

# زیست پالایی

## 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 بازمانده فرایندهای شیمیایی خاص در خاک از شیوه‌های زیست پالایی استفاده کرده است. در دهه گذشته منابع چشمگیری به زیست پالایی پس ماندهای زیان آور اختصاص داده شده است. زیست پالایی فرآیندی است که به وسیله آن پویایی و یا سمیت ماده‌های آلوده را در یک مکان با بهره‌گیری از فرایندهای 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 دی‌اکسید 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 کارایی 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.

## مقدمه :

صنعتی به محیط وارد می‌شوند. بررسیها نشان می‌دهند که تعداد ۱۰۰۰۰۰۰ 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<sup>(۴)</sup> 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<sup>(۵)</sup> 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، برتریا 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 مهندسی محیط مطلبی آشناست و در تأسیسات تصفیه فاضلاب نقش مهمی ایفا

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، حاکی 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 زیان آور 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، کلروفلها، فلزهای سنگین، پلی کلرینهای بی‌فیل<sup>(۲)</sup> 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 آروماتیک<sup>(۳)</sup> 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

می‌کند (۱).

فرآورده طبیعی، صرفنظر از پیچیدگی آن، در یک محیط معین به وسیله یا چندگونه میکروبی تجزیه می‌شود. چه در غبر 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 به کار 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 به کار می‌رود.

بیشترین توجه هم اکنون در راستای نفت و فرآورده‌های نفتی معطوف شده است. در آمریکا زیست پالایی در بیش از ۲۰ مورد به کار گرفته می‌شود که هزینه پاکسازی هر کدام به روش سنتی دست کم ۲۰ میلیون دلار است<sup>(۱)</sup> (۲). ماده‌های شیمیایی که در این مکانها روی آن کار می‌شود اغلب هیدروکربنهای پلی آروماتیک، ماده‌های آلی فرار (بنزین، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن که جمعاً بتکس ۲ نامیده می‌شوند)، پنتاکلروفلن 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 دی‌اکسیدکربن و آب تبدیل نماید.

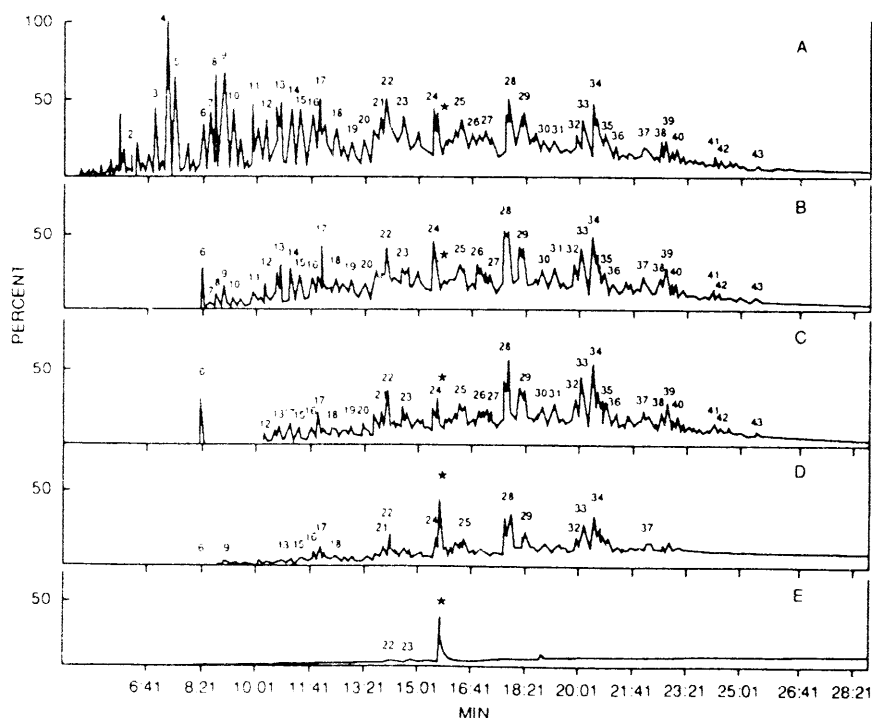
(ب) ریز جانداران یاد شده باید توان تبدیل ترکیب را به سرعتی معقول داشته باشند و غلظت مواد آلاینده را به سطحی

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 حشره کشها را نام برد. فرآورده‌های طبی در برگیرنده آنتی بیوتیکها، استروئیدها و ترکیبهای پیشرفته سرطان درمانی نیز زیر تأثیر فرایندهای میکروبی به وجود می‌آیند. سودجویی از میکروبوها 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	هزینه برای ۱ متر 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 سودجویی	
از آنها در زیست پالایی موضعی	۷۵-۲۰۰

فرایندهای میکروبی در سیستمهای گوناگون هوازی و بی‌هوازی برای تصفیه و پاکسازی پس مانده‌های 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



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 منحنی ها گونه های متفاوت PAHS را مشخص می کند و ستاره نشانگر ترکیبی است که به عنوان 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 فرآورده های سمی تولید کنند.
- (د) مکان آلوده نباید دارای غلظتها یا ترکیبهای شیمیایی باشد که برای گونه های 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 گونه ای باشد که رشد میکروبی یا فعالیت آنها را تشدید کند. برای مثال، تأمین کافی عناصر غذایی معدنی، اکسیژن کافی یا دیگر پذیرنده های 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 می توانند ماده شیمیایی مورد نظر را نابود سازند.
- درجه کارایی فرایند زیست پالایی را در خاکی که با نفت گاز آلوده است می توان در شکل ۱ مشاهده کرد.
- اگر زیست پالایی امکان پذیر است و کارایی دارد، پس چرا برخی ماده های آلی که در خاکهای آلوده و پس ماندها وجود دارند در محیط پایدار مانده اند؟ در پاسخ به این سؤال باید گفت که اگر چنانچه فاکتورهای نامطلوب و نابهینه حضور داشته باشند حتی ماده های آلی زیست تجزیه پذیر هم بی تغییر باقی می مانند. عاملهایی که ممکن است پالایی و تجزیه میکروبی را باز دارد می توان 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 می شوند).
  - ۳ - وضعیت شدید اسیدی یا قلیایی.
  - ۴ - نبود عنصرهای غذایی مانند، N، P، K و S یا عنصرهای دیگر (بسیاری از ماده های شیمیایی از دیدگاه تغذیه ای متوازن نیستند).

۵ - نبود اکسیژن یا دیگر پذیرنده‌های الکترون.

از این رو درک این مطلب 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 مانده‌ها 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 به کانی شناختی موضعی، هیدرولوژی، زمین شناسی، و شیمی آن مکان وابسته است. محدودیتهای مهم زیست پالایی در برگیرنده موارد زیر است: پارامترهای محیطی برای نگهداری رشد میکروبی باید مناسب باشند (pH، دما، وضعیت ردوکس، و عنصرهای غذایی)، بر پایه آگاهیهای جدید برخی از ماده‌های شیمیایی توسط عاملهای زیستی تجزیه پذیر نیستند؛ فرآورده‌های جنبی زیست تجزیه ممکن است سمی تر و پایدارتر از ترکیب اصلی باشند (مثال DDD، DDT)؛ 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 میکروارگانیسرها 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 بر کیفیت آب اثر نامطلوب بگذارد؛ دگرگونی یک ماده آلی سمی تضمینی برای تبدیل شدن آن به فرآورده‌های بی‌ضرر یا حتی کمتر زیان آور نیست. برای مثال دگرگونیهای زیستی بی‌هوازی که در مورد آلاینده‌های

متداول آبهای زیر زمینی مانند پنتاکلروفنل<sup>(۷)</sup> و تری کلرو اتیلن<sup>(۸)</sup> 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 روزه‌های 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 خوردگی را به وجود می‌آورد. در فرایندهای زیست پالایی برخی از ریز جانداران<sup>(۹)</sup> روزه‌های خاک را مسدود می‌کنند.

### برتریهای زیست پالایی:

- در محل قابل انجام است.
- پس ماند را به طور دائمی برطرف می‌سازد.
- سیستمهای زیستی ارزاترند.
- 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 زیان آور 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 والدز 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 ۶۸۰۰۰۰۰۰۰ بشکه ای 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<sup>(۱)</sup> به نام F-۱ و گونه ای باکتری دریایی که می توانست 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 باکترهایی 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 می شوند. 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 محلول پاشی 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 شنه های ساحلی از ۴۲۰۰ به ۸۰۰ میلی گرم در هر کیلوگرم رسید که یک کاهش ۸۱٪ را نشان می دهد. منطقه شاهد در طول دوره زمستان تجزیه ای کمتر از ۵ درصد را نشان داد.

برتری کود شیمیایی آب گریز نامحلول آن است که با نفت پیوند برقرار می کند و حتی بعد از طوفانهای دریایی و باران با آب رقیق نمی شود. از این رو افزایش کود تنها برای یک بار کافی است. کاستی این روش آن است که به باکتریهای ویژه ای 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 بی نظیری برای توجیه پذیری زیست پالایی فراهم آورد. این رویداد سبب شده 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 اندازه ای بهبودی می بخشد که از این شیوه به صورت ابزار مکملی بر پاکسازی استفاده شود؟ از این رو گروهی از کارشناسان مختلف دست به کار شدند.

گزینش کود شیمیایی براساس استراتژیهای کاربرد، دشواریهای تدارکاتی برای کاربرد در مقیاس وسیع، فراهمی تجارتي 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 کود کندرها به صورت قطعه هایی به اندازه ذغال قالبی با نسبت کودی N:P:K برابر 14:3:3 و دانه ای (قطر ۲-۳ میلیمتر) با نسبت 28:8:0 برگزیده شد. که اوره را به وسیله هیدرولیز شیمیایی آنی ایزوبوتیلیدین دی اوره آزاد می کند. فرض این است که این اوره توسط فعالیت اوره آز میکروبی سرعت به آمونیاک تبدیل می شود. فسفر نیز با شیوه ای مشابه آزاد می شود.

کود دانه ای با غلظت ۹۰ گرم بر متر مربع در سطح پاشیده شد. کودهای قالبی در کیسه های 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 کیسه ها توسط طناب با میله ای 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

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 اما کارآیی آنها در تجزیه مواد نفتی به وسیله فراهمی عناصر غذایی ازت و فسفر محدود می‌شود. افرودن 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 نیامد و سبب آزاد شدن بنایای نفتی تجزیه نشده از سواحل نگردد. 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،

پایدار بماند. برای این منظور از اینیپول<sup>(۱۱)</sup> 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 و به نسبت تقریبی ۴/۰ 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 نترات آمونیوم (34:0:0) و سوپر فسفات تریپل (0:45:0) سود برده شد.

اینیپول و کود قالبی در کرت‌های به اندازه  $28 \times 14$  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 (هوازدگی 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 پرستان<sup>(۱۲)</sup> و فیتان<sup>(۱۳)</sup>) 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

12 - Pristane.

مقدار رطوبت خاک ، مقدار اکسیژن خاک و غلظت عنصرهای

13 - Phytane.

غذایی رشد جاندارانی که ماده آلاینده خاصی را متابولیز می کنند  
تحریک می شود.**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).**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.