علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره یازدهم، شماره سه، پاییز۸۸

اصلاح زیستی آنتراسن در حوزه آبی جزیره سیری خلیج فارس با رویکرد ایمنی زیستی

مژگان امتیازجو [۱] *
moz_emtyazjoo@yahoo.com
سیما صدیقی [۲]
مرجان امتیازجو [۳]

تاریخ دریافت:۸۵/۱۲/۱۴ **تاریخ پذیرش:۸۶/۲/۲۶**

چکیده

حوزه نفتی سیری واقع در خلیج فارس یکی از مناطق چهارگانه عملیات استخراج ، پالایش و انتقال نفت است .این حوزه به لحاظ انجام عملیات یاد شده در معرض بار آلودگی نفتی و هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای PAHs می باشد. در این تحقیق میزان PAHs توسط GCMS در ۸ ایستگاه انتخابی واقع در دو ترانسکت اندازه گیری شد. با توجه به وجود آنتراسن در بیشتر ایستگاه های تحقیقاتی میکروارگانیسم های تجزیه کننده آنتراسن از رسوبات جداسازی شد. توان تجزیه کنندگی آن ها با استفاده از روش های تعبیه چاهک ، اندازه گیری ذی توده با محیط کشت اختصاصی و همچنین آنالیز نمونه ها با GC انجام گرفت .

میکروارگانیسم هایی که توان تجزیه زیستی آنتراسن را داشتند، توسط روش های معمول میکروبیولوژیک شناسایی گردیدند، این میکروارگانیسم ها عبارتند از:

Bacillus sp.PGI, Bacillus sp. PGII, Pseudomonas sp PGIII, Staphylococcus sp PGIIII

واژه های کلیدی: تجزیه زیستی ، آنتراسن ، هیدرو کربن های آروماتیک چند حلقه ای (PAHs) ، میکروارگانیسم ، خلیج فارس.

۱- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال- دانشکده علوم و فنون دریایی *(مسئول مکاتبات)
۲- کارشناس ارشد آلودگی و حفاظت محیط زیست دریا دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال
۳- دکتری بیوتکنولوژی دانشگاه USMمالزی

مقدمه

اصلاح زیستی، بخشی از یک فن آوری به شمار می رود که از فرایندهای میکروبی جهت تبدیل آلوده کنندگان محیط زیست به محصولاتی با سمیت کمتر نظیر دی اکسید کربن، آب و نمک های آلی ساده بهره می برد.این روش برای پاک سازی مواد دفعی مایع وجامد غیرسمی، آب های آلوده، مواد دفعی سمی زیان آور و آلودگی نفتی به کار می رود(۱). آنچه که این فرایند را به یک فرایند بسیار مهم در عرصه حفاظت از محیط زیست بدل می نماید، استفاده از میکروارگانیسم های بومی منطقه ای جهت حفظ ایمنی زیستی می باشد. ایمنی زیستی مبحثی نوین در علم را برای محققان و سازمان های ذی ربط می گشاید و در عین حال نوعی نگرانی عمیق و جدی را در دید عموم ایجاد می نماید .

ایمنی زیستی(Biosafety cleanhnhng house) ، دستورالعمل های ضروری برای حفظ محیط زیست وتنوع زیستی، از اثرات زیانبار و احتمالی موجودات زنده دست ورزی شده ژنتیکی(LMO:Living modified organisms) و (GMO: Gene modified organisms) را که در محیط به صورت خواسته یا ناخواسته رها سازی می گردد، شامل می شود. دستورالعمل های ایمنی زیستی بسیار متنوع بوده و طیف گسترده آن عرصه های مختلف علمی و فنی را در برمی گیرد. لذا بهره برداری از میکروارگانیسم های تجزیه کننده منطقه ای که در ردیف LMO و GMO مطرح نگردد، در پاکسازی محیط زیست از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد(۲،۳،۴).

هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای (PAHs) دسته ای از ترکیبات نفتی هستند که باعث ایجاد برخی تاثیرات بیولوژیک می شوند. این تاثیرات شامل سمیت شدید، جهش زایی، نقص جنین، اختلال در فعالیت غدد درون ریز هستند (۵،۶).

این گروه از ترکیبات پس از ورود به محیط های آبی، معمولا از ستون آب خارج و جذب رسوبات اعماق دریا می شوند. هر نمونه نفتی از نظر ترکیبات متفاوت بوده و حاوی گروه های مختلفی از PAHs می باشد، بنابراین سویه های مختلف میکروبی برای تجزیه آن ها مورد نیاز می باشد.

میکروارگانیسم ها توسط واکنش های تنفسی هوازی و بی هوازی، تخمیر، کومتابولیسم و دهالوژنه کردن، PAHs ها را به ترکیبات کم ضررتر تبدیل و از آن ها به عنوان منبع کربن و انرژی استفاده می نمایند(۷، ۸، ۹).

در اکوسیستم های دریایی اکسید اسیون نوری، اکسیداسیون شیمیایی، متابیولیزه شدن بیولوژیک از جمله فرآیندهای مهم ترانسفورماسیونPAHs می باشد. باکتری ها و قارچ ها، PAHs را به مشتقات دی هیدرو دی ال ها و کاتکول اکسید می نمایند.

اکسید اسیون های بعدی این مواد باعث تبدیل شدن آن ها به دی اکسیدکربن و آب می شود (۱۰).

قدمت بررسی باکتری های تجزیه کننده نفت به مشاهدات Lehman & Neumand در سال ۱۸۹۶ بر می گردد. وی طی تحقیقات خود باکتری *Bacterium fluorescence*را که از توان خوبی برای تجزیه برخوردار بود به عنوان باکتری تجزیه کننده معرفی نمود. در این راستا Sohengenو Kaserer *به باکتری Methanomonats* , *methanica Bacillus hexacarbarborarum* , Stormer که از خاک، جدا کردند، دست یافتند. همگام با پیشرفت تکنولوژی و ارایه ابزار و روش جدید، محققان با انجام مطالعات ژرف و گسترده، دامنه تحقیقات خود را گسترش داده، و به یافته های جدید دست یافتند، نظیر نتایج تحقیقات محققینی که برای تجزیه میکروبیPAH ها، نقش دو گروه آنزیمی مونو و دی اکسیژناز را که بسیار مهم می باشند، نشان دادند . بسیاری از ارگانیسم ها توانایی تخریب PAH ها را در حد متوسط دارا می باشند. شکاف آنزیماتیک حلقه های آروماتیک هم چنین کاتالیزور آن ها توسط دی اکسیژناز می باشد (۱۱) .

هدف از این تحقیق بررسی میکروارگانیسم های تجزیه کننده آنتراسن که یکی از PAHهای موجود در حوزه نفتی جزیره سیری واقع در خلیج فارس می باشد، است. عملیات

اکتشاف و استخراج نفت در پیرامون جزیره سیری صورت گرفته و نفت خام پالایش شده اولیه به جزیره جهت انتقال هدایت می گردد. طی این عملیات و همچنین نقل و انتقال و بار گیری مقدار زیادی نفت به اکوسیستم راه یافته که عامل آلودگی منطقه ای نیز می باشد.

مواد و روش ها

از آن جا که هدف اصلی این پروژه جداســـازی باکتری های تجزیه کننده هیدروکربن های چند حلقه ای آروماتیک غالب در منطقه می باشد، نمونه برداری از رسوب توسط دستگاه ون وینگراب انجام شد. بدین لحاظ ۸ ایستگاه پیرامون جزیره سیری که ۵ تای آن ها در راستای یک ترانسکت و۳ ایستگاه در ترانسکت دیگر بود، تعیین و نمونه برداری انجام شد که مختصات ایستگاه ها در جدول ۱و موقعیت منطقه نمونه برداری در شکل ۱ ارایه گردیده است. انتخاب ایستگاه ها بر اساس عملیات استخراج نفت در اطراف جزیره سیری وهم چنین تردد کشتی های نفت کش در این منطقه می باشد . نمونه های رسوب در دو سری از ظروف جمع آوری گردید. بخشی از آن در ظروف از قبل تمیز شده با نرمال هگزان و حرارت دیده جمع و فریز گردید و بخش دیگر در ظروف استریل جمع آوری و در دمای ۴ درجه سانتی گراد به آزمایشگاه انتقال یافت (۱۲).

نمونه های سری اول پس از خشک شدن در سرما (Freeze dry) به وسیله سوکسله استخراج و به کمک نیتروژن تغلیظ شد و در نهایت پس از برش بر روی رسوبات با هگزان و دی کلرومتان عصاره حاصله با دستگاه GC-MS با ستون :DB-۵ ، نوع یونیزاسیون :EL ، طـول ستون mm ۰/۲۵ با گاز حامل هلیوم مورد بررسی قرار گرفتند (۱۲) .

برای جدا سازی میکروارگانیسم های تجزیه کننده، آنتراسن از نمونه های سری دوم و از محیط کشت فاقد منبع کربن استفاده شد.

با توجه به میزان حلالیت محدود آنتراسن به میزان ۵۹ppb ابتدا محلول اشباع از آنتراسن تهیه گردید. برای رفع این مشکل ۵ گرم آنتراسن در ۱۰۰۰میلی لیتر آب دی ایونایز به مدت ۲ ساعت با همزن مخلوط شد . تشکیل کریستال های آنتراسن گویای ایجاد یک محلول اشباع می باشد .

برای جداسازی میکروارگانیسم های تجزیه کننده آنتراسن ازمحیط کشت فاقد منبع کربنONR7α با فرمول زیر استفاده شد :

محلول A :

NaHCO3 ، Na2SO4 ۲/۹۸ g ، NaCl ۲/۷۹ g
, NaBr ۸۳ mg , H3BO3 ۲۷ mg , ۳۱ mg
، NaF ۲ /۶ , KCl mg ۰/۷۲ g
۰ NH4Cl mg ./۲۷ ، Na2HPO4 ۸۹ g

محول B :

MgCl2,H2O ۱۱ /۱ g CaCl2,2H2O ۱ /۴ mg
SrCl2,6H2O ۲ ۴ g

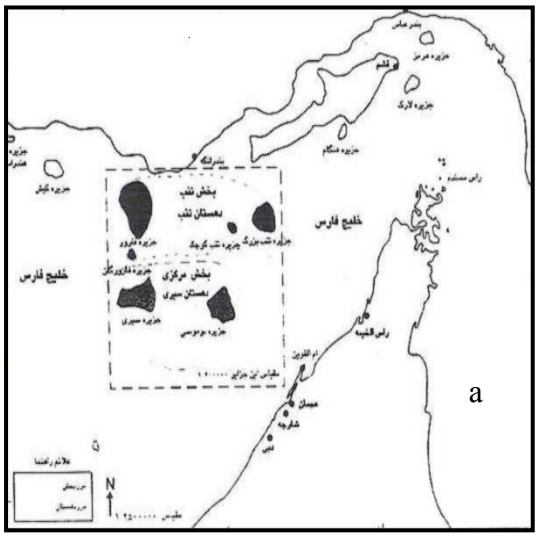
محلول C :

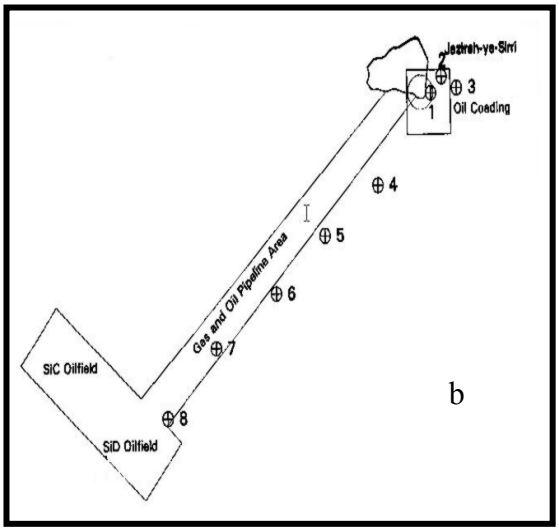
FeCl2,4H2O ۲ g

در حجم ۱ لیتر تهیه و پس از اتوکلاو در ۵۰ درجه سانتی گراد با هم مخلوط می شوند. درصورت نیاز به نوع جامد ااین محیط کشت از ۱۲ گرم آگار در لیتر استفاده گردید(۱۳) آنتراسن در مرحله قبل از جامد شدن محیط کشت پس از اختلاط محلول ها به هم اضافه می گردد. هم زمان ۵ گرم از رسوب در محیط کشت Marine brothو سابرودکستروزآگار کشت داده شد.

پس از رشد، باکتری ها و قارچ ها کاملا خالص سازی گردید. سپس بذر پاشی میکروبی با سویه های جدا شده که در محیط کشت تازه شبانه رشد یافته بودند، انجام شد. پتانسیل تجزیه پذیری کلنی های رشد یافته با روش چاهک گذاری و رشد بر سطح محیط کشت ONR7α مورد سنجش قرار گرفت. هم چنین با استفاده از روش سنجش ذی توده، میزان جذب توسط ااسپکتروفتومتر در طول موج ۴۸۰ نانومتر اندازه گیری و نتایج با GC مورد بررسی قرارگرفت (۱۳). میکروارگانیسم هایی که بیشترین توان تجزیه آنتراسن را داشتند، مشخص شد. این میکروارگانیسم های برسطح نوترینت آگار انتقال یافته و مجموعه بررسی های مورفولوژیک بر روی

میکروارگانیسم ها وکلنی آن ها صورت گرفت . این بررسی ها شامل شکل، اندازه، رنگ، واکنش در مقابل رنگ آمیزی و آرایش میکرو ارگانیسم ها و در مورد کلنی شامل شکل، اندازه، رنگ، بلندی، ارتفاع، لبه و شفافیت بود. پس از بررسی های این مرحله ، واکنش های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی شامل واکنش در مقابل نمک های مختلف با غلظت های مختلف، نیترات، نیتریت، سیانید، کاتالاز ، اکسیداز ، کواگولاز، ژلاتیناز استفاده از قندهای مختلف نظیر گلوکز ، مالتوز، لاکتوز، ساکارز ، سوکروز، ترهالوز جهت شناسایی کامل تر به کار گرفته شد .





شکل۱- نمای کلی منطقه نمونه برداری (a) موقعیت ایستگاه های نمونه برداری درپیرامون جزیره سیری - خلیج فارس(b)

نتایج

در بررسی کیفی PAHs به کمک GC-MS هیدروکربن های پلی آروماتیک مختلف دررسوبات ۸ ایستگاه نمونه برداری شناسایی شد.(جدول۲ و شکل۲). نتایج حاصل از مجاورت آنتراسن و میکروارگانیسم های جداشده از رسوبات پیرامون جزیره سیری در روش سنجش ذی توده با استفاده از سنجش جذب ۲۴ و ۴۸ ساعته با اسپکتروفتومتر مشخص گردید که ۱۷ جنس از میکروارگانیسم ها از توان جذب بالایی برخوردارند (جدول۳) .از بین این میکروارگانیسم ها ۴ جنس از آن ها شاخص تربودند و در روش چاهک گذاری نیز بیشترین رشد پیرامون چاهک های آنتراسن را ایجاد نموده و در سطح محیط کشتONRTα پس از ۲۰ روز دردمای ۲۵ درجه سانتی گراد ایجاد کلنی با هاله شفاف نموده بود. این گروه از میکروارگانیسم ها در آنالیز با GC از غلظت آنتراسن در محیط کاسته بودند (شکل ۳) .

این میکرو ارگانیسم ها عبارتند از:

Bacillus sp.PGI , Bacillus sp. PGII , Pseudomonas sp PGIII, Staphylococcus sp PGIIII

بحث

اصلاح زیستی (bioremediation) یکی از فرایندهای بسیار مهم در حذف یا کاهش آلاینده های زیست محیطی می باشد. در فرایند استخراج و انتقال نفت، به طورعموم بخش عمده ای از نفت به محیط وارد می شود که آلکان ها جزء تجزیه پذیر ترین مواد موجود در نفت به روش های بیولوژیک و رزین و آسفالتین از جمله ترکیبات بسیار مقاوم در آن می باشد.

اما ترکیبات آروماتیک به ویژه هیدروکربن های چند حلقه ای آروماتیک درحد میانه این دو مجموعه از لحاظ تجزیه زیستی قرار دارند. اهمیت این گروه از ترکیبات به لحاظ سمیت بالا و تمایل به تجمع زیستی می باشد، به همین دلیل است که بررسی تجزیه پذیری این گروه از ترکیبات از اهمیت زیادی برخوردار است. از میان میکروارگانیسم های گوناگونی که قادر به تجزیه آنتراسن باشند می توان به جنس های :

Pseudomonas , Alkaligenese , Mycobacterium , Sphingomonas , Cycloclasticus , Desulfobacterium اشاره نمود که توسط محققان مختلف نظیر Schoeng و همکاران در سال ۱۹۸۵ ، Walkerو Wiltshire در سال ۱۹۵۳،Awata و همکاران ۱۹۹۸ به دنیای علم معرفی شدند (۱۴،۱۵،۱۶). همچنین از باکتری Vibrio می توان به گونه های متعددی اشاره نمود که توان تجزیه این گروه از ترکیبات را دارا ند.. البته در بین اعضای خانواده انتروباکتریاسه نیز توانایی تجزیه ترکیبات آروماتیک مشاهده شده است. *Moraxella sp , Mycobacterium sp* جدا شده از رسوبات دریایی نیز این توانمنـــدی را به ویژه در مورد نفتالـــن و پیـــرن دارند (۱۷،۱۸،۱۹) .

Pseudomonas از مهم ترین باکتری های تجزیه کننده ترکیبات آروماتیک است. این باکتری قادر به استفاده از ترکیبات مذکور و تبدیل آن ها به دی اکسید کربـن و انرژی می باشد (۱۳). در بررسی مقایسه ای نتایج تحقیق حاضر با نتایج سایر محققان ملاحظه می گردد که Pseudomonas به عنـــوان سویه تجزیه کننده ترکیبات آروماتیک در اکوسیستم ها و شرایط مختلف، معرفی شده است که این منطبق بر تحقیق حاضر است. علاوه بر موارد فوق در نتایج نیز توان نجزیه کنندگی Pseudomonas به ویژه سویه های *, P.paucimobilis- P. Saccharophila – G3, p15 VT1, P. cepacia –C5 ,P.putida , P.fluorescencs , P.stutzeri , P. vesicularis , P. testosterone* محرز گردیده است (۲۲ ،۲۱ ،۲۰،۱۸).

خانواده Bacillaceae به دلیل داشتن آنزیم های متعدد توان بالقوه ای در حذف آلاینده های نفتی به ویژه PAHs دارا می باشند (۶). توان تجزیه کنندگی Bacillus sp به ویژه , B. *cereus* و *B.thermolevorans* در نتایج تحقیقات محققانی نظیر ذوالفقاری در سال۱۳۸۴، Aitken و همکاران در سال ۱۹۹۸ ، Abou seoud وMaachi در سال ۲۰۰۳، اشاره فراوان گردیده است که با نتایج تحقیق حاضر هم خوانی دارد(۲۱،۲۳،۲۴) .

با توجه به ورود PAHs از طریق صنایع مختلف نظیر داروسازی ، پلاستیک سازی ،حشره کش ها، رنگ ها و غیره و هم چنین با توجه به سرطان زایی این ترکیبات تبدیل آن ها به ریز مجموعه های ساده تر از اهمیت بالایی برخوردار می باشد(۲۵) .

به لحاظ این که حذف زیستی آلاینده ها رویکرد در جهت حفظ محیط زیست می باشد، بنابر این باید توجه نمود که از میکروارگانسیم هایی که در کلیه ایستگاه ها بصورت مشترک توانمندی خود را جهت حذف آنتراسن نشان داده است جهت فرمولاسیون و کاربری نهایی می توان استفاده کرد.

جدول ۱-مختصات جغرافیایی ایستگاه های نمونه برداری در خلیج فارس

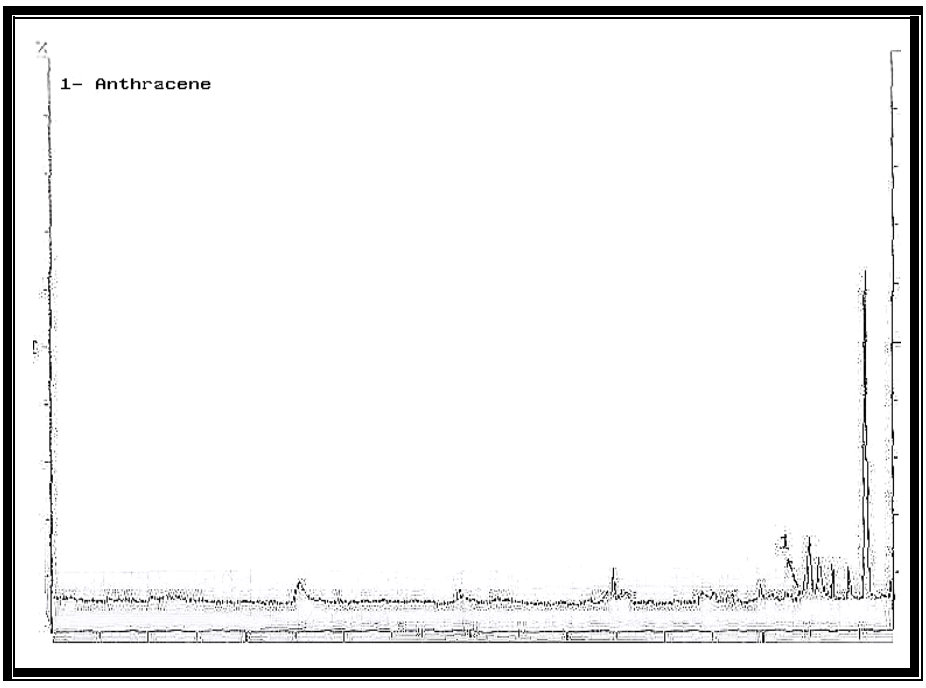
شماره ایستگاه	طول جغرافیایی °	عرض جغرافیایی°
۱	۵۴° ۳۳ ′ ۴۱۰ ″	۲۵° ۵۴ ′ ۷۵۰ ″
۲	۵۴° ۳۴ ′ ۰۲۷ ″	۲۵° ۵۴ ′ ۹۲۱ ″
۳	۵۴° ۳۴′ ۴۶۶ ″	۲۵° ۵۵ ′ ۱۴۱ ″
۴	۵۴° ۳۰ ′ ۱۳۳ ″	۲۵° ۵۰ ′ ۵۴۵ ″
۵	۵۴° ۲۷ ′ ۳۴۴ ″	۲۵° ۴۸ ′ ۷۳۷ ″
۶	۵۴° ۲۴ ′ ۵۶۹ ″	۲۵° ۴۶ ′ ۴۱۴ ″
۷	۵۴° ۲۱ ′ ۱۰۰ ″	۲۵° ۴۴ ′ ۵۴۴ ″
۸	۵۴° ۱۸ ′ ۰۰۵ ″	۲۵° ۴۲ ′ ۱۵۶ ″

جدول ۲- نتایج اندازه گیری کیفی PAHsبه کمک GC-MS

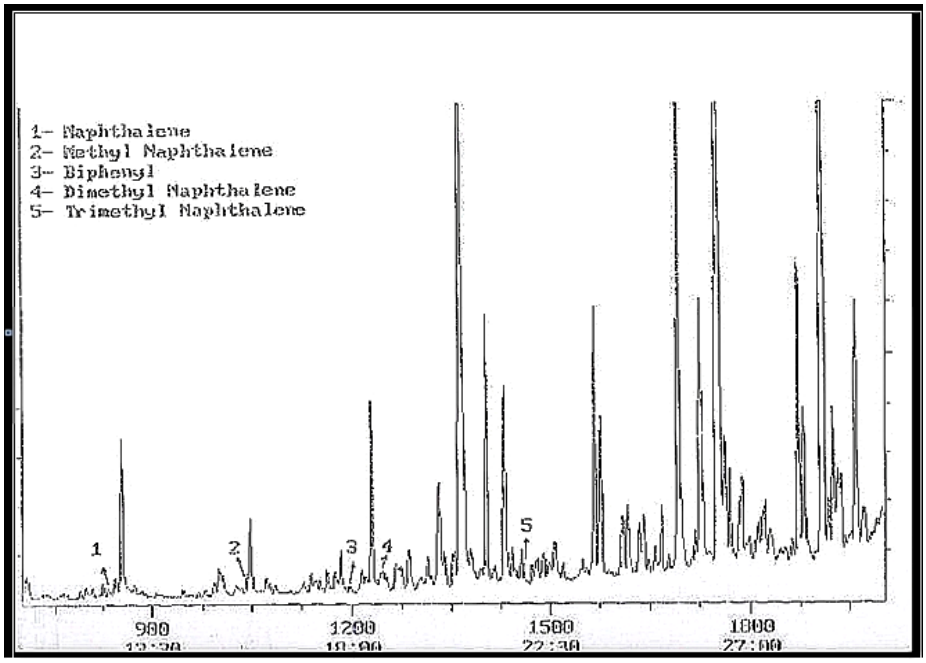
شماره ایستگاه	نام ترکیب
۱	آنتراسن ، فلورانتن ، بنزو (آ) آنتراسن ، بنزو آلفاپیرن ، بنزو جی اچ ای پریلین
۲	بنزو آلفاپیرن ، بنزو جی اچ ای پریلین
۳	آنتراسن، بنزو آلفاپیرن ، بنزو جی اچ ای پریلین فلورانتن، تری متیل نفتالین ، دی متیل نفتالین
۴	نفتالین، تری متیل نفتالین، دی متیل نفتالین، آنتراسن، بنزو آلفاپیرن، بنزو جی اچ ای پریلین، فلورانتن
۵	نفتالین، تری متیل نفتالین، دی متیل نفتالین، آنتراسن، بنزو آلفاپیرن، بنزو جی اچ ای پریلین، فلورانتن، بی فنیل، متیل نفتاین
۷	تری متیل نفتالین، دی متیل نفتالین، بنزو آلفاپیرن ،بنزو جی اچ ای پریلین، فلورانتن، متیل نفتالین
۸	آنتراسن ، فلورانتن ، بنزو (آ) آنتراسن، بنزو آلفاپیرن ، بنزو جی اچ ای پریلین

جدول ۳- میزان جذب سوسپانسیون باکتریایی در اصلاح زیستی آنتراسن

کد باکتری	جذب۲۴ ساعته	جذب۴۸ ساعته	کد باکتری	جذب۲۴ ساعته	جذب۴۸ ساعته
۱	۰/۶۹۱۷	۰/۶۶۵۰	۱۰	۰/۵۲۴۴	۰/۶۴۶۴
۲	۰/۲۴۱۸	۰/۲۵۵۱	۱۱	۰/۳۵۲۴	۱/۱۹۰۳
۳	۰/۳۴۱۲	۰/۴۰۰۶	۱۲	۱/۲۵	۰/۲۳
۴	۰/۲۵۷۱	۰/۲۲۱۹	۱۳	۱/۹۳۲۱	۰/۳۱۱۹۶
۵	۰/۴۶۰۴	۰/۳۸۱۸	۱۴	۱/۹۶۱۷	۰/۴۱۹۶۰
۶	۰/۳۱۴۴	۰/۲۵۲۵	۱۵	۱/۷۲۲۲	۰/۲۸۱۲
۷	۰/۳۵۹۵	۰/۲۰۲۱	۱۶	۱/۰۰۸۲	۰/۲۸۸۸
۸	۰/۴۴۰۱	۰/۴۴۳۳	۱۷	۱/۳۹۴۳	۰/۵۹۵۰
۹	۰/۲۷۴۱	۰/۴۷۰۷			



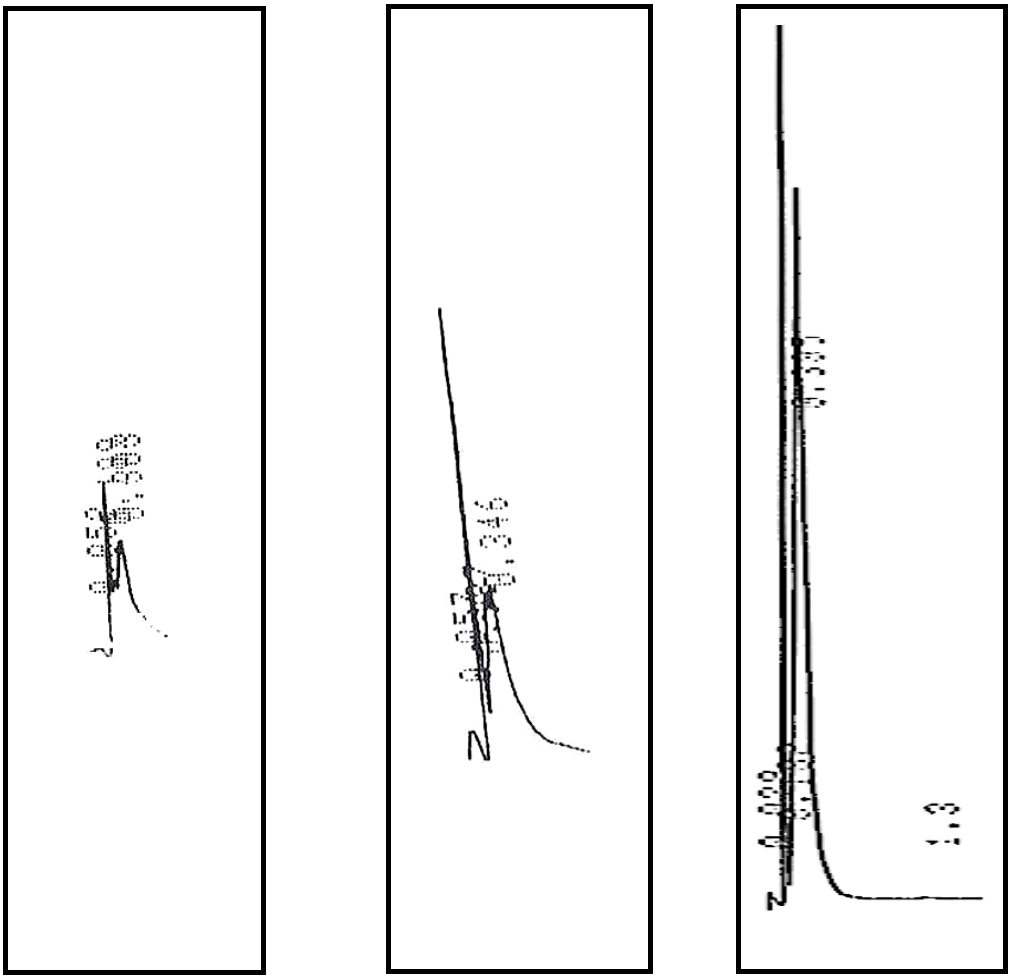
A



B

شکل ۲- کروماتوگرام آنالیز دستگاهی GCMS هیدروکربن های چند حلقه ای آروماتیک در رسوبات جزیره سیری – خلیج فارس

A: کروماتو گرام ایستگاه ۵ B : کروماتوگرام ایستگاه ۱



C B A

شکل ۳- کروماتوگراف آنالیز دستگاهی GC تجزیه بیولوژیک آنتراسن از هیدروکربن های چند حلقه ای آروماتیک در رسوبات خلیج فارس – جزیره سیری

A: کروماتوگرام نمونه شاهد

B: کروماتوگرام باکتری Staphylococcus sp PGIIII

C: کروماتوگرام باکتری *Pseudomonas sp PGIII*

بین مجموعه های مورد نظر چهار سویه این توان را نشان دادند که عبارتند از :

Bacillus sp.PGI, Bacillus sp. PGII, Pseudomonas sp PGIII, Staphylococcus sp PGIIII

البته Ratledge , wrightدر سال ۱۹۹۱ ، گزارش دادند(۲۱،۲۶،۲۷) میکروارگانیسم هایی که راه های تجزیه ای مشابه و اکسیژناژهای مشابه دارند قادر به تجزیه PAH s می باشند و تصور می شود که بیشتر PAHs در حالی که از نظر ساختمان مشابه هستند مانند فنانترن، آنتراسن، بنزن ، نفتالین، پایرن . احتمالا اکسیژنازهای آن ها نیز مشابه است. لذا مجموعه میکروارگانیسم های خالص سازی شده طیف وسیعی از آلایند های محیطی را حذف می نمایند که از این نظر بسیار سودمند می باشند .با توجه به این که اکسیداسیون آنتراسن و فنانترن و بسیاری از PAH ها توسط

باکتری ها و قارچ ها شبیه نفتالن است (۱۸،۱۹،۲۸) به نظـر می ر سد ساز و کار عمل میکروارگانیسم های مذکور در تجزیه آنتراسن نیز همانند نفتالین باشد. در این مسیر نفتالن توسط آنزیم نفتالن دی هیدرودی ال دهیدروژناز ، تبدیل به سیس دی هیدروکسی او ۲ – دی هیدرونفتالین و ۱ و ۲ – دی هیدروکسی نفتالن می شود . این ماده تحت تاثیر آنزیمی ۱ و ۲ – دی هیدروکسی نفتالن اکسیژناز مانند کاتکول از خارج پیوند دی هیدرودیول شکسته می شود و سپس اورتوهیدروکسی بنزال پیرویک اسید تولید می کند در مرحله بعد سیس – ارتو – هیدروکسی بنزال پیرویک اسید حاصل با اخذ یک مولکول آب و از دست دادن یک اسید به سالیسیلات تبدیل می شود و دکربوکسیلاسیون اکسیداتیو سالیسلات توسط آنزیم دکربوکسیلاز منجر به کاتکول می شود. سپس کاتکول های حاصل از طریق شکست داخل دیول یا راه اورتو (B - کتوآدیپات) و یا از طریق شکست خارج دیول یا راه متا (α – کتوآدیپات) فراتر متابولیزه شده و مواد حد واسط کربن تولید می شود و سپس در چرخه کربن وارد شده و منجر به تولید CO_2 و H2O از آن ها می شود .

حال با توجه به شباهت اکسیداسیون نفتالن و آنتراسن به نظر می رسد که شکست اولین حلقه از آنتراسن از طریق سیس دی هیدرو دیول ها انجام می شود که منجر به تولید نفتوپیک اسید می گردد و در نهایت وارد چـــرخه کـــربن می شود(۲۷،۲۹،۳۰).

ورود به چرخه کربن با تولید نهایی آب و دی اکسیدکربن همراه است که این خود حاکی از حذف آلودگی توسط میکروارگانیسم های بومی خلیج فارس منطقه حوزه نفتی سیری می باشد . در صورت استفاده از میکروارگانیسم های بومی این حوزه جهت حذف آلودگی PAHs بدون هر گونه دستکاری ژنتیک و انواع غیر بومی، می توان اظهار داشت اصول پایه ای ایمنی زیستی برطبق پروتکل کارتاهینا رعایت گردیده است .

تشکر و قدرانی

این طرح با حمایت مالی و اجرایی شرکت نفت فلات قاره امکان پذیر شد. در این راستا از مساعدت های ریاست محترم پژوهش و توسعه شرکت نفت فلات قاره، کارکنان محترم و زحمت کش جزیره سیری تشکر و قدرانی می گردد.

منابع

1. Pala,D.;Freier,D.,2002,Bioremediation of clay soil impacted by petroleum , Engenharia temica ,No:10 ,PP:29-32
۲. مظاهری اسدی، م . و وفا ، م ، ۱۳۸۳، ایمنی زیستی برای همه، انتشارات موج سبز ، ۲۸ صفحه
۳. امتیازجو، م. و قربانی نژاد، ا .، ۱۳۸۳، ایمنی زیستی در دریا و پروتکل کارتاهینا، اولین همایش ملی ایمنی زیستی ، کرج ، ایران ، صفحه ۳۲۳-۳۱۸
۴. خوانساری، ن، ۱۳۸۰، کنوانسیون تنوع زیستی و پروتکل ایمنی زیستی کارتاهینا، سازمان حفاظت محیط زیست ، ۱۲۵ صفحه
۵. امتیازجو ، م .، صدیقی، س، ماشینچیان مرادی، ع و رعایی، ع،۱۳۸۲، بررسی کمی وکیفی هیدروکربن های چند حلقه ای آروماتیک PAH s در رسوبات جزیره سیری، خلیج فارس مجله علوم و فنون دریایی، دوره دوم، شماره سوم، صفحات ۹-۱
6. Cocchieri ,R .A .; Arnese A., Minicucci, A., M .,1990,Polycyclic aromatic hydrocarbons in marine organisms from Italian central Mediterranean Coast , Mar. Pollut .Bull.,No:32 ,PP:21-15
7. Mihoko Y., Hideshige T.,2003,Study on the fate of petroleum –derived polycyclic aromatic hydrocarbons and the effect of chemical dispersant using anenclosed ecosystem ,mesocosm marine ,pollution bulletin,No:47, pp:105-113

8. Plotnikova ,E.G .;Altyntenseva ,O.V.,2001,Bacteria degraders of polycyclic aromatic hydrocarbons isolated from salt contaminated soil and bottom sediment in salt mining areas, Microbiology, No: 70 , PP :51-58
9. Bauer, J. , Douglas G.,1988,Effects of co-occuring aromatic hydrocarbon on individual polycyclic aromatic hydrocarbons in marine sediment, slurries ,No: 54, PP:1649-1654
10. Atlas ,R.,Bortha ,R. ,1972 ,Degradation and Mineralization of petroleum by two bacteria isolated from coastal water ,biotechnol Bioeng.No:14, PP:297-308
11. Cerniglia, C.E., 1984, Aromatic hydrocarbons: metabolism by bacteria, fungi and algae, in biochemical technology, Vol.3, P P: 116-125.
12. MOPAM, 1989, Manual of oceanographic observation and pollutant analysis Method, ROPME. kuwvait
13. Pandey , G.; Gain , R.K., 2002, Marine views bacterial chemotaxis toward environmental pollution trans: role in bioremediation , Applid and environmental microbiology , Dec.2002, pp: 5789-5795
14. Wright ,J .D ., Ratledge ,C.,1991,Isolation of Rhodotorula rubra strains showing difference in degradation of aromatic compounds ,APP.,Microbial Biotechnol,Vol:35, PP:94-99
15. Walker, N., Wiltshire, G. H. , 1953 , The breakdown of naphthalene by a soil bacterium , gen microb , No : 8 , PP : 273- 279
16. Awata ,H.;Bates ,S. ;knaub ,D.; Popelka .,R. ,1998, Polynuclear aromatic hydrocarbons, properties and environmental fate ,spring.1-10
17. Diaz , M ., Grigson , S ., 2000 , Isolation and characterization of novel hydrocarbon degrading euryhaline consortia from crude oil and mangrove sediments , Mar. Biotechnol , No: 2 , PP : 522-532
18. Hediund , B.P.; James , T.S., 2001, Vibrio cyclotrophicus sp . nov., Polycyclic aromatic hydrocarbons-(PAH) - degrading marine bacterium., J. Sys Evol. Microbial, No: 51, PP: 61-66
19. MacGillirray , A.R; Shiaris , M. P., 1999, Microbial ecology of polycyclic aromatic hydrocarbons degradation in coastal sediment
20. Grimm, A. C.; Harwood, C.S., 1997, Chemotoxics of Pseudomonas sp. to polycyclic aromatic hydrocarbon , naphthalene , Applid and environmental microbiology , pp: 4111-4115
21. Abou seoud , M.; Maachi , R, 2003, Biodegradation of naphthalene by free and alginate entrapped Pseudomonas sp , Naturoforsch, Vol:58, P: 726-731
22. Samanta , S.K.; Singh , O.V. ; Jain , P.K., 2002 , polycyclic aromatic hydrocarbons : environmental pollution and bioremediation . Trends in biotechnology, Vol: 20, No: 6

۲۳. ذوالفقاری ، آ.،۱۳۸۴، بررسی پتانسیل تجزیه میکروبی نفت و پراکنده ساز های نفتی مورد استفاده در جزیره سیری و شناسایی طرح پلاسمیدی میکروب های تجزیه کننده آن ها، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

24. Aitken, M.D .; Stringfellow , W.T.; Nagel R. D.; Kazunga , C.; Chen , S. H

, 1998, Characteristics of phenanthrene - degrading bacteria isolated from soils contaminated with Polycyclic aromatic hydrocarbon , J., Microbial , Vol: 44, PP: 743-752

25. Biegert, .,Fuchs,G.,1996,Polycyclic aromatic hydrocarbons ,Eur .,J .Biochem, No: 238 , PP : 661-668
26. Wright ,J .D ., Ratledge , C., 1991, Isolation of Rhodotorula rubra strains showing difference in degradation of aromatic compounds ,APP.,Microbial Biotechnol,Vol:35, PP:94-99
27. AshokT,B.,Saxena,S.,1995,Isolation and characterization of four Polycyclic aromatic hydrocarbon degrading bacteria from soil near and oil refinery APPI , Microbiol , NO:21,PP :246-253

۲۸. مظاهریون، ف ، ۱۳۸۲ تجزیه بیولوژیکی هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای توسط قارچ ها، مجموعه مقالات دومین همایش ملی بیوتکنولوژی

29. Corl ,E, Cerninglia ,C . , Eshenk .,1995 ,Stereoselective metabolism of anthracene and phenantherene by the fungus cunninghmella elegans APPI., Environ microbhal.,PP:119- 124
30. Sisler , F., Zobell , Z ., 1987, Microbial utilization of carcinogenic hydrocarbon , Science No: 106 , pp: 521-523