



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## ارزیابی باکتری‌های جدا شده از لجن فعال حاصل از تصفیه فاضلاب شهری منطقه ویژه عسلویه جهت زیست فزونی خاک‌های آلوده به کروزن

فرشید کفیل زاده<sup>۱\*</sup>، زینب خالدی<sup>۲</sup>

۱- (نویسنده مسئول): دانشیار گروه زیست شناسی، واحد جهرم، دانشگاه آزاد اسلامی، جهرم، ایران  
۲- کارشناس ارشد میکروبیولوژی، گروه زیست شناسی، واحد جهرم، دانشگاه آزاد اسلامی، جهرم، ایران

### اطلاعات مقاله:

### چکیده

**زمینه و هدف:** زیست فزونی (*Bioaugmentation*) یکی از روش‌های برتر در اصلاح زیستی (*Bioremediation*) خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی است. هدف از تحقیق حاضر ارزیابی میزان تاثیر باکتری‌های جدا شده از لجن فعال حاصل از تصفیه فاضلاب شهری منطقه ویژه عسلویه جهت زیست فزونی خاک‌های آلوده به کروزن و بررسی رشد باکتری‌های جدا شده در حضور غلظت‌های متفاوت این فرآورده است.

**روش بررسی:** نمونه‌برداری از لجن فعال دو کمپ تصفیه خانه منطقه عسلویه صورت گرفت. جداسازی باکتری‌های تجزیه‌کننده با کشت نمونه‌ها بر روی محیط پایه معدنی انجام گردید. تست آمیزندگی (*Emulsification*) و ارزیابی میزان رشد باکتری‌ها در غلظت‌های متفاوت کروزن انجام گردید. باکتری‌های جدا شده جهت زیست فزونی و سنجش میزان پاکسازی زیستی، به خاک‌های آلوده به ترکیب نفتی کروزن تلقیح شدند و میزان تجزیه زیستی توسط دستگاه طیف سنجی مادون قرمز (*IR*) اندازه‌گیری گردید.

**یافته‌ها:** در این مطالعه، ۳ باکتری سودوموناس پوتیدا، سراسشیا مارسسنس و پروتئوس میرابیلیس از لجن فعال بعنوان باکتری‌های تجزیه‌کننده کروزن جداسازی و شناسایی شدند. با توجه به تست‌های آمیزندگی، سنجش رشد باکتری‌ها در غلظت‌های مختلف کروزن، نتایج حاصل از زیست فزونی ستون‌های خاک آلوده به کروزن و کاهش سطح کل هیدروکربن‌های نفتی (*TPHS*)، باکتری سودوموناس پوتیدا بعنوان قوی‌ترین باکتری تجزیه‌کننده این فرآورده نفتی شناخته شد. این باکتری با میزان آمیزندگی ۳/۸ توانست ۷۱/۰۳ درصد از کل هیدروکربن‌های نفتی را در طی ۳۰ روز کاهش دهد.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به سازگار شدن باکتری‌های سودوموناس پوتیدا، سراسشیا مارسسنس و پروتئوس میرابیلیس موجود در لجن فعال با انواع آلاینده‌های موجود در فاضلاب، می‌توان از آنها به‌عنوان باکتری‌های غیربومی جهت زیست فزونی و پاکسازی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی استفاده کرد.

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۲۶

تاریخ ویرایش: ۹۵/۰۳/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۳/۲۶

تاریخ انتشار: ۹۵/۰۶/۲۸

**واژگان کلیدی:** اصلاح زیستی، زیست فزونی، لجن فعال، کروزن، سودوموناس پوتیدا

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

Kafilzadeh@jia.ac.ir

## مقدمه

صنعت پالایش نفت، نفت خام را به بیش از ۲۵۰۰ محصول تصفیه شده تبدیل می‌کند. گاز نفتی مایع، بنزین، کروزن (نفت سفید)، سوخت هواپیما، سوخت گازوئیل، سوخت‌های نفتی، گریس و مواد سوخت برای صنعت پتروشیمی نتایج مستقیم این فعالیت‌ها هستند (۱). کروزن مایع هیدروکربنی بی‌رنگ و قابل اشتعال است و از تقطیر جزء به جزء نفت خام در دمای ۱۵۰ و ۲۷۰<sup>o</sup>C بدست می‌آید (۲). کروزن اولین بخش سوخت بعد از تقطیر بعضی از ساختارهای خیلی فرار از قبیل نفتا و بنزن است (۳). این مایع هیدروکربنی از پارافین (آلکان‌ها)، سیکلوپارافین (سیکلوآلکان‌ها)، آروماتیک‌ها و اولفین‌ها تشکیل شده است (۴). کروزن به‌عنوان بخش اصلی بیش از ۶۰ درصد سوخت‌های هواپیمایی (جت)، در سیستم گرمایی و به‌عنوان یک تمیزکننده یا حلال استفاده می‌شود (۵). استفاده از مقادیر زیاد ترکیبات نفتی موجب آلودگی بالای محیط زیست می‌شود. بالا رفتن مقدار هیدروکربن‌های نفتی در خاک موجب کاهش معنی‌داری در کیفیت خاک می‌گردد و این خاک‌ها غیرقابل استفاده می‌شوند (۶). مدت زمان تماس طولانی و غلظت بالای فرآورده‌های نفتی در بدن ممکن است موجب گسترش بیماری‌های کبدی و کلیوی شود و امکان آسیب به مغز استخوان و خطر سرطان را افزایش دهد (۲). یکی از بهترین پیشنهادات در اصلاح خاک‌های آلوده استفاده از میکروارگانیسم‌هایی است که قادر به تجزیه ترکیبات سمی در فرایند اصلاح زیستی (Bioremediation) هستند. اصلاح زیستی یک روش جذاب جهت پاکسازی هیدروکربن‌های نفت خام است زیرا در نواحی وسیع قابل کاربرد و کم هزینه است و منجر به از بین رفتن کامل آلودگی می‌شود (۷). دو تکنیک اصلاح زیستی وجود دارد که می‌تواند در تمام تکنولوژی‌های در دسترس جهت به حداکثر رسیدن بازده تیمار استفاده شوند: تحریک زیستی، که باعث افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های بومی از طریق اضافه کردن مواد غذایی و پذیرنده نهایی الکترون می‌گردد و زیست فزونی (Bioaugmentation)، که باعث

افزایش تجزیه مواد آلاینده از طریق اضافه کردن گونه‌های میکروبی تجزیه‌کننده خارجی می‌گردد (۸). تصور می‌شود وقتی تحریک زیستی کافی نباشد زیست فزونی، رویکردی است که باید بکار رود (۹). در طول چند سال اخیر، ترکیبات آلاینده از قبیل حشره‌کش‌ها، مواد نفتی و تعداد زیادی از مواد شیمیایی با استفاده از زیست فزونی، با موفقیت پاکسازی شده‌اند (۱۰). Aislabie و همکاران در سال ۲۰۰۶، اصلاح زیستی هیدروکربن‌ها را در خاک‌های آلوده مناطق قطبی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که شرایط محیطی در خاک‌های قطبی از قبیل نوسانات دمایی خاک، کاهش سطح مواد مغذی، رطوبت و pH نامناسب به‌عنوان فاکتورهای محدودکننده فعالیت میکروبی و کاهش تجزیه زیستی هیدروکربن‌هاست. مطالعه آنها ثابت کرد که استفاده از انواعی از باکتری‌های تجزیه‌کننده از قبیل رودوکوکوس (Rhodococcus) و سودوموناس (Pseudomonas) به‌عنوان باکتری‌های غیربومی، برای اصلاح زیستی خاک‌های آلوده قطبی مناسب است (۱۱). سیستم تصفیه فاضلاب از قبیل لجن فعال به فعالیت جمعیت ارگانیسم‌های زنده وابسته است. اکثر باکتری‌های موجود در لجن فعال متعلق به جنس‌های گرم منفی هستند. جنس‌های اصلی شامل آکروموباکتر (Achromobacter)، آلکالی‌ژن (Alcaligenes)، باسیلوس (Bacillus)، فلاووباکتریوم (Flavobacterium)، میکروکوکوس (Micrococcus) و سودوموناس هستند (۱۲). Hosseini و همکاران در سال ۲۰۰۷، دو باکتری سودوموناس بتلی (P. beteli) و اسپیتوباکتر جونسنونی (Acinetobacter johnsonii) را از لجن فعال جداسازی کردند که به ترتیب قادر به تجزیه ۹۷/۲ درصد و ۹۶/۴ درصد از سورفاکتانت‌های آنیونی بودند (۱۳). در تحقیق Juteau و همکاران در سال ۲۰۰۳، نشان داده شد که اضافه کردن لجن فعال به خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌ها، تجزیه هیدروکربن‌ها را تحریک می‌کند و باعث تجزیه بالای آلکان‌ها و هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) می‌شود. در این بررسی مشخص شد، دلیل اصلی، تجزیه بالای آلکان‌ها

گرفت و سپس نمونه‌ها را در ظروف استریل دردار ریخته و طی مدت زمان کمتر از ۲۴ h در فلاسک‌های حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل شدند.

#### - شمارش باکتری‌ها

برای تعیین پراکندگی باکتری‌های تجزیه‌کننده نفت، در نمونه‌های جمع‌آوری شده لجن فعال، اقدام به شمارش جمعیت باکتری در هر نمونه شد. شمارش باکتری‌ها به روش **Viable Plate Count** انجام شد. برای این منظور به ازای هر کدام از نمونه‌ها ۹ لوله حاوی ۹ mL محلول سرم فیزیولوژی تهیه شد و از نمونه‌های لجن فعال رقت‌های  $10^{-1}$  تا  $10^{-9}$  تهیه گردید. پس از تهیه رقت، با استفاده از سمپلر استریل از هر یک از رقت‌ها حجم ۰/۱ mL برداشته و در دو محیط نوترینت حاوی ماده نفتی کروژن با غلظت ۱ درصد (v/v) و نوترینت بدون کروژن (بعنوان کنترل) به روش سطحی (**Spread plate**) کشت داده شد. سپس پلیت‌ها به مدت ۴۸ h در دمای  $30^{\circ}\text{C}$  گرمخانه‌گذاری گردیدند. پس از ظاهر شدن کلنی‌ها، پلیت‌های دارای کلنی‌های مشخص و قابل شمارش انتخاب و تعداد آنها شمارش گردید و در حجم برداشت شده (۰/۱ mL) و عدد رقت (با توان مثبت) ضرب گردید تا تعداد باکتری‌ها در محیط کنترل و محیط حاوی کروژن بر حسب **cfu/mL** و **cfu/g** بدست آید.

#### - غنی‌سازی و جداسازی باکتری‌های تجزیه‌کننده کروژن:

از محیط **MBS (Mineral Basal Salt)** جهت غنی‌سازی و انجام آزمایشات بیشتر استفاده شد. در ابتدا با هدف انجام غنی‌سازی ۹۵ mL از محیط کشت پایه باکتریایی درون فلاسک‌های ۲۵۰ mL ریخته و سپس حدود ۵ mL نمونه لجن فعال هر کمپ به هر فلاسک اضافه شد و فلاسک‌ها با ۱ درصد کروژن (v/v) بعنوان تنها منبع کربن و انرژی تکمیل گردیدند. محیط غنی شده در دمای  $30^{\circ}\text{C}$  با انجام هوادهی در گرمخانه شیکردار انکوبه شد. جهت غنی‌سازی بیشتر باکتریایی و مشاهده کدورت، این فرایند به مدت سه هفته با فواصل هفت روزه انجام

می‌تواند وجود میکروارگانیزم‌های موجود در لجن از جمله باکتری‌ها باشد که جهت تجزیه هیدروکربن‌ها، قدرت سازگار شدن با محیط را دارند (۱۴). **Rojas** و همکاران در سال ۲۰۰۷ شش باکتری را از لجن فعال موجود در سیستم فاضلاب شهری جداسازی و شناسایی کردند و به کمک این باکتری‌ها اقدام به پاکسازی زیستی محیط‌های آلوده به آلاینده‌های نفتی نمودند. در پژوهش آنها مشخص شد که باکتری‌های جداسازی شده از مخلوط لجن فعال قادر به تجزیه ترکیبات مشتق از سیستم‌های فاضلاب در پروسه‌های نفتی و صنایع پتروشیمی از قبیل ۱، ۲، ۱ تری کلرواتان و اتیل بنزن هستند (۱۵). با توجه به اینکه کشور ایران یکی از بزرگ‌ترین تولیدکننده‌های نفت و گاز در جهان است، بنابراین در مناطق نفت‌خیز و صنعتی آن از قبیل منطقه ویژه پارس جنوبی (عسلویه) آلودگی خاک و آب به مواد نفتی یکی از معضلات اساسی محسوب می‌گردد. هدف از تحقیق حاضر، ارزیابی میزان تاثیر باکتری‌های جدا شده از لجن فعال حاصل از تصفیه فاضلاب شهری منطقه ویژه عسلویه جهت زیست فزونی خاک‌های آلوده به کروژن است. برای این منظور میزان آمیزندگی (**Emulsification**)، کاهش کل هیدروکربن‌های نفتی (**TPHS**) و همچنین میزان رشد باکتری‌های جدا شده در حضور غلظت‌های متفاوت این فرآورده نفتی بررسی می‌گردد.

#### مواد و روش‌ها

##### - نمونه‌برداری:

در این پژوهش، جهت جداسازی و شناسایی باکتری‌های تجزیه‌کننده هیدروکربن‌های نفتی موجود در لجن فعال حاصل از تصفیه فاضلاب شهری، از کانال خروجی دو تصفیه‌خانه کمپ ۱ و ۲ و کمپ ۵ منطقه ویژه پارس جنوبی واقع در عسلویه (استان بوشهر)، که یکی از مهمترین مناطق گازی و نفتی ایران و جهان است نمونه‌برداری انجام گرفت. در طی نمونه‌برداری دما و pH تصفیه‌خانه فاضلاب اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری با ۳ بار تکرار و به تفکیک دو کمپ صورت

کانکی، حرکت باکتری و همچنین تست‌های قنبدی از قبیل تخمیر لاکتوز، سوکروز و گلوکز استفاده گردید (۱۶).

#### - میزان رشد:

به منظور ارزیابی و تعیین منحنی رشد باکتری‌های مورد بررسی در حضور غلظت‌های متفاوت کروژن، روش سنجش دانسیته نوری (OD) در طول موج ۶۰۰ nm استفاده گردید. به تعداد هر باکتری ۳ فلاسک از محیط حاوی پایه معدنی با غلظت‌های ۱ درصد، ۳ درصد و ۵ درصد کروژن (v/v) به همراه سوسپانسیون باکتری در نظر گرفته شد. سوسپانسیون باکتری بر طبق استاندارد ۰/۵ مک فارلند تهیه گردید و از آن به میزان ۵ mL به هر کدام از محیط‌های کشت اضافه شد. در این بررسی، یک فلاسک بعنوان کنترل حاوی محیط پایه معدنی و سویه مورد بررسی و بدون کروژن در نظر گرفته شد. محیط‌ها، در دمای ۳۰ °C و با دور ۱۲۰ rpm در انکوباتور شیکردار به مدت ۷ روز گرمخانه‌گذاری شدند. در نهایت میزان دانسیته نوری هر کدام از باکتری‌ها در غلظت‌های متفاوت به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۶۰۰ nm با فواصل ۱۲ ساعته اندازه‌گیری گردید و سپس منحنی رشد باکتری‌های مورد بررسی ترسیم شد (۱۶، ۲۰).

#### - آلوده کردن مصنوعی خاک:

خاک اولیه از سایت دانشگاه آزاد واحد جهرم انتخاب شد. نمونه خاک جهت آنالیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها، نشان داد خاک این منطقه فاقد هر گونه آلاینده‌های هیدروکربنی است. نمونه خاک پس از خشک کردن در هوا، از الک دو میلی متری عبور داده شد. سپس جهت از بین بردن میکروارگانیزم‌های موجود در خاک و استریل نمودن آن، طی سه مرحله در دمای ۱۲۱ °C اتوکلاو گردید. در ادامه، نمونه‌های خاک را در شرایط کاملاً استریل در زیر هود به ۴۵۰ g تقسیم کرده و به ازای هر ۱۰۰ g خاک، ۴ mL کروژن برای آلودگی خاک استفاده شد که به وسیله فیلتر ۰/۲ μm بر روی خاک اسپری گردید تا به‌طور کاملاً همگن و یکنواخت آلوده شوند (۷، ۲۱).

گردید (۱۶، ۱۷). سپس ۱ mL از محیط مایع حاصل از آخرین غنی‌سازی به روش پورپلیت (Pour Plate) بر سطح محیط MBS آگار کشت داده شد. پلیت‌ها در ۳۰ به مدت ۳-۵ روز انکوبه و کلنی‌های باکتریایی که از نظر ظاهر متفاوت بودند، به‌طور متوالی بر روی محیط جامد پایه معدنی حاوی کروژن و سپس بر روی محیط بلاد آگار خالص سازی شدند (۱۸).

#### - تست آمیزندگی (Emulsification):

پس از جداسازی سویه‌های تجزیه‌کننده کروژن، برای تشخیص قوی‌ترین و توانمندترین باکتری‌های تجزیه‌کننده از تست آمیزندگی استفاده شد. در این مرحله پس از تهیه سوسپانسیون باکتری‌های انتخاب شده در مرحله قبل، بر اساس ۰/۵ مک‌فارلند آنها را به محیط MSS (Mineral Salt Medium) حاوی ۰/۵ درصد کروژن (v/v) تلفیح کرده و پس از مخلوط کردن با دستگاه ورتکس (Vortex) در دمای ۳۰ °C به مدت ۳ روز گرمخانه‌گذاری گردید. برای تمام کلنی‌های انتخاب شده این کار تکرار شد. پس از گرمخانه‌گذاری، لوله‌ها مجدداً با ورتکس مخلوط و به مدت ۲ h دیگر در دمای ۳۰ °C گرمخانه‌گذاری و میزان آمیزندگی از ۰ تا ۴ گزارش گردید. جهت افزایش دقت، تست امولسیفیکاسیون طی چندین بار تکرار شد. با بررسی متوسط میزان آمیزندگی در لوله‌های مربوط به هر باکتری، سویه‌هایی که میزان آمیزندگی بالاتری داشته، جز سویه‌های پر قدرت محسوب گردیدند (۱۹).

#### - شناسایی باکتری‌های تجزیه‌کننده کروژن:

پس از انتخاب قوی‌ترین باکتری‌های تجزیه‌کننده کروژن، جهت شناسایی کلنی‌های باکتری‌های جدا شده از تست‌های استاندارد از قبیل رنگ‌آمیزی گرم، رنگ‌آمیزی اسید فاست، مرفولوژی و رنگ کلنی و همچنین مجموعه‌ای از واکنش‌های بیوشیمیایی، باکتریولوژیک و آزمون‌های رشد بر اساس کتاب راهنمای برگه از قبیل تست‌های اکسیداز، کاتالاز، TSI، اوره، سیمون سترات، ایندول، متیل رد، VP، احیاء نیترات، رشد بر روی محیط مک

- طراحی ستون خاک و تیماردهی به منظور انجام زیست فزونی جهت حذف کروزن:

۴۵۰g از نمونه خاک‌های آلوده به کروزن در ستون‌های استوانه‌ای شکل از جنس شیشه در حجم ۱ لیتری به ابعاد ۲۵cm طول و ۱۶ cm قطر داخلی ریخته شد. سر این ستون‌ها با ورقه آلومینیومی پوشیده و در دمای اتاق (۲۷) نگهداری گردید. خاک‌های موجود در ستون به منظور فراهم شدن هوا و اکسیژن کافی هر هفته مخلوط گردیدند. همچنین خاک‌ها جهت فراهم شدن رطوبت مورد نیاز با افزودن ۲۰mL آب مقطر استریل شده در هر هفته تا پایان آزمایش نمدار شدند. تمام این عملیات در شرایط کاملاً استریل انجام گرفت (۷). به منظور بررسی نقش سویه‌های جدا شده از لجن فعال در تجزیه کروزن، سوسپانسیونی از سویه‌های منتخب تهیه شد. به این صورت، یک لوپ پر از کلنی در داخل ۴۰mL نوترینت براث استریل تلقیح گردید. ارلن‌ها در انکوباتور شیکردار با ۲۰۰ rpm برای ۱۲ h با درجه حرارت ۳۰ گرمخانه‌گذاری شدند. ستون‌های خاک در دمای اتاق (۲۷) به مدت ۳۰ روز برای بررسی فرایند زیست فزونی نگهداری گردیدند (۷، ۱۷).

- اندازه‌گیری کل هیدروکربن‌های نفتی (TPHs) خاک‌های آلوده به وسیله طیف سنجی مادون قرمز (IR):

به منظور آنالیز تغییرات کل هیدروکربن‌های نفتی موجود در نمونه‌های خاک آلوده به کروزن از روش EPA 1664 استفاده شد. ابتدا کروزن موجود در نمونه توسط حلال هگزان استخراج گردید و پس از آن به سل دستگاه IR تزریق شد (دستگاه IR مورد استفاده در این تحقیق مدل HATR-T<sub>2</sub> ساخت شرکت Wilks Enterprise بود). درصد تجزیه ترکیبات نفتی و کاهش TPH به وسیله فرمول زیر محاسبه شد (۷):

$$[(TPH \text{ control} - TPH \text{ treatment}) / TPH \text{ control}] \times 100$$

- روش آنالیز آماری:

یافته‌ها به کمک نرم‌افزار SPSS و آزمون آماری دانکن بررسی شدند و  $P \leq 0/05$  به عنوان سطح معنی‌داری تجزیه و تحلیل گردید.

یافته‌ها

- شمارش باکتری‌ها:

میانگین لگاریتمی تعداد باکتری‌ها در محیط حاوی کروزن و فاقد کروزن (کنترل) برحسب cfu/g در تصفیه خانه کمپ ۱ و ۲ به ترتیب،  $106/0 \pm 5/251$  و  $164/25 \pm 5/892$  و در تصفیه خانه کمپ ۵ به ترتیب،  $81/50 \pm 4/675$  و  $147/75 \pm 4/88$  بدست آمد و بین تمام میانگین‌ها اختلاف معنی‌دار بود ( $P < 0/05$ ) (نمودار ۱). همچنین میانگین لگاریتمی تعداد باکتری‌ها در تصفیه خانه کمپ‌های ۱، ۲ و ۵ برحسب cfu/g، در محیط حاوی کروزن  $93/75 \pm 4/963$  و در محیط فاقد کروزن  $156 \pm 5/386$  بدست آمد و تفاوت آنها معنی‌دار بود ( $P < 0/05$ ).

- جداسازی و شناسایی قوی‌ترین باکتری‌های تجزیه‌کننده کروزن در لجن فعال با استفاده از تست آمیزندگی:

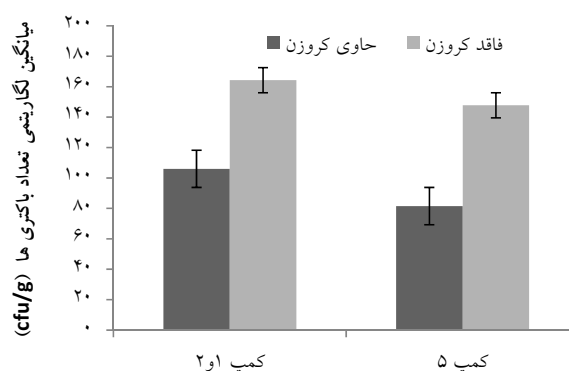
ابتدا حدود ۴۰ کلنی متفاوت از باکتری‌های موجود در لجن فعال بعنوان تجزیه‌کننده ترکیب نفتی کروزن جداسازی گردید. با بررسی رشد جدایه‌های مورد نظر در محیط کشت پایه معدنی براث و آگار واجد کروزن، ۲۵ جدایه که توانایی رشد بیشتر از لحاظ تولید کلنی و کدورت داشتند انتخاب شدند. در ادامه با استفاده از تست آمیزندگی و آزمون‌های بیوشیمیایی و مرفولوژیک (جدول ۱) در مجموع ۳ سویه پرقدرد سودوموناس پوتیدا، سراسیا مارسنس و پروتئوس میرابیلیس (هرسه راد شکل و گرم منفی) با میانگین آمیزندگی به ترتیب ۳/۸، ۲/۶ و ۲/۱ جداسازی و شناسایی گردیدند. اختلاف میانگین آمیزندگی این ۳ سویه با هم معنی‌دار بود ( $P < 0/05$ ).

جدول ۱- نتایج برخی از تست‌های مرفولوژیک و بیوشیمیایی

H <sub>2</sub> S	Citrate	Nitrate	LD	Urease	Indole	Catalase	Oxidase	VP	Motility	Shape	Gram	Bacteria
-	+	+	+	-	-	+	+	-	+	Rod	-	<i>P. putida</i>
+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	Rod	-	<i>S. marcescens</i>
+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	Rod	-	<i>P. mirabilis</i>

کاهش پیدا کرد (نمودار ۳). از میان باکتری‌های مورد بررسی کمترین رشد مربوط به پروتوس میرابیلیس بود. این باکتری نیز در غلظت ۱ v/v درصد بالاترین دانسیته نوری در طول موج ۶۰۰ nm (۰/۱۹۵ در ساعت ۹۶) را داشت و با افزایش غلظت کروژن دانسیته نوری و در نتیجه رشد آن کاهش یافت (نمودار ۴).

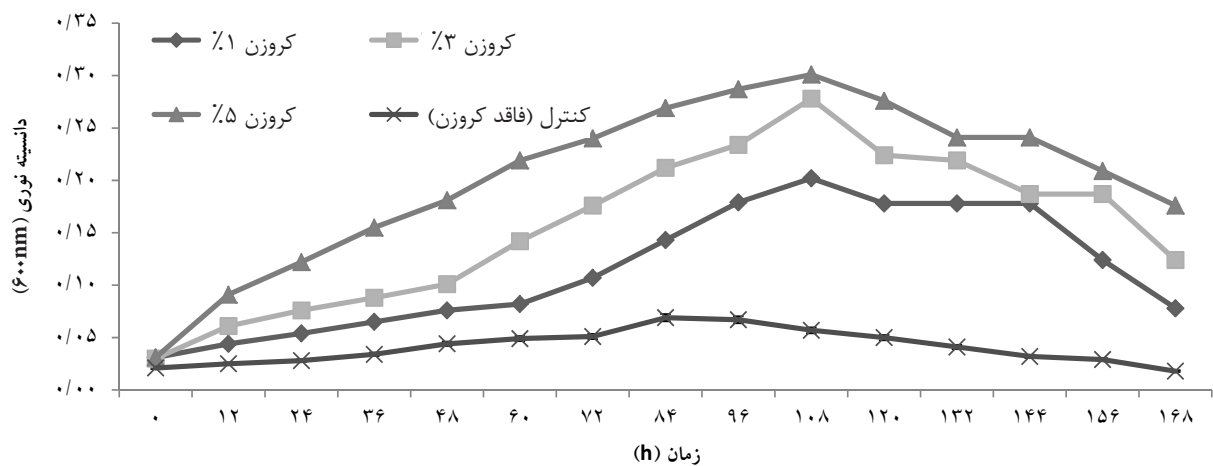
- اندازه‌گیری کاهش TPH خاک‌های آلوده به کروژن: میزان اولیه TPH اندازه‌گیری شده در ستون خاک توسط دستگاه IR برابر با ۱۴۵۰ ppm بود که این میزان بعد از ۳۰ روز در ستون خاک تلقیح شده با سودوموناس پوتیدا به ۴۲۰ ppm، در ستون خاک تلقیح شده با سراشیا مارسسنس به ۶۰۵ ppm و در ستون خاک تلقیح شده با پروتوس میرابیلیس به ۸۰۰ ppm کاهش یافت (P < ۰/۰۵). با ارزیابی میزان TPH در ستون‌های خاک در زمان اولیه و ۳۰ روز بعد از تیمار مشخص شد سودوموناس پوتیدا ۷۱/۰۳ درصد، سراشیا مارسسنس ۵۸/۲۷ درصد و پروتوس میرابیلیس ۴۴/۸۲ درصد از پاکسازی زیستی خاک‌های آلوده به کروژن را انجام داده است. با استفاده از نتایج بدست آمده از بررسی تست امولسیفیکاسیون، میزان رشد و میزان کاهش TPH ستون‌های خاک آلوده به کروژن سودوموناس پوتیدا در مقایسه با دو باکتری دیگر قوی‌ترین سویه در تجزیه کروژن شناخته شد.



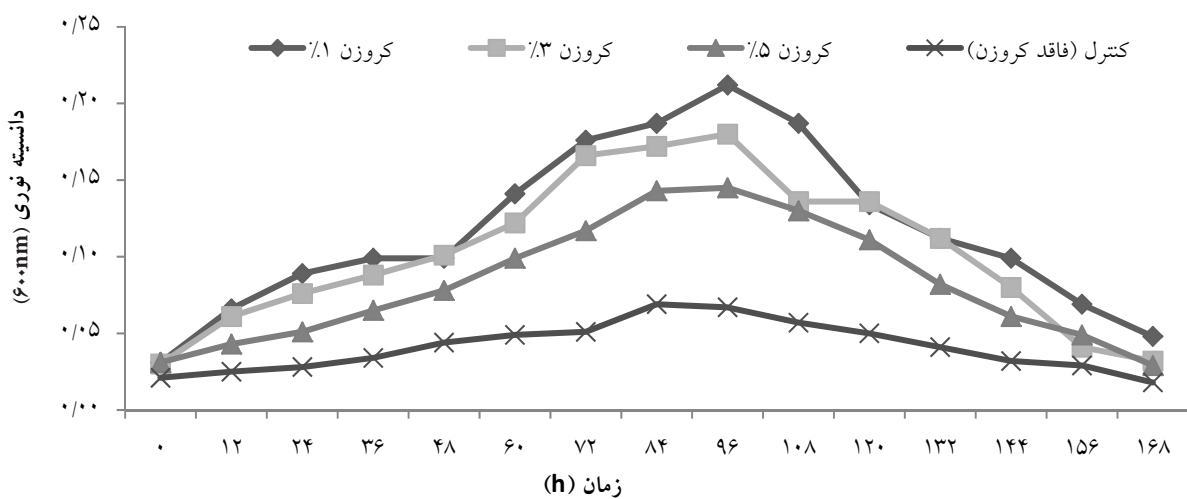
نمودار ۱- میانگین لگاریتمی تعداد باکتری‌ها در کمپ ۱ و ۲ و کمپ ۵ در محیط حاوی کروژن و فاقد کروژن

#### - میزان رشد:

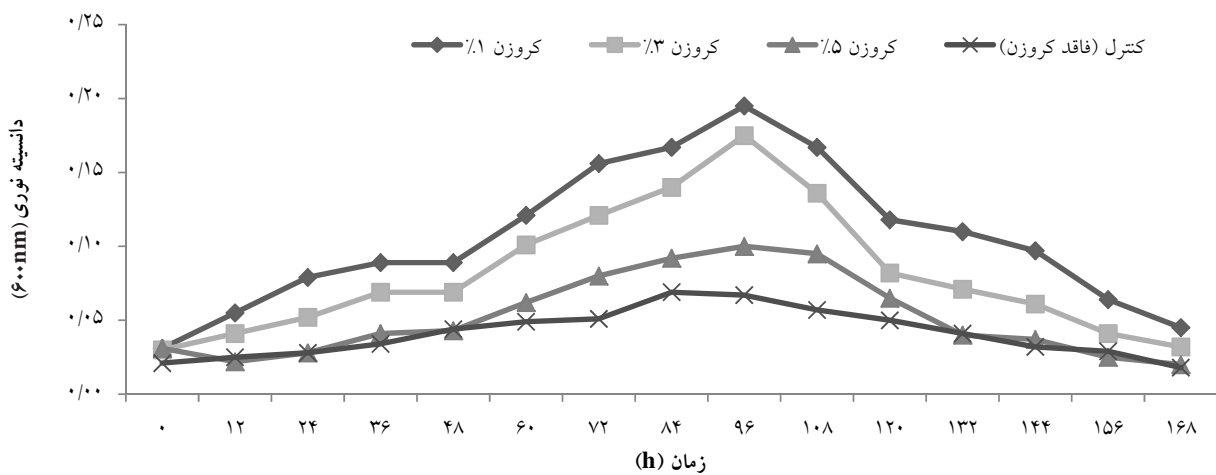
نتایج بررسی نمودار رشد (دانسیته نوری) ۳ باکتری مورد بررسی طی ۷ روز (۱۶۸ h) نشان داد که سودوموناس پوتیدا بهترین رشد را در بالاترین غلظت کروژن ۵ (v/v) درصد داشت، به طوری که این باکتری بالاترین دانسیته نوری را در طول موج ۶۰۰ nm با ارزش ۰/۳۰۱ بعد از ۱۰۸ h در غلظت ۵ درصد نشان داد. رشد این باکتری با کاهش غلظت فرآورده نفتی کاهش یافت (نمودار ۲). سراشیا مارسسنس، در غلظت ۱ v/v درصد بالاترین رشد و دانسیته نوری را داشت. دانسیته نوری این باکتری در طول موج ۶۰۰ nm در این غلظت ۰/۲۱۲ در ساعت ۹۶ بود. در حالی که رشد این باکتری در حضور غلظت‌های بالاتر کروژن



نمودار ۲- دانسیته نوری سودوموناس پوتیدا در غلظت‌های مختلف کروژن



نمودار ۳- دانسیته نوری سراشیا مارسسنس در غلظت‌های مختلف کروژن



نمودار ۴- دانسیته نوری پروتوس میرابیلیس در غلظت‌های مختلف کروژن



## بحث

زیست فزونی یکی از انواع روش‌های اصلاح زیستی است که به صورت تلقیح خاک، رسوب و لجن‌های آلوده با سویه‌های میکروبی یا به صورت تلقیح میکروارگانیسم‌های جدا شده به مکان‌های آلوده انجام می‌شود (۸). در تحقیق حاضر میانگین لگاریتمی تعداد باکتری‌ها در محیط حاوی کروژن ( $93/75 \pm 4/963 \text{ cfu/g}$ ) کمتر از محیط فاقد کروژن در ( $156 \pm 5/386 \text{ cfu/g}$ ) بدست آمد. بنابراین وجود کروژن در محیط کشت حتی در غلظت‌های کم برای بسیاری باکتری‌ها سمی بوده و سبب توقف رشد و مرگ آنها می‌شود. باکتری‌های مختلفی از لجن فعال فاضلاب شهری منطقه عسلویه جداسازی شدند که نشان می‌دهد این لجن به‌عنوان کود آلی منبع غنی از باکتری‌ها است. گونه‌های سودوموناس پوتیدا، سراسیا مارسسنس و پروتئوس میرابیلیس به‌عنوان سویه‌های قوی تجزیه‌کننده کروژن از میان باکتری‌های تجزیه‌کننده موجود در لجن فعال شناسایی شدند. Sharifi-Yazdi و همکاران (۲۰۰۱) نیز موفق به جداسازی و شناسایی باکتری‌های فلاوو باکتریوم، سودوموناس و میکروکوکوس از لجن فعال با توانایی تصفیه پساب صنعتی شدند (۱۲). در بررسی جاری، استفاده از روش غنی‌سازی و استفاده از محیط MBS براث حاوی کروژن برای جداسازی این باکتری‌ها در ابتدای آزمایش کمک زیادی به شناسایی باکتری‌های تجزیه‌کننده قوی و سازگار نسبت به دیگر باکتری‌های موجود در لجن فعال کرد. در واقع، کروژن اضافه شده به محیط کشت، باعث غنی شدن محیط برای گونه‌های تجزیه‌کننده شد. درحالی‌که گونه‌هایی که سازگاری کمتری در میان جمعیت تجزیه‌کننده ترکیبات نفتی داشتند بتدریج حذف شدند. از این باکتری‌ها جهت کاهش کل هیدروکربن‌های نفتی استفاده گردید. نتایج بدست آمده از بررسی ستون‌های خاک تلقیح شده با سودوموناس پوتیدا، سراسیا مارسسنس و پروتئوس میرابیلیس حاکی از توانایی بالای باکتری‌های جدا شده از لجن فعال بعنوان باکتری‌های

غیربومی در کاهش TPH و تجزیه کروژن بود. سودوموناس پوتیدا، سراسیا مارسسنس و پروتئوس میرابیلیس بعد از ۳۰ روز فرایند زیست فزونی و تلقیح به ستون خاک به ترتیب ۷۱/۰۳ درصد، ۵۸/۲۷ درصد و ۴۴/۸۲ درصد از کل هیدروکربن‌های نفتی موجود در خاک را کاهش دادند که این نتایج، با پژوهش‌های بسیاری از محققین که در زمینه پاکسازی زیستی و زیست فزونی خاک‌های آلوده به آلاینده‌های نفتی تحقیق کرده‌اند مطابقت دارد. Das و همکار (۲۰۰۶) از سویه‌های باسیلوس سابیتیلیس (*B. subtilis* DM-04) و سودوموناس آئروژینوزا (*P. aeruginosa* MNM) جهت تجزیه زیستی ترکیبات نفتی استفاده نمودند. در بررسی آنها سطح TPH در خاک کنترلی و نمونه آزمایش اندازه‌گیری گردید و مشخص شد سطح TPH در پایان آزمایش کاهش معنی‌داری پیدا کرده است (۲۲). Wongsā و همکاران (۲۰۰۴) دو سویه جدید از سودوموناس آئروژینوزا و سراسیا مارسسنس به ترتیب به نام‌های WatG و HokM از چندین منطقه هوکایدو ژاپن جداسازی کردند که دارای توانایی بالایی در تجزیه طیف وسیعی از هیدروکربن‌های موجود در بنزین، کروژن، گازوئیل و گریس بودند. در بررسی آنها مشخص شد که سویه WatG، سویه پرقدردت‌تری نسبت به سویه HokM در تجزیه ترکیبات نفتی است. سویه WatG حدود ۹۵-۹۰ درصد از ترکیبات گازوئیل و کروژن و سویه HokM حدود ۶۰-۵۰ درصد از این ترکیبات را تجزیه کرد (۶). Tahhan و همکاران (۲۰۱۱)، با استفاده از دو باکتری جدا شده از خاک و تلقیح آنها به لجن‌های نفتی میزان تجزیه کل هیدروکربن‌های نفتی را افزایش دادند. در بررسی آنها تلقیح طی دو مرحله در دوره‌های زمانی ۶۲ روزه و ۱۹۸ روزه انجام گرفت که در نهایت بیش از ۳۰ درصد از TPH کاهش یافت (۲۳). در پژوهش Juteau و همکاران (۲۰۰۳) مشخص شد اضافه کردن لجن فعال به خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌ها، فرایند تجزیه را تحریک و باعث تجزیه بالای آلکان‌ها می‌شود. در این بررسی مشخص شد عامل اصلی تجزیه آلکان‌ها، مواد مغذی موجود در لجن



تولید کند که شرایط آمیزندگی بیشتر و تجزیه بهتر آن فرآورده‌ها و تکثیر بیشتر نسبت به غلظت‌های پایین‌تر آن فراهم شود (۱۶). نتایج مطالعه حاضر نیز نشان داد که قدرت تجزیه‌کنندگی و رشد باکتری‌های جدا شده با میزان آمیزندگی رابطه مستقیم دارد. به طوری که قدرت تجزیه و رشد سودوموناس پوتیدا، سراشیا مارسسنس و پروتئوس میرابیلیس در حضور کروزن به ترتیب با کاهش میزان آمیزندگی کاهش یافت. باید توجه داشت در این تحقیق از مخلوط هر سه باکتری در آزمایش تجزیه کروزن استفاده نگردد. به طور کلی تجزیه آلاینده‌های مختلف در حالت مخلوط باکتری‌ها می‌تواند نسبت به تجزیه آنها در حضور هر یک از باکتری‌ها به تنهایی، بیشتر و یا کمتر شود، که این موضوع نیاز به بررسی دارد. همچنین به منظور بدست آمدن حداکثر اصلاح زیستی، بهینه‌سازی شرایط رشد باکتری‌های مذکور از نظر فاکتورهایی مانند دما، pH و منبع دوم کربن یا نیتروژن باید مورد مطالعه قرار گیرد.

### نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد لجن فعال تصفیه خانه منطقه عسلویه دارای سه باکتری سودوموناس پوتیدا، سراشیا مارسسنس و پروتئوس میرابیلیس است که قدرت سازگاری متفاوتی با غلظت‌های مختلف کروزن داشته و آن را تجزیه کرده و رشد می‌کنند. همچنین قدرت تجزیه‌کنندگی و رشد باکتری‌های یاد شده در حضور کروزن با کاهش میزان آمیزندگی کاهش یافت. با استفاده از سه باکتری مذکور به عنوان باکتری‌های غیربومی، می‌توان جهت زیست فزونی و اصلاح زیستی محیط‌های آلوده به ویژه خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی استفاده کرد.

### تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از پایان‌نامه با عنوان "پاکسازی زیستی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی با استفاده از باکتری‌های جدا شده از لجن فعال حاصل از تیمار فاضلاب‌های شهری منطقه عسلویه" در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۹۳ است که

نیست بلکه دلیل آن می‌تواند وجود میکروارگانیزم‌های موجود در لجن از جمله باکتری‌ها باشد که قدرت سازگار شدن جهت تجزیه هیدروکربن‌ها را دارند (۱۴).

در تحقیق جاری میزان رشد باکتری‌های تجزیه‌کننده در حضور غلظت‌های مختلف کروزن به مدت ۷ روز و در طول موج ۶۰۰ nm مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد رشد باکتری‌های سراشیا مارسسنس و پروتئوس میرابیلیس با افزایش غلظت کروزن کاهش می‌یابد. Kafilzadeh و همکاران (۲۰۱۱) نیز توانستند باکتری‌های تجزیه‌کننده پیرن را جداسازی و شناسایی کنند. در تحقیق آنها با بررسی میزان رشد باکتری‌های جداسازی شده در طول موج ۶۰۰ nm، رشد پایین باکتریایی در غلظت‌های بالای ترکیبات آروماتیکی مشاهده گردید. کاهش رشد باکتری‌ها با افزایش غلظت ماده مورد نظر می‌تواند بدلیل سمی بودن آن باشد. هیدروکربن‌های لیپوفیلیک موجود در ترکیبات نفتی، با تجمع در غشاء دو لایه‌ای باکتری بر خواص ساختمانی و عمل این غشا اثر گذاشته و منجر به از بین رفتن غشا، افزایش نفوذپذیری پروتون و تخریب ثبات pH درون سلولی خواهند شد (۲۴). اما در سودوموناس پوتیدا با افزایش غلظت کروزن میزان رشد باکتری افزایش یافت به طوری که این باکتری در غلظت ۵ درصد بیشترین رشد را داشت. این نتیجه با نتایج پژوهش Nnamchi و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد. در بررسی آنها، ارتباط مستقیم بین میزان رشد باکتری‌ها و غلظت هیدروکربن مورد بررسی، اثبات شد (۲۵). سودوموناس در محیط‌های مختلف مقاومت بالایی دارد. قدرت تجزیه‌کنندگی سودوموناس پوتیدا به دلیل تولید بیوسورفاکتانت‌هایی است که باعث افزایش امولسیفیکاسیون هیدروکربن‌های نفتی و تغییر کشش سطحی و اتصال هیدروکربن به سطح سلول باکتری‌ها می‌شود (۲۶). سودوموناس دارای آنزیم‌های مختلف تجزیه‌کننده است که قادر به تجزیه ترکیبات هیدروکربنی مختلف هستند. این امکان وجود دارد در شرایطی که این باکتری در معرض غلظت بالای فرآورده‌های نفتی قرار می‌گیرد آنزیم‌ها و سورفاکتانت‌هایی

همکاری کرده‌اند بخصوص کارشناسان آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد جهرم تشکر نمایند.

با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد جهرم اجرا شده است. نویسندگان لازم می‌دانند از کلیه کسانی که در انجام این تحقیق

### منابع

1. Benyahia F, Abdulkarim M, Embaby A, Rao M. Refinery wastewater treatment: a true technological challenge. The 7th Annual UAE University Research Conference; 2006 Apr 22-25; Al Ain, United Arab Emirates; 2006.
2. Gouda MK, Omar SH, Eldin HMN, Chekroud ZA. Bioremediation of kerosene II: a case study in contaminated clay (Laboratory and field: scale microcosms). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2008;24(8):1451-60.
3. Adesanwo T, Rahman M, Gupta R, de Klerk A. Characterization and refining pathways of straight-Run heavy naphtha and distillate from the solvent extraction of lignite. *Energy and Fuels*. 2014;28(7):4486-95.
4. Agarry SE, Owabor CN, Yusuf RO. Enhanced bioremediation of soil artificially contaminated with kerosene: optimization of biostimulation agents through statistical experimental design. *Journal of Petroleum and Environmental Biotechnology*. 2012;3(3):1-8.
5. Ejiro KH, Eseoghene A. Effect of acute kerosene toxicity on the histology of the small intestine, intestinal enzyme amylase and malondialdehyde (MDA) on adults male Wistar rats. *Journal of Natural Sciences Research*. 2015;5(4):53-57.
6. Wongsa P, Tanaka M, Ueno A, Hasanuzzaman M, Yumoto I, Okuyama H. Isolation and characterization of novel strains of *Pseudomonas aeruginosa* and *Serratia marcescens* possessing high efficiency to degrade gasoline, kerosene, diesel oil, and lubricating oil. *Current Microbiology*. 2004;49(6):415-22.
7. Bento FM, Camargo FA, Okeke BC, Frankenberger WT. Comparative bioremediation of soils contaminated with diesel oil by natural attenuation, biostimulation and bioaugmentation. *Bioresource Technology*. 2005;96(9):1049-55.
8. Mariano AP, Kataoka APdAG, Angelis DdFd, Bonotto DM. Laboratory study on the bioremediation of diesel oil contaminated soil from a petrol station. *Brazilian Journal of Microbiology*. 2007;38(2):346-53.
9. Mroziak A, Piotrowska-Seget Z. Bioaugmentation as a strategy for cleaning up of soils contaminated with aromatic compounds. *Microbiological Research*. 2010;165(5):363-75.
10. Alisi C, Musella R, Tasso F, Ubaldi C, Manzo S, Cremisini C, et al. Bioremediation of diesel oil in a co-contaminated soil by bioaugmentation with a microbial formula tailored with native strains selected for heavy metals resistance. *Science of the Total Environment*. 2009;407(8):3024-32.
11. Aislable J, Saul DJ, Foght JM. Bioremediation of hydrocarbon-contaminated polar soils. *Extremophiles*. 2006;10(3):171-79.
12. Sharifi-Yazdi M, Azimi C, Khalili M. Isolation and identification of bacteria present in the activated sludge unit, in the treatment of industrial waste water. *Iranian Journal of Public Health*. 2001;30(3-4):91-94.
13. Hosseini F, Malekzadeh F, Amirmozafari N, Ghaemi N. Biodegradation of anionic surfactants by isolated bacteria from activated sludge. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2007;4(1):127-32.
14. Juteau P, Bisailon J-G, Lépine F, Ratheau V, Beaudet R, Villemur R. Improving the biotreatment of hydrocarbons-contaminated soils by addition of activated sludge taken from the wastewater treatment facilities of an oil refinery. *Biodegradation*. 2003;14(1):31-40.
15. Ali A, Naseem F. Frequency distribution of bacteria isolated from different industrial effluent. *Dafodil International University Journal of Science and Technology*. 2012;7(1):28-33.
16. Kafilzadeh F, Hoshyaripour F, Afrough R, Jamali H, Allahverdi G. Isolation and identification of pyrene-degrading bacteria from soils around landfills in Shiraz and their growth kinetic assay. *Journal of*

- Fasa University of Medical Sciences. 2011;1(3):154-59 (in Persian).
17. Rahman P, Rahman T, Lakshmanaperumalsamy P, Banat IM. Occurrence of crude oil degrading bacteria in gasoline and diesel station soils. *Journal of Basic Microbiology*. 2002;42(4):284-91.
18. Shafiee P, Shojaosadati SA, Charkhabi AH. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by aerobic mixed bacterial culture isolated from hydrocarbon polluted soils. *Journal of Chemistry and Chemical Engineering*. 2006;25(3):73-78.
19. Francy D, Thomas J, Raymond R, Ward C. Emulsification of hydrocarbons by subsurface bacteria. *Journal of Industrial Microbiology*. 1991;8(4):237-45.
20. Kafilzadeh F, Javid H, Mohammadi H. Isolation of polycyclic aromatic hydrocarbons degrading bacteria of Tashk lake and salt concentration effect on them. *Iranian Scientific Fisheries Journal*. 2007;17(3):103-12 (in Persian).
21. Sharifi HS, Shahbazi A, Yazdipour A, Kamranfar I. The effect of agricultural fertilizers on bioremediation of a crude-oil polluted soil. *Journal of Water and Soil*. 2009;23(3):145-55 (in Persian).
22. Das K, Mukherjee AK. Crude petroleum-oil biodegradation efficiency of *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from a petroleum-oil contaminated soil from north-east India. *Bioresource Technology*. 2007;98(7):1339-45.
23. Tahhan RA, Ammari TG, Goussous SJ, Al-Shdaifat HI. Enhancing the biodegradation of total petroleum hydrocarbons in oily sludge by a modified bioaugmentation strategy. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 2011;65(1):130-34.
24. Nwanna IM, George GO, Olusoji IM. Growth study on chrysene degraders isolated from polycyclic aromatic hydrocarbon polluted soils in Nigeria. *African Journal of Biotechnology*. 2006;5(10):823-28.
25. Nnamchi C, Obeta J, Ezeogu L. Isolation and characterization of some polycyclic aromatic hydrocarbon degrading bacteria from Nsukka soils in Nigeria. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2006;3(2):181-90.
26. Kumar M, Leon V, Materano ADS, Ilzins OA,

Galindo-Castro I, Fuenmayor SL. Polycyclic aromatic hydrocarbon degradation by biosurfactant-producing *Pseudomonas* sp. IR1. *Zeitschrift für Naturforschung C*. 2006;61(3-4):203-12.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## Evaluation of the Isolated Bacteria from Activated Sludge of Asalouyeh Special Zone Municipal Wastewater Treatment for Bioaugmentation of Kerosene-Contaminated Soils

F Kafilzadeh\*, Z Khaledi

Department of Biology, Jahrom Branch, Islamic Azad University, Jahrom, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 16 March 2016  
**Revised:** 7 June 2016  
**Accepted:** 15 June 2016  
**Published:** 18 September 2016

**Key words:** Bioremediation, Bioaugmentation, Activated sludge, Kerosene, *Pseudomonas putida*

**\*Corresponding Author:**  
Kafilzadeh@jia.ac.ir  
Tel: 09171140799

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Bioaugmentation is a superior technique in bioremediation of contaminated soils with petroleum hydrocarbons. The aim of this study was to evaluate the effect of isolated bacteria from activated sludge of Asalouyeh special zone municipal wastewater treatment for bioaugmentation of kerosene-contaminated soils and to study the growth of isolated bacteria in the presence of different concentrations of this product.

**Materials and Methods:** Sampling of activated sludge was carried out from two treatment plants in Asalouyeh zone. Isolation of degrading bacteria was performed by culturing the samples on basal mineral medium. Emulsification test and evaluating the kinetic growth of bacteria were carried out in different concentrations of kerosene. Isolated bacteria were inoculated to polluted soils with kerosene oil compound for bioaugmentation and measuring their bioremediation potentials and the rate of biodegradation were measured by InfraRed (IR) spectroscopy.

**Results:** In this study, three bacterias: *Pseudomonas putida*, *Serratia marcescens*, and *Proteus mirabilis* were isolated and identified as kerosene degrading bacterias from activated sludge. *P. putida* was recognized as the most powerful degrading bacterium of this oil product according to the emulsification tests, measuring the growth of bacteria in various concentrations of kerosene, the results of bioaugmentation of contaminated column of soil with kerosene, and reducing the level of Total Petroleum Hydrocarbons (TPHs). This bacterium with emulsification rate of 3.8 could reduce 71.03% of TPHs within 30 days.

**Conclusion:** According to the adaption of *Pseudomonas putida*, *Serratia marcescens*, and *Proteus mirabilis* in activated sludge with variety of pollutants in sewage, they can be used as non-indigenous bacteria for bioaugmentation and cleaning up the soil contaminated petroleum hydrocarbons.