



## بررسی نرخ رشد و تولید بیوسورفاکتانت دو گونه *Pesudomonas aeruginosa* و *Pesudomonas putida* در خورموسی

فاطمه شاه علیان<sup>۱\*</sup>، علیرضا صفاهیه<sup>۱</sup>، نگین سلامات<sup>۱</sup>، فاطمه موجودی<sup>۱</sup>، مصطفی زارع دوست<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، صندوق پستی ۶۶۹

<sup>۲</sup>گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران

نوع مقاله:

پژوهشی

چکیده

برای پاکسازی اکوسیستم‌های آبی از مواد نفتی نظیر ترکیبات آروماتیک چند حلقه‌ای استفاده از روش‌های زیستی به دلیل هزینه کم و سازگاری با محیط زیست بیش از سایر روش‌ها مورد توجه است. قابلیت پاکسازی با تولید بیوسورفاکتانت توسط میکروارگانیسم‌ها افزایش می‌یابد. در این تحقیق مقایسه رشد و تولید بیوسورفاکتانت باکتری‌های *Pesudomonas aeruginosa* و *Pesudomonas putida* که از نمونه رسوبات آلوده به نفت خورموسی جداسازی شده، بررسی گردید. جهت بررسی تولید بیوسورفاکتانت از سه تکنیک Oil spread، Drop collaps، Agar lysis استفاده شد. نتایج نشان داد که هر دو گونه در محیط حاوی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی گرم بر لیتر آنتراسن از رشد خوبی برخوردار بودند ولی بیشترین میزان رشد در هر سه غلظت در باکتری *P. aeruginosa* با تولید بیوسورفاکتانت بیشتر نسبت به باکتری *P. putida* به دست آمد.

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۹۳/۰۴/۱۹

اصلاح: ۹۳/۰۵/۰۲

پذیرش: ۹۳/۰۵/۰۵

کلمات کلیدی:

آروماتیک چندحلقه‌ای

خورموسی

رشد

بیوسورفاکتانت

مقدمه

ورود ترکیبات نفتی در هنگام اکتشاف، تولید، پالایش، حمل و نقل و نگهداری ترکیبات نفتی یکی از عوامل آلاینده دریاها و اقیانوس‌ها می‌باشد که میزان آن روز به روز در حال افزایش است (Hua, 2006). هیدروکربن‌های نفتی محلول در چربی نسبت به هیدروکربن‌های محلول در آب سمیت بیشتری دارند و قادرند در بدن موجودات زنده تجمع یابند (Maruya et al., 1997; Sanghvi, 2005; Seo et al., 2009). یکی از راهکارهای مقابله با آلودگی‌های زیست محیطی تصفیه میکروبی هیدروکربن‌ها (تجزیه زیستی یا Bioremediation) می‌باشد که بر اساس شکستن آلودگی‌های آلی در اثر فعالیت میکروارگانیسم‌هاست. تجزیه زیستی در مقایسه با سایر روش‌ها بسیار موثرتر بوده و ترکیبات سمی نفت را به محصولات غیرسمی تبدیل می‌کند (Leahy and Colwell, 1990; Vidali, 2001; Anisuddin et al., 2005). میکروارگانیسم‌های مناسب برای تجزیه زیستی را می‌توان از محیط‌های آلوده جدا نمود. تاکنون تعداد زیادی از باکتری‌های تجزیه کننده اجزای نفتی جداسازی شده اند (Bognolo, 1999; Kanaly and harayama, 2000; Subarna et al., 2002; Khalid et al., 2004; Tabatabaee et al., 2005). جنس *Pesudomonas* از جمله باکتری‌هایی است که در اغلب پژوهش‌های مرتبط با تجزیه زیستی معرفی شده (Guieysse et al., 2004; Ilori et al., 2006; Tekoriene, 2008) و مشخص شده است که این باکتری‌ها توانایی بالایی در استفاده از ترکیبات آروماتیک دارند (Nnamchi et al., 2006). این جنس به دلیل وجود تنوع، توانایی سازشی بالا با شرایط

\* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: [shahaliyanfatemeh@yahoo.com](mailto:shahaliyanfatemeh@yahoo.com)

مختلف محیطی و خصوصیات ذاتی در القاء تصادفی آنزیم‌های مورد نیاز تجزیه زیستی بسیار مورد توجه است. همچنین چرخه تنفسی این باکتری‌ها در حضور اکسیژن به عنوان پذیرنده الکترونی شامل سیتوکروم‌های مختلف و انواع مختلفی از اکسیدازهای انتقالی متصل به اکسیژن می‌باشد که می‌تواند از مسیرهای بیوشیمیایی پیچیده آلاینده‌های نفتی را به متابولیت‌های ساده‌تر تبدیل و تجزیه زیستی را به نحو مطلوبتری انجام دهد (Okoh, 2003; Minoui *et al.*, 2008). معمولاً باکتری‌های تجزیه‌کننده هیدروکربن با تولید بیوسورفاکتانت قادر به امولسیون کردن هیدروکربن‌های آروماتیک در آب می‌باشند که تجزیه نفت در محیط را افزایش می‌دهند (Deziel *et al.*, 1996; Cooper and Godenberg, 1999; Kosaric, 2001; Wick *et al.*, 2002; Sanjeet *et al.*, 2004; Muthusamy *et al.*, 2008). با مطالعات انجام شده بر روی *Pseudomonas* نشان داده شد که این باکتری قادر به تولید نوعی از سورفاکتانت به نام رامنولپید است که این ماده سطح امولسیفیکاسیون هیدروکربن‌های نفتی را ارتقا بخشده لذا ترکیبات آبریز را جهت جذب و متابولیسم در دسترس باکتری قرار می‌دهد (Ron and Rosenberg, 2002; Suwanwong, 2004; Anyanwu and Chukwudi, 2010). این پژوهش نیز در راستای جداسازی میکروارگانسیم‌های بومی تجزیه‌کننده هیدروکربن آنتراسن از رسوبات آلوده به نفت منطقه خور موسی صورت گرفت.

## مواد و روش‌ها

### نمونه برداری

به منظور شناسایی و جداسازی باکتری‌های بومی با قابلیت مصرف آنتراسن نمونه برداری با ۳ تکرار، توسط گرب از رسوبات سطحی آلوده به نفت خور موسی در آبان ماه ۱۳۹۰ انجام گرفت. نمونه‌ها درون ظروف شیشه‌ای نیمه‌پر و در پیچدار حمل و به منظور هوادهی مناسب، درب آن به صورت نیمه باز گذاشته شد.

### جداسازی، خالص‌سازی و شناسایی باکتری‌ها

محیط‌های معدنی اولیه جهت رشد میکروارگانسیم‌ها تشکیل شده از ترکیب ۵ گرم  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ، ۲/۵ گرم  $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ، ۱ گرم  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ، ۰/۰۵ گرم  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ، ۰/۰۵ گرم  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ، ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر آنتراسن، ۱۰۰ میکرولیتر عناصر میکرو و ۱ گرم نمک دریایی در ۱ لیتر آب مقطر در ارن‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری با حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر توزیع شدند (pH:  $7 \pm 0.5$  محیط کشت). یک گرم از هر نمونه رسوب در ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۰.۸۵ w/v NaCl تهیه و رقت‌های  $10^{-1}$  به محیط کشت‌ها اضافه گردید. محیط‌ها در انکوباتور شیکردار با دور ۱۵۰ rpm و دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷ روز قرار گرفتند. برای سازگاری باکتری با هیدروکربن آنتراسن تا ۲ هفته دیگر عمل تجدید کشت صورت گرفت. سپس به میزان ۱ میلی‌لیتر از آخرین کشت میکروبی به پلیت‌های حاوی پایه معدنی آگار دار منتقل و در سطح پلیت پخش گردید. از روش کشت خطی برای به دست آوردن کلنی تک استفاده شد (Nnamchi *et al.*, 2006; Mukred *et al.*, 2008). باکتری‌های مقاوم به آنتراسن در محیط کشت معدنی (حاوی عناصر معدنی و آنتراسن) به روش‌های معمول میکروبیولوژی شناسایی شدند (Garrity, 2005).

### بررسی توان تولید بیوسورفاکتانت

باکتری‌های ایزوله شده، از لحاظ توان تولید بیوسورفاکتانت با استفاده از سه روش Oil spread، Drop collaps، Agar lysis مورد آزمایش قرار گرفتند (Youssef *et al.*, 2004). افزودن باکتری به محیط کشت Blood agar با ایجاد هاله روشنی در اطراف کلنی باکتری همراه است که نشان دهنده همولیز خون توسط باکتری و تولید بیوسورفاکتانت است و عدم همولیز خون نشان می‌دهد که باکتری مورد نظر تولیدکننده بیوسورفاکتانت نمی‌باشد (Youssef *et al.*, 2004; Salehizadeh and Mohammadizad, 2009). در روش Drop collaps بر روی اسلاید تمیز ۲ میکرو لیتر نفت معدنی<sup>۱</sup> ریخته شد. ۵ میکرو لیتر از محیط کشت پس از یک ساعت به سطح نفت اضافه گردید. شکل قطره نفت پس از ۱ دقیقه بررسی شد (Youssef *et al.*, 2004).

<sup>۱</sup> Mineral Oil

(2004). در روش Oil spread در یک پتری دیش بزرگ ۵۰ میلی لیتر آب دو بار تقطیر ریخته و سپس ۲۰ میکرولیتر نفت خام به سطح آب افزوده شد. به دنبال آن ۱۰ میکرولیتر از محیط کشت بر سطح نفت اضافه گردید (Youssef et al., 2004).

### مطالعه رشد باکتری

باکتری های به دست آمده از مرحله خالص سازی به ۱۰۰ میلی لیتر محیط کشت معدنی مایع تلقیح شده و در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت در انکوباتور شیکر دار گرماگذاری شدند. ۳ میلی لیتر از سوسپانسیون باکتری به ارلن های حاوی محیط کشت MSM<sup>۲</sup> با سه غلظت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی گرم بر لیتر آنتراسن اضافه گردید. نمونه ها به مدت ۱۲ روز در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد گرماگذاری شدند. شاهدها برای آزمایش شامل تمام اجزا به جز آنتراسن بودند (Malatova, 2005; AL- Thani et al., 2009) و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۰۰ نانومتر مورد سنجش قرار گرفتند (Nnamchi et al., 2006).

### تحلیل آماری

از نرم افزار Excel برای رسم نمودارها و از نرم افزار SPSS Wersion 11.5 برای تحلیل داده ها استفاده شد. برای بررسی اختلاف معنی داری بین محیط کشت های حاوی آنتراسن و نمونه فاقد آنتراسن آنالیز واریانس یکطرفه انجام شد.

### نتایج

با استفاده از تکنیک غربال سازی در محیط پایه معدنی که تنها منبع انرژی و کربن آن آنتراسن بود، دو گونه باکتری از خورموسی جداسازی شدند. نتایج بررسی ها و تست های بیوشیمیایی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات بیوشیمیایی دو گونه باکتری

باکتری		تست بیوشیمیایی
<i>Pseudomonas putida</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	
-	-	رنگ آمیزی گرم
میله ای	میله ای	شکل سلول
+	+	اکسیداز
-	-	تولید اندول
-+	-+	اوره
+	+	کاتالاز
-	-	د-کریوکسیلاز
-	+	فنیل آلانین
+	+	سیمون سیترات
-	+	تخمیر لاکتوز
+	+	رشد بر محیط مک کانکی
+	+	KOH
-	+	MR
-	-	VP
+	+	SIM
-	-	TSI

<sup>2</sup> Mineral salt medium

تولید بیوسورفاکتانت توسط باکتری‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. توان تولید بیوسورفاکتانت توسط دو گونه *P. putida* و *P. aeruginosa* با سه روش تایید گردید.

جدول ۲. تولید بیوسورفاکتانت توسط باکتری

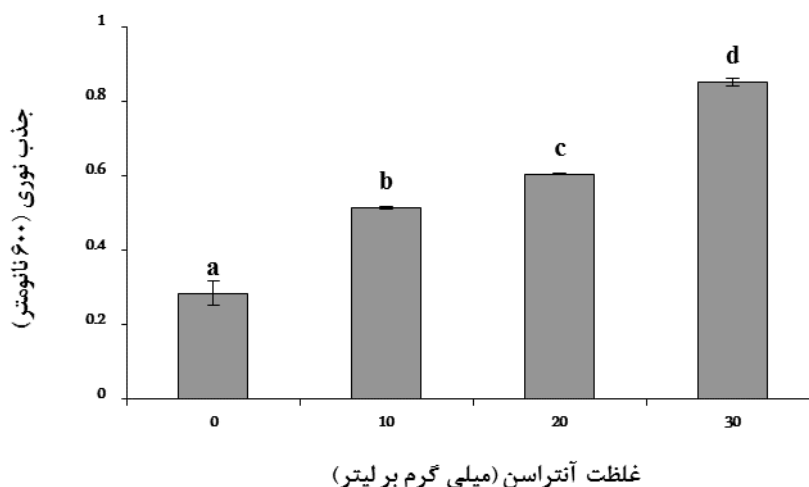
باکتری	<i>P.aeruginosa</i>	<i>P. putida</i>
تست		
Agar lysis <sup>a</sup>	++++	++
Drop collaps <sup>b</sup>	++++	++
Oil spread <sup>c</sup> (cm)	۳/۱	۲/۳

(a) عدم همولیز (-). همولیز ناکامل (+)، همولیز کامل با قطر دایره  $> 1\text{ cm}$  (++)، همولیز کامل با قطر دایره بین  $1\text{ cm}$  تا  $3\text{ cm}$  (+++). همولیز کامل با قطر دایره  $< 3\text{ cm}$  (++++).

(b) پخش جزئی تا کامل نفت بر سطح محیط کشت از (+) تا (++++) امتیاز داده شد به محیط‌های حاوی حلقه‌های گرد امتیاز کمتری داده شد چرا که نشان دهنده تولید بیوسورفاکتانت اندک بود.

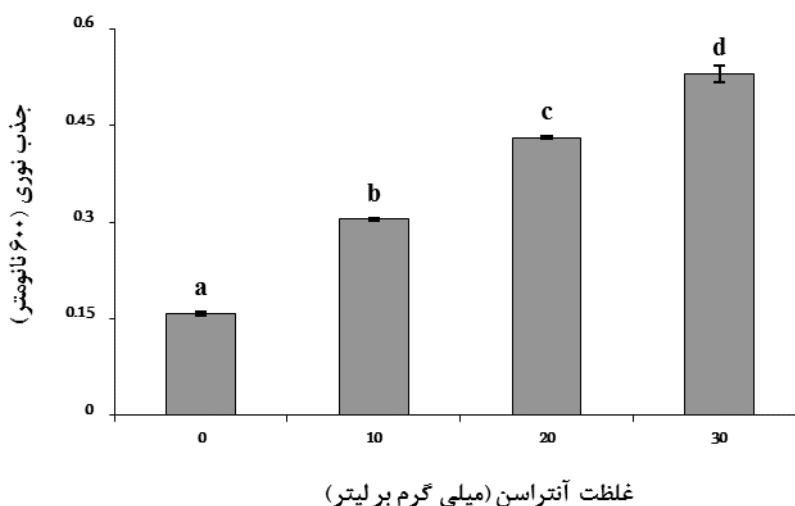
(c) اندازه قطر هاله شفاف ایجاد شده بر سطح نفت نشان دهنده تولید بیوسورفاکتانت توسط باکتری دارد.

مقایسه رشد باکتری *P. aeruginosa* در محیط کشت‌های حاوی آنتراسن با غلظت‌های متفاوت و نمونه فاقد آنتراسن در شکل ۱ نشان داد که با زیاد شدن غلظت رشد باکتری به طور معنی داری ( $P < 0.05$ ) افزایش می‌یابد به طوری که بیشترین رشد باکتری مزبور در غلظت ۳۰ میلی گرم بر لیتر (۰/۸۵۲) و کمترین رشد در نمونه فاقد آنتراسن (۰/۲۸۵) مشاهده گردید.



شکل ۱. مقایسه رشد باکتری *P. aeruginosa* در غلظت‌های متفاوت آنتراسن (Mean±SD)

مقایسه میانگین رشد باکتری *P. putida* (شکل ۲) در نمونه‌های حاوی آنتراسن در غلظت‌های (۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی گرم بر لیتر) و فاقد آنتراسن نشان دهنده رشد کمتر باکتری مذکور در غیاب آنتراسن بود. در غلظت ۳۰ میلی گرم بر لیتر نسبت به سایر غلظت‌ها بالاترین دانسیته نوری در طول موج ۶۰۰ نانومتر با ارزش ۰/۵۳۰ ثبت شد به گونه‌ای که بین حداکثر رشد باکتری در محیط فاقد آنتراسن با حداکثر رشد باکتری در سایر غلظت‌ها اختلاف معنی دار وجود داشت ( $P < 0.05$ ).



شکل ۲. مقایسه رشد باکتری *P. putida* در غلظت های متفاوت آنتراسن (Mean±SD)

### بحث

در این تحقیق نمونه برداری در محدوده اسکله بارگیری مواد نفتی در منطقه بندر امام خمینی از رسوباتی که به مدت طولانی تر تحت تأثیر هیدروکربن ها بودند انجام گرفت. در این ارتباط نتایج کارگر و همکاران (۱۳۸۵) با آزمایش بر روی باکتری های تولید کننده بیوسورفاکتانت در کاهش ترکیبات نفتی و Zahed و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی تأثیر زمان بر روی حذف هیدروکربن های نفتی نشان دادند که وجود باکتری های تجزیه کننده در مناطق آلوده به دلیل تماس مداوم با ترکیبات نفتی بیشتر است. جنس *Pseudomonas* بارها توسط محققین از خاک، آب و رسوبات آلوده به هیدروکربن های نفتی جداسازی و خالص سازی شده است (Barathi and Vasudevan, 2001; Bhattacharya et al, 2002; Christopher and Christopher, 2004; Zhang et al, 2004; Moorthi et al., 2008). نتایج حاصل از مجاورت آنتراسن و میکروارگانسیم های *P.aeruginosa* و *P. putida* جدا شده از رسوبات پیرامون خور موسی در روش بررسی ذی توده با استفاده از سنجش کدورت با اسپکتروفوتومتر نشان داد که این باکتری ها از جذب نوری بالایی برخوردار هستند. رشد هر دو گونه باکتریایی جدا شده در مطالعه حاضر موجب تغییر رنگ محیط کشت معدنی شد. تغییر رنگ محیط کشت می تواند نشان دهنده تجزیه آنتراسن یا تولید رنگدانه در این باکتری ها باشد. مطالعه رشد در محیط کشت معدنی حاوی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی گرم بر لیتر آنتراسن نشان داد که بالاترین رشد در دو گونه مورد مطالعه در غلظت ۳۰ میلی گرم بر لیتر این هیدروکربن ظاهر شد. رشد بیشتر باکتری ها در این غلظت می تواند به دلیل وجود کربن کافی در محیط و مقاومت باکتری در برابر سمیت آنتراسن باشد. فقدان آنزیم مناسب در باکتری نیز یک علت عمده برای مقاومت آلاینده های آلی در محیط است (Machado et al, 2007).

در این مطالعه با انجام سه تکنیک (جدول ۲) ثابت شد که *P. putida* و *P.aeruginosa* جدا شده در این تحقیق مولد بیوسورفاکتانت می باشند. تولید بیوسورفاکتانت توسط گونه های مختلف جنس *Pseudomonas* نظیر *P. aeruginosa* (Youssef et al., 2004; Rashedi et al., 2005; Kumar et al., 2006; Adebuseye et al. 2008; Garcia-Junco et al., 2001) و گونه *P. putida* (Tuleva et al., 2002; Youssef et al., 2004; Adebuseye et al. 2008) گزارش شده است.

در بین باکتری های تجزیه کننده، برخی از باکتری ها با تولید بیوسورفاکتانت قادرند حلالیت آلاینده های غیرقطبی مانند هیدروکربن های نفتی را افزایش دهند. این عمل با افزایش دسترسی زیستی باکتری ها به آلاینده، آنها را قادر به استفاده آسان تر از هیدروکربن ها به عنوان منبع کربنی کرده و از طرفی منجر به کاهش سمیت این ترکیبات نیز می شود (Das and Mukherjee, 2006; Kokare et al., 2007). باکتری *Pseudomonas* با تولید بیوسورفاکتانت های متنوع و با استفاده از مکانیزم های مختلف چسبندگی و واجذبی باعث حذف آلاینده های نفتی از محیط خواهد شد (Das and Mukherjee, 2007).

دلیل قطعی تولید بیوسورفاکتانت توسط میکروارگانیسم‌ها هنوز نامشخص است. با این حال باکتری‌های تولیدکننده بیوسورفاکتانت در نواحی آلوده هیدروکربنی بیشتر یافت می‌شوند (Adebusoye *et al.*, 2001; Margesin and Schinner, 2008).

پژوهش حاضر نشان داد که باکتری *P. aeruginosa* با حضور آنتراسن به عنوان منبع کربن سازگاری بهتری دارد. همچنین نتایج نشان داد که گونه مذکور توانایی بیشتری در تولید بیوسورفاکتانت داشت. به نظر می‌رسد این ماده موجب افزایش دسترسی زیستی باکتری به آنتراسن و در نتیجه تسریع تجزیه و افزایش رشد باکتری می‌گردد (Okoh, 2003). Nnamchi و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که باکتری *P. aeruginosa* در استفاده از آنتراسن استعداد قابل توجهی دارد. لیکن این محققین اعلام داشتند که بین میزان رشد باکتری و غلظت آنتراسن همبستگی مستقیم معنی داری وجود دارد. قابلیت رشد گونه *P. aeruginosa* در محیط کشت حاوی نفت خام توسط Ekpo و Udofia (۲۰۰۸) به خوبی نشان داده شده است. باکتری *P. aeruginosa* بدون فاز تأخیری رشد خود را آغاز کرد و بعد از ۲۵ روز انکوبه به حداکثر رشد خود رسید. *P. putida* از دیگر گونه‌های جنس *Pseudomonas* است که در این مطالعه قادر به استفاده از آنتراسن بود. قبلاً نیز Roy و همکاران (۲۰۰۷) با جداسازی دو گونه *P. aeruginosa* و *P. putida* از پساب‌های شهر دهلی قابلیت آنها را در تجزیه آنتراسن و نفتالن تأیید کرده‌اند که با یافته‌های این مطالعه همخوانی دارد. نتایج حاصل از رشد نشان داد که باکتری *P. aeruginosa* در تولید بیوسورفاکتانت و استفاده از آنتراسن موجود در محیط پایه معدنی تواناتر بود که این می‌تواند به علت توانایی این باکتری در تولید آنزیم‌های مناسب برای تجزیه نفت خام است (Genesh and Lin, 2009). دو گروه آنزیمی مونو و دی اکسیژناز در شکست حلقه بنزنی و ادامه روند تجزیه زیستی هیدروکربن‌ها نقش بسیار مهمی دارند (Cerniglia, 1984). نتایج، رابطه واضح و مستقیم بین فعالیت اموالسیونه کردن و چسبندگی سلول به هیدروکربن در نتیجه تولید بیوسورفاکتانت و میزان رشد ایزوله‌ها در محیط حاوی آنتراسن را نشان داد (Ganesh and Lin, 2009).

به طور کلی در اکثر پژوهش‌های انجام شده توسط محققین جنس *Pseudomonas* جداسازی شده است که این واقعیت می‌تواند حاکی از مقاومت بالای این باکتری در برخورد با اکثر هیدروکربن‌های نفتی باشد. از این رو، می‌توان به کارگیری هر دو گونه با توانایی تجزیه آنتراسن و تولید بیوسورفاکتانت جدا شده در این تحقیق را در سطح میدانی آلودگی‌های نفتی ایجاد شده در خور موسی پیشنهاد نمود.

## تشکر و قدردانی

بدین وسیله از آقایان گراوند و مریم آبادی و اداره کل بنادر و دریانوردی استان خوزستان واقع در بندر امام خمینی (ره) به دلیل همکاری صمیمانه آنها کمال تشکر و قدردانی را داریم.

## منابع

کارگر، م.، کفیل زاده، ف.، گودرزبان، ن.، نوحی، ا. ۱۳۸۵. شناسایی باکتری‌های مولد بیوسورفاکتانت و کاربرد آنها در حذف آلاینده‌های نفتی. علوم و تکنولوژی محیط زیست. شماره ۲، صفحات ۱۱۸-۱۰۹.

- Adebusoye, S.A., Amund, O.O, Ilori, M.O., Domeih, D.O., Okpuzor, J. 2008. Growth and biosurfactant synthesis by Nigerian hydrocarbon-degrading estuarine bacteria. *Revista de Biologia Tropical*. 56(4): 1603-1611.
- Al-Thani, R.F., Abd-El-Haleem, D.A.M., Al-Shammri, M. 2009. Isolation and characterization of polyaromatic hydrocarbons-degrading bacteria from different Qatari soils. *African Journal of Microbiology Research*. 3(11): 761-766.
- Anisuddin, S., Alhashar, N., Tahseen, S. 2005. Prevention of oil spill pollution in seawater using locally available materials. *Arabian Journal for Science Engineering*. 30(2): 143-152.

- Anyanwu, U., Chukwudi, U. 2010. Surface activity of extracellular products of a *Pseudomonas aeruginosa* isolated from petroleum contaminated soil. *International Journal of Environmental Sciences*. 1(2): 225-234.
- Barathi, S., Vasudevan, N. 2001. Utilization of petroleum hydrocarbons by *Pseudomonas fluorescens* isolated from petroleum contaminated soil. *Environment International*. 26: 413-416.
- Bhattacharya, D., Sarma, P.M, Krishnan, S., Mishra, S., Lal, B. 2002. Evaluation of genetic diversity among *Pseudomonas citronellolis* strains isolated from oily sludge contaminated sites. *Applied and Environmental Microbiology*. 69(3): 1435-1441.
- Bognolo, G. 1999. Colloids and Surfaces: A Physicochemical and Engineering Aspects. *Polish Journal of Environmental Studies*. 152: 41-52.
- Cerniglia, C.E. 1984. Aromatic hydrocarbons: metabolism by bacteria, fungi and algae, in *biochemical technology*. 3: 116-125.
- Christopher, W.K., Christopher, L.K. 2004. Bacterial succession in a petroleum and treatment unit. *Applied and Environmental Microbiology*. 70(3): 1777-1785.
- Cooper, D.G., Goldenberg, V.A. 1999. Surface active agents from two *Bacillus* species. *Applied and environmental microbiology*, 189: 224-229.
- Das, K., Mukherjee, A.K. 2007. 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*. 98: 1339-1345.
- Das, K., Mukherjee, A.K. 2006. 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*. 33: 22-31.
- Deziel, E., Paquette, G., Villemur, R., Lepine, F., Bisailon, J.G. 1996. Biosurfactant Production by a Soil *Pseudomonas* Strain Growing on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Applied and Environmental Microbiology*. 62(6): 1908-1912.
- Ekpo, M.A., Udofo, U.S. 2008. Rate of biodegradation of crude oil by microorganisms isolated from oil sludge environment. *African Journal of Biotechnology*. 7(24): 4495-4499.
- Ganesh, A., Lin, J. 2009. Diesel degradation and biosurfactant production by Gram-positive isolates. *African Journal of Biotechnology*. 8(21): 5847-5854.
- Garcia-Junco, M., De Olmedo, E., Ortego-Calvo, J.J. 2001. Bioavailability of solid and non-aqueous phase liquid-dissolved phenanthrene to the biosurfactant producing bacterium *Pseudomonas aeruginosa* 19SJ, *Environmental Microbiology*. 3: 561-569.
- Garrity, G.M. 2005. In Brenner, D.J., Krig, N.R., Staley, J.T. (Eds). *Bergeys manual of systematic bacteriology*. 2<sup>nd</sup> edition. Springer, New York. 2c: 323-384.
- Guieysse, B., Viklund, G., Toes, A.C., Mattiasson, B. 2004. Combined UV-biological degradation of PAHs. *Chemosphere*. 55: 1493-1499.
- Hua, J. 2006. Biodegradation of dispersed marine fuel oil in sediment under engineered pre-spill application strateg. *Ocean Engineering*. 33: 152-167.
- Ilori, M.O., Amund, D.I., Oladipupo, O., Chika, E., Omoijahina, J., Adekunle, A.S. 2006. Occurrence and growth potentials of hydrocarbon degrading bacteria on the phylloplane of some tropical plants. *African Journal of Biotechnology*. 5 (7): 542-545.
- Kanally, R.A., S. Harayama. 2000. Biodegradation of High-Molecular-Weight Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Bacteria. *Journal of bacteriology*. 182(8): 2059-2067.
- Khalid, M., Tianling, Z., Huasheng, H., Zhiming, Y., Jianjun, Y., Zhong, H. 2004. Preliminary study on PAH degradation by bacteria from contaminated sediments in Xiamen Western Sea, Fujian, China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*. 22(4): 431-435.
- Kokare, C.R, Kadam, S.S, Mahadik, K.R., Chopade, B.A. 2007. Studies on bioemulsifier production from marine *Streptomyces* sp. S1. *Indian Journal of Biotechnology*. 6(1): 78-84.
- Kosaric, N. 2001. Biosurfactants and Their Application for Soil Bioremediation. *Food Technology Biotechnology*. 39 (4): 295-304.
- Kumar, M., Leon, V., Materano, A.D.S., Ilzins, O.A. 2006. Enhancement of oil degradation by co-culture of hydrocarbon degrading and biosurfactant producing bacteria. *Polish Journal of Microbiology*. 55: 139-146.
- Leahy, J.G., Colwell, R.R. 1990. Microbial degradation of hydrocarbons in the environments. *Microbiology Review*. 54: 305-315.

- Machado, A.P., Brito, A.G., Rodrigues, A., Rodrigues, A.C., Noguelra, R. 2007. Growth of *Alcaligenes faecalis* and *Bacillus pumilus* isolated from hydrocarbon slurries on polycyclic Aromatic Hydrocarbons. International conference on Environmental. Industrial and Applied Microbiology. pp. 193.
- Malatova, K. 2005. Isolation and characterization of hydrocarbon degrading bacteria from environmental habitats in western New York State. M.S. thesis. Institute of Technology Rochester. pp. 1-108.
- Margesin, R., Schinner, F. 2001. Bioremediation (natural attenuation and biostimulation) of Diesel-oil lipid contaminated soil in an alpine glacier skiing area. Applied and Environmental Microbiology. 67: 3127-3133.
- Maruya, K.A., Risebrough, R.W., Horne, A.J. 1997. The bioaccumulation of polynuclear aromatic hydrocarbons by benthic invertebrates in an intertidal marsh. Environmental Toxicology and chemistry. 6: 1087-1097.
- Minoui, S., Minai-Tehrani, D., Zare, A., Ahmadi, sh. 2008. Effect of heavy crude oil on the pattern of respiratory chain of *Pseudomonas* sp. Terrestrial and Aquatic Environmental Toxicology. 2(1): 34-37.
- Moorthi, P.S., Deecaraman, M. and Kalaichelvan, P.T. 2008. Bioremediation of Automobile oil effluent by *Pseudomonas* sp. Advanced Biotechnology. pp: 34-37.
- Mukred, A.M., Hamid, A.A. Hamzah, A., Yusoff, W.M.W. 2008. Development of Three Bacteria Consortium for the Bioremediation of Crude Petroleum-oil in Contaminated Water. On Line Journal Biological Science. 8(4): 73-79.
- Muthusamy, K., Gopalakrishnan, S., Ravi, T.K., Sivachidambaram, P. 2008. Biosurfactants: Properties. Commercial production and application. Current Science. 94(6.25): 736-747.
- Nnamchi, C.I., Obeta, J.A.N., Ezeogu, L.I. 2006. Isolation and characterization of some polycyclic aromatic hydrocarbon degrading bacteria from Nsukka soils in Nigeria. International Journal of Environmental Science and Technology. 2(3): 181-190.
- Okoh, A.I. 2003. Biodegradation of Bonny light crude oil in soil microcosm by some bacterial strains isolated from crude oil flow stations saver pits in Nigeria. African Journal of Biotechnology. 2(5): 104-108.
- Rashedi, H., Jamshidi, E., Mazaheri Assadi, M., Bonakdarpour, B. 2005. Isolation and production of biosurfactant from *Pseudomonas aeruginosa* isolated from Iranian southern wells oil. International Journal of Environmental Science and Technology. 2(2): 121-127.
- Ron, E.Z., Rosenberg, E. 2002. Biosurfactants and oil bioremediation. Current Opinion in Biotechnology 13: 249-252.
- Roy, R., Ray, R., Chowdhury, R., Bhattacharya, P. 2007. Degradation of polyaromatic hydrocarbons by mixed culture isolated from oil contaminated soil a bioprocess engineering study. Indian Journal of Biotechnology. 6: 107-113.
- Salehizadeh, H., Mohammadizad, S. 2009. Microbial enhanced oil recovery using biosurfactant produced by *Alcaligenes faecalis*. Iranian Journal of Biotechnology. 7(4): 216-223.
- Sanghvi, S. 2005. Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination using *Mycobacterium vanbaalenii*. Biothechnology Journal. 1: 654-661.
- Sanjeet, M., Priyangshu, M.S., Banwari, L. 2004. Crude oil degradation efficiency of are combinant *Acinetobacter baumannii* strain and its survival in crude oil-contaminated soil microcosm. Microbiology Letters. 235: 323-331.
- Seo, J.S., Keum, Y.S., Li, Q.X. 2009. Bacterial degradation of aromatic compounds. International Journal of Environmental Research, Public and Health. 6: 278- 309.
- Subarna, R., Dipak, H., Debabrata, B., Dipa, B., Ranajit, K. 2002. Survey of petroleum degrading bacteria in coastal waters of Sunderban Biosphere Reserve. World Journal Microbial Biotechnology. 18: 575-581.
- Suwanwong, A. 2004. Induced mutation of crude oil biodegrading bacteria (*pseudomonas aeruginosa*). Thesis of master. Mahidol University. 1-133.
- Tabatabaee, A., Mazaheri Assadi, M., Noohi, A.A., Sajadian, V.A. 2005. Isolation of Biosurfactant Producing Bacteria from Oil Reservoirs. Iranian Journal Environmental Health Science Engineering. 2(1): 6-12.
- Tekoriene, R. 2008. Distribution of the genus *Pseudomonas* bacteria in oil-polluted soil, water, polymeric materials, plant remnants and food products. Ekol. 54(3): 143-148.



- Tuleva B.K., Ivanov, G.R., Christova, N.E. 2002. Biosurfactant production by a new *Pseudomonas putida* strain. *Zeitschrift fur Naturforschung*. 57C: 356-360.
- Vidali, M. 2001. Bioremediation. An overview. *Pure and Applied Chemistry*. 73(7): 1163-1172.
- Wick, L.Y., Ruiz de Munain, A., Springael, D., Harms, H. 2002. Responses of *Mycobacterium sp.* LB501T to the low bioavailability of solid anthracene, *Applied Microbiology and Biotechnology* 58: 378-385.
- Youssef, N.H., Duncana, K.E., Naglea, D.P., Savagea, K.N., Knappb, R.M., McInerney, M.J. 2004. Comparison of methods to detect biosurfactant production by diverse microorganisms. *Journal of Microbiological Methods*. 56: 339-347.
- Zahed, M.A, Aziz, H.A, Isa, M.H., Mohajeri, L. 2012. Response Surface Analysis to Improve Dispersed Crude Oil Biodegradation. *Clean Soil Air Water*. 40(3): 262-267.
- Zhang, H., Kallimanis, A., Koukkou, A.I., Drainas, C. 2004. Isolation and characterization of novel bacteria degrading polycyclic aromatic hydrocarbons from polluted Greek soils. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 65: 124-131.