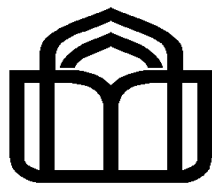


اللهم صل على محمد
والعائلة الطيبة



دانشگاه شاهرود

دانشکده علوم پایه

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته زیست‌شناسی - میکروبیولوژی

عنوان:

تاثیر کمپوست بر سالم سازی خاک‌های آلوده به لجن نفتی (با تاکید بر

میکروبیولوژی)

اساتید راهنما:

دکتر ایرج رسولی

دکتر قاسمعلی محبعلی

استاد مشاور:

دکتر نعمت اله جعفرزاده حقیقی

دانشجو:

الهام حسن‌زاده

آبان ماه ۱۳۹۰

چکیده:

طی پاکسازی مخازن نفتی که جهت ذخیره‌سازی نفت خام و مشتقات آن استفاده می‌شوند، حجم وسیعی از لجن نفتی به محیط تخلیه می‌شود که در صورت عدم رسیدگی صحیح، آلودگی‌های زیست محیطی به ویژه آلودگی خاک را به دنبال خواهد داشت. گزارشات موجود نشان می‌دهد که بسیاری از اجزای تشکیل‌دهنده لجن نفتی سرطان‌زا هستند. در این رابطه روش‌های پاکسازی متنوع اعم از فیزیکی، شیمیایی و زیستی مورد استفاده قرار گرفته است. در این میان، در شرایطی که امکان فعالیت زیستی وجود دارد، فرایندهای زیستی به سبب امکان اجرا در شرایط متعادل محیطی، سازگار بودن با محیط زیست و صرفه اقتصادی در اولویت اجرا قرار می‌گیرند. در مواردی که تراکم آلاینده‌ها بالاتر از حد تحمل سیستم‌های زیستی است می‌توان برای تجزیه کامل‌تر آلاینده نسبت به استفاده متوالی از روش‌های غیرزیستی (فیزیکی، شیمیایی و حرارتی) و فرایندهای زیستی اقدام نمود. زیست سالم سازی فرایندی است که در آن از میکروبهایی همچون مخمر، قارچ و باکتری برای شکستن و تجزیه ترکیبات خطرناک و سمی به ترکیباتی با سمیت کمتر و یا غیرسمی استفاده می‌کنند. یکی از روش‌های زیست سالم سازی که امروزه بیشتر مورد توجه قرار گرفته است، فرایند کمپوست است. در این روش به منظور بهبود خاک آلوده از مواد حجم‌دهنده طبیعی تجزیه‌پذیر بهره گرفته می‌شود. افزودن این مواد به خاک آلوده موجب افزایش کیفیت فیزیکی خاک و نیز تهویه خاک و بنابراین ارتقاء تجزیه میکروبی می‌شود. در این تحقیق در فرایند کمپوست از باگاس نیشکر به عنوان بهبود دهنده استفاده شد. به منظور بررسی کارایی فرایند کمپوست و نیز تاثیر افزودن مخلوط کودهای نیتروژن و فسفر در زیست‌سالم سازی خاک آلوده به لجن نفتی کف مخازن نفت خام، چهار راکتور آزمایشگاهی طراحی شد. خاک آلوده به لجن نفتی در سه بیوراکتور تحت تیمار متفاوت قرار گرفت: (۱) خاک آلوده همراه با باگاس، (۲) خاک آلوده همراه با مخلوط کود و (۳) خاک آلوده همراه با باگاس و مخلوط کود). موازی با این سه بیوراکتور، یک بیوراکتور حاوی خاک غیرآلوده (بیوراکتور شاهد) راه‌اندازی و راهبری شد. این بیوراکتورها تحت شرایط عملکردی تعریف شده به مدت ۵ ماه هوادهی شد.

طی شش مرحله نمونه‌گیری از هر بیوراکتور تغییرات جمعیت باکتری‌های قابل‌کشت در خاک، تغییرات مقدار لجن نفتی در خاک، میزان تولید CO_2 در هر راکتور و تغییرات جمعیت میکروبی با استفاده از DGGE مورد آنالیز قرار گرفت. طی آنالیزهای انجام شده بیوراکتوری که تنها حاوی باگاس بود بیشترین رشد جمعیت میکروبی، بیشترین میزان تولید CO_2 و بیشترین کاهش میزان لجن نفتی در خاک (شامل کاهش وزن لجن، کاهش ترکیبات آلی محلول در تولوئن، مواد اشباع و آسفالتن) را نشان داد. بعد از این بیوراکتور، بیوراکتوری که حاوی باگاس و مخلوط کود بود بیشترین رشد میکروبی و تولید CO_2 و کاهش ترکیبات آروماتیک و اشباع و آسفالتن را نشان داد. آنالیز ملکولی که به منظور بررسی دینامیک جمعیت میکروبی حین تیمار زیستی در هر چهار بیوراکتور انجام شد شامل استخراج ژنوم از خاک، انجام واکنش زنجیره‌ای پلیمرز مربوط به ناحیه 16S rRNA و سپس آنالیز DGGE بود. تغییرات جمعیت میکروبی در هر چهار راکتور مشاهده شد. در مراحل پایانی نمونه‌برداری، علیرغم کاهش جمعیت میکروبی کل، در هر چهار راکتور افزایش تنوع میکروبی مشاهده شد.

کلیدواژه: زیست سالم سازی، کمپوستینگ، لجن نفتی، تغییرات جمعیت میکروبی، DGGE

تشکر و قدردانی

خداوند یکتا را سپاسگزارم که سعادت گام نهادن در مسیر کسب دانش را نصیبم ساخت و در این راه توفیق آموختن قطره‌ای از دریای بی‌کران معرفتش را به من ارزانی داشت. امید که تلاش‌های حقیر در زکات دانش تحصیل شده، مقبول دریای کبریاییش واقع گردد. بر خود لازم میدانم تا از کمک‌های همه آنان که در این راه، با مهر و بی‌دریغ، یاریم داده‌اند، سپاس‌گزاری نمایم.

بیش از همه، از پدر و مادرم، که همچون همه مراحل زندگی، مشوق و پشتیبانم بوده‌اند و این اثر را به وجود مقدس ایشان تقدیم نموده‌ام، تشکر می‌نمایم. همچنین از برادران مهربانم که با تشویق‌های پیوسته خود، شعله اشتیاق به دانستن را در وجودم فروزان نگاه داشته‌اند، سپاس‌گزاری می‌کنم.

از اساتید محترم راهنما جناب آقای دکتر ایرج رسولی و جناب آقای دکتر قاسمعلی محبعلی، که من را در انجام این تحقیق پشتیبانی نمودند سپاس‌گزارم. از استاد مشاور جناب آقای دکتر نعمت اله جعفرزاده حقیقی تشکر می‌نمایم.

این تحقیق با همکاری شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب انجام شده است و از حمایت و پشتیبانی آنها در مسیر انجام این پایان‌نامه سپاس‌گزارم.

از اساتید ارجمند جناب آقای دکتر یخچالی، جناب آقای دکتر کاظمی، جناب آقای دکتر شوندی، سرکار خانم دکتر رجبیان و سرکار خانم دکتر خوشکام که در مراحل متفاوت اجرای پایان‌نامه توانستم از راهنمایی‌ها و مساعدتشان بهره‌مند شوم سپاس‌گزارم.

از خانم‌ها: علیپور، محمدی و رحمانی که در انجام مراحل عملی در آزمایشگاه دانشگاه شاهد صمیمانه مرا همراهی نموده‌اند، تشکر می‌نمایم. همچنین از سرکار خانم آمنه کوچکی که در اجرای بخشی از کار عملی در آزمایشگاه دانشگاه شهید بهشتی مرا یاری نمودند صمیمانه سپاس‌گزارم.

و از تمامی دوستان عزیزم در آزمایشگاه‌های میکروبیولوژی، بیوتکنولوژی و گیاهشناسی دانشگاه شاهد که با حمایتشان مرا در انجام مراحل مختلف این پایان‌نامه یاری نمودند قدردانی می‌نمایم. به ویژه از آقایان نظریان، نصرتی، دهقانی، داداش‌پور، فتحیان، علیزاده، افتخاریان، زارع و خانم‌ها زاهدی، توبک، آذرمهر، مرتجایی، صفایی، یزدان‌پرست، شریعتی، باقری، آل‌رسول، جاویدان، حسینقلی، جوکار و اخویان.

در پایان برای همه این عزیزان و سایر دوستانی که به هر نحو، در به ثمر رسیدن این پژوهش بنده را از الطاف و محبت‌های خویش بهره‌مند ساخته‌اند، در همه‌ی مراحل زندگی، آرزوی توفیق و کامیابی می‌نمایم.

تقدیم به

پدر مهربان و مادر فداکارم

که زندگانیم از نور وجود ایشان روشنایی یافته است

فصل اول: مقدمه

۱-مقدمه.....	۱
۱-۱-آلودگی.....	۱
۱-۱-۱-آلودگی خاک.....	۱
۲-۱-تقسیم بندی آلاینده های زیستی.....	۲
۱-۲-۱-آلاینده های معدنی.....	۲
۲-۲-۱-آلاینده های آلی.....	۲
۳-۱-هیدروکربن ها.....	۴
۴-۱-هیدروکربن های نفتی در محیط.....	۴
۱-۴-۱-پلی سیکلیک آروماتیک هیدروکربن ها.....	۶
۲-۴-۱-آسفالتن.....	۷
۳-۴-۱-رزین.....	۸
۵-۱-لجن نفتی.....	۹
۱-۵-۱-ویژگی های اکولوژیکی لجن نفتی.....	۹
۶-۱-انواع مسیرهای پاکسازی.....	۱۰
۱-۶-۱-فرایند فیزیکی.....	۱۰
۱-۶-۱-۱-شستشوی خاک.....	۱۱
۲-۶-۱-خاکچال.....	۱۱
۲-۶-۱-فرایند حرارتی.....	۱۲
۱-۲-۶-۱-سوزاندن.....	۱۲
۲-۲-۶-۱-دفع حرارتی.....	۱۲
۳-۲-۶-۱-حرارت دادن با استفاده از فرکانس های رادیویی.....	۱۲
۳-۶-۱-فرایند شیمیایی.....	۱۳
۴-۶-۱-فرایند های زیستی.....	۱۳
۷-۱-زیست سالم سازی.....	۱۳
۱-۷-۱-مقدمه.....	۱۳
۲-۷-۱-تعریف زیست سالم سازی.....	۱۴
۳-۷-۱-عوامل موثر بر تجزیه زیستی هیدروکربن های نفتی.....	۱۵
۱-۳-۷-۱-عوامل موثر غیرزیستی.....	۱۵
۴-۷-۱-عوامل موثر زیستی.....	۱۷

۱۸	۸-۱-مزایای استفاده از زیست سالم سازی
۱۹	۹-۱-محدودیت های استفاده از زیست سالم سازی
۲۰	۱۰-۱-انواع روش های زیست سالم سازی
۲۰	۱-۱۰-۱-مسیر های پاکسازی درجا
۲۰	۱-۱۰-۱-۱-تهویه زیستی
۲۱	۱-۱۰-۱-۲-تحریک زیستی
۲۳	۱-۱۰-۱-۳-افزودن جمعیت میکروبی
۲۴	۲-۱۰-۱-مسیر های پاکسازی دگرجا
۲۴	۱-۲-۱۰-۱-تیمار برزمینی
۲۵	۲-۲-۱۰-۱-زیست انباشت
۲۶	۳-۲-۱۰-۱-فرایند کمپوست
۲۶	۱۱-۱-عوامل موثر بر زیست سالم سازی
۲۶	۱-۱۱-۱-pH
۲۷	۲-۱۱-۱-دما
۲۷	۳-۱۱-۱-در دسترس بودن مواد غذایی
۲۸	۴-۱۱-۱-اکسیژن
۲۸	۵-۱۱-۱-دسترس پذیری هیدروکربن های نفتی
۲۹	۱۲-۱-فرایند کمپوست
۲۹	۱-۱۲-۱-تعریف فرایند کمپوست
۳۰	۲-۱۲-۱-ترکیبات قابل استفاده در فرایند کمپوست
۳۱	۱-۲-۱۲-۱-باگاس نیشکر
۳۲	۱۳-۱-بیوراکتورها
۳۳	۱۴-۱-انواع بیوراکتور ها
۳۳	۱-۱۴-۱-بیوراکتور های جامد
۳۵	۲-۱۴-۱-بیوراکتور های مایع
۳۶	۳-۱۴-۱-بیوراکتور های گازی
۳۷	۱۵-۱-مزایا و محدودیت های استفاده از انواع بیوراکتورها
۳۷	۱-۱۵-۱-بیوراکتور های جامد
۳۹	۲-۱۵-۱-بیوراکتور های مایع و گاز
۴۰	۱۶-۱-تنوع میکروبی و تجزیه زیستی
۴۴	۱-۱۶-۱-موانع کلی در مطالعه تنوع زیستی در خاک

۴۴	۱-۱-۱۶-۱-ناهمگنی فضایی در خاک
۴۴	۱-۱-۱۶-۲-عدم توانایی در کشت میکروارگانیزم ها
۴۵	۱-۱-۱۶-۳-محدودیت های استفاده از روش های ملکولی
۴۵	۱-۱-۱۶-۴-ابهامات تاکسونومیک میکروب ها
۴۶	۱-۱۶-۲-روش های مطالعه تنوع میکروبی در خاک
۴۶	۱-۱۶-۲-۱-روش های بیوشیمیایی
۴۸	۱-۱۶-۲-۲-روش های ملکولی برای مطالعه تنوع میکروبی
۴۸	۱-۱۷-۱-آنالیز جمعیت میکروبی با استفاده از روش DGGE
۴۸	۱-۱۷-۱-اساس روش PCR-DGGE
۵۰	۱-۱۷-۲-اجرای DGGE

فصل دوم: مواد و روش ها

۵۳	۱-۲- طراحی و ساخت راکتور
۵۴	۲-۲- هوادهی راکتور
۵۵	۲-۳-تنظیم دوره هوادهی
۵۶	۲-۴-انتخاب و جمع آوری خاک
۵۶	۲-۴-۱-آنالیز فیزیکی و شیمیایی خاک
۵۷	۲-۵-تهیه ی ماده آلاینده(لجن کف مخازن نفت خام)
۵۷	۲-۶-تهیه و آماده سازی باگاس
۵۸	۲-۷-نسبت مخلوط کردن خاک و لجن با یکدیگر
۵۸	۲-۸-نسبت مخلوط کردن خاک آلوده به لجن و باگاس
۵۹	۲-۹-مخلوط کردن خاک آلوده به لجن با کودهای نیتروژن و فسفر
۶۱	۲-۱۰-راه اندازی راکتور
۶۲	۲-۱۱-نمونه گیری از راکتورها
۶۳	۲-۱۱-۱-شمارش کل میکروارگانیزم ها
۶۳	۲-۱۱-۲-استخراج مستقیم هیدروکربن های نفتی از خاک آنالیز ترکیبات هیدروکربنی موجود در نمونه (تست SARA)
۶۴	۲-۱۱-۳-استخراج مستقیم هیدروکربن های نفتی از خاک
۶۵	۲-۱۱-۴-اندازه گیری رطوبت خاک
۶۶	۲-۱۲-اندازه گیری میزان CO ₂

۶۷.....	۱۳-۲-استخراج ژنوم از خاک.....
۶۷.....	۱-۱۳-۲- روش دستی.....
۶۹.....	۲-۱۳-۲- با استفاده از کیت.....
۷۱.....	۳-۱۳-۲- انجام واکنش زنجیره ای پلیمراز.....
۷۱.....	۴-۱۳-۲- آنالیز قطعات حاصل از واکنش زنجیره ای پلیمراز با استفاده از دستگاه mutation detection system(DGGE).....
۷۳.....	۷۳.....

فصل سوم: نتایج

۷۸.....	۱-۳- آنالیز خاک.....
۷۹.....	۲-۳- آنالیز باگاس.....
۸۱.....	۳-۳- شمارش کل میکروارگانیسم ها.....
۸۶.....	۴-۳- تغییرات وزنی مقدار لجن نفتی در خاک.....
۸۸.....	۵-۳- مقدار CO ₂ تولید شده در نتیجه فعالیت میکروبی در هر راکتور.....
۹۰.....	۶-۳- تست سارا(SARA).....
۹۳.....	۷-۳- استخراج ژنوم از خاک.....
۹۴.....	۸-۳- واکنش زنجیره ای پلیمراز.....
۹۵.....	۹-۳- نتایج حاصل از DGGE.....

فصل چهارم: بحث

۹۹.....	۱-۴- ضرورت پژوهش در زمینه زیست سالم سازی خاک های آلوده به هیدروکربن های نفت.....
۹۹.....	۲-۴- اثر افزودن منابع نیتروژن و فسفر در زیست سالم سازی خاک های آلوده به هیدروکربن های نفت.....
۹۹.....	۳-۴- اثر افزودن باگاس نیشکر یا سایر عوامل حجم دهنده در زیست سالم سازی خاک های آلوده به هیدروکربن های نفتی.....
۱۰۱.....	۴-۴- تاثیر عوامل زیستی و غیر زیستی در زیست سالم سازی خاک های آلوده.....
۱۰۳.....	۵-۴- تغییرات جمعیت میکروبی طی زیست سالم سازی خاک های آلوده تحت تیمار های متفاوت.....
۱۰۶.....	۶-۴- تولید CO ₂
۱۰۷.....	۷-۴- تغییرات مقدار کل هیدروکربن های نفتی در خاک آلوده طی تیمار های زیستی متفاوت.....
۱۰۸.....	۸-۴- بررسی جمعیت میکروبی خاک با استفاده از تکنیک های مولکولی.....

فهرست اشکال:

شکل ۱-۱: درخت طبقه بندی آلاینده ها..... ۳

شکل ۱-۲: برخی از انواع هیدروکربن های پلی سیکلیک آروماتیک..... ۷

شکل ۱-۳: طبقه بندی هیدروکربن های نفتی..... ۸

شکل ۱-۴: تصویری شماتیک از تجزیه زیستی هوازی در خاک..... ۱۴

شکل ۱-۵: سیستم تهویه زیستی..... ۲۰

شکل ۱-۶: سیستم پاکسازی برزمینی..... ۲۴

شکل ۱-۷: نموداری شماتیک از فرایند کمپوست..... ۲۹

شکل ۱-۸: شکل شماتیک از بیوراکتور فاز جامد..... ۳۳

شکل ۱-۹: طرحی از راکتور زیستی دوغابی در مقیاس آزمایشگاهی..... ۳۵

شکل ۱-۱۰: ترتیب مراحل در مسیر PCR-DGGE..... ۵۰

شکل ۲-۱: بیوراکتور های فاز جامد..... ۵۳

شکل ۲-۲: پمپ هوا..... ۵۴

شکل ۲-۳: تایمر ۲۴ ساعته پریشور..... ۵۴

شکل ۲-۴: آماده سازی باگاس..... ۵۶

شکل ۲-۵: نسبت های متفاوت اختلاط خاک با باگاس..... ۵۸

شکل ۲-۶: ظروف حاوی لجن بعد از استخراج..... ۶۴

شکل ۲-۷: کیت استخراج ژنوم از خاک..... ۶۹

شکل ۲-۸: دستگاه (DGGE) mutation detection system..... ۷۵

شکل ۳-۱: استخراج مستقیم DNA کروموزومی از خاک..... ۹۱

شکل ۳-۲: محصول واکنش زنجیره ای پلیمرز ژن 16s rRNA با آنزیم Taq پلیمرز..... ۹۲

شکل ۳-۳: تصویر ژل مربوط به آنالیز DGGE..... ۹۳

فهرست جداول:

- جدول ۱-۱: مزایا و محدودیت های استفاده از روش های بیوشیمیایی در مطالعه ی تنوع زیستی در خاک..... ۴۶
- جدول ۱-۲: طبقه بندی انواع تیمارها در چهار راکتور..... ۶۱
- جدول ۲-۲: مخلوط واکنش زنجیره ای پلی مرز برای تکثیر ژن 16s rRNA ۷۰
- جدول ۲-۳: برنامه دمایی دستگاه ترموسایکلر (PCR)..... ۷۱
- جدول ۲-۴: توالی پرایمرهای رفت و برگشت..... ۷۱
- جدول ۲-۵: مواد تشکیل دهنده محلول های تجزیه کننده ۴۰ و ۷۰ درصد در مسیر آنالیز DGGE..... ۷۲
- جدول ۲-۶: مواد تشکیل دهنده ی ژل بالایی در آنالیز DGGE ۷۳
- جدول ۳-۱: نتایج آنالیز خاک..... ۷۷
- جدول ۳-۲: نتایج آنالیز شیمیایی باگاس..... ۷۹
- جدول ۳-۳: نتایج آنالیز فیزیکی باگاس..... ۷۹
- جدول ۳-۴: تعداد باکتری های شمارش شده در محیط نوترینت آگار در هر راکتور..... ۸۱
- جدول ۳-۵: مقادیر لجن نفتی در خاک در هر راکتور..... ۸۶
- جدول ۳-۶: میزان CO₂ تولید شده در هر چهار راکتور..... ۸۷
- جدول ۳-۷: آنالیز SARA مربوط به چهار راکتور در نمونه گیری زمان صفر..... ۸۹
- جدول ۳-۸: آنالیز SARA مربوط به چهار راکتور در نمونه گیری ششم..... ۸۹

فهرست نمودارها:

- نمودار ۳-۱: تغییرات جمعیت میکروبی در راکتور ۱ (خاک کنترل)..... ۸۲
- نمودار ۳-۲: تغییرات جمعیت میکروبی در راکتور ۲..... ۸۲
- نمودار ۳-۳: تغییرات جمعیت میکروبی در راکتور ۳..... ۸۳
- نمودار ۳-۴: تغییرات جمعیت میکروبی در راکتور ۴..... ۸۳
- نمودار ۳-۵: مقایسه ی تغییرات جمعیت میکروبی در ۴ راکتور (نمودار ستونی)..... ۸۴
- نمودار ۳-۶: مقایسه ی تغییرات جمعیت میکروبی در ۴ راکتور (نمودار خطی)..... ۸۴
- نمودار ۳-۷: مقایسه تغییرات مقدار لجن نفتی در چهار راکتور (نمودار خطی)..... ۸۶
- نمودار ۳-۸: میزان تولید CO₂ در هر راکتور بر حسب روز..... ۸۸

فصل اول

مقدمه

۱-۱-آلودگی

بطور کلی هر عاملی که باعث بهم زدن شرایط طبیعی محیط زیست شده و موجب تغییرات نامطلوب (آسیب و تخریب) شود، آلودگی نامیده می شود (شفیعی، پ. ۱۳۸۲).

۱-۱-۱-آلودگی خاک

سطح کل خاک کره زمین در حدود ۱۴۴۷۷ میلیون هکتار تخمین زده می شود که بیش از ۳۰۰ میلیون هکتار آن در معرض آلودگی با مواد شیمیایی بوده است. خاک های کره زمین برحسب خصوصیات زمین شناسی، آب شناسی، آب و هوا، حاصلخیزی و سایر خواص فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی به میزان زیادی با هم تفاوت دارند. مشخصات فیزیکی - شیمیایی خاک، در تعیین سرنوشت آلاینده بسیار موثر است. غالباً خاک ها اثرات سمی بالقوه آلاینده را از طریق اتصال و جذب سطحی کاهش می دهند. اغلب خاک ها یک سیستم چند فازی، شامل یک شبکه ی معدنی جامد یونی و مقداری ماده ی آلی هستند که با یک لایه آب احاطه شده اند. در خاک های غیر اشباع^۱، یک فاز گازی در فضای خالی منافذ خاک نفوذ می کند. در خاک های اشباع، این فضای خالی با آب پر می شود (شفیعی، پ. ۱۳۸۲).

وقتی آلاینده ای مانند هیدروکربن ها روی سطح ریخته می شوند، چند پدیده ی فیزیکی در جابجایی و سرنوشت آنها در محیط زیست موثر است. برای جابجایی قطرات هیدروکربن های سبک از سطح خاک، ممکن است تبخیر نقش مهمی ایفا کند، خصوصاً اگر نفوذپذیری خاک سطحی کم باشد. در مورد هیدروکربن های سنگین تر، فرایند های اکسیداسیون خودبخودی، حرارتی و نوری و نیز تجزیه زیستی، آلاینده را تا حدودی روی سطح خاک اکسید می کند. در این صورت حلالیت آلاینده بیشتر شده و راحت تر در دسترس میکروارگانیسم ها موجود در خاک قرار می گیرد. مواد واسطه قطبی تر فضای میان لایه خاک غیر اشباع و لایه آب را سریعتر می

¹ Vadose zone

پیمایند. هیدروکربن هایی که با آب امتزاج ناپذیرند آهسته تر به سمت پایین حرکت می کنند. در نتیجه یک فاز روغنی به شبکه چند فازی خاک اضافه می شود، که ممکن است خواص مرطوب سازی خاک را تغییر دهد (شفیعی، پ. ۱۳۸۲).

۱-۲- تقسیم بندی آلاینده های زیستی

به طور کلی آلاینده ها به دو دسته اصلی تقسیم می شوند: آلاینده های آلی و آلاینده های معدنی. آلاینده های آلی حاوی کربن آلی می باشند و بقیه به عنوان آلاینده های معدنی طبقه بندی می شوند (Meysami, P. 2001).

۱-۲-۱- آلاینده های معدنی

مهم ترین گروه از آلاینده های معدنی فلزات می باشند. فلزات اجزای تشکیل دهنده طبیعی خاک می باشند و معمولا از طریق افزودنی های کشاورزی مانند آهک، کودهای حیوانی و غیرحیوانی، آفت کش ها و قارچ کش ها به خاک وارد می شوند (Meysami, P. 2001).

۱-۲-۲- آلاینده های آلی

بیش از ۱۶۰۰ ترکیب آلی شناخته شده است که در هر دو محیط طبیعی و آلوده شناسایی شده اند. ترکیبات آلی اغلب همراه با محصولات نفتی یا از سوختن سوخت های فسیلی حاصل می شوند و معمولا عامل آلودگی های زیر سطحی می باشند.

هیدروکربن های نفتی عموما ترکیبات پیچیده ای می باشند. این ترکیبات از آب چگالی کمتری دارند و در روی سطح آب شناور می شوند. به ندرت در آب قابل حل و نسبتا فرار می باشند (Meysami, P. 2001).

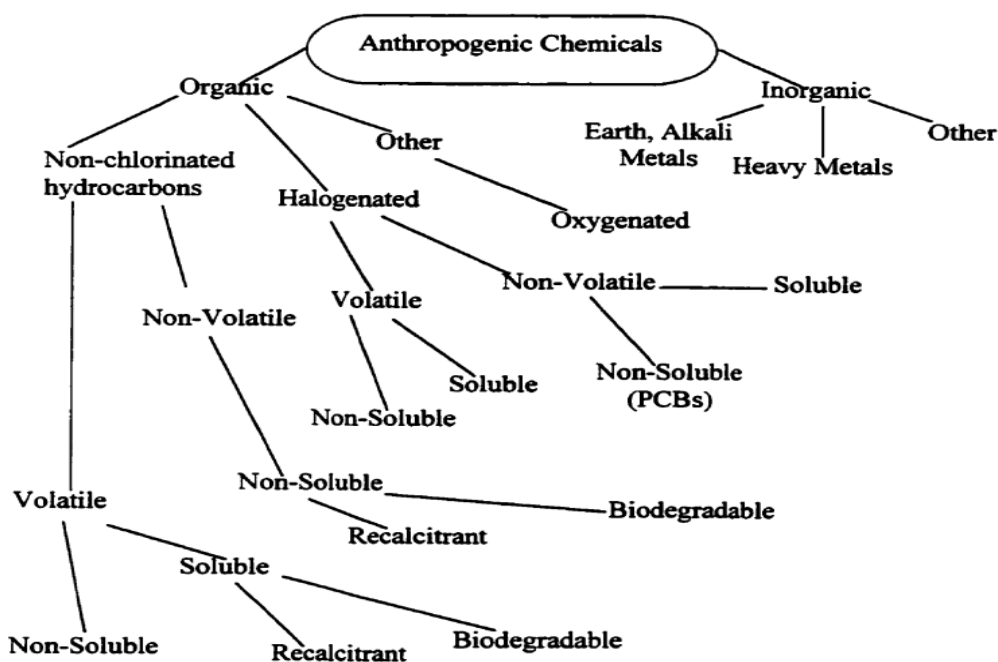
سرنوشت مواد آلی پس از رها شدن در محیط زیست به یکی از صور زیر می باشد :

(۱) انتقال در آبهای زیرزمینی و سطحی به صورت محلول

(۲) جذب توسط ذرات خاک

(۳) تبخیر و انتقال به اتمسفر (Straube, W. L., Jones-Meehan, J., Pritchard, P. H., & Jones, W. R.)

(1999)



شکل ۱-۱: درخت طبقه بندی آلاینده ها (Meysami, P. 2001)

۳-۱- هیدروکربن ها

امروزه هیدروکربن ها از منابع اصلی انرژی در جهان می باشند. این ترکیبات را به عنوان منابع اصلی آلودگی در جهان نیز معرفی می نمایند .

عموما سه دسته از هیدروکربن‌ها موجود می‌باشند :

(۱) هیدروکربن‌های اشباع که شامل n-آلکان‌ها و آلکان‌های شاخه دار و سیکلوآلکان‌ها می‌باشند که پیوندهای دو تایی و سه تایی و پیوندهای آروماتیک ندارند .

(۲) هیدروکربن‌های غیر اشباع که دارای یک یا تعداد بیشتری پیوند دوگانه و سه گانه بین اتم‌های کربن خود می‌باشند. مانند آلکن‌ها و آلکین‌ها

(۳) هیدروکربن‌های آروماتیک که حداقل دارای یک حلقه آروماتیکی می‌باشند (Surridge, A.K.J., Wehner, F. 2011, C., Cloete. T. E. 2011).

۱-۴- هیدروکربن‌های نفتی در محیط

نفت مخلوطی پیچیده از هیدروکربن‌ها می‌باشد و ترکیبات مربوطه در چهار دسته کلی تقسیم بندی می‌شوند که عبارتند از: آلیفاتیک‌ها، آروماتیک‌ها، رزین‌ها و آسفالتن‌ها. اجزای قطبی و آروماتیک نسبت به آلیفاتیک‌ها تجزیه پذیری کمتری دارند و این در حالی است که آسفالتن‌ها به عنوان ترکیبات غیر قابل تجزیه دسته بندی می‌شوند (Diaz-Ramirez, I. J., Escalante-Espinosa, E., Favela-Torres, E., Gutierrez-Rojas, M., & Ramirez-Saad, H. 2008).

پلی آروماتیک هیدروکربن‌ها خطرناک‌ترین کلاس از ترکیبات شناخته شده در نفت خام، بنزین و گازوئیل و همچنین قیر و مشتقات آن، می‌باشند. آنها ترکیبات آلی آب‌گریز می‌باشند که از دو یا تعداد بیشتری حلقه بنزنی تشکیل شده‌اند. این ترکیبات سمی می‌توانند به صورت طبیعی از سوختن مواد آلی و یا از تولید و سوختن ناقص سوخت‌های فسیلی حاصل شوند (Surridge, A.K.J. et al. 2011).

هنگامی که نفت در نتیجه‌ی دفن لجن، تخلیه‌ی آب‌های زائد و یا نشت اتفاقی به داخل خاک وارد می‌شود تحت تاثیر نیروی جاذبه به سمت پایین نفوذ کرده و سپس تحت اثر نیروهای سطحی و موینگی در داخل خاک پخش می‌شود (Mazlova, E. A. & Meshcheryakov, S. V. 1999).

هنگامی که نفت به داخل شبکه خاک به صورت عمودی نفوذ می‌کند، یک اثر کروماتوگرافیک ایجاد می‌شود که منجر به تغییر در ترکیب نفت می‌شود: در لایه‌ی هوموسی بالایی، ترکیبات با وزن ملکولی بالا که شامل مقادیر زیادی از رزین‌ها و آسفالتن‌ها و ترکیبات حلقوی می‌باشند جذب می‌شوند در حالیکه موادی که به لایه‌های پایین‌تر نفوذ می‌کنند اکثراً شامل ترکیبات با وزن ملکولی پایین می‌باشند. در مقایسه با ترکیبات بزرگ ملکول این ترکیبات سبک هم حلالیت در آب و هم قابلیت انتشار بالاتری دارند (Mazlova, E. A. et al. 1999).

هیدروکربن‌های سبک بسیار سمی می‌باشند. میکروارگانیسم‌ها به سختی می‌توانند آنها را حذف کنند و در نتیجه این ترکیبات به مدت طولانی در بخش‌های پایینی شبکه خاک، تحت شرایط بی‌هوازی، باقی می‌مانند. اجزای سبک بیشتر از هیدروکربن‌های پارافینیک (C_{۱۱}-C_۳) تشکیل شده‌اند. این ترکیبات یا تجزیه می‌شوند، یا به سطح خاک آمده و یا به وسیله جریان آب شسته می‌شوند (Mazlova, E. A. et al. 1999).

هیدروکربن‌های پارافینیک سنگین‌تر (C_{۱۷}-C_{۱۲}) برای موجودات زنده غیرسمی می‌باشند اما به علت نقطه انجماد بالایشان (۱۸ درجه سانتیگراد یا بیشتر)، تحت شرایط موجود بر روی سطح زمین این ترکیبات به صورت جامد درمی‌آیند. اطلاعات ناچیزی در مورد سمیت نفتن‌ها موجود می‌باشد اما این هیدروکربن‌ها، با باندهای اشباع، بسیار سخت اکسید می‌شوند (Mazlova, E. A. et al. 1999).

رزین‌ها و آسفالتن‌ها ویژگی‌های فیزیکی و واکنش شیمیایی نفت را تعیین می‌کنند. این ترکیبات شامل ساختارهای پلی سیکلیک آروماتیک سرطان‌زا می‌باشند که حاوی سولفور، اکسیژن و نیتروژن و عناصری که فقط در مقادیر کم و محدود وجود دارند، هستند. مدت زمان لازم برای تبدیل و تجزیه نفت بر اساس نوع خاک و ناحیه آب و هوایی متفاوت می‌باشد و می‌تواند از چند ماه تا چند دهه باشد. ترکیبات مضر و سمی بر اساس تفاوت

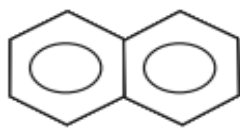
های بین آنها از نظر میزان حلالیت در سطح و آبهای زیرزمینی، می‌توانند با سرعت‌های متفاوت مسیر خود را به سمت منابع ذخیره‌ای آب‌های زیرزمینی پیدا کنند (Mazlova, E. A. et al. 1999).

تراکم زیاد هیدروکربن‌ها برای تمام بخش‌های محیط زیست سمی می‌باشند و متاسفانه خاک، در نواحی پایانه های نفتی، با این هیدروکربن‌ها بسیار آلوده شده است. تیمارهای پاکسازی که در این نواحی استفاده می‌شوند باید به صورتی باشند که از پخش شدن این آلاینده‌ها به محیط اطراف و آب‌های زیرزمینی جلوگیری کنند (Chauhan, A., Oakeshott, J. G., & Jain, R. K. 2008).

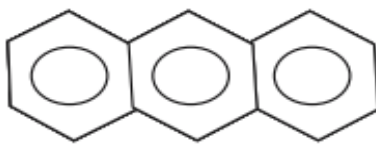
۱-۴-۱- پلی سیکلیک آروماتیک هیدروکربن‌ها

پلی سیکلیک آروماتیک هیدروکربن‌ها ترکیباتی معمول هستند که در همه‌جا، در خاک یا رسوبات یافت میشوند. ترکیبات با وزن ملکولی بالا که هم از طریق تولید انسانی و طبیعی به محیط وارد می‌شوند، می‌توانند به غلظت های بالا برسند که برای محیط و سلامتی انسان‌ها بسیار خطرناک می‌باشند. این ترکیبات قادرند در محیط باقی بمانند و به علت خاصیت آب‌گریزی آنها، با مواد خاصی مانند رس و هومیک‌ها، در خاک و یا رسوبات ته نشین شوند (Speightl, J. G. 2004).

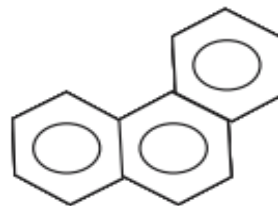
بسیاری از پلی آروماتیک هیدروکربن‌ها ترکیباتی سرطان‌زا می‌باشند. تعداد ۱۶ پلی آروماتیک هیدروکربن توسط انجمن محیط زیست ایالات متحده در لیست آلاینده‌هایی اعلام شده‌است که در اولویت رسیدگی قرار دارند (Surr ridge, A.K.J., et al. 2011).



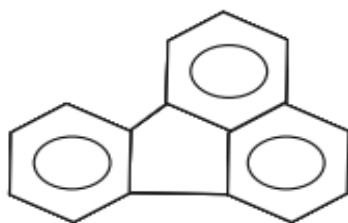
Naphthalene



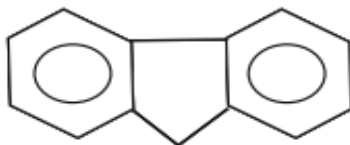
Anthracene



Phenanthrene



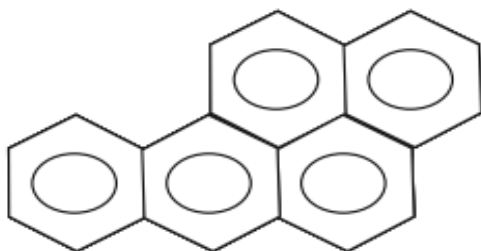
Fluorene



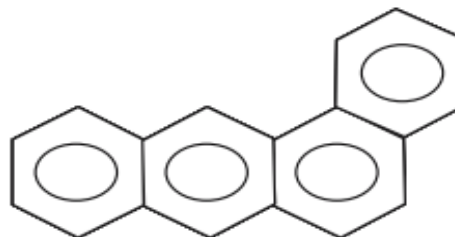
Fluoranthene



Pyrene



Benzo(a)pyrene



Benzo(a)anthracene

شکل ۱-۲: برخی از انواع هیدروکربن های پلی سیکلیک آروماتیک (Chauhan, A. et al., 2008)

۱-۴-۲-آسفالتن

اجزای آسفالتن سنگین ترین و قطبی ترین اجزای تشکیل دهنده نفت خام می باشند. مقدار و ویژگی های جزء آسفالتن در نفت خام کم و بیش به منبع اصلی نفت خام بستگی دارد. طی پالایش نفت، اجزای آسفالتن غیر قابل تقطیر می باشند و در باقیمانده ستون تقطیر، باقی می ماند و اجزای قابل تقطیر حذف می شوند. محتوای آسفالتن