

استفاده از جاذب‌های طبیعی در کاهش هیدروکربن‌های نفتی فاضلاب صنایع نفت (مطالعه موردی: پالایشگاه نفت تهران)

حمید باقری^{*}، فریدون وفایی^۲، سیامک بوداقپور^۳ و سید احمد میرباقری^۴

چکیده

هیدروکربن‌های نفتی، از عمده‌ترین آلاینده‌های اکوسیستم آبی و خاکی در سراسر دنیا هستند. سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (EPA) این ماده را به‌عنوان یک ماده مضر با احتمال سرطان‌زایی بالا شناسایی کرده است. Polycyclic aromatic hydrocarbons از طریق نشت مخازن نگهداری نفت در مراکز پخش فرآورده‌های نفتی وارد محیط خاک و آب‌های زیرزمینی می‌شود که در نهایت آلودگی محیط‌زیست را به همراه خواهد داشت. از آن جایی که امروزه آلودگی آب به PAHs از جمله مشکلات زیست‌محیطی جدی است، در این پژوهش میزان جذب PAHها با خاک بنتونیت، پودر تالک و رس به‌عنوان جاذب‌های طبیعی و ارزان قیمت با استفاده از دستگاه HPLC بررسی و سپس با توجه به نتایج حاصله و بهره‌گیری از ایزوترم‌های جذب فروندلیخ و لانگمویر، ضریب جذب و نیز حداکثر میزان جذب PAHs در جاذب‌ها تعیین شده است. نتایج آزمایش‌های انجام شده، نشان می‌دهد خاک بنتونیت پتانسیل بالایی در جذب PAHs دارد، به گونه‌ای که ضریب جذب (k_d) و حداکثر میزان جذب PAHs در خاک بنتونیت به ترتیب $۰/۰۰۸$ لیتر بر گرم و $۰/۱۰۱$ میلی‌گرم بر گرم هستند. همچنین در این پژوهش ضریب جذب برای خاک رس و پودر تالک به ترتیب $۰/۰۰۲۸$ لیتر بر گرم و $۰/۰۰۲۳$ لیتر بر گرم و حداکثر میزان جذب PAHs برای خاک رس و پودر تالک به ترتیب $۰/۰۴۲$ و $۰/۰۰۳$ میلی‌گرم بر گرم است.

واژه‌های کلیدی: ایزوترم جذب، جاذب‌های طبیعی، فاضلاب، هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی.

ارجاع: باقری ح. وفایی ف. بوداقپور س. و میرباقری س. ا. ۱۳۹۶. استفاده از جاذب‌های طبیعی در کاهش هیدروکربن‌های نفتی فاضلاب صنایع نفت (مطالعه موردی: پالایشگاه نفت تهران). مجله پژوهش آب ایران. ۱۱-۲۶.

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران محیط‌زیست، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
۲- دانشیار گروه مهندسی عمران محیط‌زیست، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
۳- استادیار گروه مهندسی عمران محیط‌زیست، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
۴- استاد گروه مهندسی عمران محیط‌زیست، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

* نویسنده مسئول: hbagheri65@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۹/۱۲

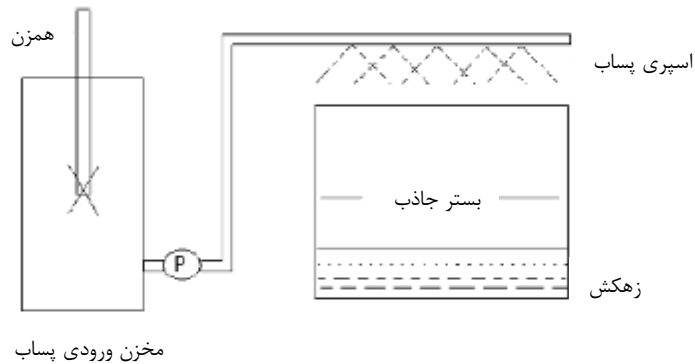
تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۱۹

مقدمه

هوا، آب و خاک از عوامل اساسی حیات در کره‌زمین هستند. پدید آمدن انقلاب صنعتی، موجب آلودگی تدریجی هوا، آب و خاک شد. خاک از منابع بسیار مهمی است که انسان ناگزیر به حفظ و نگهداری از آن است. یکی از بحران‌های زیست‌محیطی در سراسر دنیا، نشت هیدروکربن‌های نفتی از مخازن نگهداری زیرزمینی و یا ورود آن به خاک، با فاضلاب‌های آلوده به مواد نفتی است، که پیامد آن آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی به این ترکیبات سمی است. هیدروکربن‌ها ترکیباتی هستند که از هیدروژن و کربن تشکیل یافته‌اند که از نظر ساختار شیمیایی در دو گروه اصلی هیدروکربن‌های آلیفاتیک و آروماتیک تقسیم‌بندی می‌گردند. هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای ترکیباتی شامل دو یا چند حلقه‌ای آروماتیک جوش خورده هستند که به صورت ایزومرهای مختلفی وجود دارند (علیزاده‌فرد و همکاران، ۱۳۹۰). هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای از عوامل آلاینده و خطرناک محیط‌اند (خشنند و صبور، ۱۳۸۸ و کنیش، ۲۰۰۱). PAHs سمی است و پتانسیل جهش‌زایی و ورود به چرخه غذایی را دارد. همچنین این ترکیبات، به‌عنوان یک ماده مضر برای سلامتی انسان معرفی شده‌اند و از جمله ترکیبات خطرناک براساس طبقه‌بندی قانون حفاظت و بازیافت منابع (RCRA) هستند (خشنند و صبور، ۱۳۸۸ و علیزاده‌فرد و همکاران، ۱۳۹۰). از مؤثرترین روش‌ها برای حذف مؤثر ترکیبات آلی موجود در آب، روش جذب سطحی است. همچنین این روش، روشی اقتصادی و ساده و تطبیق‌پذیر است که امروزه کاربردی فراوان دارد (سالیوان و همکاران، ۲۰۰۵؛ گیتی‌پور و همکاران، ۲۰۰۶ و نامنی و همکاران، ۲۰۰۸). تاکنون مطالعات متعددی در زمینه جذب سطحی ترکیبات آلی موجود در آب صورت گرفته است که از این جمله می‌توان به استفاده از ستون‌های کربن فعال با جریان رو به پایین به منظور جذب ترکیبات آلی از آب با EPA اشاره کرد که در گزارش EPA در سال ۲۰۰۰ از مهم‌ترین مزایای این فرآیند به مواردی مانند، مؤثر بودن برای حذف مواد آلی محلول، نیاز به حجم کم، راه‌اندازی آسان و احیاء مجدد کربن می‌توان اشاره کرد (ایپی‌ای، ۲۰۰۰). همچنین می‌توان به تحقیقات بوغزه (۲۰۰۷) در مورد بررسی میزان جذب آلاینده‌های آلی در خاک رس بازالتی و بنتونیت و

ارائه نتایج با استفاده از ایزوترم‌های جذب اشاره نمود. جلایر (۱۳۸۶) در دانشگاه شیراز، بررسی امکان جذب ترکیبات BTEX از محلول آمین با جاذب‌های مختلف جامد را مورد پژوهش قرار دادند که نتایج آن‌ها نشان‌داد برای جداسازی ترکیبات BTEX از محلول مونواتانول آمین، کربن فعال دانه‌ای نسبت به خاک اره مؤثرتر است. ژیان و طباطبایی (۱۳۸۴) تصفیه پساب صنایع پتروشیمی و نفت با استفاده از خاک‌های شاخص بنتونیت، توفیت، تالک و زئولیت به‌عنوان لخته‌کننده را بررسی کردند که نتایج آن‌ها نشان داد خاک بنتونیت را می‌توان به‌عنوان بهترین خاک معرفی کرد که بیشترین جذب ذره‌های امولسیون را دارد. برای حذف بهتر امولسیون پساب‌های پتروشیمی و نفت، این مواد واکنش‌پذیری بیشتری در محیط‌های بازی دارند؛ زیرا فعالیت لخته‌سازی در محیط بازی از محیط اسیدی بیشتر است. میرباقری و همکاران (۱۳۹۱) استفاده از جاذب‌های کربن‌فعال، زئولیت و رزین‌ها در تصفیه آب و فاضلاب را بررسی کردند که نتایج آن‌ها نشان داد کربن فعال اکسیده شده به دلیل بار منفی سطحی و خاصیت تعویض یونی دارای ظرفیت بالایی در جذب فلزات سنگین است. همچنین جاذب‌های پلیمری در چند دهه‌ی اخیر جایگزین مناسبی برای کربن فعال شده‌اند. باغبان و ناصری (۱۳۸۸) اندازه‌گیری ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در آب تصفیه شده تصفیه خانه‌ها و شبکه توزیع آب شهر تهران و مخازن استان تهران را بررسی کردند که نتایج آن‌ها نشان داد بررسی کروماتوگرام‌های حاصله از میزان شانزده ترکیب PAHs اندازه‌گیری شده در تمام نمونه‌ها در مقایسه با استاندارد ملی ایران ۱۰۵۳، سازمان بهداشت جهانی WHO استاندارد ارائه شده توسط Wisconsin آمریکا، پایین‌تر از حد مجاز تعیین شده برای آب آشامیدنی است. همچنین می‌توان به تحقیقات سنبلستان و همکاران (۱۳۹۰) در مورد زیست‌پالایی برخی از هیدروکربن‌های آروماتیک نفتی به وسیله گونه‌های باکتریایی جدا شده از خاک‌های آلوده و پژوهش‌های رضوی دینانی و رضایی (۱۳۹۰) در مورد کاربرد پوسته برنج در حذف هیدروکربن‌های نفتی از محیط آبی اشاره کرد. با توجه به مطالب بیان شده، در این تحقیق به بررسی تصفیه‌پذیری آب آلوده به PAHs در منطقه پالایشگاه نفت تهران با استفاده از خاک بنتونیت، پودر تالک و خاک رس به‌عنوان

شد. پایلوت همچنین از لوله‌های اسپری کننده پساب، مخزن ورودی پساب، زهکش، پمپ و یک همزن تشکیل شده است. سپس در هر مرحله پایلوت تا ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر با جاذب‌های مذکور پر و پساب حاوی ترکیبات PAHs با یک دبی معین از روی آن‌ها عبور داده شد. در هنگام آزمایش حدود ۱ الی ۲ سانتی‌متر بار سطحی بر روی سطح جاذب‌ها قرار گرفته و در تمامی آزمایش‌ها، شرایط ثابت نگه داشته می‌شود. در مورد کلیه آزمایش‌ها، با توجه به شروع زمان پساب خروجی از پایلوت، در فواصل زمانی ۳۰ دقیقه به طور متوالی از پساب خروجی، عملیات نمونه‌برداری به مدت چهار ساعت صورت گرفت (۹ نمونه).



شکل ۱- شمای پایلوت استفاده شده در شرایط آزمایش

جدول ۱- ویژگی‌های فرآورده PAHs

| نقطه جوش (°C) | دانسیته (kg/m ³) | ماده مورد تجزیه |
|---------------|------------------------------|----------------------|
| ۲۱۸ | ۱۲۸/۲ | Naphthalene |
| ۲۹۸ | ۱۶۶/۲ | Fluorene |
| ۳۴۲ | ۱۷۸/۲ | Anthracene |
| ۳۸۴ | ۲۰۲/۳ | Fluoranthene |
| | ۲۰۲/۳ | Pyrene |
| | ۲۵۲/۳ | Benzo(k)fluoranthene |
| ۴۹۵ | ۲۵۲/۳ | Benzo(a)pyrene |
| >۵۰۰ | ۲۷۶/۳ | Benzo(ghi)pyrene |

جدول ۲- خصوصیات نمونه خاک رس

| مشخصات | مواد آلی (%) | رطوبت اشباع (%) | CEC (meq) | pH | بافت خاک |
|--------|--------------|-----------------|-----------|------|----------|
| میزان | ۰/۷۵۸۲ | ۳۰ | ۵۱/۲۵ | ۷/۳۵ | رسی |

جاذب‌های طبیعی پرداخته شد و در ادامه با استفاده از ایزوترم‌های جذب، میزان جذب ترکیبات آروماتیک حلقوی به کمک دو مدل جذب فروندلیخ و لانگمویر تعیین شد. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر جاذب‌های طبیعی بر حذف هیدروکربن‌های نفتی و جلوگیری از نفوذ آن‌ها به خاک و در نتیجه آب‌های زیرزمینی است.

مواد و روش‌ها

پایلوتی مکعب مستطیل مطابق شکل ۱ و با ابعاد ۷۰×۴۰×۱۰۰ سانتی‌متر مکعب از جنس فولاد ضد زنگ و پنجره شیشه‌ای برای انجام آزمایش روی ستونی از جاذب‌ها (خاک بنتونیت، پودر تالک و خاک رس) تهیه

همچنین در این پژوهش، برای تعیین میزان جذب و نگهداری آلاینده PAHs در جاذب‌های موردنظر از آزمایش جذب استفاده شد. بدین منظور آلاینده نفتی مورد نظر با استفاده از نفت خام و بنزین بدون آلاینده به نسبت ۵ درصد تهیه و سپس یک لیتر از سوبسترای فوق برای تهیه پساب دارای ترکیبات PAHs به ۵۰ لیتر آب اضافه شد؛ به طوری که میزان ترکیبات PAHs در پساب، ۱۵۶/۸ میکروگرم در لیتر اندازه‌گیری شد. مشخصات PAHs که به‌عنوان ماده آلاینده در این مطالعه استفاده شده، در جدول ۱ آمده است.

همچنین در این پژوهش، از خاک رس به منظور تعیین خصوصیات ژئوتکنیک زیست‌محیطی و بررسی قابلیت جذب و نگهداری آلاینده PAHs به‌عنوان جاذب استفاده شده است. خصوصیات خاک رس مورد استفاده در این مطالعه، در جدول ۲ آمده است.

روش انجام آزمایش

برای اندازه‌گیری میزان ترکیبات PAHs در نمونه‌های خروجی از پایلوت، ابتدا این ترکیبات با عملیات استخراج با حلال دی‌کلرومتان و استفاده از دکانتور در نمونه‌های پساب، جدا شد.

ترکیبات جدا شده برای جداسازی حلال و تغلیظ نمونه‌ها، درون دستگاه دوار^۱ توسط خلا، خشک و تغلیظ شدند، سپس به روش کروماتوگرافی ستونی با استفاده از ستون سلیکاژل و آلومینا عملیات خالص‌سازی روی آن‌ها انجام شد (ژباهونگ و همکاران، ۲۰۰۵ و صمیمی و همکاران، ۲۰۰۹).

در خاتمه میزان ترکیبات PAHs در نمونه‌ها با دستگاه HPLC مدل Water 510 مجهز به آشکارساز^۲ فلورسانس و ستون μm packing materials 5-S 18 Waters طبق استاندارد PAHC (ISO-17981-1 2005) و استاندارد ASTM (ASTM- D 1618-99) اندازه‌گیری شد (ای‌پی‌ای، ۲۰۰۱).

فرآیند جذب

فرآیندهای جذب، شامل جذب سطحی، جذب شیمیایی و جذب‌شوندگی است. ویژگی‌های جاذب در جذب بسیار مهم است. عوامل کلیدی مؤثر در جذب عبارت‌اند از: اندازه‌ی مولکولی، آب‌گریزی، بار مولکولی و ساختار.

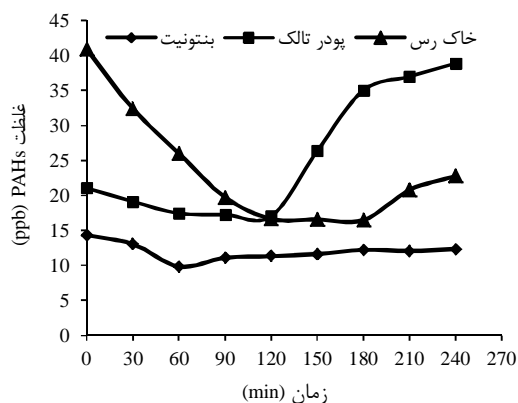
آب‌گریزی عبارت است از: دفع آب در اثر جذب برخی ترکیبات آلی حل‌شده در آب‌های زیرزمینی به سطوح خاک. حل‌پذیری ترکیبات آلی در آب، تابع درجه جذب مولکول‌های قطبی آب است. این جذب به قطبیت مولکول آلی بستگی دارد. ترکیبات آب‌گریز، در بسیاری از حلال‌های غیرقطبی حل می‌شوند؛ اما انحلال آن‌ها در آب، کم است و وقتی در آب حل، تمایل دارند که جذب سطوح با قطبیت کمتر شدند. زمانی که نفت یا فرآورده‌های مواد نفتی روی خاک ریخته می‌شوند، نفوذ می‌کنند و احتمال دارد آب‌های زیرزمینی را آلوده کنند. میزان و گستردگی این نفوذ به خاصیت و ویژگی خاک و همین‌طور به ماهیت و کمیت مواد آلاینده بستگی خواهد داشت (خشنند و صبور، ۱۳۸۸ و میرباقری و همکاران، ۲۰۰۸).

ایزوترم‌های جذب

جذب آلاینده، روی ماده جاذب با استفاده از ایزوترم‌های جذب و به صورت معادله ریاضی بیان می‌شود. به طور کلی، میزان موادی که بر روی ذرات جاذب، جذب می‌شوند، تابعی از غلظت ماده جذب‌شونده است (باتیستا و همکاران، ۲۰۰۳). در این پژوهش برای تشریح تعادل بین سطوح جاذب و ماده شیمیایی موجود در محلول (ماده جذب‌شونده) و بررسی رابطه بین مقدار و غلظت PAHs جذب شده با خاک بنتونیت، پودر تالک و خاک رس و غلظت تعادل PAHs در محلول آبی و نیز تعیین ظرفیت خاک بنتونیت، پودر تالک و خاک رس به‌عنوان جاذب، از ایزوترم‌های جذب فروندلیخ و جذب لانگمویر (عباسی، ۱۳۸۶ و الهامی‌نژاد و اکبرنژاد، ۱۳۸۹) استفاده شد.

نتایج و بحث

میزان غلظت PAHs در خروجی پایلوت بعد از عبور از جاذب‌های خاک بنتونیت، پودر تالک و خاک رس مطابق شکل ۲ است.



شکل ۲- میزان غلظت PAHs در خروجی پایلوت توسط جاذب‌ها

تغییرات مقدار آلاینده جذب‌شده در واحد جرم جامد بر حسب غلظت آلاینده در محلول برای بررسی ایزوترم جذبی فروندلیخ برای جاذب‌های طبیعی خاک بنتونیت، خاک رس و پودر تالک به صورت جدول ۳ است

جدول ۳- ایزوترم جذبی فروندلیخ PAHs جاذبها

| جاذب | معادله | R _L | Q | R ² |
|-------------|---|----------------|-------|----------------|
| خاک بنتونیت | $S = -16.25 \left(\frac{S}{C}\right) + 0.09$ | ۰/۰۹۳ | ۰/۱۰۱ | ۰/۹۷۴ |
| پودر تالک | $S = -33.72 \left(\frac{S}{C}\right) + 0.042$ | ۰/۰۱۷ | ۰/۰۴۲ | ۰/۹۴۵ |
| خاک رس | $S = -3.633 \left(\frac{S}{C}\right) + 0.101$ | ۰/۰۲۲ | ۰/۰۰۳ | ۰/۹۶ |

مذکور به ترتیب برابر با ۰/۰۰۸، ۰/۰۰۲۳ و ۰/۰۰۲۸ لیتر در گرم است، در نتیجه از آنجا که تمامی جاذبهای مذکور دارای شدت جذب بین صفر و یک است، بنابراین عملیات جذب را به خوبی انجام می‌دهند. دیگر پژوهشگران هم به نتایج مشابهی دست یافته‌اند (اولیویرا، ۲۰۰۵؛ بوعزه، ۲۰۰۷ و الهامی‌نژاد و اکبرنژاد، ۱۳۸۹). تغییرات S بر حسب S/C برای بررسی ایزوترم جذبی لانگمویر برای جاذبهای خاک بنتونیت، خاک رس و پودر تالک به صورت جدول ۴ است.

برای بررسی عملکرد جذب در ایزوترم فروندلیخ، از فاکتور شدت جذب (β) استفاده می‌شود، بدین صورت که اگر ۰ < β < ۱ باشد، عملیات جذب به خوبی انجام شده و جاذب برای عملیات جذب مناسب است و اگر β > ۱ باشد، جاذب برای عملیات جذب مناسب نیست. البته این نکته حائز اهمیت است که شدت جذب هیچ‌گاه نمی‌تواند کوچک‌تر از صفر باشد (بوعزه، ۲۰۰۷ و الهامی‌نژاد و اکبرنژاد، ۱۳۸۹). در این پژوهش، شدت جذب برای جاذبهای خاک بنتونیت، پودر تالک و خاک رس به ترتیب برابر با ۰/۵۰۶، ۰/۶۲۲ و ۰/۱۳ و ضریب جذب برای جاذبهای

جدول ۴- ایزوترم جذبی لانگمویر (الهامی‌نژاد و اکبرنژاد، ۱۳۸۹) PAHs جاذبها

| جاذب | معادله | k _i | β |
|-------------|-----------------------|----------------|-------|
| خاک بنتونیت | $S = 0.008C^{0.506}$ | ۰/۰۰۸ | ۰/۵۰۶ |
| پودر تالک | $S = 0.0023C^{0.622}$ | ۰/۰۰۲۳ | ۰/۶۲۲ |
| خاک رس | $S = 0.0028C^{0.130}$ | ۰/۰۰۲۸ | ۰/۱۳ |

همچنین برآزش نتایج آزمایش جذب روی ایزوترمهای لانگمویر و فروندلیخ با توجه به ضریب همبستگی این ایزوترمها، نشان می‌دهند ایزوترم جذب لانگمویر با ضریب همبستگی ۰/۹۷۴، ۰/۹۴۵ و ۰/۹۶ به ترتیب برای جاذبهای خاک بنتونیت، پودر تالک و خاک رس از بالاترین همخوانی با نتایج آزمایشگاهی در مدل‌سازی فرآیند جذب سطحی PAHs برخوردار هستند.

نتیجه‌گیری

از آنجایی که ویژگی‌های خاص PAHsها منجر به نفوذ بیشتر این ماده به منابع آب می‌شود، استفاده از روش‌های جدید و کارا برای حذف آن بسیار ضروری است. آزمایش‌های انجام گرفته در این پژوهش، برای معرفی خاک بنتونیت، پودر تالک و خاک رس به‌عنوان جاذب برای تصفیه آب‌های آلوده و نیز بررسی میزان کارایی این

برای بررسی عملکرد جذب در ایزوترم لانگمویر، فاکتور جداسازی R_L به صورت معادله (۱) بیان می‌شود (اولیویرا، ۲۰۰۵ و الهامی‌نژاد و اکبرنژاد، ۱۳۸۹):

$$R_L = \frac{1}{1 + (K_L \times C_i)} \quad (1)$$

اگر R_L بین صفر و یک باشد، عملیات جذب به خوبی انجام شده است و اگر R_L مساوی و بزرگ‌تر از یک باشد، عملیات جذب نامطلوب است و اگر برابر صفر باشد، جذب بازگشت‌ناپذیر است و از آنجا که در این پژوهش فاکتور جداسازی برای جاذبهای خاک بنتونیت، پودر تالک و خاک رس به ترتیب برابر با ۰/۰۹۳، ۰/۰۱۷ و ۰/۰۲۲ و حداکثر میزان جذب برای جاذبهای مذکور به ترتیب برابر با ۰/۱۰۱، ۰/۰۴۲ و ۰/۰۰۳ است، پس عملیات جذب در جاذبهای مورد آزمایش به خوبی انجام شده است. دیگر پژوهشگران هم به نتایج مشابهی دست یافته‌اند (اولیویرا، ۲۰۰۵؛ بوعزه، ۲۰۰۷ و الهامی‌نژاد و اکبرنژاد، ۱۳۸۹).

- مخازن استان تهران. دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران. دانشکده علوم پزشکی شهید بهشتی. دانشکده بهداشت.
۳. جلایر ف. ۱۳۸۶. بررسی امکان جذب ترکیبات BTEX از محلول آمین توسط جاذب‌های مختلف جامد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شیراز. ۹۵ ص.
۴. خشنند ا. و صبور م. ۱۳۸۸. بررسی میزان جذب گازوئیل در خاک‌های ماسه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده عمران. دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی. ۱۷۴ ص.
۵. رضوی دینانی ز. و رضایی ب. ۱۳۹۰. کاربرد پوسته برنج در حذف هیدروکربن‌های نفتی از محیط آبی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۸۳ ص.
۶. ژیان ح. و طباطبایی ص. ۱۳۸۵. تصفیه پساب صنایع پتروشیمی و نفت با استفاده از خاک‌های شاخص بنتونیت، توفیت، تالک و زئولیت به‌عنوان لخته‌کننده. نشریه شیمی ایران. ۲۵(۱): ۳۵-۴۴.
۷. سنبلستان م. هودجی م. و طهمورث پور آ. ۱۳۹۰. زیست‌پالایی برخی از هیدروکربن‌های آروماتیک نفتی به وسیله گونه‌های باکتریایی جداشده از خاک‌های آلوده. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی گنبد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۹۱ ص.
۸. عباسی ف. ۱۳۸۶. فیزیک خاک پیشرفته. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ اول، ۲۶۰ ص.
۹. عزیزاده فرد م. ترابیانع. نبی بیدهدنی غ. و امین زاده ب. ۱۳۹۰. حذف هیدروکربن‌های آروماتیک نفتی از آب با استفاده از پوشش نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم. پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست. دانشگاه تهران.
۱۰. میرباقری ا. سینایی‌نژاد م. بیگلری‌جون ن. و احمدی س. ۱۳۹۱. مروری بر استفاده از جاذب‌های کربن فعال، زئولیت و رزین‌ها در تصفیه آب و فاضلاب. ششمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست. دانشگاه تهران.

جاذب‌ها در این امر صورت گرفته است. همچنین برازش نتایج آزمایش جذب روی ایزوترم‌های لانگمویر و فروندلیخ با توجه به ضریب همبستگی این ایزوترم‌ها نشان می‌دهند ایزوترم جذب لانگمویر با ضریب همبستگی ۰/۹۷۴، ۰/۹۴۵ و ۰/۹۶ به ترتیب برای جاذب‌های خاک بنتونیت، پودر تالک و خاک رس از بالاترین همخوانی با نتایج آزمایشگاهی در مدل‌سازی فرآیند جذب سطحی PAHs برخوردار هستند. همچنین در مورد ایزوترم جذب فروندلیخ ضریب همبستگی جاذب‌های خاک بنتونیت، پودر تالک و خاک رس به ترتیب برابر با ۰/۹۶۶، ۰/۹۲۱ و ۰/۹۵۱ است. برازش نتایج آزمایش جذب روی ایزوترم‌های جذب فروندلیخ و لانگمویر مختلف جذب نشان می‌دهد جذب سطحی PAHs توسط خاک بنتونیت برازش بسیار دقیقی روی مدل جذب فروندلیخ و لانگمویر دارد. با توجه به ارزان بودن و در دسترس بودن خاک بنتونیت و سادگی کاربری روش جذب سطحی و بی‌نیازی از نیروی متخصص و اپراتوری ویژه و مهم‌تر از همه، جمع‌آوری نهایی و بازیابی آسان خاک بنتونیت از فاضلاب تصفیه‌شده، می‌توان این خاک را به‌عنوان جایگزین مناسبی برای سایر مواد جاذب و سایر روش‌های تصفیه و پالایش آب و فاضلاب به کار برد.

سیاس‌گذاری

پژوهش حاضر با حمایت مالی پالایشگاه نفت تهران انجام شده است و نویسندگان بدین وسیله از مدیریت عامل محترم پالایشگاه، جناب آقای غدیری و مدیر محترم اداره پژوهش و توسعه، جناب آقای نیک‌بخت و سایر پرسنل محترم این اداره کمال تشکر و قدردانی را به عمل می‌آورند.

منابع

۱. الهامی‌نژاد ر. و اکبرنژاد م. م. ۱۳۸۹. استفاده از ویژگی‌های نانو ذرات به منظور رفع آلودگی‌های آب‌های زیرزمینی و سطحی از مواد معلق نفتی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی تهران. ۱۱۹ ص.
۲. باغبان م. و ناصری ش. ۱۳۸۸. اندازه‌گیری ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در آب تصفیه شده تصفیه‌خانه‌ها و شبکه توزیع آب شهر تهران و

11. Bautista L. F. Martinez M. and Aracil J. 2003. Adsorption of α -amylase in a fixed bed: operation efficiency and kinetic modeling. AICHE Journal. 49(10): 2631-2641.

12. Bouazza A. 2007. Phenol adsorption in organo-modified basaltic clay and bentonite. *Applied Clay Science*. 37: 133-142.
13. Gitipour S. Akbar B. and Givehchi S. 2006. Adsorption and permeability of contaminated clay soils to hydrocarbons. *Pakistan Journal of biological Science*. 9(3): 336-340.
14. Kennish M. J. 2001. *Pollution Impacts on Marine Biotic Communities*. CRC Press Book. 310 p.
15. Mirbagheri S. A. Tanji K. K. and Rajae T. 2008. Selenium transport and transformation modeling in soil columns and ground water contamination prediction. *Hydrological Processes*. 22(14): 2475-2483.
16. Nameni M. Alavi Moghadam M. R. and Arami M. 2008. Adsorption of hexavalent chromium from aqueous solutions by wheat bran. *Journal Environment Sci. Tech. International Journal of Environmental Science & Technology*. 5(2): 161-168.
17. Oliveira E. A. 2005. Equilibrium Studies for the Sorption of Chromium from Aqueous Solutions using Raw Rice Bran. *Process Biochemistry*. 40(11): 3485-3490.
18. Samimi S. V. Akbari Rad R. and Ghanizadeh F. 2009. polycyclic aromatic hydrocarbon contamination level in collected samples from vicinity of a highway. *Iranian Journal of Environmental Health Science and engineering*. 6(1): 41-52.
19. Sullivan E. J. Bowman R. S. Katz L. and Kinney k. 2005. *Water Treatment Technology for Oil and Gas Produced Water*. 330 p.
20. US EPA Method 550. 2001. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in drinking water by liquid extraction and HPLC with coupled ultraviolet and fluorescence detection. 550 p.
21. US. EPA. 2000. *Wastewater Technology, Fact Sheet: Granular Activated Carbon Adsorption and Regeneration*. EPA 832-F-00-017. U.S.EPA. Washington D.C.
22. Xiaohong L. Xinhui B. Bixian M. Guoying S. and Jiamo F. 2005. Separation of PAHs in aerosol by thin layer chromatography for compound-specific stable carbon isotope analysis. 66(2): 487-494.

