

رس‌های آلی دوست و کاربرد آنها در بهبود کارآیی لاینرهای رسی در برابر آلاینده‌های آلی

نیما حیدرزاده^{1*}، پریا پرهیزی²

استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

دریافت: 95/2/10 پذیرش: 95/5/1

چکیده

تلاش در جهت کاهش خطرات و تهدیدات علیه انسان و محیط زیست منجر به تحقیقات برای یافتن مصالح جدید و به کار بردن آنها در پالایش خاک و آب گردیده است که می‌توان رس آلی دوست را نمونه کارآمدی از این گونه مصالح معرفی نمود. محققان بسیاری میزان جذب آلاینده‌های آلی و میزان نفوذپذیری، لاینرهای حاوی رس‌های آلی دوست را مورد بررسی قرار داده‌اند. مطابق این تحقیقات، اصلاح رس آبدوست (بنتونیت) به آلی دوست، ظرفیت جذب هیدروکربن را 4 تا 10 گرم در هر گرم جاذب رسانده است. محققان بر این باورند که در لاینرهایی که متشکل از ماسه، بنتونیت و رس آلی دوست هستند، جذب آلاینده‌های آلی توسط رس آلی دوست به مقدار قابل توجهی (با بازده حذف 93%) افزایش می‌یابد. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد استفاده از بنتونیت تا 20% در ساختار لاینرهای محل دفن، میزان نفوذپذیری لاینر را به 10^{-8} cm/s می‌رساند.

کلمات کلیدی: رس‌های آلی دوست¹ (اصلاح شده)، پالایش خاک، آلاینده‌های هیدروکربنی.

مقدمه

با پیشرفت فناوری، مصرف مواد و ترکیبات پیچیده و خطرناک شیمیایی ساخته بشر و ورود این ترکیبات به محیط زیست، مساله حفاظت از خاک و آب‌های زیرزمینی اهمیت بالایی پیدا کرده است. خاک‌ها و منابع آب زیرزمینی در اطراف پالایشگاه‌ها، جایگاه‌های سوخت‌گیری و محل عبور لوله‌های تاسیسات انتقال سوخت در معرض شدیدی آلودگی‌های شدید هیدروکربن‌های نفتی قرار دارند. در کشور ایران و بخصوص در کلانشهرهایی همچون تهران سرازیر شدن فاضلاب از نقاط بالاتر به سمت نقاط جنوبی و بالا آمدن سطح آلودگی، از یک سو و افزایش عمر دستگاه‌ها در پالایشگاه‌ها و فرسودگی خطوط لوله انتقال و آسیب‌های

* n.heidarzadeh@khu.ac.ir

¹ Organophilic Clay

ناشی از دوران جنگ از سویی دیگر، در مجموع باعث شده تا علاوه بر آلودگی‌های میکروبی ناشی از فاضلاب، آلاینده‌های نفتی نیز به منابع آب زیرزمینی وارد شود [1]. کنترل انتشار آلاینده‌های آلی به ویژه مواد نفتی، به محیط‌های پذیرنده مختلف از جمله آب‌های سطحی و زیرزمینی و خاک، از دیرباز بسیار مورد توجه محققان بوده است. این موضوع برای کشور ایران به دلیل نفت خیز بودن و داشتن صنایع مختلف مرتبط با پالایش، توزیع و فرآوری نفت و گاز از اهمیت دوچندانی برخوردار است. نشت مواد نفتی از لوله‌های انتقال، مخازن کوچک و بزرگ ذخیره سوخت، و پوندهای ضایعات فرآوری به آب زیرزمینی و خاک از جمله نگرانی‌های اصلی کشور به شمار می‌آید و یافتن راهکاری که بتوان نشت مواد آلی را در این مکان‌ها کنترل نمود و یا کاهش داد از اهمیت به سزایی برخوردار است.

از محتمل‌ترین مکان‌های دیگر برای آلودگی خاک و یا آب‌های زیرزمینی مراکز دفن زباله هستند. لاینرهای نفوذناپذیر در محل‌های دفن پسماندها و ضایعات شهری و صنعتی، عمدتاً به دو نوع لاینرهای رسی متراکم (CCL^1) و لاینرهای رسی - ژئوسنتتیک (GCL^2) تقسیم می‌شوند. این لاینرها از انتشار مواد آلاینده به لایه‌های زیرین و آب‌های زیرزمینی جلوگیری کرده و هم‌چنین از غلظت یا شدت نفوذ آن‌ها با مکانیسم‌های مختلف از جمله جذب سطحی، تبادل یونی و سایر واکنش‌ها می‌کاهند [2].

لاینرهای رسی متراکم، ساده‌ترین و پرکاربردترین لایه‌های نفوذپذیر برای استفاده در مراکز دفن به منظور جلوگیری از نفوذ و جریان شیرابه حاصل از انباشته شدن پسماندها می‌باشند. حداقل میزان ضریب نفوذپذیری برای مراکز دفن و ضخامت مورد نیاز مناسب برای حفاظت در مقابل آلودگی خاک باید شرایط ذکر شده در جدول (1) را دارا باشد.

جدول 1. حداقل ضریب نفوذپذیری و ضخامت در محل دفن [3]

نوع مدفن	هدایت هیدرولیکی (m/g) (k)	ضخامت (m) \leq
زباله‌های خطرناک	10^{-9}	5
زباله‌های غیر خطرناک	10^{-9}	1
زباله‌های بی‌اثر	10^{-7}	1

ورود شیرابه به آب‌های سطحی یا زیرزمینی می‌تواند باعث آلودگی‌های فراوان شده و سلامت عمومی را به خطر بیندازد. به همین دلیل برای جلوگیری هر چه بیشتر از انتقال آلودگی در خاک و یا آب، بالا بردن ظرفیت جذب مواد لاینر حاکی به عنوان وسیله‌ای برای بهبود عملکرد لاینر، باید در نظر گرفته شود. استفاده از روش‌های جذب و یا تثبیت و جامدسازی برای جلوگیری از انتشار و یا نشت ترکیبات خطرناک مورد توجه بسیاری قرار گرفته است [2].

¹Compacted Clay Liner

²Geosynthetic- Clay Liner

جذب سطحی یکی از فرآیندهایی است که در آن گاز یا مایع بر روی سطح یک جاذب جامد جذب می‌شود. انواع مختلفی از جاذب‌های جامد وجود دارد که متداول‌ترین آنها کربن فعال (AC)¹، خاک رس، سیلیس، آلومینا و زئولیت است [4]. با اصلاح لاینر با چنین موادی می‌توان به بالا بردن جذب آلاینده‌های آلی و در نتیجه به حداقل رساندن شار آلاینده‌های شیرابه از طریق لاینر خاکی، کمک شایانی نمود. کربن فعال به دلیل داشتن ویژگی‌هایی چون سطح ویژه قابل توجه، ساختار پوک و متخلخل، ظرفیت جذب زیاد و همچنین قابلیت فعال‌سازی مجدد سطح، توانایی قابل ملاحظه‌ای در جذب آلاینده‌های آلی و نفتی داشته و در نتیجه مورد توجه محققان قرار گرفته است [4]. همچنین، با اعمال تغییراتی بر روی رس‌های معمولی می‌توان ماهیت رس را از آب دوستی به هیدروکربن دوستی تغییر داد و امکان جذب هیدروکربن‌ها به وسیله خاک را فراهم نمود. در اینصورت می‌توان از آنها در اصلاح لاینرهای محل دفن بهره گرفت [5]. در کربن فعال، جذب مواد آلی از طریق یک مکانیزم سطح متخلخل صورت می‌پذیرد، در صورتی که در رس اصلاح شده از ناحیه حد فاصل ایجاد شده در طی فرآیند اصلاح سطح، برای جذب مواد آلی استفاده می‌شود [6].

علیرغم تحقیقات وسیعی که در سال‌های اخیر در موضوع اندرکنش خاک و آلاینده و همچنین افزایش ظرفیت جذب آلاینده توسط خاک صورت گرفته است، در زمینه استفاده از رس‌های آلی دوست در لاینرهای خاکی و رفتار آن در افزایش جذب آلاینده‌های موجود در مراکز دفن زباله و پالایشگاه‌ها و سایر تاسیسات نفتی مطالعات محدودی صورت گرفته است. همانگونه که پیشتر نیز بیان گردید در کشور ایران آلودگی خاک با ترکیبات نفتی موضوعی چالش برانگیز است. این مسئله از ابتدای شناسایی و استخراج نفت وجود داشته تا جایی که انباشتگی این آلودگی‌ها خطر جدی را برای سلامتی افراد و جوامع به دنبال داشته است. یکی از مهم‌ترین این وقایع انتشار آلودگی‌های نفتی پالایشگاه تهران به آبهای زیرزمینی روستای مجاور آن، دورسون آباد و عظیم آباد، بوده است که در گذشته‌ای نه چندان دور سبب تخلیه این روستاها گردیده است. بنابراین در کشور ما لزوم تحقیقات هر چه بیشتر در زمینه کنترل نشت مواد نفتی و پاکسازی خاک آلوده به شدت احساس می‌شود. هدف این پژوهش مطالعه رفتار رس‌های آلی دوست از نظر قابلیت آن در جذب آلاینده‌های آلی و مقایسه آن با کربن فعال است. در این راستا درصد بهینه استفاده از رس‌های آلی دوست به منظور ایجاد بهترین عملکرد در لاینرهای خاکی، چندین طرح اختلاط مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

مواد مورد استفاده برای جذب و کاهش انتشار آلاینده‌ها

با توجه به استفاده روز افزون از فرایند جذب سطحی در حذف آلاینده‌های محیط زیست، انتخاب یک ماده مناسب از جنبه‌های فنی و اقتصادی به عنوان جاذب یکی از دغدغه‌های محققین این رشته بوده است. مهم‌ترین آن‌ها به این شرح می‌باشند.

¹ Active Carbon

کربن فعال

کربن فعال به گروهی از مواد کربنی با پوکی و سطح داخلی بالا اطلاق می‌شود که به دلیل برخی ویژگی‌ها و همچنین قیمت پائین منحصربه‌فرد می‌باشند. براساس تحقیقات صورت گرفته، با اصلاح شیمیایی سطح کربن فعال، از طریق شستشو با آب مقطر و سپس استفاده از محلول اسید نیتریک، می‌توان بهره‌وری این ماده را برای جذب بیشتر آلاینده‌ها افزایش داد [4].

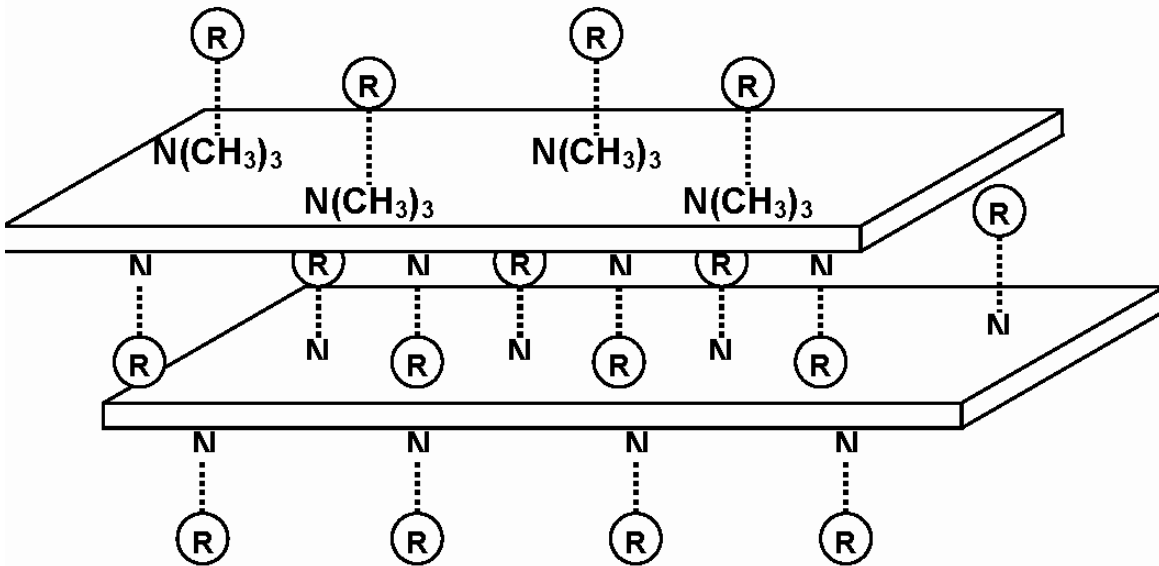
بنتونیت

برای افزایش قابلیت‌های خاک و کمک به عملکرد بهتر آن برای جذب آلاینده‌ها موادی به آنها اضافه می‌کنند. از بنتونیت برای کاهش نفوذپذیری آلاینده‌ها استفاده می‌شود. بنتونیت در واقع نوعی خاک رس است که خود عمدتاً به دو صورت در طبیعت وجود دارد: بنتونیت سدیمی و کلسیمی. می‌توان گفت بنتونیت کلسیمی (Ca^{2+}) دلیل اینکه ظرفیت الکتریکی بیشتر نسبت به سدیمی (Na^+) دارد، ضخامت لایه پخشیده در آن کمتر بوده و در مقایسه با نوع سدیمی کمتر آب جذب می‌کند. بنتونیت تجاری را معمولاً از نوع سدیمی می‌سازند تا خواص تورم بهتری نشان دهد [5 و 11].

رس‌های آلی دوست

مقدار جذب آلاینده‌های آلی توسط خاک طبیعی و خاک رس به حلالیت آبی املاح آلی و محتوای کربن آلی جاذب مربوط می‌شود. فرآیند تبادل یونی منجر به تبدیل بنتونیت معمولی به بنتونیت اصلاح شده می‌شود. در این فرآیند یک ماده کاتیونی مثل نمک‌های آمونیوم چهارگانه (QAS^1) جایگزین یون‌های غیرآلی مانند سدیم، کلسیم و یا منیزیم بر روی سطح خاک رس می‌شوند [5]. برای تولید یک خاک رس آلی دوست، خاک رس معمولی با یک ترکیب آلی واکنش نشان می‌دهد. در این فرایند نمک‌های چهارتایی آمونیوم، جایگزین سدیم قابل تبادل معدنی، کلسیم و یا یونهای منیزیم بر روی سطح بار منفی از خاک رس می‌گردد. این عمل سبب جدایی لایه‌های رس از یکدیگر و افزایش فضای خالی (تخلخل) می‌شود که این تغییرات، ماهیت رس را از آب‌دوستی به هیدروکربن دوستی تغییر می‌دهند و امکان جذب هیدروکربن‌ها را به وسیله خاک فراهم می‌کند. نمک آمونیوم چهارگانه شکلی از یک ترکیب آلی نیتروژن دار (کاتیون‌های آمونیوم) است که در آن ساختار مولکولی شامل یک اتم نیتروژن مرکزی همراه با رادیکال اسید آلی به چهار گروه آلی متصل می‌باشد. یون‌های دارای بار مثبت با ساختار NR_4^+ می‌باشند که در آن R معرف گروه‌های آلکیل است. در شکل 1 می‌توان جایگاه گروه آلکیل و نیتروژن را مشاهده نمود [7].

¹Quaternary Ammonium Salt



شکل 1. شماتیک عملکرد رس‌های آلی دوست [7]

سه نمونه از ترکیبات نمک‌های آمونیوم چهارگانه که بیشتر استفاده می‌شود و کاربرد آنها، در جدول 2 ارائه شده است [6].

جدول 2. ترکیبات رایج نمک‌های آمونیوم و کاربرد آنها [6]

نام ترکیب	کاربرد	شکل
دی متیل آمونیوم کلراید	برای اصلاح بنتونیت سدیمی استفاده می‌شود. این کاتیون آلی برای جذب طیف گسترده‌ای از هیدروکربن‌های کم‌محلول موثر است.	$\begin{array}{c} R \\ \\ R-N^+-CH_3 \\ \\ R-CH_3 \end{array} Cl^-$
دی متیل بنزیل کلراید آمونیوم	بهترین گزینه برای مولکول‌های آلی با حلالیت زیاد مانند: PAH^1 ، BTEX، TCE^2 و PCE^3	$\begin{array}{c} R \\ \\ R-N^+-CH_3 \\ \\ R-CH_2-C_6H_5 \end{array} Cl^-$
هگزا دسیل تری متیل آمونیوم کلراید	اثر گذاری بیشتر بر روی چربی‌ها، روغن‌های امولسیون و سایر مواد آلی کم‌محلول (با قابلیت حل شدن کم)	$\begin{array}{c} R \\ \\ R-N^+-R \\ \\ R-CH_3 \end{array} Cl^-$

رس‌های آلی دوست انواع مختلفی دارند که سه نوع آن‌ها به شرح ذیل می‌باشند:
Claytone 40: رس آلی دوست یکی از انواع رس‌های آلی دوست است که از بنتونیت به دست می‌آید. محصول اسمکتیت آلی دوست Claytone 40 می‌تواند در حضور مواد آلی متورم شده و به صورت ساختار ژل مانند استفاده شود. Claytone 40 به عنوان مواد افزودنی برای استفاده در صنایع رنگ

¹ Polycyclic Aromatic Hydrocarbon

² Tetra Chloro-Ethylene

³ Per Chloro-Ethylene

روغنی، لعاب کاری آلکیدی، جوهر، لوازم آرایشی و بهداشتی، چسب، روغن‌های روان کننده، مواد بتونه و درزگیر و سیستم‌های اپوکسی به کار می‌رود [8].

Bentone 38 CGV: این رس اصلاح شده از نوعی مونت‌موریلونیت خاص که غنی از کانی هکتواریت می‌باشد، بدست می‌آید. این ماده بهبود دهنده ساختاری بسیار کارآمدی برای مواد با قطبیت متوسط مانند روغن‌های معدنی، روغن‌های گیاهی و نفت است و عمدتاً در ساخت مواد آرایشی استفاده می‌شود [9].

Bentone 27 CGV: این رس از اصلاح رس هکتواریت به دست می‌آید. این ماده نیز بهبود دهنده‌ی ساختاری بسیار کارآمد برای سیستم با قطبیت بالا مانند آسترها، تری گلیسرید، روغن‌های گیاهی، الکل‌ها و کتون است [9].

روش‌های تهیه رس آلی دوست به سه صورت زیر دسته بندی می‌شود:

روش خشک: خاک را با مقدار محدودی آب مخلوط کرده و با عامل نمک آمونیوم چهارگانه، در همزن و یا آسیاب گل مخلوط کن قرار داده تا هم‌زده شود. این کار تا به دست آمدن یک مخلوط یکنواخت و اتمام واکنش بین عامل و خاک ادامه پیدا می‌کند. به علت ناخالصی‌های اولیه خاک و عدم شستشوی کامل ممکن است در پایان ناخالصی‌هایی مثل شن، ماسه، سیلت و یا ترکیبات آلی در محصول نهایی دیده شود [10].

روش تر: ابتدا آب با بنتونیت مخلوط می‌شود تا تولید دوغاب نماید. دوغاب حاصله در دستگاه سانتریفیوژ قرار گرفته تا ناخالصی‌هایش جدا شود. در ادامه با نمک آمونیوم چهارگانه تا اتمام واکنش هم‌زده می‌شود، ماده حاصله بعد از فیلتر شدن ته‌نشین و خشک می‌گردد. در این روش به علت تصفیه اولیه خاک در مرحله اول، محصول از هر گونه ناخالصی عاری می‌باشد [10].

روش آزمایشگاهی: خاک به همراه مقداری نمک آمونیوم چهارگانه مطابق با ظرفیت تبادل کاتیونی رس، در آب مقطر گرم حل شده و این سوسپانسیون به مدت چهار ساعت به وسیله همزن مغناطیسی هم زده می‌شود تا امکان در معرض قرار گرفتن و ترکیب ذرات فراهم شود. بعد از این مرحله محلول در دستگاه سانتریفیوژ قرار گرفته و بوسیله آب مقطر شسته می‌شود. جهت خارج کردن همه کاتیون‌های جایگزین شده در بنتونیت این کار چهار بار صورت می‌گیرد. در نهایت نمونه سرد شده و با یخ‌زدگی خشک برای آزمایش آماده می‌گردد [10].

بررسی تحقیقات صورت گرفته در زمینه عملکرد انواع جاذب‌های مواد آلی

در این بخش به بررسی خلاصه‌ای از نتایجی که محققان در زمینه عملکرد انواع جاذب‌های مواد آلی مورد بررسی قرار گرفته است. این بررسی‌ها در سه گروه عمده آزمایش شامل: (1) آنالیز پراش پرتو ایکس، (2) بررسی میزان جذب، و (3) بررسی توام نفوذپذیری و جذب در لاینرها به شرح ذیل صورت گرفته است.

1) آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) در رس معمولی و رس اصلاح شده

تجزیه و تحلیل اشعه X به بررسی تغییراتی که در فضای میان لایه‌ای خاک رس در نتیجه تبادل آن با نمک چهارگانه آمونیوم، آب و مواد آلی ایجاد می‌شود، می‌پردازد [12]. گیتی پور و همکاران (1389) جهت تعیین فاصله بین لایه‌های ذرات رسی بنتونیتی معمولی و اصلاح شده در اثر تماس با آب و MTEB² و ترکیبات (بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن) و بنزین بر روی نمونه‌ها آزمایش XRD را انجام دادند. بر اساس این تحقیق، در آنالیز برگشت اشعه X، خاصیت آب‌گریزی رس‌های اصلاح شده در جذب مولکول‌های MTEB سبب افزایش فضای بین لایه‌ای تا میزان 48% گردید. در مواجهه رس‌های آلی‌دوست با ترکیبات BTEX نیز اختلاف متوسط 38% مشاهده شد. این نتایج، تفاوت عملکرد رس‌های آلی‌دوست و معمولی را در برابر آلاینده‌های آلی به خوبی نشان می‌دهد. خلاصه نتایج در جدول 3 آورده شده است [13].

جدول 3. نتایج آنالیز پراش پرتو ایکس در جذب مواد آلی بر رس‌های معمولی و اصلاح شده [13]

ماده شیمیایی آلی	تغییرات ضخامت ذرات بنتونیت اصلاح شده			تغییرات ضخامت ذرات بنتونیت معمولی		
	اولیه	ثانویه	درصد تغییر	اولیه	ثانویه	درصد تغییر
آب	28.6	29.9	4.55	12.1	21.3	76.03
بنزن	28.6	36.57	27.86	12.1	12.28	1.49
اتیل بنزن	28.6	38.5	34.62	12.1	14.8	22.31
ارتو-زایلن	28.6	38.12	33.29	12.1	12.23	1.07
MTBE	28.6	42.32	47.97	12.1	14.3	18.18
بنزین	28.6	41.24	44.20	12.1	12.72	5.12
تولوئن	28.6	35.29	23.39	12.1	13.11	8.35

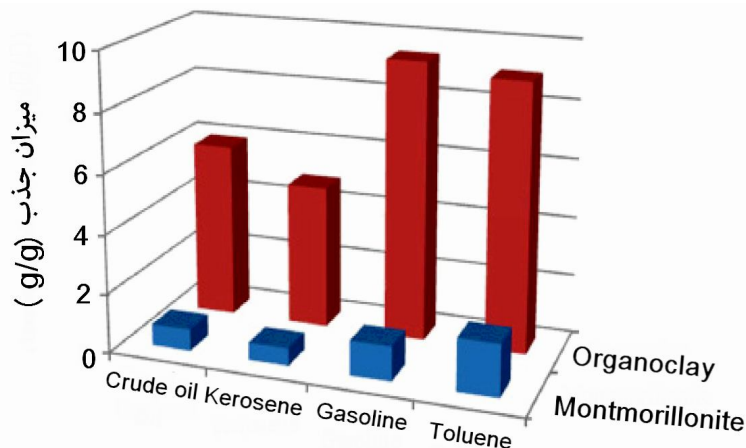
2) بررسی میزان جذب مواد آلی بر رس معمولی، رس اصلاح شده و کربن فعال

آزمون جذب برای ارزیابی توانایی کربن فعال و بنتونیت اصلاح شده در حذف آلاینده‌های آلی از جمله ترکیبات BTEX است که در بسیاری از تحقیقات مشابه، مورد توجه بوده است. در سال 1997 گیتی پور و همکاران، ایزوترم جذب را برای جذب بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن توسط بنتونیت عادی و اصلاح شده بررسی نمودند. برای تمام نمونه‌ها، رگرسیون یک الگوی نسبتاً خطی نشان داد که بیانگر ارتباط مستقیم ظرفیت حذف رس با افزایش غلظت مواد آلی شیمیایی در آب است. گیتی پور برای بنتونیت اصلاح شده، تفاوت قابل ملاحظه‌ای را در شیب منحنی ایزوترم جذب گزارش نمود. این امر نشان‌دهنده بالاتر بودن مقدار جذب ترکیبات BTEX توسط بنتونیت اصلاح شده است. نتایج وی درصد از بین بردن بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن توسط بنتونیت اصلاح شده را به طور متوسط به ترتیب 75%، 87%، 89% و 89% نشان داد [12]. همچنین نتایج شرفی و همکاران در سال 2010 نشان داد که ظرفیت جذب

¹ X-Ray Diffraction

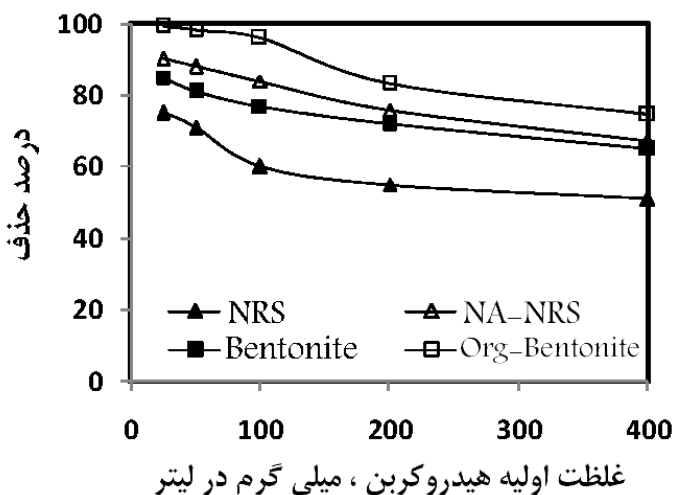
² Methyl Tert-Butyl Ether

رس اصلاح شده به وضوح بالاتر از رس معمولی است. ظرفیت جذب هیدروکربن‌ها برای رس اصلاح شده در محدوده 4 تا 10 گرم در هر گرم از جاذب گزارش گردید (شکل 2) [14].



شکل 2. جذب انواع هیدروکربن‌ها توسط مونت موریلونیت و رس اصلاح شده [14]

علاوه بر رس اصلاح شده، عملکرد کربن فعال در جذب مواد آلی نیز مورد توجه محققین قرار گرفته است. در سال 2013، Abdelwahab Emam با استفاده از چهار جاذب کربن فعال (NRS^1)، بنتونیت، کربن فعال اصلاح شده ($NA-NRS^2$) و بنتونیت اصلاح شده میزان حذف آلاینده‌ها را در این جاذب‌ها در شرایط مختلف اندازه‌گیری نمود که نتایج آن را می‌توان در شکل 3 مشاهده نمود [4]. در مطالعه وی کربن فعال اصلاح شده، تا حدود 20% میزان حذف آلاینده‌ها را بهبود بخشیده است. میزان حذف هیدروکربن در جاذب‌ها، بویژه در کربن فعال اصلاح شده و بنتونیت اصلاح شده به ترتیب 67 - 90% و 75 - 99.3% بیان شده است [4].

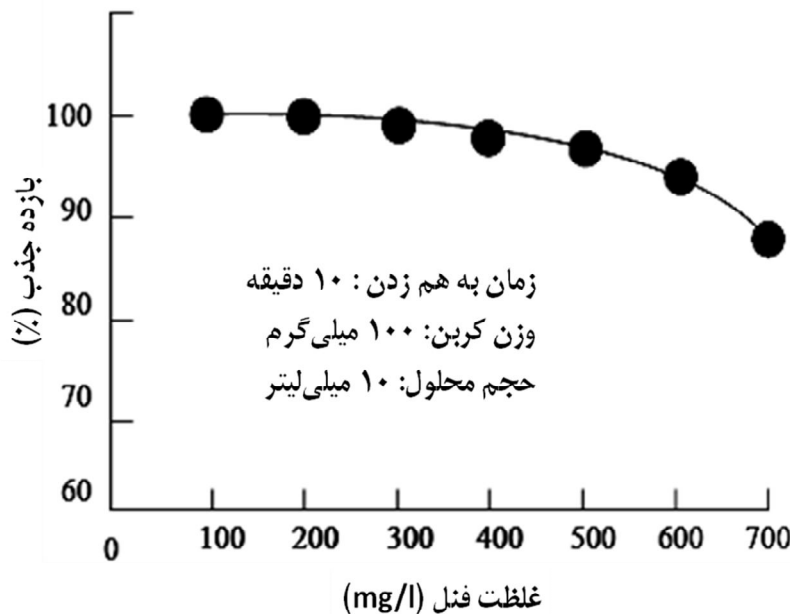


شکل 3. اثر غلظت هیدروکربن بر جذب انواع جاذب‌ها [4]

¹ Nano Rods Structure

² Nitric Acid- Nano Rods Structure

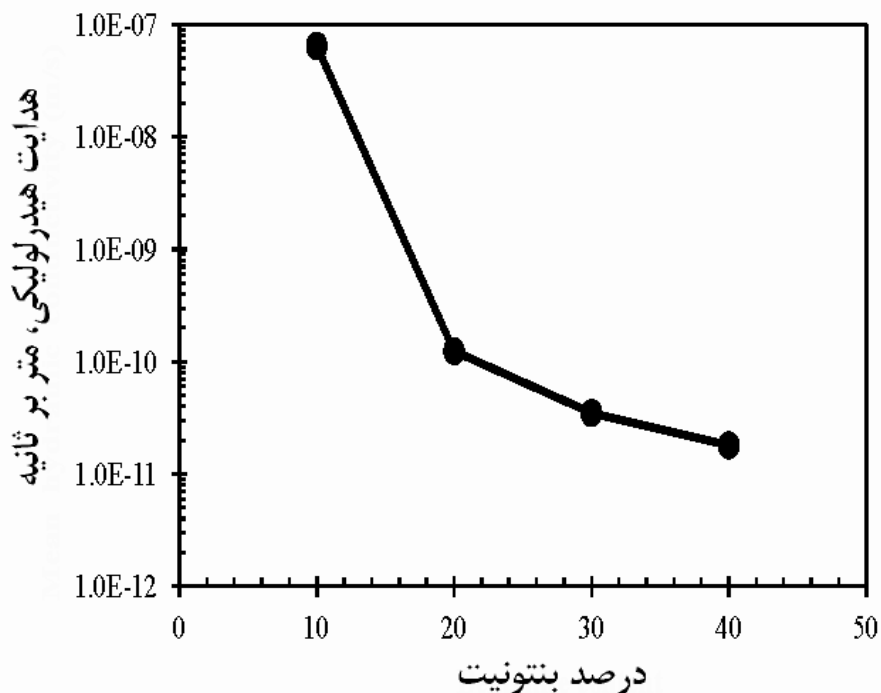
همچنین Qader در سال 1998 جذب فنل توسط کربن فعال را مورد بررسی قرار داد. با توجه به نتایج شکل 4 درصد جذب فنل تا 300 mg/l یعنی بیش از 99٪ بوده است. در این تحقیق همچنین بیان گردید که با افزایش غلظت فنل درصد جذب کاهش می یابد [15].



شکل 4. اثر غلظت فنل بر میزان جذب کربن فعال [15]

3) بررسی توام نفوذپذیری و جذب در لاینرهای حاوی بنتونیت و رس اصلاح شده

دانیل (1987)، نموداری از هدایت هیدرولیکی در مقابل درصد بنتونیت جهت مخلوط شن و ماسه و بنتونیت ارائه نمود. او متوجه شد که هدایت هیدرولیکی با افزایش درصد بنتونیت از صفر تا 8٪ کاهش معنی داری (10^{-4} تا 10^{-8} سانتی متر بر ثانیه) یافته است. در درصدهای بنتونیت بالاتر، کاهش کمتری در هدایت هیدرولیکی رخ داده است [16]. بدو و همکاران نیز در سال 1394 با استفاده از درصدهای مختلف بنتونیت، نفوذپذیری لاینر را مورد آزمایش قرار دادند و مشاهده کردند که با افزایش درصد بنتونیت در نمونه ها، ضرایب نفوذپذیری هیدرولیکی به شدت کاهش یافته و ترکیبی حاوی 40٪ بنتونیت کمترین ضریب نفوذپذیری ($1/91 \times 10^{-11}$ m/s) را دارا است (شکل 5). همچنین وی معتقد بود افزودن بیش از 20٪ بنتونیت به دلیل پر شدن تمام حفرات بر اثر تورم بنتونیت، تاثیر بسزایی در کاهش نفوذپذیری نمی گذارد [2].



شکل 5. تاثیر افزایش درصد بنتونیت در ضریب نفوذپذیری [2]

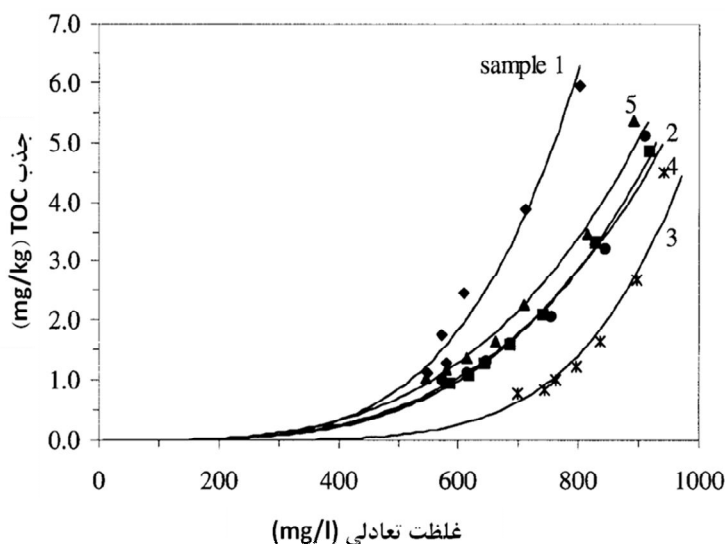
تحقیقات دیگری نیز به منظور دستیابی به لاینرهای ترکیبی با بهترین عملکرد در محل‌های دفن صورت گرفته است. در این میان محققان در صدد استفاده از کاربرد رس‌های اصلاح شده در این لاینرها نیز برآمدند. Irene در سال 2001 ترکیب 5 نمونه را با استفاده از بنتونیت و رس اصلاح شده با ¹CDV (نمونه خاکی شامل 50% ماسه، 20% شن، 15% سیلت، 11% رس می‌باشد که در هنک کنگ یافت می‌گردد) ارائه نمود. درصد اختلاط مواد در مطالعه وی را می‌توان در جدول 3 مشاهده نمود [17].

جدول 4. درصد اختلاط در لاینر [17]

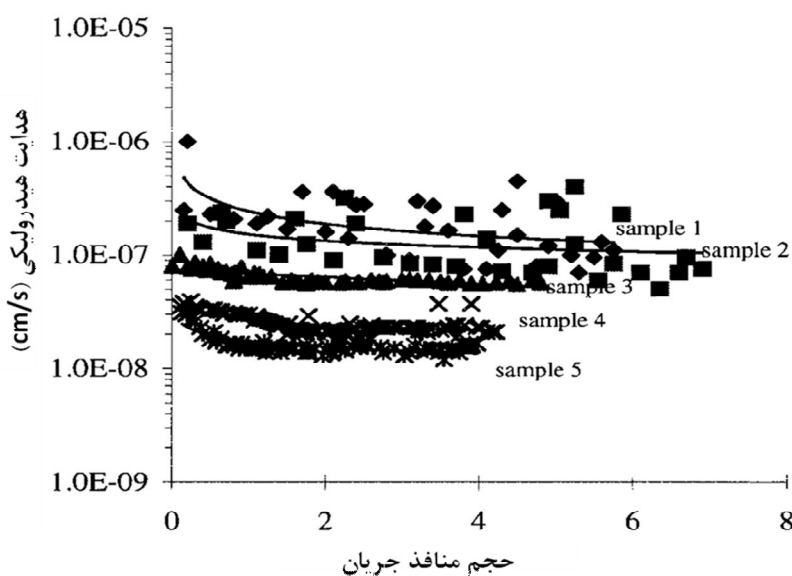
نمونه	بنتونیت	رس آلی دوست	CDV
1	0	20	80
2	10	10	80
3	20	0	80
4	20	10	70
5	20	20	60

¹Completely Decomposed Volcanic

همانطور که در شکل 6 مشاهده می‌شود در تحقیق Irene نمونه 1 در جذب TOC^1 نتیجه بهتری را بدست آورده است. هرچند رس آلی دوست در جذب نتایج بهتری را نشان داد لیکن نباید از نقش بنتونیت در کاهش نفوذپذیری غافل شد. در این تحقیق بهترین نتیجه در نفوذپذیری (10^{-8} cm/s) برای نمونه 5 با 20% بنتونیت و 20% رس اصلاح شده حاصل گردید (شکل 7) و در واقع عملکردی مناسب هم از نظر جذب و هم از نظر نفوذپذیری از خود نشان داد [17].



شکل 6. ایزوترم جذب برای TOC در ترکیب بنتونیت، خاک و رس آلی دوست [17]



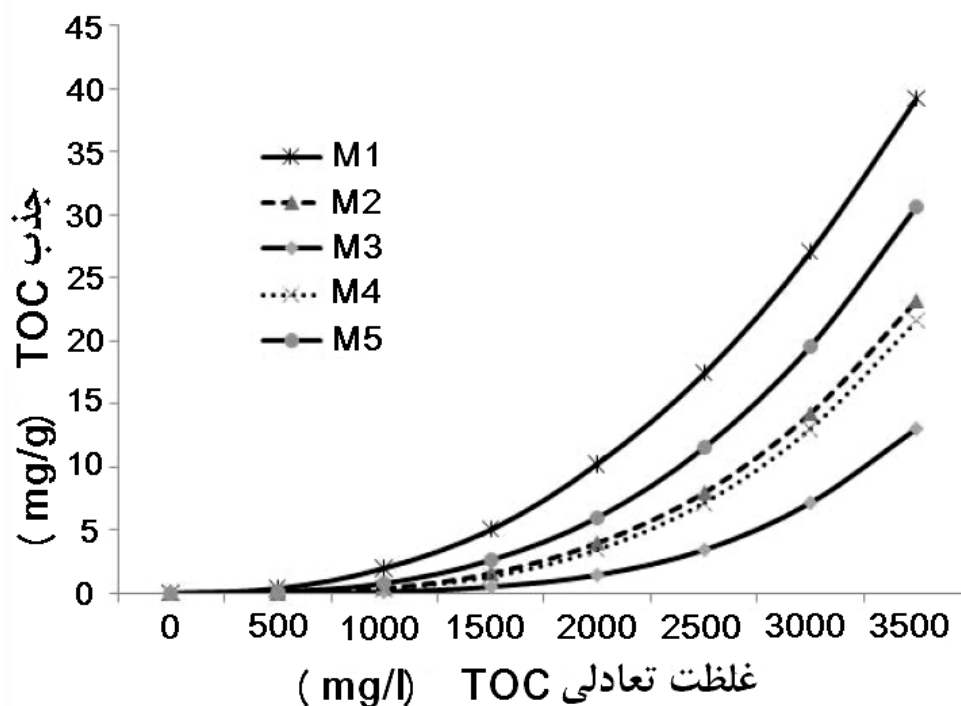
شکل 7. هدایت هیدرولیکی در ترکیبات مختلف [17]

¹Total Organic Carbon

Jhamnani نیز در 2009 با استفاده از طرح اختلاط‌های مختلف برای پنج نمونه، جذب و نفوذپذیری لاینرها را مورد بررسی قرار داد. در جدول 5 طرح اختلاط نشان داده شده است. شکل 8 میزان جذب در نمونه‌های مختلف وی را نمایش می‌دهد [18].

جدول 5. درصد اختلاط در لاینر [18]

نمونه	بنتونیت	رس آلی دوست	خاک طبیعی
M ^۱	15	10	75
M ^۲	10	15	75
M ^۳	15	10	75
M ^۴	20	15	65
M ^۵	20	20	60



شکل 8. ایزوترم جذب برای TOC [۱۷]

کاملاً مشهود است در تحقیقات Jhamnani، نمونه شماره 1 با 15% بنتونیت و 10% رس اصلاح شده در جذب عملکرد بهتری از خود نشان داده است. قابلیت‌های رس آلی دوست و بنتونیت در کاهش نفوذپذیری و میزان جذب مواد آلی را می‌توان در هر دو مطالعه کاملاً مشاهده نمود [18].

نتیجه گیری

نتایج آزمایش‌های ایزوترم جذب و پراش پرتو ایکس در رس‌های معمولی و آلی‌دوست کارایی استفاده رس‌های آلی‌دوست را برای جذب آلاینده‌های آلی نشان می‌دهد. با استفاده از رس آلی‌دوست درصد از بین بردن آلاینده‌های آلی به طور متوسط 90% افزایش یافته است.

تحقیقات صورت گرفته توسط محققان حاکی از آن است که مقاوم‌ترین اختلاط در برابر جریان شیرابه و شار شیمیایی در طرح اختلاطی با 20% بنتونیت، 20% رس اصلاح شده و 60% ماسه صورت گرفته است. استفاده از بنتونیت در جذب تاثیر بسزایی ایفا نکرده بود ولی همچنان باید از آن استفاده نمود زیرا با استفاده از 20% بنتونیت ضریب نفوذپذیری به 10^{-8} cm/s رسیده است که در مقایسه با برخی استانداردها که میزان نفوذپذیری 10^{-7} cm/s می‌باشد، نتیجه حائز اهمیتی است. همچنین استفاده بیش از حد بنتونیت نیز برای کاهش نفوذناپذیری لاینر مجاز نیست زیرا بعد از مقدار معینی کارایی بنتونیت در کاهش میزان نفوذپذیری بسیار پایین می‌آید که می‌توان دلیل آن را پر شدن تمام حفرات خاک توسط بنتونیت بیان نمود. همچنین استفاده از رس‌های آلی‌دوست به جای رس‌های معمولی و یا تلفیقی از این دو نوع خاک، باعث افزایش کارایی لاینرها در نفوذپذیری و حذف آلاینده‌های آلی می‌شود که در نهایت ضخامت کمتر لاینر، برای جلوگیری از نفوذ شار آلودگی را به ارمغان خواهد آورد [17 و 18].

در مقایسه جاذب‌های مختلف در برخورد با آلاینده‌های آلی استفاده از رس‌های اصلاح شده نتایج بهتری در جذب آلاینده‌ها نسبت به کربن فعال و کربن فعال اصلاح شده داشته طوری که در غلظت‌های پایین آلاینده نتیجه 100% حذف بدست آمده بود و در غلظت‌های بالاتر نیز راندمان حذف بالای 80% بود [4].

معضل آلودگی منابع آب زیرزمینی و به طور کلی آلودگی خاک توسط آلاینده‌های نفتی و فراورده‌هایی که در اثر نشت و تراوش هنگام ذخیره سازی و یا انتقال ایجاد می‌شود در سال‌های اخیر به یکی از دغدغه‌های ذهنی محققین دانشگاهی و مسئولین اجرایی کشور تبدیل شده است. استفاده از موادی همچون رس اصلاح شده اگر چه از دیدگاه اقتصادی ممکن است مقرون به صرفه نباشد اما باید توجه داشت هزینه‌هایی که در پروژه‌ها تحمیل می‌شود قطعا در مقابل خسارت‌های زیست محیطی که در آینده کشور غیر قابل جبران خواهند بود، می‌تواند ناچیز در نظر گرفته شود. در صورتی که بتوان برای جلوگیری از نشت مواد آلی نفتی و یا کاهش آن از ترکیباتی نظیر رس اصلاح شده که در حجم صنعتی به همین منظور تولید کردند، استفاده نمود، بسیاری از مخاطرات فعلی در مکان‌های دفن پسماندهای خطرناک و کف مخازن ذخیره سوخت‌های فسیلی و مسیر لوله‌های نفتی به شکل قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد یافت. این موضوع مستلزم تحقیقات هرچه بیشتر در این زمینه می‌باشد.

تقدیر و تشکر

مولفین مقاله بر خود لازم می‌دانند از شرکت پالایش و پخش فراورده‌های نفتی به دلیل حمایت مالی که امکان انجام مناسب‌تر این تحقیق را فراهم آورده است تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

- [1] <http://www.shana.ir/fa/newsagency,1384>.
- [2] بدو، کاظم، علی اشرفی، هادی. 1394، ارزیابی آزمایشگاهی خصوصیات ژئوتکنیکی و ژئوزیست محیطی ترکیبات ماسه- بنتونیت جهت استفاده در آستر کف مدفن‌های زباله، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد 45، شماره 2.
- [3] O.Sullivan, D & Quigley,P. Geotechnical Engineering & Environmental Aspects of Clay Liners for Landfill Projects. Irish Geotechnical Services Ltd.
- [4] E.Abdelwahab.Modified activated carbon and bentonite used to adsorb petroleum hydrocarbons emulsified in aqueous solution, University Suez, Egypt, 2013.
- [5] شاهی، محسن. 1381، اثر شیرابه بر ضریب نفوذپذیری و خاک‌های رسی بنتونیتی، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران- محیط زیست، دانشگاه تهران.
- [6] Bullock, Allen, Innovative Uses of Organophilic Clays For Remediation of Soils, Sediments and Groundwater-9507,WM 2009 Conference, March 2009.
- [7] Jeffrey,C and Stephen ,E.Organic Waste Treatment With Organically Modified Clays, Pennsylvania, 1989.
- [8] <https://www.byk.com/en/additives> ,2013.
- [9] <https://www.elementis-specialties.com> , 2009.
- [10] حسین‌پور، محمدعلی، 1387، بهسازی کارایی لاینرهای ژئوسنتتیک- رسی (GCLs) در برابر آلاینده‌های هیدروکربنی با استفاده از رس های اصلاح شده. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، مهندسی عمران- محیط زیست، دانشگاه تهران.
- [11] Gleason M.H & Daniel D.E.& Eykholt G.R., Calcium and Sodium Bentonite for Hydraulic Containment Applications, ASCE Journal of Geoenvironmental Engineering, Vol. 123, No.5, May.1997, pp.438-445.
- [12] Gitipour, Saeid,T.Bowers, Mark, Huff, Warren, Bodocsi, Andrew,The efficiency Of Modified Bentonite Clays For Removal Of Aromatic Organics From Oily Liquid Wastes ,University of Cincinnati ,OH 45221,USA,1997.
- [13] گیتی‌پور، سعید، ابوالفضل‌زاده، مصطفی، حسین‌پور، محمدعلی. 1389، بررسی خاصیت هیدروکربن دوستی بنتونیت های اصلاح شده و معمولی بر اساس تغییر فضای بین لایه‌ای در برابر آب، بنزین، MTBE و ترکیبات BTEX، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره دوازدهم، شماره چهار.
- [14] M.Sharafi & S.Bazgir. Adsorption of petroleum hydrocarbons on organoclay, Azad University of Tehran, Iran, 2010.
- [15] R.Qader & A.Rehan .A Study of the Adsorption of Phenol by Activated Carbon from Aqueous Solutions, Islamabad, Pakistan, 1998.
- [16] Benson,C.H & Zhai,H . & Wang, X. , Estimating Hydraulic Conductivity of compacted Clay Liners, ASCE Journal of geotechnical Engineering, vol.120, No.2, Feb.1994, pp.366-387
- [17] Irene .M.C. Organoclay With Soil- Bentonite Admixture as Waste Containment Barriers, ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 127 , August 2001 ,pp.756-759.
- [18] Jhamnani, Bharat., et al. Evaluation of Organoclays for Use in Landfill Liners.Delhi, India , 2009.