ORIGINAL ARTICLE

Bioremediation of contaminated soil with Phenanthrene and Anthracene using poultry manure as co-substrate

Mohammad Mehdi Amin[1,2],
Tayebe Kalteh [2,3],
Mohsen Rezaei [4],
Nezamaddin Mengelizadeh [2,3]
Pegah Salehi [2,3],
Ali Fatehizadeh [1,2]

[1] Environment Research Center, Research, Institute for Primordial Prevention of Non-communicable disease, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran;
[2] Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran;
[3] Student Research Committee, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran;
[4] Master of Medical Mycology Science, Microbiological Department, Iranian Biological Research Center (IBRC), Tehran, Iran.

(Received September 16, 2016 Accepted February 12, 2017)

Abstract

Background and purpose: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are a group of environmental pollutants in soils and sediments that causes concern because of their toxic, mutagenic and carcinogenic effects. The purpose of this study was to determine the feasibility of utilizing poultry manure as a co-substrate to enhance the bioremediation of phenanthrene and anthracene in contaminated soil.

Materials and methods: The soil samples were homogenized and filtered using a 2.0 mm sieve. The soil samples were added into nine aluminum buckets. Then, phenanthrene and anthracene solution were added into buckets. Finally the inoculum was mixed with buckets' contents. The treatment was performed with or without poultry manure. In all treatments, tap water was added during the bioremediation to adjust the moisture content (15 - 20%) according to the recommended values for the bioremediation process. All of the bioremediation experiments were carried out in duplicate during 45 days of incubation.

Results: The biodegradation data of anthracene and phenanthrene indicates about 92.65% and 95.62% (samples without co-substrate), 96.07% and 95.91% (samples contain co- substrate) degradation at the concentration of 12.5 mg/kg. Also, the experimental data revealed that the PAHs removal percentage increases due to increase in incubation time. Moreover, the results of the changes COD showed that highest rate COD removal in sample containing co-substrate occurred.

Conclusion: According to this result, the presence of poultry manure as a co-substrate can enhance the anthracene and phenanthrene removal comparing to the control sample and the sample contain co-substrate.

Keywords: Bioremediation, Phenanthrene, Anthracene, Fungi

J Mazandaran Univ Med Sci 2017; 26 (146): 139-147 (Persian).

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره بیست و ششم شماره ۱۴۶ اسفند سال ۱۳۹۵ (۱۴۷-۱۳۹)

احیای بیولوژیکی خاک های آلوده به فنانترن و آنتراسن با استفاده از کود مرغی به عنوان کمک سوبسترہ

محمد مهدی امین[۱،۲]
طیبه کلته[۲،۳]
محسن رضایی[۴]
نظام الدین منگلی زاده[۲،۳]
پگاه صالحی[۲،۳]
علی فاتحی زاده[۱،۲]

چکیده

سابقه و هدف: هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) یک گروه از آلاینده‌های محیطی در خاک و رسوبات هستند که به دلیل سمیت، اثرات موتاژن و کارسینوژن باعث نگرانی شده‌اند. هدف از این مطالعه بررسی تعیین استفاده از کود مرغی به عنوان یک کمک سوبسترہ برای افزایش احیای بیولوژیکی فنانترن و آنتراسین در خاک آلوده شده می‌باشد.

مواد و روش‌ها: ابتدا نمونه خاک یکنواخت شده و با استفاده از الک دارای منافذ ۲mm غربال شده و به ۹ ظرف پایلوت آلومینیومی اضافه گردید. سپس فنانترن و آنتراسن در داخل ظروف حاوی خاک مخلوط و در نهایت قارچ ریسه سفید نیز به خاک اضافه گردید. آزمایش‌ها در دو حالت با افزایش و بدون افزودن کودمرغی انجام شد. در همه پایلوت‌ها، طی احیای بیولوژیکی، برای تنظیم رطوبت (۲۰-۱۵ درصد)، آب به خاک اضافه شده و دوره انکوباسیون تا ۴۵ روز ادامه یافت.

یافته‌ها: نتایج حاصل از احیای بیولوژیکی کاهش ۹۲/۶۵ درصد و ۹۵/۶۲ درصد (پایلوت‌های بدون کمک سوبسترہ)، ۹۶/۰۷ درصد و ۹۵/۹۱ درصد (پایلوت‌های حاوی کمک سوبسترہ) در غلظت ۱۲/۵ mg/kg را نشان داد. همچنین داده‌های آزمایش نشان داد که میزان حذف PAHs به دلیل افزایش زمان انکوباسیون افزایش می‌یابد. علاوه بر این، نتایج تغییرات غلظت COD نشان داد که حداکثر میزان حذف COD در نمونه حاوی کمک سوبسترہ اتفاق می‌افتد.

استنتاج: بر اساس یافته‌های این مطالعه کاربرد کود مرغی به عنوان یک سوبسترہ می تواند حذف آنتراسین و فنانترن را از خاک های آلوده را بهبود دهد.

واژه های کلیدی: احیای بیولوژیکی، فنانترن، آنتراسن، قارچ

مقدمه

در سال‌های اخیر آلودگی زیست محیطی به خصوص خاک‌های آلوده شده از طریق فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی، باعث نگرانی زیادی شده است(۱). از میان آلاینده‌های خاک، هیدروکربن‌های PAHs در محیط

مولف مسئول: طیبه کلته– اصفهان: دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، دانشکده بهداشت E-mail: t.kalte90@yahoo.com
۱. مرکز تحقیقات محیط زیست، پژوهشکده پیشگیری اولیه از بیماری های غیرواگیر، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۲. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۳. کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۴. کارشناس ارشد قارچ شناسی پزشکی، آزمایشگاه قارچ شناسی، مرکز ملی ذخایر ژنتیکی و زیستی ایران، تهران، ایران
تاریخ دریافت : ۱۳۹۵/۶/۲۶ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات : ۱۳۹۵/۷/۱۸ تاریخ تصویب : ۱۳۹۵/۱۱/۲۴

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

اغلب به صورت مخلوط‌های پیچیده‌ای حضور دارند و به صورت منفرد دیده نمی‌شوند. این آلاینده‌ها دسته آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) از جمله‌های آلاینده‌های پایدار تولید شده از طریق فرآیندهای سوزاندن طبیعی و فعالیت‌های انسانی می‌باشد(۲).

این آلاینده‌ها دسته بزرگی از سرطان‌زاهای محیطی می‌باشند که در همه جا از جمله آب، هوا و خاک به عنوان آلاینده‌های محیطی دیده می‌شوند(۳). PAHs ترکیبات آلی متشکل از دو یا چند حلقه بنزنی بوده و به دلیل آبگریزی، حلالیت کم در آب و وزن مولکولی بالا در محیط بسیار پایدار می‌باشند(۴). خواص سمی و سرطان‌زای مواد حاوی PAHs قبل از این‌که این ترکیبات کشف شوند، گزارش شده است. به‌طور مثال در سال ۱۸۸۰ نرخ بالای سرطان پوست در کارگران صنایع پالایشگاهی و قطران زغال سنگ پارافین انگلستان، مشاهده شد(۵). علاوه بر این، ترکیبات موتاژن و کارسینوژن، ویژگی‌های نیمه فرار بعضی از PAHs باعث نگرانی سازمان حفاظت زیست محیطی آمریکا (USEPA) شده است(۷،۶). از این‌رو سازمان حفاظت زیست محیطی آمریکا شانزده نوع از ترکیبات PAHs را برای اصلاح یا حذف به عنوان آلاینده‌های اولویت دار لیست کرده است(۸).

روش‌های مختلفی همچون فرارسازی، فتواکسیداسیون، تجمع بیولوژیکی و جذب روی ذرات خاک برای حذف PAHs از محیط مورد استفاده قرار می‌گیرد(۲). روش‌های معمول فیزیکی و شیمیایی به دلیل داشتن هزینه اپراتوری بالا و تولید آلاینده ثانویه دارای معایب قابل توجهی می‌باشد. امروزه بیش‌تر کشورها از احیای بیولوژیکی به‌وسیله میکروارگانیسم هااستفاده می‌کنند که یک روش مناسب برای تخریب PAHs به دلیل تجزیه کامل آلاینده‌ها می‌باشد(۹).

احیای بیولوژیکی یک روش کنترل آلاینده با استفاده از سیستم بیولوژیکی است که برای کاتالیز تجزیه یا تغییر شکل انواع آلاینده‌های شیمیایی سمی به فرم سمیت کم‌تر یا بی‌ضرر مورد استفاده قرار می‌گیرد(۱۰).

همچنین بعنوان یک فرآیند طبیعی بر پایه باکتری، قارچ و گیاهان که برای تغییر آلاینده و استفاده به عنوان انرژی و منبع کربن برای رشد سلول‌ها می‌باشد(۱۲،۱۱) از جمله مزایای کاربرد کود مرغی می‌توان به افزایش مواد آلی خاک، اصلاح فعالیت بیولوژیکی خاک، افزایش چسبندگی خاک‌های شنی، کاهش چسبندگی خاک‌های رسی، افزایش میکرو ارگانیسم‌های مفید خاک، تیره کردن رنگ خاک و جذب انرژی بیش‌تر، بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و حاصلخیزی خاک، کم کردن جرم حجمی ظاهری و افزایش تخلخل و نفوذ پذیری خاک اشاره نمود. در سال‌های اخیر از میان این ارگانیسم‌ها استفاده ازقارچ ریسه سفید به عنوان تجزیه‌کننده PAH بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته است. این قارچ‌ها آنزیم‌های خارج سلولی همچون لاکاز، منگنز پراکسیداز (MnP)، لیگنین پراکسیداز (LiP) و دی اکسیژناز با مشخصات سوبسترہ بسیار کم تولید می‌کنند که برای تغییر شکل بیش‌تر آلاینده‌های زیست محیطی همچون PAHs مناسب می‌باشد(۱۴،۱۳). علاوه بر این قارچ های ریسه سفید توانایی رشد در محیط‌های با غلظت کم مواد مغذی، رطوبت کم و اسیدیته را دارا می‌باشند(۱۳).

مطالعات انجام شده چندان به نحوه اصلاح یا حذف PAHs از محیط خاکی اشاره نشده است و در کشور ایران نیز مانند سایر کشورهای در حال توسعه به طور گسترده مطالعه‌ای انجام نشده است. با توجه به مطالب فوق هدف از این مطالعه بررسی بازدهی احیای بیولوژیکی هوازی روی حذف فنانترن و آنتراسن از خاک های آلوده شده بوسیله قارچ با کمک سوبسترہ می باشد. همچنین در این مطالعه تاثیر غلظت اولیه PAHs و زمان انکوباسیون در سیستم احیای بیولوژیکی و تغییرات pH و COD در طی دوره احیای بیولوژیکی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش ها

مواد شیمیایی: کلیه مواد مورد استفاده در این مطالعه خالص و بدون هیچ خالص‌سازی اضافی از شرکت

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

سیگما آلدریچ آمریکا خریداری شد. فنانترن و آنتراسن از شرکت سیگما آلدریچ آمریکا به عنوان منبع آلوده کننده خاک مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفت.

خاک و کود مرغی: خاک مورد استفاده در این مطالعه، از اطراف شهر اصفهان جمع‌آوری شد. نمونه خاک ابتدا در هوای آزاد خشک شده و سپس برای حذف زائدات آن، با استفاده از الک استاندارد مش ۱۰ با اندازه منافذ ۲ میلی‌متر غربال شده و در دمای ۲۴ درجه سلسیوس نگه داری شد. نمونه اولیه خاک بر اساس کتاب روش‌های استاندارد و با استفاده از دستگاه HPLC مورد آنالیز قرار گرفت و نتایج نشان داد که نمونه خاک غیر آلوده بوده و هیچ نوع PAHs در آن شناسایی نشد. شاخص‌های دیگر خاک توسط شرکت خصوصی در شهر اصفهان مورد آنالیز و تجزیه تحلیل قرار گرفته که به طور نمونه برخی از شاخص های ویژه خاک در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

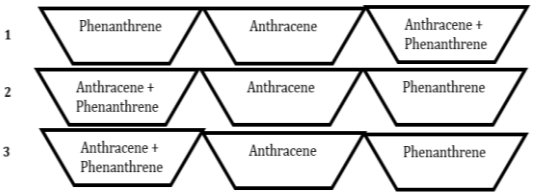
جدول شماره ۱: مشخصات خاک مورد استفاده در این مطالعه

EC, ds/m	pH	N, %	P, ppm	Soil physical feature		
				S, %	Si, %	C, %
۱۴/۱	۸/۱	۰/۳۳	۲۲۴	۴۷	۲۹	۲۴

کود مرغی به دست آمده از مزرعه مرغداری اصفهان خشک شده و برای حذف زائدات اضافی کود با استفاده از الک استاندارد مش ۱۰ با اندازه منافذ ۲ میلی‌متر غربال شده و به عنوان کمک سوبسترہ برای احیای بیولوژیکی خاک آلوده شده با PAHs آماده‌سازی گردید.

میکروارگانیسم: از سوسپانسیون‌های قارچی شامل سویه‌های *Phanerochaete chrysosporium*، *Trichoderma harzianum*، *Mucor racemosus* استفاده شد. تمامی فرآیندهای اسپورگیری و تهیه این سوسپانسیون‌ها در مرکز ملی ذخایر زیستی و ژنتیکی ایران انجام شد.

فرآیند احیای بیولوژیکی: ابتدا نمونه‌های خاک یکنواخت شده و با استفاده از الک دارای روزنه ۱۰ غربال شد و در آزمایشگاه توزین گردید. ۴ کیلوگرم نمونه خاک به ۹ نمونه پایلوت آلومینیومی اضافه گردید. سپس برای افزودن PAHs انتخاب شده به داخل ظروف حاوی خاک، ابتدا فنانترن و آنتراسن در استون به عنوان حلال حل شده و سپس با خاک مخلوط شد و به منظور اطمینان تبخیر استون، ۷ روز ذخیره شد. غلظت مورد بررسی دراین مطالعه ۵۰ mg/l می‌باشد که در ۴ کیلوگرم خاک برابر ۱۲/۵ mg/kg خواهد بود در نهایت قارچ ریسه سفید و کمک سوبسترہ به خاک اضافه گردید. در همه نمونه پایلوت‌ها، آب خام در طی احیای بیولوژیکی برای تنظیم رطوبت خاک (۲۰-۱۵ درصد) اضافه شده و سپس آزمایشات احیای بیولوژیکی برای ۴۵ روز انجام شد (تصویر شماره ۱).



تصویر شماره ۱: پایلوت های مورد مطالعه: ۱- ظروف پایلوت کنترل؛ ۲- ظروف پایلوت حاوی قارچ ریسه سفید؛ ۳- ظروف پایلوت حاوی قارچ ریسه سفید و سوبسترہ کمکی

آنالیز فنانترن وآنتراسن: برای تعیین غلظت فنانترن آنتراسن، ۲ گرم خاک آلوده شده خشک گردید و در ۱۰ میلی‌لیتر استونیتریل حل شد. سپس سوسپانسیون حاصله در حمام اولتراسونیک در دمای ۴۵-۴۰ درجه سلسیوس قرار داده و بعد از ۲ دقیقه استخراج گردید. محلول استخراج شده سپس بر روی همزن با دور ۲۰۰ rpm به مدت ۶۰ دقیقه قرار داده شد. نمونه استخراج شده با فیلتر کاغذ (Whatman)، فیلتر شده و توسط دستگاه HPLC با مشخصات ذکر شده در جدول شماره ۲ شناسایی شد.

جدول شماره ۲: مشخصات دستگاه HPLC

عنوان	مشخصات
مدل دستگاه	HPLC Waters
نوع و مشخصات ستون آنالیز	C18 ultra sep ES PAH QC specia 6o×2mm ID
نوع حلال فاز متحرک	Acetonitrile-water ratio: 80% to 20%
نرخ جریان حلال فاز متحرک	۰/۳ mL/min
حجم نمونه	۲۰ µl
طول موج اشکارساز UV	۲۳۰ nm

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

یافته ها

احیای بیولوژیکی آنتراسن وفنانترن

میزان کارایی روش احیای بیولوژیکی در حذف آنتراسن و فنانترن از خاک با استفاده از حضور قارچ بدون وجود سوبسترہ کمکی یا وجود آن در محیط، بررسی شد. نتایج حاصل در جدول شماره ۳ نشان می‌دهد که برای غلظت اولیه ۱۲/۵ mg/kg آنتراسن و فنانترن به ترتیب میزان حذف در پایلوت‌های گروه شاهد، همراه با قارچ و پایلوت‌های حاوی قارچ و سوبسترہ کمکی در زمان انکوباسیون ۲۹ روز ۱۳/۵ درصد و ۱۳/۸۶ درصد (گروه شاهد)، ۹۳/۷۶ درصد و ۹۱/۵ درصد (پایلوت حاوی قارچ)، ۹۵/۱ درصد و ۹۵/۲۶ درصد (پایلوت حاوی قارچ به همراه سوبسترہ کمکی) می‌باشد.

جدول شماره ۳: مشخصات درصد احیای بیولوژیکی آنتراسن و فنانترن به وسیله جمعیت قارچی

غلظت اولیه (mg/kg)	زمان انکوباسیون (day)	پایلوت شاهد (درصد)		پایلوت خاک بدون سوبسترہ کمکی(درصد)		پایلوت خاک همراه با سوبسترہ کمکی(درصد)	
		فنانترن	آنتراسن	فنانترن	آنتراسن	فنانترن	آنتراسن
	۱۴	۷/۸۲	۹/۷۶	۷۶/۲	۸۰/۴	۸۳/۶	۸۱/۹۶
۱۲/۵	۲۹	۱۳/۵	۱۳/۸۶	۹۱/۵	۹۳/۷۶	۹۵/۲۶	۹۵/۱
	۴۲	۱۵/۷۲	۱۷/۵	۹۸/۸	۹۹/۲	۹۸/۹	۹۸/۶

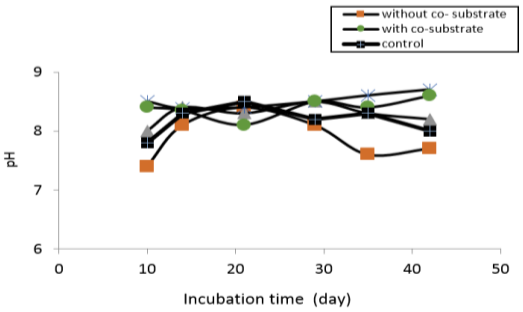
تعیین تاثیر زمان انکوباسیون در احیای بیولوژیکی

تاثیر زمان انکوباسیون در مقدار احیای بیولوژیکی آنتراسن و فنانترن با غلظت اولیه (۱۲/۵ mg/kg) مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج جدول شماره ۳ بیانگر آن است که در زمان انکوباسیون ۴۲ روز بیش‌ترین درصد احیای بیولوژیکی فنانترن مربوط به پایلوت خاک همراه با سوبسترای بیولوژیکی می‌باشد. همچنین در همین مدت انکوباسیون بیش‌ترین درصد احیای بیولوژیکی آنتراسن مربوط به پایلوت خاک بدون سوبسترای کمکی می‌باشد. زمان‌های مختلف انکوباسیون در جدول شماره ۳ آورده شده است.

تغییرات pH در طی احیای بیولوژیکی

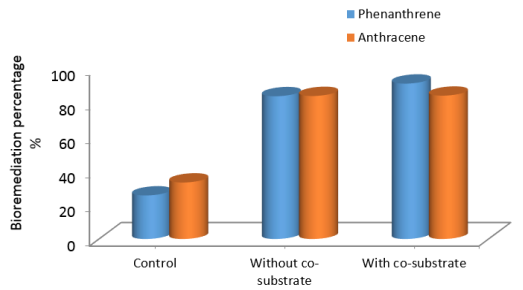
نتایج حاصل از بررسی تغییرات pH در نمودار شماره ۱ نشان می‌دهد که تغییرات pH در زمان انکوباسیون در هر سه نمونه پایلوت‌های شاهد، حاوی قارچ و پایلوت حاوی قارچ و سوبسترہ کمکی بین ۷/۵ تا ۸/۵ است.



نمودار شماره ۱: تغیرات pH در طی فرآیند احیای بیولوژیکی آنتراسن و فنانترن با غلظت های اولیه مختلف (۱۲/۵ mg/kg)

تغییرات COD در طی احیای بیولوژیکی

در طی احیای بیولوژیکی آنتراسن و فنانترن اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) به عنوان اندیکاتور برای میزان احیای بیولوژیکی و رشد میکروبی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نمودار شماره ۲، کاهش میزان COD در طی زمان انکوباسیون برای هر سه پایلوت و برای غلظت اولیه ۱۲/۵ mg/kg را نشان می‌دهد.این نتایج بیانگر این است که در گروه بدون سوبسترای کمکی آنتراسن و فنانترن بیش‌ترین کاهش میزان COD مشاهده شد.



نمودار شماره ۲: تغییرات COD در طی فرآیند احیای بیولوژیکی آنتراسن و فنانترن با غلظت اولیه (۱۲/۵ mg/kg)

بحث

در غلظت اولیه آنتراسن و فنانترن مطالعه شده، میزان حذف در پایلوت حاوی قارچ و پایلوت حاوی قارچ

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

بهمراه سوبسترہ کمکی بسیار بالاتر از پایلوت شاهد بود. این نتایج نشان می‌دهد که وجود میکروارگانیسم قارچ و سوبسترہ کمکی باعث افزایش حذف آلاینده‌های آنتراسن و فنانترن شد. افزایش تجزیه مشاهده شده در پایلوت حاوی سوبسترہ کمکی بیانگر آن است که کود مرغی حاوی مقادیر بالای کربن و نیتروژن و سایر مواد معدنی جهت تامین رشد میکروارگانیسم در خاک آلوده بوده و همچنین می‌تواند در احیای بیولوژیکی آنتراسن و فنانترن ممکن است همانند یک عامل کاتالیست عمل نماید. این نتایج با یافته‌های مطالعات پیشین هم‌خوانی دارد(۱۵،۱۱). علاوه بر این، مطالعه انجام شده توسط امین و همکاران نشان داد که کود مرغی حاوی جمعیت زیاد و متنوع از میکروارگانیسم‌ها است. غلظت‌های میکروبی در کود مرغی می‌تواند تا حد 10^{10} CFU/g و باکتری‌های گرم مثبت نظیر اکتینومیست‌ها، کلوستریدیاها، باسیلوس‌ها و لاکتوباسیلوس تقریبا ۹۰ درصد تنوع میکروبی کود را تشکیل می‌دهند(۱۶). وجود این دامنه گسترده میکروارگانیسم‌ها به همراه قارچ‌های دارای ریسه سفید همانند Phanerochaete chrysosporium باعث افزایش تجزیه بیولوژیکی آنتراسن و فنانترن در خاک آلوده در این پژوهش شده است. Sayara و همکاران در سال ۲۰۱۱ با بررسی زیست پالایی خاک آلوده به PAHs از طریق کمپوست به این نتیجه رسیدندکه کمپوست به عنوان سوبسترہ کمکی باعث افزایش حذف PAHs از خاک آلوده در مقایسه با گروه شاهد شد(۱۳). همچنین Atagana در مطالعه خود گزارش نموده که کود مرغی حاوی املاح معدنی، کربن و نیتروژن بوده و ضمن رشد باکتری‌های موجود در خاک، باعث افزودن دیگر میکروارگانیسم‌ها در جهت تجزیه PAHs می‌گردد(۱۵). وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۱ با بررسی کود خوک به عنوان سوبسترہ کمکی به این نتیجه رسیدند که افزایش مقدار کود خوک در خاک آلوده باعث افزایش تجزیه PAHs سه حلقه‌ای شده و همچنین گزارش نمودند که کود خوکی حاوی میکروارگانیسم‌های بومی موثر در تجزیه PAHs و نوترینت است(۱۷). مطالعه Haritash و Kaushik نشان داد که قارچ‌های ریسه سفید توانایی بالایی در حذف آلاینده‌های پایدار و همچنین PAHs به دلیل سیستم تجزیه لیگنین موجود در این نوع قارچ‌ها دارا هستند(۱۳). امین و همکارن با بررسی احیای بیولوژیکی بی‌هوازی پرکلرات با استفاده از سه نوع سوبسترہ کمکی (کود گاوی، کود مرغی و اتانول) نشان دادند که کود مرغی نسبت به دو سوبسترہ کمکی دیگر دارای بازدهی بالایی (۹۹/۷ درصد) در افزایش احیای بیولوژیکی پرکلرات بوده است(۱۶).

نتایج تاثیر زمان انکوباسیون در مقدار احیای بیولوژیکی آنتراسن و فنانترن با غلظت اولیه (mg/kg ۱۲/۵) در این مطالعه نشان داد که با افزایش زمان انکوباسیون میزان حذف آنتراسن و فنانترن به صورت جداگانه و همزمان در محیط خاک برای هر ۳ نمونه پایلوت (شاهد، حاوی قارچ و قارچ به همراه سوبسترہ کمکی) به طور قابل توجهی افزایش یافت. افزایش میزان احیای بیولوژیکی می‌تواند ناشی از تولید بالای آنزیم‌ها توسط قارچ‌های تلقیح شده طی زمان انکوباسیون بود. علاوه بر این، در ابتدای انکوباسیون، میکروارگانیسم‌ها از املاح موجود در خاک و سوبسترہ کمکی به عنوان منبع کربن و انرژی استفاده کرده و سپس با کاهش میزان املاح و سوبسترہ کمکی با گذشت زمان، میکروارگانیسم ها از آنتراسن و فنانترن به عنوان منبع کربن و انرژی برای رشد استفاده نموده و باعث کاهش آین آلاینده‌ها شد. اربابی و همکاران در سال ۲۰۰۹ با بررسی احیای بیولوژیکی هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقوی (PAHs) در خاک‌های آلوده به نفت به این نتیجه رسیدند که با افزایش زمان انکوباسیون میزان احیای بیولوژیکی فنانترن به طور قابل توجهی کاهش یافته و بیش‌ترین میزان حذف در غلظت‌های مختلف در غلظت‌های پایین مشاهده شد(۱۸). در مطالعه Hadibarata و همکاران گزارش شد که قارچ Armillaria sp. F022 در ابتدای انکوباسیون از

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

گلوکز به عنوان منبع کربن استفاده می‌کند. سپس با گذشت زمان در حدود ۳۵ روز و با کاهش مقدار گلوکز، از آنتراسن به عنوان منبع کربن و انرژی جهت رشد استفاده نموده واز اینرو باعث کاهش آن در زمان طولانی شده است. همچنین Armillaria sp. F022 از طریق آنزیم‌های منگنز پراکسیداز، لیگنین پراکسیداز و لاکاز باعث تجزیه انواع ترکیبات می‌شود(۱۹).

برخلاف بیشتر اکوسیستم‌های آبی، pH خاک می‌تواند بسیار متغیر بوده و از ۲/۵در خاک معدن تا ۱۱ در بیابان‌های قلیایی متفاوت باشد. اکثر باکتری‌های هتروتروف و قارچ‌ها در pH نزدیک به خنثی فعالیت داشته و کار احیای بیولوژیکی در این محدوده انجام می‌دهند. Adams و همکاران در سال ۲۰۱۴ با بررسی احیای بیولوژیکی خاک آلوده به نفت به وسیله کود مرغی به این نتیجه رسیده‌اند که بیش‌ترین میزان احیای بیولوژیکی در محدوده pH ۸ تا ۸/۵ بوده است. در برخی از خاک‌ها، مقادیر pH بالا تأثیر منفی بر توانایی جمعیت میکروبی در کاهش هیدروکربن‌های آروماتیک دارد. بر این اساس، pH بهینه برای احیای بیولوژیکی مواد نفتی همچون PAHs در خاک بین ۶ تا ۸ است(۲۰). در سال ۲۰۰۰، Boonchan گزارش نمود که pH بهینه برای احیای بیولوژیکی بین ۶ تا ۸/۹ بوده و تغییر سطوح اولیه pH در این محدوده در حین احیای بیولوژیکی ممکن است به عنوان نتیجه انتشار ترکیبات واسطه اسیدی و قلیایی و محصولات نهایی در طول تخریب هیدروکربن است(۲۱). وانگ و همکاران در مطالعه خود گزارش نمودند که pH کلیه پایلوت‌های مورد تصفیه در محدوده ۶/۵ تا ۸ بوده که این تغییرات pH در حین تصفیه آلاینده دستخوش تاثیر فاکتورهای مختلف همچون حلالیت، تحرک و فرم‌های مختلف آلاینده و همچنین جمعیت میکروبی و سوبسترہ کمکی است(۱۷). در سال ۲۰۱۱، Simarro و همکاران گزارش نمودند که pH بهینه برای احیای بیولوژیکی آنتراسن، فنانترن و نفتالین به وسیله باکتری‌ها در حدود ۷ می‌باشد(۷). Pawar (۲۰۱۵) با بررسی تاثیر pH خاک بر احیای بیولوژیکی هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای به این نتیجه رسیدند که pH برابر ۷/۵ برای احیای بیولوژیکی کلیه ترکیبات PAHs مناسب است(۱۰).

نتایج حاصل از بررسی تغییرات COD در حین احیای بیولوژیکی نشان داد که بیشترین میزان کاهش COD، در پایلوت حاوی قارچ و سوبسترہ کمکی مشاهده شد. این کاهش میزان COD نشان‌دهنده فعالیت قارچ‌ها و میکروارگانیسم‌های موجود در سوبسترہ کمکی و خاک مورد مطالعه در مصرف آنتراسن و فنانترن می‌باشد. Janbandhu و Fulekar گزارش نمودند که با افزایش زمان انکوباسیون میزان حذف COD توسط میکروارگانیسم‌ها افزایش یافت(۹) که این نتایج با مطالعه حاضر همخوانی دارد. Gallego و همکاران (۲۰۰۳) با بررسی تجزیه و سم زدایی مخلوطی از آلاینده های پایدار (۲- کلرو فنل و فنل) به وسیله احیای بیولوژیکی هوازی به این نتیجه رسیدند که در زمان انکوباسیون ۳۶ ساعت ۹۹/۸ درصد فنل و ۹۲/۵ درصد COD حذف شد(۲۲). در سال ۲۰۰۷، Alcocer و همکاران گزارش نمودند که توده میکروبی دارای بازدهی در دامنه ۹۵ درصد تا ۹۹/۸ درصد برای آلاینده‌های مونو، دی و تری‌کلروفنل و همچنین ۸۵ درصد تا ۹۷/۸ درصد برای حذف COD است(۲۳).

با توجه به مطالعه تصفیه پذیری انجام شده برای خاک آلوده شده با آنتراسن و فنانترن نتایج این مطالعه نشان داد که وجود سوبسترہ کمکی کود مرغی باعث افزایش حذف آنتراسن و فنانترن در مقایسه با پایلوت‌های شاهد و حاوی قارچ می‌باشد. این افزایش احیای بیولوژیکی می‌تواند به دلیل مقادیر بالای کربن و نیتروژن و دیگر موادمعدنی در کودمرغی جهت تامین رشد میکروارگانیسم باشد.

سپاسگزاری

یافته‌های این مقاله حاصل از انجام پایان‌نامه

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط خانم طیبه کلته، طرح تحقیقاتی شماره ۳۹۴۳۶۹، با حمایت مالی معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم پزشکی اصفهان می‌باشد. بدینوسیله از حامی مالی طرح قدردانی بعمل می‌آید.

References

1. Chen M, Xu P ZG, Yang C, Huang D. Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: Applications, microbes and future research needs. Biotechnology Advances 2015; 33(6): 745-755.
2. Tam N, Guo C, Yau W WY. Preliminary study on biodegradation of phenanthrene by bacteria isolated from mangrove sediments in Hong Kong. Mar Pollut Bull 2004; 45(1-12): 316-324.
3. Ravindra K, Sokhi R, Van Grieken R. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: source attribution, emission factors and regulation. Atmospheric Environment 2008; 42(13): 2895-2921.
4. Bamforth SM, Singleton I. Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons: current knowledge and future directions. J Chem Technol Biot 2005; 80(7): 723-736.
5. Forsgren AJ. Wastewater Treatment: Occurrence and Fate of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs): CRC Press; 2015.
6. Hadibarata T, Yusoff ARM, Aris A, Kristanti RA. Identification of naphthalene metabolism by white rot fungus Armillaria sp. F022. J Environ Sci 2012; 24(4): 728-732.
7. Simarro R, González N, Bautista LF, Sanz R, Molina MC. Optimisation of key abiotic factors of PAH (naphthalene, phenanthrene and anthracene) biodegradation process by a bacterial consortium. Water Air Soil Poll 2011; 217(1-4): 365-374.
8. Chauhan A, Oakeshott JG, Jain RK. Bacterial metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons: strategies for bioremediation. Indian J Microbiol 2008; 48(1): 95-113.
9. Janbandhu A, Fulekar M. Biodegradation of phenanthrene using adapted microbial consortium isolated from petrochemical contaminated environment. J Hazard Mater 2011; 187(1): 333-340.
10. Pawar RM. The Effect of Soil pH on Bioremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHS). Journal of Bioremediation & Biodegradation 2015; 2015.
11. Gurjeet P, Kothiyal N, Kothial NC, Kumar Vaneet. Bioremediation of some polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) from soil using Sphingobium indicum, Sphingobium japonicum and Stenotrophomonas maltophilia bacterial strains under aerobic conditions. J Environ Res Develop 2014; 8(3): 395-405.
12. Kaizar H, Norli I. Bioremediation and detoxification of pulp and paper mill effluent: A review. Research Journal of Environmental Toxicology 2015; 9(3): 113-134.
13. Sayara T, Borràs E, Caminal G, Sarrà M, Sánchez A. Bioremediation of PAHs-contaminated soil through composting: Influence of bioaugmentation and biostimulation on contaminant biodegradation. Int Biodeter Biodegr 2011; 65(6): 859-865.
14. Wirasnita R, Hadibarata T. Potential of the white-rot fungus Pleurotus pulmonarius F043 for degradation and transformation of fluoranthene. Pedosphere 2016; 26(1): 49-54.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

15. Atagana HI. Co-composting of PAH-contaminated soil with poultry manure. Lett Appl Microbiol 2004; 39(2): 163-168.
16. Amin MM, Giahi M, Mansourian M. Assessment of the feasibility of anaerobic composting for treatment of perchlorate-contaminated soils in a war zone. Int J Environ Health Engin 2015; 4(1): 16.
17. Wong JW, Wan CK, Fang M. Pig manure as a co-composting material for biodegradation of PAH-contaminated soil. Environ Technol 2002; 23(1): 15-26.
18. Arbabi M, Nasseri S, Chimezie A. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in petroleum contaminated soils. Iran J Chem Chem Eng (IJCCE) 2009; 28(3): 53-59.
19. Hadibarata T, Zubir MMFA, Chuang TZ, Yusoff ARM, Salim MR, Fulazzaky MA, et al. Degradation and transformation of anthracene by white-rot fungus Armillaria sp. F022. Folia Microb 2013; 58(5): 385-391.
20. Adams G, Tawari-Fufeyin P, Ehinomen I, Coli E, Heterotrophic CT. Bioremediation of spent oil contaminated soils using poultry litter. Res J Eng Appl Sci 2014; 3(2): 124-130.
21. Boonchan S, Britz ML, Stanley GA. Degradation and mineralization of high-molecular-weight polycyclic aromatic hydrocarbons by defined fungal-bacterial cocultures. Appl Environ Microb 2000; 66(3): 1007-1019.
22. Gallego A, Fortunato M, Foglia J, Rossi S, Gemini V, Gomez L, et al. Biodegradation and detoxification of phenolic compounds by pure and mixed indigenous cultures in aerobic reactors. Int Biodet Biodeg 2003; 52(4): 261-267.
23. Salmerón-Alcocer A, Ruiz-Ordaz N, Juarez-Ramirez C, Galíndez-Mayer J. Continuous biodegradation of single and mixed chlorophenols by a mixed microbial culture constituted by Burkholderia sp., Microbacterium phyllosphaerae, and Candida tropicalis. Biochem Eng J 2007; 37(2): 201-211.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]