اثر زمین‌پالایی بر روند پالایش خاک آلوده به گل پایه روغنی حفاری

شیرین خادمی‌فر[۱*]، علیرضا جعفرنژادی، غلامعباس صیاد و حسین بشارتی

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان گروه خاکشناسی؛ **SHkhademifar@gmail.com**

استادیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی خوزستان؛ **arjafarnejady@gmail.com**

استادیار گروه خاکشناسی دانشگاه شهید چمران اهواز؛ **gsayyad@gmail.com**

استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب؛ **Hbesharati@swri.ir**

چکیده

امروزه هیدروکربن‌های نفتی از منابع آلاینده محیط زیست محسوب می‌شوند. یکی از راه‌کارهای مؤثر در پالایش خاک‌های آلوده استفاده از روش زمین‌پالایی بوده که از طریق ایجاد شرایط بهینه برای فعالیت ریزجانداران هوازی در خاک، سبب پاکسازی خاک می‌شود. استفاده از مواد نفتی در حفاری چاه‌های نفت سبب افزایش آلودگی خاک در استان خوزستان گردیده است. بنابراین در این پژوهش با اعمال روش‌هایی سعی بر کاهش آلودگی نفتی خاک گردید. بر این اساس، این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار شاهد (خاک آلوده به گل پایه روغنی حفاری)، هم‌زدن روزانه یکبار (O_1) و هم زدن چهار روز یکبار (O_2) در سه تکرار برای بررسی روند تغییرات شاخص‌های مورد مطالعه در بازه‌های زمانی ۲، ۵ و ۱۰ هفته پس از اعمال تیمارها اجرا شد. نتایج نشان داد که اثر تیمارهای زمین پالایی (O_2 و O_1) سبب افزایش معنی‌دار میزان تنفس میکروبی نسبت به تیمار شاهد گردید ($p<0/05$). به‌طوری که میزان غلظت کربن تولید شده (دی‌اکسیدکربن) طی فرآیند تنفس میکروبی در روش‌های O_2 و O_1 به ترتیب ۲۰ و ۱۶ درصد بیشتر از نمونه شاهد بود. همچنین، غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی (TPHs) در تیمار بهم زدن روزانه (O_1) و بهم زدن چهار روز یکبار (O_2) به ترتیب به‌میزان ۷/۷ و ۱۱/۷ درصد نسبت به شاهد کاهش یافتند هرچند که اختلاف آماری بین تیمارها وجود نداشت. بیشترین میزان کاهش هیدروکربن‌های نفتی اشباع در ترکیبات ۲۲-۱۸ کربنی در تیمار بهم زدن چهار روز یکبار بدست آمد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت ($p<0/05$). لذا، اعمال روش زمین‌پالایی جهت بهینه‌سازی فعالیت ریز جانداران خاک نقش مؤثری در افزایش فعالیت آنها و کاهش غلظت آلاینده‌های نفتی در خاک داشته است. بنابراین، زمین‌پالایی با توجه به قابل اجرا بودن و عدم نیاز به امکانات خاص می‌تواند به عنوان روشی مؤثر و باصرفه اقتصادی جهت پالایش آلاینده‌های نفتی مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی‌های نفتی، تنفس میکروبی، زمین‌پالایی

مقدمه

از دیدگاه جهانی پس از آب و هوا، خاک، سومین جزء عمده محیط زیست انسان محسوب می‌گردد. خاک، جوامع انسانی) است، محیط منحصر به فردی برای زندگی انواع حیات، به شمار می‌رود. بر خلاف آب و

---

[۱] نویسنده مسئول، آدرس: اهواز، بلوار پاسداران، سه راه فرودگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان، کدپستی: ۶۱۵۵۵- صندوق پستی: ۱۶۳

* دریافت: دی ۱۳۸۹ و پذیرش: مهر ۱۳۹۰

علاوه بر اینکه جایگاه موجودات خشکی‌زی (به‌ویژه اندازه‌گیری نیست و یک خاک پاک یا بدون آلودگی تعریف‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین، باید مسائل بالقوه آلودگی خاک، در چارچوب پیش‌بینی خطرات و صدمات احتمالی در کارکرد خاک مطالعه گردد (رنگ‌زن، ۱۳۸۵). آلودگی نفتی یکی از پی‌آمدهای افزایش سریع جمعیت و فرآیند صنعتی شدن می‌باشد (رنگ‌زن، ۱۳۸۵). آلودگی خاک بوسیله هیدروکربن‌های نفتی به‌شکل وسیع در اطراف تأسیسات نفتی (اکتشاف و پالایش) و به شکل موضعی در مسیرهای انتقال این مواد در سطح مناطق نفت‌خیز قابل مشاهده است. علاوه بر انتشار مستقیم این آلاینده‌ها، غبارات حاصل از سوخت گازهای همراه نفت طی سالیان متمادی توانسته مواد سمی و مضری (از جمله هیدروکربن-های آروماتیکی چند حلقه‌ای و بای فنیل‌های پلی کلرینه) را به خاک‌های این مناطق اضافه کند (مورلی و همکاران، ۲۰۰۵). وجود این آلاینده‌ها در محیط زیست علاوه بر تأثیر گسترده بر اکوسیستم منطقه، با گذشت زمان و ورود به چرخه‌غذایی، سلامت انسان را نیز تهدید می‌نماید (مورلی و همکاران، ۲۰۰۵).

در حال حاضر جلوگیری از گسترش این آلودگی‌ها و همچنین پاکسازی این مناطق از نیازهای ضروری مناطق آلوده می‌باشد. پایداری آلاینده‌های آلی در خاک و خطر انتقال آنها به منابع آب، ایجاد سمیت و بیماری برای انسان و سایر موجودات زنده را به دنبال دارد. بنابراین، باید این آلاینده‌ها به طرق مختلف از محیط زیست حذف گردند (بسالت‌پور و همکاران، ۲۰۱۱). گستره وسیعی از فناوری‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی به منظور اصلاح و بهسازی خاک‌های آلوده وجود دارد که هدف آنها حذف، کاهش، تثبیت آلودگی و جلوگیری از انتقال آنها به آب‌های سطحی و زیرزمینی است. از جمله این فناوری‌ها می‌توان به فرآیند زمین‌پالایی اشاره کرد.

گوگی و همکاران (۲۰۰۷) در یک مطالعه موردی از زمین‌پالایی خاک های آلوده به نفت خام در محل ریزش نفت دریافتند که اعمال هوادهی و کاربرد موادآلی دارای نیتروژن و فسفر و تلقیح میکروبی باعث تجزیه ۷۵ درصد از آلاینده‌ها می شود.

پالایش خاک‌ها به روش زمین‌پالایی با عناوینی نظیر زمین اصلاحی یا زمین درمانی[1] و زمین کاربردی[2] نیز شناخته می‌شود و یک راهکار نسبتاً نوین پالایش خاک‌های سطحی است که جهت کاهش غلظت ترکیبات آلاینده نفتی هوا، آلودگی خاک از نظر ترکیب شیمیایی به آسانی قابل از طریق تجزیه زیستی این ترکیبات استفاده می‌شود (سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، ۱۹۹۴). در روش زمین پالایی، با هوادهی خاک آلوده به وسیله زیرو رو نمودن، تأمین رطوبت کافی و افزودن عناصر غذایی و مواد معدنی به خاک، فعالیت ریز جانداران هوازی تجزیه کننده نفت را تحریک می‌نمایند. نتیجه این فرایند تسریع و افزایش رشد و فعالیت این موجودات، تجزیه و تخریب آلاینده‌های نفتی در خاک است (سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، ۱۹۹۴). از جمله مزایای این فرآیند نسبت به سایر روش‌های پالایش، سادگی اجرا، کوتاه بودن زمان پالایش (۶ ماه تا ۲ سال بر حسب شرایط آلودگی موجود)، هزینه بسیار اندک (۳۰ تا ۶۰ دلار برای پالایش هر تن خاک آلوده)، تسریع تخریب پالایش زیستی ترکیبات آلی در مناطق با سرعت تجزیه زیستی پایین، نیاز به حداقل امکانات و تجهیزات و افزودنی‌ها به خاک و حداقل اثرات جانبی بر محیط زیست می‌باشند (سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، ۱۹۹۴).

هارمسن (۱۹۹۱) فرآیند زمین‌پالایی را روشی مؤثر و در عین حال ساده، کم هزینه و اقتصادی جهت پالایش آلاینده‌های آلی به‌ویژه آلاینده‌های نفتی گزارش نمود. پاپ و متیو (۱۹۹۳) برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آلوده نظیر بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری، هدایت هیدرولیکی، ظرفیت تبادل کاتیونی، میزان عناصر غذایی، نوع و تعداد ریزجانداران خاک را بر سرعت و میزان پالایش فیزیکی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی مؤثر ذکر کردند. پژوهش‌های بسیاری به نقش مؤثر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های آلوده به ترکیبات نفتی بر امکان و سرعت زمین‌پالایی این خاک‌ها اشاره دارند (گوی و همکاران، ۲۰۰۶). اویانگ و همکاران (۲۰۰۵) نیز پ‌هاش خاک را به سبب تأثیر فعالیت ریزجانداران خاک بر تجزیه و تخریب هیدروکربن‌های نفتی، عاملی موثر بر میزان و سرعت پالایش این دسته از آلاینده‌های آلی گزارش کردند. هاروی پارتیسیا و همکاران (۲۰۰۲) در مطالعه خود دریافتند که قابلیت دسترسی زیستی یکی از مهمترین فاکتورهای محدود کننده پالایش زیستی آلاینده‌های آلی است. قابلیت دسترسی زیستی، به ساختار خاک (از لحاظ مقدار مواد هومیک، پ‌هاش، میزان رطوبت و تخلخل) و همچنین به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آلاینده بستگی دارد. اندرسون (۱۹۸۹) اندازه‌گیری تنفس میکروبی را شاخص مناسبی جهت بررسی فعالیت میکروبی در خاک و نیز میزان و شدت معدنی شدن ترکیبات آلی در خاک دانست.

---

1. Land treatment
2. Land application

امروزه افزایش جمعیت، توسعه پالایشگاه‌ها و صنایع پتروشیمی باعث گسترش فعالیت‌های حفاری چاه‌ها و استخراج نفت و گاز در مناطق نفت‌خیز استان خوزستان گردیده است. گل پایه روغنی یکی از ترکیبات عمده آلاینده محیط است که در حفاری اکثر چاه‌های نفت استفاده می‌گردد. این ماده نقش مهمی را در فرآیند حفاری چاه‌های نفت ایفا می‌کند که از جمله آن متحمل شدن قسمتی از وزن لوله‌های حفاری و لوله‌های جداری، جلوگیری از خوردگی ادوات و لوله‌های حفاری و انتقال نیروی محرکه‌ی هیدرولوکی به مته حفاری را می‌توان نام برد. گل پایه روغنی حفاری از مواد مختلفی تشکیل شده که شامل ۷۵-۷۰ درصد گازوئیل، ۵-۳ درصد آب‌نمک‌های مختلف، و ترکیبات شیمیایی دیگر شامل ماده شیمیایی امولسیون ساز، مواد وزن افزا، تعلیق کننده ها، پایدار کننده ها و کنترل کننده هرزروی سیال می‌باشد که ترکیب شیمیایی مواد مذکور مشخص نیست (این مواد از کشور-های دیگر وارد می‌گردند). انتقال مواد نفتی به پالایشگاه‌ها و سپس حمل و نقل آنها به مکان‌های دیگر و عدم رعایت استانداردهای زیست‌محیطی و رهاسازی مواد مازاد هیدروکربنی در مناطق مختلف در دهه‌های اخیر، موجب آلودگی محیط‌زیست در استان خوزستان گردیده است. در این پژوهش، امکان زمین‌پالایی آلاینده‌های نفتی از خاک، کاهش ترکیبات مختلف آلاینده نفتی، اثر این فرآیند بر فعالیت و تنفس ریز جانداران و خاصیت آبگریزی در یک خاک آلوده به گل پایه روغنی حفاری مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام این پژوهش ابتدا از عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک‌های آلوده و غیر آلوده در محل کارخانه گل روغنی حفاری واقع در ۷۰ کیلومتری جاده اهواز-ماهشهر نمونه‌برداری صورت گرفت. سپس، نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل شده و جهت تجزیه آماده‌سازی شدند. میزان درصد آلودگی هیدروکربنی در خاک‌های آلوده و غیر آلوده با استفاده از روش سوکسیله[1] تعیین شد. در این روش مواد هیدروکربنی خاک با استفاده از حلال‌های آلی (دی کلرومتان) استخراج گردیده و با تعیین وزن اولیه خاک و وزن ترکیبات نفتی عصاره‌گیری شده، درصد آلودگی خاک به روش وزنی محاسبه شد (کریستوفر و همکاران، ۱۹۸۸). با توجه به اینکه باکتری‌ها در خاک‌های با درصد آلودگی نفتی بالا قادر به فعالیت و در نتیجه پالایش مواد نفتی نیستند خاک آلوده و خاک غیر آلوده از همان منطقه با نسبت‌های مشخص به گونه‌ای ترکیب شدند که خاکی با حدود ۶ درصد آلودگی بدست آمد (لیو و همکاران ۱۹۸۲). این خاک‌ها به ۹ گلدان به ابعاد ۳۵ × ۳۵ × ۶۰ سانتی‌متر، که به همین منظور آماده شده‌بودند انتقال داده‌شدند. سپس برای بررسی روند تغییرات شاخص‌های مورد مطالعه، سه گلدان خاک آلوده بدون هوادهی به‌عنوان شاهد، سه گلدان خاک آلوده با هم‌زدن روزانه (O_1) و سه گلدان خاک آلوده با هم‌زدن چهار روز یکبار (O_2) در نظر گرفته شدند. در طول مدت آزمایش نمونه‌ها در دمای محیط نگهداری شدند و رطوبت نمونه‌ها جهت ایجاد شرایط مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها، با استفاده از آب شهری، حدود ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه نگه داشته شد (بسالت‌پور و همکاران، ۲۰۱۱). سپس در بازه‌های زمانی ۲، ۵ و ۱۰ هفته پس از اعمال هوادهی شاخص‌های مورد مطالعه شامل میزان آبگریزی به روش خیز موئینه (CRM)[2] (هالت و همکاران، ۱۹۹۵) و بررسی روند تغییرات غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی (TPHs)[3] در خاک با استفاده از عصاره‌گیری به‌روش سوکسیله (کریستوفر و همکاران، ۱۹۸۸) اندازه‌گیری شد. آزمایش کروماتوگرافی گازی و کروماتوگرافی ستونی (گاگنی و کم، ۲۰۰۷) نیز برای بررسی اثر باکتری بر ترکیبات مختلف هیدروکربنی انجام شد. مقدار تنفس میکروبی نیز جهت بررسی میزان میلی‌گرم کربن تولید شده به صورت دی‌اکسیدکربن طی فرآیند تنفس میکروبی بر حسب میزان اسید مصرفی جهت تیتراسیون، محاسبه شد (آلف و نانپیری، ۱۹۹۵).

همچنین، در نمونه‌های خاک، بافت (هیدرومتر)، شوری و پ‌هاش (در عصاره اشباع)، در ابتدا و انتهای پژوهش (پس از ۱۰ هفته) اندازه‌گیری شد (کربولویسکی و همکاران، ۲۰۰۲). همچنین، تعداد باکتری‌های تجزیه کننده هیدروکربن‌های نفتی به روش استاندارد مؤسسه تحقیقات خاک و آب تعیین گردید (آلف و نانپیری، ۱۹۹۵). بررسی روند تغییرات شاخص‌های مورد مطالعه و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار EXCEL انجام شد.

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک

نتایج برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی در جدول (۱) نشان داده شده

1. Soxhelt

2. Capillary rise method

3. Total petroleum Hydrocarbons

است. نتایج نشان داد که پ‌هاش در خاک عامل محدود کننده‌ای برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها در طی فرآیند زمین‌پالایی نبوده است زیرا در طول آزمایش تغییرات قابل-ملاحظه‌ای را نشان نمی‌دهد (جدول ۱). نتایج نشان داد که هدایت الکتریکی خاک با هم زدن روزانه به میزان ۲۹/۲ درصد نسبت به نمونه اولیه (پیش از اعمال روش‌ها) افزایش یافت. علت آن احتمالاً زیاد شدن نمک خاک بر اثر افزایش آبیاری در این روش بوده است چون این روش به علت بهم زدن روزانه خاک، آب بیشتری را بر اثر تبخیر از دست داده و در نتیجه به دفعات بیشتری آبیاری شد.

ستوسکی و همکاران (۱۹۹۴) در مطالعات خود نشان دادند که غلظت زیاد نمک، فعالیت میکروبی را در خاک محدود می‌کند. همانند گیاهان، شور شدن خاک به طرق مختلف موجب کاهش رشد، تکثیر و فعالیت موجودات خاکزی بویژه میکروفلور خاک می‌شود. اثر مستقیم شوری بر فعالیت میکروبی خاک از طریق افزایش فشار اسمزی محیط و اثر سمی برخی یون‌ها می‌باشد. همچنین مطالعات نامکوک و همکاران (۲۰۰۲) بر پالایش خاک‌های آلوده به روغن موتور نشان داد که پ‌هاش یک روند مشخص نداشته و اثر تیماردهی بر آن معنی‌دار نیست. با توجه به اینکه در این مطالعه افزایش هدایت الکتریکی در روش‌ها باعث کند شدن فرآیند زمین‌پالایی شده و همچنین پ‌هاش تغییرات قابل‌توجهی را نشان نمی‌دهد این نتایج تأییدی بر نتایج تحقیق حاضر است.

تنفس میکروبی

نتایج نشان داد که میزان فعالیت باکتری‌ها در بازه زمانی شروع کار تا هفته دوم محدود بوده ولی بین هفته‌ی دوم تا پنجم افزایش یافته و به حداکثر رسیده است (جدول۲). سپس از هفته‌ی پنجم تا دهم کاهش یافته است. در بین هفته‌ی دوم تا پنجم، باکتری به شرایط موجود تا حدی سازش نموده، مواد غذایی (هیدروکربنهای نفتی) به مقدار کافی در اختیار باکتری بوده و شرایط رطوبتی و دمایی نسبتاً مناسب بوده است.

بین هفته‌های پنجم تا دهم احتمالاً به علت کم شدن ذخیره غذایی فعالیت باکتری کم شده است (شکل ۱). مارلین و همکاران (۲۰۰۵) نیز به میزان تنفس میکروبی بیشتر در خاک، طی ماه‌های ابتدایی دوره زمین‌پالایی آلاینده‌های نفتی اشاره داشته و گزارش کردند که به تدریج با تجزیه و تخریب ترکیبات نفتی و باقی ماندن ترکیبات کربنی سنگین‌تر در خاک که قابلیت دسترسی زیستی پایین‌تری دارند، تنفس میکروبی کاهش یافت. بر این اساس، تیمار بهم زدن چهار روز یکبار از نظر افزایش در تنفس میکروبی تفاوت معنی‌داری را نسبت به تیمار شاهد نشان داد ($p<۰/۰۵$) ولی در تیمار بهم زدن روزانه از این نظر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱).

غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی

بررسی نتایج حاصل از تأثیر روش‌های اعمال شده بر میزان غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی در شکل ۲ نشان داده شده است. کمترین تغییرات در میزان هیدروکربن‌های نفتی، با ۶/۲ درصد کاهش هیدروکربن‌ها در شاهد نسبت به نمونه اولیه (پیش از اعمال روش) بود. در روش بهم زدن روزانه، میزان کاهش آلودگی نفتی در مدت زمان ده هفته، ۷/۸ درصد بود که ۴/۱ درصد از این مقدار دربازه زمانی شروع آزمایش تا هفته دوم، ۱/۱ درصد در بازه زمانی هفته دوم تا هفته پنجم و ۲/۷ درصد باقی مانده مربوط به بازه زمانی هفته پنجم تا دهم می‌باشد (شکل ۲).

همچنین، میزان آلودگی نفتی در روش بهم‌زدن چهار روز یکبار، با گذشت زمان کاهش پیدا کرد که این کاهش در کل مدت زمان ده هفته به میزان ۱۱/۷ درصد بود که از این مقدار حدود ۳/۷ درصد در بازه زمانی شروع بهم‌زدن چهار روز یکبار تا دو هفته پس از اعمال تیمار، ۷/۲ درصد در بازه زمانی هفته دوم تا هفته پنجم و ۱/۲ درصد در بازه زمانی هفته پنجم تا دهم اتفاق افتاده است (شکل ۲). مقایسه تیمارهای بهم‌زدن روزانه و هم زدن چهار روز یکبار نشان داد که کاهش در میزان آلودگی کل هیدروکربن‌های نفتی در تیمار بهم‌زدن چهار روز یکبار بیشتر از هم زدن روزانه بوده است. کارایی بهتر بهم‌زدن چهار روز یکبار در کاهش آلودگی کل هیدوروکربن‌ها احتمالاً به این علت بوده که عمل بر هم زدن محیط خاک که انجام بیش از حد آن مانع فعالیت باکتری‌ها می‌باشد در این روش کمتر صورت گرفته است. همچنین میزان هدایت الکتریکی در تیمار بهم‌زدن روزانه به دلایل گفته شده با گذشت زمان بالا رفته که عامل بازدارنده‌ی دیگری را برای فعالیت باکتری‌های تجزیه کننده هیدروکربن‌ها ایجاد نموده است. همچنین بر اساس نتایج مشخص شد که با افزایش زمان در هر دو روش میزان کاهش آلودگی از روندی نزولی تبعیت نموده است. مطالعه شرایط نشان داد که دمای هوای در طول مدت آزمایش در محل نگهداری نمونه‌ها از ۱۴ تا ۳۷ درجه سانتی‌گراد تغییرات داشته است. با توجه به اینکه باکتری‌های تجزیه کننده هیدروکربن‌های نفتی بومی منطقه، از جنس سودوموناس تعیین شده‌اند دمای مناسب برای فعالیت این باکتری‌ها بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. بنابراین دمای هوا در طول دوره آزمایش از حدود نیمه‌ی دوره آزمایش بیشتر از دمای مطلوب باکتری بوده و احتمالاً دما به عنوان عامل کاهنده فعالیت

باکتری و در نتیجه میزان کاهش تجزیه هیدروکربن‌های نفتی نسبت به شروع بازه عمل کرده است (شکل ۲). گوگی و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعه زمین‌پالایی خاک‌های آلوده به نفت خام در محل ریزش نفت مشاهده کردند که هوادهی و تلقیح میکروبی باعث تجزیه ۷۵ درصد از نفت خام گردید. کلون و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه کاربرد مواد مغذی و حرارت‌دهی در تجزیه هیدروکربن‌های نفتی در خاک‌های زیرسطحی آلوده به نفت قطب جنوب نتیجه گرفتند که با افزایش دما از ۴ به ۲۰ درجه سانتی‌گراد و به دنبال آن افزایش جمعیت میکروبی، تجزیه بیولوژیکی هیدروکربن‌ها افزایش می‌یابد.

بررسی اثر زمین‌پالایی بر اجزاء مختلف هیدروکربن‌های نفتی

نتایج حاصل از کروماتوگرافی ستونی نشان داد که در این مطالعه تیمار بهم‌زدن چهار روز یکبار بیشترین اثر را در کاهش ترکیبات مختلف نفتی داشت که این کاهش برای هیدروکربن‌های اشباع ۳۸/۵، آروماتیک‌ها ۱۲/۱ و رزین‌ها ۱۲/۸ بود (شکل ۳ و ۴).

اثر شاهد در کاهش این ترکیبات از بقیه تیمارها کمتر بود که این کاهش برای هیدروکربن‌های اشباع ۲۳/۵، آروماتیک‌ها ۸/۲ و رزین‌ها ۱۰/۷ بود. از بین دو تیمار بهم‌زدن روزانه و بهم‌زدن چهار روزه نیز تیمار بهم‌زدن چهار روزیکبار نتیجه بهتری را در کاهش ترکیبات هیدروکربنه نشان داد بدین ترتیب که در هفته پنجم میزان کاهش هیدروکربن‌های اشباع در تیمار بهم زدن چهار روز یکبار ۸ درصد بیشتر از تیمار بهم زدن روزانه بود. این نتایج، از یافته‌های حاصل از درصد آلودگی خاک تبعیت می‌کند. همچنین، کاهش آروماتیک‌ها نسبت به سه ترکیب دیگر در تمامی تیمارها در طی دوره آزمایش کمتر بود (شکل ۴).

آیوتامو و همکاران (۲۰۰۶) نیز در مطالعات خود دریافتند که بطور معمول ترکیبات آروماتیک موجود در نفت خام سمی‌تر از ترکیبات آلیفاتیک با همان تعداد اتم کربن می باشند و در غلظت‌های بالاتری نیز در آب یافت می‌شوند. به همین دلیل کمترین کاهش در بین ترکیبات مختلف هیدروکربنی، در این گروه مشاهده شده است. به طورکلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که کاهش هیدروکربن‌های اشباع در تمامی تیمارها بیشتر از رزین‌ها و در رزین‌ها بیشتر از آروماتیک‌ها بود.

بررسی نتایج کروماتوگرافی گازی

نتایج حاصل از کروماتوگرافی گازی در شکل ۵ نشان داده شده است.

به منظور سهولت بررسی تغییرات نرمال-آلکان‌ها، بر اساس نزدیکی (شباهت) ترکیب شیمیایی آنها در ۳ دسته به ترتیب زیر تقسیم‌بندی شدند (گیلر و همکاران ۲۰۰۲):

C14-C17< C18-C21< C22-C25

دسته اول که نرمال‌آلکان‌های کوچکتر از C14 را شامل می‌شود به علت فرار بودن در هیچ‌یک از پیک‌های حاصل از تزریق نمونه‌ها به دستگاه گازکروماتوگرافی مشاهده نشد، به همین دلیل نیز در نمونه‌ها بررسی نشده است.

در این مطالعه کربن‌های C25 تا C28 بر خلاف سایر نرمال آلکان‌ها کمتر دچار تغییر و تحول شده‌اند. ترکیبات کربن C25 جزء نرمال آلکان‌های فرد می‌باشد که اولین بار توسط چیبنال[1] در سال ۱۹۳۴ مورد بررسی قرار گرفت. او پی برد که گیاهان بیشتر پارافین‌ها با اتم‌های فرد را در زنجیره خود دارند. او به این نکته پی برد که این پارافین‌ها از C25 تا C36 در گیاهان متغیرند، از سوی دیگر باکتری‌ها به طور قابل توجه نرمال آلکان‌های فرد با منشأ زمینی را نمی‌توانند تجزیه کنند.

نتایج حاصل از کروماتوگـرافی گازی نشان داد که بیشـترین کاهش آلـودگی نفتی در ترکیبات با تعداد کربن ۲۱–۱۸ بوده که تفاوت چشمگیری را با سایر ترکیبات نشان داده است (شکل ۵). مقایسه تیمارها بیانگر این است که کاهش آلودگی نفتی ترکیبات با تعداد کربن ۲۱–۱۸ در تیمار بهم‌زدن چهار روز یکبار ۲۱/۴، بهم‌زدن روزانه ۲۱/۳ و شاهد ۲۰/۳ درصد نسبت به شروع آزمایش می‌باشد. همچنین تیمارهای مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری را از نظر کاهش در ترکیبات با تعداد اتم کربن متفاوت نسبت به یکدیگر نشان می‌دهند (شکل ۵).

با توجه به نتایج بدست آمده، بخش پارافینی با تعداد کربن ۲۱–۱۸ به علت کوتاه بودن طول زنجیره‌شان و جذب سطحی شدن کلوئیدهای خاک، پس از اعمال تیمارها کاهش زیادی را نشان می‌دهد اما در سایر ترکیبات با طویل شدن زنجیره هیدروکربنی میزان جذب سطحی ذرات کلوئیدی نیز کاهش یافته است.

این نتایج بدست آمده با تحقیقات گیلر و همکاران (۲۰۰۲) و دیبل و بارتا (۱۹۷۹) مطابقت دارد.

بررسی نتایج آزمایش آبگریزی

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که میزان آب‌گریزی در طی دوره آزمایش، در تیمارهای مختلف کاهش یافته است، این کاهش در تیمار بهم‌زدن چهار

---

1. Chibnall

روزیکبار ۴۲/۴، بهم‌زدن روزانه ۳۳/۹ و در شاهد ۲۶/۴ درصد نسبت به مقدار آب‌گریزی در نمونه اولیه (قبل از اعمال تیمار) می‌باشد (شکل ۶).

بیشترین کاهش از بین تیمارها در تیمار بهم‌زدن چهار روز یکبار مشاهده شد. با توجه به اثر مواد هیدروکربنی در افزایش خاصیت آب‌گریزی و کاهش این ترکیبات در تیمار بهم‌زدن چهار روزیکبار (شکل ۶) نسبت به سایر تیمارها، تأییدی بر نتایج حاصل است.

بر اساس پژوهش‌های انجام شده، افزایش مقدار موادآلی و کربن‌آلی خاک، سبب افزایش آب‌گریزی در خاک می‌شود (فرانکو و همکاران، ۲۰۰۰). خاک‌هایی با مقدار موادآلی بالا، معمولاً آب‌گریز بوده و این خصوصیت سبب نامساعد شدن شرایط برای فعالیت میکروبی و کاهش سرعت معدنی شدن موادآلی و از طرفی سبب پایداری خاک‌دانه‌ها و بهبود شرایط فیزیکی خاک می‌گردد (پچمن و همکاران ۲۰۰۰).

جمع بندی و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که اعمال تیمار زمین-پالایی(بهم زدن خاک روزانه و چهار روز یکبار) سبب افزایش میزان فعالیت و تنفس میکروبی نسبت به نمونه شاهد گردید. این افزایش فعالیت و تنفس میکروبی در تیمار بهم زدن چهار روز یکبار اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد داشت. بیشترین میزان کاهش غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی در تیمار بهم زدن چهار روز یکبار به میزان ۱۱/۷ درصدی نسبت به غلظت اولیه کل هیدروکربن‌های نفتی در ابتدای دوره آزمایشی مشاهده شد. همچنین، در تیمار بهم زدن روزانه نیز کاهش ۷/۷ درصدی نسبت به غلظت اولیه مشاهده شد. از بین سه ترکیب هیدروکربنی اشباع، آروماتیک و رزین بیشترین کاهش در هیدروکربن‌های اشباع با تعداد کربن ۲۱–۱۸ مشاهده شد. کاهش غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی در خاک باعث کاهش خاصیت آبگریزی گردید که این میزان در تیمار بهم زدن چهار روز یکبار نسبت به خاصیت آبگریزی در نمونه اولیه (پیش از اعمال تیمار) به حدود نصف کاهش یافت. لذا، اعمال تیمار زمین‌پالایی جهت بهینه‌سازی فعالیت ریزجانداران خاک و کاهش غلظت آلاینده‌های نفتی خاک مؤثر باشد. بنابراین، فرآیند زمین‌پالایی می‌تواند به عنوان روشی مؤثر و در عین حال ساده، کم هزینه و با حداقل خسارت به محیط زیست جهت پالایش آلاینده‌های آلی بویژه آلاینده‌های نفتی در سطح وسیع مورد توجه قرار گیرد.

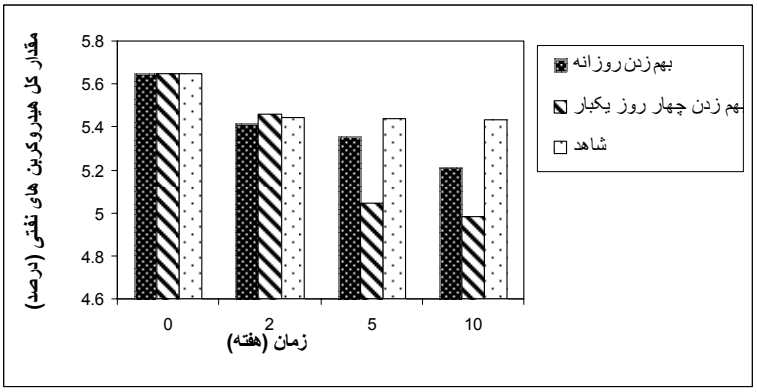
جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

ویژگی / تیمار	شاهد	بهم‌زدن روزانه	بهم زدن چهار روز یکبار
شوری (dS/m)	۱۴۳	۲۰۲	۱۳۶
پ هاش	۶/۹	۶/۹	۷/۱
شن (٪)	۲۸	۳۰	۳۰
سیلت (٪)	۴۴	۴۲	۴۴
درصد رس (٪)	۲۸	۲۸	۲۶
بافت خاک	لوم رسی	لوم رسی	لوم رسی

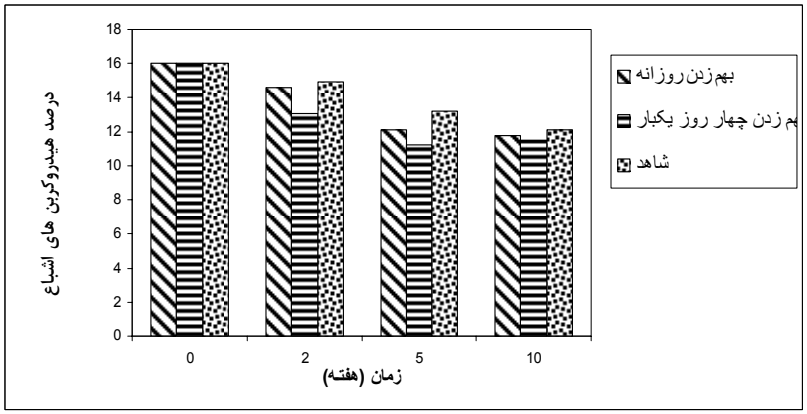
جدول ۲- نتایج تجزیه‌های میکروبی، فیزیکی و نفتی خاک‌های مورد مطالعه

ویژگی / تیمار	شاهد	بهم‌زدن روزانه	بهم زدن چهار روز
تعداد باکتری تجزیه کننده هیدروکربن‌ها	۵×۱۰^{۳}	۹×۱۰^{۳}	۷×۱۰^{۳}
شاخص آبگریزی	۱/۴	۱/۱۷	۱/۰۲
تنفس میکروبی	۲۱۴/۸	۲۱۴/۲	۲۱۶
درصد آلودگی مواد نفتی	۵/۴۳۲	۵/۲۱	۴/۹۹

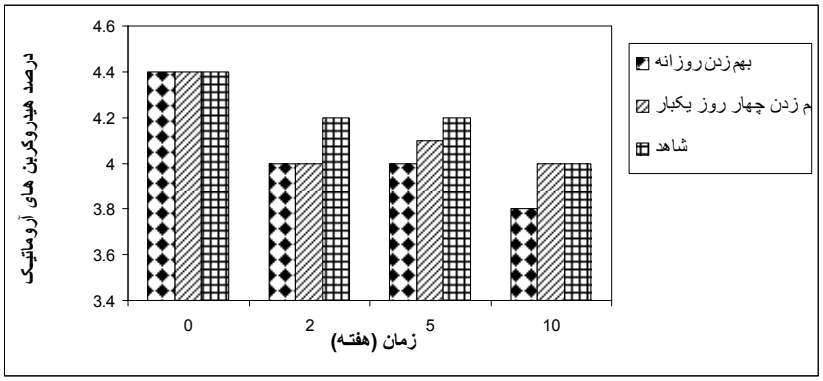
شکل ۱- بررسی تغییرات تنفس میکروبی در تیمارها در طول آزمایش



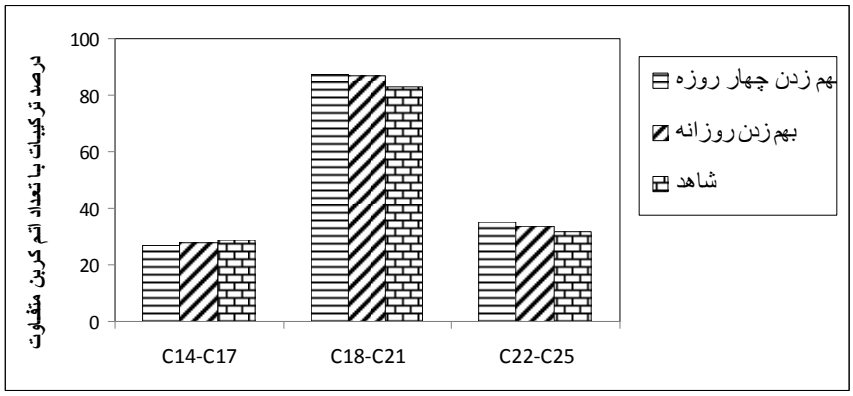
شکل ۲- بررسی تغییرات آلودگی نفتی در تیمارهای مختلف زمین‌پالایی در طول ده هفته



شکل ۳- بررسی تغییرات هیدروکربن‌های اشباع (نرمال آلکان‌ها) در روش‌های مختلف در طول ده هفته



شکل ۴- بررسی تغییرات هیدروکربن‌های آروماتیک در تیمارهای مختلف



شکل ۵- مقایسه تغییرات کربن ها در تیمارهای مختلف در طول ده هفته

شکل ۶- بررسی تغییرات آبگریزی در تیمارهای مورد آزمایش

فهرست منابع:

۱. رنگ‌زن، ن. ۱۳۸۵. بررسی نقش گیاهان در پالایش خاک‌های آلوده به گازوئیل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران.ص۱۰۰-۱.

۲. بسالت‌پور، ع.ا.، حاج عباسی، م.ع.، درستکار،و.، ترابی، غ.، ۱۳۸۹، اصلاح خاک های آلوده به هیدرو کربور های نفتی به روش تر کیبی، مجله علوم و فنون کشاورزی ومنابع طبیعی ،علوم آب و خاک، سال چهارم، شماره پنجاه وسوم، صفحات ۱۴۲-۱۲۹.

3. Alef, K., and P. Nannipieri. 1995. Methods in applied soil microbiology and biochemistry, Harcourt brace & company (Eds), 214-216.
4. Anderson, W.G. 1989. Wettability literature survey: Part 3. The effects of wettability on the electrical properties of porous media, Petro Technol.1371-1378, Dec.
5. Ayotamuno, M., J., Kogbara, R.B., Ogaji, S.O.T., and Probert, S.D. 2006. Bioremediation of a Crude oil Poulluted Agricultural _ Soil at Port Harcort, Nigeria. Applied Energy, 85:1249-1257.
6. B.K. Gogoi, N.N. Dutta, P. Goswami and T.R. Krishna Mohan. 2003. A case study of bioremediation of petroleum-hydrocarbon contaminated soil at a crude oil spill site, Adv. Environmental Research, 7:767–782.
7. Coulon, F., Pelletier, E. and L. Gourhant. 2005. Effects of nutrient and temperature on degradation of petroleum hydrocarbons in contaminated sub-antarctic soil. Chemosphere, 58:1439-1448.
8. Christopher, S. H., Marsden, P. J., and A.S. Sharleff. 1988, Evaluation of methods 3540 (soxhlet) and 3550 (sonication) for evaluation of appendix LX analyses from solid samples. S-CUBED, Report for EPA contract 68-03-33-75, work assignment No.03, Document No. SSS-R-88-9436.
9. Dibble, J. T. and R. Bartha. 1979. Effect of environmental parameters on the biodegradation of oil sludge, Applied and Environmental Microbiology, pp:729-739.
10. Franco, C. M. M., Clarke, P. J., and M. E. Tate. 2000. Studies on non-wetting sands: Hydrophobic properties and chemical characterization of natural water-repellent materials, J.Hudrol, 3:253-263.
11. Gagni, S. and D Cam. 2007. Stigmastane and hopan as conserved biomarkers for estimatin oil biodegradation in a former refinery plant-contaminated soil. Chemosphere, 67:1975-1981.
12. Geller, A. Michels, J., Track, T., Gehrke, U., and D. Sell, 2002. Grundlagen derbiologischen bodensanierung, Biologigische verfahren zar Bodensansanerung, UBA, Berline.
13. Goi, A., N. Kulik, and M.Trapido. 2006. Combined chemical and biologicaltratment of oil contaminated soil. Journal of chemosphere.63:1754-1763.
14. Hallet, P. D., A. R. Dexter and J. P. K. Seville. 1995. Identification of preexisting cracks on soil fracture surfaces using dye. Soil till, Res, 33:163-184.
15. Harmsen, J. 1991. Possibilities and limitation of land farming for cleaning contaminated soils. In: olfenbuttel, R.F.H. (Eds), On-site bioremediation process for xenobiotic and hydrocarbons treatment. Butterwort-Hetmann, Stoneham, MA, pp. 215-272.
16. Harvey Particia, J., B. F. Campenella and P. M. L. Castro. 2002. Phytoremediation of polyaromatic hydrocarbons, Anilines and Phenols, Environmental Science and Pollution, Res 9:29-47.
17. Korboulewsky, N., Bonin, G., and C. Massiani. 2002. Biological and ecophisiological reaction of white wall rocket (Diplotaxis erucoides L. grown on biosolid compost. Environmetal Pollution, 117: 365-370.
18. Leo, R., B. Jastorff and D.Leo. 1982. Afnahme und beseithudi von use transport-und Loschunfallen im watt-srrand der kust, Froschungsoricht Teil2, Bundesministerium fur Forschung und Technologie.

19. Morelli, I. S., M. T. Del Panno, G. L. De Antoni and M. T. Painceira. 2005. Laboratory study on the bioremediation of petrochemical sludge contaminated soil. International Bioremediation & Biodegradation, 55:271-278.
20. Namkong, W., E. Y Hwang and, J. S. Park. 2002. Bioremediation of diesel-contaminated soil with composting. Environmental Pollution, 119:23-31.
21. Ouyang, W., H. Liu, V. Murygina, and Y. Yongyong. 2005. Comparison of bio-auugmentation and composting for remediation of oily sludge: A field-scale study in china, Process Biochemistry, 40:3763-3768.
22. Pachmann, J., R. Horton., and P. R. Van der poleg. 2000. Modified sessible drop method for assessing initial soil-water contact angle of sandy soil. soil science, 64: 564-567.
23. Pope, D.F., and J.E. Matthews. 1993. Bioremediation using the land treatment consept. USEPA/600/R-93/194. Robert S. Kerr, environmental Research Laboratory. US Environmental Protection Agency.
24. Sotsky, J.B., C. W. Greer and R. W. Atlas.1994. Frequency of Genes in Aromatic and Alphatic hydrocarbon Biodegradation pathways with in Bacterial population from Alaskan sediments. Can. Y., Microbial, 40: 981-985.
25. U.S. EPA 510-B-95-007. 1994. How to Evaluate Alternative Cleanup Technologies for Underground Storage Tank Sites: A Gide for Corrective Action Plane Reviedwers. Chapter 5. OUST's publication.