

کاربرد سورفکتانت ها در پاکسازی خاکهای آلوده به ترکیبات نفتی به ویژه ایزومرهای کرسول

خدیجه نارنج کار^۱، سعید گیتی پور^۲، حامد طائی^۳

دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

Parisa_nr62@yahoo.com

چکیده

با افزایش مصرف فرآورده های نفتی، حجم خاکی که هر ساله به ترکیبات نفتی آلوده می گردد افزایش می یابد. در پالایشگاههای نفت کرسول (متیل فنول) از تقطیر جزء به جزء نفت خام به دست آمده و در واحد پالایش حلال برای حذف مواد قیری و زاید از روغن موتور یا بنزین استفاده می شود. سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا این ترکیب را در گروه "ترکیباتی با احتمال سرطان زایی برای انسانها" قرار می دهد. تماس پوستی یا بلع تصادفی آنها تاثیرات مخربی بر روی سلامتی انسان و حیوان به دنبال دارد که حتی می تواند منجر به مرگ شود. امروزه روش های زیادی برای رفع آلودگی در خاک ابداع و ارائه شده است که یکی از پر اهمیت ترین این روش ها خاکشویی است. در گذشته خاکشویی با استفاده از آب بدون افزودنی انجام می شد ولی امروزه از افزودنی های مختلفی برای بالا بردن بازدهی، گسترش روش برای محدوده ی بزرگتری از آلاینده ها، کاستن از هزینه ی تمام شده، کاستن از دفعات شستشو و کاستن از زمان مورد نیاز برای انجام روش استفاده می شود. از میان تمام افزودنی ها سورفکتانت ها به عنوان پرکاربردترین ها در خاکشویی در محل و خارج از محل معرفی شده اند. در این تحقیق تکنولوژی خاکشویی و عوامل موثر بر آن و همچنین چگونگی عملکرد سورفکتانت ها در خارج کردن آلاینده های آلی به ویژه ایزومرهای کرسول از خاک مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: ترکیبات نفتی، ایزومرهای کرسول، خاکشویی، سورفکتانت، خاک آلوده.

^۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.

^۲. دانشیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.

^۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد قزوین.

با توجه به افزایش روزافزون جمعیت، نیاز به تأمین منابع انرژی بیش از پیش احساس می شود. بدین روی، گسترش نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها و سایر منابع تأمین انرژی امری ضروری به نظر می‌رسد. در صورت عدم مدیریت، باید همزمان با گسترش این منابع، آلودگی بیشتر محیط زیست را هم انتظار داشت. بنابراین، لازم است که همزمان با پیشرفت بشریت، علوم کنترل کننده‌ی فناوری‌ها هم پیشرفت داشته باشند.

در کشور ما صنعت نفت به عنوان یک صنعت مادر مطرح می باشد. از آنجایی که این صنعت و مراکز وابسته به آن نقش اساسی در اقتصاد کشورمان ایفا می کند، توسعه روزافزون آن می تواند سبب ایجاد رونق اقتصادی گردد. لذا برای رسیدن به توسعه ای پایدار در این زمینه می باید تمامی جوانب این صنعت مورد توجه قرار گیرد. یکی از نکاتی که در این زمینه می باید مد نظر قرار گیرد، مخاطرات زیست محیطی مراکز وابسته به این صنعت از جمله خطوط انتقال و پالایشگاه‌ها می باشد [۱]. در واقع مهم ترین نگرانی در مورد نفت خام آن است که اگر با احتیاط بهره‌برداری نشود، می‌تواند در تمام مراحل پردازش و مصرف برای سلامت انسان و محیط زیست، خطرناک باشد. نفت خام مخلوط پیچیده‌ای از ترکیبات گوناگون هیدروکربن‌ها است. ترکیبات عمده تشکیل دهنده‌ی نفت خام که در چهار گروه ترکیبات اشباع، آروماتیک‌ها، رزین‌ها و آسفالتین‌ها قرار می‌گیرند، با نفوذ در خاک و حل شدن در آب‌های سطحی و زیرزمینی، مشکلات زیست‌محیطی عمده‌ای به وجود می‌آورند. این ترکیبات به‌علت سمیت، پتانسیل جهش‌زایی^۴، اثرات سرطان‌زایی^۵ بالقوه و توانایی ورود به چرخه‌ی غذایی، یک مسأله‌ی همگانی و نیز علمی و کنترلی محسوب می‌شود که به انگیزه‌ای برای تحول در روش‌های مختلف پاکسازی بدل گردیده است [۲].

۲- معرفی آلاینده کرسول

برخی از ترکیبات آلی فقط شامل دو عنصر هیدروژن و کربن هستند و بنابراین به عنوان هیدروکربن شناخته می شوند. بسته به ساختمان، هیدروکربن‌ها به دو دسته اصلی آلیفاتیک و آروماتیک تقسیم می شوند. هیدروکربن‌های آلیفاتیک خود به گروه‌های وسیعتری تقسیم می شوند، از جمله: آلکانها، آلکنها، آلکینها و ترکیبات حلقوی مشابه. ساختار هیدروکربن‌های آروماتیک به صورت حلقوی می باشد. آروماتیک‌ها دسته وسیعی از ترکیبات را تشکیل می دهند که شامل بنزن و ترکیباتی می باشند که از نظر رفتار شیمیایی مشابه بنزن می باشند. برخی از این مواد، حتی به ظاهر شباهتی به بنزن ندارد [۴].

ایزومرها، ترکیبات شیمیایی هستند که فرمول ملکولی مشابه اما ساختار متفاوتی دارند. برای هیدروکربن‌ها، این به این معناست که ایزومرها تعداد اتم‌های کربن و هیدروژن برابری دارند، اما اتم‌های کربن به روش‌های مختلفی به یکدیگر متصل شده‌اند [۵].

با توجه به مطالب ذکر شده، کرسول‌ها^۶ از گروه ترکیبات آلی آروماتیک نیمه فرار^۷ بوده که در ساختار شیمیایی آنها یک گروه متیل در حلقه بنزنی یک مولکول فنول جایگزین شده است و بسته به موقعیت قرارگیری گروه هیدروکسیل و متیل دارای سه نوع ایزومر اورتو^۸، متا^۹ و پاراکرسول^{۱۰} می‌باشد [۶] (شکل شماره (۱)). این ترکیبات شدیداً قابل اشتعال هستند، در آب حلالیت متوسطی داشته و در اتانول، اتر، استون و هیدروکسیدهای قلیایی قابل حل هستند [۶].

^۴ Mutagenic

^۵ Carcinogenic

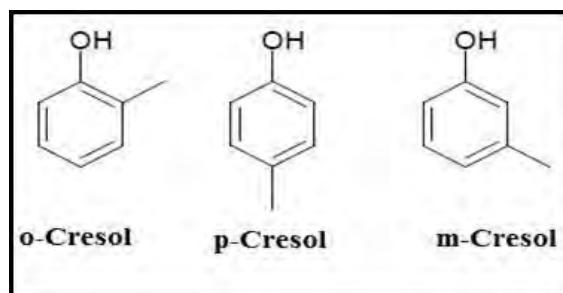
^۶ Cresols

^۷ Semivolatile

^۸ Ortho-Cresol

^۹ Meta-Cresol

^{۱۰} Para-Cresol



شکل شماره (۱): ساختار شیمیایی ایزومرهای کرسول [۷]

مقادیر زیادی کرسول سالیانه در ایالات متحده تولید می شود. قدیمی ترین روش تولید کرسول در آمریکا بازیابی تقطیر جزء به جزء از قطران زغال سنگ بوده است. اکثر کرسول های خانگی از طریق تجزیه حرارتی و کاتالیزوری اجزای نفت در حین تقطیر نفت به دست می آمده است [۸]. در پالایشگاههای نفت کرسول از تقطیر جزء به جزء نفت خام به دست آمده و در واحد پالایش حلال برای حذف مواد قیری و زاید از روغن موتور یا بنزین استفاده می شود [۹]. مقادیر ناچیز کرسول به طور طبیعی در برخی مواد غذایی نظیر گوجه فرنگی، سس گوجه فرنگی، مارچوبه، پنیر، کره، گوشت و غذاهای دودی یافت می شود. برخی نوشیدنیها نظیر قهوه و چای نیز حاوی کرسول هستند. کرسول و مشتقاتش در روغن برخی گیاهان و درختان نظیر گل یاس، کاج، بلوط یافت می شوند [۶].

کرسول در آبهای سطحی و زیرزمینی به مقادیر کم (حدوداً یک میکروگرم در لیتر یا کمتر) یافت می شود. مقادیر بالاتر کرسول در آب در جایی که نشت مواد نفتی اتفاق افتاده، در نزدیکی محوطه های آلوده و خطرناک و در خروجی کارخانجات صنعتی مشاهده شده است. به طور مثال فاضلاب ناشی از تجهیزات تبدیل زغال سنگ به گاز حاوی ۵۸۶ mg/L اورتو کرسول و ۸۸۰ mg/L پارا کرسول می باشد. کرسول ها به طور گسترده ای از طریق مکان های دفن و سایت های مواد زاید خطرناک وارد خاک و سپس آب زیرزمینی می گردند. ایزومرهای کرسول در آبهای شیرین و تحت شرایط هوایی به مولکولهای ساده تر تجزیه می شوند؛ در حالیکه در آبهای شور و شرایط بیهوازی تجزیه با سرعت کمتری اتفاق می افتد [۸].

با توجه به اطلاعات محدود به دست آمده در مورد تاثیر ایزومرهای کرسول در زمینه ایجاد سرطان در حیوانات آزمایشگاهی و اطلاعات ناکافی در مورد پتانسیل ایجاد سرطان در انسان، سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا این ترکیبات را در گروه C یعنی ترکیباتی با احتمال سرطان زایی برای انسانها قرار می دهد [۱۰، ۱۱، ۱۲]. همچنین کرسول ها در ۳۱۴ لیست از ۱۴۱۶ لیست مواد زاید خطرناک منتشر شده توسط EPA موجود [۸] و در لیست مواد زائد خطرناک خنثی CERCLA (2007) و SARA^{۱۱}، به عنوان آلاینده متقدم شناسایی شده اند. در سال ۱۹۸۳، EPA قانونی را پیشنهاد کرد که در آن کرسول ها می بایستی برای سمیت غیر مزمن، تاثیرات جهش زایی شامل انحراف کروموزومی، جهش ژنی و تاثیرات سرطان زایی، تاثیر بر روی سیستم عصبی و حساسیت پوستی مورد آزمایش قرار گیرند [۱۳].

با توجه به قرار گیری کرسولها در گروه مواد زائد خطرناک توسط آژانسهای محیط زیستی و تاثیرات این آلاینده بر سلامتی انسان، حیوانات و محیط زیست، اتخاذ تدابیر مناسب برای اصلاح و پاکسازی محوطه های آلوده به این نوع آلاینده یک ضرورت است. از این رو در این تحقیق به بررسی روش خاکشویی بهبود یافته با سورفکتانت ها جهت پاکسازی خاک های آلوده به ایزومرهای کرسول پرداخته شده است.

^{۱۱} Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act

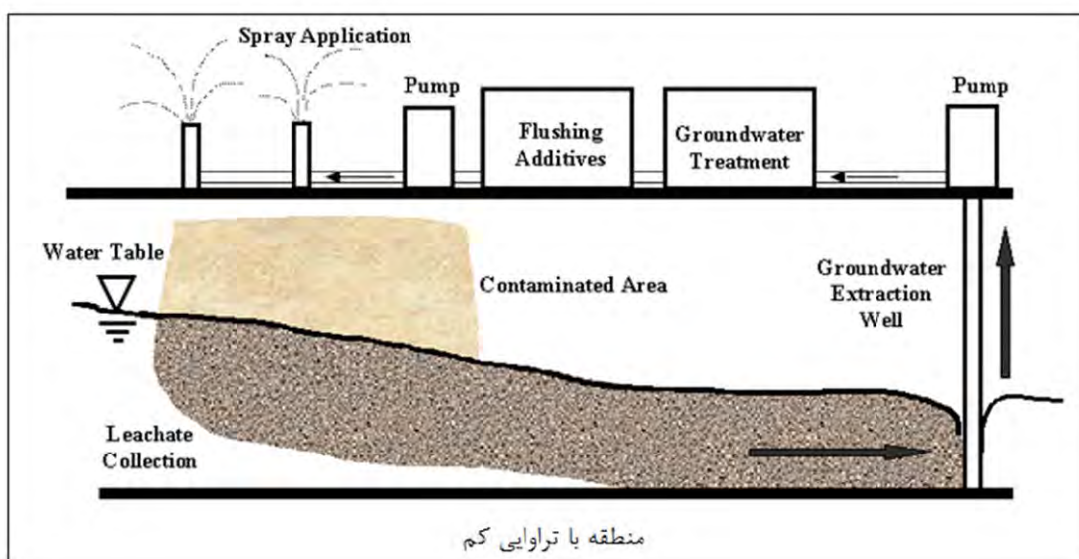
^{۱۲} Superfund Amendments and Reauthorization Act

۳- روش خاکشویی

امروزه با افزایش علاقه‌مندی یا الزام به پاکسازی زیست‌محیطی، روش‌های متعددی برای تصفیه‌ی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی ارائه شده است. بسیاری از این فناوری‌ها به دلیل کاربردهای محدودشان در مقیاس واقعی، در مورد خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی، ابداعی و نو محسوب می‌شوند. به طور کلی در سال‌های اخیر، روش‌های پاکسازی متعددی ابداع شده است که از لحاظ نوع فرآیند به سه دسته بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی و از لحاظ اجرایی به دو دسته در محل و خارج از محل تقسیم شده‌اند. بعضی از این روش‌ها آلاینده‌ها را از بین می‌برند، درحالی‌که برخی دیگر مانند خاکشویی، آلاینده‌ها را بدون آنکه از نظر شیمیایی اصلاح کنند، از خاک جدا می‌سازند.

خاکشویی فرآیندی است که تکنیک‌های فیزیکی و شیمیایی را جهت جداسازی آلاینده از خاک مورد استفاده قرار می‌دهد. این فرآیند شامل تزریق محلول آبی است که به طور معمول توسط چاهک‌های عمودی صورت می‌گیرد. محلول آبی به درون محدوده‌ی خاک غیر اشباع (بالای سطح ایستابی) و یا محدوده‌ی خاک اشباع تزریق می‌گردد. این محلول از درون محدوده‌ی آلوده گذشته و وارد جریان آب زیرزمینی می‌گردد. جریان خروجی در پائین دست محل آلوده مجدداً استخراج گشته و برای دفع یا باز تزریق، تصفیه می‌گردد. محلول تزریقی معمولاً شامل سورفکتانت‌ها، کمک‌حلال‌ها و یا آب زیرزمینی تصفیه شده می‌باشد [۱۴]. این فرآیند در شکل (۲) به صورت شماتیک نشان داده شده است.

یکی از عوامل بسیار مهم در خاکشویی اندازه دانه‌های خاک و دانه بندی خاک آلوده می‌باشد، به عنوان یک قانون کلی می‌توان گفت هر چند میزان لای و رس و ریزدانه در خاک کمتر باشد خاکشویی بهتر صورت می‌پذیرد و راندمان تصفیه بالاتر خواهد بود. بالعکس در خاک‌های درارای ریزدانه و رس و لای زیاد، استخراج آلاینده به سختی انجام می‌شود. ریزدانه‌ها در خاک به دلیل سطح واحد حجم (سطح مخصوص) زیاد، می‌توانند مقدار بیشتری از آلودگی را جذب خود کنند. همچنین این خاک‌ها دارای بار الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی زیادی می‌باشند. این مسئله باعث می‌گردد که آلاینده‌ها محکم‌تر و سخت‌تر به سطح خاک بچسبند و در نتیجه راندمان حذف پایین‌تر بیاید [۱۵]. روش خاکشویی در مورد طیف وسیعی از انواع آلودگی‌ها از جمله مواد نفتی و سوختنی، مواد رادیو اکتیو، فلزات سنگین، حشره کش‌ها، کربنات (حاصل از تقطیر زغال سنگ)، مواد آلی نیمه فرار و فرار می‌تواند بکار گرفته شود [۱۶].

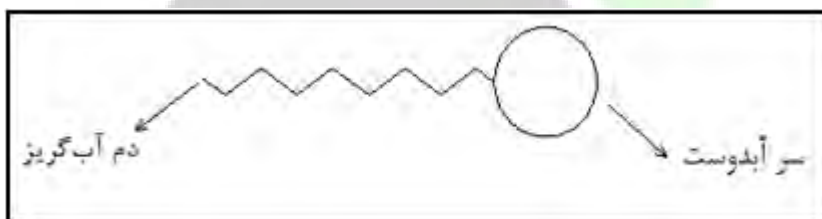


شکل شماره (۲): خاک‌شویی در محل (Soil Flushing) [۱۴]

۴- خاکشویی بهبود یافته به کمک سورفکتانت ها

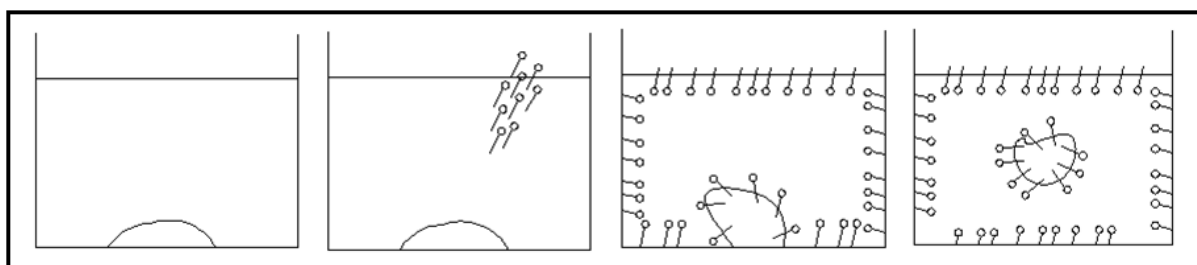
در گذشته خاکشویی با استفاده از آب بدون افزودنی انجام می‌شد. امروزه از افزودنی‌های مختلفی برای بالا بردن بازدهی، گسترش روش برای محدوده‌ی بزرگتری از آلاینده‌ها، کاستن از هزینه‌ی تمام شده، کاستن از دفعات شستشو و کاستن از زمان مورد نیاز برای انجام روش استفاده می‌شود. این افزودنی‌ها می‌توانند شامل سورفکتانت‌ها، اسیدهای آلی و غیر آلی، هیدروکسید سدیم، حلال‌های محلول در آب مانند متانول، ترکیبات کی‌لیت‌ساز، صابون‌سازها، عامل‌های کمپلکس‌ساز مانند EDTA و اسیدهای همراه با عوامل کمپلکس‌ساز یا ترکیبات اکسنده/کاهنده باشد [۱۷]. از میان تمام افزودنی‌ها سورفکتانت‌ها به عنوان پرکاربردترین‌ها در خاکشویی در محل و خارج از محل معرفی شده‌اند. شستشوی خاک توسط سورفکتانت‌ها به طور عمده جهت پاکسازی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی ابداع گردید. روش‌های پاکسازی خاک که از سورفکتانت‌ها استفاده می‌کنند، تحت طبقه "فناوری‌های نوین" قرار گرفته و در حدود ۲ تا ۳٪ از محل‌های آلوده استفاده شده‌اند. با یک بررسی سطحی می‌توان دریافت که روش جامد سازی و تثبیت می‌تواند برای محل‌های آلوده به آلاینده‌های غیر آلی مفید باشد، اما برای محل‌های آلوده به مواد آلی، هیچ روشی مفیدتر از روش‌هایی که از سورفکتانت‌ها استفاده می‌کنند نیست.

یک سورفکتانت، یک "عامل فعال سطحی" است که از دو سر آب دوست و آب‌گریز تشکیل شده و نمای کلی آن در **Error! Reference source not found.** نمایش داده شده است. مولکول‌های سورفکتانت علاوه بر طبیعت دو قطبی خود، دارای پیوندهای دوگانه‌ی وینیلی قابل پلیمر شدن می‌باشند [۱۸].



شکل شماره (۳): شکل کلی سورفکتانت‌ها [۱۸]

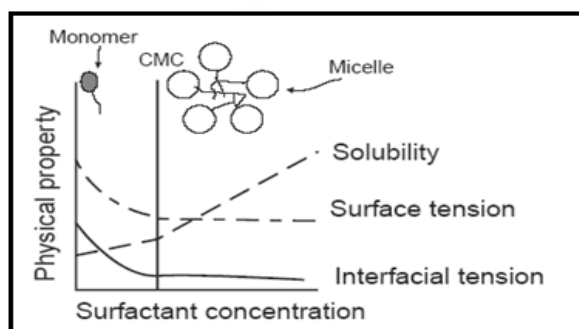
سورفکتانت‌ها، با کاستن از کشش سطحی بین آلاینده و دانه‌های میزبان، آن‌ها را از هم جدا می‌نمایند. این مولکول‌ها به علت طبیعت دو قطبی خود، انرژی آزاد سیستم را با جانشین نمودن مولکول‌های بزرگ‌تر و با انرژی بیشتر در فصل مشترک‌ها کاهش می‌دهند [۱۷]. عملکرد کلی سورفکتانت‌ها در پاکسازی خاک آلوده به هیدروکربن‌ها به این صورت است که انتهای آب‌گریز شوینده به سمت آلاینده میل می‌کند و به آن متصل می‌شود. ممکن است چندین مولکول شوینده به یک ذره چربی متصل شوند و آن را به ذرات کوچک‌تر بشکنند. انتهای آب دوست شوینده با آب پیوند هیدروژنی تشکیل می‌دهد و باعث کنده شدن آلاینده از سطح آلوده و معلق نگه داشتن آلاینده در محلول و در نتیجه حذف آلودگی می‌شود. شکل شماره (۴) نحوی عملکرد سورفکتانت‌ها را نشان می‌دهد.



شکل شماره (۴): نحوی عملکرد سورفکتانت‌ها در محلول آبی [۱۷]

سورفکتانت‌ها در صنایع به عنوان چسب، منعقد کننده، مرطوب کننده و عامل کف‌ساز استفاده می‌شوند. صاحبان صنایع نفتی، عمده‌ی مصرف‌کنندگان را تشکیل می‌دهند. در این حالت، سورفکتانت‌ها محلولیت فرآورده‌های نفتی را کاهش داده و یا سبب رقیق شدن آن‌ها می‌شوند [۱۷].

در ابتدای افزودن سورفکتانت، مولکول‌ها به صورت مونومر (تک مولکولی) موجودند. با افزایش غلظت، این مولکول‌ها ساختار کروی یا لایه‌ای به خود می‌گیرند. این پدیده سبب کاهش کشش‌های سطحی و بین سطحی می‌گردد. کمترین غلظتی را که در آن مولکول‌ها حالت تجمعی به خود می‌گیرند، غلظت بحرانی میسل^{۱۳} می‌نامند [۱۷]. شکل شماره (۵) رفتار سورفکتانت را در این غلظت نشان می‌دهد.



شکل شماره (۵): رفتار سورفکتانت‌ها در اطراف غلظت بحرانی میسل [۱۷]

عملکرد خاکشویی بهبود یافته با سورفکتانت برای حذف ایزومرهای کرسول، می‌تواند از طریق دو مکانیسم باشد. مکانیسم نخست، ورقه شدن خاک^{۱۴} در غلظتی زیر CMC رخ می‌دهد و مکانیسم دوم، انحلال^{۱۵} که در غلظتی بالاتر از CMC رخ می‌دهد. در مکانیسم نخست، مونومرهای سورفکتانت، مسئول فرآیند ورقه شدن هستند که در دو گام رخ می‌دهد. در گام اول مونومرها در سطح فصل مشترک خاک-آلاینده و خاک-آب تجمع یافته و زاویه‌ی تماس بین خاک و آلاینده را افزایش می‌دهند. مولکول‌های سورفکتانتی که بر روی سطح آلاینده نشست کرده‌اند، نیروی دافعه‌ای بین سر مولکول سورفکتانت و دانه‌های خاک ایجاد نموده و به همین دلیل، جدایش آلاینده از دانه‌های خاک را بهبود می‌بخشند. در گام دوم، جریان‌های همرفت با ایجاد هوادهی و فرسایش، انرژی لازم را برای ایجاد سطح مخصوص اضافی در فاز نفتی تولید کرده و از این راه جداسازی آلاینده از خاک را ممکن می‌سازند. مکانیسم دوم، انحلال است. در این روش شرکت آلاینده در هسته‌ی آب‌گریز میسل‌های سورفکتانت، سبب کننده شدن آن از سطح دانه‌های خاک می‌گردد. همزمان با افزایش میسل‌های سورفکتانت در محلول، انحلال افزایش می‌یابد. به همین دلیل وجود غلظت بالای CMC برای رخ دادن این حالت الزامی است [۱۹].

سورفکتانت‌های مصنوعی با توجه به طبیعت گروه آب‌دوست، به چهار گروه کاتیونی^{۱۶}، آنیونی^{۱۷}، یون دو قطبی^{۱۸} و غیر یونی^{۱۹} تقسیم می‌گردند. این گروه اکثراً از یک گروه سولفات، سولفوناته یا کربوکسیلات (در سورفکتانت‌های آنیونی)، آمونیوم چهاروجهی (در سورفکتانت‌های کاتیونی) و پلی‌اکسی‌اتیلن، ساکروز یا پلی‌پیتید (در سورفکتانت‌های غیر یونی) تشکیل شده است. زنجیره‌ی آب‌گریز سورفکتانت عموماً از پارافین‌ها، اولفین‌ها، آلکیل‌بنزن‌ها، آلکیل‌فنول‌ها و الکل‌ها تشکیل شده است [۲۰].

¹³ Critical Micelle Concentration (CMC)

¹⁴ Soil roll-up mechanism

¹⁵ Solubility

¹⁶ Cationic

¹⁷ Anionic

¹⁸ Zwitterionic

¹⁹ Non-ionic

سورفکتانت‌های طبیعی را که به صورت بیولوژیکی از تک‌یاخته‌ها، باکتری‌ها و غیره تهیه می‌گردند، بیوسورفکتانت می‌نامند. بیوسورفکتانت‌ها به عنوان ترکیبات جانبی متابولیکی تولید می‌شوند. کارکرد درست آن‌ها وابسته به pH، مغذی بودن محیط، جنس محیط و دمای مورد استفاده است. آن‌ها می‌توانند همزمان با داشتن مزایای بسیار به اندازه‌ی سورفکتانت‌های مصنوعی بازدهی داشته باشند [۳]. بیوسورفکتانت‌ها علی‌رغم وزن مولکولی زیاد، خواص سطحی زیادی از خود نشان می‌دهند و به علت طبیعتشان از نظر زیستی تجزیه پذیرند، می‌توانند از منابع تجدیدپذیر مانند باکتری‌ها ساخته شوند، دوباره تولید شوند و سمیت کمتری دارند. طبیعت بی‌ضرر بیوسورفکتانت‌ها احتیاج به حذفشان را از جریان خروجی خاکشویی را حذف می‌کند [۳].

سورفکتانت‌ها می‌توانند در ترکیب با افزودنی‌هایی مانند الکل و/یا نمک‌هایی مانند کلرید سدیم استفاده شوند. همچنین می‌توان از پلیمر یا کف (foam) برای کنترل جا به جایی آلاینده‌ها استفاده نمود. برای افزایش بازدهی اقتصادی می‌توان سورفکتانت‌ها را بازیابی نمود و مجدداً مورد استفاده قرار داد [۱۷].

۵- انتخاب سورفکتانت

همانطور که گفته شد، شوینده‌ها بر اساس نوع و طبقه‌بندی، خواص و ویژگی‌های متفاوتی دارند. درکل، یک سورفکتانت خوب باید دارای قابلیت زیست پالایش، سمیت کم، محلولیت در آب در دمای عادی زمین، جذب کم بر روی دانه‌های خاک، بازدهی بالا در غلظت‌های کمتر از سه درصد، کشش سطحی کم و CMC کم باشد [۱۷]. به طور مثال سورفکتانت‌های کاتیونی سبب افزایش ظرفیت خاک برای جذب آلاینده‌های هیدروکربنی آب‌گریز^{۲۰} می‌گردد. سورفکتانت‌های آنیونی و غیر یونی کمتر به خاک می‌چسبند. پژوهش دیگری پیشنهاد می‌کند که استفاده از غلظت کم سورفکتانت‌ها می‌تواند سبب افزایش زیست پالایی در جای آلاینده‌های آب‌گریز گردد [۲۱]. با این حال می‌توان معیارهای قابل توجه در انتخاب سورفکتانت مناسب را جهت کاربرد در فرایند خاک‌شویی، به شرح زیر در نظر گرفت.

۵-۱- کم بودن جذب سورفکتانت به سطح خاک

در یک فرایند پاکسازی بهبود یافته با سورفکتانت، جذب سورفکتانت بر سطح خاک، به عنوان یک عامل مهم تلقی می‌گردد. کارایی سورفکتانت، زمانی که مقدار قابل توجهی از آن جذب خاک می‌شود، کاهش می‌یابد، چرا که مقدار سورفکتانت در دسترس برای حلالیت آلاینده‌ها، کاهش یافته و از تحرک آن در داخل محیطی که به کار گرفته شده، کاسته می‌گردد. علاوه بر این جذب سورفکتانت، خاصیت آب‌گریزی خاک را افزایش داده و در نتیجه، مواد آلی حل شده که از خاک آلوده خارج شده‌اند، مجدداً جذب سطح خاک می‌شوند. لذا مطالعه‌ی فرایند جذب هر یک از انواع سورفکتانت‌ها بر خاک، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اغلب سطوح معدنی، در محیط‌های آبی خنثی، دارای بار منفی بوده و در نتیجه، می‌توان گفت که سورفکتانت‌های آنیونی و غیر یونی به نسبت سورفکتانت‌های کاتیونی، به مقدار کمتری جذب خاک می‌شوند و لذا در فرایند خاکشویی مبتنی بر استفاده از شوینده، کاربرد بیشتری دارند [۲۰].

۵-۲- قدرت حلالیت بالا

همانطور که پیش‌تر گفته شد، حلالیت میسل‌ی در غلظت‌های بالاتر از CMC، یعنی جایی که حلالیت آبی مواد آلی به-وسیله‌ی داخل شدن مولکول‌های آب‌گریز به درون میسل‌های سورفکتانت، افزایش می‌یابد، اتفاق می‌افتد. سورفکتانت‌هایی که به‌صورت مونومر در غلظت‌های کمتر از CMC قرار دارند، کمترین تأثیر را در حلالیت آبی مواد آلی دارا می‌باشند. لذا یکی از

^{۲۰} Hydrophobic

ویژگی‌های مثبت سورفکتانت، این است که CMC آن در غلظت‌های کمتری اتفاق بیفتد. این امر، ضمن افزایش حلالیت و در نتیجه، افزایش بازدهی حذف، به کمتر مصرف شدن شوینده و در پی آن به بهینه شدن اقتصادی فرایند پاکسازی کمک می‌کند [۲۰]. میزان CMC در شوینده‌های آنیونی و غیر یونی، به مقدار زیادی متفاوت از یکدیگر است و در شوینده‌های آنیونی بیشتر می‌باشد (تا حدود ۲ برابر نسبت به سورفکتانت‌های غیر یونی) [۱۷]. علاوه بر این، سورفکتانت‌های غیر یونی درجه‌ی کاهش کشش سطحی بالاتری داشته و خواص تقریباً ثابتی از خود در حضور نمک، نشان می‌دهند و در نتیجه کارایی بهتر و مصرف کمتری به دنبال دارند [۲۰].

۵-۳- تولید کف و کدورت کم

معیار دیگر مؤثر در انتخاب شوینده، تولید کف و کدورت کم می‌باشد. اصولاً شوینده‌های آنیونی نسبت به شوینده‌های غیر یونی کف بیشتری تولید می‌کنند. شوینده‌های غیر یونی دارای مولکول‌های درشت‌تری نسبت به شوینده‌های آنیونی بوده و سطح (فیلم) روی کف آنها دارای بار الکتریکی ناچیزی می‌باشد. هر چند وجود کف زیاد، تأثیری روی توانایی حلالیت شوینده ندارد، ولی کار کردن با سیستمی با کف زیاد، سخت و مشکل‌ساز خواهد بود و همچنین از نظر استانداردها و معیارها، جهت تخلیه به محیط و رودخانه‌ها مناسب نمی‌باشد. میزان کدورت، عمدتاً به میزان رس و لای موجود در خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک بستگی دارد. ولی نوع شوینده نیز در این مورد تأثیرگذار است. شوینده‌های آنیونی نسبت به شوینده‌های غیر یونی، کدورت بیشتری ایجاد می‌کنند؛ زیرا شوینده‌های آنیونی، زمانی که جذب سطح ذرات خاک می‌شوند، سبب ایجاد بارهای الکتریکی همنام در سطح خارجی این ذرات می‌شوند و در نتیجه، نیروی دافعه بین ذرات باعث افزایش کدورت می‌گردد [۱۹].

۵-۴- عدم ته‌نشینی (رسوب‌گذاری)

در صورت ته‌نشین شدن سورفکتانت، بازدهی فرآیند کاهش خواهد داشت. شوینده‌های یونی ممکن است رسوب نمایند، لذا ترکیب این شوینده‌ها با شوینده‌های غیر یونی، می‌تواند میزان رسوب‌گذاری را کاهش دهد [۱۷]. فرایندهایی مانند جذب، تولید کف و ته‌نشینی، علاوه بر کاهش کارایی خاکشویی، موجب اتلاف شوینده نیز می‌شوند [۱۹].

۵-۵- سازگاری زیست‌محیطی

سورفکتانت‌های مصنوعی باقیمانده در محیط خاک، پس از فرآیند خاکشویی به کمک شوینده، خود به‌عنوان آلاینده‌ی زیست‌محیطی عمل می‌کنند. لذا توانایی تجزیه‌پذیری زیستی آنها به‌عنوان پارامتر مهمی در انتخاب مطرح است. عموماً، شوینده‌های غیر یونی، علاوه بر زیاد بودن ظرفیت حلالیت آنها، از تجزیه‌پذیری زیستی خوبی نیز برخوردارند. از طرف دیگر، شوینده‌ی باقیمانده در خاک، به طور مستقیم به توانایی جذب آن در خاک بستگی دارد که با توجه به جذب کم سورفکتانت‌های غیر یونی در خاک و در نتیجه، باقی ماندن مقادیر کمی از آنها در خاک پس از شستشو، در بسیاری از فرآیندهای خاکشویی مبتنی بر شوینده، به کار گرفته شده اند [۲۰].

از دیگر عوامل مؤثر بر انتخاب شوینده، می‌توان به کم بودن هزینه‌ی تهیه و در دسترس بودن و تجاری شدن آنها اشاره نمود.

۶- نتیجه گیری

در این تحقیق، روش خاکشویی جهت پاکسازی خاک‌های آلوده به ترکیبات نفتی (به ویژه ایزومرهای کرسول) تشریح شد. خاکشویی یک روش اثبات شده به خصوص در مورد خاک‌های درشت دانه (ماسه ای) است. با توجه به مطالب ذکر شده در قسمت‌های پیشین اشاره شد که طی فرآیند خاکشویی هر دو مکانیزم ورقه شدن خاک و انحلال فعال می‌باشد که شدت اثر

هر کدام به میزان جذب سورفکتانت به سطح خاک و توزیع دانه بندی خاک وابسته است. حال با توجه به سیستم آلاینده خاک اگر مکانیسم ورقه شدن خاک مکانیسم قابل توجه باشد و این مکانیسم نتایج مطلوب تری را ارائه دهد آن گاه سورفکتانت های غیر یونی به دلیل CMC پایین تر از لحاظ اقتصادی ارجحتر می باشند. اما در مورد سورفکتانت های آنیونی، این نوع سورفکتانت ها مقاومت بیشتری در مقابل جذب به خاک دارند که منجر به ورقه شدن بیشتر خاک و یا انحلال بیشتر می شوند که در بازدهی فرآیند شستشوی خاک و انتخاب سورفکتانت عاملی کنترل کننده می باشند. در بعضی دیگر از سیستم های آلاینده خاک ممکن است سورفکتانت ها نتایج مشابهی بدون توجه به نوع و غلظت سورفکتانت از خود نشان دهند. در چنین مواردی سورفکتانت های غیر یونی با CMC پایین انتخاب مناسب می باشند. با این حال تعیین نوع سورفکتانت مناسب مستلزم انجام مطالعات آزمایشگاهی است. هنگامی که سورفکتانت ها و یا دیگر شوینده ها مورد استفاده قرار می گیرند، صرفه اقتصادی طرح نه تنها وابسته به قابلیت بازیافت آلاینده می باشد، بلکه به قابلیت جداسازی سورفکتانت نیز بستگی دارد.

مراجع

- [1]. طاهری . احسان، گیتی پور . سعید، (۱۳۸۵)، ارزیابی غلظت و تعیین سطوح پالایشی ترکیبات پلی آروماتیک حلقوی در خاک منطقه دوسون آباد (جنوب پالایشگاه تهران) و بررسی روشهای پالایشی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.
- [2]. هدایتی، مهسا، گیتی پور . سعید، عبدلی. محمدعلی (۱۳۸۹)، بررسی بازدهی روش خاکشویی جهت پاکسازی خاک آلوده به هیدروکربن های نفتی با تأکید بر ترکیبات BTEX، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.
- [3]. عالی، هادی؛ پاکسازی خاکهای آلوده به مواد نفتی با استفاده از روش خاکشویی، پایان نامه کارشناسی ارشد، مهندسی عمران- محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۹.
- [4]. <http://en.wikipedia.org/w/index.php/title=aromaticity&old;d=214771720>
- [5]. <http://www.ethylbenzene.org/content/appendix1.html>
- [6]. WHO, (1996), Cresols, Health and Safety Guide, World Health Organization, International Program on Chemical Safety, Geneva, Switzerland.
- [7]. <http://en.wikipedia.org/wiki/cresols>
- [8]. ATSDR (2008), Toxicological Profile for Cresols, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Department of Health and Human Services.
- [9]. http://en.wikipedia.org/wiki/Oil_refinery
- [10]. U.S.EPA, (1999), [Integrated Risk Information System \(IRIS\) on 3-methylphenol](#), National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, Washington, DC.
- [11]. U.S.EPA, (1999), [Integrated Risk Information System \(IRIS\) on 4-methylphenol](#), National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, Washington, DC.
- [12]. U.S.EPA, (1999), [Integrated Risk Information System \(IRIS\) on 2-methylphenol](#), National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, Washington, DC.
- [13]. U.S.EPA, (1986), Method TO-8: Method for the Determination of Phenol and Methylphenols (Cresols) in Ambient Air Using High Performance Liquid Chromatography, Revision 1.

- [14]. Strbak, L., "In-Situ flushing with surfactants and cosolvents", US EPA, office of solid waste and emergency response, July 2000.
- [15]. Bhandati A., Novak J.T., and Dove D.C. (2001). "Effect of soil washing on petroleum hydrocarbon distribution on Sand Surface", Journal of Hazardous Substance Research, Vol.67, pp.148-161.
- [16]. U.S.EPA, (1998), Innovative Remediation Technology-Soil washing/Soil flushing, Vol 3, pp. 133.
- [17]. Mulligan, C.N. & Yong, R.N. & Gibbs, B.F. (2000), "Surfactant-enhanced remediation of contaminated soil: a review". Engineering geology 60(2001) 371-380.
- [18]. Gao, B., Yu, Y. Jiang, L. (2007), "Studies on micellar behavior of anionic and surface-active monomers with acrylamide type in aqueous solutions", Colloids and surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, Vol. 293, , pp. 210-216.
- [19]. Deshpande, S., Shaiu, B.J., Wade, D., Sabatini, D.A., Harwell, J.H. (1998), "Surfactant selection of enhancing ex-situ soil washing", pergamon, PII:S0043-1354(98)00234-6.
- [20]. Paria, S.(2008), "Surfactant-enhanced remediation of organic contaminated soil and water", Advances in Colloid and Interface Science, Vol. 138. pp. 24-58.
- [21]. U.S.EPA, (1995), "In situ remediation technology status report: Surfactant enhancements", 542-K-94-003, Adopted from: <http://www.epa.gov/tio/download/remed/srfctnt.pdf>

