

نقش خاک بنتونیت و کربن اکتیو در جذب هیدروکربن های آروماتیک حلقوی ناشی از پساب های آلوده در پالایشگاه نفت تهران

حمید باقری^۱، فریدون وفایی^۲، سیامک بوداقپور^۳، سیداحمد میرباقری^۴

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران محیط زیست، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، hbagheri65@yahoo.com

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران محیط زیست، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

۳- استادیار گروه مهندسی عمران محیط زیست، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

۴- استاد گروه مهندسی عمران محیط زیست، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

تاریخ دریافت: ۹۳/۶/۱۰ تاریخ تصویب: ۹۳/۱۲/۳

چکیده

یکی از معضلات زیست محیطی جدی که می تواند خسارت های اقتصادی و اکولوژیکی غیرقابل جبرانی به محیط زیست وارد سازد، مواد آلاینده آلی است. در این میان آلودگی مواد آلاینده آلی یک موضوع بسیار جدی می باشد که مورد توجه افکار عمومی است چرا که در برخی مواقع این آلودگی ها آسیب جدی به محیط های آبی و خاکی وارد می کنند. هیدروکربن های آروماتیک حلقوی که با نام اختصاری PAHs از آنها نام برده خواهد شد، یکی از گروه های عمده مواد آلی قابل حل در آب با توجه به شرایط زمین شناسی هر منطقه می باشند. روشهای مختلفی برای پاکسازی محیط های آبی آلوده به نفت استفاده می شود که کاربرد مواد جاذب برای حذف انواع آلاینده ها به خصوص ترکیبات نفتی و مشتقات آن (هیدروکربنهای آروماتیک حلقوی) بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. در این پژوهش با انجام آزمایشات جذب، میزان جذب PAH ها توسط خاک بنتونیت و کربن اکتیو با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) مورد بررسی قرار گرفته و سپس با بهره گیری از ایزوترم های جذب فروندلیخ و لانگمویر، ضریب جذب و نیز حداکثر میزان جذب این ماده در خاک تعیین گردیده است. نتایج نشان می دهند که خاک بنتونیت از پتانسیل بالایی در جذب PAHs برخوردار می باشد به گونه ای که ضریب جذب و حداکثر میزان جذب این ماده در خاک بنتونیت به ترتیب 0.005 L/g و 0.157 mg/g می باشند.

واژگان کلیدی: ایزوترم جذب، جذب سطحی، زمین شناسی، فاضلاب، هیدروکربن های آروماتیک حلقوی.

مقدمه

خاک و در نتیجه منابع آبهای زیرزمینی می باشند. هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای ترکیباتی شامل دو یا چند حلقه ای آروماتیک جوش خورده هستند که به صورت ایزومرهای مختلفی وجود دارند (علیزاده فرد و همکاران ۱۳۹۰). هیدروکربن های چند حلقه ای از عوامل آلاینده و خطرناک محیط زیست به شمار می روند (خشند و صبور ۱۳۸۸ & Kennish 2001).

یکی از مؤثرترین روشها جهت حذف مؤثر ترکیبات آلی موجود در آب روش جذب سطحی است. که روشی اقتصادی، ساده و تطبیق پذیر است که امروزه کاربردی فراوان دارد (Nameni et al. 2008).

پیشرفت علوم و تکنولوژی در طی انقلاب صنعتی توانایی بشر را در بهره برداری از منابع طبیعی افزایش داده است، هر چند که این امر، اختلالات بی سابقه ای را در چرخه های طبیعی ایجاد نموده است. یکی از منابع بسیار مهمی که انسان ناگزیر از حفظ و نگهداری آن است، خاک می باشد. یکی از بحرانهای زیست محیطی در سراسر دنیا، نشت هیدروکربن های نفتی از مخازن ذخیره، لوله های انتقال نفت، تصادف تانکرهای حمل سوخت و تخلیه غیرمجاز پساب پالایشگاه ها و کارخانه های مرتبط با تولید محصولات نفتی می باشد. که به دلیل قابلیت حلالت بالای این ترکیبات در آب، این ترکیبات قادر به راهیابی به

تاکنون مطالعات متعددی در زمینه جذب سطحی ترکیبات آلی موجود در آب صورت گرفته است که از این جمله می توان به استفاده از ستون های کربن فعال با جریان رو به پایین به منظور جذب ترکیبات آلی از آب توسط EPA اشاره نمود، که در گزارشی که در سال ۲۰۰۰ توسط EPA منتشر شد از مهمترین مزایای این فرآیند به مواردی نظیر، موثر بودن جهت حذف مواد آلی محلول، نیاز به حجم کم، راه اندازی آسان و احیاء مجدد کربن میتوان اشاره نمود (US.EPA 2000). همچنین می توان به تحقیقات بوعزه در مورد بررسی میزان جذب آلاینده های آلی در خاک رس بازالتی و بنتونیت و ارائه نتایج با استفاده از ایزوترم های جذب اشاره نمود (Bouazza 2007).

سلماسی و همکاران بررسی نقش بنتونیت، ایلیت، همتایت، زئولیت و کلسیت بر کاهش جذب فلزات سنگین در زمین های آبیاری شده با پساب های آلوده در شهرستان تبریز را مورد بررسی قرار دادند که نتایج آنها نشان داد که دو اصلاح گر کلسیت و همتایت بیشترین ظرفیت جذب فلزات سنگین را در زمین های آبیاری شده دارند (سلماسی و استادرحیمی ۱۳۹۳).

بررسی امکان جذب ترکیبات BTEX از محلول آمین توسط جاذبه های مختلف جامد را مورد پژوهش قرار دادند که نتایج آنها نشان داد که برای جداسازی ترکیبات BTEX از محلول مونواتانول آمین، کربن فعال دانه ای نسبت به خاک اره مؤثرتر است (جلایر ۱۳۸۶).

ژیان و طباطبایی تصفیه پساب صنایع پتروشیمی و نفت با استفاده از خاکهای شاخص بنتونیت، توفیت، تالک و زئولیت به عنوان لخته کننده را مورد پژوهش قرار دادند که نتایج آنها نشان داد که خاک بنتونیت را می توان به عنوان بهترین خاک که بیشترین جذب ذره های امولسیون را دارد معرفی کرد. برای حذف بهتر امولسیون پسابهای پتروشیمی و نفت، این مواد واکنش پذیری بیشتری در محیط های بازی دارند، زیرا فعالیت لخته سازی در محیط بازی از محیط اسیدی بیشتر است (ژیان و طباطبایی ۱۳۸۵). میرباقری و همکاران استفاده از جاذبه های کربن فعال، زئولیت و رزینها در تصفیه آب و فاضلاب را مورد بررسی قرار داده اند 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

جاذب های پلیمری در چند دهه اخیر جایگزین مناسبی برای کربن فعال شده اند (میرباقری و همکاران ۱۳۹۱). باغبان و ناصری اندازه گیری ترکیبات هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای در آب تصفیه شده تصفیه خانه ها و شبکه توزیع آب شهر تهران و مخازن استان تهران را مورد بررسی قرار دادند که نتایج آنها نشان داد که بررسی کروماتوگرام های حاصله از میزان ۱۶ ترکیب PAHs اندازه گیری شده در تمام نمونه ها در مقایسه با استاندارد ملی ایران ۱۰۵۳، سازمان بهداشت جهانی WHO استاندارد ارائه شده توسط Wisconsin آمریکا، پائین تر از حد مجاز تعیین شده برای آب آشامیدنی می باشد (باغبان و ناصری ۱۳۸۸). همچنین می توان به تحقیقات رضوی دینانی و رضایی در مورد کاربرد پوسته برنج در حذف هیدروکربن های نفتی از محیط آبی اشاره کرد (رضوی دینانی و رضایی ۱۳۹۰). با توجه به مطالب بیان شده، در این تحقیق به بررسی تصفیه پذیری پساب آلوده به PAHs در منطقه پالایشگاه نفت تهران با استفاده از خاک بنتونیت، کربن اکتیو و سبوس برنج به عنوان جاذب پرداخته شد و در ادامه با استفاده از ایزوترم های جذب، میزان جذب ترکیبات آروماتیک حلقوی به کمک دو مدل جذب فروندلیخ و لانگمویر تعیین گردید. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر خاک بنتونیت، کربن اکتیو و سبوس برنج بر حذف هیدروکربن های آروماتیک حلقوی و جلوگیری از نفوذ آنها به خاک و در نتیجه آبهای زیرزمینی با توجه به زمین شناسی منطقه می باشد.

زمین شناسی منطقه

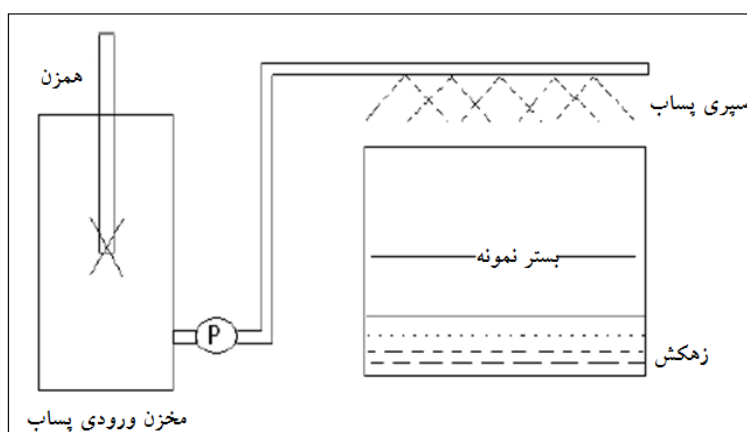
زمین های شهر ری از آبرفتهای سیلابی دامنه جنوبی ارتفاعات توجال و آبرفتهای اطراف کوه آراد تشکیل یافته است. که بوسیله قنات ها، مسیل ها و همچنین کانالهایی که از پایین دست رود کرج منشعب می شوند، مشروب می شود. در زمین شناسی ایران، بطور معمول سنگ ها پس از سازنده های کنگلومرای پلیوسن - پلیوستوسن را به سن کواترنری دانسته اند، که بطور دگر شیب، سنگ های کهن تر را می پوشاند. در بین آنها، نهشته های آبرفتی کوهپایه ای، بادی و صحرايي - کویری بیشترین سهم را دارند (آقنابتی ۱۳۸۳). به همین رو، این باور وجود دارد که به دنبال رخداد زمین ساختی آلپ پایانی، سرزمین ایران

شده اند. به همین دلیل از نظر خاستگاه ویژگی های یکسان دارند ولی تناوب چرخه های پر باران و سال های کم باران و حتی رخدادهای زمین ساختی بر چند و چون آبرفت ها اثر گذار بوده است.

مواد و روش ها

با توجه به توپوگرافی و خصوصیات زمین شناسی منطقه پایلوتی مکعب مستطیل مطابق شکل او با ابعاد ۷۰×۴۰×۱۰۰ سانتیمتر مکعب از جنس فولاد ضد زنگ و پنجره شیشه ای جهت انجام آزمایشات بر روی ستونی از خاک بتونیت، کربن اکتیو و سبوس برنج تهیه شد.

از آب خارج و ریخت شناسی کنونی آن شکل گرفته است، که از جمله نتایج آن، آغاز چرخه های فرسایشی است. افمنطقه بر ردیف های تخریبی انباشته شده در محیط های قاره ای، دریاچه ای و دریایی، تکاپوهای ماگمایی دوره کواترنری سنگ های آذرین این زمان را به وجود آورده اند. در بین نهشته های کواترنری، نهشته های آبرفتی، بیشترین سهم را دارند. اینها مواد فرسایشی هستند که از دامنه ارتفاعات تا نواحی پست دشت ها گسترده اند و با دور شدن از ارتفاعات، درشتی دانه ها کاهش می یابد. در اطراف تهران، نهشته های آبرفتی کواترنری نهشته های رود خانه ای - سیلابی هستند که به دنبال چرخه های فرسایشی پلیوسن - پلیستوسن (سازنده هزار دره) انباشته



شکل ۱- شمای پایلوت استفاده شده در شرایط آزمایش (سلماسی و استادرحیمی ۱۳۹۳)

جدول ۱- ویژگی های فرآورده PAHs

نقطه جوش	دانسیته	ماده مورد تجزیه
C	kg/m ³	
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

پایلوت همچنین از لوله های اسپری کننده پساب، مخزن ورودی پساب، زهکش، پمپ و یک همزن تشکیل شده است. سپس در هر مرحله پایلوت تا ارتفاع ۲۵ سانتیمتر توسط جاذبهای مذکور پر گردید و پساب حاوی ترکیبات PAHs با یک دبی معین از روی آنها عبور داده شد که در تمامی آزمایش ها، شرایط ثابت نگه داشته شد.

همچنین در این پژوهش، به منظور تعیین میزان جذب و نگهداری آلاینده PAHs در جاذب های مورد نظر از آزمایش جذب استفاده گردید. مشخصات PAHs که به عنوان ماده آلاینده در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است در جدول ۱ آمده است.

روش تحقیق

برای اندازه گیری میزان ترکیبات PAHs در نمونه های خروجی از پایلوت، ابتدا این ترکیبات با عملیات استخراج توسط حلال های دی کلرومتان و استفاده از دکانتور در نمونه های پساب، جدا شد سپس این ترکیبات جدا شده جهت جداسازی حلال و تغلیظ نمونه ها، درون دستگاه روتاری خشک و تغلیظ گردیدند، سپس به روش کروماتوگرافی ستونی با استفاده از ستون سلیکاژل و آلومینا عملیات خالص سازی بر روی آنها انجام شد (Xiaohon et al. 2009).

در خاتمه میزان ترکیبات PAHs در نمونه ها با دستگاه HPLC مدل ۵۱۰ Water مجهز به دکتور، فلورسانس و ستون μm packing materials 5-S 18 Waters PAH طبق استاندارد ISO و استاندارد ASTM اندازه گیری شد (US EPA Method 550 2001).

فرآیند جذب

فرآیندهای جذب، شامل جذب سطحی، جذب شیمیایی و جذب شونده است. ویژگی های جذب در جذب بسیار مهم است. عوامل کلیدی مؤثر در جذب عبارت اند از: اندازه مولکولی، آب گریزی، بار مولکولی و ساختار. زمانی که نفت یا فرآورده های مواد نفتی روی خاک ریخته می شوند، نفوذ می نمایند و احتمال دارد که آبهای زیرزمینی را آلوده سازند. 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) (میرباقری و همکاران ۱۳۹۱).

مجدداً قابل ذکر است، از بین مکانیسم های زنده و غیر زنده مختلفی همچون پخش، جذب، تبخیر، تجزیه زیستی و غیر زیستی که در کاهش جرم، سمیت، حجم، غلظت و تحرک آلاینده های نفتی در خاک یا آب زیرزمینی مؤثر هستند، یکی از مهمترین فرآیندهای مؤثر بر سرنوشت نفت در خاک و آب زیرزمینی، جذب آن توسط ذرات خاک است.

این فرآیند نقش بسیار مهمی را در میزان حرکت هیدروکربن ها در خاک داشته و بر سایر فرآیندهای دیگر خصوصاً فرآیندهای بیولوژیکی و شیمیایی هم تاثیر گذار است. از فاکتورهایی مؤثر بر فرآیند جذب می توان

خصوصیات خاک را نام برد زیرا بر تخلخل محیط و مساحت سطح تماس اثر می گذارد. پارامترهای فیزیکوشیمیایی دیگر نظیر نوع و خصوصیات هیدروکربن ها از عوامل تاثیرگذار دیگر هستند (Mirbagheri et al. 2008). لذا بررسی توانایی جذب ترکیبات نفتی در خاک، در مجاورت تمامی پالایشگاه های نفتی و مخازن نگهداری نفت، جهت برآورد میزان آلودگی نفتی در خاک و پیش بینی احتمال آلودگی آبهای زیرزمینی نسبت به این ترکیبات سمی امری ضروری می باشد (خشنند و صبور ۱۳۸۸).

ایزوترم های جذب

جذب آلاینده بر روی ماده جاذب با استفاده از ایزوترم های جذب و به صورت معادله ریاضی بیان می گردد. بطور کلی میزان موادی که بر روی ذرات جاذب، جذب می گردند، تابعی از غلظت ماده جذب شونده می باشد (Bautista et al. 2003).

در این پژوهش به منظور تشریح تعادل بین سطوح جاذب و ماده شیمیایی موجود در ماده جذب شونده و بررسی رابطه بین مقدار و غلظت PAHs جذب شده توسط خاک بنتونیت، کربن اکتیو و سبوس برنج و غلظت تعادل PAHs در محلول آبی و نیز تعیین ظرفیت خاک بنتونیت، کربن اکتیو و سبوس برنج به عنوان جاذب، ایزوترم های جذب فروندلیخ و جذب لانگمویر مورد استفاده قرار گرفته اند (الهامی نژاد و اکبرنژاد ۱۳۸۹).

ظرفیت جذب بصورت تئوریک توسط ایزوترم های جذب توصیف می گردد. معادلاتی که اغلب برای توصیف ایزوترم داده های تجربی استفاده می گردند، توسط فروندلیخ، لانگمویر و برونیر، امت و تالر توسعه یافته است (Tan et al. 2008).

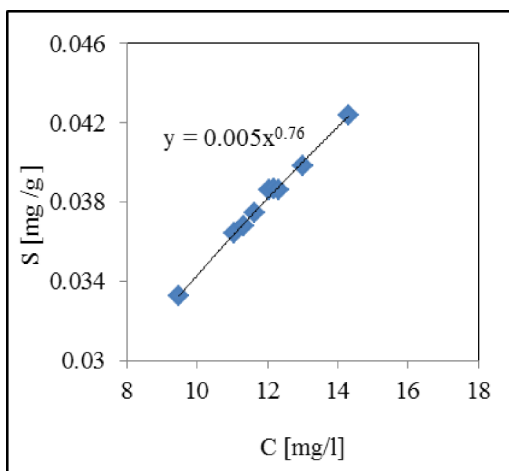
ایزوترم جذب فروندلیخ

ایزوترم جذب فروندلیخ بصورت رابطه (۱) بیان می گردد (عباسی ۱۳۹۲).

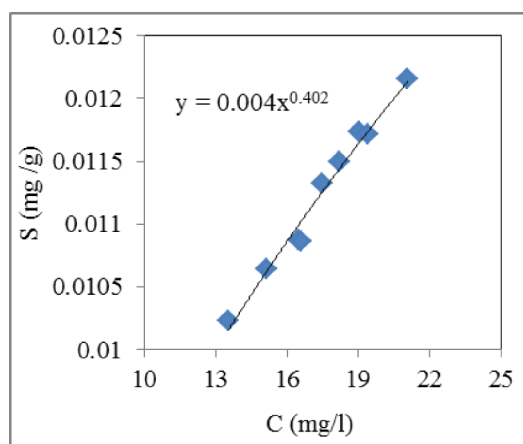
$$S = K_d C^{\beta} \quad (1)$$

S: مقدار آلایندهی جذب شده در واحد جرم جامد (mg/g)، K_d : ثابت جذب فروندلیخ، C: غلظت آلاینده در محلول (mg/l) و β : شدت جذب می باشد.

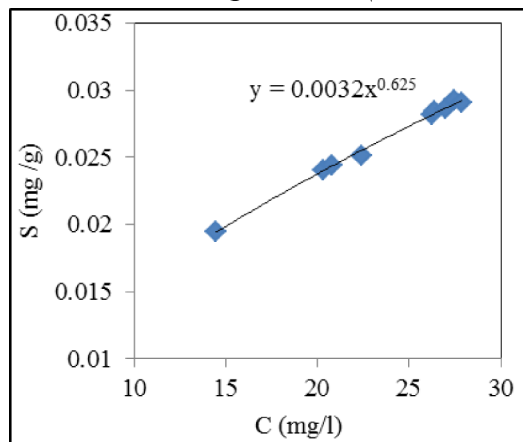
فروندلیخ، از فاکتور شدت جذب (β) استفاده می شود، اگر $0 < \beta < 1$ باشد، عملیات جذب به خوبی مناسب و اگر $\beta > 1$ باشد، جاذب برای عملیات جذب مناسب نمی باشد.



شکل ۳- ایزوترم جذبی فروندلیخ PAHs در خاک بنتونیت



شکل ۴- ایزوترم جذبی فروندلیخ PAHs در کربن اکتیو



شکل ۵- ایزوترم جذبی فروندلیخ PAHs در سبوس برنج

ایزوترم جذب لانگمویر

ایزوترم جذب لانگمویر بصورت رابطه (۲) بیان می گردد (عباسی ۱۳۹۲).

$$S = \frac{K_L Q C}{1 + K_L C} \quad (2)$$

S: مقدار آلاینده‌ی جذب شده در واحد جرم جامد (mg/g).

k_L : ثابت جذب لانگمویر مربوط به انرژی جذب، C: غلظت آلاینده در محلول (mg/l)

Q: بیشترین ظرفیت جذب جامد می باشد.

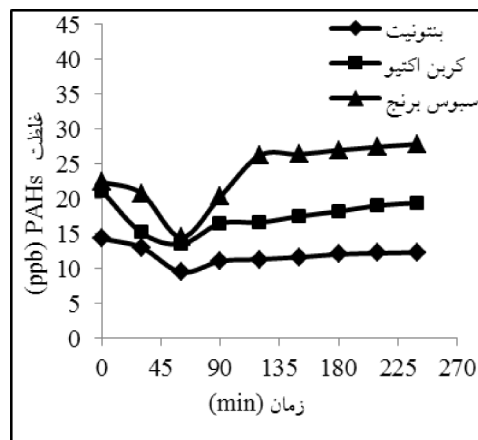
اگر k_L را با $\frac{1}{A}$ جایگزین کنیم، پس از ساده‌سازی، رابطه (۳) بدست می آید:

$$S = -A \left(\frac{S}{C} \right) + Q \quad (3)$$

اگر S را بر محور عمودی و S/C را بر محور افقی یک دستگاه مختصات نشان دهیم، شیب -A و عرض از مبدأ Q به دست خواهد آمد.

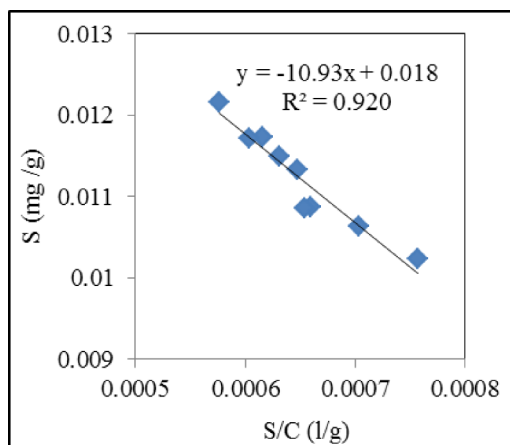
بحث و نتایج

میزان غلظت PAHs در خروجی پایلوت بعد از عبور از جاذب های خاک بنتونیت، کربن اکتیو و سبوس برنج مطابق شکل ۲ می باشد.

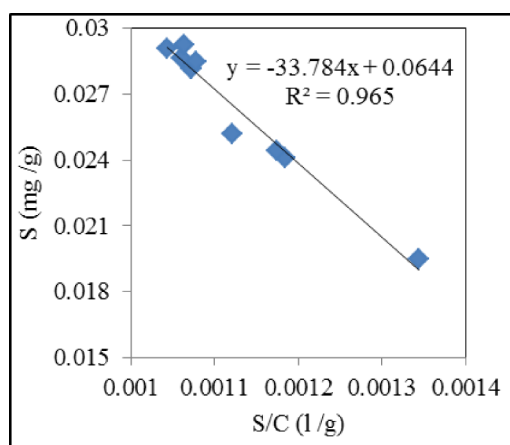


شکل ۲- میزان غلظت PAHs در خروجی پایلوت

تغییرات مقدار آلاینده‌ی جذب شده در واحد جرم جامد بر حسب غلظت آلاینده در محلول جهت بررسی ایزوترم جذبی فروندلیخ برای جاذب های طبیعی خاک بنتونیت، کربن اکتیو و سبوس برنج به ترتیب مطابق شکل های ۳، ۴ و ۵ می باشد. برای بررسی عملکرد جذب در ایزوترم



شکل ۷- ایزوترم جذبی لانگمویر PAHs در کربن اکتیو



شکل ۸- ایزوترم جذبی لانگمویر PAHs در سبوس برنج

پس عملیات جذب در جاذب های مورد آزمایش به خوبی انجام شده است. دیگر محققین هم به نتایج مشابهی دست یافته اند (الهامی نژاد و اکبرنژاد ۱۳۸۹). همچنین برازش نتایج آزمایش جذب بر روی ایزوترم های لانگمویر و فروندلیخ با توجه به ضریب همبستگی این ایزوترم ها نشان می دهند که ایزوترم جذب لانگمویر با ضریب همبستگی ۰/۹۹، ۰/۹۲ و ۰/۹۶۵ به ترتیب برای جاذبهای خاک بتونیت، کربن اکتیو و سبوس برنج از بالاترین همخوانی با نتایج آزمایشگاهی در مدل سازی فرآیند جذب سطحی PAHs ها برخوردار می باشند.

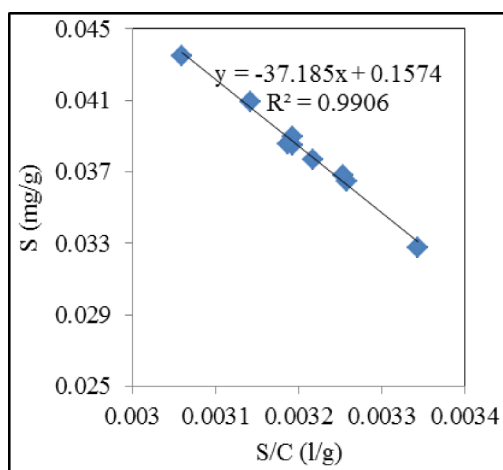
نتیجه گیری

از آنجایی که ویژگی های خاص PAHs ها منجر به نفوذ بیشتر این ماده به منابع آب می گردد، استفاده از روشهای جدید و کارا برای حذف آن بسیار ضروری به نظر

الته این نکته حائز اهمیت است که شدت جذب هیچگاه نمی تواند کوچکتر از صفر باشد (Bouazza 2007)، که در این تحقیق شدت جذب برای جاذب های خاک بتونیت، کربن اکتیو و سبوس برنج به ترتیب برابر با ۰/۷۶، ۰/۴۰۲ و ۰/۶۲۵ و ضریب جذب برای جاذب های مذکور به ترتیب برابر با ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۴ و ۰/۰۰۳ لیتر در گرم می باشد، در نتیجه، از آنجا که تمامی جاذب های مذکور دارای شدت جذب بین صفر و یک می باشد بنابراین عملیات جذب را به خوبی انجام می دهند. دیگر محققین هم به نتایج مشابهی دست یافته اند (الهامی نژاد و اکبرنژاد ۱۳۸۹). تغییرات S بر حسب S/C جهت بررسی ایزوترم جذبی لانگمویر برای جاذب های خاک بتونیت، کربن اکتیو و سبوس برنج به ترتیب مطابق شکل های ۶، ۷ و ۸ می باشد. برای بررسی عملکرد جذب در ایزوترم لانگمویر، فاکتور جداسازی R_L به صورت رابطه (۴) بیان می شود (Oliveira 2005).

$$R_L = \frac{1}{1 + (K_L \times C_i)} \quad (4)$$

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 بازگشت ناپذیر است و از آنجا که در این تحقیق فاکتور جداسازی برای جاذب های خاک بتونیت، کربن اکتیو و سبوس برنج به ترتیب برابر با ۰/۰۹۳، ۰/۰۶۵ و ۰/۱۷۷ می باشد،



شکل ۶- ایزوترم جذبی لانگمویر PAHs در خاک بتونیت

۲- الهامی نژاد، ر.، اکبرنژاد، م.م. (۱۳۸۹)، "استفاده از ویژگی های نانو ذرات به منظور رفع آلودگی های آبهای زیرزمینی و سطحی از مواد معلق نفتی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، ۱۳۳ ص.

۳- باغبان، م.، ناصری، ش. (۱۳۸۸)، "اندازه گیری ترکیبات هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای در آب تصفیه شده تصفیه خانه ها و شبکه توزیع آب شهر تهران و مخازن استان تهران"، دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشکده علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده بهداشت، ۱۴ ص.

۴- جلایر، ف. (۱۳۸۶)، "بررسی امکان جذب ترکیبات BTEX از محلول آمین توسط جاذب های مختلف جامد"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، ۱۰۰ ص.

۵- خشنود، ا.، صبور، م. (۱۳۸۸)، "بررسی میزان جذب گازوئیل در خاک های ماسه ای"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۸۰ ص.

۶- رضوی دینانی، ز.، رضایی، ب. (۱۳۹۰)، "کاربرد پوسته برنج در حذف هیدروکربن های نفتی از محیط آبی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۰۰ ص.

۷- ژبان، ح.، طباطبایی، ص. (۱۳۸۵)، "تصفیه پساب صنایع پتروشیمی و نفت با استفاده از خاک های شاخص بنتونیت، توفیت، تالک و زئولیت به عنوان لخته کننده"، نشریه شیمی ایران، شماره ۲۵، ص ۳۵-۴۴.

۸- سلماسی، ر.، استاد رحیمی، ع. (۱۳۹۳)، "بررسی نقش بنتونیت، ایلیت، هماتیت، زئولیت و کلسیت بر کاهش جذب فلزات سنگین در زمین های آبیاری شده با پساب های آلوده در شهرستان تبریز"، فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست، سال هشتم، شماره ۲۰، ص ۸۳-۹۳.

۹- عباسی، ف. (۱۳۹۲)، "فیزیک خاک پیشرفته"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم، ۳۲۰ ص.

۱۰- علیزاده فرد، م.، ترابیان، ع.، نبی بیدهندی، غ.، امین زاده، ب. (۱۳۹۰)، "حذف هیدروکربن های آروماتیک نفتی از آب با استفاده از پوشش نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم"، پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، ۱۰ ص.

۱۱- میرباقری، ا.، سینایی نژاد، م.، بیگلری جو، ن.، 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 محیط زیست، دانشگاه تهران، ۱۰ ص.

12- **Bautista, L.F, Martinez, m, Aracil, J, (2003), "Adsorption of α -amylase in a fixed bed: operation efficiency and kinetic modeling", AICHE Journal, 49(10), pp2631-2641.**

می رسد. آزمایش های انجام گرفته در این پژوهش با تکیه بر توپوگرافی و زمین شناسی منطقه به منظور معرفی خاک بنتونیت، کربن اکتیو و سبوس برنج به عنوان جاذب جهت تصفیه پسابهای آلوده و نیز بررسی میزان کارایی این جاذب ها در این امر صورت گرفته است. همچنین برآزش نتایج آزمایش جذب بر روی ایزوترم های لانگمویر و فروندلیخ با توجه به ضریب همبستگی این ایزوترم ها نشان می دهند که ایزوترم جذب لانگمویر با ضریب همبستگی ۰/۹۹، ۰/۹۶۵ و ۰/۹۲ به ترتیب برای جاذب های خاک بنتونیت، سبوس برنج و کربن اکتیو از بالاترین همخوانی با نتایج آزمایشگاهی در مدل سازی فرآیند جذب سطحی PAHs ها برخوردار می باشند. همچنین در مورد ایزوترم جذب فروندلیخ ضریب همبستگی جاذبهای خاک بنتونیت، کربن اکتیو و سبوس برنج به ترتیب برابر با ۰/۹۹۸، ۰/۹۷۷ و ۰/۹۶۲ می باشد. همچنین نتایج آزمایشگاهی نشان داد که خاک بنتونیت از توانایی مناسبی در جذب PAHs ها از محلول های آبی برخوردار می باشد و برآزش نتایج آزمایش جذب بر روی ایزوترم های جذب فروندلیخ و لانگمویر مختلف جذب نشان می دهد که جذب سطحی PAHs توسط خاک بنتونیت برآزش بسیار دقیقی بر 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 عدم نیاز به نیروی متخصص و اپراتوری ویژه، و مهمتر از همه جمع آوری نهایی و بازیابی آسان خاک بنتونیت از فاضلاب تصفیه شده، می توان این خاک را بعنوان جایگزین مناسبی برای سایر مواد جاذب و سایر روش های تصفیه و پالایش آب و فاضلاب بکار برد.

تشکر و قدردانی

تحقیق حاضر از نظر مالی توسط پالایشگاه نفت تهران حمایت شده است و نویسندگان بدینوسیله از مدیریت محترم پالایشگاه، جناب آقای غدیری و مدیر محترم اداره پژوهش و توسعه، جناب آقای نیک بخت کمال تشکر و قدردانی را بعمل می آورند.

منابع

۱- آقاباتی، ع. (۱۳۸۳)، "زمین شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۶ ص.

- 13- **Bouazza, A, (2007),** "Phenol adsorption in organo-modified basaltic clay and bentonite", *Applied Clay Science*, 37, pp133-142.
- 14- **Gitipour, S, Akbar, B, Givhchi, S, (2006),** "Adsorption and permeability of contaminated clay soils to hydrocarbons", *Pakistan journal of biological Science*, pp336-340.
- 15- **Kennish, M.J, (2001),** "Pollution Impacts on Marine Biotic Communities", pp40-51.
- 16- **Mirbagheri, S.A, Tanji, K.K, Rajae, T, (2008),** "Selenium transport and transformation modeling in soil columns and ground water contamination prediction", *Hydrological Processes*, 22, pp2475-2483.
- 17- **Nameni, M, AlaviMoghadam, M.R, Arami, M, (2008),** "Adsorption of hexavalent chromium from aqueous solutions by wheat bran", *Journal Environment Sci. Tech*, pp161-168.
- 18- **Oliveira, E.A, (2005),** "Equilibrium Studies for the Sorption of Chromium from Aqueous Solutions using Raw Rice Bran", *Process Biochemistry*, 40, pp3485-3490.
- 19- **Samimi, S.V, AkbariRad, R, 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), pp41-52.
- 20- **Sullivan, E.J, Bow man, R.S, Katz, L, Kinney, k, (2005),** "Water Treatment Technology for Oil and Gas Produced Water".
- 21- **Tan, I.A.W, Ahmad, A.L, Hameed, B.H, (2008),** "Adsorption of basic dye on high surface-area activated carbon prepared from coconut husk. Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies", *Journal of Hazardous Materials*, 154, pp337-346.
- 22- **US EPA Method 550, (2001),** "Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in drinking water by liquid extraction and HPLC with coupled ultraviolet and fluorescence detection".
- 23- **US. EPA, (2000),** "Wastewater Technology, Fact Sheet: Granular Activated Carbon Adsorption and Regeneration", EPA 832-F-00-017. U.S.EPA, Washington D.C.
- 24- **Xiaohon, L, Xinhui, B, Bixian, M, Guoying, S, Jiamo, F, (2005),** "Separation of PAHs in aerosol by thin layer chromatography for compound-specific stable carbon isotope analysis", 66, pp487-494.