فصلنامه طبّ جنوب
پژوهشکده زیست-پزشکی خلیج فارس
دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر
سال چهاردهم، شماره ۱، صفحه ۳۰ - ۲۳ (بهار ۱۳۹۰)

بررسی تأثیر شوری بر کارایی فرآیند اصلاح زیستی خاک آلوده به فنانترین

معصومه روانی‌پور[۱و۲]، روشنک رضایی کلانتری[۱*]، مهدی فرزادکیا[۱]، سمیره هاشمی نجف‌آبادی[۳]

[۱] گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
[۲] گروه بهداشت محیط، معاونت بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر
[۳] گروه بیوتکنولوژی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

زمینه: فنانترین یکی از آلاینده‌های هیدروکربنه‌ی آروماتیک چندحلقه‌ای بوده که به‌دنبال فرآیند احتراق ناقص سوخت‌های فسیلی، آلودگی نفتی و فرآیندهای صنعت نفت وگاز و غیره بوجود می‌آیند. سمیت، سرطان‌زایی، خصوصیات آب‌گریزی و تمایل به تجمع در بافت خاک و ورود به زنجیره غذایی اهمیت آنها را از نظر بهداشت عمومی و محیط زیست افزایش داده است. اصلاح زیستی یک روش اقتصادی و مؤثر برای تجزیه آلاینده‌های سمی از قبیل فنانترین می‌باشد. در این تحقیق تأثیر شوری بر کارایی اصلاح زیستی خاک آلوده به فنانترین مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها: خاک عاری از هر نوع آلودگی شیمیایی و میکروبی، به‌طور مصنوعی به فنانترین آلوده شده سپس محلول نوترینت با دو غلظت بیشینه و کمینه شوری تهیه بعد مخلوط میکروبی که توانایی تجزیه فنانترین را دارد به محلول اضافه نموده، طوری‌که نسبت ۱۰ درصد وزنی به حجمی (خاک به محلول) حاصل گردد، سپس نمونه‌ها هوادهی شدند. غلظت فنانترین باقیمانده در خاک پس از استخراج با اولتراسونیک توسط دستگاه گاز کروماتوگرافی مورد سنجش قرار گرفت.

یافته‌ها: در شرایطی که غلظت نمک حداکثر بود رشد میکروبی دارای فاز تأخیری طولانی‌تری بوده و در غلظت حداقل نمک این فاز کوتاه‌تر بود. بررسی نتایج حاصل از انجام فرایند استخراج با کروماتوگرافی گازی در پایان ۵۶ روز درصد حذف در نمونه‌های حداکثر و حداقل نمک را به ترتیب ۷۰/۵ درصد و ۷۱/۸ درصد نشان داد.

نتیجه‌گیری: علی‌رغم اینکه فاز تأخیری در نمونه نمک حداکثر طولانی‌تر شد، اما، همان‌طور که نتایج استخراج نشان داد درصد حاصل از حذف در دو محلول تفاوت چندانی نداشت. نتیجه می‌شود، شوری موجب افزایش فاز تأخیری شده اما اثر ممانعت‌کنندگی بر حذف هیدروکربن فنانترین ندارد.

واژگان کلیدی: آلودگی خاک، هیدروکربن‌های معطر چند حلقه‌ای، اصلاح زیستی، شوری

دریافت مقاله: ۸۹/۳/۲- پذیرش مقاله: ۸۹/۳/۲۶

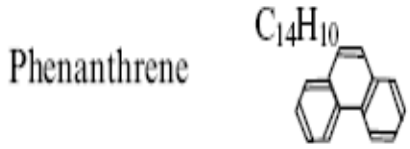
* تهران، دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشکده بهداشت

E-mail :roshanak.r.k@gmail.com

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-18]

مقدمه

رشد قابل توجه صنعت نفت و صنایع جانبی آن که به تولید، انبار و انتقال و غیره این مواد منتهی شده، هیدروکربن‌های نفتی را در زمره گسترده‌ترین آلاینده‌های محیط زیست قرار داده است (۱ و ۲). سالانه بیش از ۲ میلیارد تن نفت خام در کل جهان تولید می‌شود. نشت اتفاقی در دریا و رهاسازی نفت از تانکرها در دریاها تنها ۱۰ درصد از کل آلودگی‌های حاصل از تخلیه هیدروکربن‌های نفتی به محیط زیست است (۳). مقادیر بزرگ و اتفاقی ورود این آلاینده‌ها شامل نشت از بخش‌های صادرات نفت، تانکرهای نفت، خطوط لوله نفت (زیر زمین و زیر دریا)، تانکرهای ذخیره و روغن‌های روان‌کننده دریایی می‌باشد (۲). ترکیبات مختلف تشکیل‌دهنده نفت اثرات سوء متفاوتی بر موجودات زنده داشته و می‌توانند از طریق هوا، غذا و آب، جذب بدن شوند؛ بالاخص هیدروکربن‌های نفتی می‌توانند از طریق شش‌ها و معده جذب شوند (۴). در صورت مواجهه حاد، بدن انسان با این ترکیبات نفتی، عوارضی چون التهاب، تکثیر سریع سلولی، شاخی شدن و ریشی شدن پوست را موجب می‌شوند. صدمه به سیستم اعصاب و لنف‌ها، ممانعت از عملکرد سیستم ایمنی، نکروزه شدن آدرنال و اثرات سوء بر سلول‌های جنسی بخشی از اثرات مخرب این آلاینده‌هاست (۵). به‌جهت خصوصیات سرطان‌زایی و جهش-زایی هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای، آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده ۱۶ ترکیب از این هیدروکربن‌ها را به‌عنوان آلاینده‌های اولیه عنوان کرده است (۶ و ۷). هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAH=Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) از دو یا چندحلقه بنزنی تشکیل شده (۸ و ۹) و جزء آلاینده‌های گسترده زیست محیطی می‌باشند که به‌دنبال فرآیند احتراق ناقص سوخت‌های فسیلی، دود سیگار، دود خروجی از اگزوز موتورهای دیزلی، آلودگی نفتی و فرآیندهای صنعتی مانند صنایع پتروشیمی و نفت، فاضلاب‌های خانگی و صنعتی و نشت محصولات نفتی از کشتی‌ها بوجود می‌آیند. غلظت PAH در رسوبات دریایی ممکن است به بیش از ۱۰۰۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم هم برسد (۱۱-۶). به‌دنبال تحقیقات انجام شده بسیاری از آلاینده‌های اولیه آلی در نمونه‌های خاک شناسایی شده‌اند که مشخصاً فلورانتین و فنانترین در کل نمونه‌های آلوده خیابانی حضور داشتند (۱۲). فنانترین نماینده ترکیبات سه حلقه‌ای PAH بوده و دارای وزن مولکولی ۱۷۸/۲۳، چگالی ۱/۰۶۳، نقطه جوش ۳۴۰ و حلالیت ۱ میلی‌گرم در لیتر آب می‌باشد (شکل ۱) (۱۳).



شکل ۱) ساختار شیمیایی هیدروکربن آروماتیک سه حلقه‌ای فنانترین

به‌طور معمول با افزایش اندازه مولکولی، حلالیت و قابلیت دسترس‌پذیری زیستی PAHها کاهش می‌یابد و در نهایت موجب کاهش قابلیت تجزیه زیستی آنها می‌گردد (۶، ۸ و ۱۷-۱۴). ترکیبات PAH همچنین تمایل به جذب شدن به ذرات خاک را دارند، که منجر به محدود شدن دسترس‌پذیری زیستی آنها در خاک می‌گردد (۸، ۱۰، ۱۸ و ۱۹). روش‌های متداول حرارتی، شیمیایی- فیزیکی و غیره جهت پاک‌سازی این نوع آلاینده‌ها خصوصاً در خاک که یک محیط

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-18]

جامد معدنی متخلخل است، به‌دلایل گوناگون، نظیر پائین بودن حلالیت، غیرقطبی بودن وآب‌گریز بودن همواره با مشکلاتی مواجه بوده است (۱). روش اصلاح زیستی (Bioremediation) یک فرآیند مؤثر، دوستدار اکوسیستم و اقتصادی است که به‌منظور حذف آلاینده‌ها از خاک، از میکروارگانیسم‌های زنـده برای کاهـش آلاینده‌های آلی و نتیجتاً پاک‌سازی محیـط استفاده می‌کند(۱، ۶، ۹ و ۲۳-۲۰). تجزیه میکروبی PAHها به‌عوامل مختلفی چون دمای محیط، PH، شوری، دسترسی به اکسیژن، دسترسی به نوترینت‌ها، مقدار و ترکیب شیمیایی آلاینده نفتی، خصوصیات فیزیکوشیمیایی PAHها و نوع عملکرد آنها با ترکیبات زنده و غیرزنده محیط زیست پیرامونشان بستگی دارد (۲ و ۷). در شانگهای تحقیق گسترده‌ای بر روی آلودگی انواع مختلف خاک‌ها مانند خاک خیابان، کشاورزی، صنعتی و غیره انجام شد و در نهایت PAHهای ۲ و ۳ حلقه‌ای از ترکیبات اصلی موجود در خاک‌های صنعتی شناخته شدند (۲۴). شوری به‌عنوان یک فاکتور مؤثر بر تجزیه میکروبی مطرح می‌باشد. ارگانیسم‌هایی یافت شده‌اند که در آب دریا قادر به تجزیه میکروبی نفت در غلظت‌های نمکی متفاوت از ۰/۱ درصد تا ۲ درصد بوده و شامل میکروب‌های سودوموناس .SP، انتروباکتر، و تعدادی از گرم منفی‌های هوازی می‌باشند (۲). تحقیقات نشان داده با افزایش غلظت نمک، در میزان حلالیت PAHهای آنتراسن، ۲ متیل آنتراسن، ۲ اتیل آنتراسن و بنزوآپیرن موجود در آب شور دریا کاهش ایجاد شده اما در مقابل، افزایش غلظت نمک موجب افزایش در حلالیت بنزوآنتراسن شده است (۷). اخیراً دریاها و اقیانوس‌ها و سواحل آنها به‌عنوان محیط‌های آلوده به ترکیبات نفتی با شوری بالا مورد توجه محققین قرار گرفته‌اند، هر چند بسیاری از مناطق خشکی نیز وجود دارند که دارای خاک با شوری بالا بوده و باید بتوان روش صحیح تصفیه را برای مواقعی که این مناطق به هر ترتیب آلوده به آلاینده‌های نفتی می‌شوند، اتخاذ نمود. به‌همین منظور تحقیق حاضر به‌بررسی تأثیر شوری بر فرآیند اصلاح زیستی خاک‌های آلوده به ترکیب نفتی فنانترین می‌پردازد

مواد و روش‌کار

برای انجام آزمایشات مواد شیمیایی زیر به‌کار رفت: فنانترین با درجه خلوص بالا، استون HPLC grade شرکت ROMIL، نوترینت براث و R2A آگار شرکت BIOMARK، نمک‌های محیط کشت معدنی و NaCl شرکت Merck. خاک معمولی از ارتفاع ۲۰- ۵ سانتی‌متری بالایی سطح زمین در شهر تهران برداشته شد. قبل از تزریق آلاینده، خاک در معرض هوا خشک گردیده و از الک ۲ میلی‌متری برای حذف سنگ‌ها عبور داده شد. سپس برای عاری بودن از مواد آلی آنرا با استون شسته و این کار طی سه مرحله تکرار انجام گرفت. نهایتاً برای حذف استن، خاک با آب مقطر مورد شستشو قرار گرفت. ۲ گرم از خاک خشک و آماده شده را در شیشه‌هایی به رنگ تیره که به‌عنوان یک راکتور زیستی ناپیوسته آزمایش (Bach reactor) عمل می‌کنند ریخته و در اتوکلاو (دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد در زمان ۱۵ دقیقه) استریل شدند. سپس به‌طور مصنوعی به فنانترن آلوده شده به‌طوری‌که غلظت فنانترین در خاک به ۵۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک رسید (۲۵). به‌منظور آماده‌سازی محلول نوترینت محیط کشت غنی‌سازی (۲۶) بر اساس جدول ۱ تهیه شد و به ظروف نمونه و

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-18]

شاهد طبق جدول ۲ نمک (NaCl) اضافه گردید. برای تنظیم PH محلول‌های تهیه شده، با استفاده از PH سنج مدل HACH 40d، PH کلیه نمونه‌ها در محدوده خنثی که مناسب رشد میکروب‌های هتروتروف می‌باشد تنظیم گردید.

جدول ۱) خصوصیات محلول محیط کشت معدنی مصرفی و عناصر جزئی آن

عناصر		محلول نوترینت (گرم /لیتر)
	K2HPO4	۰/۸
	KH2PO4	۰/۲
	KNO3	۱
Macro & Miero	MgSo4.7H2O	۰/۲
	CaCl2.2H2O	۰/۱
	NaCl	۰/۱
	FeCl3,6H2O	۰/۰۱
Trace	Trace elements	۱Ml

در مرحله بعد مخلوط میکروبی شامل باکتری‌های باسیلوس لیچینی فرمیس، باسیلوس .SP و استافیلوکوکوس گزیلوس، اسینتوباکترپومانی و کپنوسیتوفاگااوکاریا که توانایی تجزیه فنانترین را داشته و در تحقیق جداگانه‌ای از بافت خاک طبیعی جداسازی شده بودند (۲۷) بر روی محیط کشت آگار تکثیر یافته و به‌عنوان تجزیه‌کننده آلاینده فنانترن با دانسیته اپتیکی معادل یک (OD=1) و در طول موج ۶۳۰ نانومتر به هریک از محلول‌های تهیه شده اضافه شد (۲۶).

جدول ۲) وضعیت نمونه‌های اصلی و شاهدهای میکروبی و شیمیایی آنها

	غلظت شوری	جمعیت میکروبی	فنانترین ۵۰۰(میلی‌گرم/لیتر)
نمونه ۱	Max	+	+
نمونه ۲	Min	+	+
شاهد شیمیایی نمونه ۱	Max	–	+
شاهد شیمیایی نمونه ۲	Min	–	+
شاهد میکروبی نمونه ۱	Max	+	–
شاهد میکروبی نمونه ۲	Min	+	–

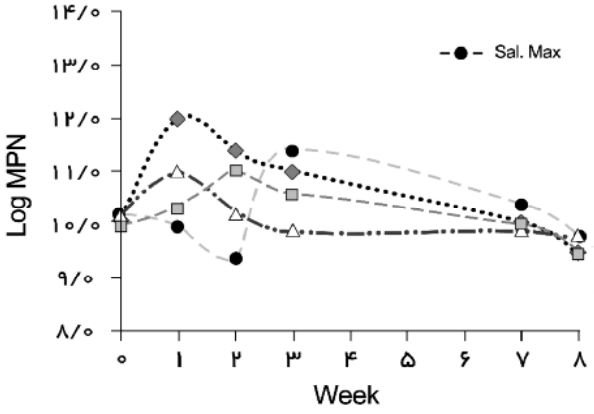
در این حالت فاز جامد خاک به فاز دوغابی با نسبت ۱۰ درصد وزنی حجمی تبدیل می‌گردد. برای قرائت دانسیته اپتیکی از دستگاه اسپکتروفتومتر CECIL UV/VIS مدل ۷۱۰۰ استفاده گردید. جهت اطمینان از روند رشد میکروبی در نمونه‌های اصلی، نمونه‌هایی نیز به‌عنوان شاهد میکروبی که حاوی میکروب و خاک بدون فنانترین و محلول نوترینت همراه یا بدون نمک (شوری) می‌باشد و نیز نمونه‌هایی از شاهد شیمیایی که تنها حاوی خاک آغشته به فنانترین و نوترینت همراه یا بدون نمک (شوری) بود، در نظر گرفته شدند (جدول۲). برای شوری دو سطح در نظر گرفته می‌شود: سطح min آن برابر صفر و سطح max آن برابر ۲ درصد وزنی به حجمی (۲۸) تعیین شد. PH محلول sal max برابر۷/۳ و PH محلول Sal min برابر ۷ بود. کلیه راکتورها به‌منظور هوادهی و ایجاد شرایط هوازی بر روی دستگاه شیکر Heidolph مدل ProMAX 2020 با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه در دمای محیط قرار گرفتند. در این مطالعه دمای محیط آزمایشگاه که دامنه تغییرات آن محدود بوده است (۳ ± ۲۲)، به‌عنوان دمای آزمایش برای خاک در نظر گرفته شد. آزمون میکروبیMPN (روش ۹ لوله‌ای) با فواصل زمانی تعریف شده برای کلیه نمونه‌ها انجام شد. به این منظور از سرم فیزیولوژی و نوترینت براث سترون در رقت‌های مناسب استفاده شد. نسبت باکتری اضافه شده به محیط کشت نوترینت براث ۱۰ درصد حجمی بود به‌گونه‌ای که به ازای ۹ میلی‌لیتر نوترینت براث ۱ میلی‌لیتر باکتری رقیق شده در سرم فیزیولوژی به محلول اضافه شد. بعد از ۴۸ ساعت گرماگذاری نتایج بر اساس جدول استاتیکی تخمین زده شد (۲۹ و ۳۰). در ادامه به‌منظور تعیین غلظت آلاینده باقی‌مانده در

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-18]

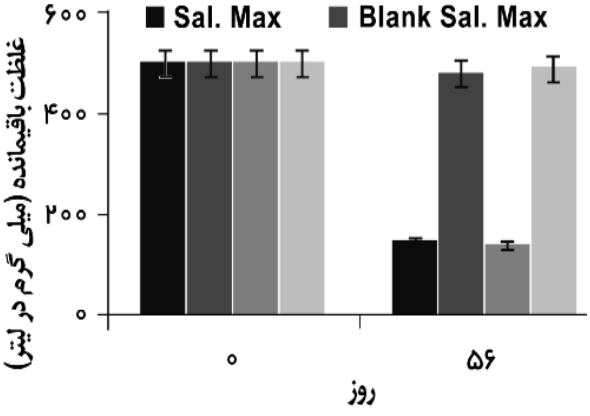
خاک با استفاده از حلال استون و به‌وسیله دستگاه اولتراسونیک مدل Bandelin Sonoplus بر اساس روش (EPA) ۳۵۵۰ آژانس حفاظت محیط زیست (۳۱) عمل استخراج صورت گرفت و محلول حاصل به‌دستگاه سانتریفوژ با مدل Hettich Universal منتقل و در سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفت. غلظت آلاینده باقی‌مانده با دستگاه GC مدل CHROMPACK CP 9001 و ستون HP5 تعیین شد. برنامه دمایی GC به شرح زیر تنظیم گردید: زمان اولیه ۱ دقیقه در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و با سرعت ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه تا دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد، دمای نهایی ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد، دمای انژکتور ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و دمای دتکتور ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد. کلیه مراحل آزمایش در آزمایشگاه پایلوت دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران صورت پذیرفته است.

یافته‌ها

به‌دنبال اجرای طرح و پس از گذشت دوره زمانی ۵۶ روز (هشت هفته) مطابق با نمودار ۱ چگونگی رشد میکروب اضافه شده به‌خاک آلوده بدست آمد. در این نمودار غلظت ماکزیمم شوری نمونه اصلی ابتدا کاهش رشد تا هفته دوم و سپس افزایش شدید در رشد میکروبی تا هفته سوم مشاهده شده و سپس روند نزولی دارد. نمودار شاهد آن تا هفته دوم رشد صعودی و تا هفته هشتم روند کاهشی دارد. در نمونه با شوری حداقل نیز دو نمودار نمونه اصلی و شاهد آن دارای روند مناسبی در رشد میکروبی بوده و درهفته اول در حداکثر رشد خود قرار دارند. در هر دو نمودار با شوری بیشینه و کمینه نمونه‌های شاهد نسبت به نمونه‌های اصلی به‌دلیل عدم وجود فنانترین به‌عنوان تنها منبع کربنه اولیه موجود و مورد دسترس باکتری‌ها دارای رشد میکروبی کمتری بوده‌اند. با توجه به انجام آزمون استخراج توسط GC، غلظت باقی‌مانده فنانترن در اثر تجزیه میکروبی و نمونه‌های شاهد آن توسط نمودار ۲ مشخص گردید. در هر دو نمونه Sal. max (با غلظت شوری ماکزیمم) و Sal. min (با غلظت شوری مینیمم) کاهش در غلظت آلاینده مشاهده گردید و نمونه‌های شاهد آنها نیز تقریباً در همان حد اولیه باقی ماندند.



نمودار ۱) چگونگی رشد میکروبی در نمونه‌ها



نمودار ۲) غلظت باقیمانده نمونه‌ها در طی زمان

بحث

اصلاح زیستی یک تکنولوژی جوان و نوظهور می‌باشد و در طی ۳۰ سال گذشته به‌طور موفقیت‌آمیزی برای تصفیه خاک‌های آلوده به ترکیبات نفتی استفاده شده

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-18]

است (۳۲). بسیاری از میکروارگانیسم‌ها شامل باکتری‌ها، قارچ‌ها و جلبک‌ها توانایی تجزیه PAHهای ۲ تا ۶ حلقه‌ای را دارا هستند، که معمولاً در شرایط هوازی و بهینه انجام می‌شود (۳۳). باکتری‌هایی که اغلب در فرآیند اصلاح زیستی ترکیبات آلوده مؤثر می‌باشند، هتروتروف‌های تجزیه‌کننده هیدروکربن‌ها هستند (۳۴). باکتری‌های خاک معمولاً در دماهای بین ۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد عمل می‌کنند (۳۲ و ۳۴). اغلب باکتری‌ها می‌توانند در فشار اسمزی گسترده مقاومت کنند. برای مثال باکتری هوازی خاک، آئروژنز آئروباکتر، می‌تواند در محیط با غلظت‌های نمک از ۰/۱ درصد تا حدود ۱۲ درصد باشد؛ اما کلیه باکتری‌های دریایی نیاز به حدوداً ۳/۵ درصد نمک دارند و نمی‌توانند در مقدار نمک کمتر از ۱ درصد رشد کنند (۲۸). شوری به‌عنوان یک فاکتور مؤثر در فرایند اصلاح زیستی مطرح است. شوری بیش از حد بهینه موجب افزایش فاز تأخیری (Lag phase) در فرآیند رشد میکروبی شده و تمایل به کاهش میزان رشد میکروارگانیسم و ساخت بیومس دارد (۱۸). نتیجه مطالعه حاضر نیز نشان داد هنگامی‌که مقدار نمک در خاک در حداکثر مقدار خود بوده منجر به افزایش فاز تأخیری در فرآیند رشد میکروبی شده است که دلیل خوبی بر اثبات بالاتر بودن محدوده ماکزیمم شوری اضافه شده به نمونه ۱ از سطح بهینه مورد نیاز برای رشد باکتری می‌باشد. به‌عبارتی دیگر مقدار سطح بهینه شوری برای رشد مناسب میکروب‌های خاک بایستی کمتر از سطح بیشینه انتخابی در این مطالعه باشد. مطالعه‌ای که توسط بارسن (Børresen) و همکاران انجام شد نشان داد معدنی شدن هیدروکربن احیا شده در غلظت‌های بالای نمک نوترینت (۷۱mmol Na+/Kg soil و mg NH4-۲۰۰N/Kg soil) از طریق افزایش شوری خاک موجب ممانعت از تجزیه میکروبی هیدروکربن می‌شود. افزایش شوری در خاک با افزودن +NH4 و +Na زمان سازگاری میکروارگانیسم‌ها را افزایش داده اما اثر ممانعت‌کنندگی روی معدنی شدن (تجزیه کامل تا رسیدن به CO2 و آب) کل هگزادکان در پایان آزمایش‌ها نشان نداد (۳۵). میل و همکاران دریافتند که اثر ممانعت‌کنندگی شوری در حدود (W/V) ۲/۴ درصد از NaCl است (۳۶). چن (Chen) و همکاران در تحقیق خود دریافتند که مهم‌ترین فاکتورها بر تجزیه فنانترین شوری در حد ۱/۵ درصد و میزان تلقیح میکروبی اولیه از نوع باکتری اسفینگوموناس.Sp به‌میزان (MPN/g) 10^6 بوده و شرایط بهینه برای تجزیه زیستی فنانترین، در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، شوری ۱/۵ درصد ، نسبت C/N برابر ۱۰۰/۱ و میزان تلقیح (MPN/g) 10^6 با غلظت فنانترین ۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم پیش‌بینی شد. تغییرات غلظت اولیه فنانترین بین ۵ تا ۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود و بعد از ۶ روز آزمایش تغییرات درصد حذف فنانترین از۵۰ درصد تا ۹۰ درصد به‌دست آمد (۹). در مقایسه با مطالعه حاضر که با غلظت شوری ۲ درصد، میزان تلقیح اولیه مخلوط باکتریایی (MPN/g) 10^9 و غلظت اولیه فنانترین برابر ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم انجام شد، پس از ۵۶ روز درصد حذف فنانترین ۷۰/۵ درصد به‌دست آمد که به‌نظر می‌رسد دلایل واضح تفاوت درصد حذف مربوط به غلظت اولیه فنانترین و نوع باکتری‌های به‌کار رفته واحتمالاً دمای دوره آزمایش باشد. نتایج موخرجی و همکاران نشان داد محیط میکروبی قادر به تحمل شوری تا غلظت ۳/۵ درصد بوده اما بهترین عملکرد حذف نفت دیزل را به‌میزان ۶۱ درصد در غلظت ۰/۵ درصد شوری به‌دست آوردند که در مقایسه با غلظت صفر شوری که ۳۹ درصد حذف داشت نتیجه بهتری بود (۳۷). مینایی تهرانی و همکاران نیز تأثیر شوری را بر میزان تجزیه بیولوژیکی PAHs در خاک آلوده به نفت خام سنگین در غلظت‌های ۰ تا ۵ درصد مطالعه نمود، اما نتایج نشان داد با افزایش در غلظت NaCl در خاک تجزیه بیولوژیکی کل نفت خام و PAHs روند کاهشی دارد (۲۸) که این نتیجه برخلاف تحقیق بارسن و همکاران

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-18]

می‌باشد. میزان مشابه حذف PAH از خاک با دو وضعیت شوری حداقل و حداکثر در تحقیق حاضر نشان‌دهنده عدم ممانعت از تجزیه میکروبی آلاینده تحت تأثیر شوری است. تفاوت بین درصد حذف نمونه اصلی با شوری حداقل و نمونه با شوری حداکثر چندان زیاد نبوده چنان‌که به ترتیب ۷۱/۸ و ۷۰/۵ درصد (با درصد اطمینان ۹۵ درصد) به‌دست آمد. این مسئله حاکی از آن است که علیرغم سطح بسیار متفاوتی که بین حداکثر و حداقل شوری ورودی به خاک وجود داشته، اما ظاهراً شوری نمی‌تواند به‌عنوان عامل تأثیرگذاری بر میزان تجزیه فنانترن و معدنی شدن آن عمل نماید. این نتیجه توسط تحقیق بارسن و همکاران که در سال ۲۰۰۷ به دست آمده بود نیز تأیید می‌گردد (۳۵). به‌عبارتی ساده‌تر شوری بر میزان رشد میکروبی تأثیر گذاشته و موجب تأخیر در رشد آن می‌گردد اما بر فعالیت میکروب‌ها در راستای تجزیه آلاینده و کاهش آن تأثیری ندارد.

تشکر و قدردانی

لازم می‌دانیم بدینوسیله مراتب تشکر و قدردانی خود را از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی تهران به جهت تأمین مالی پایان‌نامه کد ۶۴۹ پ، همچنین جناب آقای مهندس علی اسرافیلی مسئول آزمایشگاه تجزیه دستگاهی وسرکار خانم مهندس رویا میرزایی مسئول آزمایشگاه میکروبی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران به‌دلیل همکاری‌های بی‌شائبه‌شان و سرکار خانم هندی‌زاده و کلیه دوستان و همکاران محترم که ما را در اجرای این تحقیق صمیمانه یاری نموده‌اند، اعلام نماییم.

References:

1.Yaghmaei S, editor. Bioremediation of polluted soils with phenanthrene and anthracene. The 6th National congress on chemistry engineering. 2001 Apr. 28, Isfahan, Iran. Tehran: Irandoc, 2010.
2.Doble M, Kumar A, editors. Biotreatment of industrial effluents. Intrenational ed. The United States of America: elsevier: 2005, 241- 54.
3.M.Atlas R, Phlip JC, editors. Bioremediation-applied microbial solutions for real world environmental clean up. 1th ed. Washington D.C: ASM Press: 2005, 1-45.
4.Vetter RD, Carey MC, Patton JS. Coassimilation of dietary fat and benzo (a) pyrene in the small intestine: an absorption model using the killifish. J Lipid Res 1985; 26: 428-34.
5.Santodonato J, Howard P, Basu D. Health and ecological assessment of polynuclear aromatic hydrocarbons. J Environ Pathol and Toxicol 1981; 5: 1-364.
6.Kolomytseva MP, Randazzo D, Baskunov BP, et al. Role of surfactants in optimizing fluorene assimilation and intermediate formation by Rhodococcus rhodochrous VKM B-2469. Bioresource Technology 2009; 100: 839-44.
7.Pothuluri JV, Cernigelia CE. Microbial Metabolism of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. In: Chaudhry GR, editor. Biological degredation and bioremediation of toxic chemicals. 1st ed. Kluwer Academic: Publishers; 1995: 93-124.
8.Piskonen R, Itaevaara M. Evaluation of chemical pretreatment of contaminated soil for improved PAH bioremediation. Appl Microbiol Biotechnol 2004; 65: 627-34.
9.Chen J, Wong MH, Wong YS, et al. Multi-factors on biodegradation kinetics of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by Sphingomonas sp. a bacterial strain isolated from mangrove sediment. Mar Pollut Bull 2008; 57: 695-702.
10.Samanta SK, Singh OV, Jain RK. Polycyclic aromatic hydrocarbons: environmental pollution and bioremediation. Trends Biotechnol 2002; 20: 243-8.
11.Zaidi BR, Imam SH. Factors affecting microbial degradation of polycyclic aromatic hydrocarbon phenanthrene in the Caribbean coastal water. Mar Pollut Bull 1999; 38: 737-42.
12.Mahvi AH, Mardani G. Determination of phenanthrene in urban runoff of Tehran, capital of Iran. Iranian J Env Health Sci Eng 2005; 2: 5-11.
13.Alcantara MT, Gomez J, Pazos M, et al. Combined treatment of PAHs contaminated soils using the sequence extraction with surfactant–electrochemical degradation. Chemosphere 2008; 70: 1438-44.
14.Powell SN, Singleton DR, Aitken MD. Effects of enrichment with salicylate on

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-18]

bacterial selection and PAH mineralization in a microbial community from a bioreactor treating contaminated soil. Environ Sci Technol 2008; 42: 4099-105.
15.Avramova T, Sotirova A, Galabova D, et al. Effect of Triton X-100 and rhamnolipid PS-17 on the mineralization of phenanthrene by Pseudomonas sp. cells. Int Biodeter Biodegrad 2008; 62: 415-20.
16.Ahn CK, Woo SH, Park JM. Enhanced sorption of phenanthrene on activated carbon in surfactant solution. Carbon 2008; 46: 1401-10.
17.Liang Y, Sorensen DL, McLean JE, et al. Pyrene fate affected by humic acid amendment in soil slurry systems. J Biol Eng 2008; 2: 11.
18.Haderlein A, Legros R, Ramsay B. Enhancing pyrene mineralization in contaminated soil by the addition of humic acids or composted contaminated soil. Appl Microbiol Biotechnol 2001; 56: 555-9.
19.Mohan SV, Kisa T, Ohkuma T, et al. Bioremediation technologies for treatment of PAH-contaminated soil and strategies to enhance process efficiency. Rev Environ Sci Biotechnol 2006; 5: 347-74.
20.Robles-Gonzalez IV, Fava F, Poggi-Varaldo HM. A review on slurry bioreactors for bioremediation of soils and sediments. Microb Cell Fact 2008; 7: 5.
21.Niqui-Arroyo JL, Bueno-Montes M, Posada-Baquero R, et al. Electrokinetic enhancement of phenanthrene biodegradation in creosote-polluted clay soil. Environ Pollut 2006; 142: 326-32.
22.Keane A, Lau PCK, Ghoshal S. Use of a whole-cell biosensor to assess the bioavailability enhancement of aromatic hydrocarbon compounds by nonionic surfactants. Biotechnol Bioeng 2008; 99: 86-98.
23.Alvarez PJJ, Illman WA, editors. Bioremediation and natural attenuation: process fundamentals and mathematical models. 2nd ed. New Jersey: John Wiley & sons, 2006, 12-20.
24.Shi GT, Chen ZL, Xu SY, et al. Salinity and Persistent Toxic Substances in Soils from Shanghai, China. Pedosphere 2009;19: 779-89.
25.Carlstrom CJ, Tuovinen OH. Mineralization of phenanthrene and fluoranthene in yardwaste compost. Environmental Pollution 2003;124: 81-91.
26.Ressler BP, Kneifel H, Winter J. Bioavailability of polycyclic aromatic hydrocarbons and formation of humic acid-like residues during bacterial PAH degradation. Appl Microbiol Biotechnol 1999; 53: 85-91.
27.Rashid-Ashmagh F, Rezaei-Kalantary R, Farzadkia M, et al. Survey of phenantherene biodegradation's model in contaminated soils by Acinetobacter SP. Iran J Health Environ 2009; 2: 196-203.
28.Minai-Tehrani D, Minoui S, Herfatmanesh A. Effect of salinity on biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) of heavy crude oil in soil. Bullet Environ Contam Toxicol 2009; 82: 179-84.
29.Juhasz AL, Stanley GA, Britz ML. Degradation of high molecular weight PAHs in contaminated soil by a bacterial consortium: Effect on microtox and mutagenicity bioassays. Bioremed J 2000; 4: 271-83.
30.Taylor J. The estimation of numbers of bacteria by tenfold dilution series. J Appl Microbiol 2008; 25: 54-61.
31. EPA. Ultrasonic Extraction: Method 3550C. Revision 3 Feb 2007. (Accessed in 3 May 2010 at.http://www.epa.gov/epawaste/ hazard/testmethods/sw846/online/3_series.htm).
32.Eweis JB, Ergas SJ, Chang DPY, et al, editors. Bioremediation principles. 1th ed. Singapore: WCB/ McGraw-Hill Co: 1998, 1-21.
33.Saichek RE, Reddy KR. Electrokinetically enhanced remediation of hydrophobic organic compounds in soils: A review. Crit Rev Environ Sci Technol 2005; 35: 115-92.
34.King RB, Long GM, Sheldon JK, editors. Practical environmental bioremediation: the field guide. 2nd ed. USA: CRC Press LLC: 1998, 13-29.
35.Børresen MH, Rike AG. Effects of nutrient content, moisture content and salinity on mineralization of hexadecane in an Arctic soil. Cold Reg Sci Technol 2007; 48: 129-38.
36.Betancur-Galvis LA, Alvarez-Bernal D, Ramos-Valdivia AC, et al. Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon-contaminated saline–alkaline soils of the former Lake Texcoco. Chemosphere 2006; 62: 1749-60.
37.Mukherji S, Jagadevan S, Mohapatra G, et al. Biodegradation of diesel oil by an Arabian Sea sediment culture isolated from the vicinity of an oil field. Bioresour Technol 2004; 95: 281-6.

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-18]