فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۲۰، بهار ۹۱

تعیین شرایط بهینه پالایش زیستی کل آلاینده های هیدروکربنی خاک

مریم دوستکی [۱*]
m.doustaky@gmail.com
سهیلا ابراهیمی [۲]
سید علیرضا موحدی نائینی [۳]
محسن علمایی [٤]

چکیده

نشر آلاینده‌های هیدروکربنی، نیازمند اعمال روش های پالایش سازگار با محیط‌زیست و مناسب در جهت کاهش یا رفع آلودگی است. کاربرد برخی از میکرواورگانیسم‌ها با توانایی تغذیه از هیدروکربن های نفتی با تمرکز بر روش های زیست‌درمانی تجزیه نفت، مورد توجه قرار گرفته است و با بهینه‌سازی شرایط رشدی آن ها می توان سبب بالا بردن راندمان آن ها در پاکسازی شد. هدف از این پژوهش، اعمال شرایط محیطی بهینه برای تحریک میکرواورگانیسم‌های خاک و بررسی توان تجزیه هیدروکربن های نفتی بوده است. بدین منظور از خاک آلوده نفتی پالایشگاه ری استفاده و ۱۳ تیمار از جمله تلقیح باکتری‌های باسیلوس سابتیلیس، باسیلوس مگاتریوم، سودوموناس پوتیدا در طی ۵ زمان بر این خاک اعمال شد. و روند تجزیه کل هیدروکربن نفتی خاک(۳۸ درصد) در حضور تیمارها با شرایط مختلف مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد در دوره زمانی اول و دوم تیمار کود حیوانی، باکتری+ کود حیوانی و خاک اره بالاترین نرخ کاهش آلودگی را دربرگرفت، لیکن در دوره سوم زمانی، تیمار شامل نیتروژن+ فسفر+ پتاسیم عملکرد بالاتری را نشان داد. سرانجام در دوره زمانی پنجم با استقرار جمعیت باکتریایی، تیمار میکروبی به کاربرده شده(در تیمار NPK+باکتری+کود حیوانی+خاک اره) باعث کاهش ۲۳٪ نسبت به تیمار دست نخورده شده و بیشترین کاهش نفتی را نشان داد. چنین به نظر می‌رسد با گذشت زمان اولیه لازم برای استقرار و ثبات جامعه میکروبی، این تیمار بیشترین بازده را از آن خود کرده است.

کلمات کلیدی: آلاینده، باکتری نفت‌خوار، پالایش، هیدروکربن

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان [*](مسئول مکاتبات).
۲- استادیار خاکشناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۳- دانشیار خاکشناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۴- استادیار خاکشناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

توسعه صنعت در جهت رفع نیازهای جمعیت در حال افزایش، استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی به ویژه نفت را به دنبال داشت و از آن جایی که در بخش‌های مختلف صنعت از نفت و مشتقات آن به وفور استفاده می‌شود، بشر با سرعت بیشتری دست به استخراج نفت زد. در جهان بیشتر از ۲ بیلیون تن نفت در هر سال تولید می‌شود که مقادیر زیادی از این تولید در آب های اقیانوس ها و محیط خشکی‌ها تخلیه می شود و از طرفی مصرف نفت دنیا حدود ۷ میلیون تن در روز است. این مصرف و تولید زیاد با ریخت و پاش ها و نشت های زیادی در محیط آبی و خاکی و حتی در اتمسفر همراه می-باشد (۱).

عملیات استخراج، انتقال، پالایش، نشت مواد نفتی از لوله‌ها در حین جابه‌جایی، ترکیدن لوله‌ها و چاه های نفتی، انتشار پساب‌های صنعتی پالایشگاه‌ها و صنایع شیمیایی به آب و خاک، جهان(بیشتر کشورهای تولید کننده نفت) را با تهدید جدی مواجه ساخته است. با توجه به این که در کشورهای تولید کننده نفت از جمله ایران، این مشکلات به طور جدی‌تری به چشم می‌خورند. از حوادث مهم نشت نفت می توان به شکست خط لوله اهواز در سال ۱۹۷۸ میلادی(۱۱۰میلیون تن)، غرق شدن کشتی نفتکش Nova (۷۷ میلیون تن) در سال ۱۹۸۵، در خلیج فارس آلوده شدن رودخانه کشکان و صدها مترمکعب زمین‌های منطقه پلدختر واقع در خرم آباد در سال جاری به علت ترکیدن یکی از لوله‌های زیرزمینی نفتی، آلوده شدن ۱۰۰هکتار زمین در اثر ورود ۲۰هزار بشکه نفت در اثر نشت یک چاه نفت در منطقه مارون خوزستان در دی ماه۱۳۸۸ و نشت ۳۴ میلیون تن مواد نفتی از پالایشگاه میزوشیمای ژاپن در سال ۱۹۷۴ اشاره نمود(۲). درکل هر سال بین ۲۰ تا ۳۴۰ میلیون گالن نفت در کره زمین منتشر می شود. ترکیبات نفتی دارای اثرات جهش و سرطان‌زایی می‌باشند که می تواند باعث آسیب رساندن به اکوسیستم و موجودات زنده شوند. نفت خام را می توان به چهار برش اصلی تقسیم نمود: ۱- هیدروکربن های اشباع ۲- هیدروکربن های آروماتیک ۳ - رزین ها ۴- آسفالتین است (۳) که تعداد اتم کربن این ترکیبات بین ۱ تا ۵۰ می‌باشد. نفت سبک بیشتر از هیدروکربن های اشباع و آروماتیک تشکیل شده و دارای درصد کمی از رزین و آسفالتن است لیکن، نفت‌سنگین که ناشی از تجزیه نفت خام در شرایط بدون اکسیژن در مخازن طبیعی است، هیدروکربن های اشباع و آروماتیک کمتری دارد و بیشتر از ترکیبات قطبی، رزین وآسفالتن تشکیل شده است. هیدروکربن های اشباع اولین موادی هستند که در نفت مورد تجزیه قرار می‌گیرند (۴و ۵). ولی رزین ها و آسفالتین به خاطر پیچیدگی در ساختارشان، ممکن است تجزیه نشوند ویا به مقدار اندک توسط کومتابولیسم مورد تجزیه قرار می‌گیرند (۶و ۷). در محیط طبیعی، تجزیه زیستی نفت خام موادی مشابه با تجزیه نفت سنگین ایجاد می کند. در چنین حالتی کمبود هیدروکربن های اشباع و آروماتیک همراه با افزایش نسبی ترکیبات قطبی یک نشانه بارز تجزیه زیستی نفت خام در طبیعت است. عموماً تجزیه بخش هیدروکربنی (بیشترین جزء تشکیل دهنده ترکیبات نفتی)، مهم ترین فرآیند حذف آلودگی نفتی است ولی ترکیبات آروماتیک و قطبی با وجود درصد کمتر، دارای پایداری و سمیت بیشتر است و به زمان بیشتری برای تجزیه نیاز دارد(۸ و ۹). روش های متعددی از زمان‌های قدیم تا به امروز برای از بین بردن آلودگی نفتی وجود دارد. در حالت طبیعی پس از نشت آلودگی نفتی، فعالیت میکروارگانیسم های بومی و یا عواملی همچون فوتواکسیداسیون، منجر به حذف آلودگی می شد؛ اما افزایش جمعیت جهان و استفاده بی رویه از این ماده به مرور زمان باعث شد که عوامل طبیعی قادر به حذف این مقدار آلودگی نباشند (۱۰).

روش های پاکسازی انجام شده با توجه به مطالعات و پژوهش‌ها، عبارتند از: روش های فیزیکی(سوزاندن، ابزارهای جمع کننده و ...)، شیمیایی(استخراج از طریق حلال‌ها و ...) و زیستی(تهویه زیستی، افزایش زیست توده و ...) می‌باشند.

روش زیستی، به طور معمول شامل تبدیل نهایی آلودگی به مواد غیرسمی از جمله آب، دی‌اکسیدکربن و بیومس، با استفاده از فرآیندهای میکربی می باشد. روش های زیستی علاوه بر سازگاری با محیط زیست، از نظر اقتصادی نیز برتری قابل توجهی نسبت به دو روش بالا دارد. البته سرعت تجزیه هیدروکربنی به نوع ترکیبات آلاینده، خاصیت خاک آلوده شده به مواد نفتی، شرایط محیطی و جمعیت میکروبی وابسته است. در این روش میکروارگانیسم‌ها ترکیبات نفتی را به دی‌اکسیدکربن، بیومس و محصولات دیگر تبدیل می‌کنند.

قدمت کاربرد زیست پالایی با استفاده از میکروارگانیسم‌ها، به ششصد سال قبل از میلاد برمی‌گردد. در آن هنگام رومی‌ها فاضلاب های شهری را به گودال ها یا مخازن بزرگی که در خارج از شهر ساخته شده بود، هدایت می‌کردند و تصفیه فاضلاب ها توسط فعالیت‌های میکروبی انجام می گرفت. با گسترش شدت آلودگی خاک و آب با شروع انقلاب صنعتی و از آن جایی که آلوده‌سازی محیط زیست نمی تواند بی وقفه ادامه پیدا کند، به تدریج قوانین زیست محیطی شکل گرفت. مقایسه عملکردروش های متنوع پاکسازی محیط زیست از انواع آلاینده‌ها و از طرفی جستجو در یافتن روش های پایدار و ارزان منجر به توسعه فناوری زیست پالایی شد. پیشنهاد استفاده از میکروارگانیسم‌ها در پاکسازی محیط زیست که سرانجام زیست‌پالایی نامیده شد، از دهه ۱۹۴۰ آغاز شد (۸ و ۹).

سه فرم کلی برای زیست‌پالایی بوسیله باکتری‌های نفت‌خوار شامل ۱- روند طبیعی تجزیه زیستی ۲- بهبود شرایط محیطی ۳- وارد کردن میکرواورگانیسم‌های غیر بومی می‌باشند.

با توجه به ظهور و بروز آلودگی نفتی در دو دهه اخیر و ایجاد شرایط ماندگار و تعادلی پس از گذشت زمان، در این مطالعه اثر باکتریهای نفت خوار موجود در سیستم مورد بررسی بیشتر قرار میگیرد. در این مطالعه که طی ۵ زمان بر روی خاک آلوده پالایشگاه ری با آلودگی ۳۸٪صورت گرفت، از تیمارهای مختلفی برای تامین شرایط محیطی مورد نیاز برای رشد میکرواورگانیسم‌ها از جمله کودهای آلی و شیمیایی و همچنین برای افزایش روند تجزیه هیدروکربن های نفتی از باکتری‌های باسیلوس مگاتریوم، باسیلوس سابتیلیس و سودوموناس پوتیدا استفاده شد.

مواد و روش‌ها

مقداری خاک آلوده به نفت که مدت زیادی از آلودگی آن می‌گذشت، از پالایشگاه تهران واقع در شهرستان ری جمع‌آوری شد. پس از ۲ روز هواخشک کردن آن ها، خاک ها کوبیده شدند و از الک ۲میلی‌متری عبور داده شدند و درون هر گلدان ۷۰۰ گرم خاک ریخته شد. میزان کل هیدروکربن نفتی اولیه[1] اندازه گرفته شد که معادل ۳۸٪ بود. سپس در هر گلدان شرایط مختلفی اعمال شد. در این آزمایش ۲ شاهد خشک و مرطوب وجود داشت. شاهد خشک دارای خاک آلوده نفتی بدون هیچ‌گونه مواد افزودنی بود و فقط ۳ روز به منظور هوادهی زیرو رو می شد. شاهد مرطوب نیز فاقد مواد افزودنی و تفاوت آن با شاهد خشک در این بود که به این خاک آب اضافه می شد و بدون هوادهی بود. گلدان‌های دیگر، هریک ۳ روز یکبار آب‌دهی و زیرو رو (برای فراهمی اکسیژن مورد نیاز میکرواورگانیسم‌ها) می شدند. پس از اعمال تیمارها به مدت ۱۰ روز برای سازگاری میکرو اورگانیسم‌ها در نظر گرفته شد. تیمارها به ترتیب شامل:

۱- شاهد خشک
۲- شاهد مرطوب
۳- مخلوطی از کودهای اوره، کلرید پتاسیم و سوپر فسفات ترپیل با نسبت ۲۰:۵:۱ به منظور تامینNPK
۴- کود حیوانی با نسبت ۵٪
۵- خاک اره با نسبت ۱۰٪
۶- NPK + کود حیوانی
۷- NPK + خاک اره
۸- NPK + خاک اره+ کود حیوانی
۹- کمپلکس باکتری
۱۰- NPK+ باکتری

1- Total Petroleum Hydrocarbons(TPH)

۱۱- باکتری + کود حیوانی

۱۲- باکتری + خاک اره

۱۳- باکتری + خاک اره+ NPK

سپس فاکتورهای مهم خاک مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفتند.

تعیین PH: مقدار ۱گرم خاک از زمین برداشت شد و به آن ۵ میلی لیتر آب مقطر افزوده شد، مخلوط به خوبی تکان داده شد و سپس برای مدتی بی‌حرکت گذاشته شد تا خاک آن رسوب کند، سپس محلول رویی برای تعیین مقدار PH درنظر گرفته شد(۱۱). میزان PH خاک در حدود ۶،۵۶ تعیین شد.

اندازه‌گیری رطوبت اولیه: میزان رطوبت خاک را با روش وزنی اندازه گرفته شد. ۲ گرم خاک در آون در دمای ۱۱۰ درجه و به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. پس از توزین میزان رطوبت خاک ۲۲٪ تعیین شد.

تعیین مقدار آبی که بایستی به گلدان‌ها داده شود: ابتدا ظرفیت نگـــه داری آب[1] در خـاک اندازه‌گیری شد(۱۱). ظرفیت نگه داری آب در خاک ۵،۸٪ تعیین شد. سپس بر این اساس مقدار رطوبت خاک به میزان ۶۰-۷۰ درصد این میزان، برای تامین آب مورد نیاز میکرواورگانیسم‌ها درنظر گرفته شد.

سپس تلقیح باکتری‌ها بدین صورت انجام شد که ابتدا باکتری‌های باسیلوس مگاتریوم، باسیلوس سابتیلیس و سودوموناس پوتیدا تهیه شدند و جهت حصول اطمینان آن ها خالص سازی کرده و برای شناسایی رنگ‌آمیزی(رنگ‌آمیزی گرم) شدند. سپس هر کدام از باکتری‌ها را در محیط کشت مایع بصورت جداگانه کشت شدند. پس از رسیدن به زمان مشخصی، ۲/۵ سی‌سی از هر کدام از محیط کشت‌های حاوی باکتری برداشته و به گلدان‌های مورد نظر اسپری شد و سپس با خاک کاملا مخلوط شدند تا در خاک پخش شوند.

در مرحله بعد اندازه‌گیری نفت خاک طبق روش مارکوز روچا(۱۲) انجام شد که در آن، مقدار ۲ گرم خاک آلوده از هر گلدان به صورت تصادفی و پس از کاملا زیرو رو کردن خاک، وزن شد و به آن ۱۰ میلی‌لیتر دی‌کلرومتان اضاف شد. مخلوط به شدت و برای مدت ۳۰ دقیقه شیک شد و سپس مخلوط در دور ۳۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه در سانتریفوژ یخچالی قرار داده شد تا خاک آن رسوب کند. محلول رویی از خاک جدا شده و آن را درون ظرف شیشه‌ای(دی‌کلرومتان باعث انحلال ظروف پلاستیکی می‌شود) که قبلا وزن شده بود، ریخته شد. این مرحله را ۲بار تکرار شد. پس از ۲۴ ساعت که حلال دی-کلرومتان در شرایط آزمایشگاهی کاملا تبخیر شد، باقی‌مانده دوباره وزن شد که این وزن مقدار نفت موجود در خاک را مشخص می‌کرد. این عمل برای همه تیمارها و در هر ۵ زمان مورد نظر انجام شد و کاهش میزان نفت در تیمارها نسبت به شاهد مورد مقایسه قرار گرفت.

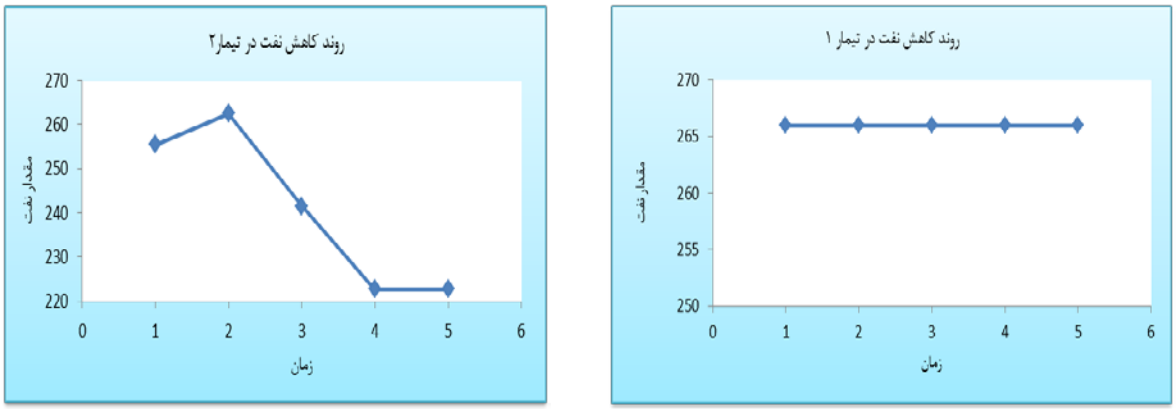
بحث و نتیجه گیری

نتایج حاصل طی ۵ زمان بصورت شکل در ادامه آورده شده است. جدول ۱، کاهش مقدار و درصد نفت را طی ۵ زمان در تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. همان طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود. بیشترین کاهش درصد نفت را در تیمار ۱۳ که دارای کودهای شیمیایی و آلی و باکتری بوده، نمایان شده است.

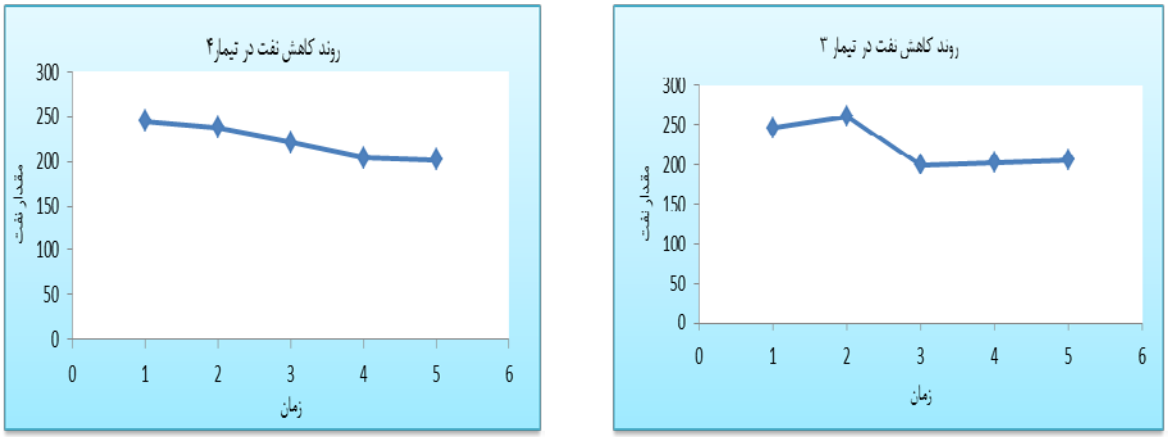
1 -Water holding capacity

جدول ۱- مقایسه میزان کاهش نفت در تیمارهای مختلف در ۵ زمان

تیمارها	زمان اول	زمان دوم	زمان سوم	زمان چهارم	زمان پنجم	میزان کاهش نفت نسبت به زمان اول	کاهش درصد نفت
۱	۲۶۶	۲۶۶	۲۶۶	۲۶۶	۲۶۶	۰	۰
۲	۲۵۵/۵	۲۶۲/۵	۲۴۱/۵	۲۲۲/۸۳۳	۲۲۲/۸۳۳	۳۲/۶۶۶۶۶۶۶۷	۱۴/۶۵۹۶۸۵۸۶
۳	۲۴۶/۱۷	۲۶۰/۱۶۶۷	۱۹۹/۵	۲۰۳	۲۰۵/۳۳۳	۴۰/۸۳۳۳۳۳۳۳	۱۹/۸۸۶۳۶۳۶۴
۴	۲۴۵	۲۳۸	۲۲۱/۶۷	۲۰۴/۱۶۷	۲۰۱/۸۳۳	۴۳/۱۶۶۶۶۶۶۷	۲۱/۳۸۷۲۸۳۲۴
۵	۲۵۴/۳۳	۲۰۷/۶۶۶۷	۲۱۸/۱۷	۲۱۱/۱۶۷	۲۱۷	۳۷/۳۳۳۳۳۳۳۳	۱۷/۲۰۴۳۰۱۰۸
۶	۲۴۲	۲۳۰/۸۳۳۳	۲۳۳/۳۳	۲۰۵/۳۳۳	۱۹۷/۱۶۷	۴۴/۸۳۳۳۳۳۳۳	۲۲/۷۳۸۷۹۹۶۶
۷	۲۴۷/۳۳	۲۳۳/۳۳۳۳	۲۳۳/۳۳	۲۰۴/۱۶۷	۲۰۵/۳۳۳	۴۲	۲۰/۴۵۴۵۴۵۴۵
۸	۲۴۳/۸۳	۲۵۵/۵	۲۳۳/۳۳	۲۱۲/۳۳۳	۲۱۴/۶۶۷	۲۹/۱۶۶۶۶۶۶۷	۱۳/۵۸۶۹۵۶۵۲
۹	۲۲۸/۶۷	۲۶۱/۳۳۳۳	۲۲۷/۵	۲۰۶/۵	۱۸۹	۳۹/۶۶۶۶۶۶۶۷	۲۰/۹۸۷۶۵۴۳۲
۱۰	۲۳۳/۳۳	۲۳۸	۲۲۹/۸۳	۱۹۷/۱۶۷	۱۹۱/۳۳۳	۴۲	۲۱/۹۵۱۲۱۹۵۱
۱۱	۲۲۵/۱۷	۲۱۹/۳۳۳۳	۲۲۰/۵	۲۰۶/۵	۲۱۰	۱۵/۱۶۶۶۶۶۶۷	۷/۲۲۲۲۲۲۲۲۲
۱۲	۲۳۲/۱۷	۲۵۲	۲۲۹/۸۳	۲۲۰/۵	۲۰۶/۵	۲۵/۶۶۶۶۶۶۶۷	۱۲/۴۲۹۳۷۸۵۳
۱۳	۲۴۵	۲۴۳/۸۳۳۳	۲۳۲/۱۷	۲۱۹/۳۳۳	۱۹۸/۳۳۳	۴۶/۶۶۶۶۶۶۶۷	۲۳/۵۲۴۹۱۱۷۶

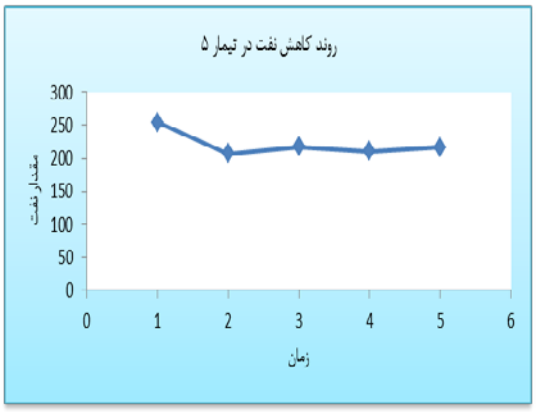


شکل ۱- روند کاهش نفت در تیمار خاک خشک(راست) و مرطوب (چپ) در طی ۵ دوره زمانی

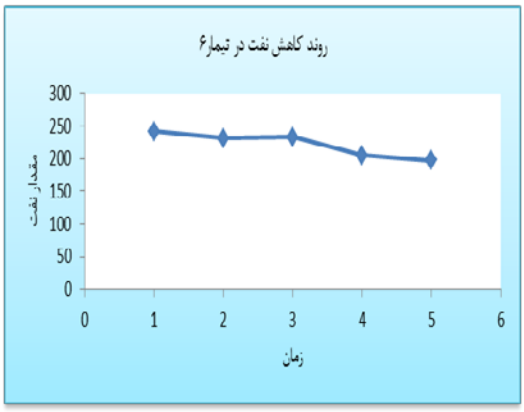


شکل۲-۱ - روند کاهش نفت در تیمار NPK در طی ۵ زمان

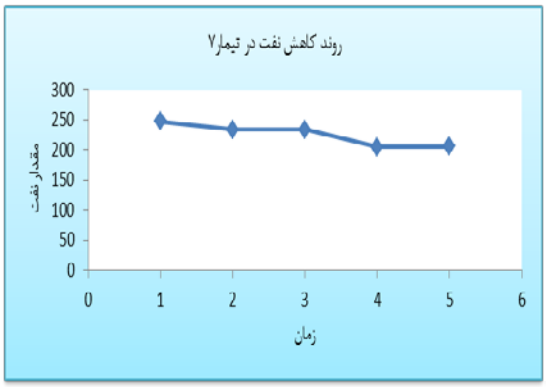
شکل۲- ۲- روند کاهش نفت در تیمار کود حیوانی در طی ۵ زمان



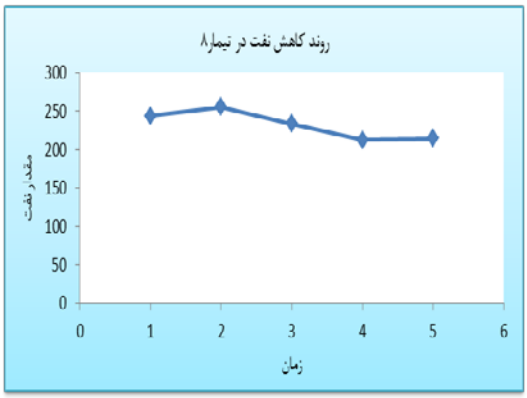
شکل۲- ۳- روند کاهش نفت در تیمار خاک اره در طی ۵ زمان



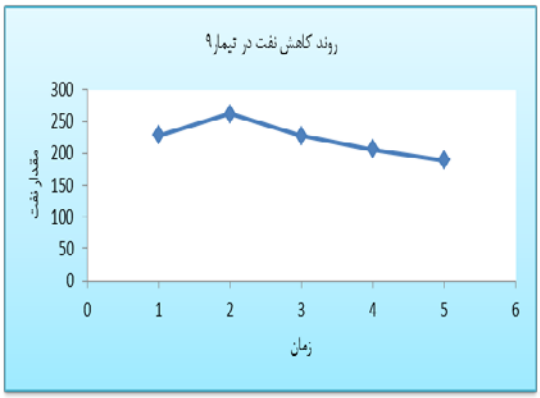
شکل۲- ۴- روند کاهش نفت در تیمار NPK + کود حیوانی در طی ۵ زمان



شکل۲- ۵- روند کاهش نفت در تیمار NPK + خاک اره در طی ۵ زمان

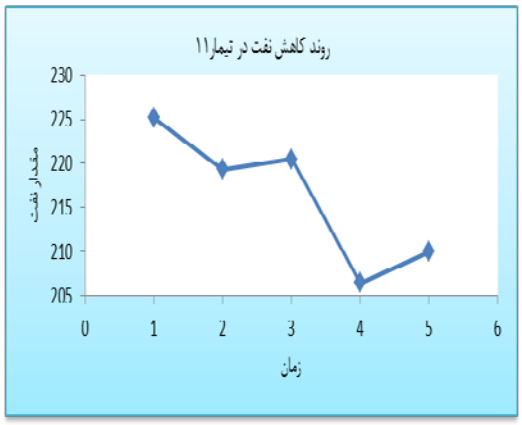


شکل۲- ۶- روند کاهش نفت در تیمار NPK + خاک اره+ کود حیوانی در طی ۵ زمان

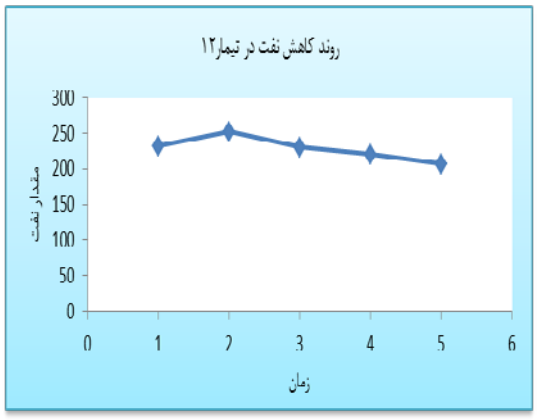


شکل۲-۷- روند کاهش نفت در تیمار باکتری طی ۵ زمان

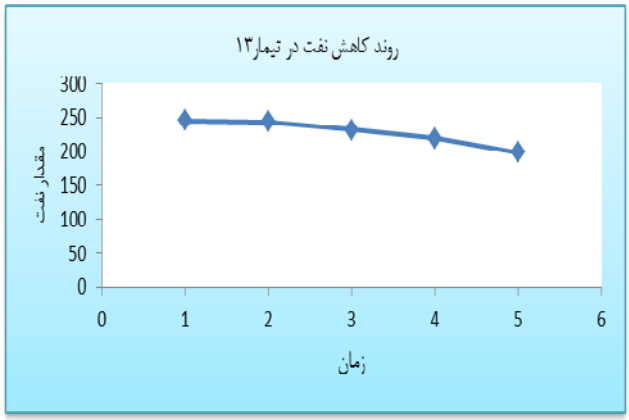
شکل۲-۸- روند کاهش نفت در تیمار باکتری+ NPK طی ۵ زمان



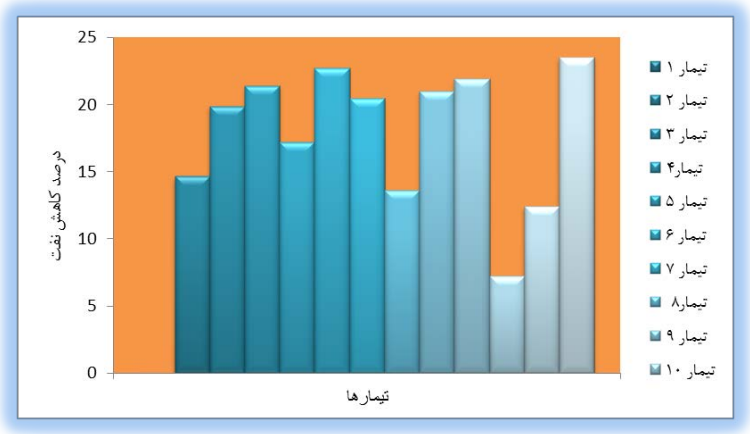
شکل۲-۹- روند کاهش نفت در تیمار باکتری + کود حیوانی طی ۵ زمان



شکل۲-۱۰- روند کاهش نفت در تیمار باکتری + خاک اره طی ۵ زمان



شکل ۲-۱۱- روند کاهش نفت در تیمار باکتری + خاک اره+ NPK طی ۵ زمان



شکل۳- نمودار مقایسه درصد کاهش آلودگی نفتی در تیمارهای مختلف

همان طور که در شکل‌های ۲-۱ تا ۲-۱۱دیـــده می‌شود، روند کاهش هیدروکربن های نفتی در همه تیمارها قابل مشاهده بود. لیکن با توجه به شکل۳، بیشترین کاهش درصد آلودگی در تیمار حاوی کودهای شیمیایی، آلی و باکتری، دیده شد. با توجـــه به این که خاک اولیه ۳۸٪ آلودگی داشت و به علت این که مـدت زمان طولانی از آلـــوده شـــدن آن می‌گذشت، به علت میکرو اورگانیسم‌های موجود در آن با محیط سازگار شده بودند، ولی به دلیل عدم فراهمی شرایط بهینه برای رشد آن ها، قادر به تجزیه هیدروکربن های نفتی نمی‌باشند(تیمارهای ۱). ورود آلاینده‌های هیدروکربنی به خاک باعث افزایش نسبت C/N شدند و بالا رفتن این نسبت برای ریزاندام‌های موجود در خاک مناسب نیست و آن ها قادر به فعالیت نمی‌باشند. همان طور که در شکل ۱ (سمت راست) آمده است، تقریبا طی ۵ زمان مشخص تغییری در روند تجزیه نفت در تیمار ۱ مشاهده نشده است در صورتی که در تیمارهای دیگر که در هر کدام شرایط مختلفی اعمال شده بود، این روند کاهش تدریجی نفت مشاهده شد. در تیمار ۱۳ با اضافه کردن کودهای شیمیایی و آلی به خاک، میکرواوگانیسم‌های بومی خاک تحریک شدند و شروع به تجزیه نفت کردند و با تلقیح باکتری‌های غیر بومی (باسیلوس مگاتریوم، باسیلوس سابتیلیس و سودوموناس پوتیدا) به خاک آلوده، سرعت تجزیه نفت افزایش یافت که این مشاهدات با کارهای تبری و همکارانش در سال ۲۰۱۰، علیخانی و همکارانش در سال ۱۳۸۸، ولیکا و همکارانش در سال ۲۰۰۹، سازگاری دارد. کودهای شیمیایی (NPK) مخصوصاً کودهای نیتروژن‌دار باعث تحریک میکرواورگانیسم‌های موجود در خاک شده و به تبع روند کاهشی نفت را به دنبال داشته است این نتایج با مشاهدات مینایی تهرانی و همکارانش در سال ۱۳۸۴، رابرتو و همکارانش در سال ۲۰۰۳، کولان و همکارانش در سال ۲۰۰۵، ابراهیمی و همکارانش در سال ۱۳۸۷، شریفی حسینی و همکارانش در سال ۱۳۸۸ هماهنگی داشت که آن ها در مطالعات خود تاثیر مثبت به کار بردن کودهای شیمیایی را دریافتند.

منابع

۱. ابراهیمی پور، غ. ابوالحسنی سولکی، ع. تأثیر غلظت ازت و فسفات معدنی بر تجزیه نفت خام به وسیله دو سویه باکتری نفت خوار جدا شده از رسوبات خلیج فارس. ۱۳۸۷. علوم محیطی سال پنجم. شماره ۴.

۲. احتشامی، م. ، احمدی‌نیا، ر. ۱۳۸۵. مدل سازی نشت هیدروکربن های نفتی در منابع خاک آب های زیرزمینی. علوم و تکنولوژی محیط زیست.شماره ۲۹. ۱۳۸۵.

3. Coulon, F., Pelletier, E., Gourhan, L., Delille, D.2005. Effects of nutrient and temperature on degradation of petroleum hydrocarbons in contaminated sub-Antarctic soil. Chemosphere 58, 1439–1448.

4. Atlas, R.M. (1981). Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: an environmental perspective. Microbiol Rev., 45: 180-209.

5. Johnsen, A.R., L.Y. Wick, and H. Harms (2005). Principles of microbial PAH-degradation in soil. Environ. Pollut., 133: 71-84.

6. Cerniglia, C.E. (1992). Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons. Biodegradation, 3: 351- 368.

7. Shuttleworth, K.L., and C.E. Cerniglia (1995). Environmental aspects of PAHs biodegradation. 54: 291-302.

۸. ابراهیمی، س. ۱۳۸۸. بررسی مکانی- زمانی رفتار برخی آلاینده‌های هیدروکربوری و حلال‌های شیمیایی در محیط متخلخل خاک. رساله دکتری دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۵۰ صفحه.

۹. ابراهیمی، س.، لادن، ش.، ملکوتی، م. ج. ۱۳۸۸. امکان سنجی پایش انواع آلاینده‌های نفتی در خاک و ارائه الگوریتم بر اساس نوع آلاینده. یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، گرگان، ۲۱-۲۳ تیرماه ۱۳۸۸.

۱۰. سید علیخانی، س.، شرفا، م.، اصغرزاده، ا. ۱۳۸۸. کارایی تیمارهای باکتریایی تولید داخل در درمان بیولوژیک آلودگی هیدروکربنی خاک. همایش ملی انرژی ۷.

11. Tan, K.H. (1996). Soil sampling, preparation, and analysis. Marcel Dekker, NY.
12. Marquez-Rocha F.J., V.Z. Hernandez-Rodriguez and M.A. Teresa Lamela (2000). Biodegradation of diesel oil in soil by microbial consortium. Water, Air. Soil Pollut., 128: 313-320.

۱۳. پرتویی نیا، ع.، نعیم پور، ف. ۱۳۸۷. زیست سالم سازی خاک آلوده به هیدروکربن نفتی نرمال- هگزادکان در فاز دوغابی و بررسی پارامترهای مؤثر. پژوهش نفت، سال ۱۸، شماره ۵۸، صفحه ۱۰-۳، ۱۳۸۷

۱۴. ترکمنی، س (۱۳۸۴). بررسی و نحوه نشت مواد نفتی به خاک و آب‌های زیرزمینی. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی و نفت، گرایش محیط زیست، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۵ ص.

۱۵. شریفی حسینی، س.، شهبازی، ع. ، یزدیپور، ع. و کامرانفر، ا. ۱۳۸۸. پالایش زیستی خاک های آلوده به نفت خام با کودهای شیمیایی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۳. شماره ۳.

۱۶. مینایی تهرانی، د. حرفت منش، ع. آذری دهکردی، ف. ۱۳۸۴. مطالعه تجزیه زیستی نفت خام سنگین در خاک با مقیاس پایلوت. علوم محیطی ۱۰.

17. Ruberto, L., Susana C, V., Walter P. Mac,C.,2003. Eectiveness of the natural bacterial Flora, biostimulation and bioaugmentation on the bioremediation ofa hydrocarbon contaminated Antarctic Soil. International Biodeterioration & Biodegradation 52, 115 – 125.
18. Tabari, kh., Tabari, m,. 2010. Biodegredation potential of petroleum hydrocarbons by bacterial diversity in soil. World applied science journal 8(6) 750-755.
19. Wolicka, D., Suszek, A., Borkowski, A., Bielecka, A. Application of aerobic microorganisms in bioremediation in situ of soil contaminated by petroleum products. Bioresource Technology 100 3221–3227