

تجزیه میکروبی هیدروکربن های نفتی در محیط زیست

ویدا داودی*

(تاریخ ارسال ۱۳۹۶/۲/۱۳ تاریخ پذیرش ۱۳۹۶/۴/۴)

چکیده:

نفت خام یک مخلوط پیچیده طبیعی از ترکیبات هیدروکربنی و غیر هیدروکربنی است. محصولات مبتنی بر نفت منبع اصلی انرژی برای صنعت و زندگی روزمره می باشند. با این حال امروزه آلودگی محیط زیست توسط هیدروکربن های نفتی و اثرات نامطلوب آن در میان مشکلات فراوان محیط زیست قابل توجه است. اثر نفت روی جمعیت میکروبی به ترکیب شیمیایی نفت و به گونه های میکروارگانیسم ها ی موجود بستگی دارد. جمعیت برخی از میکروب ها را افزایش می دهد. با این حال بسیاری از میکروارگانیسم ها هیدروکربن های نفت را به عنوان مواد مغذی مصرف می کنند. فرایند زیست پالایی، به عنوان استفاده از میکروارگانیسم ها برای رفع یا حذف آلاینده ها با توجه به قابلیت های متابولیکی متنوع شان تعریف می شود که یک روش در حال توسعه برای حذف و تجزیه بسیاری از آلاینده های زیست محیطی از جمله محصولات صنعت نفت است. تجزیه زیستی توسط جمعیت های طبیعی میکروارگانیسم ها یکی از مکانیسم های اصلی را نشان می دهد که می توان نفت و سایر آلاینده های هیدروکربنی را از محیط زیست حذف کرد و از سایر فن آوری های بازسازی ارزان تر است. لذا هدف از این مطالعه مروری، بررسی تجزیه نفت و هیدروکربن های آن توسط میکروارگانیسم ها است.

کلمات کلیدی: تجزیه زیستی، میکروارگانیسم ها، نفت خام

مقدمه:

های نفتی را تشکیل می دهند (۵). همچنین آلودگی نفتی از طریق نشت، فروش و استفاده از فرآورده های نفتی، سر ریز و شکستگی خط لوله و ریختن از مخازن تانک ها صورت می گیرد (۶) و همچنین اضافه کردن مواد نفتی به خاک به عنوان یک سیاست عمدی دفع زباله به آلودگی منجر می شود. در مناطق به شدت آلوده شده، اثرات زیان آور فوری بر زندگی گیاهان و جانوران از جمله کشاورزی دارد. با این حال گونه های مختلف و مراحل مختلف زندگی موجودات زنده حساسیت های متفاوت به آلودگی دارند. علاوه بر اثرات آن بر گیاهان و حیوانات، آلودگی نفتی جمعیت های میکروبی را نیز تحت تاثیر قرار می دهد. اثر نفت روی جمعیت های میکروبی به ترکیب شیمیایی نفت و گونه های میکروارگانیسم های موجود بستگی دارد (۷). به هر حال آلودگی ایجاد شده توسط نفت و مشتقات آن شایع ترین و گسترده ترین آلاینده های مضر زیست محیطی موثر بر سلامت انسان محسوب می گردند (۸). بزرگترین تاثیر فوری و اقتصادی نشت نفت، آسیب به اکوسیستم است. در هنگام نشت از تانکر و یا چاه های نفت فلات قاره، برخی از این نشت ها آتش گرفته و بنابراین نتیجه این سوختن، انتشار مقادیر زیادی از خاکستر سمی است که برای سلامتی انسان زیان آور است (۹). علاوه بر انتشار مستقیم این آلاینده ها، غبارات حاصل از سوخت گازهای همراه نفت طی سالیان متمادی توانسته مواد سمی و مضر را به خاک های منطقه اضافه کند. وجود این آلاینده ها در محیط زیست علاوه بر تأثیر

در حال حاضر نفت سوخت غالب است. از لحاظ تاریخی، کشورهای صنعتی مصرف کنندگان عمده نفت هستند. با این حال، تا سال ۲۰۲۰، انتظار می رود مصرف نفت در کشورهای در حال توسعه افزایش یابد و تقریباً برابر با کشورهای صنعتی شود و انتظار می رود این افزایش مربوط به بخش حمل و نقل باشد. از این رو، نفت خام، بخش مهمی از انرژی مخلوط سوخت فسیلی است پس به عنوان نفت خام، استخراج، پالایش، حمل، توزیع و یا مصرف می شود (۱). تولید نفت خام جهانی حدود ۶۰ میلیون بشکه در روز است. در سال ۱۹۹۰ تولید نفت خام ۱۶/۴۰ میلیون بشکه بوده و ۰/۰۷٪ از کل تولید نفت خام در جهان (۲۱/۹۰ میلیارد بشکه در سال) ممکن است از طریق، نشت طبیعی، ذخیره سازی، حمل و نقل و تولید نفت و فرآورده های نفتی ریخته شود (۲). نفت خام، یکی از مهمترین آلاینده ها در محیط زیست است که می تواند باعث خسارت های جدی به انسان و اکوسیستم شود (۳). یکی از علل عمده نگرانی ها در دوران اخیر حضور هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای، مانند آنتراسن، فنانترن، بنزوپیرن و بنزوآنتراسن در آب است. برخی از این ترکیبات سرسخت و بالقوه سرطان زا هستند و توانایی تجمع زیستی در زنجیره های مواد غذایی را دارند (۴). بزرگترین منبع آلودگی نفتی ترشحات سطح پایین معمول، از جمله رواناب شهری، عملیات تمیز کردن و به کار بردن مواد نفتی روی جاده ها برای کنترل گرد و غبار می باشد. این منابع با همدیگر ۹۰ درصد از کل آلودگی

گسترده بر اکوسیستم منطقه، با گذشت زمان و ورود به چرخه غذایی، به جوامع انسانی نیز راه می یابند و به این ترتیب سلامت انسان ها را تهدید می کنند (۱۰).

حذف آلودگی های نفتی از محیط

آلودگی های نفتی به طرق مختلف فیزیکی، مکانیکی، شیمیایی و زیستی پاکسازی می شوند. روش های فیزیکی مانند سوزاندن ممکن است موجودات زنده بومی از جمله میکروب های تجزیه کننده ی نفت را نابود سازد و سمیت نفت باقیمانده را افزایش دهد علاوه بر این باعث آلودگی هوا نیز می شود. ته نشینی نفت با عوامل آبریز سنگین مانند گچ صرفاً نفت را به رسوبات بی هوای یا کف اقیانوس می برد که باعث ماندگاری دائمی و طولانی مدت آلودگی نفت می شود، نه تنها تعادل اکولوژی مختل می شود بلکه بر زیبایی محیط نیز اثرات جبران ناپذیری خواهد گذاشت (۱۱).

روش های شیمیایی شامل تزریق مستقیم اکسیدکننده های شیمیایی به محیط منجر به تغییر ماهیت طبیعی محیط می شود. روش های شیمیایی برای از بین بردن یا پراکنده کردن نفت ریخته شده از محیط زیست توسط نلسون- اسمیت به دلیل اثرات جانبی بر روی اکوسیستم و سمیت آن ها که گاهی اوقات برجسته تر از آلودگی نفتی می باشد محکوم شد. روش های شیمیایی ممکن است فعالیت های میکروبی را از طریق آسیب به غشای سلولی یا آنزیم های ضروری و یا با تغییر کشش سطحی آبی که در آن میکروارگانیسم ها زندگی می کنند، مهار کند. علاوه بر این نفت پراکنده شده در محیط زیست هیچ گاه

بازیافت نشد و سرنوشت نهایی آن هنوز نامعلوم است. به علت مشکلات مرتبط با روش های فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی به یک رویکرد ایمن تر و ارزان تر برای تجزیه ی آلودگی محیط زیست نیاز است (۱۲ و ۱۳). باتوجه به افزایش مداوم آلودگی و سمیت هیدروکربن های نفت، استراتژی زیست پالایی موثر هنوز به عنوان یک مسئله باقی مانده است (۸). استفاده از میکروارگانیسم ها برای حذف موثر آلودگی هیدروکربنی از خاک توسط محققین متعدد در نظر گرفته شده است، چرا که آلودگی زدایی خاک آلوده به وسیله ی روش های دیگر منجر به تولید ترکیبات سمی می شود و این روش ها غیر اقتصادی نیز می باشند، همچنین روش های زیستی مقرون به صرفه تر و کارآمد تر از روش های فیزیکی و شیمیایی می باشد (۱۴ و ۱۵).

اصلاح زیستی (Bioremediation)، زیست پالایی

یا تجزیه زیستی

در سالهای اخیر، تحقیقات میکروبیولوژیکی در ارتباط با اصلاح زیستی مکان های آلوده با استفاده از گونه های مختلف میکروبی افزایش یافته است (۱۶ و ۱۷). به مدت ۸۰ سال شناخته شده است که برخی از میکروارگانیسم ها می توانند هیدروکربن های نفتی را تجزیه کنند و آن را به عنوان تنها منبع کربن و انرژی برای رشد استفاده کنند و برای اولین بار نیز توسط دیویس (۱۹۶۷) به طور مختصر بیان شد (۱۴). زیست پالایی در عملیات پاکسازی نفت از محیط مهم است زیرا مشکلات آلودگی محیط زیست، رفاه انسان و سایر موجودات زنده را تهدید می کند. زیست

پالایی تکنیکی برای تمیز کردن محیط های آلوده شده با بهره گیری از توانایی های متنوع متابولیکی میکروارگانیسم ها می باشد. در این تکنیک تبدیل آلودگی ها به محصولات بی ضرر مانند: دی اکسید کربن و آب یا به زیست توده (Biomass) میکروبی صورت می گیرد (۱۲). تجزیه میکروبی به عنوان مهم ترین مکانیسم طبیعی برای حذف آلاینده های هیدروکربنی غیر فرار از محیط ظهور پیدا کرده است. اگر چه تجزیه ی زیستی به میزان آهسته رخ می دهد، می توان با استفاده از گونه های میکروبی که ضایعات نفت را با کارایی بیشتری تجزیه می کنند و یا با بهبود شرایط محیطی، نظیر اضافه کردن مواد غذایی و هوادهی آن را افزایش داد. هدف زیست پالایی نفت، تجزیه کامل هیدروکربن ها به آب و دی اکسید کربن توسط میکروارگانیسم ها است (۱۸). ایجاد شرایط مختلف مربوط به جوامع میکروبی بومی مانند منابع انرژی، pH، گیرندگان و دهندگان الکترون، مواد مغذی، دما و غیره در مکان های آلوده نیز در روش زیست پالایی مورد نیاز است (۱۹). پتانسیل بازسازی به ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و زنده خاک بستگی دارد. موفقیت این بازسازی به pH، ظرفیت نگهداری آب و سطح مواد مغذی موجود در خاک بستگی دارد (۲۰). علی رغم پتانسیل زیاد میکروارگانیسم ها برای تجزیه ترکیبات آلی تحت شرایط مطلوب یک گونه میکروارگانیسم که بتواند همه ی ترکیبات نفتی را تجزیه کند وجود ندارد (۲۱). برخی از انواع میکروارگانیسم ها قادرند هیدروکربن های نفتی را تجزیه کنند و آن ها را به عنوان تنها منبع کربن و

انرژی استفاده کنند. ویژگی فرایند تجزیه به پتانسیل ژنتیکی میکروارگانیسم های خاص برای عرضه اکسیژن مولکولی به هیدروکربن ها و همچنین پتانسیل تولید واسطه هایی که وارد مسیر متابولیکی بازده انرژی سلول می شوند، مربوط می شود (۲۲).

میکروارگانیسم های درگیر در فرایند زیست پالایی

نفت خام

میکروارگانیسم های تجزیه کننده نفت فراوان هستند و به منطقه تولید کننده نفت محدود نمی شوند و در هر محیط قابل تصویری حضور دارند، هیدروکربن ها در محیط عمدتاً توسط قارچ های رشته ای، مخمر ها، اکتینومیست ها و باکتری ها تجزیه می شوند. راندمان تجزیه زیستی از ۶٪ تا ۸۲٪ برای قارچ های خاک، ۱۳٪ تا ۵۰٪ برای باکتری های خاک، و ۰۳٪ تا ۱۰٪ برای باکتری های دریایی گزارش شده است (۲۳). مشخص شده است که تجزیه ی بیشتر آلاینده های نفتی در محل، توسط یک مجموعه ای متشکل از میکروارگانیسم ها انجام می شود و بیش از ۲۰۰ گونه از باکتری ها، قارچ ها و حتی جلبک ها می توانند هیدروکربن را تجزیه کنند (۲۴، ۲۵ و ۲۶).

قابلیت تجزیه ی فعالانه بخش های مشخص شده ای از نفت خام توسط بسیاری از میکروارگانیسم ها بیان شده است (۲۷). دانشمندان بسیاری گزارش کرده اند که جمعیت های مخلوط میکروارگانیسم ها با ظرفیت های آنزیمی گسترده برای تجزیه مخلوط پیچیده ای از هیدروکربن ها مانند نفت خام در خاک، آب شیرین و محیط های دریایی مورد نیاز است (۲۳). تجزیه نفت در

استفاده کنند به خصوص به جنس های *کاندیدا*، *کلاویسپورا*، *دباریومایسس*، *لیوکوسپوریدیوم*، *لودرومایسس*، *متکنیکویا*، *پیکیا*، *رودوسپوریدیوم*، *رودوتورولا*، *اسپوریدیوبولوس*، *اسپوروبولومایسس*، *اسفانواسکوس*، *تریکوسپورون* و *یاروویا* تعلق دارند (۳۱). گونه های مخمری، یعنی، *کاندیدا لیپولیتیکا*، *رودوتورولا موسیلاژینوسا*، *تریکوسپورون موکویندس* و گونه ای از ژنوتریکوم جدا شده از آب و خاک آلوده برای تجزیه ترکیبات نفت ذکر شدند (۲۳ و ۲۶).

قارچ ها

بیش از نیمی از قارچ ها خاکزی هستند (۳۲). هم کشت مخلوط و هم کشت خالص قارچ با موفقیت در تجزیه ی هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای استفاده شده است (۳۳). تجزیه ی هیدروکربن ها توسط قارچ های رشته ای قبلاً مورد بررسی قرار گرفته است و آن که اکثر گونه های قارچ تجزیه کنندگان عالی هیدروکربنی هستند، استنتاج شده است (۳۴). علاوه بر این برای تجزیه هیدروکربن ها میسلیم قارچ ها به طور مستقیم می تواند در نفت نفوذ کند در نتیجه باعث افزایش سطح قابل تماس دسترس برای زیست پالایی و حمله باکتری ها می شود قارچ ها همچنین می توانند تحت شرایط استرس محیطی مانند pH پایین و وضعیت فقر مواد مغذی که در آن رشد باکتری ها ممکن است محدود شود، رشد کنند (۳۵). جنس های قارچی، *آمورفوتکا*، *نئوسارتوریا*، *تالارومایسس* و *گرافایوم* از خاک آلوده نفتی جدا شده و به عنوان موجودات

درجه اول یک فرایند اکسایشی است اگر چه برخی شواهد برای تجزیه بی هوازی هیدروکربن ها نیز وجود دارد (۲۸).

باکتری ها

اگر چه، بسیاری از میکروارگانیسم ها قادرند نفت خام موجود در خاک را تجزیه کنند، قابلیت های تجزیه زیستی باکتری ها بیشتر به رسمیت شناخته شده است (۲۹) و برای تجزیه هیدروکربن ها به صورت تجاری به عنوان باکتری های لیوفیلیزه در دسترس هستند. روشی که باکتری ها فرآیندهای تجزیه زیستی را انجام می دهند نسبتاً به خوبی شناخته شده است و باکتری هایی که می توانند فرآورده های نفتی را تجزیه کنند *سودوموناس* ها، *آئروموناس*، *موراکسلا*، *بیژرینکیا*، *فلاوباکتر*، *کوروباکتریا*، *نوکاردیا*، *کورینه باکتریا*، *آتینتوباکتر*، *مایکوباکتئا*، *مودوکوکسی*، *استریتومایسس*، *باسیلوس* ها، *آرتروباکتر*، *آئروموناس*، *سینتوباکتری* ها و غیره هستند (۱۴).

مخمر ها

مخمرها نیز همانند دیگر میکروارگانیسم ها موضوع بسیاری از مطالعات زیست پالایی، به دلیل قابلیت جذب هیدروکربن ها هستند، تا به حال حداقل ۱۰۰ گونه میکروبی متعلق به ۳۰ جنس شناسایی شده است، که حدود ۱۴ جنس از آن ها مخمر هستند (۳۰). هنوز سوالات بسیاری در مورد نحوه ی شرکت مخمرها در فرآیندهای تجزیه زیستی وجود دارد. گونه های مخمری که می توانند از هیدروکربن ها به عنوان منبع کربن

بالقوه برای تجزیه هیدروکربن ها ثابت شده اند. هر چند جلبک ها و تک یاخندگان از اعضای مهم جامعه میکروبی هم در اکوسیستم آبی و هم زمینی هستند، گزارش ها در مورد درگیری آن ها در تجزیه زیستی هیدروکربن ها اندک است (۲۳). داودی همچنین یک گروه از قارچ های خاکزی بنام، *آسپرژیلوس نایجر*، *آ. ترئوس*، *آ. اخراستوس*، *آ. فلاووس*، *آ. فومیگاتوس*، *پنی سیلیوم کریزوژنوم*، *کانینگهاملا اکینولاتا* و گونه هایی از جنس های *پنی سیلیوم*، *پسیلوماپیس* که به عنوان تجزیه کنندگان بالقوه هیدروکربن های نفت خام یافت می شوند را گزارش کرد (۲۵ و ۲۶).

عوامل مؤثر بر تجزیه هیدروکربن های نفت

تعدادی از عوامل محدود کننده شناخته شده اند که تجزیه زیستی هیدروکربن های نفتی را تحت تاثیر قرار می دهند، همچنین مقالات علمی بسیاری عوامل مختلف مؤثر بر سرعت تجزیه زیستی نفت خام را تحت پوشش قرار می دهند. نفتی که حاوی مقادیر زیادی از ترکیبات سنگین وزن باشد ممکن است به راحتی تحت تجزیه زیستی قرار نگیرد چون مولکول ها، بیش از حد بزرگ و پیچیده برای تجزیه میکروب ها هستند. یک شرط مهم، حضور میکروارگانیسم ها با قابلیت های متابولیک مناسب است. اگر این میکروارگانیسم ها حضور داشته باشند، آن گاه میزان بهینه رشد و تجزیه زیستی هیدروکربن ها را می توان تقویت کرد البته در صورتی که غلظت کافی مواد مغذی و اکسیژن وجود داشته باشد و pH بهینه باشد.

ویژگی های فیزیکی و شیمیایی نفت و بسیاری از عوامل فیزیکی، شیمیایی و زیست محیطی مانند درجه حرارت، مواد مغذی، اکسیژن، قابلیت تجزیه ی زیستی، فتواکسیداسیون، در دسترس بودن زیستی، رطوبت خاک، اسیدیته و قلیائیت خاک، در دسترس بودن آب، اثرات جذب سطح نفت منطقه و غیره از عوامل مهم موفقیت اصلاح زیستی هستند (۱۵، ۳۶، ۳۷، ۳۸، ۳۹ و ۴۰).

مراحل اولیه تجزیه ی زیستی نفت

پس از نشت نفت، هیدروکربن ها تحت فرایندهای فیزیکوشیمیایی خاص در طبیعت قرار می گیرند، از جمله این فرایندها، تبخیر و یا اکسیداسیون فتوشیمیایی است که ترکیب نفت را تغییر می دهند. اما مهم ترین فرایند، تجزیه زیستی است. مواد آلی می توانند به صورت هوازی (با اکسیژن) یا بی هوازی (بدون اکسیژن) تجزیه شوند. در طول تجزیه نفت، خواص سیال نفت تغییر می کند. نفت خام به دلیل وجود انواع ترکیبات متفاوت می تواند به طور گسترده تحت تجزیه زیستی قرار گیرد (۴۱).

ترکیبات هیدروکربنی نفت به اجزای مختلف خاک متصل می شوند در نتیجه حذف و تجزیه آن ها مشکل می شود (۱۰). حساسیت هیدروکربن ها به حمله میکروبی متفاوت است.

رتبه بندی حساسیت هیدروکربن ها به تجزیه ی میکروبی به طور کلی به شرح زیر است:

آلکان های خطی < آلکان های شاخه دار < آروماتیک های کوچک < آلکان های حلقوی (۴۲ و ۴۳).

از طیف وسیعی از هیدروکربن ها به عنوان سوبسترا را توسعه داده اند (۴۵). شکل ۱ اساس تجزیه هوازی هیدروکربن ها را نشان می دهد. حمله اولیه داخل سلولی به آلاینده های آلی، یک فرایند اکسایشی و فعال است و همچنین مداخله ی اکسیژن کلید آنزیمی است که واکنش توسط اکسیژنازها و پراکسیدازها را تسریع می نماید. مسیرهای تجزیه ی ثانویه، آلاینده های آلی را گام به گام تجزیه و به متابولیسم مرکزی، به عنوان مثال، چرخه تری کربوکسیلیک اسید هدایت می کند. بیوسنتز زیست توده سلول از متابولیت های پیشرو مرکزی، به عنوان مثال، استیل کوآ، سوکسینات، پیروات اتفاق می افتد. قندهای مورد نیاز برای بیوسنتزهای مختلف و رشد توسط گلوکونئوژنز ساخته می شوند. تجزیه ی هیدروکربن های نفتی می تواند توسط سیستم آنزیمی خاص میانجی گری شود. مکانیسم های مورد بحث دیگر (۱) اتصال سلول های میکروبی به سوبستراها و (۲) تولید بیوسورفاکتانت ها هستند. مکانیسم جذب برای اتصال سلول به قطرات نفت هنوز ناشناخته است، اما تولید بیوسورفاکتانت به خوبی مورد مطالعه قرار گرفته است (۲۳).

آنزیم های شرکت کننده در تجزیه هیدروکربن ها

سیتوکروم P450 آلکان هیدروکسیلازها، سوپر خانواده ای از یوبی کیتوس هم-تیولات منواکسیژنازها را تشکیل می دهند که نقش مهمی در تجزیه ی میکروبی نفت، هیدروکربن های کلردار، مواد افزودنی سوخت و بسیاری از ترکیبات دیگر بازی می کنند (۴۶). بسته به طول زنجیره، سیستم های آنزیمی برای عرضه ی اکسیژن به سوبسترا

مراحل اولیه تجزیه ی زیستی نفت با از دست دادن n- پارافین ها (n-آلکان ها یا آلکان های طبیعی) به دنبال حذف ایزوپرنوئیدهای بدون حلقه (به عنوان مثال، نورپرستین، پرپستین، فیتین و غیره) مشخص می شود. در مقایسه با این گروه، ترکیبات دیگر از جمله ترکیبات، بسیار منشعب و هیدروکربن های حلقوی اشباع شده و همچنین ترکیبات آروماتیک به تجزیه زیستی بسیار مقاوم می باشند. با این حال، با تجزیه زیستی، در نهایت بیشتر ترکیبات مقاوم، نابود می شوند. تجزیه ی میکروبی، آلیفاتیک ها یا بخش های آروماتیک سبک نفت را هدف گیری می کند. چندین گونه ی میکروبی روی هیدروکربن ها زندگی می کنند و مسئول تجزیه زیستی نفت خام می باشند. میکروب ها برای عمل کردن بر نفت نیاز دارند به حالت فیزیکی محلول تبدیل شوند. قارچ ها و باکتری ها عوامل کلیدی هستند که نفت و محصولات نفتی را تجزیه می کنند. علاوه بر این، سیانو باکتری ها، مخمر ها و جلبک ها توانایی اکسیداسیون هیدروکربن ها را نشان داده اند. چون نفت در آب نامحلول است و چگالی کمتری دارد، روی سطح و فرم های سطحی و یا فیلم های نفت شناور است. میکروب ها ی اکسید کننده ی هیدروکربن ها به سرعت در چنین فیلم هایی ایجاد می شوند (۴۴). علاوه بر این ماهیت شیمیایی، سطح منطقه و آبگریزی ترکیبات موجود در نفت خام، دسترسی زیستی و از این رو قابلیت تجزیه زیستی نفت را تحت تاثیر قرار می دهند. با توجه به تنوع در ترکیب هیدروکربن های نفت خام، میکروب ها مکانیسم های سازگاری مختلفی برای استفاده

میکروزومال متعدد معین می گردد. این آنزیم های سیتوکروم P450 از گونه های مخمر مانند کاندیدا *مالتوزا*، کاندیدا *تروپیکالیس* و کاندیدا *اپیکولا* جدا شده اند. تنوع سیستم های آلکان اکسیژناز در پروکاریوت ها و یوکاریوت ها که فعالانه در تجزیه ی آلکان ها تحت شرایط هوایی شرکت می کنند مانند آنزیم های سیتوکروم P450، آلکان هیدروکسیلازهای دی آهن غشای انتگرال (به عنوان مثال، alkB)، متان منواکسیژنازهای دی آهن محلول و متان منواکسیژنازهای حاوی مس باند شده به غشا توسط وان بیلن و فانهوف مورد بحث واقع شده است (۴۸).

با محیط زیست سازگار شده اند. یکی از گزینه ها جداسازی گونه ها از خاک آلوده و رشد مجدد آن ها در همان اکوسیستم است. مشکل این است که روش های جداسازی متعارف تنها قادر است بخش کوچکی از میکروارگانیسم های زنده را از محیط زیست استخراج کند، در نتیجه دستیابی به گونه های مورد نظر محدود می شود. این واقعیت منجر به توسعه مطالعات گسترده ی آینده در ارتباط با این میکروارگانیسم ها می شود و نیز مطالعات گسترده ای برای میکروارگانیسم هایی که در هر دو شرایط (بومی و غیر بومی) در زیست پالایی مفید باشند، نیاز است.

در حال حاضر طبیعت با راه حل های کنترل زیستی برای حذف آلاینده های پرخطر از محیط زیست مانوس تر

برای شروع تجزیه زیستی مورد نیاز است. به طور کلی یوکاریوت های عالی تر چند خانواده مختلف P450 از جمله تعداد زیادی از اشکال P450 خاص را دارند که ممکن است به صورت گروهی در تبدیل متابولیکی ایزوفرم ها از سوبسترای معین همکاری کنند. این نوع تنوع P450 در میکروارگانیسم ها، تنها در چند گونه یافت شده است (۴۷). سیستم های آنزیمی سیتوکروم P450 در تجزیه زیستی هیدروکربن های نفتی دست اندرکار می باشند. توانایی چند گونه مخمر برای استفاده از n-آلکان ها و هیدروکربن های آلیفاتیک دیگر به عنوان تنها منبع کربن و انرژی به واسطه وجود اشکال سیتوکروم P450

بحث و نتیجه گیری:

نشت نفت یکی از مشکلات بحرانی در نظر گرفته می شود که طبیعت جهانی به دلیل تاثیر تخلیه آلاینده هایی که باعث کاهش بهداشت محیط می شوند با آن مواجه است. فرآیندهای احیا زیستی خاک های آلوده شده توسط هیدروکربن ها و یا مشتقات آن ها بر تحریک میکرو ارگانیسم های بومی بنیان شده است و در برخی از موارد، افزایش جمعیت میکروبی، از طریق تلفیق ارگانیسم های بومی یا برون زاد (جداسازی شده از محیط های دیگر) (Exogenous) می باشد. در هنگام استفاده از میکروارگانیسم های غیر بومی به ندرت موفقیت حاصل می گردد. با توجه به این واقعیت که بسیاری از میکروارگانیسم های موجود در بازار بومی نیستند. این میکروارگانیسم ها به نظر نمی رسد در مقایسه با جمعیت میکروبی بومی رقابت کنند، به دلیل این که پیش از این

فسفر به طور قابل توجهی رشد میکروب های تجزیه کننده ی هیدروکربن ها را افزایش می دهند. محققین بر این باورند که اصلاح زیستی در شکل اضافه کردن میکروارگانیسم های بومی با قدرت تجزیه بالا مناطق را تحت تاثیر قرار می دهد و نقش مهمی را در آینده با ایجاد محیط زیست امن با استفاده از روشی مقرون به صرفه در پاسخ به نشت نفت دریایی و زمینی بازی خواهد کرد.

محققان متعدد استفاده از میکروب ها را برای تجزیه فرآورده های نفتی مورد مطالعه قرار داده اند و نشان داده اند که این فن آوری جایگزین امیدوار کننده است. تجزیه میکروبی یکی از بهترین روش ها در حذف طبیعی فرآورده های نفتی از محیط های آلوده است.

است. زمانی که مقدار آلاینده ها بسیار زیاد هستند روش های در دسترس گران می باشند، استفاده از روند بازسازی میکروبی راه موفق و ایمن برای ارتقاء سلامت محیط زیست به ویژه با هزینه پایین، روش ساده و پذیرش عمومی بالا برای تمیز کردن اکوسیستم های خاک از نشت نفت است.

تجزیه زیستی که از اهمیت زیست محیطی بسیار بالایی برخوردار است به عنوان کمک به فرآیندهای اصلاح زیستی مطرح می باشد. در حال حاضر پیشرفت در بیوتکنولوژی تایید کرده است که ترکیبات مختلف هیدروکربن های نفت خام توسط میکروارگانیسم ها به عنوان تنها منبع کربن مصرف می شوند. این هیدروکربن ها، هم یک هدف و هم یک محصول متابولیسم میکروبی می باشند. علاوه بر این ثابت شده است که نیتروژن و

منابع

1. Kennish MJ. Pollution Impacts on Marine Biotic Communities. Florida: CRC press; 1998, 310 p.
2. Mittal A, Singh P. Studies on biodegradation of crude oil by *Aspergillus niger*. The South Pacific Journal of Natural Science. 2009; 27(9): 57-60.
3. Ekundayo FO, Olukunle OF, Ekundayo EA. Biodegradation of bonnylight crude oil by locally isolated fungi from oil contaminated soils in Akure, Ondo state. Malaysian Journal of Microbiology. 2012; 8(1): 42-46.
4. Neff JM, Bothner MH, Maciolek NJ, Grassle JF. Impacts of exploratory drilling for oil and gas on the benthic environment of Georges Bank. Marine Environmental Research. 1989; 27(2): 77-114.
5. Bartha R. Biotechnology of pollutant biodegradation. Microbial Ecology. 1986; 12(1): 155-172.
6. Obire O, Wemedo SA. Seasonal effect on the bacterial and fungal population of an oilfield wastewater-populated soil in Nigeria. J Appl Sci Environ Mgt. 2002; 6(2): 17-21.

7. Fagbami AA, Udo EJ, Odu CTI. Vegetation damage in an oilfield in the Niger Delta of Nigeria. *Journal of Tropical Ecology*. 1988; 4(01): 61-75.
8. Kristanti Ayu R, Hadibarata T, Toyama T, Tanaka Y, Mori K. Bioremediation of crude oil by white rot fungi *Polyporus* sp. S133, *J of Microbiology and Biotechnology*. 2011; 21(9): 995-1000.
9. George-Okafor U, Tasie F, Florence MO. Hydrocarbon degradation potentials of indigenous fungal isolates from petroleum contaminated soils. *J of physical Nature science*. 2009; 3(1): 1-6.
10. Erdogan E, Karaca A. Bioremediation of crude oil polluted soils. *Asian Journal of Biotechnology*. 2011; 3(3): 206-213.
11. Nwangwu U, Okoye NV. 1981. Environmental pollution in the Nigerian oil industry: The role of research and development. *Proceeding of NNPC/FMWH Joint Conference on "The Petroleum Industry and the Nigerian Environment."* Warri, Nigeria.
12. Mentzer E, Ebere D. 1996. Remediation of hydrocarbon contaminated sites. *Proceeding of 8th Biennial International Seminar on the Petroleum Industry and the Nigerian Environment*, Nov. Port Harcourt.
13. Boggott J. Biodegradable lubricants. 1992. A paper presented at the Institute of petroleum Symposium: "Life Cycle Analysis and Eco-Assessment in the Oil Industry, Nov. Shell International Petroleum Company Ltd., England.
14. Thapa B, Kumar KCA, Ghimire A. A review on bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminants in soil. *Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology*. 2012; 8(1): 164-170.
15. Chaudhry S, Luhach J, Sharma V, Sharma Ch. Assessment of diesel degrading potential of fungal isolates from sludge contaminated soil of petroleum refinery, Haryana. *Res of Microbiol*. 2012; 7(3): 182-190.
16. Atlas RM. Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: An environmental perspective. *J. Microbiological Reviews*. 1981; 45(1): 180-209.
17. Dawoodi V, Karamy Robati A. 2011. Removal of Nickel (II) from industrial wastewater using microorganisms. *Proceeding of the first national green chemistry congress*. 14-15 dec Iran. 1-14 [In Persian].
18. Obire O. Studies on the biodegradation potentials of some microorganisms isolated from water systems of two petroleum producing areas in Nigeria. *Nigerian Journal of Botany*. 1988; 1: 81-90.
19. Desai C, Pathak H, Madamwar D. Advances in molecular and "-omics" technologies to gauge microbial communities and bioremediation at xenobiotic/anthropogen contaminated sites. *Bioresource Technol*. 2010; 101(6): 1558-1569.
20. Lotfinasabasl S, Gunale VR, Rajurkar NS. Assessment of petroleum hydrocarbon degradation from soil and tarball by fungi. *Bioscience Discovery*. 2012; 3:186-192.
21. Erdogan E, Karaca A. Bioremediation of crude oil polluted soils. *Asian J Biotechnol*. 2011; 3(3): 206-213.

22. Millioli VS, Servulo ELC, Sobral LGS, De Carvalho DD. Bioremediation of crude oil-bearing soil: Evaluating the effect of Rhamnolipid addition to soil toxicity and to crude oil biodegradation efficiency. *Global NEST Journal*. 2009; 11: 181.
23. Das N, Chandran P. Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: An overview. *Biotechnol Res Int*. 2011; 1-13.
24. Onifade AK, Abubakar FA. Characterization of hydrocarbon-degrading microorganisms isolated from crude oil contaminated soil and remediation of the soil by enhanced natural attenuation. *Res J Biological Sciences*. 2007; 2(1): 36-40.
25. Dawoodi V, Golshani Z, Tahmourespour A. Evaluation and comparison of soil fungi ability in biodegradation of crude oil from Ahvaz and Omidiyeh's oil regions. 2016; 26(1/1): 239-246.
26. Dawoodi V, Madani M, Tahmourespour A. 2014. Flora of soil fungi in Khuzestan province's oil regions. *Biological Journal of Microorganism*. 2014; 3(10): 87-96.
27. Bartha R, Atlas RM. The microbiology of aquatic oil spills. *Adv Appl Microbiol*. 1977; 22: 225-266.
28. Obire O, Wemedo SA. The effect of oilfield wastewater on the microbial population of a soil in Nigeria. *Niger Delta Biologia*. 1996; 1(1): 77-85.
29. Sebiomo A, Awosanya AO, Awofodu AD. Utilisation of crude oil and gasoline by ten bacterial and five fungal isolates. *Journal of Microbiology and Antimicrobials*. 2011; 3(3): 55-63.
30. Atlas RM. 1985, Effects of hydrocarbons on microorganisms and biodegradation in Arctic ecosystems. in *Petroleum Effects in the Arctic Environment*, Elsevier, London UK, pp: 63-99.
31. Csutak O, Stoica I, Ghindea R, Tanase AM, Vassu T. Insights on yeast bioremediation processes. *Romanian Biotechnological Letters*. 2010; 15: 5066- 5071.
32. Smit E, Leeflang P, Glandore B, Elsas JD, Wernars K. Analysis of fungal diversity in the wheat rhizosphere by sequencing of cloned PCR-amplified genes encoding 18S rRNA and temperature gradient gel electrophoresis. *Applied and Environmental Microbiology*. 1999; 65(6): 2614-2621.
33. Andrea RC, Tania AA, Lucia RD. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by soil fungi. *Braz J Microbiol*. 2001; 32(4): 124-129.
34. Sutherland JB. 2004. Degradation of hydrocarbons by yeasts and filamentous fungi *Proceeding of Fungi Biotechnology in Agricultural, Food and Environmental Applications*. Arora, D.K (ed.). Marcel Dekker Inc., USA. 324 p.
35. Davies JS, Westlake DWS. Crude oil utilization by fungi. *Can J Microbiol*. 1979; 25(20): 146-156.
36. Atlas RM, Bartha R. Degradation and mineralization of petroleum by two bacteria isolated from coastal water. *Biotechnol Bioeng*. 1972; 14(3): 297-308.
37. Ekpenyong MG, Antai SP, Essien JP. Quantitative and qualitative assessment of hydrocarbon-degrading bacteria and fungi in Qua Iboe Estuary, Nigeria. *Res. J. Microbiol*. 2007; 2(5): 415-425.
38. Ekpo MA, Udofia US. Fate of biodegradation of crude oil by microorganisms isolated from oil sludge environment. *African Journal of Biotechnology*. 2008; 7: 4495-4499.

39. Dawoodi V, Madani M, Tahmourespour A, Golshani Z. The study of heterotrophic and crude oil- utilizing soil fungi in crude oil contaminations regions. *J Bioremed Biodeg.* 2015; 6(2): 270-274.
40. Dawoodi V, Madani M, Tahmourespour A. The study of soil fungi of Khuzestan's oil regions. *Jundishapur Journal of Microbiology.* 2013; 2: 24.
41. Gordon DC, Prouse NJ. The effects of three oils on marine phytoplankton photosynthesis. *Mar. Biol.* 1973; 22(4): 329-333.
42. Amund OO, Akangbou TS. Microbial degradation of four Nigerian crude oils in an estuarine microcosm. *Let. Appl. Microbiol.* 1993; 16(3): 118 – 121.
43. Atlas R, Bragg J. Bioremediation of marine oil spills: When and when not the Exxon Valdez experience. *Microbial Biotechnology.* 2009; 2(2): 213–221.
44. Rajendran P, Gunasekaran P. *Microbial Bioremediation.* MJP Publishers, Chennai, 2006.
45. Garapati VK, Mishra S. Hydrocarbon degradation using fungal isolate: nutrients optimized by combined grey relational analysis. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA).* 2012; 2(2): 390-399.
46. Van Beilen JB, Funhoff EG. Expanding the alkane oxygenase toolbox: new enzymes and applications. *Current Opinion in Biotechnology.* 2005; 16(3): 308–314.
47. Zimmer T, Ohkuma M, Ohta A, Takagi M, Schunck WH. The CYP52 multigene family of *Candida maltosa* encodes functionally diverse n-alkane-inducible cytochromes p450. *Biochemical and Biophysical Research Communications.* 1996; 224(3): 784–789.
48. Van Beilen JB, Funhoff EG. Alkane hydroxylases involved in microbial alkane degradation. *Applied Microbiology and Biotechnology.* 2007; 74(1): 13–21.