفاده در این تحقیق یعنی، Tween ۸۰ و Brij ۳۵ به ترتیب برابر ۲۸/۴۹٪ و ۳۹/۴۸٪ گزارش شده است. و از لحاظ هزینه مربوط به تهیه سورفکتانت، سورفکتانت SDS از دو سورفکتانت دیگر ارزان قیمت تر بوده است. غلظت بهینه این سورفکتانت غلظت معادل CMC ۱۰۰ (۰/۸۴ گرم بر لیتر) انتخاب شده است. در این غلظت میزان پاکسازی خاک با استفاده از این غلظت در حدود ۸۸/۵۵٪ گزارش شده است. از طریق افزایش PH (PH=۱۱) و افزایش دما آب مورد استفاده در مرحله آبکشی (دمای ۳۵°C) میزان پاکسازی در غلظت معادل غلظت CMC ۵۰ به ترتیب به ۹۶٪ و ۹۸/۵۵٪ افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: پاکسازی خاک، خاکشویی، گازوئیل، سورفکتانت، میزان پاکسازی

فهرست مطالب :

فصل اول : مقدمه	۱
۱-۱ پیشگفتار.....	۱
۲-۱ طرح مساله.....	۵
۳-۱ هدف تحقیق.....	۶
۴-۱ روش تحقیق.....	۶
۵-۱ ساختار پایان نامه	۷
فصل دوم : مبانی تئوری و مروری بر فعالیت‌های پیشین.....	۸
۱-۲ مقدمه.....	۸
۲-۲ خاک.....	۹
۱-۲-۲ طبقه بندی خاک	۹
۳-۲ آلاینده‌های خاک.....	۱۲
۱-۳-۲ مقدمه‌ای بر ترکیبات نفتی.....	۱۳
۲-۳-۲ هیدروکربن‌ها.....	۱۶
۴-۳-۲ گازوئیل.....	۱۸
۴-۲ پاک‌سازی خاک از آلاینده‌های نفتی.....	۲۲
۱-۴-۲ روش های پاک‌سازی بیولوژیکی.....	۲۲
۲-۴-۲ روش‌های پاک‌سازی شیمیایی.....	۲۳
۳-۴-۲ روش‌های پاک‌سازی فیزیکی.....	۲۴
۵-۲ خاک‌شویی.....	۲۸
۱-۵-۲ انواع خاکشویی.....	۳۰
۲-۵-۲ نکاتی در مورد روش خاک‌شویی دگرجا.....	۳۲
۳-۵-۲ مزایای روش خاک‌شویی دگرجا.....	۳۲
۴-۵-۲ عوامل موثر بر خاکشویی.....	۳۳
عوامل موثر بر خاکشویی را میتوان به چند دسته تقسیم کرد:.....	۳۳
۶-۲ محلول شستشو.....	۳۶
۷-۲ سورفکتانت.....	۳۹

۴۰	۱-۷-۲ چگونگی عملکرد سورفکتانت
۴۳	۲-۷-۲ تقسیمبندی سورفکتانتها
۴۶	۳-۷-۲ معیارهای انتخاب سورفکتانت
۴۹	۸-۲ کربن فعال و نحوه عملکرد آن
۵۱	۹-۲ مروری بر فعالیت‌های پیشین
۵۱	۱-۹-۲ مروری بر پیشینه حذف هیدروکربن‌های نفتی از خاک به روش خاک‌شویی
۶۳	۲-۹-۲ مروری بر پیشینه بازیابی سورفکتانت
۶۶	فصل سوم : روش تحقیق و مواد مورد استفاده
۶۶	۱-۳ مقدمه
۶۷	۲-۳ خاک مصرفی
۶۷	۱-۲-۳ آماده سازی شیشه‌آلات و وسایل مورد استفاده در آزمایش
۶۷	۲-۲-۳ تعیین مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک
۷۸	۳-۳ نحوه آماده سازی نمونه آلوده به گازوئیل
۷۸	۱-۳-۳ آماده سازی خاک مصرفی جهت آلوده‌سازی
۷۹	۲-۳-۳ آلوده سازی نمونه‌های خاک به گازوئیل
۸۰	۳-۳-۳ نگهداری نمونه‌های آلوده
۸۱	۴-۳ سورفکتانت مورد استفاده
۸۱	۱-۴-۳ انتخاب سورفکتانت
۸۲	۲-۴-۳ آماده سازی محلول سورفکتانت جهت استفاده در فرآیند خاک‌شویی
۸۳	۵-۳ دستگاه خاک‌شویی
۸۳	۱-۵-۳ مخزن نگهداری خاک آلوده
۸۴	۲-۵-۳ مخزن تحت فشار سیال
۸۴	۳-۵-۳ مخلوط ساز خاک آلوده با محلول شوینده
۸۵	۴-۵-۳ جداساز محلول شوینده از خاک مورد پاک‌سازی
۸۵	۵-۵-۳ آبکشی خاک مورد پاک‌سازی
۸۸	۶-۳ نحوه انجام آزمایش خاک‌شویی دگرجا و محاسبه میزان TPH موجود در خاک
۸۸	۱-۶-۳ فرآیند خاک‌شویی دگرجا :

۸۹	۳-۶-۲ خشک نمودن نمونه‌های مورد شستشو.....
۹۰	۳-۶-۳ اندازه‌گیری گازوئیل موجود در خاک.....
۹۵	۳-۷-۷ بازیابی سورفکتانت.....
۹۵	۳-۷-۱ نحوه تهیه فیلتر کربن فعال.....
۹۶	۳-۷-۲ نحوه نمونه‌گیری از پساب در حین خاک‌شویی.....
۹۷	۳-۷-۳ نحوه انجام آزمایش بازیابی سورفکتانت.....
۹۸	۳-۷-۴ اندازه‌گیری میزان سورفکتانت در محلول.....
۱۰۱	فصل چهارم : نتایج و بحث
۱۰۱	۴-۱ مقدمه.....
۱۰۲	۴-۲ ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک در این تحقیق.....
۱۰۲	۴-۲-۱ ویژگی‌های عمومی خاک.....
۱۰۲	۴-۲-۲ : منحنی دانه بندی خاک.....
۱۰۳	۴-۲-۳ مقادیر ترکیبات شیمیایی.....
۱۰۳	۴-۳ غلظت اولیه آلاینده در خاک پیش از خاک‌شویی.....
۱۰۴	۴-۴ بررسی اثر غلظت سورفکتانت‌ها بر حذف گازوئیل.....
۱۰۴	۴-۴-۱ بررسی اثر غلظت سورفکتانت‌ها بر حذف گازوئیل براساس CMC.....
۱۱۱	۴-۴-۲ بررسی اثر غلظت سورفکتانت‌ها بر حذف گازوئیل براساس غلظت ثابت.....
۱۱۳	۴-۵ بررسی اثر دمای محلول آبکشی در خاک‌شویی بر حذف گازوئیل از خاک.....
۱۱۴	۴-۵-۱ بررسی اثر دمای محلول آبکشی بر بازده سورفکتانت SDS.....
۱۱۵	۴-۵-۲ بررسی اثر دمای محلول آبکشی بر بازده سورفکتانت Tween ۸۰.....
۱۱۶	۴-۵-۳ بررسی اثر دمای محلول آبکشی بر بازده سورفکتانت Brij ۳۵.....
۱۱۷	۴-۵-۴ توجیه اثر دمای محلول آبکشی بر بازده سورفکتانت SDS، Tween ۸۰ و Brij ۳۵.....
۱۱۸	۴-۶ pH محلول شوینده بر حذف گازوئیل از خاک.....
۱۱۸	۴-۶-۱ بررسی اثر pH محلول شوینده بر بازده سورفکتانت SDS.....
۱۲۰	۴-۶-۲ بررسی اثر pH محلول شوینده بر بازده سورفکتانت Tween ۸۰.....
۱۲۱	۴-۶-۳ بررسی اثر pH محلول شوینده بر بازده سورفکتانت Brij ۳۵.....
۱۲۲	۴-۶-۴ توجیه اثر pH محلول شوینده بر بازده سورفکتانت SDS، Tween ۸۰ و Brij ۳۵.....

۱۲۴.....	۷-۴ بررسی میزان بازیابی سورفکتانت SDS، Tween۸۰ و Brij ۳۵
۱۲۶.....	۸-۴ بررسی اقتصادی روش خاکشویی.....
۱۲۸.....	فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات.....
۱۲۸.....	۱-۵ مقدمه :
۱۲۹.....	۲-۵ نتیجه گیری:.....
۱۳۲.....	۳-۵ پیشنهادات :.....
۱۳۴.....	مراجع و منابع.....

فهرست جداول :

جدول ۱-۲: حدود جدا کننده‌ی اندازه‌ی خاک	۹
جدول ۲-۲: ویژگی‌های فرآورده گازوئیل	۱۷
جدول ۱-۳: اندازه نمونه‌های مرطوب خاک برای تعیین درصد رطوبت	۶۵
جدول ۲-۳: برخی از خواص سورفکتانت‌های مورد استفاده	۷۲
جدول ۱-۴: برخی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک	۹۰
جدول ۲-۴: نتایج آزمایش TPH برای نمون‌های آلوده	۹۱
جدول ۳-۴: قیمت سورفکتانت تهیه شده از شرکت Merk	۱۱۲
جدول ۴-۴: مقایسه قیمت سورفکتانت SDS، Tween ۸۰ و Brij ۳۵ برای حذف گازوئیل ۱۰۰gr/kg	۱۱۳

فهرست اشکال :

- شکل ۱-۲: روش‌های پاک‌سازی خاک‌های آلوده بر اساس گفته brahim A.mirsal ۲۵
- شکل ۲-۲: نمایی کلی از پاک‌سازی به روش خاک‌شویی ۲۷
- شکل ۳-۲: شکل شوینده از یک ملکول شوینده ۳۶
- شکل ۴-۲: شکل شماتیک تشکیل مسیل ۳۶
- شکل ۵-۲: طرح کلی تغییرات بعضی از خواص محلول سورفکتانت با افزایش غلظت ۳۷
- شکل ۶-۲: یک طرح کلی از عملکرد سورفکتانت ۳۷
- شکل ۷-۲: رابطه میان غلظت شوینده و میزان حلالیت ۳۹
- شکل ۸-۲: تصویری از کربن فعال با توجه به اندازه ذرات ۴۴
- شکل ۱-۳: نمایی از آزمایش دانه‌بندی با الک ۶۱
- شکل ۲-۳: نمایی از گرمکن مورد استفاده جهت تعیین رطوبت خاک ۶۶
- شکل ۳-۳: دستگاه pH سنج ۶۷
- شکل ۴-۳: دستگاه ترازو مورد استفاده در بخش تعیین مواد آلی خاک ۶۸
- شکل ۵-۳: دستگاه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی ۶۹
- شکل ۶-۳: نمونه آلوده خاک ۷۱
- شکل ۷-۳: نمایی کلی از سورفکتانت‌های مورد استفاده ۷۲
- شکل ۸-۳: نحوه آماده‌سازی محلول شوینده ۷۳
- شکل ۹-۳: نمایی جانبی از دستگاه خاک‌شویی ۷۶
- شکل ۱۰-۳: نمایی شماتیک از نحوه عملکرد دستگاه خاک‌شویی ۷۷
- شکل ۱۱-۳: نحوه ارسال نمونه به واحد اندازه‌گیری TPH ۷۹
- شکل ۱۲-۳: نمایی کلی از دستگاه التروسونیک ۸۱
- شکل ۱۳-۳: نمای کلی از ستون شیشه‌ای حاوی پنبه استریل ۸۱
- شکل ۱۴-۳: نمایی کلی از فیلتر کربن فعال ۸۴
- شکل ۱۵-۳: نحوه نمونه‌گیری از پساب ۸۵
- شکل ۱۶-۳: دستگاه اسپکتروفتومتر ۸۶

فهرست نمودارها

- نمودار ۱-۴: منحنی دانه بندی خاک ۹۰
- نمودار ۲-۴: روند حذف گازوئیل از خاک بوسیله سورفکتانت SDS ۹۳
- نمودار ۳-۴: روند حذف گازوئیل از خاک بوسیله سورفکتانت Tween ۸۰ ۹۴
- نمودار ۴-۴: روند حذف گازوئیل از خاک بوسیله سورفکتانت Brij ۳۵ ۹۵
- نمودار ۵-۴: روند حذف گازوئیل از خاک بوسیله سورفکتانت SDS ، Tween ۸۰ و Brij ۳۵ ۹۶
- نمودار ۶-۴: روند حذف گازوئیل از خاک بوسیله سورفکتانت SDS ، Tween ۸۰ و Brij ۳۵ در غلظت ثابت ۹۸
- نمودار ۷-۴: تاثیر دمای آب در مرحله آبکشی بر بازده خاکشویی بوسیله سورفکتانت SDS ۱۰۰
- نمودار ۸-۴: تاثیر دمای آب در مرحله آبکشی بر بازده خاکشویی بوسیله سورفکتانت Tween ۸۰ ۱۰۱
- نمودار ۹-۴: تاثیر دمای آب در مرحله آبکشی بر بازده خاکشویی بوسیله سورفکتانت Brij ۳۵ ۱۰۲
- نمودار ۱۰-۴: تاثیر pH محلول شوینده بر بازده خاکشویی بوسیله سورفکتانت SDS ۱۰۵
- نمودار ۱۱-۴: تاثیر pH محلول شوینده بر بازده خاکشویی بوسیله سورفکتانت Tween ۸۰ ۱۰۶
- نمودار ۱۲-۴: تاثیر pH محلول شوینده بر بازده خاکشویی بوسیله سورفکتانت Brij ۳۵ ۱۰۷
- نمودار ۱۳-۴: میزان بازیابی سورفکتانت SDS، Tween ۸۰ و Brij ۳۵ ۱۱۱

فصل اول

مقدمه

۱-۱ پیشگفتار

با رشد صنعت در جوامع و افزایش تولیدات شیمیایی، مواد زائد شیمیایی نیز گسترش روز افزون پیدا کرده است، به علت عدم توجه به مسائل زیست محیطی همراه با پیشرفت تکنولوژی هم اکنون محیط زیست به انواع مواد سمی و نیمه سمی آلوده شده است. سهل انگاری در بررسی این پدیده می تواند باعث بروز خطرات و مشکلات اساسی در جوامع بشری گردد.

محیط زیست تشکیل یافته از آب، هوا و خاک است. آلودگی آب و هوا شاید بخاطر خطرات محسوس خود بیشتر از خاک مورد توجه قرار گیرد؛ بیماری های متعدد و مرگ و میرهای مختلف که در اثر آلودگی آب و هوا در طول تاریخ اتفاق افتاده، باعث حساسیت بیشتر جامعه بشری به این دو عنصر زیست محیطی گردیده است با این حال خاک به عنوان یک عنصر اساسی برای زندگی و تولید مواد غذایی جانداران دارای اهمیت

فوق‌العاده‌ای است. امروزه دنیا با کمبود مواد غذایی روبرو است و برای جبران این کمبود درسایت‌های تحقیقاتی در تلاشند تا حداکثر محصول را از زمین کشاورزی بدست آورند، آلودگی خاک یک عنصر بازدارنده و تخریب کننده بوده و از آنجایی که تمام کشورها با محدودیت زمین‌های نامرغوب روبرو هستند و این امکان برایشان وجود ندارد تا تکه‌ای از زمین‌های خود را جهت کارهای صنعتی ویا دفع زباله آلوده باقی بگذارند، بحث پاک‌سازی خاک بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد [۱].

خاک به عنوان بستری برای فعالیت‌های بشری نقشی حیاتی در زندگی انسان دارد. انسان غذای خود را از دل خاک بیرون کشیده، مواد معدنی و کانی‌های ارزشمند آن را استخراج کرده و تمدن خود را بر روی آن بنا کرده است. بقا وادامه تمدن بشری و زندگی نسل‌های آینده وابسته به پاکیزه نگه داشتن و محافظت خاک از آلودگی‌های مضر است. آلودگی محیط زیست از جمله مهم‌ترین مباحث سال‌های اخیر محسوب می‌شود. تاثیر فعالیت‌های بشر در محیط پیرامونش با توجه به افزایش جمعیت و گسترش فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی در عرصه‌های گوناگون زندگی بشر فشارهای زیادی را بر محیط زیست وارد کرده و با آلوده کردن منابع زیستی سلامت موجودات روی زمین را در معرض خطر قرار داده و باعث وارد کردن خسارات جبران ناپذیری بر پیکره کره خاکی شده است [۲].

رشد فزاینده آلاینده‌های زیست محیطی در خاک به علت مصرف بی‌رویه انرژی و منابع طبیعی سبب بروز پیامدهای ناگوار گشته است. آلودگی خاک، خطر انقراض بسیاری از گونه‌های حیات وحش، بر هم خوردن توازن زندگی موجودات زنده، تهدید سلامتی انسان و بروز بسیاری از بیماری‌های خطرناک را سبب شده است. کنترل مصرف انرژی و بهبود وضعیت محیط زیست آلوده، به عنوان چالش‌های حائز اهمیت در پیش روی محققین قرار گرفته؛ به همین علت اهمیت حفاظت از محیط زیست و سلامتی بشر و همچنین منافع اقتصادی، زدودن آلودگی از خاک‌های آلوده را به یک مسئله اجتماعی و سیاسی تبدیل نموده است. در کشورهای توسعه یافته با صرف هزینه‌های گزاف و بکارگیری تکنولوژی‌های پیشرفته برای رسیدن به این آلودگی هدف کوشش می‌کنند. یکی از روش‌های مقابله با این آلودگی وضع نمودن قوانین ومقرراتی جهت

جلوگیری از آلودگی خاک‌ها است. به دلیل اهمیت این موضوع به عنوان مثال در ایالات متحده آمریکا به منظور حفظ و نگهداری محیط زیست و جلوگیری از آلودگی خاک دو قانون به تصویب رسیده است :

(۱) قانون حفظ منابع و بازیافت^۱ (RCRA) : که در واقع این مقررات مربوط به تولید، انتقال و دفن مواد زائد خطرناک و سمی را مشخص می‌کند.

(۲) قانون جامع پاسخ زیست محیطی جبران و مسئولیت‌پذیری^۲ (CERCLA) [۳ و ۱].

نحوه آلوده نمودن خاک را می‌توان به سه گروه تقسیم بندی کرد که عبارتند از : ۱- ریختن زباله‌ها ۲- دفع نادرست زباله‌ها ۳- آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های صنعتی [۴].

از این میان آلودگی‌ها، آلودگی‌های مربوط ب فعالیت‌های صنعتی صدمات زیان‌بارتری به دنبال دارند. از جمله این آلودگی‌ها می‌توان به آلودگی ناشی از فرآورده‌های نفتی اشاره نمود. در طی سالیان اخیر افزایش سریع جمعیت جهان، منجر به نیاز شدید این جمعیت به سوخت و انواع فرآورده‌های نفتی^۳ شده است؛ تا به این طریق موجب بهبود زندگی گردد. با وجود مصرف این فرآورده‌ها بخشی از این مواد در محیط انتشار می‌یابد، همچنین فعالیت تولیدی صنعت نفت نیز موجب تولید آلاینده‌های نفتی متعددی می‌گردد که این آلاینده‌ها به علت سمیت، پتاسیل جهش زایی، اثرات سرطان‌زایی بالقوه و توانایی ورود به چرخه غذایی جز مهمترین آلاینده‌های محیط زیست محسوب می‌گردند [۵].

انتشار فرآورده‌های نفتی به داخل محیط می‌تواند در اطراف پالایشگاه‌ها، جایگاه‌های سوخت‌گیری، مخازن ذخیره‌سازی فرآورده‌های نفتی و نیز محل عبور لوله‌های انتقال آن مواد صورت پذیرد. ریخت و پاش‌ها و نشت فرآورده‌های نفتی در نهایت منجر به نفوذ این مواد در لایه‌های مختلف زمین خواهد شد. بر اساس گزارش‌های اعلام شده؛ کشور ایران با توجه به دارا بودن ۸/۵۸ درصد از منابع نفتی جهان، دارا بودن مقام دوم در ذخایر گازی جهان، وجود بیش از ۲۰۰۰۰ کیلومتر خط انتقال نفت و گاز در آن، دارا بودن بیش از

^۱ Resource Conservation and Recovery Act

^۲ Comprehensive Environmental Response Compensation and Liability Act

^۳ Petroleum production

۸۰۰۰ ایستگاه سوخت‌گیری ۹۰۰۰ تانکر حمل نفت به میزان زیادی در معرض آلوده شدن محیط زیست به فرآورده‌های نفتی قرار دارد [۵ و ۲]. با توجه به مطالب بالا رسیدگی به بحث پاک‌سازی خاک‌های آلوده و همچنین ارایه پیشنهادها و راه‌حل‌های مناسب در این زمینه، بیش از هر چیز لازم است.

از جمله این فرآورده‌های نفتی می‌توان به گازوئیل^۴ اشاره نمود. گازوئیل پس از اینکه وارد خاک می‌شود با آب و هوا برای جایگزینی در حفره‌ها به رقابت می‌پردازد. در ناحیه غیر اشباع خاک انتقال و مهاجرت آلاینده‌ها به لایه‌های زیرین بر اساس نیروی مکش و همچنین نیروی گرانش صورت می‌پذیرد. بین ناحیه اشباع و غیر اشباع، یک ناحیه نوسانی وجود دارد که در این ناحیه سطح آب، مرز ساکن ندارد و به صورت دوره‌ای نوسان می‌کند. در اثر نوسان آب و حرکت عمودی آن، توده هیدروکربن موجود در فضای حفره‌های خاک یا هیدروکربن‌های جذب شده بر روی سطح ذرات خاک، جدا می‌شوند و وارد آب می‌گردند. در نتیجه آلاینده‌ها از خاک به آب‌های زیر زمینی انتقال می‌یابند. همچنین این آلودگی‌ها به هنگام بارش باران و جاری شدن روان‌آب به درون رودخانه‌ها و سدها نفوذ کرده و آب‌های سطحی را نیز آلوده می‌کنند. باید در نظر داشت که آلودگی تمایل به داشتن زمان ماندگاری طولانی‌تری در خاک نسبت به آب و هوا دارد و از خاک به عنوان فیلتری جهت ته نشین شدن استفاده می‌کنند تا به سرعت در آن جمع شده و به کندی تجزیه شوند [۶].

امروزه روش‌های مختلفی برای رفع آلودگی در خاک ابداع و ارائه شده است. اما روش‌هایی که در ابتدا برای کنترل آلودگی خاک بکار می‌رفت اغلب شامل حفاری و جداسازی خاک آلوده از محل و دفن آن در یک مدفن زباله بود. نیاز به فضا و انتشار مواد موجود در این مدفن‌ها موجب شد که روش‌های موقت دفع آلودگی نا مناسب شناخته شده و روش‌های دائمی برای رفع آلودگی از خاک‌ها مطرح گردد. همانطور که گفته شد، خاک یکی از عنصرهای مهم در طبیعت بوده است؛ که تاثیر زیادی در زندگی حیوانات، گیاهان و بالاخره انسان دارد. هرگونه تغییر در ترکیبات خاک یا افزایش آلودگی آن می‌تواند اثرات مخربی بر تمامی موجودات بگذارد. به همین دلیل پالایش خاک از آلودگی‌های مختلف می‌تواند بسیار مهم باشد [۷].

^۴ Diesel oil

در سال‌های اخیر روش‌های پاک‌سازی متعددی ابداع شده که از لحاظ نوع فرآیند به چهار دسته کلی بیولوژیکی^۵، شیمیایی^۶، فیزیکی^۷ و فیزیکی-شیمیایی^۸ تقسیم شده و از جهت طریقه اجرا در دو دسته خارج از محل آلوده^۹ و در محل آلوده^{۱۰} طبقه بندی می‌گردد. از جمله روش‌های پاک‌سازی خاک از آلاینده‌های نفتی میتوان به گیاه‌پالایی^{۱۱}، پاک‌سازی از طریق میکروارگانیسم‌های موجود در خاک^{۱۲}، اکسیداسیون شیمیایی^{۱۳}، استخراج بخارات، روش حرارتی^{۱۴}، روش خاک‌شویی^{۱۵} و... اشاره نمود[۸].

در این پایان نامه از میان فرآیندهای موجود جهت پاک‌سازی خاک‌های آلوده که در بالا به آن‌ها اشاره شد، روش فیزیکی-شیمیایی خاک‌شویی که مبتنی بر استفاده آب(مایع پایه) به همراه استفاده از شوینده، جهت پاک‌سازی خاک ماسه‌ای ریزدانه دار، که به صورت مصنوعی به گازوئیل آلوده شده است مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۲ طرح مساله

در طی چندین دهه‌ی اخیر محققان روش‌های مختلفی را جهت پاک‌سازی خاک‌های آلوده به آلاینده‌های نفتی ارائه و بررسی نموده‌اند. از جمله روش‌هایی که علاوه بر اقتصادی بودن آن، میزان عملکرد قابل توجهی در این زمینه دارد؛ روش خاک‌شویی به صورت دگرجا بوده است. در گذشته از روش خاک‌شویی بیشتر به صورت آزمایشگاهی استفاده شده و در مواردی نیز از این روش به عنوان روش مکمل با دیگر روش‌های پاک‌سازی، جهت کاهش میزان غلظت آلاینده در خاک‌ها با میزان آلودگی زیاد، استفاده شده است. در موارد بسیار معدودی از این روش به صورت منفرد برای پاک‌سازی خاک در اشل صنعتی استفاده شده است.

^۵ Biological method

^۶ Chemical method

^۷ Physical method

^۸ Chemical-Physical method

^۹ Ex-situ method

^{۱۰} In-situ method

^{۱۱} photoremediation

^{۱۲} Bioremediation

^{۱۳} Chemical Oxidation

^{۱۴} Soil Vapor Extraction

^{۱۵} Soil washing or Flushing

تاریخچه این روش در ایران سابقه‌ی چندانی نداشته و تا به حال به صورت آزمایشگاهی انجام گرفته است. این تحقیق برای بررسی عملکرد این روش و برخی از پارامترهای تاثیرگذار بر این روش، به عنوان یک روش جهت پاک‌سازی خاک‌های آلوده به آلاینده‌های نفتی، به صورت صنعتی انجام شده است.

۳-۱ هدف تحقیق

هدف این تحقیق پاک‌سازی خاک آلوده به گازوئیل با استفاده از چند سورفکتانت^{۱۶} مختلف و تعیین غلظت سورفکتانت مورد نظر است. مناسب بودن سورفکتانت و غلظت مناسب آن با توجه به میزان پاک‌سازی خاک از گازوئیل و همچنین هزینه‌های انجام کار تعیین می‌گردد. در این راستا، صنعتی نمودن روش انجام کار نیز در نظر بوده؛ تا بتوان با این تحقیق به راه‌حلی برای یکی از مشکلات اساسی محیط زیست چه در ایران و چه در جهان دست یافت.

۴-۱ روش تحقیق

پاک‌سازی خاک آلوده به گازوئیل در این تحقیق به روش مطالعات کتابخانه‌ای و آزمایشات نیمه صنعتی است. بخش مطالعاتی این تحقیق خود شامل مطالعات مربوط به چگونگی انجام فرآیند خاک‌شویی و مطالعات مربوط به انتخاب سورفکتانت مناسب بوده است.

بخش آزمایشگاهی در این تحقیق که پس از ساخت دستگاه خاک‌شویی و انتخاب سورفکتانت‌های مورد نظر جهت پاک‌سازی خاک از گازوئیل آغاز می‌شود؛ شامل چهار بخش است. بخش اول مرحله آزمایشگاهی به استفاده از غلظت‌های متفاوت سورفکتانت‌های انتخابی و بررسی تاثیر غلظت‌های متفاوت این سورفکتانت‌ها در میزان حذف گازوئیل از خاک محدود می‌شود. بخش دوم مرحله آزمایشگاهی مربوط به تاثیر دما در فرآیند خاک‌شویی بوده است. در ادامه، بخش سوم مرحله آزمایشگاهی اثر PH را بر محلول شوینده مورد بررسی قرار داده‌ایم. در نهایت به بازیابی سورفکتانت‌های مورد استفاده در این تحقیق پرداخته‌ایم.

^{۱۶} Surfactant

در انتها با در نظر گرفتن تمامی عوامل ذکر شده در بالا، از میان سورفکتانت‌های انتخاب شده، یک سورفکتانت با غلظت مشخص و شرایط آزمایشگاهی بهینه را به عنوان بهترین سورفکتانت جهت پاک‌سازی خاک از گازوئیل معرفی می‌شود.

۵-۱ ساختار پایان نامه

این پایان‌نامه در ۵ فصل جهت نیل به اهداف بیان شده، تهیه و تنظیم شده است.

درفصل اول مقدمه‌ای در مورد پاک‌سازی خاک و ضرورت پرداخت به این موضوع بیان شده و سپس به صورت اجمالی با چگونگی تحقیق و ساختار پایان‌نامه اشاره نموده‌ایم. در فصل دوم به بیان مبانی تئوری و همچنین بررسی دقیق روش خاک‌شویی با کمک شوینده سورفکتانت و نحوه عملکرد این شوینده در مورد چگونگی جداسازی آلاینده از خاک پرداخته شده است؛ در عین حال به بیان فعالیت‌های صورت گرفته در خاک‌شویی و بازیابی سورفکتانت به صورت موردی در این بخش مبادرت نموده‌ایم. در فصل سوم به صورت مفصل، علاوه بر بیان مواد مورد استفاده در این تحقیق به بیان چگونگی انجام آزمایش‌ها و فرآیند خاک‌شویی پرداخته شده است. در فصل چهارم معطوف به مشاهده نتایج بدست آمده و بررسی چرایی نتایج حاصله پرداخته شده و در نهایت در فصل پنجم به نتیجه‌گیری از آزمایش‌های انجام شده پرداخته و در انتها جهت پیشرفت و چگونگی عملکرد بهتر روش خاک‌شویی پیشنهاداتی ارائه شده است.

فصل دوم

مبانی تئوری و مروری بر فعالیتهای پیشین

۱-۲ مقدمه

برای بررسی هر پدیده، نیاز به شناخت مفاهیم پایه و کلیاتی بوده که زمینه‌ی درک موضوع را ساده‌تر و کامل‌تر فراهم می‌کند. در این بخش، به شرح مختصری از تعاریف و کلیات مورد نیاز برای آشنایی با موضوع پاکسازی خاک آلوده به فرآورده‌های نفتی به روش خاک‌شویی خارج از محل با استفاده از محلول شوینده، اشاره شده است. بدین منظور، در ابتدا به اجمال، به معرفی ساختار خاک و آلاینده‌های احتمالی موجود در خاک پرداخته شده و به دنبال آن به معرفی هیدروکربن‌های نفتی، به‌عنوان یکی از خطرناک‌ترین آلاینده‌های خاک، اشاره گردیده است. در ادامه روش‌های مختلف پاکسازی خاک آلوده و مزایا و معایب آن، به طور خلاصه بیان شده، سپس روش خاک‌شویی و نحوه عملکرد آن جهت پاکسازی خاک و مواد مورد استفاده در این روش مطرح گردیده است. در انتها به بیان فعالیتهای پیشین که در این زمینه انجام شده است پرداخته‌ایم.

۲-۲ خاک

در علوم مهندسی، خاک مخلوط غیر یکپارچه‌ای (غیر سمته‌ای) از دانه‌های کانی و مواد آلی فاسد شده‌ای است که فضای خالی بین آنها توسط آب و هوا (گازها) اشغال شده‌است. دانه‌های کانی که تشکیل دهنده‌ی قسمت جامد خاک هستند، از هوازدگی سنگ‌ها بوجود می‌آیند [۹]. ویژگی‌های خاک از نظر ساختار فضایی (نحوه قرارگیری ذرات در کنار هم) و فیزیکی متغیر است و به اثرات ترکیبی آب و هوا، فعالیت زیستی، مکان‌نگاری (توپوگرافی) و ترکیب معدنی سنگ منشأ، بستگی دارد [۱۱ و ۱۰]. بر اساس وزن خشک، تقریباً ۹۳٪ تا ۹۹٪ خاک‌ها را مواد معدنی و باقیمانده‌ی آن را مواد آلی تشکیل می‌دهد. به‌استثنا خاک‌های آلی که بخش بسیار کمی از خاک‌ها را در بر می‌گیرند، قسمت عمده‌ی مواد خاک، معدنی بوده و از رسوب‌های زمین‌شناختی جامد مشتق شده است. قسمت معدنی خاک غالباً بر حسب توزیع اندازه‌ی ذرات آن توصیف می‌گردد [۱۱ و ۱۰]. دامنه‌ی تغییرات اندازه‌ی دانه‌ها وسیع است. بسیاری از خواص فیزیکی خاک، توسط اندازه، شکل و ترکیبات شیمیایی دانه‌های آن دیکته می‌شود [۹].

۲-۲-۱ طبقه‌بندی خاک

تاکنون سیستم‌های متعددی برای طبقه‌بندی خاک‌ها با ویژگی‌های مختلف ابداع شده است. در جدول ۲-۱ حدود جداکننده‌ی اندازه‌ی دانه‌های خاک، توسط چند سازمان مختلف ارائه شده است. در حال حاضر، حدود پیشنهادی توسط سیستم طبقه‌بندی متحد خاک، متداول‌ترین سیستم طبقه‌بندی خاک است. طبق این سیستم طبقه‌بندی که مورد پذیرش اداره‌ی استاندارد آمریکا (ASTM) نیز است، ذرات بزرگتر از ۴/۷۵ میلی‌متر را شن، ۴/۷۵ تا ۰/۰۷۵ را ماسه و کوچکتر از ۰/۰۷۵ میلی‌متر را لای و رس می‌نامند [۹].

شن، خرده سنگ همراه با دانه‌هایی از جنس کوارتز، فلداسپات و سایر کانی‌ها و ماسه، دانه‌هایی اکثراً از جنس کوارتز و فلداسپات هستند. لای، ذرات ریز خاک است که از دانه‌های بسیار ریز کوارتز و ذرات پولکی شکل حاصل از متلاشی شدن کانی‌های میکادار تشکیل می‌گردد و رس نیز ذرات بسیار ریز پولکی شکل میکا، کانی‌های رس و سایر کانی‌ها است [۹].

جدول ۱-۲: حدود جدا کننده‌ی اندازه‌ی خاک [۹]

اندازه‌ی دانه‌ها (میلی‌متر)				نام سازمان
شن	ماسه	لای	رس	
< 2	0.06 تا 2	0.002 تا 0.06	< 0.002	انستیتو تکنولوژی ماساچوست (MIT)
< 2	0.05 تا 2	0.002 تا 0.05	< 0.002	سازمان کشاورزی امریکا (USDA)
2 تا $76/2$	0.075 تا 2	0.002 تا 0.075	< 0.002	انجمن ادارات راه و ترابری امریکا (AASHTO)
$4/75$ تا $76/2$	0.075 تا $4/75$	ریزدانه‌ها (رس و لای) < 0.075		سیستم طبقه‌بندی متحد

۲-۱-۱-۲-۱ خاک ماسه‌ای

طبق تعریف ماسه عبارت است از ذرات ریز مواد معدنی که قطر آنها از حدود 0.075 تا 2 میلیمتر تغییر می‌کند. ماسه‌ها با توجه به ترکیبات تشکیل دهنده آنها انواع مختلفی دارند که از آن جمله می‌توان به ماسه سیلیسی (که ترکیب اصلی این ماسه سیلیس بوده و به طور گسترده‌ای در صنایع مختلف به کار می‌رود و در حقیقت عمده‌ترین ماسه مصرفی محسوب می‌گردد)، ماسه آهکی، ماسه کرومیتی (کرومیت ترکیب اصلی این ماسه است)، ماسه زیرکن، ماسه اولوین و ماسه شاموتی اشاره نمود. ماسه‌ها از نظر اندازه ذرات در سه گروه تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱- ماسه نرم، ماسه‌ای است که اندازه ذرات آن بین 0.075 تا 0.2 میلیمتر باشد.

۲- ماسه متوسط، ماسه‌ای است که اندازه ذرات آن بین 0.2 تا 0.6 میلیمتر باشد.

۳- ماسه درشت، ماسه‌ای است که اندازه ذرات آن بین 0.6 تا 2 میلیمتر باشد.

همچنین ماسه‌ها از نظر نحوه تهیه و تشکیل ماسه، به دو گروه ماسه‌های طبیعی و ماسه‌های مصنوعی تقسیم بندی می‌شوند. ماسه‌های مصنوعی از شکستن، خرد کردن و غربال کردن سنگهای سیلیس و اضافه کردن افزودنی‌ها و مواد دیگر تولید می‌گردند. محدودیت اصلی ماسه‌های مصنوعی در مقابل ماسه های

طبیعی بالا بودن قیمت تمام شده آنها است. ماسه طبیعی ماسه‌ای است که در طبیعت و بوسیله نیروهای طبیعی و به مرور زمان شکل می‌گیرند ماسه‌های طبیعی بر حسب میزان خاک رس موجود در آنها به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- ۱- ماسه ضعیف: ماسه‌ای که حداکثر تا ۸٪ وزنی آن را خاک رس تشکیل داده باشد.
 - ۲- ماسه متوسط: ماسه‌ای که بین ۸ تا ۱۸٪ وزنی آن را خاک رس تشکیل داده باشد.
 - ۳- ماسه خاک یا ماسه ملات: ماسه‌ای که بیش از ۱۸٪ وزنی آن را خاک رس تشکیل داده باشد [۹].
- همچنین ماسه‌های طبیعی بر اساس منشا تشکیل در چهار گروه تقسیم بندی شده‌اند:
- ۱- ماسه بادرانده یا ماسه بادی: ذرات این نوع ماسه معمولاً کروی شکل بوده و درشتی دانه‌های آن از ۰/۲ میلیمتر تجاوز نمی‌کند و این نوع ماسه‌ها معمولاً در کویرها یافت می‌شوند.
 - ۲- ماسه ساحلی: این نوع ماسه‌ها در سواحل دریاها یافت می‌شود و همواره با مقداری املاح همراه است. ماسه‌های ساحلی درشت دانه بوده از عناصر مختلف ترکیب شده‌اند و ممکن است در حدود ۲ تا ۳ درصد مواد رسی به همراه داشته باشند.
 - ۳- ماسه آبرفتی: این نوع ماسه‌ها عموماً در بستر رودخانه‌ها یافت می‌شوند و معمولاً گرد گوشه و فاقد املاح هستند.
 - ۴- ماسه یخچالی: این نوع ماسه در نتیجه حرکت یخچالها تشکیل می‌گردند و معمولاً نوک تیز و عاری از خاک رس هستند [۱۱].

از جمله موارد کاربرد ماسه، می‌توان به استفاده در صنعت ساختمان سازی و راه سازی به عنوان ماده سازنده مصالح ساختمانی مانند ملات‌ها، بتن و بتن مسلح، انواع مختلف آجرها و آجرهای نسوز، صنایع ریخته‌گری به عنوان قالب، صنایع شیشه سازی به عنوان قالب، صنایع مختلفی مانند آب و فاضلاب و نفت به عنوان صافی و یا جاذب آلاینده‌های زیست محیطی و.. اشاره نمود [۱۲].

۲-۳ آلاینده‌های خاک

در خاک، مواد آلی، معدنی، هوا و آب، موجودات زنده‌ای نظیر باکتری‌ها، قارچ‌ها و ... وجود دارند. این موجودات در خواص شیمیایی خاک و نیز در خواص فیزیکی خاک بسیار مؤثرند. چنانچه تعادل اکولوژیکی بین موجودات زنده‌ی خاک و محیط‌زیست آن‌ها (خاک) به هم بخورد، ممکن است به نابودی آنها بیانجامد. یکی از عواملی که می‌تواند به برهم‌خوردن این تعادل کمک کند، حضور آلاینده‌های مختلف در خاک است. علاوه بر این، در صورت ورود مستقیم یا غیر مستقیم این آلاینده‌ها به بدن انسان و دام (از طریق چرخه‌ی غذایی یا تماس با پوست) انتظار بروز خطرات بهداشتی و عوارض نامطلوب سلامتی نیز می‌رود.

آلاینده‌های خاک، طیف وسیعی از ترکیبات مختلف شیمیایی را شامل می‌گردند که هر روزه، جهت بهبود کیفیت زندگی بشر تولید می‌شود. برخی از این آلاینده‌ها، اثرات تخریبی بیشتری بر روی خاک داشته و از لحاظ بروز بیماری در انسان و سایر موجودات خطرناک‌تر هستند.

بطور کلی می‌توان آلاینده‌های خاک را در چهار گروه :

۱- ترکیبات آلی فرار

۲- ترکیبات آلی نیمه‌فرار (مانند هیدروکربن‌های اروماتیک چند حلقه‌ای، پلی‌کلرینیت بی‌فنیل‌ها

(PCBs) و سموم دفع آفات)

۳- هیدروکربن‌های سنگین

۴- ترکیبات معدنی (جیوه، کادمیوم، آلومینیوم و ...)

تقسیم بندی نمود.

ترکیبات نفتی یکی از مهم‌ترین، خطرناک‌ترین و در دسترس‌ترین آلاینده‌های خاک هستند؛ که عموماً به عنوان سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرند. این ترکیبات به سه شکل بخار، چسبیده به ذرات جامد و محلول در خاک یا آب می‌توانند وجود داشته باشند. این موارد به علت استفاده وسیع در بسیاری از مناطق همچون پمپ بنزین‌ها باعث آلودگی خاک در بسیاری از مناطق گردیده‌اند. این ترکیبات بعد از ریختن بر سطح خاک

بطور عمودی و تا حدی که بافت خاک اجازه دهد در پروفیل عمقی گسترش می‌یابند. هرچه چسبندگی بین ذرات خاک و این ترکیبات بیشتر باشد، آلودگی خاک بیشتر و پاک‌سازی آن سخت‌تر خواهد شد. [۱۳ و ۴].

۲-۳-۱ مقدمه‌ای بر ترکیبات نفتی

نفت^{۱۷} یا به اصطلاح روغن‌های معدنی مخلوطی از هیدروکربن‌ها هستند که منابع آن اغلب در اعماق زمین وجود دارند. انگلیسی‌ها کلمه لاتین آن پترولم را پذیرفته‌اند، در صورتی که آلمان‌ها آن را به معنای روغن‌های زمینی می‌خوانند.

نحوه پیدایش نفت دقیقاً مشخص نیست ولی فرضیات گوناگونی در این مورد مطرح شده است. برخی از این تئوری‌ها مربوط به مواد معدنی و برخی دیگر مربوط به مواد آلی است که این دو فرضیه در زیر توضیح داده می‌شود.

اساس فرضیه تشکیل نفت از مواد معدنی بر این امر است که کربن‌های فلزی تشکیل شده در اعماق زمین در اثر تماس با آب‌هایی که در زمین نفوذ کرده‌اند ابتدا تشکیل هیدروکربن‌های استیلنی با زنجیره‌های کوتاه می‌نمایند. سپس هیدروکربن‌های حاصل در اثر تراکم و پلیمریزه شدن ایجاد ترکیبات پیچیده می‌نمایند که اغلب آنها اشباع شده است. باید یادآور شد که در اعماق زمین هرگز از کربن‌های فلزی، فلزات قلیایی به صورت آزاد و کربن‌های استیلنی یافت نشده است.

فرضیه تشکیل نفت از مواد آلی در اثر تجزیه بدن حیوانات در مجاورت آب و دور از هوا صورت می‌گیرد. در این شرایط قسمت اعظم مواد ازته و گوگردی تخریب می‌گردند. (مواد چرب باقی مانده، در اثر آب هیدرولیز می‌گردد) اسیدهای چرب حاصله در اثر فشار و حرارت با ازدست دادن عوامل اسیدی، تولید هیدروکربن‌هایی با یک اتم کمتر می‌کنند.

براساس این فرضیه جهت ایجاد یک ژیزمان یا منبع نفتی باید توده بزرگی از حیوانات دریایی یک مرتبه شرایط زندگی‌شان عوض شده باشند. مثلاً توده بزرگی از ماهی‌هایی که در آب شیرین زندگی می‌کردند و با

^{۱۷} petrol