زیست پالایی[1]
شیوه‌ای برای پاکسازی محیط خاک و آب

* دکتر غلامحسین حق نیا

کلمات کلیدی :
آلودگی ، محیط زیست ، آلودگی نفتی ، فرایند میکروبی ، زیست تجزیه پذیری.

چکیده :
دشواریهایی که اکنون دنیا در پاکسازی پس ماند زیان آور خود با آن روبرو است بمراتب بیش از چیزی است که یکی دو دهه قبل تصور آن می‌رفت. سودجویی از میکروارگانیسمها برای تجزیه پس ماند، قدمت زیادی دارد و سالهاست که بشر برای تجزیه فاضلاب شهری، پس ماند پالایشگاهی ، و بازماندهٔ فرایندهای شیمیایی خاص در خاک از شیوه‌های زیست پالایی استفاده کرده است. در دهه گذشته منابع چشمگیری به زیست پالایی پس‌ماندهای زیان آور اختصاص داده شده است. زیست پالایی فرآیندی است که به وسیله آن پویایی و یا سمیت ماده‌های آلوده زا در یک مکان با بهره‌گیری از فرآیندهای زیستی برطرف شده یا کاهش می‌یابد. در واقع زیست پالایی فرآیندی است که به وسیله آن مدیریت مناسب برای تجزیه و جابجایی ماده‌های شیمیایی آلی در خاک یا بقایای آلوده، از میکروارگانیسمها استفاده می‌شود. آلودگی آبهای زیرزمینی را می‌توان با این شیوه کاهش داد یا به کلی برطرف نمود. از زیست پالایی برای پاکسازی هیدروکربنهای نفتی نیز استفاده می‌شود. زیرا نگهداری آن ساده است، قابل استفاده برای مساحتهای زیاد است، اقتصادی است و از همه مهمتر اینکه به نابودی کامل مواد آلاینده می‌انجامد. فرآورد نهایی به دست آمده از فرآیند تجزیه میکروبی ، ماده‌های بی ضرری مانند دی اکسید کربن ، آب و زیست توده میکروبی خواهد بود. در این فن آوری دانشهای گوناگونی مانند میکروبیولوژی، بیوشیمی، مهندسی محیط و مهندسی شیمی به کار گرفته می‌شود. به طور کلی پالایش زیستی پاسخی به همه دشواریهای آلودگی نیست و کارآیی آن در هر مکان باید بر پایه اطلاعات مربوط به میکروبیولوژی ، هیدرولوژی ، زمین شناسی و شیمی آن محل تعیین شود.

در این مقاله کوشش شده است تا راههای دیگر پاکسازی آلودگیهای محیطی فشرده بحث شود و با فن آوری زیست پالایی مقایسه گردد و برتریها و کاستیهای آن نیز بررسی شود. در پایان به دو مطالعه موردی زیست پالایی آلودگی کشتی نفتی اکسون در آلاسکا و آلودگی ناشی از جنگ خلیج فارس اشاره شده است.

---

* - دانشیار گروه خاک شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

مقدمه :

کاربرد روشهای آزمایشی بسیار دقیق برای تجزیه‌های مربوط به مسائل محیطی آگاهیهای آزار دهنده‌ای را برای جامعه بشری فراهم کرده است. هوایی که تنفس می‌کنیم ، آبی که می‌نوشیم و یا خود را با آن شستشو می‌دهیم، خاکی که در آن محصولات کشاورزی ما می‌رویند و محیطی که در آن جمعیتهای جانوری و گیاهی رشد می‌کنند همه با تعدادی ماده شیمیایی آلوده است. مواد شیمیایی با منشاء طبیعی یا مصنوعی که به وسیله فعالیت بشر به محیط افزوده می‌شوند تأثیر نامطلوبی روی محیط دارند و یا از راه محیط بر انسان تأثیر می‌گذارند. تا سال ۱۹۸۰ میلادی بیش از ۵ میلیون ترکیب شیمیایی تشخیص داده شده است (۱). سالانه حدود ۱۰۰۰ ماده شیمیایی تازه به بازار عرضه می‌شود و این در حالی است که ۱۵۰ ماده شیمیایی افزون بر ۵۰۰۰۰ تن در سال تولید می‌شود (۲). تولید جهانی مواد شیمیایی آلی مصنوعی ۳۰۰ میلیون تن در سال برآورد می‌شود (۳).

در مناطق کشاورزی و زمینها و آبهای سطحی مجاور آن برخی از مواد شیمیایی را آفت کشها تشکیل می‌دهند یا فرآورده‌هایی که از آنها به وجود می‌آید. بسیاری دیگر از مواد شیمیایی صنعتی هستند که پس از استفاده به طور عمد یا ناآگاهانه در آب یا روی خاکها ریخته می‌شوند. تنها در کشور آمریکا تعداد ۱۴۰۰۰ کارخانه صنعتی هر سال ۲۶۵ تن پس ماند زیان‌آور به صورت فرآورده جنبی تولید می‌کنند که ۸۰ درصد این مواد در محل دفن به زمین برمی‌گردد (۲).

گروه پس ماندهای شیمیایی در برگیرنده حلالهای هیدروکربن هالوژنه و آروماتیک ، کلروفنلها، فلزهای سنگین ، پلی کلرینهای بی‌فنیل[۲] و هیدروکربنهای آلیفاتیک می‌باشد. در بسیاری از مکانهای آلوده حلالهای شیمیایی زیان آور گزارش شده‌اند (۳). هنگامی که این گونه حلالها به آبهای زیر زمینی وارد شوند تجزیه آنها بسیار کند می‌شود. وقتی که اندازه هیدروکربنهای پلی آرماتیک[۳] به ۴ یا ۵ حلقه بنزین پیوسته افزایش می‌یابد، چربی‌گرایی ، پایداری در محیط و موتاژن زایی آن نیز افزایش می‌یابد.

ماده‌های شیمیایی گوناگون مستقیماً به طور تصادفی ، پخش در خلال جابجایی ، نشت از مکانهای دفن یا انبار شده یا کارخانجات صنعتی به محیط وارد می‌شوند. بررسیها نشان می‌دهند که تعداد ۱۰۰۰۰۰ عدد از مجموع حدود ۱/۴ میلیون تانکر نگهداری سوخت در حال حاضر نشت دارند. آخرین شمارش عدد ۳۵۰۰۰۰ را نشان می‌دهد (۲). براساس برآوردی که سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا[۴] انجام داده تانکرهای موجود در پمپ بنزینها سالانه ۵۰ میلیون لیتر از مواد خود را از طریق نشت از دست می‌دهند. از این رو به روشنی دیده می‌شود مشکلی که اکنون دنیا برای پاکسازی مواد آلاینده خود با آن روبرو است بسیار بیشتر از آن است که در دهه قبل تصور می‌شد. در آمریکا ۱۲۰۰ مکان آلوده در اولویت پاکسازی قرار دارد[۵] که از بودجه دولت مرکزی پول دریافت می‌کنند و روز به روز به تعداد آنها افزوده می‌شود. چند سال پیش بسیاری تصور می‌کردند که تعداد کل مکانهای آلوده در این کشور ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ باشد در حالی که تعداد دقیق آن شناخته نیست، بسیاری از آگاهان بر این باورند که مجموع آن به ۲۵۰۰۰ نزدیک می‌شود (۲).

اکنون همه ما به این نکته رسیده‌ایم که باید شروع به پاکسازی محیطی کنیم که خود ، آن را به راههای گوناگون آلوده ساخته‌ایم. شیوه‌های گوناگونی که در دنیا به منظور پاکسازی خاک و آب آلوده به کار گرفته می‌شود همراه هزینه تقریبی آن در جدول ۱ آمده است.

در این مقاله به اهمیت فرایندهای میکروبی در تجزیه مواد آلاینده اشاره شده و خلاصه‌ای از فرآیند زیست پالایی ، برتریها و کاستیهای آن بررسی می‌شود. در پایان دو مطالعه موردی نیز مورد گفتگو قرار می‌گیرد.

تاریخچه کاربرد تغییرات میکروبی :

در بسیاری از محیطهای گوناگون تجزیه زیستی به وسیله ریز جانداران انجام می‌شود. می‌توان گفت که انسان از زمان ثبت تاریخ میکروارگانیسمها را مهار کرده است. استفاده از این ریزجانداران برای تولید مشروبات به زمانهای قدیم باز می‌گردد. سودجویی از مخمر برای تولید نان، تاریخچه تازه‌تری دارد و می‌توان گفت که برای نخستین بار حدود ۶۰۰۰ سال پیش در مصر آغاز گردید. استفاده از ریزجانداران بومی برای مهندسین محیط مطلبی آشناست و در تأسیسات تصفیه فاضلاب نقش مهمی ایفا

می‌کند (۱).

فرآورده‌هایی مانند پنیر، ماست ، الکل و سس سویا با فرایندهای میکروبی تهیه می‌شوند . تعداد زیادی از مواد شیمیایی صنعتی نیز به وسیله فرایندهای میکروبی تولید می‌شود که از میان آنها می‌توان اسیدها، حلالها، پلیمرها، آنزیمهای خاص، و حشره‌کشها را نام برد. فرآورده‌های طبی در برگیرنده آنتی بیوتیکها، استروپیدها و ترکیبهای پیشرفته سرطان درمانی نیز زیر تأثیر فرایندهای میکروبی به وجود می‌آیند. سودجویی از میکروبها در مراحل آغازین اکتشاف نفت مورد دیگر قابل ذکر است. تشخیص باکتریهای اکسیدکننده اتان و هیدروکربنهای با زنجیره بلندتر نشانه‌هایی را برای وجود منابع نفتی فراهم می‌سازد.

جدول ۱ - شیوه‌های موجود برای روبرویی با خاک آلوده

شیوه	هزینه‌برای ۱متر مکعب (دلار)
دفع دور از محل	۱۵۰-۴۰۰
سوزاندن دور از محل	۶۰۰-۲۰۰۰
سوزاندن در محل	۶۰۰-۲۰۰۰
سخت سازی تثبیت	۷۵-۲۵۰
دما رفتاری	۷۵-۲۵۰
تهویه غیر فعال خاک	۲۵-۱۰۰
استخراج با مکش	۷۵-۲۰۰
گستردن روی زمین	۳۰-۱۰۰
شستشو با فشار در محل	۸۰-۶۰۰
شستشوی خاک	۷۵-۲۰۰
خاکبرداری	۲۰۰-۵۰۰
فرایندهای میکروبی و سودجوئی از آنها در زیست پالایی موضعی	۷۵-۲۰۰

فرایندهای میکروبی در سیستمهای گوناگون هوازی و بی‌هوازی برای تصفیه و پاکسازی پس ماندهای صنعتی ، کشاورزی و شهری اهمیت بسزایی دارند. اجتماع طبیعی ریز جانداران در زیستگاههای گوناگون تنوع فیزیولوژی بسیار زیادی دارند. آنها توان تجزیه ملکولهای آلی را دارند و اغلب تعداد زیادی از آن را به صورت معدنی در می‌آورند. احتمالاً هرگونه فرآورده طبیعی ، صرفنظر از پیچیدگی آن ، در یک محیط معین به وسیله یا چندگونه میکروبی تجزیه می‌شود. چه در غیر این صورت، پس از زمان زیادی که از ظهور حیات در کره زمین می‌گذرد، این گونه ترکیبها به مقدار بسیار زیادی جمع می‌شدند. به شکلی همسان، اجتماع قارچها و باکتریها تعداد زیادی از ماده‌های شیمیایی مصنوعی را تجزیه و متابولیز می‌کنند.

مفاهیم زیست پالایی :

زیست پالایی فرایندی است که بر اثر آن پویایی و (یا) سمیت آلاینده‌های مورد نظر در یک مکان برطرف می‌گردد یا کاهش می‌یابد. واژه زیست پالایی به مفهوم فرایندهای بیولوژیکی به‌کار می‌رود که نتیجه آن تجزیه ماده‌های آلی صنعتی به ملکولهای آلی ساده‌تر و در پایان دی‌اکسیدکربن و آب است.

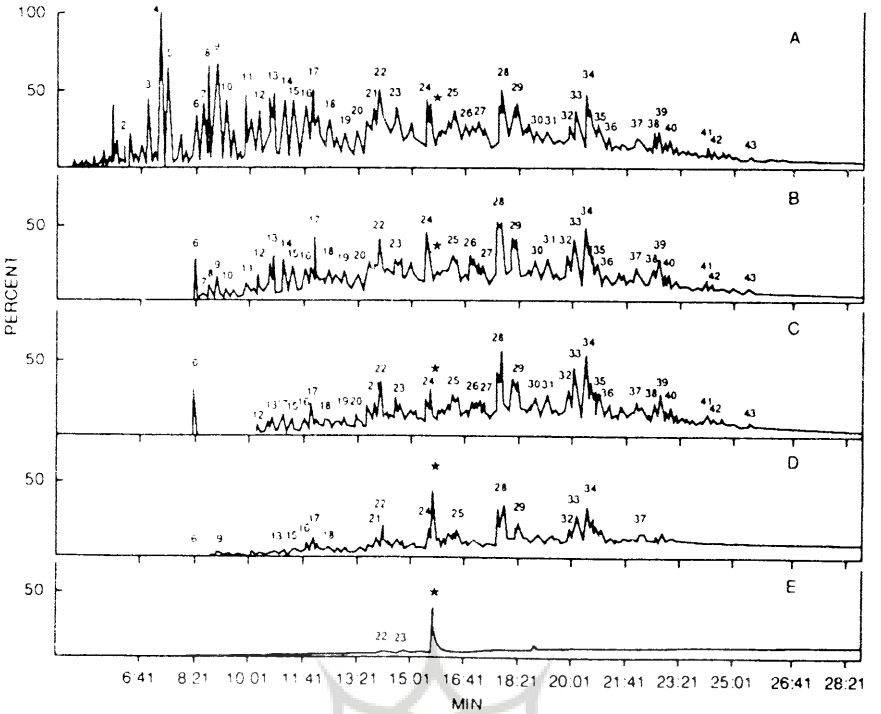
زیست پالایی برای نابودی مواد شیمیایی در خاک ، آب زیرزمینی ، فاضلاب ، لجن ، پس مانده‌های صنعتی و گازها به‌کار می‌رود.

بیشترین توجه هم اکنون در راستای نفت و فرآورده‌های نفتی معطوف شده است. در آمریکا زیست پالایی‌دربیش‌از ۲۰ مورد به کارگرفته می‌شود که هزینه پاکسازی هرکدام به روش سنتی دست کم ۲۰ میلیون دلار است[۶] (۲). ماده‌های شیمیایی که در این مکانها روی آن کار می‌شود اغلب هیدروکربنهای پلی‌آروماتیک، ماده‌های آلی فرار (بنزین ، تولوئن ، اتیل بنزن و زایلن که جمعاً بتکس ۲ نامیده می‌شوند) ، پنتاکلروفنل و فنلها می‌باشند.

برای آنکه از زیست پالایی بتوان به طور جدی در عمل استفاده کرد معیارهای ویژه‌ای را باید در نظر گرفت.

(الف) ریز جاندارانی که به فعالیت کاتابولیکی نیاز دارند باید موجود باشند. باکتریها و قارچهای هتروتروف بیشتر تغییرات زیست شیمیایی را انجام می‌دهند. بسیاری از باکتریهای هوازی که در خاک و آب یافت می‌شوند از ماده‌هایی مانند قندها، پروتئینها، چربیها، و هیدروکربنهای پس ماند گیاهی و جانوری استفاده می‌کنند و افزوده بر این توانایی دارند که هیدروکربنهای نفتی را متابولیز کرده، آنها را به دی اکسیدکربن و آب تبدیل نماید.

(ب) ریز جانداران یاد شده باید توان تبدیل ترکیب را به سرعتی معقول داشته باشند و غلظت مواد آلاینده را به سطحی



شکل ۱ - کروماتوگرام گازی بخش آروماتیک باقیمانده نفت گاز در یک خاک آلوده . زمان صفر (A) ، ۲ هفته بدون (B) و با (C) فرایند زیست پالایی ، ۱۲ هفته بدون (D) و یا (E) فرایند زیست پالایی . اعداد بالای منحنی‌ها گونه‌های متفاوت PAHS را مشخص می‌کند و ستاره نشانگر ترکیبی است که به‌عنوان استاندارد برای هدفهای آزمایشی افزوده شده است. (اقتباس از وانگ و همکاران ۱۹۹۰ انجمن شیمی آمریکا) (۱).

برسانند که با استانداردهای تعیین شده مطابقت داشته باشد.

(ج) در خلال پالایی نباید فرآورده‌های سمی تولید کنند.

(د) مکان آلوده نباید دارای غلظتها یا ترکیبهای شیمیایی باشد که برای گونه‌های تجزیه کننده باز دارنده باشند. یا اینکه راههایی باید وجود داشته باشد که عاملهای باز دارنده را رقیق یا بی آزار سازد.

(ه) ترکیبهای هدف باید در دسترس ریز جانداران باشند.

(و) شرایط باید به گونه‌ای باشد که رشد میکروبی یا فعالیت آنها را تشدید کند. برای مثال، تأمین کافی عناصر غذایی معدنی، اکسیژن کافی یا دیگر پذیرنده‌های الکترون ، رطوبت مناسب، دمای مطلوب ، و منبعی از کربن و انرژی برای رشد میکروارگانیسمها ضرورت دارد.

(ز) هزینه این فن آوری نباید بیشتر از دیگر روشهایی باشد که می‌توانند ماده شیمیایی مورد نظر را نابود سازند.

درجه کارآیی فرایند زیست پالایی را در خاکی که با نفت گاز آلوده است می‌توان در شکل ۱ مشاهده کرد.

اگر زیست پالایی امکان پذیر است و کارآیی دارد، پس چرا برخی ماده‌های آلی که در خاکهای آلوده و پس ماندها وجود دارند در محیط پایدار مانده‌اند؟ در پاسخ به این سئوال باید گفت که اگر چنانچه فاکتورهای نامطلوب و نابهینه حضور داشته باشند حتی ماده‌های آلی زیست تجزیه پذیر هم بی تغییر باقی می‌مانند. عاملهایی که ممکن است پالایی و تجزیه میکروبی را باز دارد می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱ - غلظتهای شیمیایی که برای ریز جانداران سمی است.

۲ - تعداد گونه نامطلوب ریز جانداران (همانند موردی که در وضعیت سمی دیده می‌شوند).

۳ - وضعیت شدید اسیدی یا قلیایی .

۴ - نبود عنصرهای غذایی مانند ، N ، P ، K و S یا عنصرهای دیگر (بسیاری از ماده‌های شیمیایی از دیدگاه تغذیه‌ای متوازن نیستند).

۵ - نبود اکسیژن یا دیگر پذیرنده‌های الکترون.

از این‌رو درک این مطب که در چه وضعیتی و واکنشهایی زیست پالایی می‌تواند موفقیت آمیز باشد مهم است. با این گونه آگاهی می‌تواند وضعیت نابهینه را به گونه‌ای تغییر داد که تجزیه میکروبی بتواند رخ دهد. برای مثال ، اگر ازت و فسفر کافی نباشد برای تجزیه میکروبی رضایتبخش می‌توان آنها را به محیط افزود. اگر پس ماندها سمیت زیادی داشته باشند ، افزایش دیگر ماده‌های شیمیایی ، یا خاک غیر آلوده ممکن است سمیت را به حدی کاهش دهد که تجزیه میکروبی بتواند رخ دهد. اگر تعداد یا گونه مطلوب ریز جانداران وجود نداشته باشد، جانداران مناسب و سازگار را می‌توان افزود.

محدودیت زیست پالایی :

زیست پالایی پاسخی به همه دشواریهای آلودگی نیست. کاربرد آن در هر محل باید تعیین شود و به‌کانی شناختی موضعی، هیدرولوژی ، زمین شناسی ، و شیمی آن مکان وابسته است.

محدودیتهای مهم زیست پالایی در برگیرنده موارد زیراست:

پارامترهای محیطی برای نگهداری رشد میکروبی باید مناسب باشند (pH ، دما ، وضعیت ردوکس، و عنصرهای غذایی) ، برپایه آگاهیهای جدید برخی از ماده‌های شیمیایی توسط عاملهای زیستی تجزیه‌پذیر نیستند؛ فرآورده‌های جنبی زیست تجزیه ممکن است سمی‌تر و پایدارتر از ترکیب اصلی باشند (مثال DDT، DDD) ؛ غلظت ماده اولیه ممکن است بسیار زیاد (سمی) یا بسیار کم (منبع ناکافی انرژی) باشد؛ آمیخته پیچیده‌ای از ماده‌های آلی ممکن است در برگیرنده ترکیبهای بازدارنده باشند.

افزون بر آن ، زیست پالایی فلزات سنگین و برخی ماده‌های آلی پایدار را از بین نمی‌برد، گرچه میکروارگانیسمها تغییراتی در شکل شیمیایی و پویایی ماده‌های زیان آور به وجود می‌آورند. کاربرد عنصرهای غذایی و همچنین پس مانده‌ای که توسط جانداران به وجود می‌آید می‌تواند برکیفیت آب اثر نامطلوب بگذارد؛ دگرگونی یک ماده آلی سمی تضمینی برای تبدیل شدن آن به فرآورده‌های بی‌ضرر یا حتی کمتر زیان‌آور نیست. برای مثال دگرگونیهای زیستی بی‌هوازی که در مورد آلاینده‌های متداول آبهای زیر زمینی مانند پنتاکلروفنل[۷] و تری‌کلرواتیلن[۸] رخ می‌دهد ممکن است به تشکیل واسطه‌هایی مانند وینیل کلرید بینجامد که در وضعیت کاهشی غالب تجزیه بیشتری روی آن صورت می‌گیرد. رشد باکتریها می‌تواند روزنه‌های خاک را مسدود کند و آب زیر زمینی را از چرخش باز دارد. تأمین آب از این گونه چاهها از کیفیت آن می‌کاهد (کدر شدن ، مزه ، بو ، و رنگ) و به وضعیت شدید بی‌هوازی می‌انجامد که دشواریهای خورندگی را به وجود می‌آورد. در فرایندهای زیست پالایی برخی از ریز جانداران[۹] روزنه‌های خاک را مسدود می‌کنند.

برتریهای زیست پالایی :

- ▣ در محل قابل انجام است.
- ▣ پس ماند را به طور دایمی برطرف می‌سازد.
- ▣ سیستمهای زیستی ارزانترند.
- ▣ عموم مردم با نظر مثبت آن را می‌پذیرند.
- ▣ بهم خوردن موقعیت محل حداقل است.
- ▣ هزینه جابجایی ندارد.
- ▣ همراه با شیوه‌های دیگر قابل انجام است.
- ▣ از نظر محیطی زیان‌آور نیست.
- ▣ در ۲۴ ساعت شبانه روز کار بی‌وقفه ادامه دارد.
- ▣ وضعیت فیزیکی و حاصلخیزی خاک بهبود می‌یابد.
- ▣ در مقایسه با دیگر شیوه‌های آلوده زدایی مواد آلی اقتصادی و قابل رقابت است.

کاستیهای زیست پالایی :

- ▣ بیش از اندازه علمی است.
- ▣ تولید بالقوه فرآورده‌های جنبی ناشناخته.
- ▣ نیازهای ویژه مکان مورد نظر.
- ▣ برخی ماده‌های شیمیایی را نمی‌توان از راه زیستی پالایی کرد.
- ▣ به دیده‌بانی و مراقبت نیاز دارد.
- ▣ دشواریهای عدم هماهنگی با مقررات.
- ▣ عدم درک کامل از این تکنولوژی.
- ▣ سمیت آلاینده‌ها برای ریز جانداران.

پروژه زیست پالایی رویداد جنگ خلیج فارس :

در رویداد جنگ خلیج فارس حدود ۲ میلیون بشکه نفت بازیابی شد، در حالی که در مورد نفتکش اکسون و الدز تنها ۲۵۰۰۰۰ بشکه بازیابی گردید. اگر ۱۰ درصد بازیابی را برای خلیج فارس در نظر بگیریم نفتی که در محیط پخش شده بسیار بیش از ۶۸۰۰۰۰۰۰ بشکه‌ای است که برآورده شده است. افزوده بر مقدار بازیافت شده ۳۰ تا ۴۰ درصد آن تبخیر شده است. راههای گوناگون روبرویی با این دشواری مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت در سال ۱۹۹۱ میلادی سیستم پالایش با سودجویی از نوعی کود شیمیایی[۱۰] به نام F-۱ وگونه‌ای باکتری دریایی که می‌توانست F-۱ را به عنوان منبع ازت و فسفر مصرف کند به کار گرفته شد (۵).

نفت خام سنگین به عنوان منبع کربن و انرژی مورد استفاده قرار گرفت. آزمایش صحرایی باکرتهایی به اندازه ۵۰ متر مربع نتایج رضایتبخشی نشان داده است. ۳۵ کیلوگرم F-۱ به هر کرت آزمایشی افزوده شد و با ۲۰ لیتر محلول کشت مخلوط (10^8 cells ml^{-1}) تلقیح گردید. کرتها روزانه با آب دریا و توسط موج مرطوب می‌شوند. کرتی هم به عنوان شاهد دست نخورده در نظر گرفته شد.

پس از ۴، ۹ و ۲۵ روز تجزیه هیدروکربنها به ترتیب ۳۰، ۵۰ و ۸۵ درصد بوده است. در حالی که در کرت شاهد پس از گذشت ۹ و ۲۵ روز به ترتیب ۱۸ و ۱۵ درصد بوده است. پس از این آزمایش موفق ۳ کیلو متر از ساحل آلوده توسط باکتری به فرم محلول‌پاشی تلقیح گردید و ۳۰ تن کود F-۱ به آن افزوده شد و با ماشینهای کشاورزی تا عمق ۲۰ سانتیمتری خاک آمیخته شد. در مدت ۱۰ ماه میانگین غلظت هیدروکربن شنهای ساحلی از ۴۲۰۰ به ۸۰۰ میلی گرم در هر کیلوگرم رسید که یک کاهش ۸۱٪ را نشان می‌دهد. منطقه شاهد در طول دوره زمستان تجزیه‌ای کمتر از ۵ درصد را نشان داد.

برتری کود شیمیایی آب گریز نامحلول آن است که با نفت پیوند برقرار می‌کند و حتی بعد از طوفانهای دریایی و باران با آب رقیق نمی‌شود. از این‌رو افزایش کود تنها برای یک بار کافی است. کاستی این روش آن است که به باکتریهای ویژه‌ای نیاز دارد.

پروژه زیست پالایی مواد نفتی کشتی اکسون والدز در آلاسکا:

نفتی که در ۲۵ مارس ۱۹۸۹ از کشتی نفتکش اکسون والدز بر پرینس ویلیام ساوند آلاسکا بیرون ریخت و تقریباً ۵۰۰ کیلو متر از سواحل سنگی این منطقه را آلوده کرد فرصت بی‌نظیری برای توجیه پذیری زیست پالایی فراهم آورد. این رویداد سبب شد که کمپانی اکسون ، ایالت آلاسکا و گارد ساحلی را با بزرگترین دشواری پاکسازی در تاریخ آمریکا روبرو سازد. راههای گوناگون بررسی و علیرغم پیچیدگی محیط ، زیست پالایی به عنوان راه حلی قابل پذیرش برگزیده شد (۴).

در آغاز، یک طرح پژوهشی پیاده شده تا مشخص کند که آیا افزایش کود شیمیایی سرعت تجزیه زیستی مواد نفتی را به اندازه‌ای بهبودی می‌بخشد که از این شیوه به صورت ابزار مکملی بر پاکسازی استفاده شود؟ از این‌رو گروهی از کارشناسان مختلف دست به کار شدند.

گزینش کود شیمیایی براساس استراتژیهای کاربرد، دشواریهای تدارکاتی برای کاربرد در مقیاس وسیع ، فراهمی تجارتی و توانایی آن برای تأمین عنصرهای غذایی ازت و فسفر برای جمعیت میکروبی در سطح و زیر سطح مواد ساحلی برای دوره نسبتاً بلند بنیان شده است.

سه نوع کود شیمیایی کندرها، چربی دوست و محلول در آب به کار گرفته شد. دو نوع کودکندرها به صورت قطعه‌هایی به اندازه ذغال قالبی با نسبت کودی N:P:K برابر 14:3:3 و دانه‌ای (قطر ۲-۳ میلیمتر) با نسبت 28:8:0 برگزیده شد. که اوره را به وسیله هیدرولیز شیمیایی آنی ایزوبوتیلیدین دی اوره آزاد می‌کند. فرض این است که این اوره توسط فعالیت اوره آز میکروبی بسرعت به آمونیاک تبدیل می‌شود. فسفر نیز با شیوه‌ای مشابه آزاد می‌شود.

کود دانه‌ای با غلظت ۹۰ گرم بر متر مربع در سطح پاشیده شد. کودهای قالبی در کیسه‌های توری مخصوص که هر کدام ۱۵ کیلو گرم وزن داشتند روی ساحل در دو ردیف یکی در خط موج پایین و دیگری در خط موج متوسط قرار داده شد و کیسه‌ها توسط طناب با میله‌ای فولادی ثابت شدند.

نوع دیگر سودجویی از کود چربی دوست بود که عنصرهای غذایی را درون مواد نفتی حل کند و دست کم سه تا چهار هفته

پایدار بماند. برای این منظور از اینیپول[۱۱] استفاده شد که به وسیله یک کمپانی فرانسوی تهیه شد و به مقدار زیاد فراهم بوده است.

این فرآورده امولسیون پایداری است که ازت را به صورت اوره فراهم می‌کند و پیرامون آن اسید اولئیک به صورت حامل عمل می‌کند به این ماده سورفکتانت لارت فسفات و منبع فسفر به عنوان ماده پایدارکننده افزوده شده است و از بوتاکسی اتانل برای کاهش لزجت سود برده شده است. این ماده شیمیایی به کمک سمپاشهای دستی وبه نسبت تقریبی ۰/۴ لیتر بر متر مربع پاشیده شد.

نوع سوم کاربرد کود محلول در آب است که محلول غذایی را به شکل آبیاری بارانی با استفاده از آب دریا با غلظت تقریبی ۶/۹ گرم N/M^2 و ۱/۵ گرم P/m^2 روی سطح پخش می‌کند. برای این منظور از کود متداول نیترات آمونیوم (34:0:0) و سوپر فسفات تریپل (0:45:0) سود برده شد.

اینیپول و کود قالبی در کرتهای به اندازه ۱۴×۲۸ متر مورد آزمایش قرار گرفت پس از گذشت حدود ۳ هفته لاشه سنگهای ساحلی با رفتار اینیپول آشکارا تمیزتر بودند و با کرتهای شاهد و کرتهایی که کود قالبی دریافت داشتند تفاوت چشمگیری نشان دادند. در کرتهایی که کود چربی گرا دریافت داشتند ناپدید شدن مواد نفتی با کاهش چشمگیر کل بقایای نفتی (وزن ماده قابل استخراج) همراه بود. با این وجود، کاهش بقایای نفتی می‌توانست بر اثر فرآیندهای غیر زیستی (هوادیدگی فیزیکی ، تبخیر ، فتولیز و مانند آن) رخ دهد و از اینرو تغییر ساختار هیدروکربن که نشانه تجزیه زیستی باشد باید اندازه‌گیری می‌شد. این کار معمولاً با بررسی نسبت وزن هیدروکربنهایی که به سادگی زیست تجزیه پذیرند (عموماً آلکانهای C-17 و C-18) و هیدروکربنهایی که به کندی بر اثر عوامل زیستی تجزیه می‌شوند (مانند آلکانهای شاخه‌ای و پریستان[۱۲] و فیتان[۱۳]) تعیین می‌شوند. هر دو از نظر رفتار کروماتوگرافی گازی نزدیک و همسانند.

بدین ترتیب در چهار هفته اول در مورد کود چربی گرانسبت C-18Phytne ۷۰ درصد کاهش نشان داد. در حالی که در مورد کود قالبی در همین مدت کاهش نسبت با کرتهای شاهد تقریباً مساوی و برابر ۳۰ درصد بوده است. از اینرو دیده می‌شود که مقدار عنصر تأمین شده به وسیله کود قالبی احتمالاً از آنچه که به‌طور طبیعی از آب دریا تأمین می‌شود بیشتر نبوده است.

پس از این آزمایش موفقیت آمیز کاربرد اینیپول روی ۷۵ کیلو متر از ساحل آغاز گردید. پس از ۴۵ روز مقدار نفتی که در مکانهای شاهد بود ۳ تا ۴ برابر نفت مناطقی بود که محلول کود دریافت کرده بودند. تجزیه زیستی در این مکانها ۳ تا ۴ برابر بیشتر بود. نتایج پروژه زیست پالایی پخش مواد نفتی در آلاسکا نشان می‌دهد که بر اثر این رویداد ریز جانداران مسئول تجزیه مواد نفتی زیاد شدند اماکارآیی آنها در تجزیه مواد نفتی به وسیله فراهمی عناصر غذایی ازت و فسفر محدود می‌شود. افزودن کودهای شیمیایی این دشواری را برطرف می‌سازد.

زیست پالایی سواحل آلوده به نفت شیوه مطمئن و سالمی برای پاکسازی به شمار می‌رود که اثر نامطلوبی بر اکولوژی ندارد. افزایش کود منجر به یوتریفیکاسیون نشد سمیت حاد برای گونه‌های حساس دریایی به وجود نیاورد و سبب آزاد شدن بنایای نفتی تجزیه نشده از سواحل نگردید. از اینرو شیوه یاد شده در هر گونه عملیات پاکسازی مواد نفتی در آینده جزء کلیدی به شمار می‌آید.

نتیجه :

زیست پالایی با استفاده از روش پیشرفته میکروبیولوژی برای محیطهایی که با ترکیبهای متعدد آلی و معدنی آلوده شده‌اند یکی از شیوه‌های مؤثر و نوین قرن کنونی به شمار می‌رود. در حقیقت می‌توان گفت که این روش کاربرد جدیدی است برای یک فن‌آوری بسیار کهنه که زمانی عمدتاً در تصفیه فاضلاب به کار می‌رفته است. از این شیوه امروزه برای خاک ، لجن ، آب زیرزمینی، و آبهای سطحی که با ماده‌های شیمیایی مانند مواد نفتی، حلالهای صنعتی و امثال آن آلوده شده‌اند بهره‌گیری می‌شود.

کار تجزیه در خاک و آبخوانهای آلوده زیر تأثیر عاملهای محیطی مانند اکسیژن محلول ، pH ، دما، ماده‌های سمی ، پتانسیل اکسایش -کاهش ، فراهمی عنصرهای معدنی (ازت ، فسفر و مانند آن) ، شوری و غلظت و سرشت ماده آلی قرار دارد. تعداد و نوع جانداران موجود در محیط نیز نقش مهمی در فرآیندهای تجزیه زیستی بازی می‌کنند. از اینرو با بهینه سازی وضعیت pH، دما،

مقدار رطوبت خاک ، مقدار اکسیژن خاک و غلظت عنصرهای غذایی رشد جاندارانی که ماده آلاینده خاصی را متابولیز می‌کنند تحریک می‌شود.

یادداشتها:

1 - Bioremediation.

2 - Polychlorinated biphenyls (PCB).

3 - Polynuclear aromatic hydrocabons (PAH).

4 - Environmental protection agency (EPA).

5 - National priority list (NPL).

6 - Superfunds.

7 - Pentachlorophenol (PCE).

8 - Trichporoethylene (TCE).

9 - Gallionella.

10 - Polymeric hydrophobic.

11 - Inipol EAP 22.

12 - Pristane.

13 - Phytane.

منابع :

1 - Alexander. 1994. Biodegradation and bioremediation. Academic Press.

2 - Frankenberger, W. T., Jr. 1992. Environmental Science Lecture notes. University of California, Riverside printing and reprographics.

3 - King, R. B., Long G. M. and Sheldon J. K. 1992. Practical Environmental bioremediation. Lewis publishers.

4 - Pritchard, P. H. and Costa C. F. 1991. EPA's Alasca oil spill bioremediation project.

5 - The Bioremediation Report. 1992. Persian Gulf spill exceeds estimates. 1(8).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی