Archive of SID

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یک، شماره سه، خرداد ماه ۹۸

حذف نفت خام از یک خاک آلوده با استفاده از سورفکتانت سدیم دو دسیل سولفات (SDS) به روش خارج از محل

مهدی حسنانی[۱]

حسین امانی[*۲]

hamani@nit.ac.ir

محمد رضا سرمستی امامی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۸ تاریخ پذیرش:۹۵/۶/۲۷

چکیده

زمینه و هدف : خاک از ارکان مهم محیط زیست و منبع اصلی تولید مواد غذایی می‌باشد که آلودگی آن باعث ایجاد چالش‌های بسیاری برای انسان‌ها و سایر موجودات زنده می‌شود. اگرچه تحقیقات مختلفی در زمینه حذف آلاینده‌های آلی مانند ترکیبات بنزنی و فنلی از خاک به طور جداگانه انجام شده است ولی تاکنون تحقیقات کمی در مورد حذف نفت خام که شامل انواع ترکیبات هیدروکربنی می‌باشد، از خاک صورت گرفته است. از این رو هدف از این مقاله بررسی عوامل موثر در حذف نفت خام از خاک و ارایه یک مدل جامع در این زمینه می‌باشد.

روش بررسی: روش بررسی: در پژوهش حاضر از روش خاک‌شویی خارج از محل به کمک ماده فعال سطحی SDS برای حذف نفت خام از خاک استفاده شد. بدین منظور ابتدا یک خاک آلوده به نفت خام به صورت مصنوعی ساخته شد و سپس تاثیر پارامترهای مختلف مانند غلظت ماده فعال سطحی، غلظت اولیه آلاینده، pH، حجم محلول شوینده، سرعت هم زدن، مدت زمان انجام فرایند و دمای سیستم روی حذف نفت خام ارزیابی شد.

یافته‌ها: نتایج این تحقیق نشان داد که بهترین حالت برای حذف نفت خام در غلظت ۰/۵٪ (وزنی-وزنی) سورفکتانت، غلظت اولیه ۵٪ (وزنی-وزنی) نفت خام، pH=۱۱ محلول شوینده، حجم ۵۰ میلی‌لیتر محلول شوینده ، سرعت هم زدن ۲۰۰ دور بر دقیقه، زمان ۱۵ دقیقه و در دمای ۴۵°C روی می‌دهد. در این حالت بهینه تقریبا ۹۶٪ نفت خام از خاک آلوده شده حذف شد.

بحث و نتیجه گیری: با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان سورفکتانت‌ها را به عنوان یک ماده مناسب درحذف آلاینده های نفتی از خاک پیشنهاد داد.

واژه‌های کلیدی: خاک آلوده، نفت خام، خاک‌شویی، سورفکتانت، بازده حذف

۱- کارشناسی ارشد رشته مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه علم و فناوری مازندران، بهشهر، ایران.

۲- استادیار گروه بیوتکنولوژی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل ، بابل، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۳- استادیار رشته مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه علم و فناوری مازندران، بهشهر، ایران.

www.SID.ir

Archive of SID

J. Env. Sci. Tech., Vol 21, No.3, May, 2019

Ex-situ removal of crude oil from a contaminated soil using Sodium Dodecyl Sulfate (SDS)

Mehdi Hosnani[1]

Hossein Amani[2]

hamani@nit.ac.ir

Mohammad Reza Sarmasti Emami[3]

Admission Date: September 17, 2016 Date Received: April 27, 2016

Abstract

Background Objective: Soil is the basic component of environment and the main source of food production and its contamination can cause pose many challenges for humans and other living organisms. Although many studies have been done separately to eliminate organic pollutants such as benzene and phenolic compounds from soil, a few studies yet have been done on the removal of crude oil which contains different types of hydrocarbon compounds from the soil. The aim of this study is to determine the removal of crude oil from the soil and provide a comprehensive model.

Method: In this study, the ex-situ soil washing method with surface active agent has been used to remove crude oil from soil. For this purpose, first, the soil was artificially polluted with crude oil and then the effects of various parameters such as surfactant concentration in aqueous solutions, the initial concentration of contaminant in the soil, pH, volume of detergent solution, stirring rate, duration of the process and system temperature were evaluated.

Findings: The results showed the optimal conditions for the removal of crude oil were concentration of surfactant in aqueous solution of 0.5% (w/w), initial concentration of crude oil of 5% (w/w), detergent solution pH=11, detergent solution volume of 50 ml, stirring rate of 200 rpm, experiment duration of 15 m and temperature of 45 °C. In optimal condition, about 96% of crude oil was removed from the soil.

Discussion and Conclusion: According to the obtained results, surfactants can be used as a proper substance to remove oil contaminants from soil with a good efficiency.

Keywords: Contaminated soil, Crude oil, Soil washing, Surfactant, Removal efficiency.

1- Masters Student in Chemical Engineering, Department of Chemical Engineering, University of Science and Technology of Mazandaran, Behshahr, Iran

2- Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, University of Babol, Babol, Iran* (Corresponding author)

3- Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, University of Science and Technology of Mazandaran, Behshahr, Iran

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

نقش خاک در تهیه غذا برای انسان و سایر موجودات، حفظ تعادل طبیعی، برقراری شرایط مساعد آب و هوایی، فراهم آوردن امکانات فضایی جهت استقرار، امکان خانه‌سازی و جاده-سازی، داشتن خواص احیایی نظیر بازیافت زباله، تشکیل مواد خام معدنی، به عنوان بستر حیات برای رشد گیاهان بر هیچ کس پوشیده نیست لذا داشتن محیط زیست سالم و متعادل بدون توجه به این عنصر غیرممکن می‌باشد. بنابراین هرگونه بی‌توجهی و سهل‌انگاری اثرات منفی و جبران‌ناپذیری در پی خواهد داشت. در کنار مزایای فراوانی که صنعت نفت برای اقتصاد و توسعه کشور به همراه داشته، باید به چالش‌ها و راهکارهای رفع آن نیز توجه کافی لحاظ شود. یکی از مهم‌ترین موارد این چالش‌ها، آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از استفاده از نفت و مشتقات آن می‌باشد. لذا لازم است تا برای حل این معضل و جلوگیری از فراگیر شدن آن تدابیری جدی اندیشیده شود. روش‌های مختلفی برای پاکسازی خاک های آلوده وجود دارد که متناسب با نوع خاک، نوع آلودگی و همچنین میزان آلودگی است. خاک‌شویی یکی از این روش‌هاست که توسط محلول آب و شوینده‌ها (سورفکتانت) به همراه افزودنی‌هایی باعث جدایش آلودگی‌ها از خاک می‌شود. طبق استاندارد آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده، خاک‌شویی یک فرآیند مبتنی بر آب و خاک می‌باشد، که با استفاده از روش‌های فیزیکی و شیمیایی، جهت استخراج و جداسازی آلودگی‌های آلی، غیر آلی و رادیواکتیو از خاک استفاده می‌شود (۱). خاک-شویی به دو طریق درون محل و خارج از محل انجام می‌شود. در خاک‌شویی خارج از محل به علت خاک‌برداری و استفاده از تجهیزات بیش تر، هزینه فرایند نسبت به روش درون محل بیش تر است. اما در عین حال کنترل شرایط عملیاتی و بازده حذف آلاینده نیز بیش تر است. قسمت آبگریز سورفکتانت ها به سمت آلاینده متمایل و به آن متصل می‌شود و قسمت آبدوست با آب پیوند هیدروژنی برقرار کرده و باعث جدا شدن آلاینده از سطح آلودگی و در نتیجه حذف آلاینده می‌گردد (۲). غلظت بحرانی میسل (CMC)[1] سورفکتانت، غلظتی است که در آن اولین ذرات میسل از تجمع مونومرهای سورفکتانت تشکیل می-شود. در غلظت‌های کم تر از غلظت بحرانی میسل مکانیزم تحرک رخ می‌دهد. در این حالت با افزایش غلظت سورفکتانت کشش سطحی به طور پیوسته کاهش یافته و با افزایش ترشوندگی ذرات خاک، نیروی چسبندگی سطحی بین مولکول-های آلاینده و خاک کاهش می‌یابد و از این طریق باعث حذف آلاینده از خاک می‌گردد (۳). در غلظت‌های بالاتر از غلظت بحرانی میسل، مکانیزم انحلال صورت می‌گیرد. در این حالت مونومرهای سورفکتانت با تجمع اطراف ذرات آلاینده تشکیل میسل داده و موجب انحلال آلاینده در فاز آبی می‌گردند. مولیگان[2] و افتخاری تاثیر سورفکتانت بر لیچینگ پنتا کلروفنول را بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که با استفاده از ۱٪ وزنی سورفکتانت TX-100 ، بیش از ۸۴٪ پنتا کلروفنول از ماسه استخراج شد (۴). ریوس و همکاران[3] تاثیر دو نوع سورفکتانت غیر یونی را در دفع دی‌کلرودی‌فنیل‌تری‌کلرواتان از خاک بررسی نمودند. زمانی که از سورفکتانت Brij-35 ۱٪ وزنی در مدت زمان ۸۶ دقیقه استفاده گردید، در حدود ۷۶٪ ماده مورد نظر از خاک جداسازی شد. در حالی که ۵۶/۳٪ این ماده وقتی که از سورفکتانت Twin 80 با مدت زمان شستشو ۱۱۸ دقیقه استفاده شد، از خاک جداسازی گردید (۵). داوزا و همکارانش[4] به کمک SDS سه ماده آلی را از خاک رس سنگی استخراج نمودند. بازده حذف به ترتیب برابر با ۵۵/۱٪، ۶۵/۳٪ و ۸۹٪/۱ بدست آمد (۶). اگرچه تحقیقات متعددی در زمینه حذف آلاینده‌های آلی به طور جداگانه انجام شده است ولی تاکنون مطالعات اندکی بر روی حذف نفت خام از خاک صورت گرفته است. بنابراین نیاز به یک مطالعه جامع بر روی پارامترهای موثر مانند غلظت سورفکتانت، غلظت نفت خام در خاک ، pH ،دما و سرعت هم زدن بر حذف نفت خام به عنوان

1- Critical miclle concentration
2- Mulligan
3- Rios et al.
4- Daezza et al.

www.SID.ir

یک ماده شامل ترکیبات آلی مختلف از خاک و مکانیزم اثرگذاری این پارامترها وجود دارد.

مواد و روش‌ها

سورفکتانت مورد استفاده، سدیم دودسیل سولفات با نام تجاری SDS است که از نوع آنیونی بوده و ساخت شرکت مرک آلمان (EC Number 205-788-1) می‌باشد. خاک مورد استفاده از نوع ماسه‌ای با تخلخل ۰/۷۵ با دانسیته g/cm^3 ۱/۵ بود که پس از غربال با الک ۱ میلی‌متری، با آب مقطر شستشو داده شد. مشخصات فیزیکی خاک شسته شده، پس از خشک کردن با آون در آزمایشگاه خاک‌شناسی قائم شهر تعیین گردید. همچنین از نفت خام تهیه شده از پایانه نفتی شمال (API=۳۵) به عنوان آلاینده خاک استفاده شد.

روش انجام آزمایش

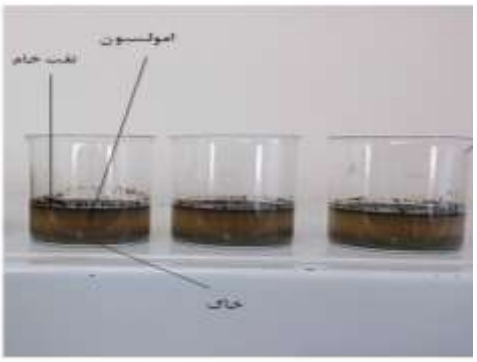
ابتدا ۲ کیلوگرم از خاک ماسه‌ای به عنوان نمونه تهیه گردید. سپس در الک با قابلیت گذردهی ذرات با قطر ۱ میلی‌متر عبور داده شد. خاک‌های غربال شده به منظور حذف آلودگی و ناخالصی‌ها با آب مقطر شستشو گردید. خاک شسته شده درون آون با دمای ۸۰°c قرار داده شد تا تمام رطوبت آن خارج گردید. به مقدار مشخصی از خاک آماده شده، میزان معینی از نفت خام با درصد وزنی مشخص اضافه گردید. این خاک به عنوان نمونه خاک آلوده شده مصنوعی در محیط مورد آزمایش قرار گرفت. مقدار معینی از خاک آلوده شده به نفت خام در بشرهای ۵۰cc قرار داده شد و سپس محلول سورفکتانت با غلظت مشخص به آن افزوده گردید. برای این که عمل اختلاط و جداسازی نفت خام بهتر انجام شود، دهانه ظرف با ورقه آلومینیوم پوشانده شد و بعد به درون شیکر انکوباتور منتقل گردید. پس از گذشت زمان مشخص، نمونه‌ها از شیکر خارج شد. سپس اجازه داده شد تا ترکیبات درون ظرف به حالت پایدار برسند. با گذشت زمان نمونه داخل ظرف به سه فاز خاک، امولوسیون و نفت خام تبدیل شد. به منظور تعیین درصد جداسازی نفت خام، در ابتدا فاز آبی که شامل نفت خام می‌باشد به ظرف دیگری منتقل شد. سپس خاک باقی مانده و دیواره ظرف مجددا با مقدار مشخصی از آب مقطر شستشو داده شد تا ذرات نفت خام که در حین عمل تخلیه مرحله قبل باقی مانده بودند، جداسازی شوند تا خطای آزمایش حداقل شود. سپس به خاک باقی مانده در ظرف نرمال هگزان افزوده گردید. نرمال هگزان به عنوان یک حلال آلی مناسب، قابلیت انحلال نفت خام را دارد. در این مرحله به منظور سنجش مقدار نفت خام باقی مانده در خاک ۴ مرتبه نرمال هگزان و هر بار به حجم ۱۰ میلی‌لیتر به خاک افزوده شده و پس از اختلاط کافی، محلولی که شامل نرمال هگزان و نفت خام باقی مانده می‌باشد به ظرف دیگری منتقل شده و محتویات هر ۴ مرحله در آن جمع آوری گردید این محلول در دستگاه سانتریفیوژ (Phoenix) در ۳۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شد تا ذرات ریز جامد جداسازی گردند. در ادامه به محلول سانتریفیوژ شده نرمال هگزان افزوده شد تا حجم نهایی محلول به ۵۰ میلی‌لیتر رسید و سپس وزن آن اندازه‌گیری شد. برای تعیین غلظت نفت خام در محلول نرمال هگزان، نیاز به منحنی کالیبراسیون محلول نرمال هگزان-نفت خام است. بدین منظور محلول‌هایی از ترکیب نرمال هگزان و نفت خام با غلظت‌های مشخص ساخته شد و درون دستگاه اسپکتوفتومتر (uv/vis chromtech) جایگذاری شد. طول موج دستگاه بر روی ۴۰۰ نانومتر تنظیم گردید. با توجه به اعداد به دست آمده، نمودار کالیبراسیون دستگاه بر اساس غلظت مشخص محلول و طول موج جذب ترسیم گردید. برای تعیین میزان حذف نفت خام از خاک به وزن ابتدایی و نهایی نفت خام در خاک نیاز است. وزن ابتدایی نفت خام (O_i) مقداری مشخص بوده و وزن نهایی نفت خام در خاک (O_r) با انجام آزمایش و محاسبات به دست می‌آید. میزان درصد حذف نفت خام از خاک(β) از رابطه (۱) محاسبه می‌شود(۷):

$$\beta = \left\{\frac{Oi-Or}{Oi}\right\} \times 100 \qquad (۱)$$

شکل ۱ تصویری از چند نمونه پس از اتمام فرایند شستشو را نشان می‌دهد که آماده تعیین بازده حذف می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



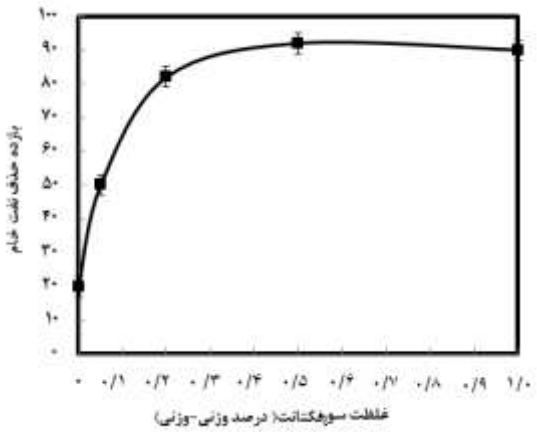
شکل ۱ – چند نمونه خاک آلوده به نفت پس از عملیات شستشو توسط محلول سورفکتانت

Figure 1. Several samples of soil contaminated with oil after washing with surfactant solution

نتایج و بحث

بررسی تاثیر غلظت سورفکتانت بر حذف نفت خام

تاثیر غلظت سورفکتانت در حذف نفت خام در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده در این آزمایش، آب مقطر توانست ۱۹٪ از نفت خام موجود در خاک را حذف کند. با افزودن محلول سورفکتانت، ماکزیموم حذف نفت خام به ۹۲٪ رسید.



شکل ۲- نمودار درصد حذف نفت خام بر اساس غلظت سورفکتانت (دمای $^{\circ}C$ ۲۵، غلظت ۵٪ وزنی-وزنی نفت خام در خاک، pH=۸، سرعت هم زدن rpm ۲۰۰ ، حجم محلول شوینده ml۵۰، مدت زمان شستشو ۱۵ دقیقه)

Figure 2. Percentage of oil removal versus surfactant concentration (T= 25°C, oil concentration = %5 w/w, pH= 8, rpm=200, V= 50 ml, Time= 15 min)

بررسی میزان حذف در غلظت‌های ساخته شده دو روند متفاوت را نشان داد. بخش اول مربوط به غلظت کم تر مقدار ۰/۲٪ که میزان حذف آلاینده با شیب زیادی صورت گرفت، بخش دوم از غلظت ۰/۲٪ تا ۰/۵٪ که از شدت شیب کاسته شد و در بخش سوم که شیب منفی گردید. در تفسیر این روند می‌توان گفت که بخش اول مربوط به مکانیزم تحرک می‌باشد. بنابراین نتیجه بدست آمده نشان دهنده این است که بیش تر حذف نفت خام توسط مکانیزم تحرک انجام شده است. همچنین پایین بودن غلظت بحرانی میسل بیان گر مصرف کم تر سورفکتانت می باشد که این امر از جنبه اقتصادی نیز قابل توجه است. در مکانیزم تحرک با افزایش غلظت تا غلظت میسل بحرانی، کشش سطحی و بین سطحی به طور پیوسته کاهش می‌یابد و این روند به جداسازی نفت خام از خاک کمک می‌کند. از آن‌جایی که کاهش کشش بین سطحی با افزایش زاویه تماس همراه بوده در این حالت ترشوندگی خاک افزایش یافته و نیروی چسبندگی نفت خام و خاک کاهش می‌یابد. سپس با توجه به دوگانه‌دوست بودن، مونومرهای سورفکتانت مولکول‌های نفت خام را از خاک جدا می‌کنند. از این رو با افزایش غلظت سورفکتانت تا غلظت بحرانی میسل، بازده حذف به طور پیوسته در حال افزایش است. بخش دوم نمودار مربوط به مکانیزم انحلال می‌باشد که

www.SID.ir

طبق نتیجه به دست آمده سهم کم تری در حذف آلاینده نفتی دارد. در این بخش، میسل‌ها از غلظت بحرانی میسل سورفکتانت به بعد، شروع به شکل‌گیری می‌کنند. با افزایش غلظت، میسل‌های بیش تری تشکیل شده و ذرات نفت بیشتری در فاز آبی حل می‌شوند. به همین جهت امولوسیون ایجاد شده در نمونه با غلظت ۰/۵٪ در مقایسه با نمونه با غلظت ۰/۲٪ کمی کدرتر به نظر می‌رسید. در بخش سوم نمودار، کاهش میزان حذف نفت خام مشاهده گردید. این حالت بیانگر روی دادن عمل معکوس انحلال و تحرک است. نتایج حاصل از این آزمایش توسط چند محقق دیگر نیز مشاهده شده است. برای مثال اوروم و همکاران[1] با ارزیابی عملکرد چند سورفکتانت بیان داشتند که افزایش غلظت سورفکتانت از میزانی معین باعث افزایش جذب سورفکتانت بر روی خاک و همچنین کاهش نفوذپذیری خاک می‌گردد (۸). کاهش نفوذپذیری خاک مانع عبور محلول شوینده از میان ذرات خاک شده و بازده شستشو را کاهش می‌دهد. جذب سورفکتانت بر روی خاک علاوه بر مشکلات زیستی که بسته به نوع سورفکتانت می‌تواند ایجاد گردد، باعث افزایش آبگریزی ذرات خاک شده و در نتیجه آن، آلاینده‌های جدا شده از خاک مجددا به سطح خاک متصل می‌گردند. این موضوع با نتیجه آزمایش پنگ[2] مطابقت دارد که با تغییر غلظت سورفکتانت در بازه ۵ تا ۲۰ گرم بر لیتر تغییر محسوسی بر بازده حذف مشاهده نشد. در حالی که در بازه ۰ تا ۵ روند صعودی حذف آلاینده چشمگیر بود (۹).

بررسی تاثیر مقدار نفت خام اولیه در خاک بر حذف نفت خام

افزایش میزان نفت خام اولیه از ۵ درصد وزنی به ۲۰ درصد وزنی به عنوان آلاینده منجر به کاهش ۲۸ درصدی بازده حذف آن گردید. با افزایش نفت خام در خاک علاوه بر بیش تر شدن قدرت پیوند بین نفت خام و خاک، پیوستگی و نیروی جاذبه ذرات نفت خام نیز ایجاد می‌شود. به همین دلیل کار مولکول-های سورفکتانت برای جداسازی مولکول‌های نفت خام دشوارتر می‌شود. همچنین نسبت تعداد مولکول‌های نفت خام در مقایسه با مولکول‌های سورفکتانت در خاک بیش تر می‌شود. این امر موجب عدم شکل‌گیری یا تشکیل ناقص میسل‌ها نیز می‌گردد. به این صورت که تعداد مولکول‌های سورفکتانت که مولکول نفت خام را احاطه می‌کنند کاهش می‌یابد. این وضعیت با کاهش انحلال‌پذیری و امولوسیون شوندگی نفت خام همراه بوده و در نتیجه آن بازده حذف آلاینده کاهش می‌یابد. از طرفی با افزایش میزان نفت خام در خاک به غلظت‌های بالاتری از سورفکتانت در محلول آبی جهت شستشو نیاز است. زیرا با افزایش غلظت سورفکتانت، دسترس‌پذیری مونومرها به دلیل افزایش تعداد آن بیش تر شده و این امر به تولید میسل با مونومرهای کافی که توانایی انحلال آلاینده را داشته باشد کمک می‌کند. این موضوع بیان گر نیاز بیش تر به عامل شوینـده بیش تر در غلظت‌های زیاد آلاینده است.

بررسی تاثیر pH در حذف نفت خام

نتایج نشان داد که افزایش pH از ۵ به ۱۱منجر به افزایش ۱۳٪ بازده حذف نفت خام از خاک می شود. در واقع بازده حذف به دلیل ایجاد پدیده صابونی شدن افزایش یافته و به عبارتی دیگر حلالیت نفت خام بیشتر می‌شود. از طرفی شیب تغییرات حذف آلاینده با افزایش pH یکنواخت نبود. یکی از دلایل این امر این است که در این مطالعه از نفت خام به عنوان آلاینده استفاده شده که از ترکیبات مختلف با تعداد کربن‌های متفاوت تشکیل شده است. در نفت خام، ترکیبات حلقوی، خطی، شاخه‌دار و بنزنی و غیره وجود دارند که هر کدام رفتار شیمیایی خاص خود را در pH معین محیط نشان می‌دهند. لذا نمی‌توان به محدوده خاصی از pH دست یافت که درصد حذف همه این ترکیبات بالا باشد. با این حال در این آزمایش محیط قلیایی تاثیر مثبتی در بهبود بازده حذف نفت خام از خود نشان داد. همچنین در محیط اسیدی نیز رسوب سورفکتانت مشاهده گردید که این موضوع باعث کاهش دسترس‌پذیری و کارایی سورفکتانت گردید. نتیجه بدست آمده از این آزمایش با نتایج سایر محققین مطابقت دارد. به عنوان مثل در آزمایش گیتی‌پور و همکاران به منظور حذف متیل فنل از خاک در سه محیط اسیدی، خنثی و قلیایی صورت پذیرفت که بیش ترین بازده

1- Urum et al.
2- Peng

www.SID.ir

Archive of SID

حذف در pH برابر ۱۲ گزارش شد(۱۰). باندری و همکاران[1] گزارش نمودند که توانایی آب مقطر و یک سورفکتانت غیر یونی در حذف هیدروکربن‌های نفتی از ماسه‌ی آلوده، در pH برابر با ۷، تقریباً یکسان به‌دست آمده است. با افزایش pH از ۷ به ۱۲، بازدهی حذف پس از شستشو با آب مقطر تغییری نکرد ولی برای محلول حاوی سورفکتانت غیر یونی، افزایش قابل توجه‌ای را از خود نشان داد (۱۱).

بررسی تاثیر تغییرات دما بر حذف نفت خام

افزایش دمای فرایند از ۲۵ به ۴۵ درجه سانتی گراد موجب افزایش ۶ درصدی بازده حذف نفت خام گردید. در حالی که در دمای ۵۵ درجه سانتی گراد نسبت به ۴۵ درجه سانتی‌گراد ۳٪ کاهش بازده رخ داد. افزایش دما در این فرایند بر چند عامل تاثیرگذار است. نخستین عامل خواص فیزیکی نفت خام است. با افزایش دما نیروهای پیوستگی بین مولکول‌های نفت خام و خاک کاهش یافته و در نتیجه آن گرانروی نفت خام کاهش می‌یابد. این مورد با افزایش تحرک و انتقال مولکول‌های نفت خام همراه است که روند جدایش نفت خام از خاک را تسهیل می‌نماید. عامل دیگر اثر تغییرات دمایی بر عمل میسل سازی و غلظت بحرانی میسل سورفکتانت است. شاه و همکاران[2] با پژوهشی در این زمینه نشان دادند که با افزایش دما آب پوشی مولکول‌های سورفکتانت کاهش می‌یابد و این امر موجب بیش تر شدن برهم کنش‌های بین یونی می‌شود، از این رو باعث افزایش غلظت میسل بحرانی می‌گردد (۱۲). افزایش غلظت میسل بحرانی به این معنی است که اولین میسل‌های سورفکتانت در غلظت بالاتری تشکیل می‌شوند که این موضوع با تاثیر منفی بر حذف آلاینده توسط مکانیزم انحلال همراه است.

کانگ و همکاران[3] نیز بررسی ترمودینامیکی بر روی ساخت میسل دو نوع سورفکتانت یونی و غیر یونی انجام دادند. نتیجه برای هر دو سورفکتانت بیانگر این بود که دمای ۵۰°C از لحاظ ترمودینامیکی دمای بهینه برای ساخت میسل‌ها می‌باشد (۱۳).

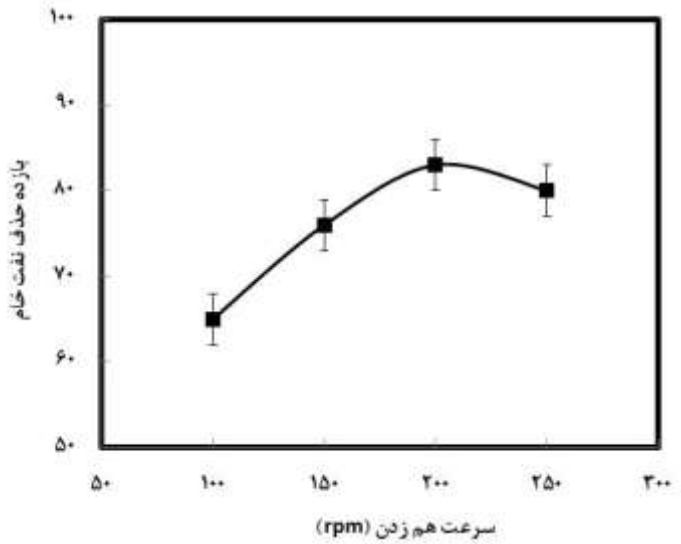
اوروم و پنگ نیز در پژوهش‌های خود حداکثر میزان بازده حذف نفت خام را به ترتیب در دماهای ۵۰ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد بدست آوردند (۸،۹). این موضوع بیانگر مطابقت نتایج حاصل از این آزمایش با کار محققین فوق می‌باشد.

بررسی تاثیر سرعت هم زدن بر میزان حذف نفت خام

مطابق با شکل ۳ مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت هم زدن تا میزان ۲۰۰ دور بر دقیقه، حذف آلاینده نفت خام از خاک نفت خام افزایش می‌یابد و سپس در سرعت ۲۵۰ دور بر دقیقه با کاهش همراه است. افزایش سرعت هم زدن باعث قرار گرفتن سطح بیش تری از نفت خام در تماس با سورفکتانت می‌شود. به همین دلیل امکان حذف نفت خام توسط محلول سورفکتانت زیاد می‌شود. همچنین مولکول‌های سورفکتانت در عین حال که کشش سطحی آب و نیروی چسبندگی بین نفت خام و خاک را کاهش می‌دهند، از سمت نفت دوست خود با مولکول‌های نفت خام پیوند ایجاد می‌کنند. در این حالت با توجه به سست شدن پیوند نفت خام و خاک، هم زدن محلول موجب کنده شدن مولکول‌های نفت خام از خاک گردیده و آن را وارد فاز آبی می‌نماید. در این آزمایش با در نظر گرفتن عوامل مختلف، تاثیر افزایش سرعت هم زدن بر حذف نفت خم از خاک مشهود بود.

1- Bhandari et al.
2- Shah et al.
3- Kang et al.

www.SID.ir



شکل ۳- نمودار تاثیر سرعت هم زدن بر حذف نفت خام (دمای$^{\circ}C$۲۵،غلظت سورفکتانت ۰/۲٪ وزنی- وزنی، غلظت ۵٪ وزنی-وزنی نفت خام در خاک، pH=۸، حجم محلول شوینده ۵۰ml، مدت زمان شستشو ۱۵ دقیقه)

Figure 3. Effect of rpm on oil removal (T= 25°C , surfactant concentration =0.2 % w/w, oil concentration= 5 w/w, pH= 8, rpm=200, V= 50 ml, Time= 15 min)

با بیش تر شدن سرعت هم زدن شدت برخوردهای ذرات درون محلول افزایش می‌یابد. این برخوردها شامل برخورد ذرات خاک با خاک نیز می‌باشد که با سایش و خراشیدگی سطح خاک همراه است. این عامل تاثیر مثبتی در جداسازی آلاینده از خاک دارد. سرعت هم زدن زیاد (۲۵۰ دور بر دقیقه) باعث ایجاد کف زیاد در ظرف می‌شود که به دلیل کاهش دسترس پذیری سورفکتانت، کارایی آن کاهش می‌یابد، در نتیجه مطلوب در عمل خاک‌شویی نمی‌باشد. به همین دلیل حذف آلاینده در سرعت ۲۵۰ دور بر دقیقه کاهش یافته است.

بررسی تاثیر زمان شستشو بر میزان حذف نفت خام

در این آزمایش با افزایش زمان شتستشو از ۵ به ۱۵ دقیقه میزان حذف نفت خام ۱۳٪ افزایش یافت. هر چه میزان زمان شستشو افزایش یابد تماس بیش تری بین مولکول‌های سورفکتانت و آلاینده برقرار می‌گردد که این امر به حذف نفت خام کمک می‌کند. از طرفی افزایش زمان شستشو تاثیر مشابهی مانند مرطوب سازی آلاینده با محلول سورفکتانت دارد. به این ترتیب زمانی که آلاینده توسط محلول شوینده مرطوب گردید، زاویه تماس بین خاک و نفت افزایش می‌یابد. اجزای نفت خام با توجه به تعداد کربنی که دارند در زمان های مختلف جداسازی می شوند و به طور کل با افزایش تعداد کربن جداسازی دشوارتر و نیاز به زمان بیش تری دارد. از سوی دیگر با گذشت زمان بیش از مدت زمان بهینه امکان جذب مجدد آلاینده‌های جدا شده از خاک به علت جذب سورفکتانت به خاک و افزایش چربی دوستی آن، افزایش می‌یابد. به این دلیل در مدت زمان شستشوی ۲۰ دقیقه، کاهش بازده حذف مشاهده گردید.

بررسی تاثیر حجم محلول شوینده بر حذف نفت خام

با افزایش حجم محلول شوینده از ۳۰ به۶۰ میلی‌لیتر، جداسازی نفت خام از خاک ۵٪ افزایش یافت. با این حال تفاوتی در میزان حذف با افزایش بیش تر حجم مشاهده نگردید. افزایش حجم با توجه ثابت نگه داشتن غلظت سورفکتانت، فراوانی بیش تر مولکول های آب و سورفکتانت را به همراه دارد. این امر منجر به افزایش تعداد برخوردها بین مولکول‌های آب، سورفکتانت، نفت خام و ذرات خاک می‌شود. از طرفی دسترس-پذیری مونومرها یا میسل‌های سورفکتانت به دلیل افزایش حجم در سطح مشترک نفت و خاک بیش تر می‌شود. مجموع عوامل فوق باعث تاثیر مثبت بر افرایش حجم در حذف آلاینده از خاک می‌گردد. همچنین افزایش بیش از حد حجم محلول شوینده اثری بر میزان حذف نفت خام ندارد و فقط موجب افزایش آب

www.SID.ir

Archive of SID

مصرفی می‌شود که این امر باعث اتلاف هزینه‌ها و منابع خواهد شد. به نظر می‌رسد حذف نفت خام از خاک در شرایط غلظت سورفکتانت ۰/۵٪ وزنی-وزنی، غلظت نفت خام ۵٪ وزنی-وزنی، pH=۱۱، دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، حجم محلول شوینده ۵۰ میلی‌لیتر، سرعت هم زدن ۲۰۰ دور بر دقیقه و مدت زمان شستشوی ۱۵ دقیقه در یک حالت بهینه قرار دارد. در شرایط بهینه فوق آزمایش دیگری صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که در این حالت ۹۶٪ نفت خام موجود در خاک جداسازی گردید. این میزان بازده از بیشترین مقدار بازده در کل آزمایش‌های صورت گرفته قبل، ۴٪ بیش تر بود.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از سورفکتانت تاثیر بسزایی در حذف نفت خام از خاک‌های آلوده دارد. همچنین عوامل موثر در حذف نفت خام از خاک مانند غلظت سورفکتانت در محلول شوینده، غلظت اولیه نفت خام در خاک، pH محلول شوینده، دما، سرعت هم زدن و مدت زمان فرایند مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بیان گر این بود که میزان نفت خام در خاک بر بازده حذف اثرگذار است و هر چه آلودگی اولیه بیش تر باشد به غلظت بالاتری از سورفکتانت نیاز است. در این حالت مکانیزم انحلال موجب افزایش اثر در غلظت‌های بالاتر می‌شود. همچنین با قلیایی شدن محیط، میزان حذف نفت خام از خاک افزایش یافت. افزایش حجم محلول شوینده نیز بازده حذف را ارتقاء بخشید. مصرف بیش از اندازه آب در فرایند خاک شویی تاثیر چندانی نداشت. همچنین بیش ترین میزان حذف نفت خام در ۱۵ دقیقه ابتدایی فرایند صورت گرفت. از این رو با توجه به شرایط و مقیاس فرایند انتخاب مدت زمان بهینه باعث صرفه جویی در وقت و انرژی می‌گردد. علاوه بر این با افزایش دما از ۲۵ تا ۴۵ درجه سانتی گراد بازده حذف ۶٪ افزایش یافت. در شرایط بهینه بازده حذف نفت خام از خاک به ۹۶٪ رسید.

Reference

1. Von Lau, E., Gan, S., Ng, H.K., Poh, P.E., 2014. Extraction agents for the removal of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from soil in soil washing technologies. *Environmental Pollution*, Vol. 184, pp.640-649.
2. Mao, X., Jiang, R., Xiao, W., Yu, J., 2015. Use of surfactants for the remediation of contaminated soils: a review. *Journal of hazardous materials*, Vol. 285, pp.419-435.
3. Schaumann, G.E., Thiele-Bruhn, S., 2011. Molecular modeling of soil organic matter: Squaring the circle? *Geoderma*, Vol.66, pp.1-14.
4. Mulligan, C.N., Eftekhari, F., 2003. Remediation with surfactant foam of PCP-contaminated soil. *Engineering Geology*, Vol.70, pp. 269–279.
5. Rios, L.E., David, M., Vazquez-Arenas, J., Anderson, W.A., 2013. Use of surfactants and blends to remove DDT from contaminated soils. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 91, pp. 238–244.
6. Davezza, M., Fabbri, D., Prevot, A.B., Pramauro, E., 2011. Removal of alkylphenols from polluted sites using surfactant-assisted soil washing and photocatalysis. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 8, pp. 783–789.
7. Urum, K., Pekdemir, T., Çopur, M. 2004. Surfactants treatment of crude oil contaminated soils. *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol.276, pp 456–464.
8. Urum, K., Pekdemir, T., Çopur, M., 2003. Optimum Conditions for Washing of Crude Oil Contaminated Soil with Biosurfactants Solutions. *Process Safety and Environmental Protection*,Vol.81, pp. 203-209.
9. Peng, S., Wu, W., Chen, J., 2011. Removal of PAHs with surfactant-

www.SID.ir

enhanced soil washing: influencing factors and removal effectiveness. *Chemosphere*, Vol.82, pp.1173-1177.

10. Gitipour, S., Narenjkar, K., Farvash, E.S., Asghari, H., 2014. Soil flushing of cresols contaminated soil: application of nonionic and ionic surfactants under different pH and concentrations. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, Vol.12, pp.1-6.
11. Bhandari, A., Novak, J.T., Dove D.C., 2001. Effect of soil washing on petroleum hydrocarbon distribution on Sand Surface, *Hazardous Substance Research*, Vol. 67, pp. 148-161.
12. Shah, S.S., Jamroz, N. U., Sharif, Q. M., 2001. Micellization parameters and electrostatic interactions in micellar solution of sodium dodecyl sulfate (SDS) at different temperatures. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol.178, pp.199-206.
13. Kang, K. H., Kim, H., Lim, K., 2001. Effect of temperature on critical micelle concentration and thermodynamic potentials of micellization of anionic ammonium dodecyl sulfate and cationic octadecyl trimethyl ammonium chloride. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol.189, pp. 113-121.

www.SID.ir