مطالعه ميزان آلودگي هيدروكربوري سواحل خليج فارس و امكان تجزيه بيولوژيكي آن

منوچهر وثوقی* پریوش مصلح آبادی** ایران عالم زاده***
مهدی برقعی**** داود رشتچیان***** علی محمدصنعتی******

(دریافت ۸۲/۸/۲۷ پذیرش ۸۳/۲/۱)

چکیده

میزان آلودگی نفتی و فلزات سنگین موجود در رسوبات ۸ ایستگاه انتخابی در سواحل خلیج فارس اندازه گیری و نتایج نشان داد که میانگین هیدروکربورهای کل بین ۱۴/۳ تا ۱۴۳/۶ میلی گرم بر کیلوگرم است و بالاترین غلظت فلزات سنگین را نیکل با میزان ۵۸/۶ میلی گرم در کیلوگرم در منطقه امام حسن واقع در حدود ۵۰ کیلومتری غرب بندر بوشهر دارا می‌باشد. درمان بیولوژیکی در دو محیط دوغابی و جامد مورد مطالعه قرار گرفت. از ۸ نوع باکتری شناسایی شده در خاک این منطقه، ۴ سویه به نام‌های **EM2**، **SH**، **GN1** و **GN3** بهترین راندمان را جهت حذف هیدروکربورهای حلقوی **PAH** را از خود نشان دادند. زمان حذف در محیط دوغابی در حدود ۴۵ روز است که در این مدت نفتالین و فنانترن به ترتیب ۷۳ و ۶۶ درصد حذف می شوند. در محیط جامد فعالیت میکروب‌های مخلوط و خالص مطالعه می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که میکروب‌های مخلوط از توانایی بالاتری برخوردارند، زیرا گونه‌های متفاوت قادر به ایجاد شرایط مناسب برای رشد خود در محیط‌های مختلف هستند. از طرف دیگر به خاطر عدم اختلاط کافی در محیط جامد، سرعت انتقال مواد کاهش یافته و در نتیجه فعالیت میکروب‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد. لذا راندمان حذف در محیط دوغابی بیشتر از جامد است.

واژه‌های کلیدی : آلودگی نفتی؛ سواحل خلیج فارس؛ درمان بیولوژیکی.

Determination and Bioremediation of Petroleum Pollutant in Soil of Persian Gulf Coast

Vossoughi, I., Moslehi, P., Alemzadeh, I., Borghei, M., Rashtchian, D., and sanati, A.M.
Chemical Engineering and petroleum, BBRC, Sharif University of Technology

Abstract

The amount of petroleum pollutant in soil of Persian Gulf coast at 8 selected stations were determined and showed the concentration between 14.3-143.6 mg/kg. Nickel has the highest concentration level of heavy metal with 58.6 mg/kg in Emam Hassan area at 50 kilometers of west Boushehr port. Bioremediation of contaminated soil were studied in two medium in slurry and solid state fermentation and 8 bacteria types were isolated. Four species: EM_2, SH, GN_1 and GN_3 presented optimal PAH removal efficiency. Biodegradation efficiency under slurry condition was found after 45 days which during this period, naphthalene and phenanthrene showed 73% and 66% removal efficiency respectively. Under solid state conditions, microbial activity of mixed and pure culture were studied. The results presented that mixed culture due to high ability of different strains for growth, showed higher degradability compared to pure culture, but due to insufficient mixing under solid state condition, mass transfer velocity of nutrient reduces to the level that caused reduction in cell activity, so removal efficiency under slurry condition was found higher than solid state respevtively

مقدمه

* استاد دانشگاه صنعتی شریف **** استادیار دانشگاه صنعتی شریف
** مربی دانشگاه صنعتی شریف ***** دانشیار دانشگاه صنعتی شریف
*** استاد دانشگاه صنعتی شریف ****** مربی داشگاه خلیج فارس

خلیج فارس، در ناحیه‌ای بین عرض جغرافیایی ۳۰°-۲۴°، و طول جغرافیایی ۵۶°-۴۸° واقع شده، و یک حوضچه کم عمق به طول تقریبی ۱۰۰۰ کیلومتر، و عرض حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتر، سطحی برابر ۲۲۶۰۰ کیلومتر مربع دارد و عمق متوسط آن ۳۵ متر مربع است. حجم آب در این ناحیه در حدود ۷۸۰۰ کیلومتر مکعب می باشد [۱].

به دلیل توسعه کشورهای ساحلی خلیج فارس، و به کمک درآمدهای نفتی در دهه‌های اخیر، اکوسیستم خلیج فارس و به ویژه سواحل آن شاهد تأثیرات مخربی بوده است. حدود ۴۰ درصد از کل ترافیک تانکرهای نفتی جهان، در خلیج فارس جریان دارد و سالانه حدود ۲۰ تا ۳۵ هزار تانکر نفت در خلیج فارس تردد می‌کنند و حدود ۳ تا ۸ میلیون تن پساب نفتی به آب‌های این منطقه تخلیه می‌شود. سالانه حدود ۱۵۰ هزار تن نفت از منابع مختلف به خلیج فارس را ه می‌یابند [۲]. حوادث سیاسی مترتب بر این منطقه نیز از عوامل تشدید آلودگی به شمار می‌روند. در جنگ عراق علیه کویت که بزرگترین حادثه نفتی تاریخ جهان بود، ۹۰۰ میلیون بشکه نفت در مدت ۹ ماه وارد محیط زیست منطقه شد [۳]. یافته‌های پژوهشی در ارتباط با نشست آلاینده‌ها در بخش‌هایی از استان‌های خوزستان و بوشهر، نشان دهندهٔ آلودگی شدید این مناطق می‌باشد حدود ۳/۵ تن نفت در هر هکتار در بخش وسیعی از کشور به زمین نشسته است [۴]. هیدروکربورهای نفتی و انواع فلزات سنگین در خاک این مناطق وجود دارد که برای سلامتی انسان و موجودات زنده بسیار خطرناک است؛ زیرا بیشتر این ترکیبات سرطان‌زا و جهش زا بوده و طبیعتاً یک پتانسیل تجمع بیولوژیکی دارند و زمان حذف آن‌ها در طبیعت بسیار طولانی است [۵].

مطالعات بسیار گسترده‌ای در چند سال اخیر در زمینه چگونگی کاهش و حذف این آلودگی در محیط زیست شروع شده است فناوری‌های تصفیه خاک‌های آلوده معمولاً به نحوی گسترش یافته‌اند، تا با موارد استفاده تطبیق داده شوند. در مورد خاک‌های آلوده نفتی، باید غلظت هیدروکربن‌های نفتی TPH در خاک به زیر ۱۰۰mg/kg غلظت TPH برسند [۶ و ۷]. فناوری‌های زیادی نظیر فرایندهای حرارتی، سوزاندن، دفع با هوا، اکسیداسیون و احیا، شناورسازی و درمان بیولوژیکی برای تصفیه سایت‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی وجود دارد. روش تصفیه انتخاب شده بستگی به مشخصه‌های آلودگی و سایت، مقررات حاکم، کمیت و زمان حاکم دارد. البته می‌توان از چند فناوری به طور سری یا موازی نیز استفاده کرد تا تصفیه در شرایط بهینه و مؤثرتر انجام گیرد.

تعاریف زیادی برای درمان بیولوژیکی ارائه شده است. در سال ۱۹۹۱ این تعریف توسط مدسن[1] ارائه شد: " یک فرایند ترتیب یافته یا خود به خود که در آن کاتالیست‌های بیولوژیکی روی ترکیبات آلاینده عمل کرده و آنها را درمان می‌نمایند یا آلودگی محیط را از بین می‌برند" [۸].

تجزیه در خاک آلوده و طبقات زیرزمینی حاوی آب، ممکن است تحت تأثیر قیدهای زیست محیطی قرار گیرند. قیدهایی مثل اکسیژن حل شده، pH، دما، مواد سمی، پتانسیل‌های اکسیداسیون و احیا و قابلیت دسترسی به مواد غذایی غیرآلی (مثل هیدروژن و فسفر) شوری و غلظت و طبیعت مواد آلی، مقدار و نوع ارگانیسم‌های حاضر در محیط زیست نیز نقش مهمی در این فرایند دارند. در این صورت تصفیه شامل ایجاد شرایط بهینه برای قیود ذکر شده می‌باشد، تا بتوان محرک و انگیزه برای رشد ارگانیسم‌هایی را که باعث متابولیسم یک آلاینده خاص می‌شود، ایجاد کرد.

برخلاف سایر روش‌هایی که به صورت اضطراری مسئله را جا به جا می‌کنند، یا آلاینده ها را به واسطه دیگری انتقال می‌دهند، درمان بیولوژیکی کوشش می‌کند که با بازیافت کامل خاک آلاینده‌ها را به مواد بی‌ضرر تبدیل نماید. در یک تحقیق، ثابت شد که ترکیبات PAH نفت دیزل در طی ۱۲ هفته به طور کامل توسط این روش حذف می‌شوند [۹] هم‌چنین نتایج مطالعات تعدادی از پژوهشگران، نشان می‌دهد که باکتری‌ها قدرت تجزیه بالاتری نسبت به قارچ ها دارند [۱۰ و ۱۱].

در تحقیقاتی که در دانشکده مهندسی شیمی و نفت دانشگاه صنعتی شریف به انجام رسید، اعلام گردید که قارچ ها نیز توانایی حذف هیدروکربورهای حاوی نفتالین، فنانترن و آنتراسن را دارند که حداکثر حذف به ترتیب برابر ۷۵، ۶۵ و ۵۹ درصد به دست می‌آید.

در یک تحقیق دیگر نشان داده شده است که قارچ فانروچیت کریسوسپوریوم[2] نیز قادر است هیدروکربورهای حلقوی را تجزیه نماید. این قارچ ها در محیط دوغابی

[1] Madsen
[2] Phanerochaete chrysosporium

توانسته‌اند حدود ۹۰٪ فنانترن را پس از ۶ روز حذف نماید [۱۲ و ۱۳].

مواد و روش‌ها

با توجه به مشاهداتی که در بازدید از مناطق ساحلی به عمل آمد، ۸ ایستگاه که ظاهراً دارای آلودگی نفتی نسبتاً بالایی بودند انتخاب شد. این نقاط به ترتیب از سمت غرب خلیج فارس به طرف شرق عبارتند از: دیلم، امام حسن، گناوه، شغاب (در بوشهر)، دیر، کنگان، اسکله بهمن، عسلویه.

الف- نمونه‌برداری

نمونه‌برداری از رسوبات ساحلی در دو فصل تابستان و اواخر پائیز انجام شده است [۱۴]. در این طرح از نمونه‌بردار ون وین برگ برای نمونه‌برداری استفاده شد. نمونه ها از عمق ۱۰cm گرفته شده و به آن‌ها سدیم بنزوات اضافه شد و به سرعت منجمد گردیده و توسط هواپیما به تهران و دانشگاه صنعتی شریف منتقل گردید، و آزمایش‌های روی نمونه‌ها در دانشگاه صنعتی شریف انجام شد.

ب- اندازه‌گیری‌ها

برای اندازه‌گیری فلزات سنگین از دستگاه اسپکترومتر جذب اتمی با مشخصات زیر استفاده می‌شود.

Atomic Absorption – spectrophotometer, Analytic Jena zeiss GmbH AAS 5EA. Germany 26000^{-126}.

برای اندازه گیری آروماتیک های حلقوی [PAH] توسط دستگاه HPLC نوع UV با ستونی از نوع Odssil با طول ۲۵ سانتی متر و قطر داخلی ۴/۶ میلی‌متر و طول موج ۲۵۴nm کوپل شده به یک دتکتور فلورسانس با طول موجی برابر ۲۸۰nm و جذب بزرگتر از ۳۸۹nm انجام می شود. حلال به کار گرفته شده دی کلرومتان + هگزان با نسبت حجمی مساوی است.

TPH با دستگاه سوکسیله اندازه گیری و از دستگاه TOC Analyzer CA10 ساخت کمپانی اسکالر[1] برای اندازه گیری TOC استفاده می شود.

ج- بخش درمان بیولوژیکی

عملیات درمان بیولوژیکی در سه مرحله صورت می گیرد.

شناسایی میکروب‌ها

عملیات درمان در فاز دوغابی

عملیات درمان در فاز جامد

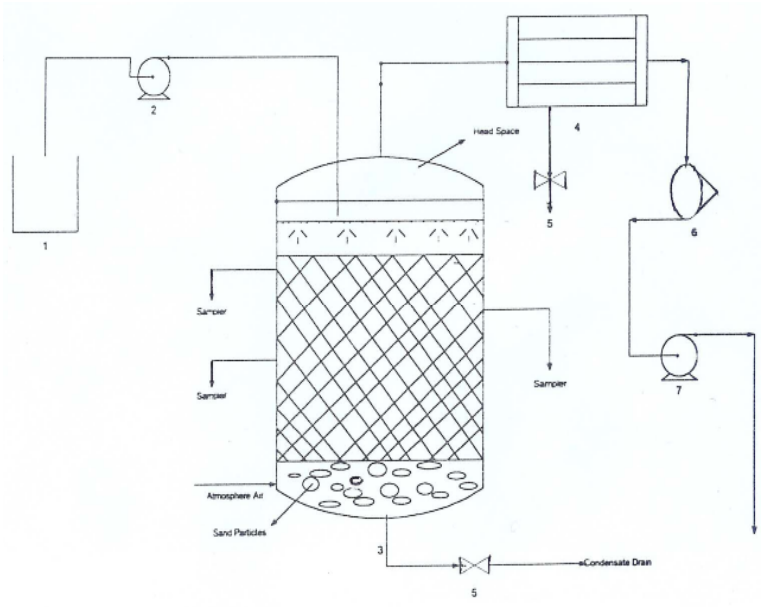
به منظور شناسایی میکروارگانیسم های جدا شده، مطالعات ماکروسکوپیک و میکروسکوپیک روی باکتری ها صورت می‌گیرد. این آزمایش‌ها، شامل رنگ آمیزی، کرم، کاتالاز و اکسیداز می باشند. همهٔ این آزمایش‌ها با روش‌های استاندارد میکروبیولوژی صورت گرفتند [۱۵].

محیط کشت دوغابی توسط مواد مغذی به همراه رسوبات در ارلن تهیه و عملیات بیولوژیکی روی آن‌ها انجام می شود. جدول ۱ ترکیب محیط کشت را نشان می دهد. برای انجام عملیات درمان در فاز جامد، از یک بیوراکتور فاز جامد استفاده می شود. در شکل ۱ دیاگرام و مشخصات این بیوراکتور مشاهده می شود.

[1] Skaler

جدول ۱- ترکیب مواد معدنی جهت ساخت محلول مغذی – معدنی

مواد معدنی	غلظت (g/l)
Na_2HPO_4	۱/۳۳۷۵
NH_4Cl	۰/۶۶۷۵
$MgSO_4\ 7H_2O$	۲/۵
$CaCl_2\ H_2O$	۰/۰۲۵
$FeSO_4\ H_2O$	۰/۱
$MnSO_4\ H_2O$	۰/۰۰۳۷۵



۱ـ تانک ذخیره مواد مغذی
۲ـ پمپ تزریق مواد مغذی
۳ـ بیوراکتور فاز جامد
۴ـ کندانسور
۵ـ شیر تخلیه قابل کنترل
۶ـ روتامتر
۷ـ مکنده

شکل ۱- بیوراکتور فاز جامد

جدول ۲- غلظت فلزات سنگین در رسوبات مناطق ساحلی خلیج فارس

کدونام محل نمونه برداری میزان فلزات سنگین mg/kg	شغاب SH	دیلم DA	امام حسن EM	گناوه GN	دیر DR	کنگان KN	اسکله بهمن BA	عسلویه AS
Ni	۴۳/۲	۴۸/۲	۵۸/۶	۴۲/۰	۵۰/۶	۲۶/۱	۴۰/۶	۴۴/۶
Cr	۳۷/۴	۲۱/۷	۱۱/۹	۳۲/۶	۳۴/۷	۲۳/۲	۳۲/۷	۳۹/۶
Cd	۶/۷	۵/۶	۷/۹	۹/۲۷	۱۰/۶	۷/۲	۶/۳	۷/۶

جدول ۳- مقدار تجمع TPH، TOC و PAHs در رسوبات سواحل خلیج فارس

کد محل نمونه برداری نوع آلودگی mg/kg	SH	DA	EM	GN	DR	KN	BA	AS
TPH	۲۰/۴	۵۴/۹	۱۴۳/۶	۱۴/۳	۲۳/۷	۴۳/۴	۲۴/۳	۲۱/۴
TOC	۲۵/۲	۵۶/۸	۱۵۹/۲	۱۶/۸	۲۹/۲	۵۹/۶	۳۰/۶	۲۷/۲
PAHs	۱۵/۰۵	۳۵/۵	۸۹/۶	۱۱/۲	۱۸/۲۵	۳۴/۶۵	۱۸/۴۳	۱۷/۴۳

نتایج و بحث

وجود فلزات سنگین در محیط های خاکی و آبی، یکی از نشانه های آلودگی هیدروکربورهای نفتی است که مهم‌ترین آنها وانادیوم، کامیودم، نیکل و کرم می باشند. جدول ۲ نشان می‌دهد که غلظت فلزات سنگین در همهٔ مناطق قابل ملاحظه است. حداکثر این غلظت در منطقه امام حسن می باشد که نیکل آن به ۵۸/۶ میلی گرم در هر کیلوگرم رسوب می رسد. این فلزات عامل بازدارنده ای برای رشد میکروب‌ها هستند.

اغلب هیدروکربورهای سبک و نیز الکان‌ها، در اثر عوامل فیزیکی و نور خورشید و گرما تبخیر شده و از محیط های خاک خارج می شوند. مهم‌ترین بخش هیدروکربوری مربوط است به مواد منوآروماتیک، دی آروماتیک، هتروآروماتیک ترکیبات

قطبی و کلوئیدی نفت. جدول ۳ میزان TPH، TOC و PAHs را در رسوبات سواحل خلیج فارس نشان می دهد.

مقادیر ذکر شده در جدول‌های ۲ و ۳ متوسط میزان اندازه‌گیری شده نمونه ها در دو فصل می باشند.

نتایج جداسازی و بررسی میکروارگانیسم‌ها

برای بررسی توانایی میکروارگانیسم‌ها در حذف آلاینده‌های هیدروکربوری، انواع زیادی میکروارگانیسم از رسوبات آلوده به مواد نفتی، جداسازی گردید و آزمون رشد روی آنها انجام شد و براساس آن انتخاب گردیدند. زمان رشد میکروارگانیسم‌ها در محیط های مناسب بین ۴ تا ۶ روز است. در طی این مدت از نمونه‌های فوق، چندین نوع کلنی مختلف به دست آمده که ۸ گونه آنها خلوص بالاتری داشته و جداسازی می شوند. با توجه به بررسی ها، می توان گفت که غالب باکتری‌های جدا شده، در گروه سود موناس ها قرار دارند و دارای گرم منفی و کاتالاز مثبت هستند که در بسیاری از منابع نیز، قابلیت این گروه از میکروارگانیسم ها در حذف مواد هیدروکربوری گزارش شده است. سپس با مطالعات بعدی راجع به توانایی سویه های جدا شده از طریق رشد سلولی، نتیجه گیری شد که ۴ سویه از باکتری های فوق بهترین هستند که عبارتند از EM_2 ، SH ، GN_1 و GN_3 ، که در محیط های نفتی و اختصاصی بهترین رشد و بالاترین توده سلولی را دارند و برای مطالعات بعدی انتخاب می‌شوند. شکل ۲ مقایسه غلظت سلول‌ها با توجه به نوع باکتری را نشان می دهد. بر این اساس تصفیه بیولوژیکی در فلاسک توسط چهار باکتری فوق انجام می‌شود.

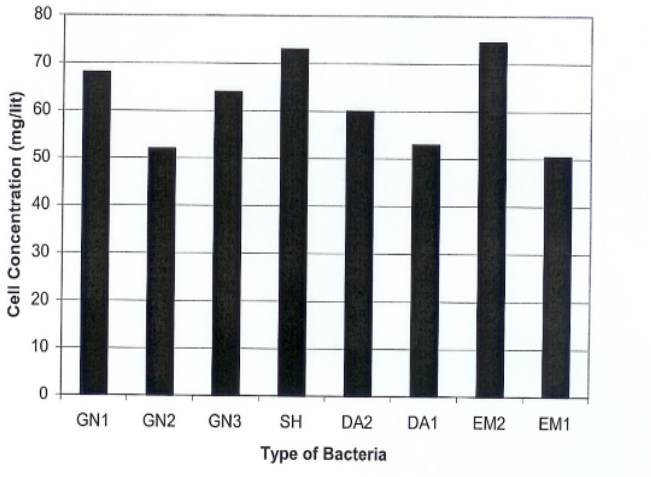
نتایج مربوط به کشت در محیط دوغابی

شکل ۳ منحنی درصد حذف فنانترن توسط باکتری‌های استخراج شده را نشان می دهد.

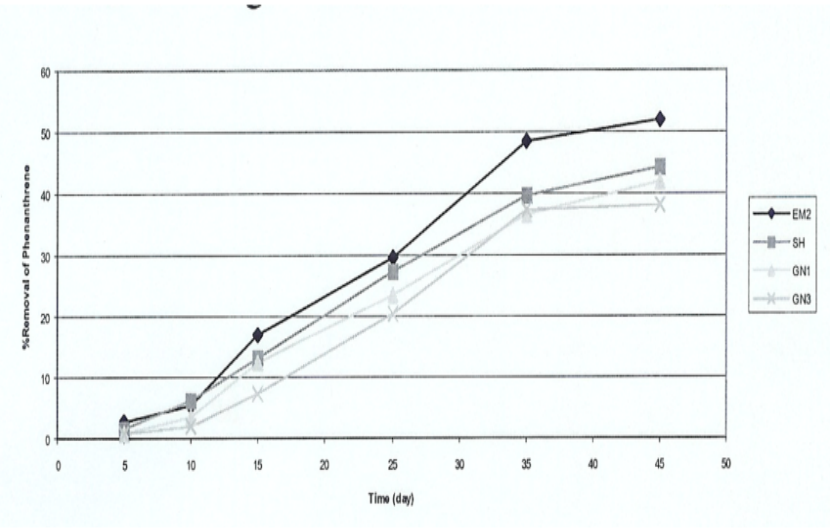
به طوری که مشاهده می شود، حداکثر حذف مربوط است به سویه EM_2 یعنی منطقه امام حسن و این نتیجه قابل انتظار است؛ زیرا میزان آلودگی این منطقه بالاتر از سایر نقاط می باشد. کند شدن شیب منحنی ها در انتهای زمان مربوط به کمبود مواد مغذی در محیط است.

در مورد فنانترن، بالاترین درصد حذف ۵۵٪ بعد از ۴۵ روز می باشد. این ماده به دلیل تعداد حلقه های بیشتر (۳ حلقه) تجربه پذیری کمتری نسبت به نفتالین دارد.

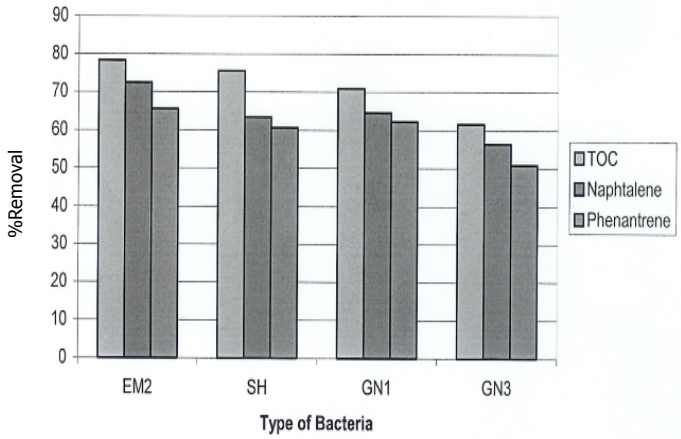
شکل ۴ دیاگرام ستونی حذف دو هیدروکربور نفتالین و فنانترن، و مقدار TOC توسط چهار سویه انتخاب شده را در یک محیط دوغابی نشان می دهد.



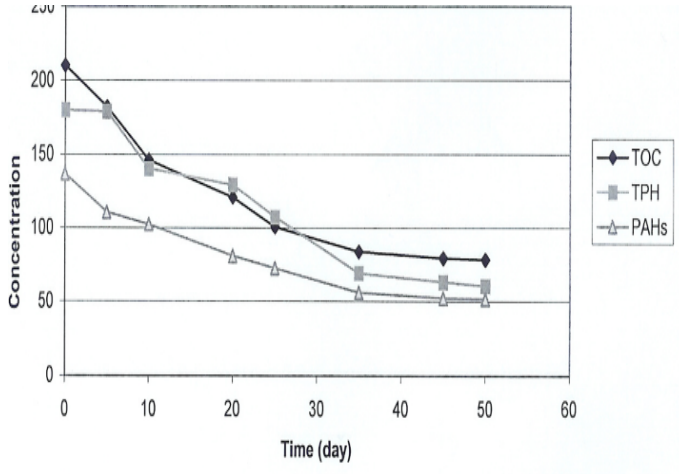
شکل ۲- دیاگرام ستونی غلظت سلولها



شکل ۳- مقایسه درصد حذف فنانترن توسط باکتری‌های استخراج شده



شکل ۴- مقایسه میزان درصد حذف TOC، نفتالین و فنانترن توسط سویه های استخراج شده پس از ۵۰ روز



شکل ۵- تغییرات غلظت TOC، TPH و PAH برحسب زمان در بیوراکتور فاز جامد

نتایج به دست آمده کاملاً منطبق بر انتظارات است. زیرا سویه EM_2 در این حالت نیز بالاترین حذف را دارا می باشد. حداکثر حذف نفتالین حدود ۷۳ و فنانترن ۶۶ درصد به دست می آید.

نتایج مربوط به درمان در فاز جامد

در مرحلهٔ بعد رسوبات آلوده به مواد آلی (هیدروکربورهای نفتی) در یک بیوراکتور فاز جامد قرار داده و به آن سوسپانسیونی از مخلوط باکتری‌ها اضافه می شود.

شکل ۵ تغییرات غلظت کربن آلی کل TOC و کل مواد هیدروکربوری TPH و هیدروکربورهای آروماتیک PAH را برحسب زمان نشان می دهد.

مشاهده می شود که، فعالیت های میکروب‌ها در این حالت کاهش می یابد؛ به طوری که درصد حذف مواد آلوده پائین تر از حالت محیط دوغابی است، که مهم‌ترین دلیل آن کاهش ضرائب انتقال جرم می باشد زیرا اختلاط کافی نیست.

البته قابل ذکر است که میکروب‌های مخلوط در محیط‌های جامد از خود توانایی بالاتری را نشان می دهند؛ زیرا شرایط رشد و تکثیر برای میکروب‌های خالص در محیط های جامد معمولاً زیاد مناسب نیست. مجموعه میکروب‌های مخلوط بهتر می توانند تغییرات محیطی را تحمل نمایند، زیرا گونه های متفاوت قادر به ایجاد شرایط مناسب برای رشد خود در محیط‌های مختلف هستند، در صورتی که میکروب‌های خالص به دلیل همگونی تحت شرایط نامناسب همگی ضعیف خواهند شد.

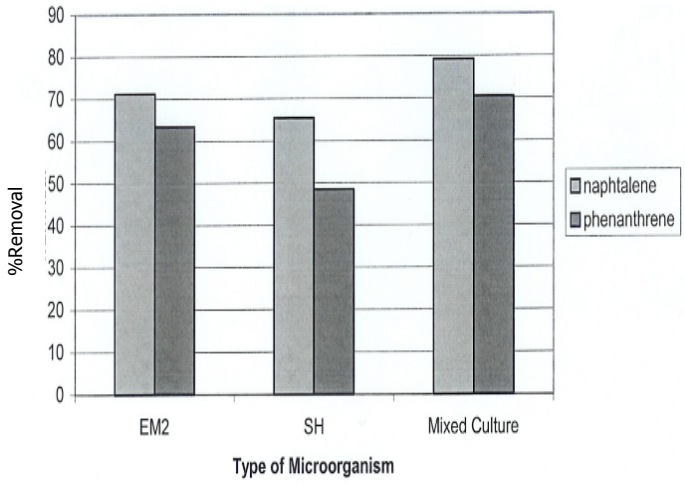
شکل ۶ تغییرات درصد حذف نفتالین و فنانترن پس از مدت زمان ۵۰ روز در محیط جامد میکروکوسم[1] برای گونه‌های مخلوط و دو گونه خالص SH و EM_2 را نشان می‌دهد.

با مقایسه نتایج قبل، مشاهده می شود که اولاً درصد حذف هیدروکربورهای آروماتیک توسط گونه های خالص در حالت جامد کمتر از حالت مایع است و هم‌چنین میکروب‌های مخلوط در این حالت توانایی بالاتری دارند.

غلظت فلزات سنگین در مناطقی که احتمال آلودگی نفتی وجود دارد، قابل ملاحظه است. نتایج این بررسی و سایر بررسی‌ها نشان می دهند که در مناطقی که غلظت فلزات سنگین بالاتر است، میزان TPH و PAH نیز در رسوبات افزایش می یابد. در این مورد بالاترین غلظت نیکل در ایستگاه بندرگاه امام حسن است و بالاترین میزان TPH و PAH نیز مربوط به این ایستگاه می باشد. میزان آلودگی بالا در این ایستگاه به دلایل مختلف، از جمله وجود تأسیسات نفتی در منطقه است. به طور کلی غلظت هیدروکربور در سمت شرق خلیج فارس کمتر از غرب است که بیشتر به خاطر وجود پایانه های نفتی خارک در غرب می باشد.

در درمان های زیستی رسوبات آلوده به ترکیبات نفتی، محیط های کشت دوغابی بازده بهتری را نسبت به محیط های کشت جامد نشان می دهند.

[1] Microcosm



شکل ۶- تغییرات درصد حذف نفتالین و فنانترن پس از ۵۰ روز در محیط جامد

تقدیر و تشکر

از حمایت های مالی معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه صنعتی شریف در انجام این پروژه تشکر می شود.

منابع

1- Renolds, R.M., (1993). *"Physical Oeanography of The Persian Gulf Strait of Hormaz and Gulf of Oman Results From The Expedition"* , Mar pollution, 27, pp: 32-60.
2- IMCOS, (1984). "*Hand book of weather in the Gulf*", General Elimate Data, London, IMCOS Marine LTD.
3- Esmaili, H., (1998). *"Environmental Pollution of Iran as a Consequence of The Kuwait War"* Dept of Education and Research Ministry of Jahad, Tehran, IRAN
4- Bamaby, F., (1991). "*The Environment Impact of The Persian Gulf War"* The Ecologist, 21 (4), pp: 166 – 172.
5- Lang, W., J.H., Puhakka, J.H., (2000). *"In Site Biological Remediation of Cotaminated Ground Water a Review"* Env.pollution, 107, pp: 187 – 197.
6- Everisen, R, (1998). *"Remediation of Petroleum Contaminated Soil"* Lewis publisher, pp: 2.
7- Escantin, E., Porte, (1999). *"Assessment of PAH Pollution in Coastal Dreas from the NW Mediter nean through the Analysis of Fish Bile",* Marine Pollution Buletin, Vol 38, No.12.
8- Hakstege, A.L., Vangelder malsem, L.A., (1998). *"Pilot Remediation of Sediment from the Petroleum Harbun on Amsterdam"*, wat. Sci.Tech., Vol.37, No. 6 –7, pp: 403 – 409.
9- Ghassemi, M.J., (1988). *"Innovative sites"*, Haz.Mat, 17, pp: 187 – 206.
10- Yaghmaei, S., Vossoughi, M., Safekordi, A., (2000). *"Biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Fungi Isolated from Tar Contaminated Soil"* Chisa, 27 – 31, Praha, Czech.
11- Yaghmaei, S., Vossoughi, M., Safekordi A., (1999). *"Modeling and Simulation on Bioremediation Process",* 4th Nation Chemical Eng. Congress, Tehran, Iran.
12- Zhongming Z., Jeffery, O., (2000). *"Removal of Surfactant Solubilized Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Phanerochaete Chrysosporium in a Rotating Biological Contactor Reactor"* , Biotechnology, 46, pp: 241, 249.
13- Dincer, A.R., Kargi, F., (2000). *"Performance of Rotating Biological Disk System Treating Saline - Wastewaters"* Process Biochemistry 36, pp: 901 – 906.
14- " *Sampling and Analysis of Hydrocarbon Contaminated Soil "* TAB ON CONTAMINATED SITES Environment, Canada.
15- Lee, MD, Ward, CH., (1985). *"Environmental and Biological Methods for the Restoration of Contaminated Aquifers"* Envi.Toxical chem, 4, pp: 743 – 750.