بررسی اثر میزان کربن آلی خاک بر زیست دسترس پذیری آلاینده و مقایسه زیست پالایی آن در راکتور دوغابی و به صورت درجا

سید عباس شجاع الساداتی [i]؛ سعید نعمتیان [ii]؛ سمیره هاشمی نجف آبادی [iii]

چکیده

در این پژوهش، اثر میزان کربن آلی خاک بر زیست دسترس پذیری آلایندهٔ فنانترن بررسی شده است. به همین منظور، ۵ نمونهٔ مختلف خاک، با میزان کربن آلی متفاوت، از ۰/۵٪ تا ۱۳/۳٪ ، از مناطق مختلف انتخاب شده و آزمایش شدند. باکتری از جنس *سودوموناس*، برای تجزیهٔ فنانترن به نمونه‌های خاک اضافه شد. نتایج نشان می‌دهد که پس از گذشت ۹۵ روز از شروع آزمایش‌ها، میزان فنانترن در تمامی نمونه‌های خاک، در محدودهٔ ۷۵٪ تا ۹۵٪ کاهش یافت. بر خلاف نتایج اولیه، رابطهٔ مشخصی بین میزان کربن آلی خاک و میزان زیست دسترس پذیری فنانترن وجود ندارد و به عوامل مختلف مربوط می‌شود.

در ادامهٔ آزمایش‌ها، زیست تخریب پذیری فنانترن در دو حالت مختلف، در خاک به صورت حالت درجا و در راکتور به صورت دوغاب، مقایسه شد. میزان کاهش فنانترن در حالت درجا، در مدت ۹۵ روز برابر با ۹۵٪ بود، در حالی که با استفاده از راکتور به صورت دوغاب، در مدت ۱۱ روز ۹۳٪ فنانترن موجود در خاک کاهش یافت.

کلمات کلیدی:

زیست دسترس پذیری، زیست پالایی، در جا، راکتور دوغابی، *سودوموناس*، فنانترن

The Effect of Organic Carbon Content of Soil on Bioavailability of Pollutant and the Comparison of Pollutant Removal Using Slurry Reactor and In Situ Bioremediation

S. A. Shojaosadati.; S. Nematian; S. Hashemi-Najafabadi

ABSTRACT

In this research, the effect of organic carbon content of soil on bioavailability of phenanthrene contaminated soil was studied. Five different soil samples, with different total organic carbon content ranging from 0.5-13.3 (w/w) % were collected from different area. The samples were polluted with phenanthrene, and then the biodegradation of the phenanthrene in presence of *pseudomonas species* was evaluated. According to the results, 75- 95% of phenanthrene was degraded during 95 days in contaminated samples, in the presence of bacteria. In contrast with the preliminary results, the bioavailability of phenanthrene is complicated and it could result from various parameters.

[i] استاد گروه بیوتکنولوژی، بخش مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس: E-Mail: Shoja_Sa@modares.ac.ir ، صندوق پستی: ۱۴۳-۱۴۱۱۵ ، تلفن: ۸۸۰۰۵۰۴۰

[ii] فوق لیسانس مهندسی شیمی، بیوتکنولوژی، دانشگاه تربیت مدرس: E-Mail: saeednematian@yahoo.com ، تلفن: ۰۹۱۸۳۶۳۲۶۸۰

[iii] استادیار گروه بیوتکنولوژی، بخش مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس: E-Mail: s.hashemi@modares.ac.ir ، صندوق پستی: ۱۴۳-۱۴۱۱۵ تلفن: ۸۸۰۰۵۰۴۰

Further experiments were designed to compare the phenanthrene bioremediation under *in situ* and slurry reactor. The results reveal that the slurry reactor has the same degree of phenanthrene biodegradation in short period of time.

KEYWORDS:

Bioremediation, Bioavailability, Biodegradation, In situ, Phenanthrene, Slurry reactor, *Pseudomonas species*

۱- مقدمه

در اثر افزایش آلودگی محیط زیست با مواد خطرناک در نیم قرن اخیر، استفاده از زیست فناوری برای رفع این آلودگی‌ها، مورد توجه قرار گرفته است. یکی از دست آوردهای زیست فناوری، فناوری زیست پالایی است [۳].

عامل تعیین کننده برای استفاده از فرایندهای زیستی در تجزیهٔ مواد آلاینده، اقتصادی بودن طرح است [۳]،[۴]. کوشش‌های اولیه برای حذف آلاینده‌ها، بیشتر به سمت روش‌های فیزیکی و شیمیایی هدایت شدند؛ اما مشخص شده است که استفاده از این روش‌ها به تنهایی، بسیار پرهزینه و بعضاً غیر کارا است [۳]-[۵]. برای تجزیهٔ کامل یک مادهٔ آلی، غیر از سوزاندن، روش های زیستی تنها راه حل عملی است [۵]،[۸]،[۱۱].

طراحی فرایندهای زیستی، با استفاده از ریزسازواره‌ها برای تجزیه و حذف مواد شیمیایی آلاینده، به عنوان زیست پالایی تلقی می‌شود. زیست پالایی یکی از روش هایی است که می‌تواند در حذف آلودگی به کار رود و برخلاف برخی از روش ها؛ که راه حل موقت هستند، این روش دائمی است [۱]. با تلفیق تدابیر مهندسی و زیست پالایی، روش‌های زیست پالایی مهندسی ابداع شده‌اند. هدف این روش‌ها، استفاده از یک مجموعهٔ مناسب جمعیت میکروبی، به همراه بهینه سازی شرایط محیطی، به منظور تسریع واکنش‌های تجزیهٔ آلاینده‌ها است [۱]،[۲].

در گروه بیوتکنولوژی دانشکدهٔ فنی دانشگاه تربیت مدرس، در طی چند سال گذشته، تحقیقات نسبتاً جامعی در زمینهٔ زیست پالایی صورت گرفته است. در سال ۱۳۸۳، آقای پیمان سازنده چی، تحقیقاتی در مورد زیست دسترس پذیری آلاینده‌ها و نیز تعیین ضرایب جذب و دفع آنها انجام داده است [۱]؛ ولی به دلیل اینکه در این تحقیقات، میزان زیست دسترس پذیری آلاینده‌ها در محیطی فاقد ریزسازواره ها بررسی شده است، دراین پروژه سعی شد تا اثر میزان کربن آلی خاک بر زیست دسترس پذیری آلایندهٔ فنانترن، در حضور ریزسازواره ارزیابی شده و روش های زیست پالایی به صورت درجا و راکتوردوغابی نیز با هم مقایسه شوند. فنانترن، ترکیبی آروماتیک، ۳ حلقه ای و سرطان زا است که موجب افزایش حساسیت پوست بدن در برابر نور می‌شود. فنانترن یکی از آلاینده‌های محیط زیست محسوب شده و معمولاً از آن به عنوان الگویی برای مطالعهٔ ترکیبات آروماتیک حلقوی استفاده می‌شود [۵]،[۱۰].

۲- مواد و روش ها

۲-۱- نمونه های خاک مورد استفاده

به منظور بررسی تأثیر میزان کربن آلی خاک بر زیست دسترس پذیری فنانترن، ۵ نوع خاک مختلف؛ با درصد کربن آلی متفاوت از مناطق مختلف کشور نمونه برداری و آزمایش شدند. میزان درصد کربن آلی و محل تهیهٔ هر خاک در جدول (۱) آمده است.

نمونه‌های خاک از مناطق مختلف کشور، با شرایط آب و هوایی متفاوت انتخاب شدند؛ از این رو ترکیب مواد موجود (به ویژه میزان کربن آلی) در تمامی نمونه‌ها متفاوت بود. بنابر این با انجام این تحقیق، هم اثر میزان مواد موجود در نمونه های خاک بررسی شد و هم می‌توان با توجه به نتایج به دست آمده، میزان قابلیت زیست پالایی خاک مناطق مختلف کشور را به نوعی بررسی کرد.

این نمونه‌ها به فنانترن آلوده شده، باکتری *سودوموناس* به آنها اضافه شد و میزان زیست تخریب پذیری فنانترن مورد ارزیابی قرار گرفت. در خلال اجرای آزمایش‌ها، سعی شد تا رطوبت برابر با ۶۰ درصد رطوبت اشباع خاک و دما نیز در ۳۰ درجه سانتی گراد تنظیم شود [۲].

جدول (۱): درصد کربن آلی نمونه های خاک [۱]

نمونه های خاک	محل تهیه نمونه ها	درصد کربن آلی
S1	جنگل های چالوس	۱۳/۳
S2	رشت	۳/۳۸
S3	دانشگاه تربیت مدرس	۱/۷۱
S4	مشکین دشت	۰/۷۸
S5	قم	۰/۵

۲-۲- آماده کردن نمونه های خاک

مقدار یک کیلوگرم از نمونه‌های جمع آوری شده انتخاب شد و سپس تمامی نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت تا خشک شدن کامل در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. پس از خشک شدن نمونه‌های خاک، تمامی آنها با استفاده از مش ۱۰۰، دانه بندی شدند تا تمامی نمونه‌ها از نظر اندازهٔ ذرات یکسان باشند. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سانتی گراد و فشار ۱/۲ اتمسفر، به طور غیر مستقیم سترون شدند تا ریزسازواره‌های موجود در آنها از بین بروند. سپس نمونه‌های خاک به دو قسمت مساوی تقسیم و به ظروف درب داری منتقل شدند. یکی از این ظروف به عنوان شاهد و دیگری به عنوان ظرف اصلی در نظر گرفته شد [۲].

۲-۳- تنظیم رطوبت نمونه ها ی خاک

در این تحقیق سعی شد تا رطوبت نمونه‌ها در حدود ۶۰ درصد رطوبت اشباع خاک نگه داشته شود. به منظور تعیین رطوبت اشباع خاک، مقدار ۱۰ گرم خاک کاملاً خشک در یک بشر ریخته شد، سپس به آن آب مقطر اضافه شد تا آب به طور کامل جذب خاک شود و سطح خاک به صورت براق درآمده و با کج کردن بشر، گل به حرکت درآید. مقدار آب مصرف شده، میزان آب مورد نیاز برای اشباع کردن خاک را مشخص می‌کند [۲].

۲-٤- آلوده کردن نمونه های خاک به فنانترن

به منظور آلوده کردن نمونه های خاک به فنانترن، مقدار ۰/٤ گرم فنانترن در ۵۰ میلی لیتر حلال دی کلرومتان حل گردید و سپس بر سطح نمونه های خاک پاشیده شد تا به طور یکنواخت آلوده شوند. پس از پاشیدن فنانترن محلول، تمامی نمونه ها کاملاً به هم زده شدند تا فنانترن اضافه شده در تمامی نقاط خاک به طور یکسان پخش شود. سپس ظروف به مدت ۲٤ ساعت زیر هود قرار داده شدند تا حلال دی کلرومتان کاملاً تبخیر شود و فقط فنانترن در خاک باقی بماند [۲].

۲-۵- تهیه محیط کشت پایهٔ معدنی

محیط کشت پایهٔ معدنی؛ که حاوی همه مواد غذایی مورد نیاز برای ریزسازواره ها به استثنای منبع کربنی هست، مطابق جدول (۲) تهیه شد [۲].

جدول (۲): مواد لازم و مقدار آنها برای تهیه محیط کشت پایهٔ معدنی [۲]

نام ماده	غلظت (گرم بر لیتر)
فسفات هیدروژن دی آمونیوم	۱/۰۰۰
نیترات آمونیوم	۱/۰۰۰
سولفات منیزیم	۰/۰۵۰
کلرید سدیم	۰/۰۰۲
سولفات آهن (دو)	۰/۰۰۲
سولفات منگنز	۰/۰۰۲

۲-۶- کشت باکتری از جنس *سودوموناس* و شمارش آن

گونه ای از باکتری *سودوموناس* (جدا شده توسط مرحوم پرویز شفیعی دانشجوی دکتری دانشگاه تربیت مدرس) در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت.

مقدار ۱۰۰ میلی لیتر از محیط کشت مغذی تهیه و باکتری‌ها ازلوله آزمایش به این محیط کشت منتقل شدند. پس از سه روز با روش رقیق سازی و شمارش در پلیت، تعداد کلنی‌های موجود در محیط کشت، به ازای هر میلی لیتر محیط کشت محاسبه شد. شایان ذکر است که در روش رقیق سازی، باکتری مذکور در محیط کشت مغذی آگار تشکیل کلنی نمی‌دهد، بنا بر این از محیط کشت آگارحاوی خون استفاده شد [۲]،[۵]،[۱۱].

۲-۷- تلقیح باکتری ها به نمونه های اصلی

باکتری‌های رشد یافته در محیط کشت مغذی، با دستگاه سانتریفوژ (در ۱۲۰۰۰ دور بر دقیقه، به مدت ۱۰ دقیقه) از محیط کشت جدا و پس از شست و شو به محیط کشت معدنی اضافه شدند. سپس محیط کشت معدنی حاوی باکتری، بر روی نمونه‌های خاک پاشیده شده و نمونه‌های خاک به خوبی به هم زده شدند تا باکتری‌ها در تمامی نقاط خاک به طور یکسان پخش شوند [۲]،[۵].

۲-۸- اندازه گیری غلظت فنانترن در خاک

غلظت فنانترن در خاک، با توجه به روش موجود در مؤسسهٔ حفاظت محیط زیست محاسبه شد. مطابق روش با کد ۸۳۱۰ ، ابتدا فنانترن با استفاده از مخلوط دو حلال آلی نرمال هگزان و استن (۵۰ ٪ : ۵۰٪ حجمی) به مدت ۲٤ ساعت با دستگاه سوکسله استخراج شد. نمونه های استخراج شده، با دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا تجزیه و تحلیل شدند [۲]،[۳]، [۹].

برای تجزیه و تحلیل نمونه‌ها، از دستگاه کروماتوگرافی

مایع با کارایی بالا، با آشکار ساز ماورای بنفش (در طول موج ۲۵٤ نانومتر) و از روش الوشن ایزوکراتیک و ستون فاز معکوس $\mu Bondapac^{TM}C_{18}$، ساخت شرکت واترز، با قطر داخلی ٤/٦ میلی متر و طول ۲۵۰ میلی متر استفاده شد.

۲-۹- اندازه گیری میزان pH خاک

به منظور اندازه گیری میزان pH خاک، به مقدار ۱۰ گرم نمونهٔ خاک، ۱۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه و پس از ٥ دقیقه هم زدن، خاک با صافی ازبخش مایع جدا و pH آب با دستگاه pH متر اندازه گیری شد. این روش، مطابق روش با کد ۹۰٤٥ از استاندارد آژانس حفظت محیط زیست است [۲]،[۳].

۲-۱۰- زیست پالایی با روش در محل

ابتدا تمامی نمونه‌های خاک طبق روش‌های ذکر شده آماده و نمونه‌های اصلی، به فنانترن با میزان مشخص آلوده شدند. سپس به هر یک از ظروف اصلی، مقدار ۱۰۰ میلی لیتر محیط کشت معدنی (به همراه باکتری های موجود در آن) اضافه شد. تمامی ظروف حاوی نمونه‌های خاک، درون انکوباتور با دمای ۳۰ درجه سانتی گراد قرار داده شدند. تا پایان آزمایش، هر ۲۰ روز یک مرتبه، از نمونه‌های خاک نمونه گیری و میزان فنانترن موجود در آنها مشخص شد.

تعداد باکتری‌ها و pH نمونه‌ها در طول مدت انجام آزمایش‌ها اندازه گیری شدند. رطوبت نمونه‌ها نیز هر ۱۰ روز یکبار اندازه گیری شد و اگر میزان رطوبت از مقدار لازم (۶۰٪ رطوبت اشباع) کمتر بود، با آب مقطر سترون رطوبت از دست رفته جبران گردید [۳]،[۴]،[۷].

۲-۱۱- زیست پالایی با راکتور دوغابی

برای اجرای آزمایش در راکتور دوغابی نیز ابتدا نمونه‌های خاک مورد نظر به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. سپس به وسیلهٔ غربال با مش ۱۰۰، دانه بندی شدند.

حجم راکتور مورد نظر، ۲ لیتر و حجم کاری استفاده شده ۰/۸ لیتر بود. مقدار ۲۰۰ گرم نمونهٔ خاک تهیه شده، با روش فوق به راکتور اضافه و خاک موجود با ۰/۱۶ گرم فنانترن آلوده شد. پس از آن، به میزان ۵۷۰ میلی لیتر آب مقطر سترون به خاک درون راکتور اضافه شد. میزان بهینهٔ نسبت حجم آب به وزن نمونهٔ خاک در راکتورهای دوغابی، بین ۱۵:۱۰۰ تا ۴۰:۱۰۰، است [۶]،[۷].

دمای محیط ۳۰ درجه سانتی گراد، شدت هم زدن و اختلاط در راکتور ۲۰۰ دور بر دقیقه و میزان هوادهی ۱/۵ لیتر بر دقیقه تنظیم شد [۶]،[۷].

طول مدت اجرای آزمایش ۱۲ روز بود. شمارش تعداد باکتری ها سه بار، در روزهای اول، ششم و دوازدهم انجام شد. میزان pH خاک در ابتدا و انتهای آزمایش اندازه گیری شد. میزان فنانترن موجود در خاک نیز هر دو روز یکبار در طول مدت اجرای آزمایش اندازه گیری شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تعداد باکتری های درون خاک، درحالت درجا

تغییرات تعداد باکتری‌ها در جدول (۳) ارائه شده است. یادآوری این نکته لازم است که تعداد باکتری‌ها به هنگام اضافه کردن به نمونه های خاک، $۱۰^{۹}$ به ازای یک گرم خاک بود.

۳-۲- تغییرات pH در نمونه های خاک، درحالت درجا

تغییرات pH در نمونه‌های خاک، در مدت اجرای آزمایش مطابق با جدول (٤) است. نتایج نشان می‌دهند که مقدار pH، در طول مدت اجرای آزمایش، از محدودهٔ قابل تحمل برای باکتری‌ها (pH بین ۵ تا ۹) خارج نشده است.

جدول (۳): تغییرات تعداد باکتری ها (کلنی های تشکیل شده) در یک گرم از نمونه های خاک

نمومه خاک	روز ۱	روز ۱۰	روز ۴۰	روز ۷۰
S1	$۱۰^{۹}$	۹×۱۰^{۷}	۳×۱۰^{۸}	۲×۱۰^{۷}
S2	$۱۰^{۹}$	۲×۱۰^{۷}	۶×۱۰^{۸}	۷×۱۰^{۷}
S3	$۱۰^{۹}$	$۱۰^{۷}$	۵×۱۰^{۸}	۸×۱۰^{۷}
S4	$۱۰^{۹}$	۵×۱۰^{۷}	$۱۰^{۸}$	$۱۰^{۷}$
S5	$۱۰^{۹}$	$۱۰^{۷}$	۵×۱۰^{۷}	۵×۱۰^{۶}

جدول (۴): تغییرات pH در نمونه های خاک با درصد کربن آلی متفاوت

نمونه خاک	روز ۱۰	روز ۲۵	روز ۴۵	روز ۷۵
S1	۷/۷	۷/۳۱	۷/۱۵	۶/۹
S2	۷/۸۳	۷/۷	۷/۳	۷/۱
S3	۷/۷۲	۷/۵۵	۷/۳	۶/۸
S4	۷/۶	۷/۵۲	۷/۳۵	۷/۱۲
S5	۷/۷۵	۷/۲۵	۷/۱۴	۶/۵

۳-۳- تغییرات غلظت فنانترن در نمونه های خاک، با درصد کربن متفاوت

همان طوری که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، مقدار فنانترن در تمامی نمونه‌های خاک (نمونه‌های اصلی) در مدت ۹۵ روز به میزان قابل توجهی کاهش یافته است که نشان دهندهٔ موفقیت عملیات زیست پالایی است؛ اما رابطهٔ مشخصی بین

میزان کربن آلی خاک و میزان زیست پالایی فنانترن وجود ندارد. می‌توان گفت علاوه بر میزان کربن آلی خاک، ممکن است عوامل دیگری (نظیر مواد تشکیل دهندهٔ خاک، میزان شوری خاک و سایر یون‌های موجود در آن، سوخت وسازهمراه وعواملی که ممکن است هنوز ناشناخته باشند) نیز بر میزان زیست پالایی آلایندهٔ خاک مؤثر باشند؛ پس لازم است در ادامهٔ تحقیقات، با استفاده از یک نوع خاک با درصدهای متفاوت کربن، این موضوع بررسی شود.

همان گونه که نتایج نشان می‌دهند، زیست پالایی فنانترن در ۲۰ روز اول آهسته تر صورت می‌گیرد. قرار داشتن باکتری ها در فاز تأخیر می‌تواند دلیل این موضوع باشد. پس از عادت کردن باکتری‌ها به این منبع کربنی جدید، میزان زیست پالایی فنانترن افزایش می‌یابد. در این مرحله، چون باکتری‌ها در فاز رشد قرار داشته و منبع کربنی نیز بیشتر در اختیار آنها قرار می‌گیرد (میزانی از فنانترن موجود در خاک که در آب حل شده)، باکتری‌ها به استفاده از این منبع کربنی عادت می‌کنند و سرعت زیست تخریب پذیری فنانترن افزایش می‌یابد. در پایان آزمایش نیز به دلیل اینکه فنانترن کمتری در دسترس باکتری‌ها قرار می‌گیرد (بخشی از فنانترن که جذب بافت خاک شده، به سختی از آن جدا شده و در آب حل می‌شود)، زیست پالایی فنانترن با سرعت آهسته تری ادامه پیدا می‌کند.

جدول (۵): میزان کاهش فنانترن در نمونه های اصلی با میزان متفاوت منبع کربن آلی (در حضور باکتری)

نمونه خاک	میزان منبع کربن آلی	روز ۲۰	روز ۴۰	روز ۶۰	روز ۸۰	روز ۹۵
S1	۱۳/۸	٪۲۰	٪۵۳	٪۷۱	٪۸۰	٪۸۵
S2	۳/۳۸	٪۲۱	٪۵۵	٪۷۴	٪۸۳	٪۹۰
S3	۱/۷۱	٪۲۳	٪۵۸	٪۷۷	٪۸۷	٪۹۵
S4	۰/۷۸	٪۱۵	٪۴۴	٪۶۰	٪۷۱	٪۷۵
S5	۰/۵	٪۱۸	٪۵۰	٪۶۰	٪۷۵	٪۸۱

در جدول (۶) میزان کاهش فنانترن در نمونه‌های شاهد نشان داده شده است. در نمونه‌های شاهد نیز مقداری از فنانترن موجود (حدود ۱۵٪) کاهش می‌یابد. دلیل این مسأله می‌تواند به خاطر تجزیهٔ جزئی فنانترن در برابر نور و گرما باشد. مقدار بسیار کمی از فنانترن نیز ممکن است در اثر تبخیر کم شود. شکل (۱) میزان کاهش فنانترن در نمونه‌های اصلی را نشان می‌دهد.

جدول (۶): میزان کاهش فنانترن در نمونه های شاهد (عدم حضور باکتری)

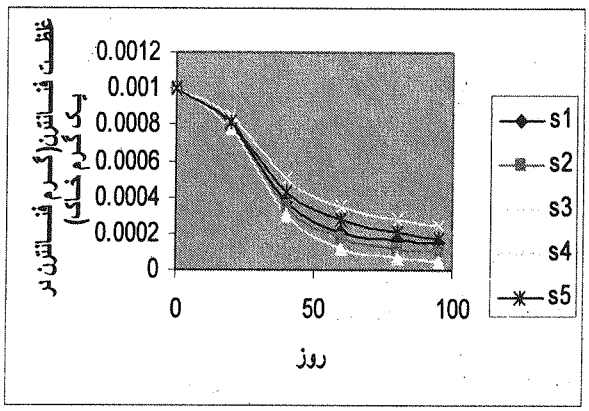
نوع خاک	میزان کاهش فنانترن در مدت ۹۰ روز (به صورت درصد)
S1	٪۱۲
S2	٪۱۰
S3	٪۱۵
S4	٪۱۱
S5	٪۱۲

۳-٤- تغییرات تعداد باکتری ها در راکتور دوغابی

نتایج مربوط به تغییرات تعداد باکتری‌ها در مدت اجرای آزمایش در جدول (۷) آمده است.

۳-۵- تغییرات میزان pH در راکتور دوغابی

جدول (۸) تغییرات pH را در مدت اجرای آزمایش در راکتور دوغابی نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، میزان pH در محدودهٔ قابل تحمل (pH بین ۵ تا ۹) برای باکتری‌ها است.



شکل (۱): میزان کاهش فنانترن در نمونه های اصلی

جدول (۷): تغییرات تعداد باکتری ها در راکتور دوغابی

روز	تعداد باکتری ها (کلنی های تشکیل شده در یک گرم خاک)
۱	۶×۱۰^{۸}
۶	۹×۱۰^{۹}
۱۲	$۸/۵\times۱۰^{۹}$

جدول (۸): تغییرات pH در راکتور دوغابی

روز	pH
۱	۷/۵
۶	۷/۳
۱۲	۶/۸

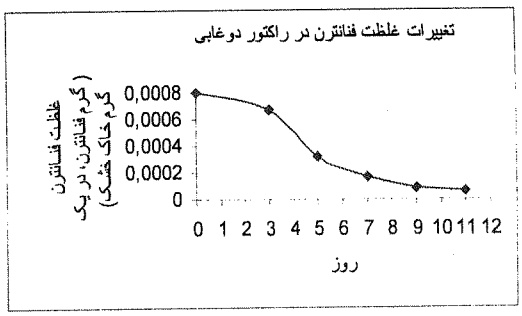
۳-۶- میزان کاهش فنانترن در راکتور دوغابی

جدول (۹) و شکل (۲) تغییرات میزان فنانترن موجود در خاک، در راکتور دوغابی را نشان می‌دهند.

جدول (۹): تغییرات غلظت فنانترن در راکتور دوغابی

روز	میزان کاهش فنانترن	نمونه خاک
۳	٪۱۶	S3
۵	٪۶۰	S3
۷	٪۸۰	S3
۹	٪۸۹	S3
۱۱	٪۹۳	S3

همان گونه که مشاهده می‌شود، میزان فنانترن موجود در خاک، با استفاده از راکتور دوغابی در مدت ۱۲ روز، به میزان ٪۹۳ کاهش یافت. این موضوع بیانگر بازدهی بالای این روش در حذف آلاینده‌ها است.

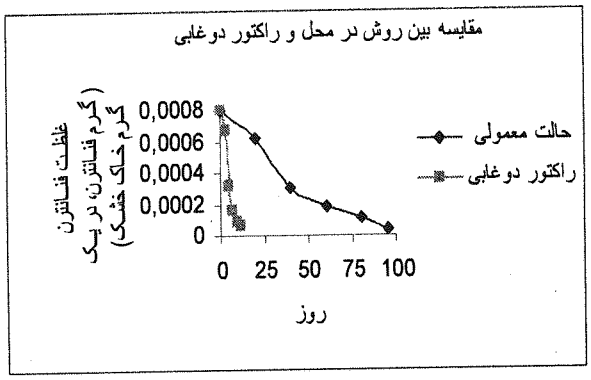


شکل (۲): تغییرات غلظت فنانترن در راکتور دوغابی

۳-۷- مقایسهٔ راکتور دوغابی و روش در محل

با مقایسهٔ نتایج به دست آمده از دو روش "در محل" و "راکتور دوغابی"، به سادگی مشخص می‌شود که با استفاده از راکتور دوغابی می‌توان در مدت زمان بسیار کمتری (نسبت به حالت در محل) به یک میزان قابل قبول از حذف آلاینده دست یافت. البته استفاده از راکتور دوغابی (استفاده از هم زن، هوادهی، آب مصرفی زیاد و هزینه‌های حفاری و استخراج خاک)، به افزایش هزینه‌ها منجر می‌شود؛ اما در مقابل، در زمان صرفه جویی شده و بازدهی بیشتری به دست می‌آید. توجه به این نکته هم ضروری است که در روش در محل، تمامی آزمایش‌ها در شرایط آزمایشگاهی و کنترل شده انجام شدند، پس یقیناً در شرایط منطقهٔ آلوده (با توجه به تغییرات آب و هوایی و سایر مسائل غیر قابل کنترل)، به راحتی نمی‌توان شرایط انجام عملیات زیست پالایی را بهینه کرد. این مسأله موجب می‌شود که در روش در محل، بازدهی پایین‌تری حاصل شود.

شکل (۳) مقایسهٔ بین میزان کاهش فنانترن در روش‌های "در محل" و "راکتور دوغابی" را نشان می‌دهد.



شکل (۳): مقایسه بین روش در محل و راکتور دوغابی

٤- نتیجه گیری

میزان زیست دسترس پذیری آلاینده در خاک، تابع عوامل مختلفی است و مقدار منبع کربن آلی موجود در خاک، تنها عامل مؤثر بر میزان زیست پالایی آلاینده نیست. به همین دلیل، رابطهٔ منطقی بین افزایش منبع کربن خاک و زیست دسترس پذیری وجود ندارد.

علاوه بر میزان منبع کربن موجود در خاک، عواملی مثل مواد تشکیل دهندهٔ خاک، میزان شوری خاک، پدیدهٔ سوخت و ساز همراه و غیره نیز در میزان زیست پالایی آلاینده مؤثر هستند.

در مقایسه با روش درمحل، استفاده از راکتور دوغابی برای حذف آلاینده از خاک، سرعت تجزیه را حدود ۹ برابر افزایش می‌دهد که از نظر سرعت عمل جالب توجه است، لیکن ملاحظات اقتصادی نیز باید مد نظر قرار گیرند.

با روش زیست پالایی در محل می‌توان در مدت ۹۵ روز آلاینده‌های خطرناک و مقاوم به تجزیه پذیری، نظیر PAHs را تا مقدار ۹۵ درصد تجزیهٔ زیستی کرد.

با توجه به اینکه در این تحقیق سعی شد تا اثر باکتری‌ها در زیست پالایی آلایندهٔ فنانترن ارزیابی قرار شود؛ سنجش میزان باقی ماندهٔ فنانترن در خاک کافی است؛ اما اندازه گیری میزان کل کربن آلی خاک، میزان اکسیژن مورد نیاز برای تصفیهٔ بیولوژیکی و میزان اکسیژن مورد نیاز برای اکسیداسیون شیمیایی مواد آلی موجود در خاک، با توجه به اینکه داده‌های بیشتری در اختیار محقق قرار می‌دهد، می‌تواند مفید باشد و موجب شود تا نتایج کامل تری از آزمایش‌ها گرفته شود.

با توجه به قابلیت راکتور های دوغابی، از این نوع راکتورها، بیشتر در زیست پالایی خاک مناطقی استفاده می‌شود که حجم کم و بار آلودگی زیاد دارند.

۵- تقدیر و تشکر

از آقای مهندس علی ضیاء الدینی و سرکارخانم فاطمه تیموری، به خاطر همکاری در انجام پروژه، تشکر می‌شود.

۶- مراجع

[۱] سازنده چی، پیمان؛ **زیست دسترس پذیری و تعیین ضرایب جذب و دفع هیدروکربن های آروماتیکی چند حلقه ای**، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه بیوتکنولوژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس،۱۳۸۳.

[۲] ضیاءالدینی، علی؛ **بررسی میزان کاهش فنانترن در خاک با روش زیست پالایی**، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه بیوتکنولوژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۳.

[۳] U. S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation Office Washington, DC 20460, *"Remediation Technology Cost Compendiume"*, www.epa.gov, 2000.

[۴] Teri Institute, North-Western India, Oilzapper Case Study, *"Eliminate Crude Oil Spill"*, Manage Oily Sluge, www.teriin.org/case/oilzap.htm, 1997.

[۵] Allaed A. S.; Remberger M.; Neilson A. H.; *"The Negative Impact of Again on the Loss of PAH Components in a Creosote-Contaminated soil"*, Int. Biorem. Biodeg., vol. 46, pp 43-49, 2000.

[۶] Boopathy R.; *"Bioremediation of Tetril-Contaminated Soil Using Sequencing Batch Soil Slurry Reactor"*, Int. Biodeterio. Biodeg., Vol. 55 pp. 293-297, 2005.

[۷] Chulhowanpark.; Kim T. H..; Kim S.Y..; Lee J. W.; *"Bioremediation of 2,4,6 Trinitrotoluene Contaminated Soil in Slurry and Column Reactors"*, J. Biosci. Bioengin., Vol. 96, No. 5, pp. 429-433, 2003.

[۸] Daugulis A. J.; Janikowski T. B.; *"Scale up Performance of a Partitioning Bioreactor for the Degradation of Polyaromatic Hydrocarbons by Sphingomonas aromaticivorans"*, Department of of Chemical Engineering, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada, pp 591-594, 2002.

[۹] Golts M. N.; Mandalas G. C.; Hopkins G. D.; McCarty,P.L.; *"Technology Transfer of an Innovative Remediation Technology from the Laboratory to the Field: A Case Study of In Situ Aerobic Co-Metabolic Bioremediation"*, Environ. Engg. Policy, vol. 1, pp 117-124, 1998.

[۱۰] Pfender W. F.; Maggard S. P.; Gander L. K.; Watrud L. S.; *"Comparison of Three Bioremediation Agent for Mineralization and Transformation of Pentachlorophenol in Soil"*, Bull. Enviro. Contam. Toxicol., vol. 59, pp 230-237, 1997.

[۱۱] Singer A. C.; Gilbert E. S.; Luepronchai E.; Ecrowly D.; *"Bioremediation of Polychlorinated Biphenyl-Chlorinated Soil Using Carbon and Surfactant Grown Bacteria"*, Appl. Microbiol. Biotechnol., vol. 54, pp 838-843, 2000.