

# کاربرد باکتری‌های عامل خوردگی در پاکسازی برخی آلاینده‌های محیط زیست (محصولات پتروشیمی)

روحا کسرای کرمانشاهی\* و الهه مبارک قمصری

ایران، تهران، دانشگاه الزهرا(س)، دانشکده علوم زیستی، گروه میکروبیولوژی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۶

## چکیده

خوردگی تحت اثر میکروارگانیسم‌ها یکی از انواع خوردگی می‌باشد که در آن میکروارگانیسم‌ها واکنش‌های عامل خوردگی را شروع، تسهیل یا تسریع می‌کنند. در اکثر مواقع جنبه منفی باکتری‌های عامل خوردگی مورد تحقیق قرار گرفته است. در این مقاله مروری، به توانمندی مثبت باکتری‌های عامل خوردگی، به عنوان فرصتی برای پاکسازی و تجزیه‌ی زیستی تعدادی از آلاینده‌های آلی محیط زیست پرداخته می‌شود. نتایج نشان داد که باکتری‌های عامل خوردگی قادرند سبب تجزیه زیستی و پاکسازی محصولات پتروشیمی مانند هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای (PAH)، و پلیمر پلی‌یورتان شوند. به عنوان مثال، جنس سودوموناس شامل بسیاری از باکتری‌های هوازی تجزیه‌کننده نفتالین بوده و ۸۶/۹ درصد از میکروارگانیسم‌های تجزیه‌کننده هیدروکربن موجود در سفره‌های زیرزمینی آلوده به بنزین را تشکیل می‌دهد. پنج مسیر تجزیه زیستی هوازی مختلف برای تولوئن که هر یک از طریق فعالیت اکسیژناز تکی یا دو تایی شروع می‌شود، وجود دارد. همچنین مسیر تجزیه‌ی بی‌هوازی تولوئن به بنزویل کوآنزیم A در تعدادی از باکتری‌ها که عامل خوردگی می‌باشند مانند رودوکوکوس، سودوموناس پوتیدا و سودوموناس فلورسنس یافت شده است. در میان باکتری‌ها، برخی از ارگانیسم‌های تجزیه‌کننده پلی‌یورتان که به خوبی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند عبارتند از *Acinetobacter*، *Bacillus subtilis*، *Corynebacterium*، *Comamonas acidovorans* و اعضای جنس *Pseudomonas*. با توجه به شناسایی مسیرهای تجزیه زیستی آلاینده‌های پتروشیمی در محیط زیست و اینکه مواد حدواسط به وجود آمده از آن‌ها بی‌خطر هستند و با در نظر گرفتن عدم اثر مضر بر موجودات زنده، استفاده از این گروه از باکتری‌های عامل خوردگی جهت پاکسازی آلاینده‌ها در محیط‌های خاک و آب پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌ها، خوردگی، آلاینده‌های محیط زیست، هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای

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

## مقدمه

هم‌چنین پلیمر پلی‌یورتان و برخی تولیدات پتروشیمی می‌باشد (۳، ۶). در ادامه به تجزیه زیستی تعدادی از آلاینده‌ها در محیط زیست توسط باکتری‌ها پرداخته می‌شود. تغییر حالت ترکیبات آلی آلاینده توسط میکروارگانیسم‌ها به چند دسته تقسیم می‌شود که عبارت است از تجزیه زیستی، کومتابولیسم، انباشت، تاثیر ثانویه فعالیت‌های میکروبی، پلیمری شدن.

آلودگی‌های آلی شامل طیف وسیعی از ترکیبات آلی است که عمدتاً بر اثر فرآیندهای صنعتی تولید و وارد خاک و آب می‌شوند. آلاینده‌های آلی در مقایسه با ترکیبات معدنی (غیر از رادیواکتیو) عمدتاً از اثرات مخرب زیست محیطی گسترده‌ای برخوردار هستند. مهم‌ترین آلاینده‌های آلی شامل نفت و مشتقات آن، ترکیبات ناشی از فرآیندهای سوخت ناقص هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای و

## هیدروکربن‌ها و تجزیه زیستی آن‌ها توسط باکتری‌ها

ترکیبات آلی که فقط حاوی کربن و هیدروژن می‌باشند، هیدروکربن نامیده می‌شوند. این مواد فرآورده های طبیعی هستند که به فراوانی بصورت آلیفاتیک و آروماتیک یافت می‌شوند مانند متان یا بنزن که از ترکیبات ساده این گروه هستند و مولکول‌های بزرگ که شامل نفت و ذغال سنگ می‌باشند. مشخصه هیدروکربن‌ها تجزیه زیستی آن‌هاست که در شرایط هوازی انجام می‌شود. مرحله اول در تجزیه هیدروکربن توسط باکتری، وارد شدن اکسیژن به داخل مولکول با آنزیم اکسیژناز است. واکنش‌های اکسیداسیون یک یا دو گروه OH- به داخل ساختار هیدروکربن وارد می‌سازند. هیدروکربن برای هر گروه OH- اضافه شده توسط دو الکترون اکسید می‌شود ولی ارگانسیم‌ها الکترون-ها را به صورت NADH بازیابی نمی‌کنند. در حقیقت واکنش‌های مونواکسیژناسیون که یک OH- اضافه می‌کنند، یک NADH مصرف می‌نمایند. هیدروکربن‌های حلقوی در غیاب اکسیژن تجربه زیستی می‌شوند (۲۱). در مسیرهای متابولیسمی این روش از اکسیژن آب یا کربوکسیلات به داخل حلقه آروماتیک استفاده می‌شود. البته امروزه مشخص شده که هیدروکربن‌های آلیفاتیک هم تحت شرایط بی‌هوازی در غیاب اکسیژن تجزیه می‌شوند. در اینجا تجزیه زیستی هوازی و بی‌هوازی هیدروکربن‌های خطرناک یعنی ترکیبات BTEX و هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAH) به عنوان نمونه‌هایی از تجزیه زیستی آن‌ها ارائه می‌گردد (۲، ۲۵).

هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAH) مانند آنتراسن، نفتالن و فناترن، سمی‌ترین و سرطان‌زاترین آلاینده‌ها بوده و آسیب‌های جدی به محیط زیست وارد می‌کنند. این ترکیبات غالباً توسط صنایع پتروشیمی به محیط زیست تخلیه می‌شوند. ولی منابع دیگری نیز باعث وارد شدن آن‌ها به اکوسیستم‌های آب و خاک می‌گردد مانند صنایع داروسازی، رنگ، لاستیک، پلاستیک، فاضلاب

تجزیه زیستی توسط میکروارگانسیم‌ها تابع موارد زیر می‌باشد:

- ۱) تماس اولیه که باعث جذب یا دسترسی فیزیکی به بستره می‌شود.
- ۲) ترشح آنزیم‌های خارج سلولی جهت تجزیه بستره‌ها، بخصوص پلیمرها.
- ۳) جذب بستره های محلول یا فرآورده های حاصل از هیدرولیز پلیمرها از طریق سیستم های انتقال.
- ۴) متابولیسم درون سلولی که اغلب قابل القا بوده و توسط پلاسمیدها رمزگذاری شده است.
- ۵) بسیاری از فرایندهای تجزیه زیستی تنها بر اساس یک ارگانسیم عمل نمی‌نمایند و در اکثر موارد همیاری چند میکروارگانسیم استفاده می‌شوند، دستکاری ژنتیکی این نوع میکروارگانسیم‌های تجزیه کننده می‌تواند باعث بهبود سرعت تجزیه زیستی شود (۱، ۵).

## روش کارهای به کار رفته در این پژوهش‌ها

در این مطالعه مروری که در سال‌های اخیر انجام شده است از تعدادی مقالات مربوط به تحقیقات انجام شده توسط نویسندگان مقاله و کار محققان دیگر در زمینه تجزیه‌ی زیستی تعدادی از آلاینده‌های شیمیایی در محیط زیست در پایگاه‌های اطلاعاتی مختلف استفاده شد. معیارهای ورود به مطالعه که برای انتخاب هر مقاله جهت بررسی اعمال شد شامل مرتبط بودن با هدف مطالعه، کیفیت مناسب مطالب ارائه شده در مقاله و در دسترس پذیر بودن داده‌های مورد نیاز در مقاله بود.

## نتایج و بحث

در اینجا تجزیه زیستی تعدادی از آلاینده‌ها در محیط زیست توسط باکتری‌های عامل خوردگی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## تجزیه زیستی هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs)

PAH هیدروکربن‌های معطر با دو یا چند حلقه بنزن هستند. آن‌ها آلاینده‌های محیطی پراکنده‌ای هستند که اثرات زیستی مضر، سمیت، جهش‌زایی و سرطان‌زایی دارند. با توجه به مقاومت ناپذیری، پتانسیل تجمع زیستی و فعالیت سرطان-زایی PAH ها نگرانی‌های زیست محیطی قابل توجهی را به خود جلب کرده اند. اگرچه PAH ممکن است تحت جذب، تبخیر، فتولیز و تخریب شیمیایی قرار گیرد، تخریب میکروبی فرآیند اصلی تخریب است. تجزیه PAH به شرایط محیطی، تعداد و نوع میکروارگانیسم‌ها، ماهیت و ساختار شیمیایی ترکیب شیمیایی در حال تجزیه بستگی دارد (۲۴). آن‌ها از طریق معدنی سازی به مواد معدنی،  $H_2O$ ،  $CO_2$  (هوازی) یا  $CH_4$  (بی‌هوازی) به متابولیت‌های با پیچیدگی کمتر تبدیل می‌شوند و سرعت تجزیه زیستی به pH، دما، اکسیژن جمعیت میکروبی، درجه سازگاری، دسترسی به مواد مغذی بستگی دارد. تعدادی از گونه‌های باکتریایی شناخته شده اند که PAHs را تجزیه می‌کنند و بیشتر آن‌ها از خاک یا رسوبات آلوده جدا شده اند (۲۲). سودوموناس آئروژینوزا، سودوموناس فلورسنس، مایکوباکتریوم، هموفیلوس، رودوکوکوس، پانی باسیلوس برخی از باکتری‌های تجزیه کننده PAH هستند که معمولاً مورد مطالعه قرار می‌گیرند. آنزیم‌های دخیل در تجزیه PAHs اکسیژناز، دهیدروژناز و آنزیم‌های لیگنولیتیک هستند. تجزیه زیستی PAHs در هر دو شرایط هوازی و بی‌هوازی مشاهده شده است و میزان آن را می‌توان با پیش تیمار فیزیکی شیمیایی خاک آلوده افزایش داد. افزودن باکتری‌های تولیدکننده بیوسورفکتانت و روغن‌های سبک می‌تواند شرایط تجزیه زیستی PAHs و پتانسیل متابولیک جامعه باکتریایی را افزایش دهد. فعالیت‌های زیستی فشرده در چنین اکوسیستمی منجر به نرخ بالایی از فرآیندهای اتوتروف و هتروتروف می‌شود که باعث تخریب قابل توجهی می‌گردد. باکتری بی‌هوازی احیا کننده سولفات و

های صنعتی، خانگی و سایر صنایع که این امر بطور مستقیم یا غیر مستقیم به انسان منتقل و عوارض متعددی از جمله سرطان را منجر می‌گردد. علاوه بر سه ماده فوق الذکر فلورن، کریزن، فلورانتن، پیرن و مشتقات آن‌ها را نیز می‌توان نام برد (۲۶).

ترکیبات (PAH) دارای منشا آلودگی‌های متفاوتی هستند. تولید این ترکیبات از سه طریق صورت می‌گیرد. منشا سوختی با احتراق ناقص، منشا نفتی، منشا دیاژنتیک که بر اثر فرآیندهای تجزیه مواد آلی و محصولات آن منجر به تولید PAH می‌شوند.

ته نشین شدن مواد آلی در رسوبات، باقی ماندن آن‌ها به مدت طولانی و در نهایت تجزیه آن‌ها منجر به تولید نفت و یا ذغال سنگ می‌شوند. برای برطرف نمودن آلاینده‌های نفتی راه حل‌های زیستی و غیر زیستی مطرح می‌باشد. فناوری پاکسازی پسماندهای نفتی و صنعتی متنوع بوده و مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

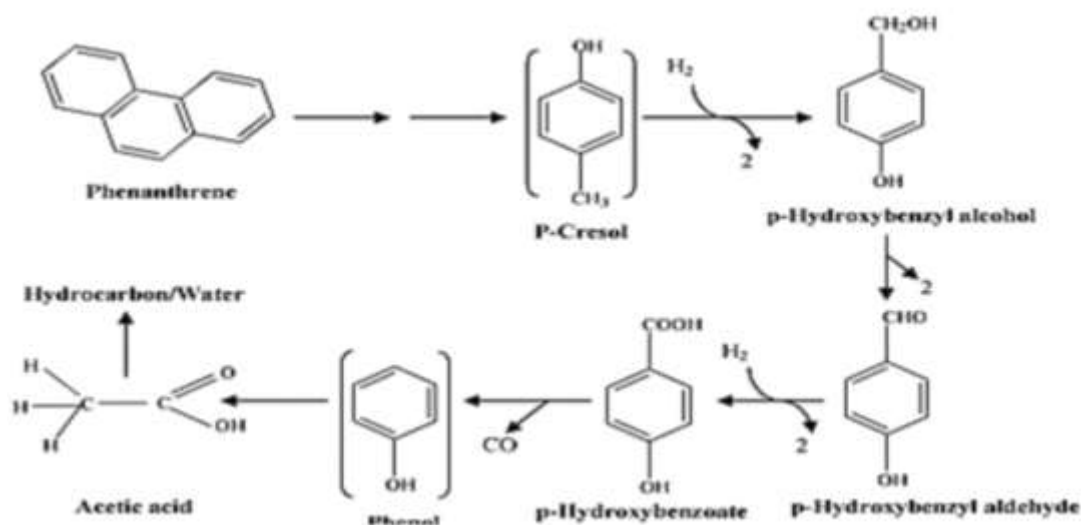
- (۱) روش ترومیک: سوزاندن مواد و پسماندها
- (۲) روش فیزیکی: مدفون کردن پسماندها
- (۳) روش شیمیایی: محلول کردن پسماندها
- (۴) روش فیزیکوشیمیایی: استفاده از عواملی مانند واکنشگرها
- (۵) روش زیستی: تخریب و تجزیه توسط میکروب‌ها

پاکسازی زیستی یکی از روش‌های اصلی پاکسازی محیطی می‌باشد که در این روش از موجودات زنده به ویژه باکتری‌ها، قارچ‌ها و گیاهان به منظور تجزیه آلاینده‌های محیطی و تبدیل آن‌ها به ترکیبات غیر سمی استفاده می‌شود (۷، ۲۱).

در ادامه به تجزیه زیستی (PAH) توسط باکتریها پرداخته می‌شود.

مرکزی تبدیل می‌شوند. در شرایط بی‌هوازی واسطه‌های اصلی بنزوات یا بنزوئیل-CoA و به میزان کمتری، زوروسینول و فلوروگلوکوسینول هستند. واکنش‌های درگیر در فرآیندهای کانالی که منجر به واسطه‌های مرکزی می‌شوند شامل کربوکسیلاسیون، دکربوکسیلاسیون، هیدروکسیلاسیون، دهیدروکسیلاسیون کاهشی، دامیناسیون، دکتوریناسیون، برش آریل اتر و واکنش‌های لیاز می‌باشد. واسطه‌های معطر مرکزی به طور تقلیلی مورد حمله قرار می‌گیرند و با هیدرولیز شکافته می‌شوند. محصولات غیر حلقوی حاصل با اکسیداسیون p به متابولیت‌های مرکزی تبدیل می‌شوند. در شکل (۱) نمونه‌ای از تجزیه‌ی زیستی بی‌هوازی فنانترن نشان داده شده است (۲۰). در سال ۲۰۰۲ کسرای کرمانشاهی و همکاران باکتری‌های تجزیه‌کننده فنانترن و آنتراسن را جداسازی و متابولیت‌های حاصل از تجزیه‌ی زیستی آن‌ها را تعیین نمودند (۵).

نیترا ت قادر به تجزیه PAHs هستند. بیشتر باکتری‌ها از جنس سودوموناس هستند. جنس سودوموناس شامل بسیاری از باکتری‌های هوازی تجزیه‌کننده نفتالین است و ۸۶/۹ درصد از میکروارگانیسم‌های تجزیه‌کننده هیدروکربن موجود در سفره‌های زیرزمینی آلوده به بنزین را تشکیل می‌دهد. تجزیه و تحلیل فیلوژنتیک باکتری‌های کاهش دهنده گوگرد تجزیه‌کننده PAH نشان داد که ارگانیسم‌های تجزیه‌کننده غالباً متعلق به جنس *Desulfobacterium* است. از تمام مطالعات انجام شده تا به امروز بر روی ترکیبات معطر مختلف مانند فنل‌ها، کرزول‌ها، آنیلین‌ها، بنزوات‌ها، تولوئن، بنزن، زایلن‌ها، ترکیبات نیتروآروماتیک و کلردار و بسیاری دیگر، می‌توان نتیجه گرفت که باکتری‌های بی-هوازی از استراتژی مشابه با باکتری‌های هوازی پیروی می‌کنند (۳). ابتدا ترکیبات معطر متنوع به چند واسطه مرکزی تبدیل می‌شوند. متعاقباً حلقه معطر فعال و شکافته می‌شود و ترکیبات غیر حلقوی حاصل به متابولیت‌های



شکل ۱- مسیر پیشنهادی تجزیه‌ی بی‌هوازی فنانترن توسط باکتری‌های احیا کننده سولفات

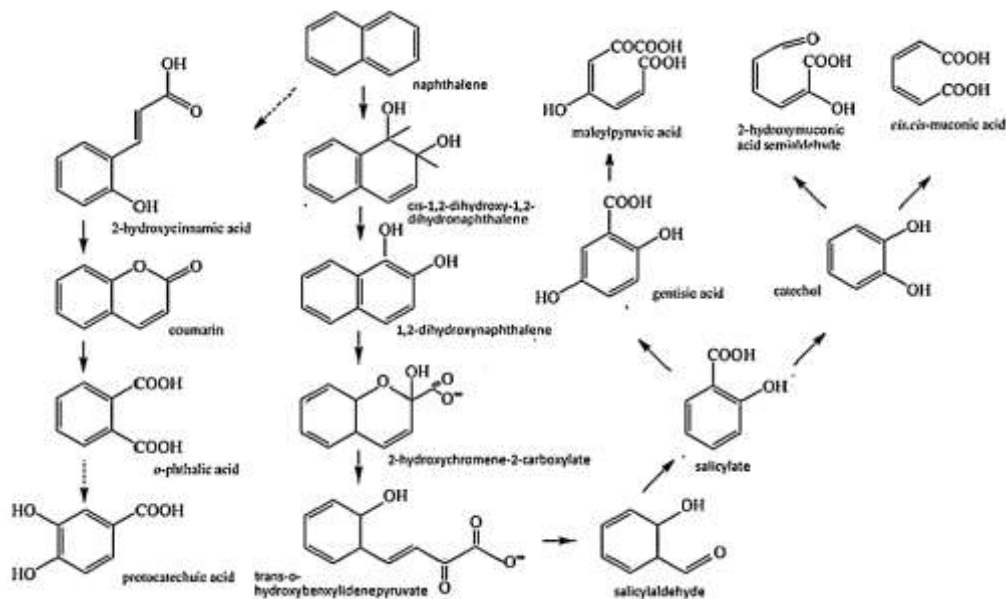
محیط طبیعی تخریب میکروبی آن‌ها است. برای اولین بار مسیر تجزیه نفتالین در سودوموناس‌ها بررسی شد. مشخص شد که سالیسیلات یک واسطه کلیدی است. برای مدتی این مسیر به عنوان اصلی‌ترین مسیر در تخریب باکتریایی نفتالین در نظر گرفته می‌شد. باکتری‌هایی مثل

### تجزیه زیستی هوازی نفتالین

نفتالین مانند سایر PAH از طریق احتراق ناقص ترکیبات آلی، تجزیه در اثر حرارت، نشت نفت، فرآوری نفت، دفع زباله‌های خانگی و استفاده از دئودورانت‌ها در محیط آزاد می‌شود. یکی از راه‌های اصلی سم زدایی چنین ترکیباتی در

جهت تجزیه زیستی *N*-هگزان بکار ببرند. زیرا امروزه هیدروکربن‌ها دارای پراکندگی وسیعی در محیط زیست هستند و علت آن نیز کاربرد بسیار زیاد محصولات نفتی بوده و ترمیم زیستی یکی از فناوری‌های تیمار مکان‌های آلوده با هیدروکربن‌ها می‌باشد. در پژوهش مزبور این باکتری توانست در شش روز ۶۳ درصد از *N*-هگزان را تجزیه نماید و آنرا تبدیل به موادی با خطر کمتر نماید (۲۵).

*Pseudomonas* ، *Pseudomonas putida*، *Arthrobacter naphthovorans* ، *Bacillus fusiformis stutzeri* ، *Sphingomonas* ، *Rhodococcus* ، *Neptinomonas* تجزیه نفتالین به شکل هوازی می‌باشند (۴، ۶). در شکل ۲ مسیر تجزیه هوازی نفتالین نمایش داده شده است. در سال ۲۰۱۵ شیری و همکاران توانستند باکتری *Acinetobacter baumannii* kss1060 که از پساب کارخانه پتروشیمی جداسازی و شناسایی کرده بودند را برای تیمار پساب آن



شکل ۲- تجزیه زیستی هوازی نفتالین

توسط اکسیژن‌های مولکولی و مرحله دوم تجزیه مولکول پر انرژی به  $CO_2$  و آب. مانند هیدروکربن‌ها، اولین مرحله اکسیداسیون مشکل بوده و مستلزم وجود اکسیداز همراه با اکسیژن مولکولی و انرژی به صورت NADH می‌باشد. اکسیدازهای مختلف می‌توانند شروع کننده تجربه BTEX باشند. در شکل (۳) چهار واکنش منواکسیژناسیون و یک واکنش دی‌اکسیژناسیون تولون نشان داده شده است. دی-اکسیژنازها در هر بار دو اتم اکسیژن (دومین مسیر از بالا) اضافه می‌کنند. در حالیکه مسیر اکسیژناز در هر بار یک اتم اکسیژن به حلقه (سه واکنش زیر) یا گروه متیل (واکنش بالایی) اضافه می‌نماید و تقریباً همه‌ی مسیرهای هیدروکربن‌های آروماتیک (تا جایی که در آن دو گروه

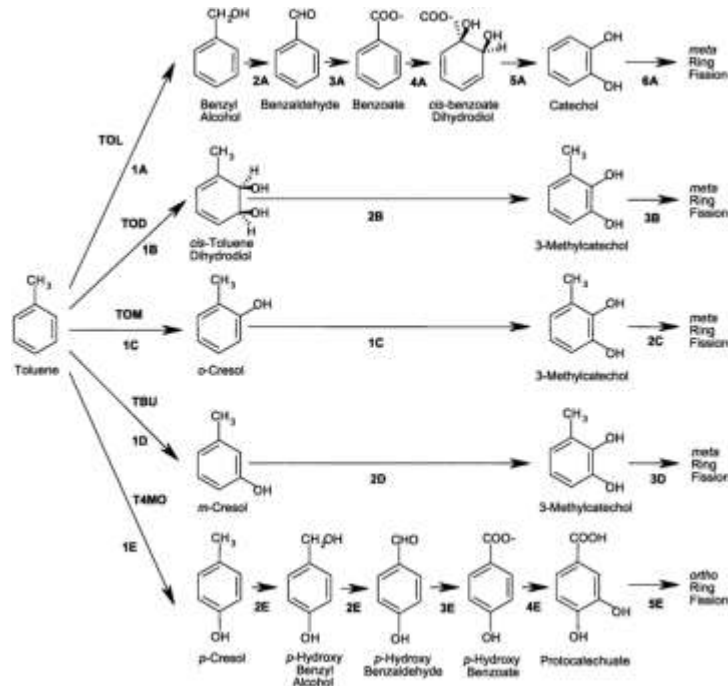
### تجزیه ی زیستی تولون توسط باکتری‌ها

تولون یا متیل بنزن، یک هیدروکربن آروماتیک معطر می‌باشد. این مایع شفاف بی رنگ و محلول در آب است. این ماده به عنوان یک حلال آلی استفاده می‌شود. ولی ماده شیمیایی معدنی مانند گوگرد را نیز حل می‌کند. تولون یک هیدروکربن با فرمول ( $C_7H_8$ ) می‌باشد و حلال صنعتی برای ساخت رنگ، مواد شیمیایی، دارو سازی و لاستیک بوده و یک ترکیب سمی برای انسان و محیط زیست می‌باشد.

تجزیه زیستی توسط گونه‌های هوازی در دو مرحله صورت می‌گیرد. یکی اکسیداسیون گروه عاملی کتون

دوتایی مجاور (شکافت متو) شکسته می‌شود. حاصل این امر تشکیل ترکیبات آلیفاتی کربوکسیلی است که می‌توانند در اثر واکنش‌های هیدروژن زدا و هیدروکسیلاسیون بیشتر اکسیده شود (۲۱).

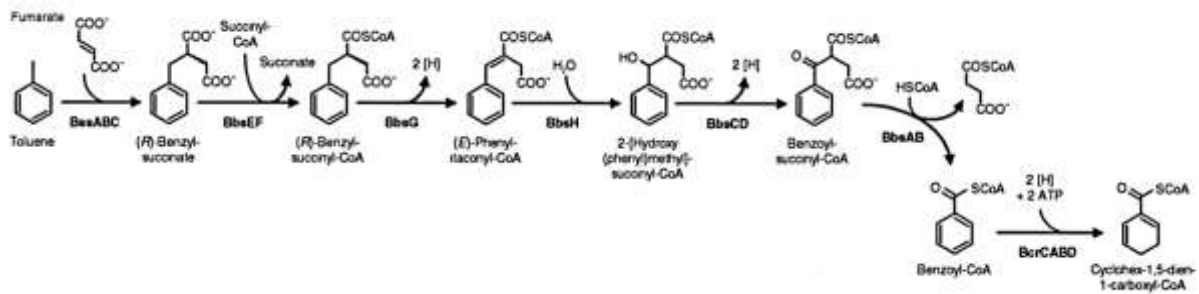
هیدروکربن مجاور یکدیگر در حلقه قرار گیرند) حاوی واکنش‌های اکسیداسیون هستند. آنگاه حلقه در اثر اضافه شدن اکسیژن بیشتر بین دو کربن متصل شده و به گروه‌های هیدروکسیل (شکافت ارتو) یا در یکی از دو پیوند



شکل ۳- پنج مسیر تجزیه زیستی هوازی مختلف برای تولوئن که هر یک از طریق فعالیت اکسیژناز تکی یا دو تایی همراه با اکسیژن مولکولی شروع می‌شود.

به پیوند دوگانه یک سوبسترای کاتالیز می‌کند. آنزیم‌های شرکت کننده در اکسیداسیون  $\beta$  بنزیل سوکسینات ناشناخته هستند. شکل (۴) مسیر تجزیه بی‌هوازی تولوئن به بنزوئیل کوآنزیم A توسط باکتری‌های *Thauera aromatic*, *Denitrifying bacterium*, *Methanogenic consortium* را نشان می‌دهد (۲). مطالعات محدودی در زمینه شناسایی سویه‌های دنیتریفایر که توانایی رشد در حضور تولوئن در هر دو شرایط هوازی و بی‌هوازی گزارش شده است اما جزئیات مسیرهای مورد استفاده شناخته نشده است. به عنوان مثال باکتری دنیتریفایر *Azoarcus evansii* تجزیه ۲-آمینوبنزوات، بنزوات و فنیل استات را با تیواستریفیکاسیون CoA در هر دو شرایط هوازی و بی‌هوازی آغاز می‌کند و از مجموعه‌های مختلفی از آنزیم‌ها استفاده می‌شود (۲۱، ۲۶).

یافته جدید این است که ترکیبات BTEX را می‌توان تحت شرایط بی‌اکسیژن تجزیه زیستی نمود. اولین گزارش از بین رفتن زایلین در یک توده بی‌هوازی منتشر شد. یکی از این مسیرها برای تولوئن در شکل (۴) آورده شده است. پدیده قابل توجه ورود اکسیژن از طریق اضافه کردن فومارات به مولکول می‌باشد. فومارات به عنوان فرآورده میانی در تجزیه بی‌هوازی تولوئن تشکیل می‌شود. اضافه شدن فومارات نمونه‌ای از موقعیت کلی اضافه کردن گروه‌های کربوکسیلات (فومارات دو گروه کربوکسیلات دارد). به عنوان روشی برای اضافه کردن اکسیژن به مولکول آروماتیک در غیاب  $O_2$  می‌باشد. مسیر اکسیداسیون بی‌هوازی تولوئن به بنزوئیل کوآنزیم A (benzoyl-CoA) شامل یک واکنش اولیه است که توسط بنزوئیل سوکسینات سنتاز، یک آنزیم رادیکال گلاسیل که گروه متیل تولوئن را



شکل ۴- مسیر تجزیه‌ی بی‌هوازی تولوئن به بنزوئیل کوآنزیم A. تعدادی از باکتری‌ها که عامل خوردگی بوده و قادر به حذف تولوئن هم می‌باشند مانند رودوکوکوس، سودوموناس پوتیدا و سودوموناس فلورسنس

### پلیمرها و تأثیر باکتری‌ها بر روی آن‌ها

امروزه با توجه به مصرف بسیار زیاد پلیمرهای مقاوم به تخریب زیستی، تجمع ضایعات پلیمری در طبیعت به وجود آمده است. یکی از پلیمرها که در ساخت لاستیک اتومبیل، سوخت جت و غیره کاربرد دارد پلیمر پلی یورتان می‌باشد که برای این نوع پلیمرها تا وقتی که مورد استفاده می‌باشد، حفاظت از تخریب زیستی آن‌ها در انبارها اهمیت داشته، ولی بعد از مصرف باید بتوان آن‌ها را از محیط زیست پاکسازی نمود. پلی یورتان در ساختار خود دارای پیوند یورتانی می‌باشد که این پیوندها به هیدرولیز توسط آنزیم‌های میکروبی حساس می‌باشند. در میان باکتری‌ها، برخی از ارگانیزم‌های تجزیه‌کننده پلی یورتان که به خوبی مورد مطالعه قرار گرفته اند عبارتند از: *Corynebacterium*, *Bacillus subtilis*, *Acinetobacter*, *Pseudomonas* و اعضای جنس *Comamonas acidovorans* (۲۳). در این راستا کسرهای کرمانشاهی و همکاران در سال ۱۹۹۳ باکتری‌ها و قارچ‌هایی که سبب زیست تخریب پلیمر پلی یورتان، نوع الاستومر پلی اتری می‌شدند را جداسازی و شناسایی و به مدت شش ماه اثرات آن‌ها را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که تغییرات ساختار پلیمر پلی یورتان مورد آزمایش، بستگی به شرایط محیطی اعمال شده در آزمایش دارد (۴، ۵). کسرهای کرمانشاهی و همکاران در سال ۱۹۹۵ نشان دادند که هشت گونه از باکتری‌های گرم مثبت توانایی تجزیه زیستی پلیمر پلی یورتان را دارند که اثر

تخریب‌کنندگی باکتری‌های مزبور بر روی پلیمر پلی یورتان یکسان نبوده و از این نظر به چهار دسته تقسیم می‌شوند که در هر گروه بر روی پیوند خاصی از پلیمر اثر گذاشته و آن را می‌شکنند. تعدادی از این باکتری‌ها عامل خوردگی هم می‌باشند اما می‌توان برای پاکسازی محیط زیست استفاده شوند (۶).

کسرهای کرمانشاهی و همکاران در سال ۱۹۹۹ گزارش دادند جهت پایدار سازی این پلیمر در برابر زیست تخریب باکتریایی اثر پرتو دهی در ناحیه فرابنفش (uv) با طول موج ۷,۲۵۳ نانومتر و شدت ۱۵۲  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  در مدت زمان‌هایی حدود ۵۵ تا ۶۰ دقیقه برای جلوگیری از تخریب باکتریایی بطور تقریباً کامل مؤثر است (۲). کسرهای کرمانشاهی و همکاران در سال ۲۰۰۲ از روش‌های مختلفی جهت جلوگیری از تخریب زیستی پلیمر پلی یورتان پلی اتری توسط هشت گونه باکتریایی که قبلاً آن‌ها را شناسایی و جداسازی کرده بودند و اثر تخریبی آن‌ها را نشان داده بودند، استفاده نمودند (۳). در روش اول از عوامل شیمیایی برای پوشاندن سطح پلیمر از محلول‌های آهن کلرید فریک، هیپو کلریت سدیم و بی کربنات سدیم استفاده نمودند و در روش دوم، در پلیمر مزبور ایجاد خاصیت ضد میکروبی با بکارگیری سولفات فرو در طی فرآیند تولید پلیمر استفاده شد و به این ترتیب پلیمر در برابر تخریب زیستی باکتری‌های مزبور مقاوم گردید که این امر جهت نگهداری این پلیمر در انبارها به کار گرفته شد.

## نتیجه گیری

بکارگیری این باکتری‌ها در محیط زیست باید با رعایت کلیه جوانب کار نظیر عدم تاثیر آن‌ها بر اکوسیستم محیط زیست مورد نظر مانند فلورهای میکروبی مفید خاک صورت گیرد. لازم است مسیر تجزیه زیستی ماده آلاینده و مواد حد واسط به وجود آمده شناخته شود و مواد حاصل از تجزیه نباید سمی‌تر از آلاینده اولیه باشد. همچنین هزینه تولید انبوه و صنعتی باکتری‌های مورد نظر باید مناسب و قابل قبول باشد.

تعدادی از باکتری‌های عامل خوردگی مانند برخی از جنس‌های خانواده *Bacillus*، *Acinetobacter*، *Pseudomonas*، *subtilis* توانایی حذف و تجزیه زیستی برخی از آلاینده‌های محیط زیست را دارا می‌باشند. برای اینکه تجزیه زیستی توسط این باکتری‌ها انجام گیرد باید کلیه شرایط محیطی مکان جداسازی سویه‌ها از قبیل مواد غذایی، pH، دما و میزان اکسیژن در نظر گرفته شود. علاوه بر این

## منابع

- ۱- احمدی، م.، ترکیان، الف. ۱۳۸۶. بیوتکنولوژی زیست محیطی: مبانی و کاربردها. دانشگاه صنعتی شریف، موسسه انتشارات علمی
- ۲- کسری کرمانشاهی، ر.، صهبایی، ز.، میرمحمدصادقی، م. ۱۳۷۸. بررسی اثر پرتوهای فرابنفش بر پایداری پلی یورتان در برابر زیست تخریب باکتریایی. مجله علوم و تکنولوژی پلیمر. ۱۲(۳): ۱۸۹-۲۰۱.
- ۳- کسری کرمانشاهی، ر.، صهبایی، ز.، میرمحمدصادقی، م. ۱۳۸۱. بررسی بازدارندگی تخریب زیستی نوعی پیوند دهنده پلی یورتان با بکارگیری برخی عوامل شیمیایی. مجله علوم و تکنولوژی پلیمر. ۵۹(۱۵): ۱۶۷-۱۷۸.
- ۴- کسری کرمانشاهی، ر.، میرمحمدصادقی، م.، ذوالنوریان، م. ۱۳۷۲. زیست تخریب پلیمرهای پلی یورتان توسط قارچها. مجله علوم و تکنولوژی پلیمر. ۴(۴): ۲۶۷-۲۷۲.
- 8-Alexander M. (1994). Biodegradation and bioremediation. Academic Press. San Diego.
- 9-Ambrosoli, Petruzzelli RL, Minati JL, Marsan FA. (2005). Anaerobic PAH degradation in soil by a mixed bacterial consortium under denitrifying conditions. Chemosphere. 60 (9):1231-1236.
- 10-Beller HR, Spormann AM. (1997). Benzyl Succinate pormatons a mean of Anaerobic Toluene activation by sulfate reducing strain PrTOL1. Appl Environ Microbiol. 63: 3729-3731.
- 11-Chen G, Strevett KA, Vanegas BA. (2001). Naphthalene, phenanthrene and surfactant biodegradation. Biotechnology. 19: 783-790.
- 12-Criddle CS. (1993). The kinetics of cometabolism. Biotechnol Bioeng. 41(11):1048-1056.
- 13-Daane LL, Harjono I, Barns SM, Launen LA, Palleroni NJ, Haggblom MM. (2002). PAH-degradation by *Paenibacillus* spp. and description of *Paenibacillus naphthalenovorans* sp. nov., a naphthalene degrading bacterium from the rhizosphere of salt marsh plants. Int J Syst Evol Microbiol. 52: 131-139.
- 14-Ghosal D, Ghosh S, Dutta TK, Ahn Y. (2016). Current state of knowledge in microbial degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): A review. Front Microbiol. 7: 1369.
- 15-Haritash AK, Kaushik CP. (2009). Biodegradation aspects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs): A review. J Hazard Mater. 169:1-15.
- 16-Hassanshahian M, Emtiazi G, Kermanshahi RK, Cappello S. (2010). Comparison of oil degrading microbial communities in sediments from the Persian Gulf and Caspian Sea. Soil Sediment Contam. 19(3): 277-291.
- 17-Kasra Kermanshahi R, Sahbai Z, Mir Mohammad Sadeghi M. (1995). Biological Corrosion of Polyurethane Polymer by a Number of Bacteria, 4th National Corrosion Congress of Iran, 5: 1-19.
- 18-Li Y, Xub D, Chena C, Li X, Jia R, Zhang D. (2018). Anaerobic microbiologically influenced corrosion mechanisms interpreted using bioenergetics and bioelectrochemistry: A review. J Mater Sci Technol. 34(10): 1713-1718.

- 19-Megharaj M, Ramakrishnan B, Venkateswarlu K, Sethunathan N, Naidu R. (2011). Bioremediation approaches for organic pollutants: a critical perspective. *Environment International*. 37: 1362–1375.
- 20-Mohamed M E, A. Zaar, C. Ebenau-Jehle, and G. Fuchs. (2001). Reinvestigation of a new type of aerobic benzoate metabolism in the proteobacterium *Azoarcus evansii*. *J Bacteriol*. 183: 1899-1908.
- 21-Mulkins-Phillips GJ, Stewart J. (1974). Effect of four dispersants on biodegradation and growth of bacteria on crude oil. *Appl Microbiol*. 28: 547-552.
- 22-Okoh AI, Trejo-Hernandez MR. (2006). Remediation of petroleum hydrocarbon polluted systems: Exploiting the bioremediation strategies. *Afr J Biotechnol*. 5(25): 2520-2525.
- 23-Puiggené O, Espinosa MJC, Schlosser D, Thies S, Jehmlich N, Kappelmeyer U. et al. (2022). Extracellular degradation of a polyurethane oligomer involving outer membrane vesicles and further insights on the degradation of 2,4-diaminotoluene in *Pseudomonas capeferrum* TDA1. *Sci Rep*. 12: 2666.
- 24-Shinoda Y, Sakai Y, Uenishi H, Uchihashi Y, Hiraishi A, Yukawa H. et al. (2004). Aerobic and Anaerobic Toluene Degradation by a Newly Isolated Denitrifying Bacterium, *Thauera* sp. Strain DNT-1. *Appl Environ Microbiol*. 70(3): 1385–1392.
- 25-Shiri Z, Kermanshahi RK, Soudi MR, Farajzadeh D. (2015). Isolation and characterization of an n-hexadecane degrading *Acinetobacter baumannii* KSS1060 from a petrochemical wastewater treatment plant. *Int J Environ Sci Technol*. 12, 455-464.
- 26-Varjani SJ, Upasani VN. (2017). A new look on factors affecting microbial degradation of petroleum hydrocarbon pollutants. *Int Biodeterior Biodegradation*. 120: 71–83.
- 27-Xu X, Liu W, Tian S, Wang W, Qi Q, Jiang P, et al. (2018). Petroleum Hydrocarbon-Degrading Bacteria for the Remediation of Oil Pollution Under Aerobic Conditions: A Perspective Analysis. *Front Microbiol*. 9: 2885.

## Applications of corrosion-causing bacteria in cleaning some environmental pollutants (Petrochemical products)

Kasra Kermanshahi R. and Mobarak Qamsari E.

Dept. of Microbiology, Alzahra University, Faculty of Biological Sciences, Tehran, I.R. of Iran

### Abstract

Corrosion under the effect of microorganisms is one of the types of corrosion in which the microorganism may initiate, facilitate, or accelerate corrosion reactions. In most cases, the negative aspect of corrosion-causing bacteria has been researched. In this review article, the positive ability of this type of bacteria is discussed as an opportunity for cleaning and biodegradation of a number of organic pollutants in the environment. The results showed that the corrosive bacteria are able to biodegrade and clean petrochemical products such as polycyclic hydrocarbons (PAH) and polyurethane polymer. Microbial degradation of PAH depends on the environmental conditions, the number and type of microorganisms, and the nature and chemical structure of the chemical compound being degraded. For example, the genus *Pseudomonas* includes many naphthalene-decomposing aerobic bacteria and constitutes 86.9% of hydrocarbon-decomposing microorganisms in gasoline-contaminated underground aquifers. There are five different aerobic biodegradation pathways for toluene, each initiated by single or double oxygenase activity. Also, the path of anaerobic decomposition of toluene to benzoyl coenzyme A has been found in a number of bacteria that cause corrosion, such as *Rhodococcus*, *Pseudomonas putida* and *Pseudomonas fluorescens*. Among bacteria, some well-studied polyurethane-degrading organisms include *Acinetobacter*, *Bacillus subtilis*, *Corynebacterium*, *Comamonas acidovorans*, and members of the genus *Pseudomonas*. Considering the identification of biodegradation pathways of organic substances attract the attention of a number of researches to bacteria that cause corrosion, and considering the lack of harmful effects on living organisms, the use of this group of bacteria are suggested for cleaning pollutants in soil and water environments.

**Keywords:** Bacteria, Corrosion, Environmental Pollutants, Polycyclic hydrocarbons