علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره چهاردهم، شماره یک، بهار ۹۱

امکان پذیری پاک سازی خاک های آلوده به گازوئیل به کمک شوینده ها با استفاده از پایلوت آزمایشگاهی

احسان صالحیان [1*]

ehsan_salehian@yahoo.com

احمد خدادادی [2]

حسین گنجی دوست [3]

تاریخ دریافت:۸۷/۶/۲۷ **تاریخ پذیرش:۸۷/۹/۱۹**

چکیده

امروزه آلودگی خاک با فراورده های نفتی به دلیل نشت مخازن سوخت و خطر انتقال از مهم ترین مشکلات زیست محیطی است، زیرا علاوه بر خطر انتقال به زنجیره غذایی امکان آلوده سازی منابع آب زیر زمینی نیز وجو دارد. لذا پاک سازی خاک های آلوده به فراورده های نفتی در محل بسیار با اهمیت می باشد. در این تحقیق پارامترهای موثر بر پاک سازی خاک آلوده به گازوئیل به روش خاک شویی با استفاده از شوینده سدیم دو دسیل سولفات مورد بررسی قرار گرفت. به منظور شبیه سازی پاک سازی منطقه آلوده به گازوئیل، از روش آزمایش ستونی استفاده گردید. خاک مورد نظر به میزان ۱۰۰۰۰ و ۲۰۰۰۰ ، میلی گرم بر کیلوگرم خاک، توسط گازوئیل آلوده گردید. در این پژوهش اثر pH ، غلظت شوینده و میزان آلودگی اولیه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که در کلیه حالات میزان پاک سازی برای مقادیر اسیدی محلول شستشو پایین می باشد و بازده حذف در حالتی که از آب استفاده می شود، حدود یک سوم مقدار حداکثر است. در خاک آلوده به میزان ppm ۱۰۰۰۰ بیشترین بازده حذف برای شوینده به میزان ۰/۳ درصد وزنی و pH=11 و برای خاک با آلودگی اولیه ppm ۲۰۰۰۰ برای شوینده به میزان ۰/۱ درصد وزنی و pH=11 به دست آمد. با افزایش میزان شوینده میزان نفوذپذیری کاهش می یابد و بیشترین مقدار آن در pH=11 می باشد. با افزایش میزان آلودگی اولیه سرعت افزایش بازده حذف و نفوذپذیری با افزایش میزان pH کاهش می یابد و در حقیقت در مقادیر پایین آلودگی نقش pH در افزایش بازده و نفوذپذیری بیشتر می باشد.

واژه های کلیدی: تصفیه خاک، شوینده آنیونی، بازده حذف، نفوذپذیری، pH

۱- کارشناس ارشد عمران محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس*(مسئول مکاتبات)

۲- دانشیار دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استاد دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه

آلاینده های نفتی زیادی امروزه در محیط زیست به وسیله صنایع نفتی و شیمیایی تولید و جزء مهم ترین آلوده سازهای محیط محسوب می شوند. نشت ترکیبات نفتی تحت تاثیر نیروهای کاپیلاری و ثقلی، منجر به حرکت عمودی در خاک های غیر اشباع شده و خلل و فرج خاک را پر می کند. آلودگی خاک ناشی از نشت تانک های ذخیره مواد نفتی و اثرات نا مطلوب آن، از مشکلات عمده ای است که امروزه مهندسان محیط زیست با آن درگیر هستند، زیرا منابع ذخیره در اکثر نقاط توزیع شده اند (۲و۱).

براساس آماری که تا سال ۸۳ اعلام گردیده است، کشور ایران با توجه به دارا بودن ۸/۵۸ ٪ از منابع نفتی جهان، تولیدات پتروشیمی حدود ۳۰ میلیون تن در سال، دارا بودن مقام دوم ذخایر گازی جهان، وجود بیش از ۲۵۰۰۰ کیلومتر خطوط انتقال نفت و گاز، دارا بودن بیش از ۱۳۰۰ ایستگاه انتقال سوخت گیری و ۱۰۰۰۰ تانکر حمل نفت و فراورده های نفتی، بسیار در معرض آلوده شدن خاک به فراورده های نفتی قرار دارد. ارایه راه حل مناسب جهت پاک سازی مناطق آلوده به فراورده های نفتی بسیار مهم می باشد. روش های رفع آلودگی از خاک به سه دسته کلی بیولوژیکی، فیزیکی، شیمیایی و حرارتی تقسیم می شود و کلیه روش های پاک سازی زیر مجموعه ای از این سه دسته می باشند. تحقیقات زیادی در خصوص استفاده از انواع روش های مختلف تصفیه خاک های آلوده به مواد نفتی انجام یافته و تا حدودی نتایج مناسبی نیز حاصل شده است (۳).

بسیاری از روش های پاک سازی خاک به صورت آزمایشی انجام گرفته و قابلیت استفاده از آن ها در مقیاس واقعی کم می باشد. در این تحقیق سعی گردیده است پاک سازی خاک در ستون خاک و در اثر نفوذ طبیعی مواد شوینده مورد بررسی قرار گیرد تا نتایج به دست آمده قابلیت بیشتری جهت استفاده در مقیاس واقعی داشته باشند.

تا کنون مطالعات بسیار زیادی پیرامون خاک شویی خارج از محل صورت پذیرفته است، به این صورت که خاک آلوده از محل آلوده حفاری می گردد و سپس به محلی جهت شستشو منتقل می شود و در آنجا خاک آلوده با آب و مواد شوینده مخلوط گردیده و سپس خاک پاک سازی می شود. روش های خارج از محل به زمان کم تری جهت انجام عملیات نیاز دارند و مدت زمان پاک سازی نیز کم تر می باشد. ولی دارای هزینه بالایی بوده و در بسیاری از مواقع حمل و نقل خاک از بین مناطق مسکونی مشکل زا می باشد (۴).

در این مطالعه سعی شده است پاک سازی خاک های آلوده در ستون خاک و تحت نیروی ثقل مورد بررسی قرار گیرد. زیرا این روش از لحاظ اجرا راحت تر بوده و هزینه عملیات نیز کم تر می باشد. مطالعات Kueper در سال۱۹۸۹ نشان داد که بسیاری از آلاینده ها از طریق نیروهای ثقلی و کاپیلاریته وارد سیستم خاک می شوند (۵).

خاک شویی از جمله روش هایی است که نه تنها جهت آلودگی های نفتی بلکه برای فلزات سنگین نیز کاربرد دارد (۶ و۷).

این روش نسبت به روش های بیولوژیکی زمان کم تری نیاز داشته و به اندازه آن تحت تاثیر شرایط آب و هوایی نمی باشد. مطالعات نشان می دهد که این روش قابلیت انجام در محل و خارج از محل آلوده را دارا می باشد (۸).

سازوکار خاک شویی در حقیقت خارج سازی آلایندها از درون خاک، از طریق انحلال آلاینده در حلال ها می باشد. در گذشته از آب جهت آلاینده ها استفاده می گردید، ولی امروزه جهت بالا بردن بازده پاک سازی از افزودنی هایی به آب استفاده می شود. این مواد زمان تصفیه آلاینده ها را نسبت به زمانی که فقط از آب جهت تصفیه استفاده می شود کاهش می دهند. افزودنی ها شامل ترکیبات شوینده، اسیدهای آلی و معدنی، هیدرواکسید سدیم و ... می باشند که می توانند آلاینده های قابل انحلال را پاک سازی نمایند (۹). روش خاک شویی در خاک های با نفوذپذیری بالا بازده بهتری به دست می دهد. انحلال پذیری آلاینده ها و این نکته که آلاینده به طور کلی قابلیت انحلال بالایی در آب داشته باشد از نکات مهم در خاک

شویی می باشد(۱۰). شستشوی خاک توسط شوینده ها به طور عمده جهت پاک سازی خاک های آلوده بـه هیـدروکربن هـای نفتی ابداع گردید. از مهم ترین عوامل مـوثر بـر بـازده شستشـو میزان رس خاک می باشد، زیرا جذب شوینده بر سطح آن باعث کاهش میزان آن می گردد.

در مورد خاک شویی در محل آلوده روش کار به این ترتیب می باشد که ابتدا منطقه آلوده مورد شناسـایی قـرار مـی گیرد. به علت این که این روش در محل آلـوده و بـدون جابه جایی و اختلاط بین خاک و مواد شوینده انجام می پذیرد، بازده عملیات شستشو با ویژگی های خاک و منطقـه در ارتبـاط مستقیم مـی باشـد و داشـتن اطلاعـات دقیـق پیرامـون خـاک همچون دانه بندی، ویژگی های فیزیکی و شیمیایی و تغییـرات آن در عمق، درصد رطوبت، درصد مواد آلـی، تبـادل کـاتیونی و نفوذپذیری ضروری است.

مطالعات انجام شده توسط Kingsley در سال ۲۰۰۴ نشان می دهد که پاک سازی خاک های آلوده به ترکیبات نفتی با میزان آلودگی کم تر و ذرات درشت دانه تر در شرایط یکسان با بازده بالاتری نسبت به خاک های دارای آلودگی بیشتر و ذرات ریز دانه تر انجام می گیرد (۱۱).

بر اساس گزارش ها، خاک های آلوده به مواد نفتی می توانند بازدهی بین ۹۰٪ تا ۹۸٪ در تصفیه با روش خاک شویی خارج از محل و محلول شستشوی اصلاح شده داشته باشند (۱۲). مطالعات آزمایشگاهی بسیاری توسط Abdul (۱۹۹۰) ، Ziegenfuss (۱۹۸۷)، جهت پاک سازی بنزین از خاک توسط شوینده ها انجام پذیرفته است (۱۳و۱۴).

اطلاعات کمی در مورد پروژه های عملی کـه از روش خاک شویی در محل جهت پـاک سـازی خـاک اسـتفاده شـده باشد، در دسترس می باشد، ولی اساس کار به این نحو است که بعد از به دست آوردن اطلاعات یاد شـده چاهـک هـایی جهـت ورود مواد شوینده حفاری می گردد و با توجه بـه نفـوذ پـذیری خاک، با استفاده از نیروی ثقل و یا این کـه توسـط پمـپ مـواد شوینده به درون خاک وارد می شود. بسـته بـه موقعیـت انجـام پروژه، مواد حاصل از تصفیه یا از طریق پمپاژ و یا از طریق ورود بـه آب زیرزمینـی و سـپس جمـع آوری آب زیرزمینـی خـارج گردیده و مورد تصفیه قرار می گیرد.

در تحقیقاتی که توسط Catherine در سال ۲۰۰۳ ، صورت پذیرفت خاک ماسه ای بـا میـزان آلـودگی اولیـه ppm ۱۰۰۰ تا میزان ۲۰ پوروالیوم توسط شوینده آنیونی JBR425، مورد شستشو قرار گرفته و بازده پاک سازی تا این میـزان ورود شوینده ۶۷ ٪ گزارش گردید(۱۵).

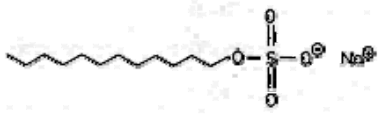
همچنین مطالعاتی که در سال ۲۰۰۴ توسط Dal-Heui Lee بر روی ستونی از خاک ماسه ای آلوده به PCE به ارتفاع ۱۵ سانتی متر و قطر ۵ سانتی متر انجام پذیرفت. بازده پاک سازی در میزان عبور ۷۵۰ میلی لیتر محلول شوینده، برای شوینده آنیونی (SDS) ۴۴ ٪، برای غیر یونی ۴۲ و برای ترکیبی از شوینده ها ۷۵ ٪ گزارش شد(۱۶).

استفاده از شوینده ها جهت پاک سازی خاک سـال هـا است که انجام می گیرد، ولی به علت مشکلات بسـیار از جملـه گرفتگی و کاهش نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی، پاک سـازی در محل نیازمند تحقیقات بیشـتری مـی باشـد. ایـن مشـکلات ناشی از واکنش بـین شـوینده هـا و مـوادآلی و رس و ژلـه ای شدن سطح خاک می باشد و به علت این که کاهش نفوذپذیری باعث کاهش میزان نفوذ مـواد شـوینده مـی شـود، مـدت پـاک سازی افزایش یافته و بازده عملیات پایین می آیـد. نفوذپـذیری خاک از مهم ترین پارامترهـای مـورد نظـر جهـت انجـام خـاک شویی در محل می باشد که جهت انجام عملیات، قبل از شـروع پاک سازی و با توجه به شرایط محل باید به طـور دقیـق مـورد مطالعه قرار گیـرد. مطالعـات Ziegenfuss و Nash در سـال ۱۹۸۷ نشان دادند که گرفتگی حفرات خاک در اثـر اسـتفاده از شوینده ها از مهم ترین عوامل موثر بر بازده عملیات مـی باشـد (۱۷).

مواد و روش ها

شوینده مورد نظر جهت انجام آزمایش ها SDS[1] انتخاب گردید که از شوینده های آنیونی بوده و تولیدی شرکت مرک آلمان می باشد. CMC[2] شوینده ۰/۲ می باشد. جدول ۱ مشخصات شوینده مورد نظر را نشان می دهد. CMC مهم ترین پارامتر برای هر شوینده می باشد و بسیاری از رفتار شوینده تحت تاثیر میزان CMC است. CMC غلظتی است که در آن تشکیل میسل ها شروع می گردد با افزایش میزان شوینده مونومرها به میسل ها تبدیل می شوند. این نقطه همچنین متناظر با زمانی است که شوینده کم ترین کشش سطحی را دارد.

جدول ۱- مشخصات شوینده SDS

نوع شوینده	آنیونی – **Anionic**
فرمول شیمیایی	$ONa_2OSO_{25}H_{12}S – C_4NaO_{25}H_{12}C$
CMC (٪)	۰/۱۷۳-۰/۲۳
وزن مولکولی	۲۸۸/۳۸ g/moL
نقطه ذوب	۲۰۴-۲۰۷ °C
چگالی	۱/۱ g/cm^3 (۲۰ °C)
pH	۶-۹ (۱۰ g/L, H_2O, ۲۰ °C)
انحلال در آب	۱۵۰ g/L (۲۰ °C)
ساختار	

خاک مورد نظر جهت آنجام آزمایش از نوع ماسه ای و از لحاظ دانه بندی بین الک های ۲۰۰ و ۴۰ می باشد. خاک ابتدا با اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال مورد شستشو قرار گرفت و سپس با آب مقطر به صورت کامل شسته شد و به مدت ۲۴ ساعت درون آون با درجه حرارت ۶۲ درجه سانتی گراد قرار گرفت. جدول ۲ مشخصات خاک مورد استفاده را نشان می دهد.

جدول۲ - مشخصات خاک

نوع خاک	ماسه ای
تخلخل (e)	۰/۶۸
پوکی (n)	۰/۴
دانسیته خشک خاک - $(g/cm^3)\ \gamma_d$	۱/۵۵
pH	۹
Gs	۲/۶۶
هدایت الکتریکی (μ_s/cm)	۱۵۸

پایلوت مورد نظر جهت انجام آزمایش شامل سه ستون تهیه شده از پلکسی گلاس به ارتفاع ۵۰ سانتی متر و قطر ۴ سانتی متر می باشد. محلول شوینده و آب در بالای پایلوت و در ظرفی به حجم ۱ لیتر قرار می گیرد و آب از بالای پایلوت وارد ستون می شود. اندازه گیری نفوذپذیری در دو حالت هد ثابت و هد کاهشی انجام می گیرد که در این پژوهش نفوذپذیری به صورت هد ثابت اندازه گیری گردید.

شکل ۱ نمایی کلی از پایلوت انجام آزمایش را نشان می دهد.

شکل ۱- طرح کلی از پایلوت آزمایش

[1] . Sodium dodecyl sulfate
[2] Critical micelle concentration

روش انجام آزمایش به این ترتیب می باشد که ستون های شیشه ای بر روی میز ویبره قرار گرفته و با سرعت ۱ cm/min و تا ارتفاع مورد نظر توسط خاک پر شدند تا تراکم و یکنواختی لازم به دست آید. بعد از اتمام این مرحله ستون های شیشه ای در محل مورد نظر بر روی چهارچوب فلزی نصب گردیده و جهت جلوگیری از ایجاد اغتشاش در سطح ستون خاک که در اثر تماس آب و محلول شوینده و خاک ایجاد می شد، به ارتفاع ۱ سانتی متر شن ریز بر روی خاک ریخته می شد تا از انجام این عمل جلوگیری گردد . سپس ستون خاک با مقادیر کافی گازوئیل آلوده شد، به طوری که غلظت گازوئیل در خاک آلوده به حدود ppm ۱۰۰۰۰و ppm ۲۰۰۰۰ رسید. بعد از آلوده سازی، ستون خاک به مدت ۷۲ ساعت به حال خود رها شد تا فرصت کافی جهت انجام واکنش بین گازوئیل و خاک داده شود و بعد از ۷۲ ساعت عملیات شستشو انجام گرفت . از آن جایی که هدف تحقیق بهینه سازی میزان pH ، شوینده و بررسی میزان نفوذ پذیری بود، دو مقدار ۲۰و ۱۰ mg/g خاک برای آلودگی اولیه، چهار میزان ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴٪ وزنی برای شوینده و چهار مقدار ۴، ۷، ۹ و ۱۱ برای pH انتخاب گردید.

جهت بررسی میزان تاثیر شوینده بر عملیات شستشو کلیه عملیات شستشو با آب (محلول شاهد) و تحت شرایط مختلف pH و آلودگی تکرار گردید. قبل از شروع عملیات شستشو، محلول های شوینده با مقدار شوینده و pH مورد نظر جهت انجام هر دوره از آزمایش ها تهیه می گردید . بعد از ۷۲ ساعت عملیات شستشو آغاز شده و محلول شوینده در محفظه مورد نظر قرار می گرفت تا به آرامی بر روی خاک قرار گرفته و نفوذ آن آغاز شده و پاک سازی صورت گیرد . پاک سازی تا میزان ۱۰ پوروالیوم (حجم فضای خالی درون ستون) ادامه می یافت و TPH, pH محلول خروجی در بازه های۲، ۴، ۶ و ۱۰ پوروالیوم اندازه گیری می شد. جهت اندازه گیری میزان نفوذ پذیری و تغییرات آن در حین آزمایش، در بازه های ۰/۶۷، ۱، ۱/۳۳، ۲، ۳/۳۳، ۴، ۵/۶۷، ۶، ۷/۳۳، ۸، ۸/۶۷، ۹/۳۳ و ۱۰ پوروالیوم، زمان طی شده از شروع آزمایش یاد داشت می شد تا منحنی دقیق تر به دست آید.

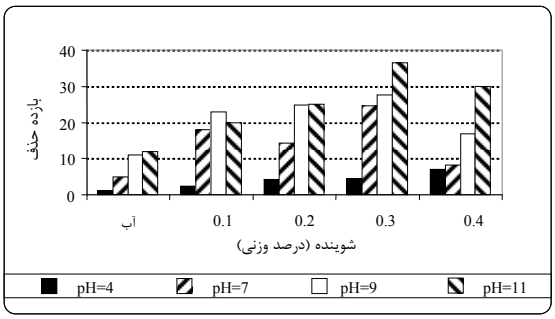
مقایسه نتایج و بحث

۱- حذف گازوئیل

در ابتدا نتایج حاصل از بازده حذف گازوئیل در میزان آلودگی اولیه ppm ۱۰۰۰۰ و سپس نتایج حاصل برای آلودگی اولیه ppm ۲۰۰۰۰ مورد بررسی قرار گرفت.

۱-۱- حذف گازوئیل با میزان آلودگی اولیه ppm ۱۰۰۰۰

در بخش اول آزمایش ها ستون های خاک با گازوئیل به میزان ppm ۱۰۰۰۰ آلوده گردید و سپس تحت شرایط مختلف تحت عملیات شستشو قرار گرفت. نمودار ۱ بازده حذف گازوئیل به ازای مقادیر مختلف pH و شوینده و همچنین آب (محلول شاهد) را نشان می دهد.

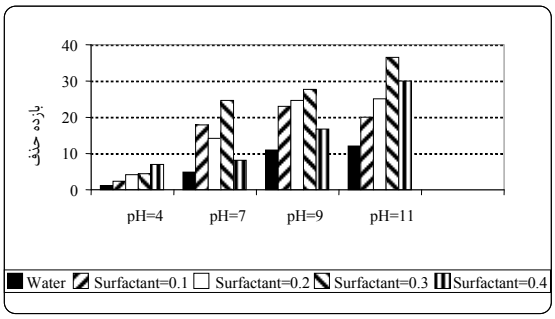


نمودار۱- بازده حذف گازوئیل با تاکید بر افزایش میزان شوینده (غلظت گازوئیل ppm ۱۰۰۰۰)

با توجه به نمودار مشاهده می گردد که با افزایش میزان شوینده بازده شستشو افزایش یافته و در مقدار ۰/۳٪ وزنی شوینده، به میزان ۳۵٪ رسیده است.

روند افزایش بازده تا میزان ۰/۲٪ وزنی شوینده سرعت پایین تری داشته و بعد از آن افزایش چشمگیری داشته است. همان گونه که در نمودار ملاحظه می شود با افزایش میزان شوینده از ۰/۳ به ۰/۴٪ وزنی نه تنها افزایشی در میزان بازده صورت نپذیرفته، بلکه کاهش نیز یافته است. پاک سازی خاک های آلوده در اثر روندی صورت می پذیرد که در نتیجه آن تعادلی بین ۳ عامل میزان آلودگی، pH و درصد شوینده ایجاد می گردد. حالت بهینه جهت بازده عملیات در واقع مشابه میزان بیشینه یک سهمی می باشد که کم تر و بیشتر از آن بازده پایین تری خواهد داشت. در واقع در این حالت میزان

شوینده از حالت بهینه عبور نموده و واکنش هایی اضافی بین شوینده و آلاینده و همچنین ذرات خاک صورت پذیرفته است که جداسازی و شستشوی شوینده و گازوئیل متصل به آن توسط آب میسر نبوده و در نتیجه بازده عملیات پایین تر آمده است. نمودار ۲ تغییرات بازده شستشو با تکیه بر افزایش میزان pH را به ازای مقادیر مختلف pH ، شوینده و همچنین آب نشان می دهد.

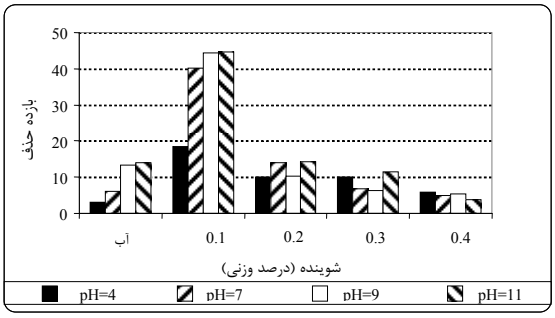


نمودار ۲- بازده شستشو با تاکید بر افزایش میزان pH (غلظت گازوئیل ppm ۱۰۰۰۰)

همان گونه که نمودار نشان می دهد در کل با افزایش pH میزان بازده افزایش یافته است، این افزایش از pH معادل ۴ به ۷ و همچنین از ۹ به ۱۱ بیشتر می باشد. همان گونه که در نمودار مشاهده می گردد با افزایش pH از ۷ به ۹ تغییر چندانی در میزان پاک سازی ایجاد نشده است. در کلیه حالات، شوینده در pH های اسیدی بازده پایین تری نسبت به حالت بازی دارد. دلیل افزایش بازده در حالت خنثی و قلیایی می تواند انحلال پذیری نسبتا زیاد چربی ها در این حالت باشد

۱-۲- حذف گازوئیل با میزان آلودگی اولیه ppm ۲۰۰۰۰

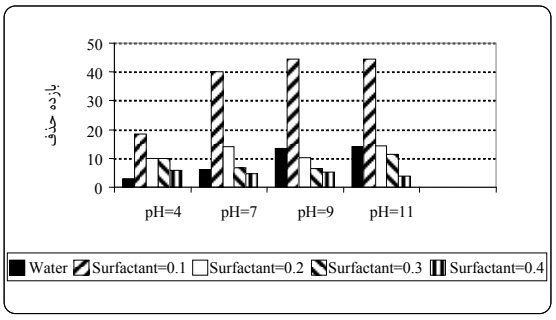
در بخش دوم آزمایش ها، ستون های خاک با گازوئیل به میزان ppm ۲۰۰۰۰ آلوده گردید و سپس تحت شرایط مختلف تحت عملیات شستشو قرار گرفت. نمودار ۳ بازده حذف گازوئیل به ازای مقادیر مختلف pH و شوینده و همچنین آب (نمونه شاهد) را نشان می دهد.



نمودار ۳- بازده حذف گازوئیل با تاکید بر افزایش مقدار شوینده (غلظت گازوئیل ppm ۲۰۰۰۰)

این نمودار تغییرات بازده شستشو با تکیه بر افزایش میزان شوینده را نشان می دهد. با توجه به نمودار مشاهده می گردد که با افزایش میزان شوینده بازده پاک سازی کاهش یافته است. در این حالت میزان آلودگی اولیه نسبت به حالت قبلی دو برابر گردیده است.

همان طور که قبلا نیز گفته شد، پاک سازی خاک های آلوده در اثر روندی صورت می پذیرد که در نتیجه آن تعادلی بین ۳ عامل میزان آلودگی، pH و درصد شوینده ایجاد می گردد. در حالت آلودگی ppm ۱۰۰۰۰ کاهش بازده عملیات با توجه به میزان پایین آلودگی از میزان شوینده ۰/۳ به ۰/۴ درصد وزنی آغاز گردید، در حالت دوم با افزایش میزان آلودگی اولیه در واقع این مقدار کم تر شد و کاهش میزان بازده از مقدار شوینده ۰/۱ به ۰/۲٪ وزنی مشاهده گردید. عامل دیگری که باعث کاهش بازده حذف با افزایش مقدار شوینده می شود عبارت است از واکنش بین مقادیر اضافی شوینده با ذرات خاک، به این ترتیب که مقادیر اضافی شوینده با ذرات خاک وارد واکنش شده و جداسازی و انتقال شوینده متصل به ذرات گازوئیل را مشکل می نماید. با افزایش مقدار شوینده تعداد این واکنش ها بیشتر شده و ترکیبات ژله ای زیادتری در سطح ذرات خاک تشکیل می گردد و سرعت کاهش بازده نیز افزایش می یابد. نمودار ۴ بازده حذف گازوئیل به ازای مقادیر مختلف pH ، شوینده و همچنین نمونه شاهد (آب) را نشان می دهد.



نمودار ۴- بازده حذف گازوئیل با تاکید بر افزایش میزان pH (غلظت گازوئیل ppm ۲۰۰۰۰)

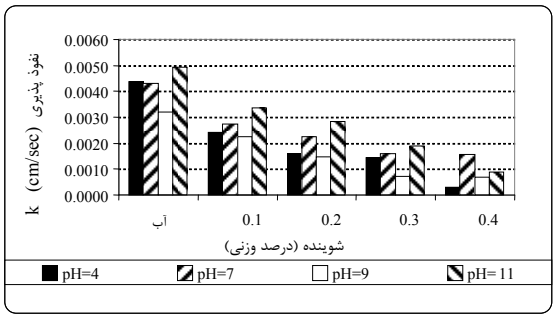
طبق نمودار مشاهده می گردد که تغییرات بازده پاک سازی با افزایش pH محسوس نمی باشد و تغییر چندانی در بازده حذف گازوئیل با افزایش pH صورت نپذیرفته است. از این نمودار می توان نتیجه گرفت که در مقادیر بالای آلودگی با توجه به شرایط آزمایش میزان شوینده عامل تعیین کننده تری نسبت به میزان pH می باشد. در حقیقت نقش pH در تسهیل جداسازی ذرات گازوئیل از خاک می باشد و زمانی که میزان آلودگی زیاد است، واکنش غالب و تعیین کننده واکنش میان شوینده و ذرات خاک می باشد، به همین جهت در میزان آلودگی اولیه ppm ۲۰۰۰۰ با افزایش pH تغییر زیادی در بازده حذف مشاهده نمی گردد.

۲- میزان نفوذپذیری خاک

در ابتدا نتایج حاصل از اندازه گیری نفوذپذیری خاک در آلودگی اولیه ppm ۱۰۰۰۰ و سپس نتایج حاصل برای آلودگی اولیه ppm ۲۰۰۰۰ مورد بررسی قرار خواهد گرفت. به علت ماهیت واکنش های بین ذرات خاک، آلاینده و همچنین شوینده، نفوذپذیری در حین آزمایش تغییر می یابد و جهت ترسیم نمودارهای این بخش میزان نفوذپذیری در پوروالیوم ۱۰ ملاک قرار گرفته است.

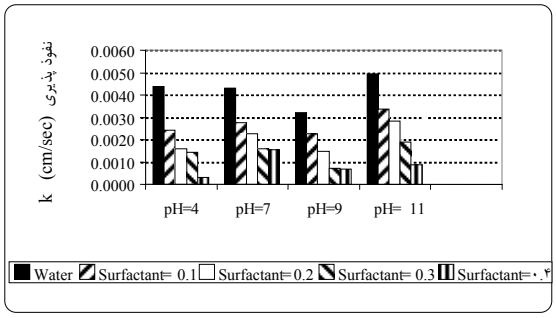
۲-۱- نفوذپذیری خاک با میزان آلودگی اولیه ppm ۱۰۰۰۰

در ابتدا ستون های خاک با میزان آلودگی اولیه ppm ۱۰۰۰۰ مورد آزمایش نفوذپذیری قرار گرفت، دبی خروجی در زمان های مختلف تا انتهای آزمایش یادداشت گردید و سپس نفوذپذیری بر حسب cm/s محاسبه گردید. نمودار ۵ مقادیر نفوذپذیری خاک را برای حالات مختلف آزمایش نشان می دهد.



نمودار ۵ – مقادیر نفوذپذیری خاک برای حالات مختلف آزمایش با تاکید بر افزایش میزان شوینده (غلظت گازوئیل ppm ۱۰۰۰۰)

همان گونه که نمودار نشان می دهد با افزایش میزان شوینده مقادیر نفوذپذیری کاهش یافته است. در کلیه حالات جز میزان ۰/۴٪ وزنی شوینده، نفوذپذیری در حالت pH = ۱۱ بیشتر می باشد. فاصله میان نفوذپذیری برای pH = ۱۱ و بقیه مقادیر pH در ابتدا و برای مقدار ۰/۱٪ وزنی برای شوینده زیاد بوده و رفته رفته این اختلاف کاهش می یابد و در انتها و در میزان ۰/۴٪ وزنی شوینده حتی کم تر نیز می شود. این حالت به طور عمده ناشی از تعادل بین pH ، میزان شوینده، خاک و میزان اولیه آلودگی که در بخش قبل ذکر شد می باشد. افزایش pH در کنار افزایش میزان شوینده باعث انجام واکنش بین ذرات خاک، شوینده و گازوئیل شده و باعث ژله ای شدن سطح خاک و در نتیجه کاهش نفوذپذیری شده است. نمودار ۶ مقادیر نفوذپذیری خاک را برای حالات مختلف آزمایش نشان می دهد.

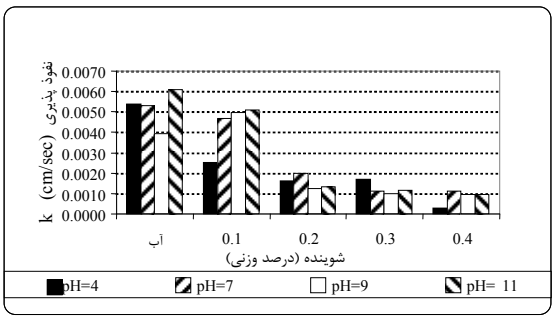


نمودار ۶- مقادیر نفوذپذیری خاک برای حالات مختلف آزمایش با تاکید بر افزایش میزان pH (غلظت گازوئیل ppm ۱۰۰۰۰)

طبق نمودار مشاهده می گردد که در مجموع میزان نفوذپذیری برای آب در کلیه مقادیر pH بیشتر می باشد. بین pH های ۴ تا ۹ برای کلیه مقادیر شوینده تغییرات چندانی در مقدار نفوذپذیری مشاهده نمی گردد، ولی با افزایش pH از ۹ به ۱۱ مقادیر نفوذپذیری برای کلیه حالات افزایش چشم گیری داشته است.

۲-۲- نفوذپذیری خاک با میزان آلودگی اولیه ppm ۲۰۰۰۰

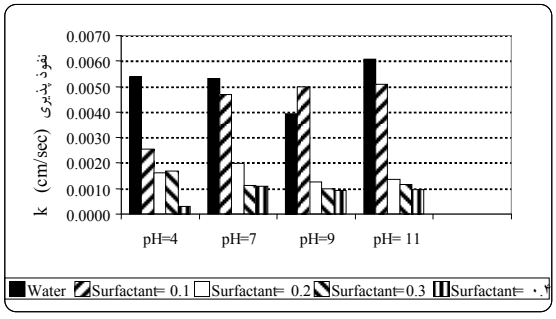
در بخش دوم ستون های خاک با میزان آلودگی اولیه ppm ۲۰۰۰۰ مورد آزمایش نفوذپذیری قرار گرفت. نمودار ۷ مقادیر نفوذپذیری خاک را برای حالات مختلف آزمایش، نشان می دهد.



نمودار ۷- مقادیر نفوذپذیری خاک برای حالات مختلف آزمایش با تاکید بر افزایش میزان شوینده (غلظت گازوئیل ppm ۲۰۰۰۰)

در این حالت نیز مشابه حالت قبل با افزایش میزان شوینده میزان نفوذپذیری کاهش یافته است. تفاوت عمده نمودار ۷ با نمودار ۵ در این می باشد که در این حالت افت بسیار شدیدی بعد از مقدار ۰/۲٪ وزنی برای شوینده مشاهده می گردد که ناشی از انجام واکنش بین مقادیر اضافی شوینده و آلودگی می باشد. در واقع ازدیاد میزان گازوئیل در خاک باعث این افت شدید در نمودار شده است. نمودار ۸ مقادیر نفوذپذیری خاک را برای حالات مختلف آزمایش نشان می دهد.

در این حالت افزایش میزان pH تغییر زیادی در میزان نفوذپذیری خاک ایجاد ننموده است و در واقع اختلاف بسیار ناچیزی در مقدار نفوذپذیری برای pH ۱۱ و بقیه مقادیر pH وجود دارد. با توجه به نمودار ۸ و نمودار ۶ برای حالت آلودگی ppm ۱۰۰۰۰ ،می توان نتیجه گرفت که در مقادیر بالای آلودگی با توجه به نوع خاک و شرایط آموزش نقش میزان شوینده پررنگ تر از مقدار pH در تغییرات نفوذپذیری می باشد.



نمودار ۸- مقادیر نفوذپذیری خاک را برای حالات مختلف آزمایش با تاکید بر افزایش میزان pH (غلظت گازوئیل ppm ۲۰۰۰۰)

نتیجه گیری

با توجه به تنوع خاک در مناطق مختلف، برای هر منطقه باید مطالعات ویژه ای صورت پذیرد. با توجه به نتایج ارایه شده در بخش قبل، نتایج کلی به صورت زیر ارایه می گردد.

در خاک با آلودگی اولیه ppm ۱۰۰۰۰ و ترکیب خاک اعلام شده، بهترین بازده حذف برای شوینده به میزان

۰/۳٪ وزنی و pH=۱۱ برابر با ۳۵ ٪ به دست آمد. در خاک با آلودگی اولیه ppm ۲۰۰۰۰ و ترکیب خاک اعلام شده، بهترین بازده حذف برای شوینده به میزان ۰/۱٪ وزنی و pH=۱۱ برابر با ۴۵٪ به دست آمد و با افزایش مقدار شوینده بازده پاک سازی کاهش یافت. در کلیه حالات بازده حذف برای آب (محلول شاهد) و حالات اسیدی پایین می باشد. با افزایش میزان آلودگی اولیه سرعت افزایش بازده حذف با افزایش میزان pH کاهش می یابد و در حقیقت در مقادیر پایین آلودگی نقش pH در افزایش بازده بیشتر می باشد. در کلیه حالات با افزایش میزان شوینده نفوذپذیری کاهش می یابد و در pH=11 و شوینده به میزان ۰/۱٪ وزنی بیشترین مقدار نفوذپذیری به دست آمد. با افزایش میزان آلودگی اولیه سرعت افزایش نفوذپذیری با افزایش میزان pH کاهش می یابد و در حقیقت در مقادیر پایین آلودگی نقش pH در افزایش نفوذپذیری بیشتر می باشد.

بررسی همزمان روند و مقادیر پاک سازی و نفوذپذیری برای خاک با آلودگی ppm ۱۰۰۰۰ نشان می دهد که انجام آزمایش در حالات pH برابر ۹ و ۱۱ و شوینده به میزان ۰/۲ و ۰/۳٪ وزنی، به علت روند صعودی افزایش بازده و عدم کاهش مقدار نفوذپذیری حالت مناسبی جهت پاک سازی خاک می باشد. بررسی همزمان روند و مقادیر پاک سازی و نفوذپذیری برای خاک با آلودگی ppm ۲۰۰۰۰ نشان می دهد که انجام آزمایش در حالات pH=7,9,11 و شوینده به میزان ۰/۱ درصد وزنی به علت روند صعودی افزایش بازده و عدم کاهش مقدار نفوذپذیری حالت مناسبی جهت پاک سازی خاک می باشد.

منابع

1. Deeb, R.A. and Alvarez-Cohen. L- (2000) – Aerobic Biotransformation of Gasoline Aromatics in Multicomponent Mixture., Bioremediation Journal, Vol 4(2), pp. 171-179.
2. Millano, E. F. and Hahn M., W. (1997) Storage, Disposal, Remediation and closure., Water environment research., Vol.69 (4), pp.689-719.
3. Kueper, B.H., (1989). The Behavoir of Dense, Non-aqueous Phase Liquid Contaminants in Heterogeneous Porous Media. PhD dissertation, University of Waterloo
4. R. Anderson, E. Rasor, F. Van Ryn, J. Hazard. Mater. 66 (1–2) (1999). 89–98.
5. W.C. Anderson (Ed.), Innovative Site Remediation Technology: Soil. Washing/Soil Flushing, American Academy of Environmental Engineers, 1993.
6. M.J. Mann, J. Hazard. Mater. 66 (1–2) (1999) 119–136.
7. Kingsley Urum, Turgay Pekdemir, Mehmet Çopur. (2004). "Surfactants treatment of crude oil contaminated soils", Journal of Colloid and Interface Science 276, pp. 456-464.
8. US EPA. (1998), Innovative Site Remediation Technology – Soil Washing/Soil Flashing Vol 3 .pp 133
9. Abdul, A.S., Gibson, T.L., Rai, D.N. (1990). "Selection of surfactants for the removal of petroleum products . from shallow sandy aquifers", Ground Water, pp.286-920.
10. Ziegenfuss, P.S,(1987), The Potential Use of Surfactant and Cosolvent Soil Washing as Adjutant for In Situ, Aquifer Restoration. MS thesis, Rice University, Houston, TX.
11. Catherine N. Mulligan, Farzad Eftekhari. (2003). "Remediation with surfactant foam of PCP-contaminated soil", Engineering Geology 70. pp. 269-279.

12. Dal-Heui Lee, Ho-Wan Chang, Robert D. Cody.(2004). “Synergism effect of mixed surfactant solutions in remediation of soil contaminated with PCE”, Geosciences Journal, Vol. 8, No. 3, p. 319-323
13. Nash, J.H., (1987). Field Studies of In Situ Washing; EPAr600r2-87r110, U.S. Environmental Protection, Agency, Cincinnati, OH.
14. Aboria, L.M., Pennell, K.D., Dekker, T.J., Weber, W.J., Jr. (1993). “Laboratory and modeling investigation of surfactant enhanced aquifer remediation”, 19th Annual Risk Reduction Engineering Laboratory Hazardous Waste Research Symposium, Cincinnati, OH, April 13±14, pp. 173±176
15. Anderson Ron, Rasor Elizabeth, Van Ryn Frank. (1999). “Practice size separation via soil washing to obtain volume reduction”, Journal of Hazardous Materials, Vol.66, pp.89-98
16. C.N. Mulligan, R.N. Yong, B.F. Gibbs, (2001). “Surfactant enhanced remediation of contaminated soil: a review.”, Engineering Geology. 60 pp. 371-380.
17. Itrube Rosario, Torres Luis G., Flored Carlos R., Chevaz Claudia, Bautista Guadalupe. (1998), Remediation of TPH PAHs contaminated soil using soil washing”, Engineering Geology Vol. 60, pp 371-380