دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال هشتم، شماره‌ی ۳۱
تابستان ۱۳۹۶، صفحات ۳۲-۲۵

انواع روش‌های حذف آلاینده‌های شیمیایی

محمد سعید محمدی
گروه مهندسی شیمی، واحد اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
mohammadsaeid909@yahoo.com

عزیز باباپور
گروه مهندسی شیمی، واحد اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
Babapoor@uma.ac.ir

چکیده
روش‌های مختلفی برای پاک‌سازی مناطق آلوده به نفت ارائه شده است که شامل روش‌های فیزیکی مانند سوزاندن، افزایش تهویه و جذب دمایی می‌باشد. روش‌های شیمیایی شامل رسوب‌دادن، استخراج از طریق حلال‌ها، اکسایش و احیا می‌باشد. در مقابل، زیست پالایی خاک‌های آلوده یعنی به کارگیری گیاهان سبز و میکروارگانیسم‌ها در اصلاح خاک و حذف آلاینده‌های زیست‌محیطی، یک روش کم‌هزینه و بدون آسیب به بیولوژی خاک و اکوسیستم است. این رویکرد به دلایل ارزانی، سادگی، عدم تأثیر سوء بر خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، افزایش پوشش گیاهی و پیامدهای مثبت آن در سال‌های اخیر روزبه‌روز رو به افزایش می‌باشد. قارچ‌ها می‌توانند با تجزیه مواد نفتی موجب کاهش آلودگی نفتی شوند. آن‌ها می‌توانند مواد مضر خاک را تغییر داده و یا از بین ببرند و در نتیجه، آن‌ها را از دسترس سایر موجودات خارج نموده و سبب کاهش مخاطرات زیست محیطی شود. در طی زیست پالایش مناطق آلوده با نفت، ترکیبات مضر می‌توانند توسط آنزیم‌ها در داخل قارچ یا خاک متابولیزه شوند. گیاه باعث افزایش اکسیژن خاک می‌شود و اکسیژن یک عامل تعیین‌کننده در رشد و فعالیت میکروارگانیسم‌های هوازی خاک و هم‌چنین عامل تعیین‌کننده در اولین مرحله از تجزیه تعداد زیادی از ترکیبات شیمیایی ازجمله ترکیبات آروماتیکی می‌باشد.

کلیدواژه: آلودگی، خاک، نفت، شیمیایی.

مقدمه

رشد روزافزون فعالیت‌های صنعتی از یک سو و عدم رعایت الزامات زیست محیطی از سوی دیگر، سبب شده است تا در چند دهه‌ی اخیر، بخش عظیمی از آلاینده‌های هیدروکربنی به واسطه عواملی نظیر دفع و دور ریز نامناسب فاضلاب‌ها و ضایعات مراکز صنعتی، پخش آلاینده‌ها توسط پالایشگاه‌ها و نیروگاه‌ها، نشت آلاینده از مخازن نفتی زیرزمینی و ایستگاه‌های سوخت‌گیری، تصادفات تانکرها، نفت‌کش‌ها و غیره، وارد محیط‌زیست شوند. بخشی از آلاینده‌ها، خصوصاً قسمتی که از لحاظ ساختاری شبیه به ترکیبات طبیعی هستند، سریعاً توسط میکروارگانیسم‌های موجود در خاک و آب و یا تحت تأثیر عوامل فیزیکی و بیولوژیکی تجزیه و حذف می‌شوند، اما بخش عمده‌ی آن، خصوصاً قسمتی که دارای ساختارهای جدید، پایدار و به‌خصوص حلقوی می‌باشد، به‌کندی تجزیه می‌گردند و یا در مواردی این تجزیه آن‌قدر کند می‌باشد که عملاً غیرقابل تجزیه هستند. تجمع این ترکیبات شیمیایی در داخل محیط‌زیست، تهدیدی جدی برای سلامت انسان، محیط‌زیست و موجودات اکوسیستم‌های زنده است [۱]. فعالیت‌های صنعتی و مراکز مسکونی و تجاری سبب ورود آلاینده‌ها به محیط و کاهش کیفیت اکوسیستم‌های محیط شده است. محیط خاک و آب آلوده در یک اکوسیستم عمدتاً توسط فعالیت‌های بشر ایجاد می‌شوند. آلودگی محدود به مناطق شهری یا مناطق صنعتی نمی‌گردد، بلکه آلودگی می‌تواند در مناطق خارج از شهر نیز اتفاق می‌افتد. در سال‌های اخیر تعداد محیط‌های آلوده با ترکیبات خطرناک افزایش یافته است. این موضوع دانشمندان علوم محیط زیست را بر آن داشته است که به توسعه ی فناوری‌های جدید و مطابقت دادن این فناوری‌ها با روش‌های موجود جهت اصلاح محیط‌های آلوده بپردازند. در حال حاضر مهندسان محیطی درباره‌ی اصلاح محیط‌های آلوده با محصولات نفت خام با مشکلاتی مواجه می‌باشد. علاوه بر آن این ترکیبات در محیط خاک و محیط آب به صورت غیریکنواخت پخش می‌شوند [۲]. در سال‌های اخیر تعداد محیط‌های آلوده با ترکیبات خطرناک افزایش یافته است. این موضوع، دانشمندان علوم محیط‌زیست را بر آن داشته است که به توسعه‌ی فناوری-های جدید و مطابقت دادن این فناوری‌ها با روش‌های موجود جهت اصلاح محیط‌های آلوده بپردازند [۳]. در حال حاضر مهندسان محیطی درباره‌ی اصلاح محیط‌های آلوده با محصولات نفت خام با مشکلاتی مواجه می‌باشد. علاوه بر آن، این ترکیبات در محیط خاک و محیط آب به‌صورت غیریکنواخت پخش می‌شوند [۴].

بیوچار ماده‌ای متخلخل غنی از کربن است. بیوچار از طریق فرآیند ترموشیمیایی مواد آلی در یک محیط فاقد اکسیژن ایجاد شده و خواص فیزیکی شیمیایی مناسب جهت ذخیره بلند مدت کربن در خاک را دارد [۵]. کاربردهای اصلی بیوچار در مدیریت زیست محیطی شامل موارد بهبود کیفیت خاکی، مدیریت بقایا، کاهش دادن تغیرات محیط و تولید انرژی می‌باشند. بیوچار محتوی کربن زیاد است به همین علت بیوچار می‌تواند برای بهبود خصوصیات فیزیکی، بهبود خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌ها به کار رود [۶]. از بین هیدروکربن‌های نفتی، هیدروکربن‌های آروماتیکی حلقوی از لحاظ سمیت و سرطان‌زایی اهمیت خاصی دارند [۷]، هیدروکربن‌های آروماتیکی حلقوی نه‌تنها سرطان‌زا هستند، بلکه موجب اختلالات غدد درون‌ریز و تولد زودرس نیز می‌گردد [۸]. زیست پالایی[1] فرآیندی است که از عوامل زیستی جهت حذف بقایای سمی استفاده می‌کند. روش زیست پالایی به‌طور موفقیت‌آمیز در اکثر مناطق جهان استفاده می‌شود. سرعت تجزیه‌ی آلاینده‌ها توسط ریز موجودات به عوامل مختلفی مانند حضور آلاینده‌های متفاوت، میزان رطوبت، دما، فراهم بودن مواد غذایی و زیست افزایی[2] وابسته است. در طی فرآیند زیست‌پالایی، ریز موجودات از آلاینده‌ها به‌عنوان منبع کربن و انرژی استفاده می‌کنند.

1-Bioremedation
2- Bio-synergy

آلودگی زیستی

خاک، محیطی است که سطح کره‌ی زمین را پوشانده و روی اکوسیستم تأثیر می‌گذارد. هم‌چنین خاک یک محیط پیچیده برای زندگی موجودات است. آلودگی به‌عنوان یک مشکل جهانی مطرح است که دلیل آن نبود سیاست‌های تنظیم‌کننده‌ی مؤثر در جهت رفع آلودگی کشورها می‌باشد [۹]. افزایش جمعیت میکروبی و افزایش فعالیت میکروبی در نتیجه‌ی کاربرد بیوچار در خاک گزارش گردیده است. تغییرات ایجاد شده در جمعیت میکروبی خاک و فعالیت‌های آنزیمی روی فرآیندهای ژئوشیمیایی خاک تأثیر می گذارند. تأثیرات اولیه‌ی بیوچار روی جوامع بومی خاک، به عنوان یکی از موضوعات اساسی کاربرد بیوچار در خاک مطرح می‌باشند. کاربرد بیوچار در خاک سبب ارتقاء قدرت تجزیه کنندگی جوامع بومی خاک می‌گردد که این امر به دلیل بهبود شرایط جمعیت میکروبی است. بیوچار توانایی خاصی در مدیریت بقایای منشأ گرفته از حیوانات و گیاهان دارد. استفاده از بقایای بیومس جهت تولید بیوچار نه تنها اقتصادی بوده بلکه مفید نیز هست. مزایای استفاده از بیوچار شامل تولید انرژی و تقلیل تغییرات آب و هوایی است. بقایای بیومسی که جهت تولید بیوچار به کار می روند شامل بقایای محصولات، بقایای جنگلی، بقایای کودهای حیوانی و بقایای لجن فاضلاب هستند. کاربرد بیوچار به عنوان یک استراتژی هدفمند برای مدیریت جوامع خاک‌زی به صورت یک موضوع جالب در حال گسترش می‌باشد. تحقیقات بنیادی روی بررسی تاثیرات بیوچار بر تجزیه‌کنندگان اولیه (باکتری‌ها و قارچ‌ها) متمرکز شده است. روش‌های پاکسازی خاکی و آب آلوده در حال توسعه می‌باشند. یکی از مهم‌ترین فن‌آوری‌ها جهت کاهش تجمع آلاینده‌ها، کاهش دسترسی زیستی آلاینده‌ها می‌باشد. بیوچار به عنوان یک اصلاح‌کننده جهت کاهش دسترسی آلاینده‌ها در محیط خاک مورد استفاده قرار گرفته است [۱۰].

انواع روش‌های حذف آلاینده‌های شیمیایی

- غرقاب‌سازی خاک[1]

در این روش، جهت خارج‌سازی آلاینده‌ها از خاک، خاک آلوده توسط یک محلول مناسب غرقاب می‌شود. محلول‌های استفاده شده سبب تحرک آلاینده‌ها می‌گردد که این عمل از طریق تشکیل امولسیون یا واکنش شیمیایی انجام می‌شود. محلول عبور داده شده از بین خاک آلوده جهت جریان دوباره یا اصلاح جمع‌آوری می‌گردد. محلول غرقاب کننده ممکن است آب، محلول اسیدی یا بازی، عامل معلق کننده، عامل احیاکننده حلال یا مویان[2] باشد. این روش اصلاحی به دلیل نفوذپذیری اندک خاک‌ها با مشکل مواجه می‌شود [۱۱].

- خاک‌برداری

از بین فناوری‌های موجود، خاک‌برداری از مکان آلوده و انتقال آن به یک محل دفن، سریع‌ترین و ساده‌ترین روش جهت پاک‌سازی محیط از آلاینده‌ها به شمار می‌رود. روش خاک‌برداری برای محدوده‌ی وسیعی از آلاینده‌ها مناسب است. اگرچه این روش، مشکل آلودگی را حل می‌کند ولی به‌عنوان یک روش اصلاحی به شمار نمی‌رود. هم‌چنین تولید و خروج مواد ناپایدار در حین عملیات حفاری ممکن است مشکلاتی را ایجاد نماید. انتقال خاک آلوده از بین مناطق شهری می‌تواند بر مقبولیت روش کندن تأثیر منفی گذارد [۱۲].

- فرآیند شستشوی خاک[3]

آب مورد استفاده جهت شستشوی خاک ممکن است همراه با یک عامل شستشوی معلق کننده، عامل شستشوی بازی و عامل مویان همراه باشد. کاربرد آب به همراه این عوامل به حذف مواد آلاینده و عناصر سنگین از خاک آلوده کمک

1- Waterlogging of the soil
2- Adjuvant
3- Soil washing

می‌کند. فرآیند شستشوی خاک ممکن است بر اساس انحلال آلاینده‌ها، ایجاد سوسپانسیونی از آلاینده‌ها یا تغلیظ آلاینده‌ها از طریق جداسازی ذرات انجام پذیرد. روش شستشوی خاک جهت پاک‌سازی آلاینده‌هایی از قبیل فلزات سنگین، آلاینده‌های رادیواکتیو و آلاینده‌های آلی به کار می‌رود. خاک‌های دارای مواد هومیک[1] ممکن است نیاز به‌پیش تیمار داشته باشند. روش شستشوی خاک برای اصلاح آلاینده‌های مختلط با مشکلاتی مواجه است [۱۳].

- روش اصلاح شیمیایی

در روش‌های شیمیایی می‌توان خنثی‌سازی و اکسیداسیون شیمیایی را نام برد. روش خنثی‌سازی فرآیند سمیت‌زدایی و غیرمتحرک‌سازی است که برای کاهش واکنش‌پذیری و خورندگی دستگاه‌های دارای اسید و باز استفاده می‌شود [۱۴].

اکسیداسیون شیمیایی و احیای شیمیایی، شامل واکنش‌های اکسایش/کاهش هستند. در این واکنش‌ها آلاینده‌های مضر به‌طور شیمیایی به ترکیبات کم محلول، کم‌تحرک و با سمیت کمتر تبدیل می‌شوند. در واکنش اکسایش انتقال‌دهنده‌های الکترونی، انتقال الکترون از یک ماده‌ی شیمیایی به ماده شیمیایی دیگر صورت می‌گیرد. اکسیدانت-های مورد استفاده شامل اکسیدانت پرمنگنات سدیم، پرمنگنات پتاسیم، پراکسید هیدروژن، اوزون و پرسولفات سدیم می‌باشند [۱۵].

- روش تجزیه‌ی حرارتی

تجزیه‌ی شیمیایی مواد آلی در شرایط بدون اکسیژن با اعمال حرارت است. به‌دلیل حضور اکسیژن، مقداری جزیی اکسیداسیون اتفاق می‌افتد. در عمل ممکن نیست که یک محیط عاری از اکسیژن فراهم گردد، لذا دستگاه‌های تجزیه‌ی حرارتی با مقادیر اندک از اکسیژن به کار گرفته می‌شوند. این سیستم، ترکیبات خطرناک مواد آلی را به ترکیبات گازی شکل، مقادیر اندک از مایعات و مواد جامد تبدیل می‌کند. مواد جامد محتوی کربن و خاکستر هستند. گازهای تولید شده در فرآیند تجزیه‌ی حرارتی اشتعال‌پذیر می‌باشند. این گازها شامل دی‌اکسید کربن، متان و هیدروژن می‌باشند. گازهای ایجادشده طی فرآیند تجزیه‌ی حرارتی باید اصلاح شوند. آلاینده‌هایی که جهت اصلاح درروش تجزیه‌ی حرارتی به کار می‌روند، شامل آلاینده‌های آلی نیمه فرار، حشره‌کش‌ها و هیدروکربن هستند [۱۰].

- روش شیشه‌ای کردن

خاک‌های آلوده در دمای بالاتر ذوب‌شده و مواد حاصل از ذوب این خاک‌ها به اشکال شیشه‌ای با قابلیت آب‌شویی کم تبدیل می‌شوند. روش شیشه‌ای کردن به‌عنوان یک سیستم دگرجا موجب کاهش تحرک بقایای آلاینده‌ها می-گردد [۱۶].

- فرآیند سوزاندن[2]

در روش سوزاندن جهت حذف آلاینده، دمایی در محدوده‌ی ۸۷۰ تا ۱۲۰۰ درجه‌ی سلسیوس به خاک آلوده داده می‌شود. خاک‌های آلوده در محل خودشان یا داخل کوره‌های مخصوص سوزانده می‌شوند. هنگام سوزاندن آلاینده‌ها فلزات سنگینی از قبیل سرب، کادمیم، جیوه و آرسنیک تولید می‌گردند. فلزات ایجاد شده ممکن است با سایر عناصر واکنش داده و ترکیبات خطرناکی تولید نمایند [۱۷].

- فرآیند جامدسازی[3]

روش جامدسازی به‌عنوان یکی از روش‌های فیزیکی-شیمیایی است که به‌منظور اصلاح بقایای مخلوط خطرناک و بقایای رادیواکتیو استفاده می‌گردد. در این روش، بقایای مذکور درون کپسول‌هایی قرار داده می‌شوند تا به مواد جامد تبدیل شوند. محصول این فرآیند ممکن است بلوک مونولیتیک[4]، مواد شبه‌رس، ذرات ریز گرانولار[5] یا بعضی

1-Humic

2-Burning
3- Solid cristalition power
4- Monolithic
5- Finely granular

اشکال فیزیکی باشند که عموماً با عنوان مواد جامد در نظر گرفته می‌شوند. در این روش، خطرات بالقوه‌ی بقایا از طریق تبدیل کردن آلاینده‌ها به اشکال کم محلول، کم‌تحرک و با سمیت کم‌تر کاهش می‌یابد. طبیعت فیزیکی آلاینده‌ها لزوماً توسط فرآیند جامدسازی تغییر نمی‌یابد. ترکیبات آلی و ترکیبات غیرآلی می‌توانند از طریق فرآیند رسوب، جذب و کمپلکس‌سازی کم‌تحرک گردند.

- فرآیند کمپوست‌سازی[1]

در این روش، جهت فراهم‌آوری شرایط بهینه برای رشد ریزجانداران، خاک‌آلوده پس از برداشته شدن با یک عامل کمپوستی از قبیل علف خشک، چوب و بقایای گیاهی مخلوط می‌شود. همچنین قارچ‌ها توسط عامل کمپوستی در برابر فرسایش محافظت می‌شوند. علاوه بر این، روش کمپوست کردن روشی است که در مدت‌زمان اندک، جهت حذف آلاینده‌هایی مانند هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی به‌کار می‌رود [۱۸].

- فرآیند زمین کشت[2]

طی روش زمین کشت، خاک‌آلوده پس از برداشته شدن از قسمت‌های زیرین لایه‌های خاک به‌صورت لایه‌ی نازکی روی سطح خاک پخش و عملیات شخم روی آن‌ها اجرا می‌شود تا آلاینده‌ها در معرض هوا قرارگرفته و به مرور زمان تجزیه گردند. هم‌چنین به منظور بهبود رشد میکروارگانسیم‌ها، مواد معدنی نیز به محیط اضافه می‌شود. این روش در مقیاس وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش، شرایط خاک از لحاظ میزان pH، رطوبت خاک، اکسیژن و مواد غذایی کنترل می‌گردند تا شرایط بهینه برای تجزیه‌ی آلاینده‌ها فراهم شود [۱۹].

- فرآیند زیست هوادهی[3]

در این روش، گازهایی به زیر سطح خاک زمین منتقل می‌شود تا تجزیه‌ی زیستی آلاینده‌ها توسط ریز موجودات ارتقاء یابد.گازهای مورد استفاده در این روش‌ها سبب فراهم آوردن مواد جهت تجزیه‌ی کومتابولیک[4] می‌گردد. با وجود اینکه بستر تحریک‌کننده‌ی رشد ریز جانداران برخی از آلاینده‌ها توسط فرآیند تبخیر از خاک حذف می‌شوند ولی این روش جهت حذف آلاینده‌ها متکی به روش تجزیه‌ی زیستی آلاینده‌ها است [۲۰].

- روش‌های اصلاح زیستی

روش‌های اصلاح زیستی از ریز موجودات و گیاهان جهت پالایش خاک آلوده استفاده می‌کنند. بسیاری از ریز موجودات (به خصوص باکتری‌ها و قارچ‌ها) به صورت طبیعی ترکیبات سمی را به موادی با سمیت کمتر تبدیل می‌کنند. همچنین مشاهده شده است که ریز موجودات قادر به تغییر ظرفیت برخی فلزات سنگین می‌باشند، در نتیجه باعث تبدیل فلزات سنگین به ترکیبات با سمیت کم و ترکیبات کم‌تحرک می‌گردند. علاوه برآن مشاهده شده است که برخی از گونه‌های درختی نیز می‌توانند آلاینده‌ها را ترسیب کرده یا سبب تخریب آلاینده‌ها شوند [۲۱].

- فرآیند های بیولوژیکی

تجزیه‌ی زیستی فرآیندی است که از میکروارگانیسم‌های بومی یا میکروارگانیسم‌های تلقیح[5] شده جهت تجزیه‌ی مواد آلی در خاک یا آب‌های زیرزمینی استفاده می‌کند. مواد آلی در صورت حضور اکسیژن به مولکول آب و بیومس[6] میکروبی تبدیل می‌شوند [۲۲]. تاکنون، محدوده‌ی وسیعی از میکرو ارگانیسم‌ها (باکتری‌ها، قارچ‌ها، مخمرها و جلبک‌ها) برای فرآیندهای زیست‌پالایی مورد استفاده قرار

1- Composting
2- Landfarming
3- Bioventing
4- Metabolic
5- Inoculated
6- Biomass

گرفته‌اند. مطالعات متعدد انجام شده درباره فرآیند زیست-پالایی نشان می‌دهد که قارچ‌ها مواد آلی را به میزان بیش-تری نسبت به سایر میکروارگانسیم‌ها تجزیه می‌کنند. از جمله پایدارترین مواد آلی در برابر تجزیه‌ی زیستی، لیگنین است. لیگنین پلیمری پیچیده و غیریکنواخت از هسته‌های آروماتیک با واحد ساختمانی فنیل پروپانویید است [۲۳]. شمار پژوهش‌های انجام‌شده در خصوص تجزیه‌ی لیگنین از سال ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۰ رو به افزایش بوده است. اغلب بررسی-های انجام شده روی فرآوری زیستی آنزیم‌های ایگنینار بر محیط کشت مایع قارچ‌ها متمرکز بوده است تا شاید بتوان از این آنزیم‌ها در فرآوری و ساخت ترکیبات ارزشمند نفتی از چوب، صنایع کاغذسازی، افزایش خوش‌خوراکی مانده-های گیاهی در دام‌ها و پالایش و زدودن ترکیبات آروماتیک بهره‌برداری کرد [۲۲]. تجزیه‌ی هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی توسط قارچ‌ها در تحقیقات زیادی مورد مطالعه قرار گرفته است [۲۴]. شمار اندکی از میکروارگانیسم‌ها توانایی انجام پوسیدگی سفید، تجزیه‌ی کامل لیگنین و تولید آب و دی اکسیدکربن از لیگنین را دارند. به قارچ‌هایی که این کار را انجام می‌دهند، قارچ‌های پوسیدگی سفید می‌گویند [۲۲].

اعمال تغییرات در شرایط محیطی میکروبی از طریق افزودن مواد اصلاح‌گر باعث بهبود تجزیه‌ی زیستی طی فرآیند زیست پالایی شده و در صورت عدم وجود این اصلاح کننده‌ها، فرآیند اصلاحی با محدودیت‌هایی مواجه می-گردد. باکتری‌ها و آلاینده‌ها به طور یکنواخت در خاک پخش نمی‌شوند، بنابراین جهت پاک‌سازی آلودگی، آلاینده‌ها بایستی در دسترس قارچ‌ها قرار گیرند. برخی از قارچ‌ها متحرک بوده و از طریق روش‌های شیمی‌گرایی آلاینده‌ها را شناسایی کرده و به سمت آلاینده‌ها حرکت می‌کنند. قارچ‌ها از طریق تشکیل میسیلوم به سمت آلاینده‌ها حرکت می‌کنند. علاوه بر آن گیاهان نیز در زیست پالایی مورد استفاده قرار می‌گیرند ولی ریز موجودات در پالایش آلودگی بیش‌ترین پتانسیل را از خود نشان می‌دهند. توانایی ریز موجودات در تغییر شکل مواد شیمیایی به منابع انرژی و مواد خام، نشان دهنده‌ی این امر است که روش بیوتکنولوژی می‌توانند جایگزین روش‌های فیزیکی و شیمیایی گران‌قیمت شوند [۲۵]. لیگنین به طور کامل تجزیه‌کننده است [۲۲]. به دلیل این‌که آنزیم‌های لیگنینی برون سلولی‌اند؛ باعث پخش مؤثر PAHهای غیر متحرک می‌گردند، در نتیجه، متابولیک‌های حاصل بیش‌تر در آب محلول بوده و قابلیت دسترسی آن‌ها افزایش می‌یابد. هم چنین ترکیبات تولیدشده می‌تواند به‌عنوان سوبسترا برای بسیاری از باکتری‌ها باشد [۲۶].

- تجزیه‌ی توسط باکتری‌ها

پیامد فعالیت باکتری‌ها بیشتر مربوط به تغذیه است. مهم‌ترین نقش باکتری‌ها در خاک، تجزیه‌ی مواد آلی می‌باشد [۲۲]. باکتری‌هایی از قبیل باکتری سودوموناس[1]، اسفینگوموناس[2]، آلکالیژنز[3]، رودوکوکوس[4] و مایکوباکتریوم[5] قادر به تجزیه‌ی ترکیبات آلی از قبیل هیدروکربن و ترکیبات آلکان هستند. بسیاری از این باکتری‌ها قادر هستند از آلاینده‌ها به‌عنوان تنها منبع کربن و انرژی استفاده نمایند. تحقیقات زیادی در زمینه‌ی تجزیه‌ی میکروبی هیدروکربن-های آروماتیک حلقوی انجام‌شده و اغلب جنس‌های سودوموناس به عنوان باکتری‌های تجزیه‌کننده‌ی میکروبی معرفی گردیده‌اند [۲۷]، به‌طوری که باکتری‌های متعلق به جنس سودوموناس به نام باکتری‌های خوردنده‌ی نفت شناخته‌شده‌اند [۲۸]. در خاک‌های بازی و آهکی، این کلات‌ها آهن را از عوامل بیماری‌زای گیاهی دور نگه داشته و با کاهش فراوانی و قدرت بیماری‌زایی آن‌ها به سلامت گیاهان کمک می‌کنند. این باکتری‌ها بدون غلاف و ماده‌ی پوشاننده هستند که به کمک یک یا چندین تاژک قطبی جابه‌جا می‌شوند. این باکتری‌ها در محیط اسیدی با اسیدیته-ای کم‌تر از ۵/۴ نمی‌توانند زندگی کنند. این باکتری‌ها

1- Pseudomonas
2- Sphingomonas
3- Alcaligenes
4- Rhodococcus
5- Miubactrium

گسترش فراوانی در طبیعت دارند [۲۲]. باکتری Peseudomonas Putida یک گزینه‌ی مناسب از بین گونه‌های فراوان و سازگار با شرایط متغیر محیطی است [۲۹]. توانایی قابل‌ملاحظه‌ی باکتری Peseudomonas Putida در تجزیه‌ی ترکیبات مقاوم از قبیل زایلن و تولوئن یکی از خصوصیات اولیه‌ی این باکتری از دیدگاه بیوتکنولوژی است [۳۰].

در بسیاری از گزارش‌ها آمده است که شمار میکروارگانیسم‌ها و کارآیی آنزیم‌ها در خاک با افزایش مواد آلی آن افزایش یافته و میان آن‌ها همبستگی چشم-گیری مشاهده شده است [۳۲-۳۱]. ولی فرآوری آنزیم‌های میکروارگانیسم‌های خاک با افزودن مواد آلی نامحلول در خاک لزوماً برانگیخته نمی‌شود و واکنش میکروارگانیسم‌ها در برابر افزایش مواد آلی به خاک و به حلالیت مواد بستر وابسته می‌باشد. زیست فراهمی و انرژی نهفته در مواد آلی گوناگون برای ریز جانداران یکسان نیست. به همین دلیل برخی از مواد به‌کندی و برخی دیگر سریع تجزیه می‌شوند [۲۲].

نتیجه‌گیری

با توجه به محدود بودن منابع خاک و آب زیرزمینی، آلودگی خاک یکی از مهم‌ترین معضلات زیست‌محیطی کشور است. در صورتی‌که خاک‌آلوده پاک‌سازی و تصفیه نشود و آلاینده‌های موجود، حذف و یا تجزیه نشوند، آلاینده‌ها به تدریج در عمق خاک نفوذ کرده و علاوه بر آلودگی خاک باعث آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی که یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب در بسیاری از کشورهای جهان ازجمله ایران است، می‌شود. بدین ترتیب یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی که در برابر سازمان‌های محیط‌زیست در اقصی نقاط دنیا قرار دارد، مبارزه با آلودگی منابع خاک ازیک طرف و احیاء و پاک‌سازی مکان‌های آلوده شده از طرف دیگر است. فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی بسیاری برای آلودگی‌زدایی جزئی یا کامل از مکان‌های آلوده به‌کار می‌روند. اما متأسفانه هر یک از روش‌های موجود و مرسوم برای آلودگی‌زدایی از خاک‌ها و سایت‌های آلوده دارای مشکلاتی است که استفاده از این روش‌ها را محدود به شرایط خاصی می‌نماید. در حال حاضر، امیدبخش‌ترین روش مواجه با محیط‌زیست آلوده‌شده، به خدمت گرفتن قدرت کاتابولیک[1] موجودات زنده است. روش‌های بیولوژیکی، بسیاری اوقات راهکارهای آسان، دائمی، ارزان، مؤثر و غیر آلاینده را برای پالایش و آلودگی‌زدایی از محل‌های آلوده فراهم می‌آورد.

منابع

[1] Mirsal, I., 2008, Soil pollution: origin, monitoring & remediation : Springer Science & Business Media.

[2] Prenafeta-Boldu, F.X., R. Summerbell, and G.S. 2006, De Hoog, Fungi growing on aromatic hydrocarbons: biotechnology's unexpected encounter with biohazard? FEMS Microbiology Reviews. 30(1): p. 109-130.

[3] Adam, G. and H. Duncan, 2002, Influence of diesel fuel on seed germination. Environmental pollution, 120(2): p. 363-370.

[4] Wendt, A., 1999, Social theory of international politics. Cambridge University Press.

[5] Chaineau, C., 2005, et al., Effects of nutrient concentration on the biodegradation of crude oil and associated microbial populations in the soil. Soil biology and biochemistry,. **37**(8): p. 1490-1497.

[6] Amadi, A., 1993, A. Dickson, and G. Maate, Remediation of oil polluted soils: 1. Effect of organic and inorganic nutrient supplements on the performance of maize (Zea may L). Water, Air, and Soil Pollution, 66(1-2): p. 59-76.

[7] Plikaytis, B.B., 1992, et al., Differentiation of slowly growing Mycobacterium species, including Mycobacterium tuberculosis, by gene amplification and restriction fragment length polymorphism analysis. Journal of Clinical Microbiology, 30(7): p. 1815-1822.

[8] Anderson, T.A. and J.R. Coats., 1994, Bioremediation through rhizosphere technology. ACS Publications.

[9] Jhonson, C., 2009, Biology of soil science: Oxford Book Company.

[10] Speight, J.G. and B. Özüm., 2001, Petroleum refining processes: CRC Press.

[11] Moriarty, R.M., W.R. Epa, and A.K. Awasthi., 1991, Palladium-catalyzed coupling of alkenyl iodonium salts with olefins: a mild and stereoselective Heck-type reaction using hypervalent iodine. Journal of the American Chemical Society, 113(16): p. 6315-6317.

[12] Moriarty, R.M. and W.R. Epa., 1992, Palladium catalyzed cross-coupling reactions of alkenyl (phenyl) iodonium salts with organotin compounds. Tetrahedron letters. 33(29): p. 4095-4098.

[13] Moore, A.C., 1993, et al., Surveillance for waterborne disease outbreaks—United States, 1991–1992. MORBIDITY

1- Catabolic

[22] Arthur, W.B., 1988, Self-reinforcing mechanisms in economics. The economy as an evolving complex system, 5: p. 9-31.
[23] Cunningham, S.D. and W.R. Berti., 1993, Remediation of contaminated soils with green plants: an overview. In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant, 29(4): p. 207-212.
[24] Cerniglia, C.E. and M.A. Heitkamp., 1989, Microbial degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in the aquatic environment. Metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment. CRC Press, Inc., Boca Raton, Fla: p. 41-68.
[25] Edwards, N., B. Ross-Todd, and E. Garver., 1982, Uptake and metabolism of 14C anthracene by soybean (Glycine max). Environmental and experimental botany, 22(3): p. 349-357.
[26] Appel, L.J., 1997, et al., A clinical trial of the effects of dietary patterns on blood pressure. New England Journal of Medicine, 336(16): p. 1117-1124.
[27] Luckham, R., 2000, et al., Democratic institutions and politics in contexts of inequality poverty and conflict. A conceptual framework.
[28] Hutzier, N., B. Murphy, and J. Gierke., 1991, State of technology review: Soil vapor extraction systems. Journal of Hazardous Materials, 26(2): p. 225-230.
[29] Eweis, J.B., 1998, et al., Bioremediation principles: McGraw-Hill Book Company Europe.
[30] Günther, T., U. Dornberger, and W. Fritsche., 1996, Effects of ryegrass on biodegradation of hydrocarbons in soil. Chemosphere, 33(2): p. 203-215.
[31] King, R.B., J.K. Sheldon, and G.M. Long., 1997, Practical environmental bioremediation: the field guide: CRC Press.
[32] Cole, G.M., 1994, Assessment and remediation of petroleum contaminated sites. CRC Press.
AND MORTALITY WEEKLY REPORT: CDC Surveillance Summaries: p. 1-22.
[14] Hoffmann, A., 1998, et al., Intergeneric transfer of conjugative and mobilizable plasmids harbored by Escherichia coli in the gut of the soil microarthropod Folsomia candida (Collembola). Applied and Environmental Microbiology, 64(7): p. 2652-2659.
[15] You-Qing, L., 2008, et al., Diesel Pollution Biodegradation: Synergetic Effect of Mycobacterium and Filamentous Fungi11This work was supported by the grant from the National Foundation of Natural Science in China (No. 30571536). Biomedical and Environmental Sciences, 21(3): p. 181-187.
[16] Broadley, M.R. and N.J. Willey., 1997, Differences in root uptake of radiocaesium by 30 plant taxa. Environmental Pollution, 97(1): p. 11-15.
[17] Lin, Q. and I.A. Mendelssohn., 1998, The combined effects of phytoremediation and biostimulation in enhancing habitat restoration and oil degradation of petroleum contaminated wetlands. Ecological Engineering, 10(3): p. 263-274.
[18] Chehregani, A., 2004, et al., Increasing allergy potency of Zinnia pollen grains in polluted areas. Ecotoxicology and environmental safety, 58(2): p. 267-272.
[19] Happe, L.E., 2016, Thanks to JMCP Peer Reviewers, 2015. JOURNAL OF MANAGED: p. 184.
[20] Collins, C.D., 2007, Implementing phytoremediation of petroleum hydrocarbons. Phytoremediation: methods and reviews: p. 99-108.
[21] Fisher, J.A., M.J. Scarlett, and A.D. Stott., 1997, Accelerated solvent extraction: an evaluation for screening of soils for selected US EPA semivolatile organic priority pollutants. Environmental science & technology, 31(4): p. 1120-1127.