# بررسی کارآیی روش احیای زیستی در حذف آلودگی هیدروکربورهای حلقوی (PAHs) از آبهای خلیج فارس

پروین ناهید [۱]  منوچهر وثوقی [۲]  ایران عالمزاده [۲]  علی محمد صنعتی [۳]

(دریافت ۸۵/۲/۱۳  پذیرش ۸۶/۱/۲۹)

## چکیده

**در این تحقیق آلودگی آب خلیج فارس به مواد نفتی در نقاطی نزدیک به سواحل استان بوشهر اندازه‌گیری و مورد بررسی قرار گرفت. مناطق امام حسن (ع) و عسلویه مهم‌ترین مناطق از نظر نزدیکی به بندرگاه و تأسیسات نفتی می‌باشند که دارای آلودگی بالا هستند. میزان هیدروکربورهای حلقوی (PAHs) در این نقاط به ترتیب ppm ۹/۸۳ و ppm ۱/۲۹ می‌باشد. PAH ها ترکیبات آروماتیک با حلقه‌های به هم پیوسته بنزنی مانند نفتالین و فنانترن می‌باشند که به صورت آلاینده از طریق پالایشگاههای نفت، پساب کارخانه‌های تولید کک و غیره وارد محیط زیست می‌گردند. از رسوبات سواحل این مناطق نمونه‌برداری و باکتری‌های تجزیه کننده مواد نفتی جداسازی گردید. هشت گونه باکتری که قابلیت رشد و تکثیر در رسوبات آلوده به مواد نفتی داشتند، شناسایی شدند. غالب این باکتری‌ها در گروه *سودوموناس*، گرم منفی و کاتالاز مثبت بودند. سپس توانایی سویه‌های جدا شده مورد بررسی قرار گرفت و نتیجه‌گیری شد که ٤ سویه از باکتری‌های فوق بهترین هستند. بعد در بیو راکتور RBCp فعالیت آنها به صورت مخلوط مطالعه گردید. در حالت پایدار کاهش COD به حدود ۷۳ و PAHs به ٦٦ درصد رسید. حذف بیولوژیکی TPH نیز در یک راکتور بیو فیلمی با بستر متحرک (MBBR) و با حضور باکتری‌های فوق در سه زمان ماند هیدرولیکی ۱۸، ۳٦ و ٤٨ ساعت در COD های مابین ۸۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با کشت مخلوط و میکروب‌های جدا شده حداکثر حذف COD و TOC به ترتیب به ۸۱ و ۷۹ درصد می‌رسد.**

***واژه‌های کلیدی:*** حذف بیولوژیکی، آلودگی نفتی خلیج فارس، هیدروکربورهای حلقوی، راکتورهای MBBR و RBCp.

# Bioremediation of PAHs for the Persian Gulf Water by RBCp and MBBR Contactors

*Parvin Nahid[1]  Manouchehr Vossoughi[2]  Iran Alemzadeh[2]  Ali Mohammad Sanati[3]*

*(Received: May 3, 2006  Accepted: Apr. 18, 2007)*

## Abstract

Oil and heavy metals pollution was investigated in the Persian Gulf coastal waters near Booshehr Province. The most polluted areas were found to be Imam Hassan and Assalluyeh, showing PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) levels of 9.83 and 1.29 ppm, respectively. PAHs such as naphthalene and phenanthrene (pollutants with petroleum, coke, and industrial origins) find their way into the environment. Soil samples were taken from these polluted areas to isolate species of bacteria with the highest biodegradation capability. Eight species were recognized, most of which belonged to the *pseudomonas*, gram negative, and catalase positive organisms. The species were tested for their biological removal capability and the best four were used in a $RBC_p$ bioreactor to study their pollutant removal capability. Under steady conditions, a COD removal of 73% and a PAHs removal of 66% were recorded. A moving bed bioreactor (MBBR) was also used to investigate TPH biological removal using the same bacteria. The experiments were performed under three acclimatization periods of 48, 36, and 18 hours within a COD range of 800-2000 mg/l. The results showed that maximum COD and TOC removal efficiencies of 81% and 79%, respectively, can be achieved in mixed growths of the isolated bacteria.

***Keywords:*** Biological Removal, The Persian Gulf Petroleum Pollution, PAHs, MBBR Reactors, RBCp.

۱- مربی مرکز تحقیقات مهندسی بیوشیمی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی شریف، nahid@sharif.edu
۲- استاد مرکز تحقیقات مهندسی بیوشیمی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی شریف
۳- مربی، مرکز مطالعات و پژوهش‌های خلیج فارس، دانشگاه خلیج فارس

1. Faculty Member, Biochemical Research Center, School of Chemical Engineering, Sharif University of Technology, nahid@sharif.edu
2. Professor, Biochemical Research Center, School of Chemical Engineering, Sharif University of Technology
3. Faculty Member, The Persian Gulf Research Center, The Persian Gulf University, Iran

## ۱- مقدمه

امروزه اثرات مخرب آلودگی آب دریاها بر زندگی انسان ثابت شده و مسئله مبارزه با این آلودگی و رفع آن به شکلی بسیار جدی در سطح جهان مطرح می‌باشد. البته تأثیر آلودگی هوا بر روی آلودگی آبها نیز که باعث بارش بارانهای اسیدی می‌شوند نیز امری است که بر هیچ‌کس پوشیده نیست. موارد مهم دیگری که باعث آلودگی آب دریاها می‌شوند، عبارت‌اند از ورود فاضلابها و پسابهای محلی و صنعتی، مواد زائد کشتی‌ها، زباله‌ها و ضایعات ناشی از اکتشاف و استخراج نفت در سواحل و دریا، زباله‌های رادیو اکتیو، حرارت، رنگهای ضد رشد باکتری‌ها، نشت و ریزش نفت و غرق شدن کشتی‌های نفتی. در رابطه با آلودگی نفتی آبهای خلیج فارس بررسی‌ها نشان می‌دهد که چند مورد آخر و جنگهای خلیج فارس نقش عمده‌ای در این آلودگی داشته‌اند [۱ و ۲].

یک نفتکش ۵۰ هزار تنی، هنگام تخلیه آب توازن خود حدود هزار و دویست بشکه نفت به دریا می‌ریزد. از ۱۶۰ میلیون تن نفتی که سالانه وارد آب دریاها می‌شود، حدود ۵۰۰ هزار تن آن مربوط به سوانح دریایی و بقیه مربوط به چاههای نفت است. گسترش این آلاینده‌های نفتی در سطح دریا باعث آلودگی محیط، بیماری و مرگ موجودات آبزی و در نتیجه به خطر افتادن زندگی بشر و ایجاد بیماریهای خطرناک از جمله سرطان می‌گردد [۱، ۲ و ۳].

در بین سه عامل شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی آلودگی نفتی، عوامل شیمیایی و بیولوژیکی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. عوامل شیمیایی مانند مواد فنلی، سیانور، فسفر، آمونیاک، فلزات سنگین، کربن و گوگرد دی اکسید، نیتروژن اکسید حاصل از احتراق نفت، سدیم و منیزیم کلرید، سیلیس سولفات و اکسیدهای آهن موجود در نفت می‌باشند که موجب گرفتگی و خوردگی تأسیسات و تغییرات pH محیط می‌شوند و البته هیدروکربن‌های سبک و سنگین که در بین آنها آروماتیک‌های حلقوی PAHs[1] (مثل نفتالین، فتانترن، پیرین و ...) به دلیل طولانی بودن تجزیه‌پذیری از اهمیت خاصی برخوردارند. این ترکیبات شدیداً سمّی، عامل تغییرات ژنتیکی و ایجاد کننده ناهنجاریهای مادرزادی و سرطان می‌باشند. PAHs از چند حلقه بنزن تشکیل شده‌اند و بر حسب اندازه ملکولی و تعداد پلیمر، خواص هیدروفوبی و سمّیت آنها افزایش می‌یابد. به همین دلیل از طرف سازمانهای حفاظت محیط زیست کشورها از جمله آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا در فهرست مواد خطرناک قرار گرفته‌اند. در ایران نیز حذف PAHs از محیط‌های آب و خاک همواره مورد توجه بوده و چندین پژوهش علمی نیز در این مورد انجام شده است [۴، ۵، ۶، ۷ و ۸]. عوامل بیولوژیکی شامل تغییرات رشد و تکثیر میکروب‌ها و در نتیجه افزایش میزان فاکتورهای COD و BOD می‌باشد. مکانیسم تأثیر مواد نفتی به این صورت است که با پخش گسترده در محیط زیست لایه‌ای غیر قابل نفوذ ایجاد می‌کنند که در محیط آبی از رسیدن اکسیژن به موجودات آبزی و در محیط خشکی از فعالیتهای حیاتی موجودات می‌کاهد[۴ و ۵]. مهم‌ترین فاکتورهایی که بر تجزیه بیولوژیکی هیدروکربن‌ها مؤثر می‌باشند عبارت‌اند از: حرارت، غلظت مواد و اکسیژن، ترکیبات گونه‌ها و فراوانی میکروب‌های تجزیه کننده نفت [۹]. باکتری‌ها، قارچهای رشته‌ای، مخمرها، سیانوباکتری‌ها، و جلبکهای یوکاریوتیک سیستم آنزیمی جهت اکسیداسیون هیدروکربن‌هایی با اندازه‌های نفتالین تا بنزوپرین را دارا می‌باشند [۶، ۱۰، ۱۱ و ۱۲]. عناصر فلزی سنگین در برابر حمله باکتری‌ها پایدارند و دائماً به محیط زیست آبی افزوده می‌شوند، بنابراین اغلب دارای اثرات سمّی و نامطلوب می باشند. حدود ۱۴ درصد وزنی نفت خام را فلزاتی مثل نیکل، وانادیوم، کروم و سدیم تشکیل می‌دهند که اندازه‌گیری و کنترل آنها در فرآیند پالایش مؤثر است و برای جلوگیری از خوردگی تأسیسات نفتی لازم می‌باشند [۱۳].

تبخیر سالانه در خلیج فارس بین ۱۵۰ تا ۵۰۰ سانتی‌متر می‌باشد. مقدار آب باران به ندرت ۱۰درصد از تبخیر سالانه را جبران می‌نماید. ورود آب شیرین از طریق رودخانه‌های دجله و فرات بوده که در مقایسه با تبخیر بسیار ناچیز است. تبادل آب خلیج فارس با دریاهای آزاد بسیار کم و صرفاً از طریق تنگه هرمز صورت می‌گیرد. از طرف دیگر انواع پسابها و فاضلابهای آلوده کننده از پالایشگاههای نفت و گاز، کارخانه‌های تولید کننده کک و صنایعی که از درجه حرارتهای بالا استفاده می‌کنند همه به خلیج فارس می‌ریزند. سالانه حدود ۲۰ تا ۳۵ هزار تانکر نفتی در این خلیج تردد می‌کنند و ۳ تا ۸ میلیون تن پساب نفتی را به آبهای این منطقه تخلیه می‌کنند. جنگهای خلیج فارس نیز در آلودگی منطقه بسیار مؤثر بوده‌اند. برای نمونه، فقط در جنگ عراق علیه کویت ۹۰۰ میلیون بشکه نفت در مدت ۹ ماه وارد محیط زیست منطقه شده است[۱، ۲ و ۳].

## ۲- مواد و روشها

نمونه‌برداری از آب دریا از ایستگاههایی که در مناطق آلوده صنعتی و تجاری قرار داشتند (شکل ۱) توسط نمونه‌گیر مخصوص و با روشهای استاندارد انجام گرفت [۱۴ و ۱۵]. نمونه‌گیر که به قالب فلزی سنگینی بسته شده بود به نحوی در آب فرو برده می‌شد که ابتدا، انتهای نمونه‌گیر سطح آب را لمس می‌کرد، با انجام این عمل فیلم سطحی روی آب خراب و نمونه‌گیری از بدنه آب محرز می‌گشت. در هر ایستگاه، نمونه‌گیر به سرعت به عمق مورد نظر که با

[1] Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

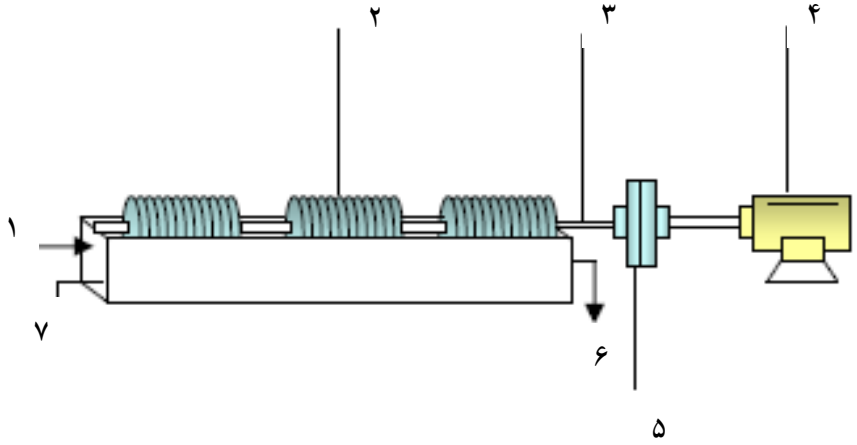
طول طناب مشخص شده بود (معمولاً یک متر) برده می‌شد، وقتی دیگر حبابی دیده نمی‌شد نمونه‌گیر بالا کشیده شده، از نور محافظت می‌گردید و در ۴درجه سانتی‌گراد نگهداری و به مرکز انتقال داده می‌شد تا در آنجا منجمد گردد. سپس در اولین فرصت توسط هواپیما به تهران منتقل و مورد آنالیز قرار می‌گرفت.

ایستگاههای نمونه‌برداری و کد آنها عبارت‌اند از: شغاب (SH)، دیلم (DA)، امام حسن (EM)، گناوه (GN)، دیر (DR)، کنگان (KN)، اسکله بهمن (BA)، عسلویه (AS). شکل ۱ موقعیت برخی از مکانهای نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

فاکتورهای محیطی که بر فعالیت بیولوژیکی مؤثر هستند از جمله میزان شوری، pH، هدایت الکتریکی و TDS به وسیله دستگاههای شوری سنج از نوع Meter pp-20 - Professional، pH متر Sartorius، 766 Calimatic Knik و هدایت الکتریکی Hana Instruments اندازه‌گیری شدند. پارامترهای آلودگی آلی نظیر COD و TOC نیز با دستگاههای COD متر و SKALAR TOC Analyzer CA10 تعیین گردید. دستگاه HPLC نوع UV با ستونی از نوع odssil با طول ۲۵ سانتی‌متر و قطر داخلی ۴/۶ میلی‌متر و طول موج ۲۵۴ نانومتر، کوپل شده به یک تشخیص‌دهندهٔ فلورسانس با طول موجی برابر با ۲۸۰ نانومتر و جذب بیشتر از ۳۸۹ نانومتر نیز برای اندازه‌گیری غلظت PAHs به کار رفت.

با توجه به نتایج به دست آمده، از رسوبات آلوده‌ترین سواحل (غلظت هیدروکربورهای کل حدود ۱۴۴میلی‌گرم بر لیتر) برای جداسازی میکروب‌ها استفاده شد. این عمل در مراحل مختلف جداسازی، غربال‌سازی، شناسایی، بررسی و انتخاب سویه‌های بهتر انجام گردید. ابتدا سوسپانسیونی از رسوبات آلوده در سرُم فیزیولوژی (۱۰ گرم رسوب در ۹۰ میلی‌لیتر سرُم) همراه با ۰/۱ درصد Tween 80 (برای کم کردن کشش سطحی و بالا بردن حلّالیت) به هم زده شد. بعد با به کار بردن روش کشت غنی شده، ۱ میلی‌لیتر از مایع حاصل به ۵۰ میلی‌لیتر محیط TSB (شامل NaCl 5g/L، Pepton from cosein 17g/L، $K_2HPO_4$ 1.5 g/L، Glucose 2.5 g/L، Pepton from soy meat 3 g/L) اضافه شده، سپس در تکان دهنده با دور ۹۰ rpm و دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از ۲۴ ساعت جرم میکروبی مناسبی مشاهده شد. در مراحل بعد کروزن با غلظتهای مختلف اضافه و باکتری‌های مقاوم جدا و وارد محیط کشت اختصاصی SBM که مخصوص باکتری‌های دریایی است گردید. پس از کشت مناسب میکروب‌ها، توانایی آنها از نظر میزان کاهش TOC، COD و PAHs تعیین گردید.

**شکل ۱**- موقعیت برخی از مکانهای نمونه برداری




۱- ورودی؛ ۲-استوانه چرخان؛ ۳-میله وسط؛ ۴- موتور؛ ۵- محل اتصال؛ ۶- خروجی؛ ۷- سیفون تخلیه

**شکل۲**- تصویر شماتیکی بیو راکتور RBCp

**جدول ۱**- مشخصات راکتور MBBR

| | |
|---|---|
| ارتفاع | ۵۴ سانتی‌متر |
| حجم مخزن خوراک | ۳۰ لیتر |
| قطر داخلی | ۱۴/۵ سانتی‌متر |
| قطر خارجی | ۱۵ سانتی‌متر |
| حجم راکتور | ۷ لیتر |
| نوع آکنه | پلی اتیلن |
| درصد پر شوندگی | ۵۰ درصد |
| نوع پمپ | پریستالتیک |

**۲-۱- مطالعه در بیو راکتور RBCp** [1]

با توجه به تجزیه‌پذیری طولانی PAHs، راکتوری مورد نیاز بود که دارای فیلم میکروبی چسبیده باشد و زمان ماند طولانی‌تری برای عادت‌دهی میکروب‌ها به مواد دیرتجزیه ایجاد کند، بنابراین RBCp با آکنه‌هایی که سطح ویژه بالایی را برای جرم سلولی چسبیده ایجاد می‌کنند، انتخاب گردید. شکل ۲ دیاگرام بیو راکتور را نشان می‌دهد. یک محیط کشت مغذی با منبع کربن ملاس و نفت خام (محلول شده توسط Tween 80) که توسط آب دریا رقیق شده بود با pH برابر ۷/۸ به عنوان خوراک ورودی به طور پیوسته به بیوراکتور وارد می‌شد. از لجن واحد لجن فعال پالایشگاه تهران و مخلوطی از باکتری‌های استخراج شده با MLSS برابر ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به عنوان مایع تلقیح استفاده گردید. مشخصات کلی این راکتور عبارت بود از: طول ۹۰ سانتی‌متر، عرض ۲۵ سانتی‌متر، ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر، قطر استوانه چرخان ۲۰ سانتی‌متر و طول هر بخش استوانه ۲۰ سانتی‌متر، حجم مفید ۱۵ لیتر، سطح کل بستر ۳/۳۶ مترمربع، نسبت سطح به حجم بستر ۲۲۴ $m^2/m^3$ و سرعت دورانی ۱۷-۱۵ rpm.

**۲-۲- بررسی در راکتور MBBR** [2]

این راکتور دارای مزایای قابلیت تحمل بار آلی زیاد، تغییرات دما و بار هیدرولیکی و همچنین عدم تورم لجن و مسدود شدن می‌باشد. راکتورهای MBBR معمولاً به صورت استوانه‌ای طراحی می‌شوند. آکنه مورد استفاده در بیو راکتور از نوع پلی‌اتیلن با چگالی ۰/۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب با قطعاتی به قطر ۱/۳ سانتی‌متر و طول ۱/۳۵سانتی‌متر بود. سطح ویژه محاسبه شده آکنه با در نظر گرفتن برجستگی‌های آن برای درصد پرشوندگی ۶۰ درصد، برابر $m^2/m^3$ ۱۹۲/۵ به دست آمد. حُسن استفاده از این نوع آکنه کاربردی و اقتصادی بودن آن در صنعت است. مشخصات راکتور به کار برده شده در جدول ۱ و تصویر آن در شکل ۳ مشاهده می‌شود.

## ۳- نتایج و بحث

**۳-۱- نتایج آنالیزها**

جدول ۲ نتایج آنالیزهای اولیه کیفیت فاضلاب نظیر کل جامدات معلق، pH، شوری، غلظت PAHs و ... را نشان می‌دهد. مقادیر زیاد آلودگیها به ویژه در ایستگاههای امام حسن و عسلویه که دارای موقعیت صنعتی و تجاری می‌باشند، از اهمیت بسیاری برخوردار است.

[1] Rotating Biological Contactor, Packed
[2] Moving Bed Bio Reactor

### ۳-۲- نتایج جداسازی میکروب‌ها

با مطالعه خصوصیات میکروسکوپیک و آزمایش‌های فیزیولوژیک ، هشت نوع باکتری که قابلیت رشد و تکثیر در رسوبات آلوده در سواحل را دارند شناسایی و نتایج آزمایش کاتالاز نشان داد باکتری‌های جدا شده، در گروه *سودوموناس*، گرم منفی و کاتالاز مثبت هستند. شکل ۴، نمودار ستونی غلظت باکتری‌ها در محیط کشت نفتی را نشان می‌دهد. با مطالعه این منحنی نتیجه گیری می‌شود که ۴ سویه از باکتری‌های فوق به ترتیب $EM_2$ ، SH ، $GN_1$ و $GN_3$ بهترین بوده و قادرند در محیط‌های نفتی و اختصاصی بالاترین تولید توده سلولی را داشته باشند.

### ۳-۳- نتایج تصفیه میکروبی در RBCp

تصفیه بیولوژیکی در بیو راکتور RBCp در دو مرحله عادت دهی[1] و حالت پایا ارزیابی شد. در مرحله عادت‌دهی علاوه بر لجن، مخلوطی از باکتری‌های استخراج شده SH, EM2 ، GN1 و GN3 نیز به بیو راکتور تلقیح شد. پس از ۲۵ روز، غلظت COD خروجی از بیو راکتور و میزان رشد MLSS اندازه‌گیری شد. شکل ۵، تغییرات غلظت COD خروجی و غلظت سلول‌های معلق در بیوراکتور را نشان می‌دهد. طی مدت عادت دهی، سلول‌ها روی آکنه‌های بیو راکتور تثبیت شده و یک لایه بیولوژیکی ایجاد می‌کنند که باعث کاهش بار آلودگی در خروجی از بیو راکتور می‌شود. پس

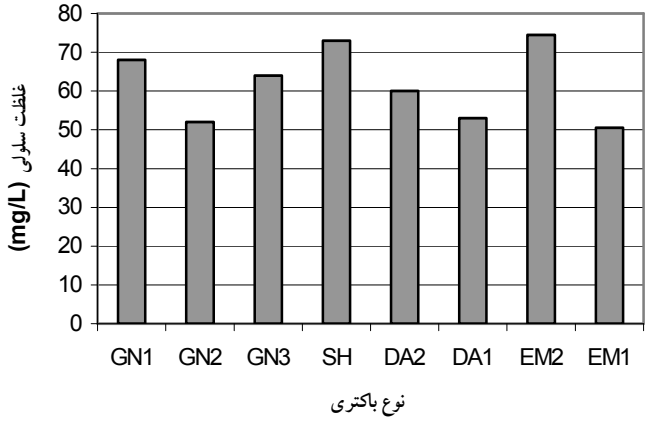
[1] Acclimatization

**جدول ۲**- نوع و کمیت آنالیزها

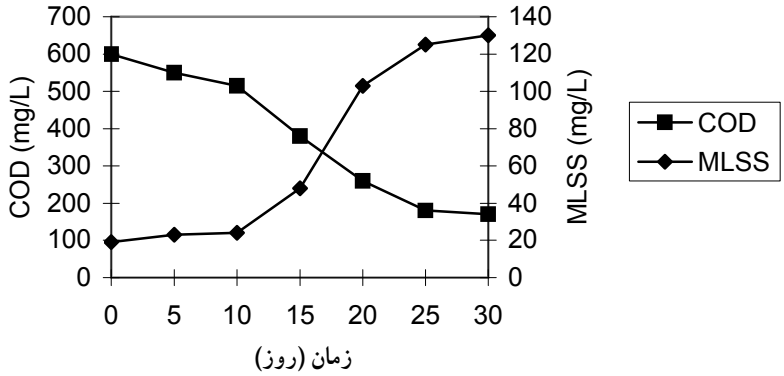
| کد محل | PAHs (ppm) | TOC (ppm) | COD (ppm) | pH | شوری (ppt) | هدایت الکتریکی (µs) | TDS (ppt) | دما (°C) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SH | ۲/۶۷ | ۶/۱۵ | ۱۷۲/۲ | ۸/۱۰ | ۵۹/۵ | ۳۹/۸ | ۴۶/۴ | ۲۹ |
| DA | ۴/۲۵ | ۱۳/۶ | ۳۵۰/۲ | ۷/۶۵ | ۴۰/۲ | ۶۰/۲ | ۸۵/۹ | ۲۸/۵ |
| EM | ۹/۸۳ | ۴۱/۶ | ۱۰۵۰ | ۷/۸۷ | ۴۲ | ۶۲/۱ | ۹۴/۶ | ۳۰/۱ |
| GN | ۱/۱۱ | ۴/۰۲ | ۱۲۱/۸ | ۷/۸۷ | ۴۱/۶ | ۶۱/۸ | ۷۳/۲ | ۲۸/۹ |
| DR | ۱/۰۲ | ۴/۳۷ | ۱۰۹/۲۵ | ۸/۱۰ | ۳۹/۴ | ۵۸/۸ | ۸۱/۶ | ۳۱ |
| KN | ۱/۴۳ | ۱۰/۳ | ۲۶۳/۶ | ۷/۷۱ | ۳۱/۶ | ۱۱/۰ | ۱۰۵/۹ | ۳۱/۶ |
| BA | – | – | – | ۸/۲۸ | ۳۹/۱ | ۵۸/۹ | ۱۰۴/۵ | ۳۰/۹ |
| AS | ۱/۲۹ | ۵/۴۳ | ۱۵۳/۹ | ۸/۰۷ | ۴۲ | ۵۸/۳ | ۸۷/۲ | ۲۹/۶ |

**شکل ۳**- تصویر بیو راکتور MBBR

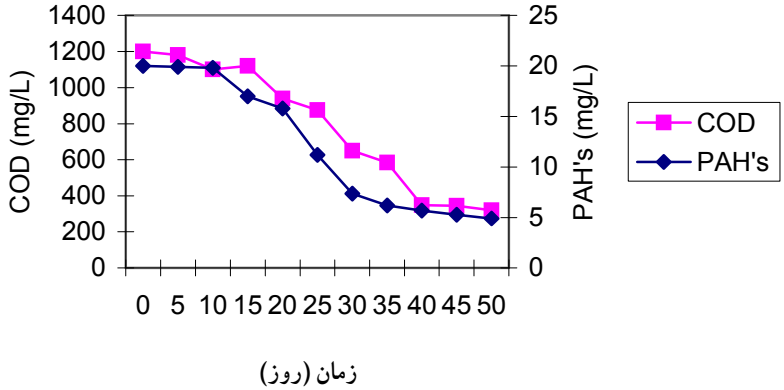
از پایان زمان عادت‌دهی، شدت جریان و غلظت COD ورودی به بیو راکتور افزایش و زمان ماند هیدرولیکی به ۲ روز کاهش یافت. شکل ۶، تغییرات غلظت COD و PAHs در خروجی از بیو راکتور را بر حسب زمان نشان می‌دهد. در این شکل کاهش غلظت COD و PAHs پس از ۲۰ روز کار مداوم سیستم مشاهده می‌شود و پس از ۳۰ روز به حالت ثابتی از COD که تقریباً برابر ۳۲۰ میلی‌گرم بر لیتر است، می‌رسیم.



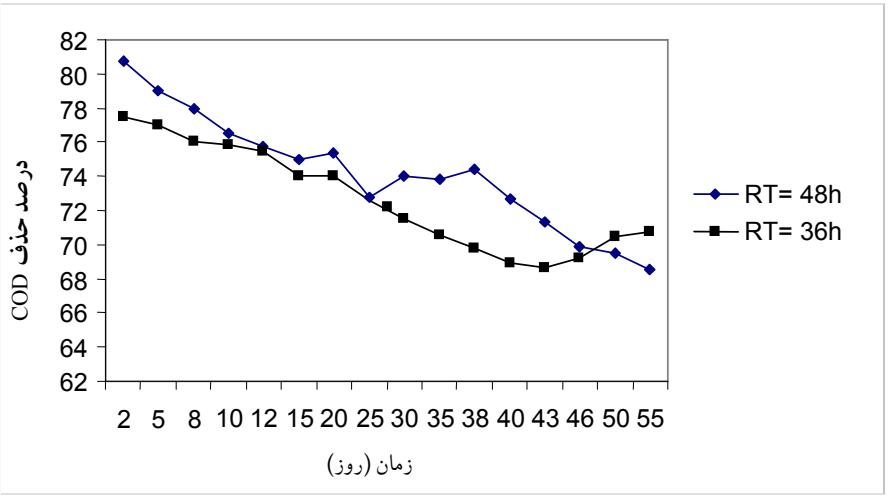

**شکل ۴**- دیاگرام ستونی غلظت سلول‌ها در محیط کشت نفتی



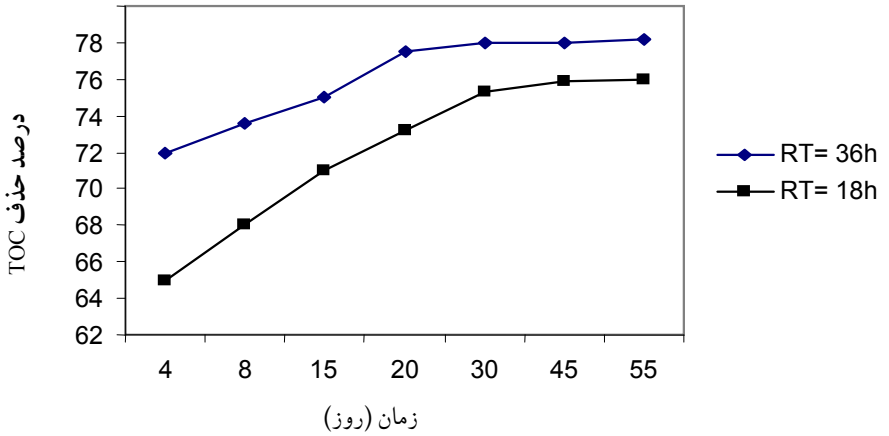

**شکل ۵**-تغییرات غلظت COD و MLSS در بیو راکتور RBCp




**شکل ۶**- تغییرات غلظت COD و PAHs در بیو راکتور RBCp




**شکل ۷**- تغییرات درصد حذف COD در بیو راکتور MBBR




**شکل ۸**- تغییرات درصد حذف TOC در بیو راکتور MBBR

### ۳-۴- نتایج تصفیه در MBBR

حذف بیولوژیکی نفت خام توسط کشت مخلوط در بیو راکتور MBBR نیز انجام گرفت. از آنجا که دوره کارکرد منقطع در سیستم MBBR جهت ایجاد لایه میکروبی روی بستر نسبتاً طولانی است، لذا زمان زیادی صرف شد تا به MLSS مطلوب و درصد حذف نسبی که نشان دهنده وجود باکتری‌های مورد نیاز سیستم است رسیده و سپس سیستم به صورت پیوسته راه‌اندازی شد. راکتور به مدت ۱۱۰ روز در سه زمان ماند هیدرولیکی ۱۸، ۳۶ و ۴۸ ساعت در COD های ما بین ۸۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و شوری ppt ۴/۸ راه‌اندازی و مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۷، درصد حذف COD را در زمانهای ماند ۴۸ و ۳۶ ساعت و شکل ۸ درصد حذف TOC را در زمانهای ماند ۳۶ و ۱۸ ساعت نشان می‌دهد. همان طوری که مشاهده می‌شود با کشت مخلوطی از مناسب‌ترین میکروب‌های جدا شده حداکثر حذف COD و TOC به ترتیب به ۸۱ و ۷۹ درصد می‌رسد.

## ۴- نتیجه‌گیری

تخلیه فاضلابهای صنعتی و وجود بندرگاه در حاشیه خلیج‌فارس در استان بوشهر باعث آلودگی آب این منطقه شده است. آب دریا در این ناحیه مورد تجزیه کیفی قرار گرفت. جدول ۲ نتایج آنالیزهای فیزیکی- شیمیایی نمونه‌های آب دریا را نشان می‌دهد. حدود مقادیر TDS برابر ppt ۱۰۵/۹-۴۶/۴، COD برابر ppm ۱۰۵۰-۱۰۹/۲۵، TOC برابر ppm ۴۱/۶-۴/۰۲ و PAHs برابر ppm۹/۸۳-۱/۰۲ به دست آمد. از اینرو می توان نتیجه گرفت که دو منطقه مهم امام حسن و عسلویه به علت نزدیکی به تأسیسات نفتی و صنعتی دارای بار آلودگی بسیار بالا می باشند. تصفیه پذیری

بیولوژیکی این آب با استفاده از باکتری‌های بومی جدا شده در دو بیو راکتورRBCp و MBBR مطالعه گردید. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که با مخلوطی از مناسب‌ترین باکتری‌های تخلیص شده به نامهای EM2 ، SH، CN1 و CN3 که به نظر می‌رسد از گونه *سودوموناس*، کاتالاز مثبت و گرم منفی هستند در بیو راکتور RBCp درصد کاهش COD و PAHs به ترتیب به ۷۳ و ۶۶ درصد و در بیو راکتور MBBR درصد کاهش COD و TOC به ترتیب به ۸۱ و ۷۹ درصد می‌رسد.

## ۵- قدردانی

از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شریف که هزینه اجرای این طرح بین دانشگاهی را تأمین کرده‌اند، قدردانی می‌شود.

## ۶- مراجع

1-Asia news . It, 2004 United Arab Emirates – Asia "Cloud of pollution threattens Persian Gulf, Rest of World, *Conference in Dubai*, 3 March.

2-Aminmansour, M. (2004). "Pollution of Persian Gulf." *Persian Journal,* Apr., 28, 22-45.

3- Esmaili, H. (1998). *Environmental pollution of Iran as a consequence of the Kuwait war*, Dept. of education and research, Ministry of Jahad , Tehran.

4- Yaghmaei, S., Vossoughi, M., Alemzadeh, I., and Safekordi, A. (1998). "Bioremediation of coal tar contaminated soil isolation and purification of PAH utilizing microorganisms from soil." *2nd International Non – Renewable Energy Sources Cong.*, Tehran, Iran.

5- Vossoughi, M., Yaghmai, S., Alemzadeh, I., and Safekordi, A. (2002). "Some investigation on bioremediation of PAH contaminated soil." *Int. J. of Engineering*, 15 (1), 1-10.

6- Yaghmaei, S., Vossoughi, M., Safekordi, A., and Alemzadeh, I. (2000). "Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by fungi isolated from coal tar contaminated soil." *Congress of Ehemical Engineering, Chisa,* 27-31 Agust., Praha Czech.

**۷- میلادی، م. (۱۳۷۵). "بررسی تجزیه بیولوژیکی آلودگیهای نفتی در آب دریا." پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی شریف.**

**۸- دانه‌کار، ا. (۱۳۷۸). "الزامات زیست‌محیطی در مدیریت سواحل." *فصلنامه علمی محیط زیست*، ۳۱، ۳۴-۴۰.**

9- Leahy, J.G., and Colwell, R.R. (1990). "Microbial degradation of hydro carbons in the environment." *Microbiological Reviews, September, 305-315.*

10- Tanlough, F., and Guerin, T.F. (2001). "A pilot study for the selection of a bioreactor for remediation of groundwater from a coal tar contaminated site." *Journal of Hazardous Materials*, B89, 241-252.

11- Escantin, E., and Porte, A. (1999). "Assessment of PAH pollution in coastal areas from the NW mediteranean through the analysis of fish bile." *Marine Pollution Bulletin*, 38 (12).

12- UNEP. (1990). *An approach to environmental impact assessment for projects affecting the coastal and marine environment*, UNEP reports and studies, London and New York.

13- Riser Reberts, E. (1998). *Remediation of petroleum contaminated soil*, 1st Ed., Lewis publishers, CRC press LLC, 2.

14- Clesceria, L.S., Greenberg, A.E., and Eaton, A.D., eds.(1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, APHA, WEF, AWWA, 20th Ed., Washington, D.C.

15- Lee, M. D., and Ward, C. H. (1985). "Environmental and biological methods for the restoration of contaminated aquifers." *Envi. Toxical Chem.,* 4, 343-350.