Archive of SID

علـــوم محـــیـــطی 10 ، زمستـان 1384
ENVIRONMENTAL SCIENCES 10 , Winter 2006
71-82

مطالعه تجزیه زیستی نفت خام سنگین در خاک با مقیاس پایلوت

داریوش مینایی تهرانی
دکترای بیوشیمی، استادیار دانشکده علوم، دانشگاه شهید بهشتی
علی حرفت منش
کارشناس ارشد بخش میکروبیولوژی آب و پساب، پژوهشکده حفاظت صنعتی و محیط زیست، پژوهشگاه صنعت نفت
فرود آذری دهکردی
دکترای محیط زیست، استادیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

چکیده

درکشورهای تولید کننده نفت، این ماده به عنوان یکی از مهم‌ترین آلوده کننده‌های محیط زیست به شمار می‌رود. رها شدن نفت در آب وخاک می‌تواند سبب آسیب به موجودات زنده شود. یکی از راه‌های مناسب جهت کاهش آلودگی نفتی از خاک، زیست درمانی می‌باشد. برخی از میکروارگانیسم‌ها قادرند از بعضی ترکیبات موجود در نفت به عنوان ماده غذایی استفاده کرده وآن‌را تبدیل به مواد ساده‌تر مثل آب و دی اکسید کربن نمایند. در این تحقیق چگونگی تخریب زیستی نفت خام در خاک با مقیاس نیمه صنعتی (پایلوت) مطالعه شد. قطعه زمین‌هایی به ابعاد 1x 2 متر و ارتفاع 70 سانتی‌متر از سیمان تهیه شد و خاک آلوده به نفت خام سنگین (v/w) 2درصد (20000 ppm) در حدود 0/8 متر مکعب به هر خانه اضافه شد و مواد افزودنی از قبیل کود شیمیایی فسفاته و نیتراته، کود حیوانی و تراشه چوب به خانه‌های مختلف اضافه شد و روند تخریب زیستی نفت در هر خانه در مدت 12 ماه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین کاهش به میزان 65 درصد در زمینی که به آن کود شیمیایی و هم‌زمان تراشه چوب داده شده بود دیده شد. در زمینی که به آن کود حیوانی اضافه شده بود مقدار کاهش در حدود 60 درصد و در زمینی که در آن فقط از کود شمیایی استفاده شده بود، کاهش نفت در حدود 55 درصد بود. در نهایت در زمینی که در آن هیچ‌گونه از فاکتورهای مواد افزودنی اعمال نشده بود میزان کاهش در حدود 50 درصد بود. به این ترتیب مشاهدات ما نشان داد که استفاده هم‌زمان از تراشه چوب و کود شیمیایی و یا استفاده از کود حیوانی در خاک می‌تواند، راندمان تخریب زیستی نفت را بالا ببرد.

کلیدواژه‌ها: تخریب زیستی، نفت خام، میکروارگانیسم، مواد افزودنی، خاک.

Biodegradation of Heavy Crude Oil in Soil in a Pilot Scale

Dariush Minai-Tehrani, Ph.D.
Assistant Professor, Faculty of Science, Shahid Beheshti University.
Ali Herfatmanesh, M.Sc.
Water and Wastewater Department, Industrial Protection and Environment Section (Microbiology), Petroleum Industry Research Institute.
Forood Azari-Dehkordi, Ph.D.
Assistant Professor, Faculty of Environment, Tehran University

Abstract
In oil producing countries, crude oil is one of the most important pollutants of the soil and water. Spillage of crude oil into the soil can be damaging to the environment. Various microorganisms are able to use some fractions of crude oil as their sole carbon source and transform them into non-toxic compounds. In this research, the biodegradation of heavy crude oil in soil under different conditions was studied over a 12-month period in a pilot scale. Cement units with dimensions of 1× 2 × 0.7 meters were made and crude oil was added to the soil in a final concentration of 2% (v/w) (20000 ppm). The effect of certain nutrients such as inorganic phosphate and nitrate fertilizers, animal manure and wood shavings on the biodegradation of crude oil was studied. Our results showed that the greatest oil reduction (65%) occurred in the unit which included both the inorganic fertilizers and the wood shavings. In the unit that received animal manure, the reduction of crude oil was 60% and the unit that received only inorganic fertilizers the reduction was 55%. In the unit to which no nutrient was added the reduction was 50%. Our results suggest that the addition of both wood shavings and chemical fertilizer or the addition of animal manure can increase the biodegradation of crude oil in soil.

Keywords: Biodegradation, Crude oil, Microorganisms, Nutrients, Soil.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

نفت یکی از مهم‌ترین موادی است که امروزه به عنوان ماده تامین کننده انرژی استفاده می‌شود. از این ماده نه تنها به عنوان انرژی بلکه به عنوان ماده اولیه ساخت بسیاری از مواد مورد استفاده بشر نیز استفاده می‌شود.

متاسفانه در کشورهای تولید کننده نفت، این ماده به عنوان یکی از بزرگترین آلوده‌کننده‌های محیط زیست به شمار می‌رود. رها شدن نفت در خاک و آب به هنگام استخراج، حمل و پالایش سبب آسیب جدی به اکوسیستم‌ها و محیط زیست می‌شود. در نفت ترکیباتی وجود دارد که برای انسان و موجودات خطرناک بوده و می‌تواند سبب مرگ در موجودات و یا ایجاد آسیب‌های جدی مثل سرطان در انسان شود (Armstrong, 2004; Gibbs, 1997; Hammond, 1976). ترکیبات موجود در نفت خام را می‌توان به چهار برش اصلی تقسیم نمود که شامل: 1- هیدروکربن‌های اشباع 2- هیدروکربن‌های آروماتیک 3- رزینها 4- آسفالتین است (Leahy, 1990; Colwell, 1977;). برخی از میکروارگانیسم‌ها قادرند از بعضی از ترکیبات موجود در نفت به عنوان ماده غذایی استفاده کرده و سبب تجزیه زیستی آنها شده وآنها را تبدیل به مواد کوچکتر مثل آب و دی اکسید کربن کنند(Leahy, 1990; Atlas, 1981). برشهای هیدروکربنی اشباع اولین موادی هستند که مورد تجزیه زیستی قرار می‌گیرند.(Atlas, 1981; Jobson, 1972; Walker, 1976)، بعضی از برش‌های آروماتیک نیز می‌توانند توسط میکرورگانیسم‌ها تجزیه شوند (Cerniglia, 1984; Cerniglia, 1992; Shuttleworth, 1995; Johnsen, 2005;)، ولی رزینها و آسفالتین به خاطر پیچیدگی که در ساختمان آنها وجود دارد ممکن است تجزیه نشده و یا به مقدار اندک بوسیله کومتابولیسم تجزیه شوند. تجزیه زیستی نفت خام درخاک در مقیاس آزمایشگاهی، پایلوت و میدانی مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات نشان داده است که عواملی در تجزیه زیستی نفت خام موثرند که می‌توان به دما، میزان اکسیژن، رطوبت و مواد افزودنی اشاره نمود(Leahy, 1990) ،همچنین اضافه کردن باکتری‌های تجزیه کننده نفت به خاک آلوده در مقیاس آزمایشگاهی موثر بوده (Hozumi, 2000; Aldrett, 1997) ولی در مقیاس پایلوت ومیدانی تاثیر زیادی در حذف آلودگی‌های نفتی نداشته است (Goldstein, 1987) .

برای کاهش میزان آلودگی نفتی در مقیاس پایلوت و آزمایشگاهی از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که در یکی از موثرترین آنها برای هوادهی به بخش‌های مختلف خاک، با وسایل مختلف خاک را زیر ورو کرده تا اکسیژن کافی در اختیار میکروارگانیسم‌ها قرار بگیرد. همچنین اضافه کردن مواد افزودنی مثل نمک‌های فسفات ونیترات می‌تواند در افزایش تجزیه زیستی نفت در مقیاس آزمایشگاه، پایلوت و میدانی بسیار مهم باشد(Radwan, 2000; Radwan, 1995).

در مطالعه‌ای که انجام شد و برای اولین بار در ایران در مقیاس پایلوت انجام گرفت، تاثیر افزودنی‌های مختلف از جمله کودهای شیمیایی، کود حیوانی و تراشه چوب در کاهش زیستی نفت خام در خاک در طول 12 ماه مورد مطالعه قرارگرفت.

مواد وروش‌ها

آماده سازی زمین

قطعات زمین (خانه) به ابعاد 2×1 متر و به ارتفاع 70 سانتی‌متر از سیمان آماده گشت. یک خروجی آب سراسری برای زمین‌ها در نظر گرفته شد که به یک چاهک ختم می‌شد. توسط این خروجی آب اضافه که در اثر بارندگی شدید در خاک جمع می‌شد، به طرف چاهک راهنمایی شده و دوباره این آب به خانه‌ها بازگردانده می‌شد. به هرخانه‌ها مقدار 0/8 متر مکعب خاک اضافه شد. خاک خشک به میزان(v/w) 2 درصد (20000 ppm) به نفت خام سنگین (API =20) آلوده شد به طوریکه با مخلوط کردن مناسب نفت و خاک خشک، مخلوطی یکنواخت از خاک آلوده تهیه گشت.

www.SID.ir

Archive of SID

سپس در هر زمین شرایط مختلفی اعمال شد. در نمونه‌ای که به عنوان شاهد خشک نامگذاری شد. هیچ‌گونه مواد افزودنی اضافه نشد و فقط خاک به نفت خام آلوده گشت. این خاک در زیر یک سقف محافظ قرار داشت تا از دسترسی آب باران دور باشد و هر یک روز در میان زیر ورو می‌شد تا هوادهی به خاک انجام شود زمینی که به عنوان شاهد مرطوب مشخص شد، فاقد مواد افزودنی بود و تنها تفاوت آن با زمین شاهد خشک در این بود که این زمین در معرض آب باران قرار داشت و در آن هوادهی انجام نمی‌شد. زمین‌های دیگر که با شماره 1 تا 4 مشخص شدند، هریک روز در میان آبیاری شده و خاک آنها با بیل زیر و رو می‌شد. در زمین شماره 1 هیچ‌گونه مواد افزودنی اضافه نشد. در زمین شماره 2 به مقدار(w/w) 5 درصد کود حیوانی اضافه شد. به زمین شماره 3 کود شیمیایی فسفاته و نیتراته به میزان 200 میلی‌گرم نیترات و 50 میلی‌گرم فسفات به ازای هر گرم آلودگی هیدروکربنی اضافه شد(Rosenberg, 1996). در زمین شماره 4 علاوه بر شرایط زمین 3، به مقدار 10 درصد تراشه چوب نیز اضافه شد. از خاک هر زمین حدود 100 گرم نمونه برداشت شد و به عنوان زمان صفر یا شروع در فریزر 20- نگاهداری شد و هر دو ماه یکبار این نمونه برداری تکرار و نمونه‌ها در فریزر 20- نگاهداری شدند.

تعیین عوامل اصلی خاک

برای تعیین PH خاک مقدار1 گرم خاک از زمین برداشت شد و به آن 5 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 در نظر گرفته شد (Tan, 1996). PH خاک در حدود 7/4 تعیین گشت.
برای تعیین مقدار آبی که بایستی به زمین داده شود، ابتدا ظرفیت نگاهداری آب در خاک اندازه گیری شد (water holding capacity) (Tan 1996) . سپس بر این اساس مقدار رطوبت خاک به میزان 70 درصد این ظرفیت در نظر گفته شد که از لحاظ وزنی مقدار آب در خاک در حدود 25 تا 30 در صد را شامل گشت. به جز زمین‌های شاهد خشک و مرطوب بقیه زمین‌ها در طول آزمایش هر یک روز در میان آبیاری می‌شدند. برای هوادهی خاک، از روش زیر ورو کردن خاک استفاده شد به طوریکه هر یک روز در میان خاک‌ها بوسیله بیل کاملا زیر و رو می‌شد تا اکسیژن کافی در اختیار میکروارگانیسم‌ها قرار بگیرد (شکل 1). به جز زمین شاهد مرطوب، عمل هوادهی هر یک روز در میان برای بقیه زمین‌ها اعمال شد.

شکل 1 - نمایی از زمینهای عملیاتی که توسط زیر ورو کردن خاک با بیل عمل هوادهی به بخشهای مختلف خاک انجام شد.

آنالیز خاک

خاک کشاورزی از اطراف پژوهشگاه صنعت نفت تهیه شد. نوع خاک در بخش خاک پژوهشگاه صنعت نفت مورد آنالیز قرار گرفت و بافت آن به صورت زیر

www.SID.ir

Archive of SID

مشخص شد. ماسه 12 درصد ، شن 38 درصد و رس 60 درصد و مقدار مواد آلی 3/4 درصد، فسفات 0/186 درصد ونیترات در حد نشانه (trace) مشخص شد.

تعیین مقدار رطوبت خاک

برای تعیین مقدار رطوبت خاک، مقدار 1 گرم خاک در ظرف شیشه‌ای ریخته شد و اجازه داده شد تا در دمای 110 درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت آب موجود در خاک کاملاً تبخیر شود. سپس خاک دوباره وزن شد و مقدار رطوبت آن از تفاوت وزن خاک مرطوب وخشک به صورت در صد مشخص شد.

استخراج نفت از خاک

استخراج نفت از خاک طبق روش Marquez-Rocha و با کمی تغییرات انجام شد. مقدار 2 گرم خاک آلوده وزن شد و به آن حدود 10 میلی لیتر دی کلرو متان اضافه شد. مخلوط به شدت و برای مدت 30 دقیقه تکان داده شد. سپس مخلوط در دور 3000 به مدت 10 دقیقه سانتریفوژ شد تا خاک آن رسوب نماید. محلول رویی از خاک جدا شد و در ظرف شیشه‌ای که از قبل دقیقاً وزن شده بود ریخته شد. مرحله فوق دوباره تکرار شد. سپس اجازه داده شد که حلال دی کلرو متان برای مدت 24 ساعت در دمای آزمایشگاه تبخیر شده و باقیمانده دوباره وزن شد. این وزن مقدار نفت موجود در خاک را مشخص می‌کرد. عمل فوق برای خاک‌هایی که هر دو ماه یک‌بار از زمین‌ها جمع می‌شد انجام شد و کاهش وزن با زمان صفر هر زمین مقایسه شد.

تعیین مقدار رنگ نمونه

از مخلوط استخراج شده حلال و نفتی که در مرحله بالا ذکر شد، مقدار 3 میلی‌لیتر برداشت شد و رنگ آن توسط اسپکترو فتومتر اندازه گیری شد و با نمونه‌های زمان صفر مقایسه گردید.

تعیین تعداد کل باکتری‌های خاک

برای تعیین تعداد کل باکتری‌ها در خاک از روش pure-plate استفاده گردید. مقدار 1 گرم خاک در لوله آزمایش که حاوی 9 میلی لیتر محلول استریل کلرید سدیم 9 گرم در لیتر ریخته شد و مخلوط به شدت تکان داده شد و از آن رقت‌های سریال تهیه گردید و سپس از سریال‌های رقیق شده به محیط جامد غنی (نوترینت آگار) انتقال داده شد و پس از 48 ساعت، کولونی‌ها بوجود آمده شمارش شدند.

نتایج

شمارش تعداد باکتری‌ها

شمارش تعداد باکتری‌ها در ماه‌های دوم، ، ششم و دهم انجام شد (جدول 1). این جدول نشان می‌دهد که که در زمین‌هایی که در آنها هم عمل آبیاری و هم هوادهی انجام شده است یعنی زمین 1تا 4، افزایش تعداد باکتری دیده می‌شود حال آنکه در زمین کنترل مرطوب این افزایش کمتر بوده و در زمین کنترل خشک هیچ‌گونه افزایشی به چشم نمی‌خورد. همچنین در زمین‌های که در آنها کود شیمیایی و حیوانی بکار رفته بود یعنی زمین‌های 2 ،3 و 4 افزایش تعداد باکتری بیشتر بود. عملیات کار بروی زمین‌ها از ماه آبان آغاز شد و تا دوازده ماه ادامه یافت. بنابراین شمارش تعداد باکتری‌ها در ماه‌های دی، اردیبهشت و شهریور انجام شد. همان‌طور که درجدول مشاهده می‌شود در ماه دوم که دی ماه می‌باشد تعداد باکتری‌ها در تمام نمونه‌ها نسبت به ماه‌های اردیبهشت و شهریور (ماه ششم ودهم) کمتر می‌باشد. همچنین تفاوت زیادی بین تعداد باکتری‌ها در ماه‌های ششم و دهم نسبت به هم دیده نمی‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 1- شمارش تعداد کولونی باکتریها در زمینهای عملیاتی (CFU/g soil).

زمان (ماه)	ماه شروع (آبان)	ماه دوم (دی)	ماه ششم(اردیبهشت)	ماه دهم (شهریور)
کنترل خشک	27×10^3	20×10^3	14×10^3	16×10^3
کنترل مرطوب	27×10^3	$1,5\times10^5$	4×10^6	$5,5\times10^6$
زمین 1	27×10^3	9×10^5	13×10^6	20×10^6
زمین 2	27×10^3	$6,7\times10^5$	18×10^7	25×10^7
زمین 3	27×10^3	9×10^5	17×10^7	14×10^7
زمین 4	27×10^3	5×10^6	20×10^7	28×10^7

مطالعه کاهش نفت در نمونه‌های پایلوتی

نمونه شاهد خشک

در این نمونه که به دور از بارندگی و در زیر یک سقف ولی در هوای آزاد نگاهداری می‌شد و خاک آن نیز هوادهی می‌شد، روند کاهش مواد نفتی در پایان دوازده ماه در شکل 2 نشان داده شده است. این نمونه به این دلیل طراحی شد که تنها اثر تبخیر بر کاهش مواد نفتی در اثر هم خوردن خاک مطالعه شود، بدون آنکه عواملی مثل رطوبت و افزونی‌های دیگر در این کاهش نقش داشته باشند.

همان‌طوریکه از این شکل مشخص است در حدود 28 در صد از مواد نفتی در طول 12 ماه حذف شده است. روند کاهش رنگ (که با کاهش جذب همراه است) چندان تغییری نداشته و بعد از 12 ماه تغییر زیادی نسبت به زمان شروع دیده نشد.

زمین شاهد مرطوب

این زمین در فضای باز و بدون پوشش بود و از آب باران تغذیه می‌شد. در این زمین کاهش نفت در حضور رطوبت بررسی می‌شد بدون آنکه عوامل هوادهی در آن دخالت کند. میزان کاهش نفت در این زمین کمی بیش از نمونه قبل بود، به طوریکه کاهشی در حدود 30 در صد را نشان می‌داد(شکل 3). همچنین میزان تغییرات رنگ نیز با کاهش نفت همخوانی داشت و تغییرات رنگ نمونه‌های آلوده بیش از زمین شاهد خشک بود.

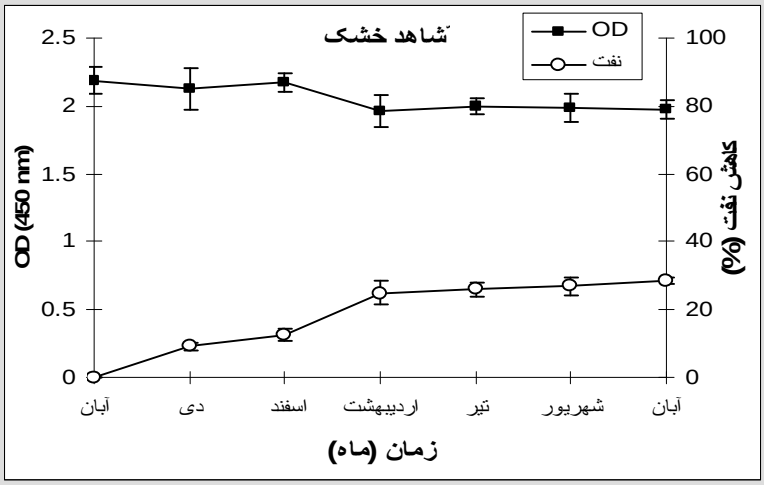
زمین شماره 1

در این زمین فقط از خاک آلوده به نفت استفاده شد، بدون آنکه به آن تراشه چوب ، کود حیوانی و یا کود شیمیایی اضافه شود. همچنین این زمین هر یک‌روز در میان آبیاری و هوادهی شد. همانطور که در شکل 4 مشاهده می‌شود، میزان کاهش نفت در این زمین در حدود 51 در صد بود. همچنین کاهش رنگ نیز در نمونه‌ها به چشم خورده و با کاهش نفت در این نمونه مطابقت داشت.

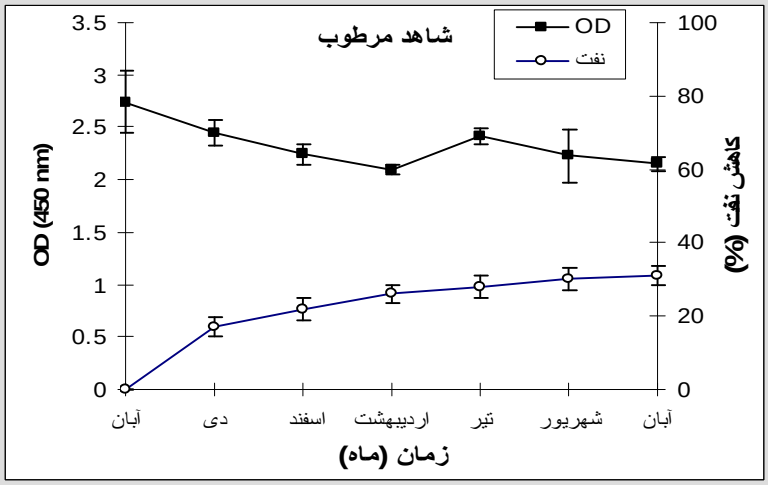
مشکلی که در این زمین به چشم می‌خورد، گلوله شدن خاک مرطوب بود که مانع از بیل خوردن و هوادهی مناسب می‌شد. بنابراین هر بار نیروی زیادی صرف خرد کردن و از بین بردن گلوله‌های گلی می‌شد.

www.SID.ir

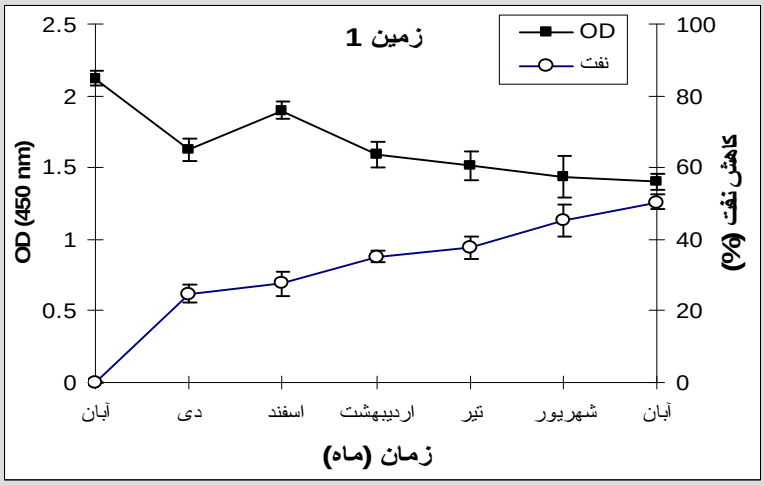
Archive of SID



شکل 2 - میزان کاهش نفت در زمین شاهد خشک



شکل 3 - روند کاهش میزان نفت در زمین شاهد مرطوب



شکل 4 - میزان کاهش مقدار نفت در زمین 1

www.SID.ir

Archive of SID

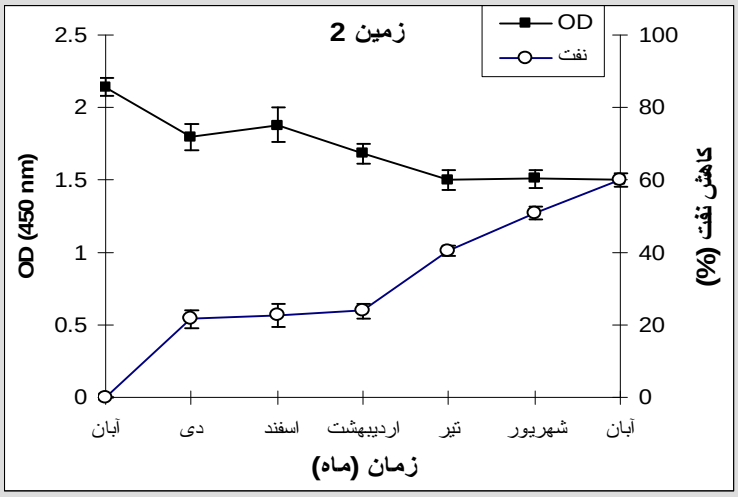
زمین شماره 2

در زمین شماره 2 که به آن کود حیوانی اضافه شده بود. کود حیوانی می‌توانست عناصر مورد نیاز برای تکثیر باکتری‌ها و افزایش جمعیت آنها در خاک را سبب شود. این زمین در تمام طول آزمایش هوادهی و آبیاری شد. میزان کاهش نفت نسبت به زمان شروع در این زمین در طول 12 ماه، در حدود 60 در صد محاسبه شد(شکل5).

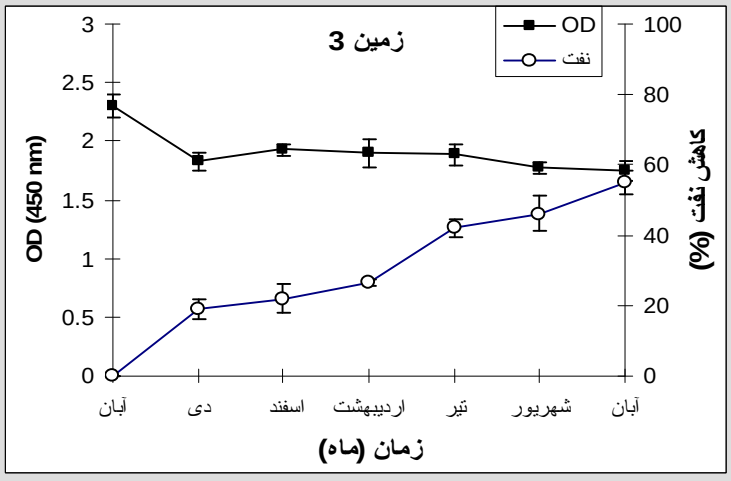
این شکل نشان می‌دهد که طی ماه‌های زمستان و اوایل بهار روند کاهش نفت کندتر از ماه‌های گرم تابستان و اوایل پاییز بوده است . روند کاهش رنگ خاک، ناشی از آلودگی نیز هم‌زمان با کاهش نفت دیده شد. در این زمین پدیده گلوله شدن خاک که در زمین شماره 1 به چشم می‌خورد بسیار کم دیده شد.

زمین شماره 3

در این زمین از کود شیمیایی فسفاته و نیتراته به عنوان مکمل و مواد افزودنی استفاده شد. این زمین نیز در طول آزمایش هوادهی و آبیاری شد. میزان کاهش نفت در این زمین نسبت به زمان شروع در حدود 55 در صد محاسبه شد(شکل 6). این کاهش نسبت به زمین 2 کمتر بود.



شکل 5- روند کاهش نفت در زمین شماره 2. در این زمین از کود حیوانی به عنوان مکمل استفاده شد.



شکل 6- روند کاهش نفت در زمین 3. در این زمین از کود شیمیایی به عنوان مکمل استفاده شد.

www.SID.ir

Archive of SID

کـاهش میـزان رنـگ آلـودگی بـا کـاهش میـزان نفـت هم‌خوانی داشت. همچنین روند کاهش در زمستان کندتر از فصول گرم و معتدل بود. در ایـن زمـین نیـز مثـل زمـین شماره 1 پدیده گلوله شدن خاک مشاهده شد.

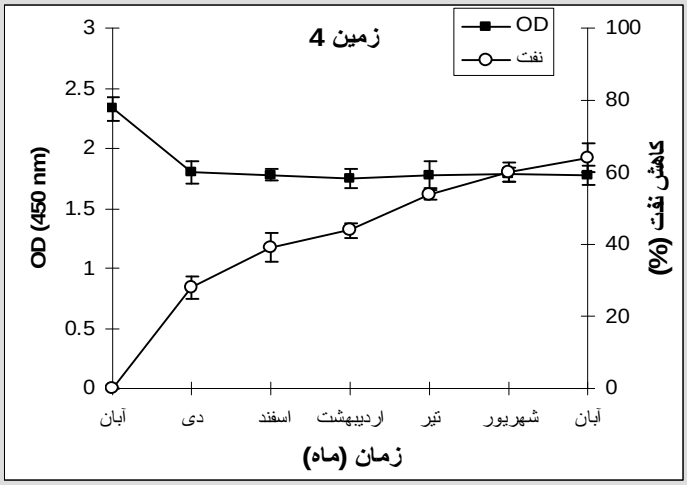
زمین شماره 4

به خاک آلوده در این زمین، همزمـان کـود شـیمیایی و تراشـه چـوب اضـافه شـد. ایـن زمـین در طـول آزمـایش، هوادهی وآبیاری شد. میزان کـاهش نفـت در ایـن خـاک نسبت به زمـان شـروع در حـدود 65 در صـد بـود. میـزان کاهش در این زمـین از بقیـه زمـین‌هـا بیشـتر بـود و میـزان کـاهش رنـگ نیـز درنمونـه بـا کـاهش آلـودگی نفتـی هماهنگ بود (شکل 7). در این زمین پدیـده گلولـه شـدن خاک خیلی کم مشاهده شد.

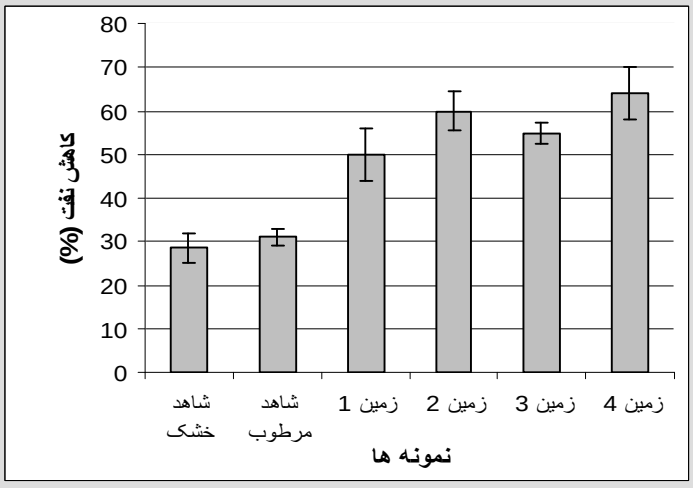
همانطور که از شکل 8 مشخص است، پس از 12 ماه عملیات بروی زمین‌ها بیشـترین کـاهش مربـوط بـه زمـین شماره 4 و سپس زمین شماره 2 بوده است. بایستی توجـه داشت که کمترین کاهش در زمین شماره 1 دیده شد.

بحث

مقایسه تعـداد بـاکتری‌هـا درنمونـه‌هـا نشـان مـی‌دهـد کـه



شکل 7- روند کاهش نفت در زمین 4. در این زمین از کود شیمیایی و تراشه چوب استفاده شد.



شکل 8- مقایسه مقدار کاهش نفت در زمینها بعد از 12 ماه

www.SID.ir

Archive of SID

هـوادهی مناسـب، تـامین رطوبـت خـاک واضـافه کـردن کودهای شیمیایی و حیوانی در افزایش تعـداد بـاکتری‌هـا موثر بوده که این افزایش می‌توانسـت در تجزیـه زیسـتی نفت در خاک با اهمیت باشد. در ماه‌های سرد سال یعنـی زمستان، تعداد باکتری‌ها در زمین‌هـا کمتـر از تعـداد آنهـا در فصول معتدل و گرم بود. همچنین رونـد کـاهش نفـت نیز در ماه‌های سرد کمتر از ماه‌های گرم بود. مطالعه روند کـاهش مقـدار نفـت در زمـین‌هـا، نشـان مـی‌دهـد کـه در زمین‌های کنترل خشک ومرطـوب، کـاهش مقـدار نفـت تفاوت زیادی با هم نمـی‌کـرد. در حالیکـه در نمونـه‌هـای هوادهی شده که آبیاری نیز می‌شدند (زمین‌هـای 1 تـا 4)، مقدار کاهش بیشـتری نسـبت بـه کنتـرل‌هـا دیـده شـد. دو عامل اصلی در کاهش هیدروکربن‌های نفتی در خاک را می‌توان هوازدگی (تبخیر و یا تاثیر نور) و تجزیـه زیسـتی دانست(Nicodem, 1997) .

عامل تبخیر را می‌توان در نمونه شاهد خشک مشاهده کرد زیرا این نمونه در طـول آزمـایش کـاملا از آب دور بود و تعداد باکتری‌هـا درآن نسـبت بـه نمونـه‌هـای دیگـر کمتر بود در نتیجه عامل تخریب زیستی در آن به حـداقل رسیده است، بنابراین مهم‌تـرین عامـل کـاهش را در ایـن نمونه می‌توان تبخیر مواد نفتی دانست. در زمین‌های 1 تـا 4 که هم آبیاری و هم هوادهی شده بودنـد، هـر دو عامـل تبخیر و تخریب زیستی در روند کاهش موثر بـوده اسـت. مقایسه این زمین‌ها نشان داد که بیشترین کاهش در زمـین شماره 4 دیده شد که در آن کود شیمیایی و تراشه چوب به کار رفته بود. حضور کود شـیمیایی مـی‌توانسـت بـا در اختیـار قـرار دادن عناصـر لازم بـرای رشـد و تکثیـر میکروارگانیسم‌ها، سبب بالا بـردن تعـداد آنهـا در خـاک شده در حالیکه تراشـه چـوب سـبب پـوک شـدن خـاک می‌شد و از گلوله شدن خاک جلوگیری می‌کـرد. گلولـه شدن خاک مـی‌توانـد مـانع از رسـیدن هـوای مناسـب بـه قسـمت‌هـای داخلـی خـاک در گلولـه شـود، هـوادهی و حضور اکسیژن در خاک عامل مهمـی در تجزیـه زیسـتی نفـت بـه شـمار مـی‌آیـد (Atlas, 1981; Cerniglia, 1992). همچنـین تراشـه چـوب مـی‌توانسـت رطوبـت را در خـود حفظ کرده و از خشـک شـدن سـریع خـاک در فصـول گـرم ممانعـت کنـد و رطوبـت لازم را بـرای فعالیـت میکروارگانیسم‌هـا تـامین کنـد. در زمـین شـماره 2 کـه از کود حیوانی استفاده شد، پدیده گلوله شدن خاک کمتـر به چشم خورد زیرا ماهیت و شکل فیزیکی کـود حیـوانی تا اندازه‌ای شبیه به تراشه چـوب بـود بنـابراین حضـور آن توانسته بود سبب پوک شدن خاک شده و همچنـین مـانع از گلوله شدن خاک مرطوب شود. از طرف دیگر وجـود کود حیوانی در زمین سبب بالا رفـتن تعـداد بـاکتری‌هـا و در نتیجه افزایش تخریب زیسـتی نفـت شـده بـود. پدیـده گلوله شدن خاک به مقدار زیاد در زمین‌های شماره 1 و3 مشاهده شد. مقایسه کاهش نفت در زمین 1 و 3 کـه تنهـا تفاوت آنها فقط حضور کود شیمیایی در زمـین شـماره 3 بود، نشان داد که در زمین شماره 3 میزان کـاهش فقـط 5 درصد بیش از زمین شماره 1 بوده است. این مطلب نشـان می‌دهد که افزودن کـود شـیمیایی بـه تنهـایی در زمـین ، نتوانسته تاثیر زیادی در کاهش نفـت داشـته باشـد. بعضـی گزارشات نیز صحبت از عدم تاثیر افزودنی‌های فسـفاته و نیتراته در روند کاهش نفت کرده‌اند (Seklemova, 2001).

آلودگی خاک بوسیله نفـت خـام سـبب تغییـر رنـگ خـاک مـی‌شـود. میـزان تغییررنـگ خـاک بـه در صـد آلـودگی و غلظـت آن ارتبـاط دارد، در ایـن آزمایشـات مشاهده شد که به تدریج میزان رنگ خاک آلوده به نفت خام سنگین با گذشت زمان کاهش یافته که این کـاهش رنگ به موازات کاهش مقدار نفت در خاک بوده اسـت. چون در صد مهمی از رنـگ موجـود در نفـت مربـوط بـه حضور رزین‌هـا و آسـفالتین مـی‌باشـد، بنـابراین مـی‌تـوان کاسته شدن میزان رنگ نمونه‌های نفت استخراج شـده از خاک را دلیلی بـر کـاهش مقـدار رزیـن‌هـا و آاسـفالتین

www.SID.ir

Archive of SID

دانست که یا در اثر هوازدگی و یا در اثر تخریب زیستی کاهش یافته‌اند. تقریبا در تمامی نمونه‌ها کاهش مقدار رنگ با کاهش نفت خام هماهنگ بود که می‌توان این‌طور پیشنهاد کرد که همزمان با ترکیبات اشباع و آروماتیک که بیشتر مورد تجزیه زیستی قرار می‌گیرند، رزین‌ها و آسفالتین نیز کاهش نشان داده‌اند.

پیشنهادات

با توجه به یافته‌های فوق که قابل تعمیم به مقیاس میدانی می‌باشد، پیشنهاد می‌شود که برای بالا بردن راندمان زیست درمانی نفت در خاک از عواملی مثل کود حیوانی و کود شیمیایی که سبب افزایش تعداد باکتری‌های خاک می‌شود و همچنین از مواد پوک کننده خاک مثل تراشه چوب استفاده شود. همچنین هوادهی مناسب و رطوبت کافی می‌تواند در تخریب زیستی نفت بسیار با اهمیت باشند.

تشکر و قدردانی

هزینه این تحقیق توسط شرکت ملی نفت ایران تامین شد. این تحقیق بخشی از طرح جامع " مطالعات زیست محیطی ناشی از عملیات نفت" بوده است که در پژوهشگاه صنعت نفت انجام شد. بدین وسیله از آقای محمد رضا حسنی نژاد فرهانی مسئول طرح و آقای مهندس علی وکیلی رئیس پژوهشگاه صنعت نفت تشکرمی‌شود. همچنین از آقای فرهاد بابا زاده به خاطر همکاری ایشان در انجام این تحقیق سپاسگذاریم.

منابع

Aldrett, S., J.S. Bonner and T.J. McDonalds (1997). Degradation of crude oil enhanced by commercial microbial cultures. *Proceedings of 1997 International Oil Spill Conference*. American Petroleum Institute, Washington DC p: 995-996.

Armstrong, B., E. Hutchinson, J. Unwin, and T. Fletcher (2004). Lung cancer risk after exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: A review and Meta-analysis. *Environ Health Perspectives*, 112: 970-978.

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

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

Cerniglia, C.E. (1984). Microbial metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Adv. Appl. Microbiol.*, 30, 31-70.

Colwell, R.R., J.D. Walker (1977). Ecological aspects of microbial degradation of petroleum in the marine environment. *Crit. Rev. Microbiol.*, 5:423-445.

Gibbs, G.W. (1997). Estimating residential polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) related lung cancer risk using occupational data. *Ann. Occup. Hyg.*, 41: 49-53.

Goldstein, R.M., L.M. Mallory, and M. Alexander (1985). Reasons for possible failure of inoculation to enhance biodegradation. *Appl. Environ. Microbiol.*, 50: 977-983.

Hammond, E.C., I.J. Selikoff, P.L. Lawther, and H. Seidman (1976). Inhalation of benzpyrene and cancer in man. *Ann NY Acad Sci.*, 271: 116-124.

Hozumi, T., H. Tsutumi, and M. Kono (2000). Bioremediation on the shore after an oil spill from Nakhodka in the Sea of Japan. I. Chemistry and characteristics of heavy oil loaded on the Nakhodka and biodegradation tests on oil by a bioremediation agent with microbial culture in the laboratory . *Marine Pollution Bulletin*, 40: 533-552.

Jobson, A., F.D. Cook, and D.W.S. Westlake (1972). Microbial utilization of crude oil. *App. Microbiol.* 23: 1082- 1089.

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

Leahy, J.G., R.R. Colwell (1990). Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. *Microbiol. Rev*., 54: 305-315.

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.

www.SID.ir

Archive of SID

Nicodem, D.E., M.C. Fernandes, C.L.B. Guedes, and R.J. Correa (1997). Photochemical processes and the environmental impact of petroleum spills. *Biogeochemistry.,* 39: 121-138.

Radwans, S., Al-Mailem D., I. El-Nemr, and S. Salamah (2000). Enhenced remediation of hydrocarbon contaminated desert soil fertilized with organic carbons. Int.*Biodeterior.Biodegrad,* 46: 129-132.

Radwan S.S., N.A. Sorkhoh, and F. Fardoun, R.H. Al-Hasan (1995). Soil management enhancing hydrocarbon biodegradation in polluted Kuwaiti desert. *Appl. Microbiol. Biotechnol.,* 44: 265-270.

Rosenberg, E., and E.Z. Ron (1996). Bioremediation of petroleum contamination. In R.L. Crowford and D.L. Crowford (Eds) Bioremediation principles and applications. Cambridge Univ Press, UK, 100-124.

Seklemova, E., A. Pavlova and K. Kovacheva (2001). Biostimulation-based bioremediation of diesel fuel: field demonstration. *Biodegradation* 12: 311-316.

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

Tan, K.H. (1996). Soil sampling, preparation, and analysis. Marcel Dekker, NY.

Walker, J.D., R.R. Colwell and L. Petrakis (1976). Biodegradation rates of components of petroleum. *Can. J. Microbiol.,* 22: 1209- 1213.

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir