

STUDY ON THE EFFICACY OF MINERAL WOOL IN OIL ADSORPTION

Study on the efficacy of mineral wool wastes in adsorption of waterborne oil contamination (Kerosene)

ABSTRACT

Background and aim: water oil contamination has occurred in Iran since the previous century and environmental oil accumulation threatens the country water resources' health. There are several methods to remove oil and its derivatives contamination. In the present study, mineral wool waste was used as low price adsorbent for wastewater oil contamination (kerosene) removal.

Materials and Methods: first, XRF and XRD analyses were used to determine chemical composition. Then, adsorption tests were conducted discontinuously using laboratory solutions containing oil to determine optimum adsorption conditions by adjustment of effective factors such as pH, initial concentration, exposure time and adsorbent concentration. Thereafter, application of adsorbent for laboratory wastewater was studied.

Results: after 15 min exposure, the adsorbent (mineral wool wastes) efficacy was significantly higher than the other times (76.01 % adsorption; $P < 0.05$); whereas, the lowest efficacy was observed after 3 min (63.82 %; $P < 0.05$). Among the tested pH, the highest and lowest adsorption were observed at pH = 3 (70.59 %; $P < 0.05$) and 9 (57.69 %; $P < 0.05$), respectively. There was no significant difference in adsorption between the adsorbent concentrations of 0.5 and 1 g (76.80 and 75.30 %); however, both were significantly ($P < 0.05$) higher than the other concentrations. the lowest adsorption was observed at the concentration of 0.25 g adsorbent (67.78 %). Isotherm fitting of surface adsorption showed that oil adsorption by mineral wool wastes follows Langmuir model ($R^2 = 0.99$).

Conclusion: it is concluded that mineral wool waste has high efficiency to adsorb oil from wastewater and could be used for oil contamination removal.

Document Type: Research article

Keywords: Rock wool's waste, oil pollution, laboratory wastewater, effective factors on absorption.

Mohammad Hadi Abolhasani

* Department of environmental science, waste and wastewater research center, Islamic azad university, khorasgan(Isfahan), Iran

Niloofar Pirestani

Department of environmental science, waste and wastewater research center, Islamic azad university, khorasgan(Isfahan), Iran

Hajar Amini

Department of environmental science, waste and wastewater research center, Islamic azad university, khorasgan(Isfahan), Iran

Received: 2018/02/23

Accepted: 2018/03/19

► **Citation:** Abolhasani MH, Pirestani N, Amini H. Study on the efficacy of mineral wool wastes in adsorption of waterborne oil contamination (Kerosene). *Journal of Research in Environmental Health*. Winter 2018;3 (4) : 300-311.

بررسی کارایی پسماند پشم سنگ در جذب آلودگی‌های نفتی (نفت سفید) در آب

محمد هادی ابوالحسنی

* استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، دانشگاه آزاد اسلامی، خراسان (اصفهان)، ایران.

نیلوفر پیرستانی

دانشجوی دکتری محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، دانشگاه آزاد اسلامی، خراسان (اصفهان)، ایران.

هاجر امینی

دانشجوی کارشناسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، دانشگاه آزاد اسلامی، خراسان (اصفهان)، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۲۸

چکیده

زمینه و هدف: آلوده شدن آب به ترکیبات نفتی در ایران از بدو استخراج نفت از سده گذشته ایجاد شده است و انباشت تدریجی آنها در محیط سلامتی منابع آب کشور را تهدید می‌کند، بنابراین گسترش فناوری‌های جدید برای حذف و پاک‌سازی آلودگی‌های نفتی ضروری است. روش‌های مختلفی برای پاک‌سازی آلودگی‌های نفتی و مشتقات آن وجود دارد. در این پژوهش، از جاذب پسماند پشم سنگ به عنوان جاذب ارزان قیمت برای حذف آلودگی نفتی (نفت سفید) از پساب استفاده شد.

مواد و روش‌ها: در ابتدا با استفاده از آنالیز XRF و XRD ترکیب شیمیایی تعیین شد. سپس آزمایشات جذب به صورت ناپیوسته با استفاده از محلول‌های آزمایشگاهی حاوی نفت انجام گرفت و شرایط بهینه جذب با تغییر فاکتورهای مؤثر بر جذب که شامل pH، غلظت اولیه آلوده کننده، زمان تماس و مقدار جاذب بر میزان جذب در سطوح مختلف بود، مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت استفاده از جاذب برای پساب آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفت.

یافته‌ها: کارایی جاذب در زمان تعادل برای جذب نفت با استفاده از جاذب پسماند پشم سنگ در ۱۵ min دقیقه با اختلاف معنی‌داری بیشتر از دیگر زمان تماس‌ها بود (میزان ۷۶/۰۱ درصد جذب؛ $p < ۰/۰۵$) و کمترین مقدار آن با اختلاف معنی‌داری در ۳ min مشاهده شد (میزان ۶۳/۸۲ درصد جذب؛ $p < ۰/۰۵$). بیشترین میزان جذب پسماند پشم سنگ در $pH=۳$ مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با دیگر pH ها داشت (میزان ۷۰/۵۹ درصد جذب؛ $p < ۰/۰۵$) و کمترین درصد جذب با اختلافی معنی‌دار در $pH=۹$ مشاهده شد (میزان ۵۷/۶۹ درصد جذب؛ $p < ۰/۰۵$). تأثیر مقادیر جاذب پسماند پشم سنگ در ۰/۵ و ۱ G/L با یکدیگر اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند، اما با اختلاف معنی‌داری بیشتر از دیگر مقدار جاذب‌ها بودند (به ترتیب میزان ۷۶/۸۰ و ۷۵/۳۰ درصد جذب؛ $p < ۰/۰۵$) و کمترین درصد جذب با اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر مقادیر در ۰/۲۵ G/L مشاهده شد (میزان ۶۷/۷۸ درصد؛ $p < ۰/۰۵$). برازش هم‌دماهای جذب سطحی نشان داد که جذب نفت توسط پسماند پشم سنگ با مدل لانگمویر مطابقت دارد (میزان $R^2=۰/۹۹$ می‌باشد).

نتیجه‌گیری: جاذب پسماند پشم سنگ، کارایی بالای در جذب نفت از پساب دارد و می‌تواند در رفع آلودگی نفتی (نفت سفید) مورد استفاده قرار گیرد.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

کلید واژه‌ها: آلودگی نفتی، پساب ساختمانی، پسماند پشم سنگ، فاکتورهای مؤثر بر جذب

◀ استناد: ابوالحسنی م، پیرستانی ن، امینی ه. بررسی کارایی پسماند پشم سنگ در جذب آلودگی‌های نفتی (نفت سفید) در آب. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. زمستان ۱۳۹۶؛ ۳(۴): ۳۰۰-۳۱۱.

مقدمه

آب، فراوان ترین ماده در طبیعت است و به حالت جامد، مایع و گاز وجود دارد. سلول های بدن انسان بدون وجود این ماده قادر به ادامه حیات نیستند. آشامیدن و رفع نیازهای فردی، نخستین نگرش بشر به آب بوده است. همچنین آب بهترین حلال شیمیایی است، بسیاری از گازها و مواد معدنی به آسانی در آن حل می شوند. آب سرمایه ملی هر کشوری می باشد که در آینده ای نه چندان دور، ارزشی برابر نفت خواهد داشت. در سطح دنیا و همچنین در ایران، رقابت برای استفاده از آب در مصارف شهری، صنعتی، محیط زیست و کاربردهای تفریحی افزایش یافته است (۱، ۲).

امروزه آلودگی نفتی، به عنوان یکی از خطرناک ترین آلودگی های محیطی شناخته شده است (۳). اکتشاف، استخراج و بهره برداری از منابع نفتی در کشورهای نفت خیز مانند ایران علی رغم فواید بسیار، موجب بروز مشکلات زیست محیطی متعددی شده است. یکی از مهم ترین این معضلات، آلودگی منابع آب با ترکیبات نفتی می باشد (۴، ۵). همانطور که عنوان شد، ترکیبات نفتی یکی از منابع آلوده کننده آب ها به شمار می روند که نشت و ریزش عمدی یا تصادفی آن ها به منابع آبی می تواند خسارات جبران ناپذیری به دنبال داشته باشد. مصرف آب های آلوده به مشتقات نفتی، تهدیدی جدی برای سلامت محیط زیست، انسان ها و سایر موجودات زنده به حساب می آید (۵، ۶). قرارگیری در معرض این آلاینده ها می تواند منجر به مرگ موجودات زنده آبی شود و آثار مضر از جمله کاهش تولید مثل، رشد نامناسب، مشکل در مکانیسم تغذیه و کاهش قدرت دفاعی در مقابل بیماری ها را به دنبال داشته باشد (۷). هجوم آلودگی به آب های رودخانه ها، دریاچه ها، دریاها و اقیانوس ها، آثار مخربی از خود بر جای گذاشته است؛ به گونه ای که نه تنها حیات آبیان را به مخاطره انداخته است، بلکه از طریق زنجیره های غذایی، زندگی سایر موجودات خشکی که ارتباط غذایی با دریا دارند را تهدید می نماید (۸). با توجه به اینکه ریزش و نشت نفت به آب در اکثر مواقع اجتناب ناپذیر است و همچنین نظر به عوارض نامطلوب آب آلوده به مشتقات نفتی بر روی انسان و محیط زیست، تاکنون

روش های متعددی به منظور تصفیه آب ها و جداسازی این دو ماده مهم از یکدیگر پیشنهاد شده اند. جداسازی ثقلی، انواع فیلترها، اسمز معکوس، فرآیندهای بیولوژیکی، شناورسازی با هوای محلول، بیوراکتورهای ممبرانی، جذب با کربن فعال، انعقاد شیمیایی، شناورسازی الکتریکی و غیره از جمله راه حل هایی هستند که تاکنون برای تصفیه آب مورد استفاده قرار گرفته اند (۹، ۱۰).

به منظور استفاده بهینه از انرژی و جلوگیری از هدر رفتن آن، جهان رویکرد جدیدی را به استفاده روزافزون از عایق های معدنی مصنوعی آغاز کرده است (۱۱). اولین ماده مورد استفاده برای این منظور آزبست بوده که به علت خواص منحصر به فرد، کاربرد فراوانی در طول تاریخ داشته است (۱۲). بعدها به دلیل خواص بیماری زایی محرز و قطعی این ماده، بشر به فکر جایگزینی مناسب برای آزبست با خواص شیمیایی مشابه و داشتن بیماری زایی و خطر زایی کمتر افتاد که با این دیدگاه به الیاف معدنی مصنوعی روی آورد. الیاف معدنی مصنوعی اصطلاح مورد استفاده برای بیان مواد لیفی شکل شامل، الیاف پشم سنگ، پشم سرباره، پشم شیشه و الیاف سرامیکی نسوز است (۱۳، ۱۴). پشم سنگ که در زبان انگلیسی Rockwool نامیده می شود، جزء خانواده عایق های حرارتی متشکل از الیاف معدنی است، به همین دلیل گاهی به آن Mineral Wool نیز اطلاق می شود (۱۳). پشم سنگ از دسته الیاف معدنی مصنوعی بوده که ماده اولیه اصلی برای تولید آن، سنگ بازالت از گروه سنگ های آتشفشانی آذرین می باشد (۱۵). در ساختار شیمیایی پشم سنگ، اکسیدهای فلزی MgO و TiO_2 ، CaO ، Al_2O_3 ، B_2O_3 وجود دارد (۱۶). با وجود اینکه پشم سنگ و سرباره به اندازه عایق های دیگر نزد مصرف کنندگان ایرانی شناخته شده نیستند، اما در حال حاضر ایران یکی از کشورهای عمده تولید کننده پشم سنگ است (۱۷). در ارزیابی های موجود در زمینه سرطان زایی پشم سنگ، مدارکی دال بر افزایش خطر سرطان زایی این ماده گزارش نشده است، لذا ارزیابی نهایی طبق طبقه بندی انجمن تحقیقات سرطان به این شکل است: در مورد سرطان زایی پشم سنگ در انسان ها مدارک

رویشی (SEM) مدل Philips XL۳۰ صورت گرفت.

آزمایش جذب آب و نفت به‌طور جداگانه

مقدار ۲۰۰ mL از نمونه (آب مقطر یا نفت) داخل یک بشر mL ۲۵۰ ریخته شد و مقدار توزین شده‌ای از جاذب (۵/۰ g) از جاذب به آن افزوده شد و پس از زمان ۵ min، جاذب از نمونه جدا و سپس وزن شد. اختلاف وزن جاذب قبل و بعد از جذب برابر با میزان جذب نمونه شد.

آزمایش جذب نفت از روی آب

در این مطالعه تجربی از پساب ساختگی استفاده شد. جهت تهیه پساب ساختگی، ۱۰۰ mL نفت به حجم ۱ L (با آب مقطر) رسیده شد. سپس به منظور مخلوط شدن آب و نفت، به مدت ۳۰ min توسط دستگاه شیکر تکان داده شد.

تأثیر پارامترهای مختلف بر فرآیند جذب

برای دستیابی به بیشترین میزان جذب، تأثیر عامل‌های گوناگون مؤثر بر فرآیند جذب بررسی شد و میزان جذب محاسبه شد. بدین منظور ترکیب نفتی (نفت سفید یا کروزن) و جاذب به نسبت ۱ به ۱ در یک ارلن ۱۰۰ mL ریخته شد و بقیه آن آب شهری افزوده شد. سپس توسط شیکر با دور ۱۵۰ rpm هم شده شد و از کاغذ صافی عبور داده شد و در آن به مدت ۲۴ h در دمای ۵۰°C-۴۰ قرار داده شد تا آب آن تبخیر شود و سرانجام میزان روغن جذب شده از روش وزنی بر اساس معادله (۱) به‌دست آمد (۱۹).

$$a = 100(x - y) / z$$

a = درصد جذب

x = وزن کل نمونه خشک شده جاذب و نفت (گرم)

y = وزن جاذب اولیه (گرم)

z = میزان اولیه نفت

از جمله فاکتورهای مورد بررسی بر روی جذب ترکیب نفتی، pH، مقدار جاذب، زمان تماس و مقدار غلظت آلاینده بود که اثر آنها در مقادیر مختلف برای pH (۳، ۵، ۷ و ۹)، برای مقدار جاذب پسماند پشم سنگ (۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ g/L)،

محدود و در مورد حیوانات مدارک اندک وجود دارد و همچنین الیاف پشم سنگ به عنوان عامل سرطان‌زایی در انسان طبقه‌بندی نشده‌اند و در گروه ۳ قرار می‌گیرند (۱۱).

از این رو، مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر فاکتورهای مختلف نظیر زمان تماس، pH اولیه، غلظت آلاینده نفتی در پساب و مقدار جاذب بر روی میزان جذب توسط جاذب پسماند پشم سنگ انجام شد. همچنین به منظور آنالیز معادله جذب از مدل‌های جذب لانگمویر و فروندلیچ استفاده شد.

روش کار

در این تحقیق برای بررسی کارایی جاذب مختلف در جذب آلاینده‌های نفتی از سطح آب، ابتدا پسماند پشم سنگ به عنوان جاذب و نفت خام به عنوان جاذب شونده انتخاب شدند و خصوصیات جاذب مورد آزمایش با استفاده از آنالیز XRD و XRF مورد بررسی قرار گرفت، سپس عملکرد جاذب در جذب آب و نفت به‌طور جداگانه مورد آزمایش قرار گرفت و تأثیر فاکتورهای مختلف زمان تماس، pH اولیه، غلظت آلاینده نفتی در پساب و مقدار جاذب بر روی میزان جذب توسط جاذب پسماند پشم سنگ مطالعه شد. با در نظر گرفتن ۴ تیمار: جذب وابسته به pH، جذب وابسته به غلظت اولیه پساب، جذب وابسته به زمان تماس و جذب وابسته به مقدار جاذب، پژوهش طی مراحل زیر انجام شد. شناسایی ویژگی جاذب

ویژگی‌های ساختاری پشم سنگ با استفاده از پراش اشعه ایکس (XRD: X-ray powder diffraction)، طیف سنجی مادون قرمز (XRF: X-ray fluorescence) و میکروسکوپ الکترونیکی رویشی (SEM) تعیین شد (۱۸). جهت تعیین ساختار پشم سنگ، از دستگاه پراش اشعه ایکس (Philips XRD) مدل PW۱۸۰۰ و جهت تعیین ترکیب شیمیایی نمونه مورد آزمایش، از دستگاه طیف‌سنجی فلورسانس (XRF) ساخت کمپانی Philips مدل PW۱۴۸۰ استفاده شد. تصویربرداری جهت ریخت‌شناسی و اندازه پسماند پشم سنگ با استفاده از میکروسکوپ الکترونی

به دست می آید:

$$\log q_e = \log k_f + 1/n(\log c_e) \quad \text{رابطه (۳)}$$

با رسم نمودار $\log q_e$ (بر روی محور Y) نسبت به مقادیر $\log C_e$ (بر روی محور X)، خط راستی حاصل می شود که دارای شیب $1/n$ و عرض از مبدأ $\log K_f$ است. مدل لانگمویر برای جذب فیزیکی و تک لایه ای کاربرد دارد (۲۲).

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{\max}} + \left(\frac{1}{K_K q_{\max}} \right) (C_e) \quad \text{رابطه (۴)}$$

C_e = غلظت تعادلی (mg/L)

q_e = مقدار ماده جذب شده (mg/g)

$q_{\max}$ = بیشترین مقدار ظرفیت جذب که مطابق با پوشش تک لایه کامل سطح جاذب است (mg/g).
 KL = ثابت لانگمویر یا ثابت تعادلی (mg/L) است که به انرژی جذب سطحی مربوط است.

با رسم نمودار C_e/q_e (بر روی محور Y) نسبت به غلظت در نقطه تعادل یعنی C_e (بر روی محور X)، خط راستی حاصل می شود که دارای شیب $1/n$ و عرض از مبدأ $1/q_{\max}$ است (۲۳).

روش تجزیه و تحلیل اطلاعات

داده ها پس از گردآوری با استفاده از نرم افزارهای Excel نسخه ۲۰۱۳ و نرم افزار SAS نسخه ۹/۴ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای رسم نمودارهای تأثیر pH، دما، مقدار جاذب، غلظت و زمان تماس بر جذب چربی و روغن از پساب ساختگی از نرم افزار Excel و جهت پردازش داده های حاصل از نرم افزار SAS استفاده شد. همچنین مقایسه میانگین بین پارامترها توسط آزمون دانکن (Duncan) در سطح ۰/۰۵ درصد و تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از واریانس یک طرفه (Anova) انجام گرفت.

یافته ها

برای تعیین ویژگی های معدنی جاذب مورد آزمایش از دستگاه پراش اشعه ایکس استفاده شد. شکل ۱ نمودار حاصل را نشان

برای زمان تماس (بازه های زمانی ۳، ۵، ۱۰ و ۱۵ min) و برای مقدار آلاینده نفت (حجم های ۱۵۰، ۲۵۰، ۳۵۰ و ۴۵۰ mL) بود و مقادیر پارامترهای ثابت در اندازه گیری متغیر pH (مقدار g ۰/۵ جاذب پسماند پشم سنگ، زمان ۵ min و پساب ساختگی ۲۵۰ mL نفت به حجم ۱ L)، برای اندازه گیری متغیر مقدار جاذب (pH=۵)، زمان ۵ min و پساب ساختگی (۲۵۰ mL نفت به حجم ۱ L)، در اندازه گیری متغیر زمان تماس (pH=۵)، مقدار g ۰/۵ جاذب و پساب ساختگی (۲۵۰ mL نفت به حجم ۱ L) و در نهایت برای متغیر مقدار آلاینده (pH=۵)، مقدار g ۰/۵ جاذب و زمان تماس ۵ min دقیقه) بود.

بررسی مدل های ایزوترم جذب

ایزوترم جذب سطحی به عنوان یک توصیف ریاضی دقیق از ظرفیت تعادلی جذب، جهت نشان دادن رفتار جذب و تخمین ظرفیت جذب سطحی مورد بررسی قرار گرفته است (۲۰).

معادله فروندلیچ، مدلی تجربی است که بر اساس جذب سطحی فیزیکی بین عنصر جذب شونده و ماده جاذب بیان شده است. در این مدل فرض بر این است که جذب به صورت چند لایه ای صورت می پذیرد و با اضافه شدن مقدار ماده محلول جذب شده، انرژی جذب سطحی به صورت نمایی کاهش می یابد. به عبارتی این مدل برای جذب سطحی روی سطوح ناهمگن توأم با برهمکنش بین مولکول های جذب سطحی شده به کار می رود و توسط رابطه (۲) بیان می شود (۲۰).

$$q_e = k_f c_e^{1/n} \quad \text{رابطه (۲)}$$

q_e = غلظت تعادلی نمک روی جاذب (mg/g)

K_f = ثابت فروندلیچ که نشان دهنده ظرفیت جذب جاذب

است $1/n$ (mg/g) (l/mg)

n = شدت جذب سطحی

با افزایش K_f ، ظرفیت جذب جاذب برای جذب ماده جذب شونده افزایش می یابد، همچنین مقدار n بین ۱ تا ۱۰ نشان دهنده فرآیند جذب مناسب است (۲۱).

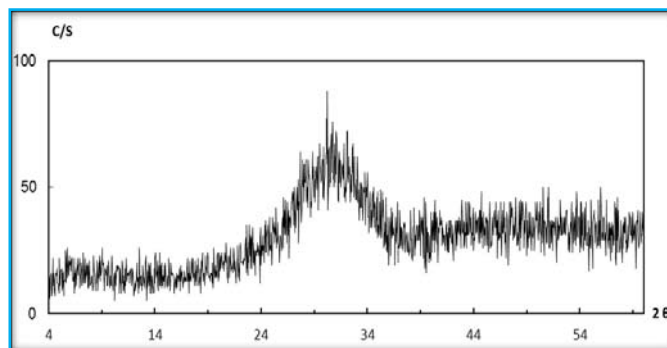
با لگاریتم گرفتن از دو طرف رابطه (۲) رابطه خطی (۳)

جدول ۱. تعیین ویژگی‌های معدنی پشم سنگ

Major pHase(s)	Minor PHase(s)	Trace PHase(s)
AmorpHouse	----	----

ترکیب شیمیایی پسماند پشم سنگ مورد آزمایش از نتایج حاصل از طیف‌سنجی فلورسانس پرتو XRF (X) به‌دست آمد و در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به این نتایج، SiO_2 ، CaO ، MgO ، Fe_2O_3 و Al_2O_3 حدود ۹۵ درصد مواد تشکیل دهنده پسماند پشم سنگ را شامل می‌شدند که احتمالاً این پسماند عمدتاً از سیلیکات‌ها تشکیل شدند.

می‌دهد. در جدول ۱ وضعیت فاز اصلی پسماند پشم سنگ نشان داده شده است که به صورت آمورف یا غیرکریستالی بود.



شکل ۱. نمودار حاصل از پراش پرتو X

جدول ۲. آنالیز شیمیایی پشم سنگ

ترکیب شیمیایی	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	TiO_2	MnO	P_2O_5	S	L.O.I ^۱
درصد	۳۹/۰۶	۱۱/۸۷	۱/۳۳	۳۳/۵۲	۰/۹۶	۱/۱۵	۸/۵۲	۱/۲۶۵	۱/۰۱۵	۰/۲۱۱	۰/۶۴۸	۰/۱۶

در جدول ۳، نتایج تجزیه و تحلیل واریانس یک‌طرفه آزمون، سطوح مختلف آزمایش بر مشخصه‌های مختلف (ANOVA) در طول آزمایش آورده شد. بر اساس نتایج این اندازه‌گیری شده تأثیر معنی‌داری داشتند ($p < ۰/۰۱$).

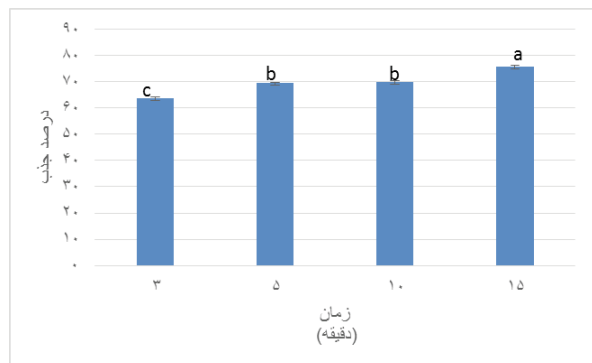
جدول ۳. آنالیز واریانس مشخصه‌های اندازه‌گیری شده در سطوح مختلف آزمایشی

شاخص	منابع تنوع	درجه آزادی	میزان F	سطح معنی‌دار
pH	سطوح	۳	۲۴/۹۲	**
	خطا	۴	۰	—
	کل	۷	۰	—
زمان ماند	سطوح	۳	۳۳۳/۷۲	**
	خطا	۴	۰	—
	کل	۷	۰	—
مقدار جاذب	سطوح	۴	۸/۶۴	*
	خطا	۵	۰	—
	کل	۹	۰	—
غلظت جذب شونده	سطوح	۳	۸۸/۳۹	**
	خطا	۴	۰	—
	کل	۷	۰	—

** نشان دهنده تفاوت معنی‌دار مقادیر در سطح ۰/۰۱ می‌باشد.

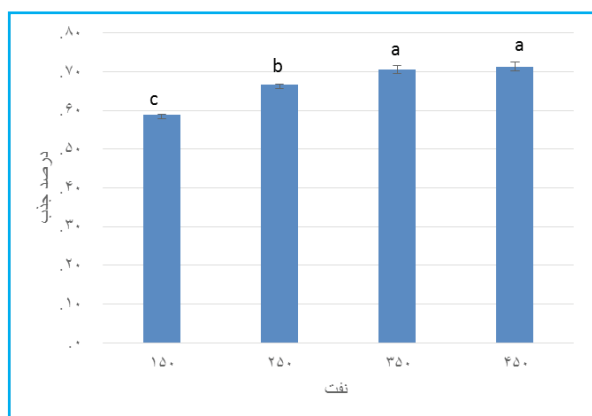
* نشان دهنده تفاوت معنی‌دار مقادیر در سطح ۰/۰۵ می‌باشد.

درصد جذب با اختلاف معنی دار در ۳ min مشاهده شد (به میزان ۶۳/۸۲ درصد، $p < 0.05$).



شکل ۴. مقایسه میانگین درصد جذب در زمان‌های مختلف (min)

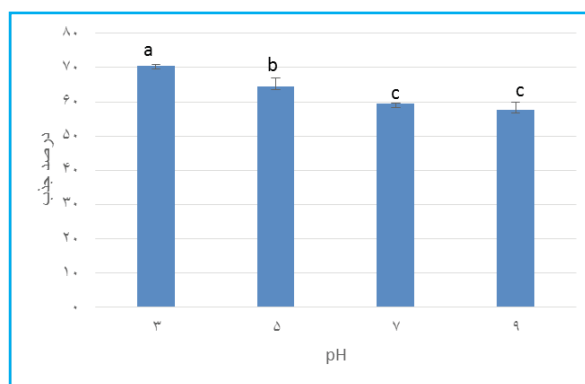
بر اساس شکل ۵، بیشترین میزان جذب پسماند پشم سنگ، در حجم ۳۵۰ و ۴۵۰ mL مشاهده شد که این دو مقدار با یکدیگر تفاوت معنی داری نداشتند، اما اختلاف معنی داری با دیگر غلظت‌ها داشتند (به ترتیب به میزان ۷۱/۲۰ و ۷۰/۶۵ درصد، $p < 0.05$) و کمترین درصد جذب با اختلاف معنی دار در حجم ۱۵۰ mL مشاهده شد (به میزان ۵۸/۹۸ درصد، $p < 0.05$).



شکل ۵. مقایسه میانگین درصد جذب در غلظت‌های مختلف (mL)

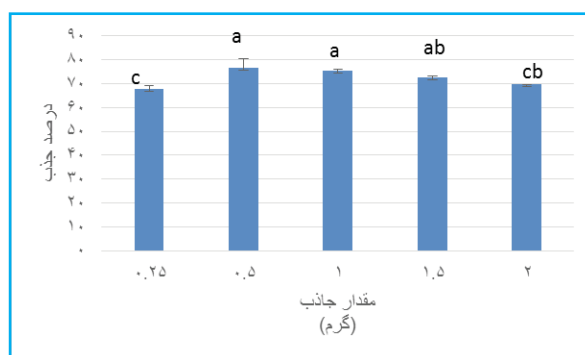
به منظور برازش مدل‌های جذبی بر روی هم‌دهماهای جذب باید به این نکته اشاره کرد که این هم‌دهماها در اصل جذب سطحی مواد حل شونده بر روی مواد جامد را در دمای ثابت بر اساس واحدهای کمی توصیف می‌نمایند. بدین منظور برازش نتایج به دست آمده با مدل‌های جذبی لانگمویر و فروندلیچ برای

بر اساس شکل ۲، بیشترین میزان جذب پسماند پشم سنگ در $pH=3$ مشاهده شد که اختلاف معنی داری با دیگر pHها داشت (میزان ۷۰/۵۹ درصد، $p < 0.05$) و کمترین درصد جذب با اختلافی معنی دار در $pH=9$ مشاهده شد (میزان ۵۷/۶۹ درصد، $p < 0.05$).



شکل ۲. مقایسه میانگین درصد جذب در pHهای مختلف

بر اساس شکل ۳، بیشترین میزان جذب پسماند پشم سنگ در ۸ g/L مشاهده شد (به میزان ۸۳/۶۶ درصد، $p < 0.05$) که اختلاف معنی داری با دیگر مقدار جاذب‌ها داشت و کمترین درصد جذب با اختلافی معنی دار در ۰/۸ g مشاهده شد (به میزان ۴۲/۶۶ درصد، $p < 0.05$).



شکل ۳. مقایسه میانگین درصد جذب در مقدارهای مختلف جاذب (g/L)

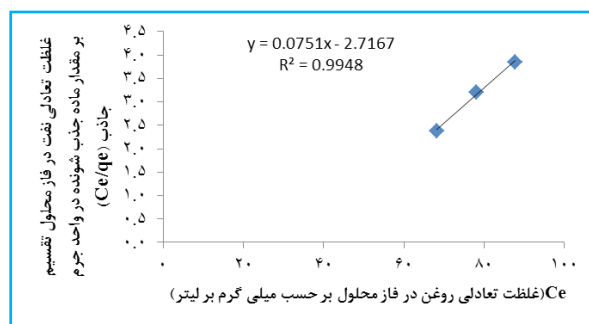
بر اساس شکل ۴، بیشترین میزان جذب پسماند پشم سنگ در ۱۵ min مشاهده شد که اختلاف معنی داری با دیگر زمان‌های تماس داشت (به میزان ۷۶/۰۱ درصد، $p < 0.05$) و کمترین

برای نفت توسط پسماند پشم سنگ ۰/۰۴۱۱ تعیین گردید. در مدل لانگمویر جاذب پسماند پشم سنگ، بیشینه ظرفیت جذب نفت (b) مقدار ۱۳/۳۱ mg نفت بر g پسماند پشم سنگ تعیین شد و ثابت تمایل جذب (KL) آن ۰/۰۳ mg/L و مقادیر RL محاسبه شده برای جذب نفت مقدار ۰/۰۹ تعیین گردید. این عدد بین صفر تا یک می‌باشد. RL به‌دست آمده نشان دهنده جذب مطلوب توسط جاذب بود.

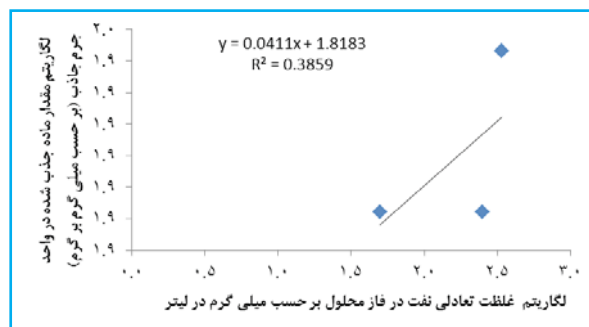
بحث

در بین روش‌های مختلف، استفاده از جاذب‌ها در حال حاضر مهم‌ترین و پرکاربردترین روش تلقی می‌شوند (۲۴). در مطالعه حاضر بیشترین جذب نفت با استفاده از پسماند پشم سنگ در pH اسیدی ۳ به میزان (۷۰/۵۹ درصد) اتفاق افتاد. با افزایش مقدار pH، میزان جذب کاهش پیدا کرد؛ به‌طوری‌که که pH=۷ و pH=۹ بدون اختلاف معنی‌داری با یکدیگر، کمترین میزان جذب در بین سایر مقادیر را داشتند (به ترتیب به میزان ۵۹/۴۱ و ۵۷/۶۹ درصد)، اما کمترین مقدار جذب در pH=۹ به میزان ۵۷/۶۹ درصد اتفاق افتاد. pH یکی از فاکتورهای مهمی بود که از طریق تأثیر بر ساختار ماده آلاینده و بار سطحی جاذب، در فرآیند جذب تأثیر گذاشت (۲۵). علت کاهش درصد جذب با افزایش pH را می‌توان مرتبط به ساختار آنیونی جذب شونده دانست. بررسی‌ها نشان داد که در pH بالا، بار الکتریکی سطحی غالب در سطح جاذب‌ها به صورت بار منفی بود. بر این اساس با افزایش pH، تعداد بارهای منفی افزایش یافت و با توجه به ماهیت آنیونی جذب شونده در این شرایط، جاذبه الکترواستاتیکی میان جاذب و آلاینده کاهش یافت و راندمان جذب کاهش پیدا کرد (۲۶، ۲۷). این نتایج با مطالعه Banat و همکاران (۲۰۰۰) مطابقت داشت. در مطالعه آنها درصد جذب فنل بر روی بنتونیت با افزایش pH کاهش پیدا کرد (۲۵). نتایج مشابهی توسط Varghese و Vinod (۲۰۰۴) گزارش شد، این محققین نیز تأثیر pH در افزایش جذب آلاینده بر سطح جاذب را به ارتباط pH و بار الکتریکی سطح جاذب نسبت

جاذب پسماند پشم سنگ در شکل ۶ و ۷ نشان داده شده است. پارامترهای این مدل‌ها نیز در جدول ۴ برای پسماند پشم سنگ ارائه شده است.



شکل ۶. هم‌دمای جذبی لانگمویر برای جذب نفت به‌وسیله پسماند پشم سنگ



شکل ۷. هم‌دمای جذبی فروندلیچ برای جذب نفت به‌وسیله پسماند پشم سنگ

جدول ۴. ثابت‌های هم‌دمای جذبی لانگمویر و فروندلیچ برای جاذب پسماند پشم سنگ

مدل	ضریب	مقدار
۱۵/۲	$k_f(g/L)$	فروندلیچ $n \log C_e / 1 + \log q_e = \log k_f$
۰/۰۴۱۱	$n/1$	
۰/۳۸۵۹	$'R$	
۰/۰۳	$K_L(mg/L)$	لانگمویر $kb + c/b/1 = c/x/m$
۱۳/۳۱	$b(\mu g/g)$	
۰/۹۹۴۸	$'R$	
۰/۰۹	R_L	

جذب نفت به وسیله پسماند پشم سنگ از مدل لانگمویر به علت داشتن R^2 بالاتر (میزان ۰/۹۹۴۸) تبعیت می‌کند. ضریب K_f نیز که معیاری از قدرت جذب می‌باشد، برابر ۱۵/۲ g/L بود. ضریب $n/1$ مدل فروندلیچ که معیار شدت جذب است،

دادند. این محققین گزارش کردند که در pH پایین تر از pH_{zpc}، سطح جاذب توسط عوامل کربوکسیلیک حاوی پروتون احاطه می شود و این شرایط باعث افزایش بار مثبت بر سطح جاذب می شود. در مطالعه آنها با توجه به ماهیت آنیونی مواد جاذب، در این شرایط جاذبه الکترواستاتیکی میان جاذب شونده و آلاینده افزایش یافت و راندمان حذف افزایش پیدا کرد، این پدیده در مورد جاذب مورد استفاده در این مطالعه نیز حاکم بود (۲۶). در مطالعه Ahmad و همکاران (۲۰۰۵) که بر روی حذف روغن باقی مانده در پساب با استفاده از جاذب های طبیعی کیتوزان، بنتونیت و کربن فعال انجام گرفت، جذب روغن باقی مانده بر روی بنتونیت و کربن فعال در شرایط اسید قابل توجه بود. pH محلول ها بر سطح بار این جاذب ها تأثیر گذاشت و درجه یونیزاسیون آنها باعث عملکرد بهتر آنها به عنوان یک جاذب نفت شد.

در مطالعه حاضر اثر تغییر زمان تماس بر فرآیند جذب نفت توسط ماده جاذب بیانگر آن بود که با افزایش زمان تماس پسماند پشم سنگ با پساب ساختگی حاوی نفت، راندمان جذب افزایش یافت. بیشترین میزان جذب نفت توسط پسماند پشم سنگ در زمان ۱۵ min با اختلاف معنی داری نسبت به سایر زمان ها مشاهده شد (میزان ۷۶/۰۱ درصد) و کمترین میزان جذب در زمان ۳ min با اختلاف معنی داری مشاهده شد (میزان ۶۳/۸۲ درصد). در مطالعه Sayyahzadeh و همکاران (۲۰۱۵) که بر روی حذف هیدروکربن های نفتی از پساب پالایشگاه نفت با استفاده از جاذب های طبیعی مانند پوست بادام و گردو انجام گرفت، با افزایش زمان تا ۳۰ min، میزان جذب افزایش یافت، اما با افزایش زمان بیشتر، جذب به صورت ثابت درآمد (۳۳). در مطالعه Salehi و همکاران (۲۰۱۴) در این راستا، با افزایش زمان تماس، میزان جذب سیر صعودی داشت؛ چراکه مکان های فعال زیاد و خالی در سطح جاذب، با گذشت زمان اشغال شد (۲۷). در مطالعه Razavi و همکاران (۲۰۱۴) که پیرامون کاربرد پوست برنج خام در حذف نفت خام از محیط های آبی انجام شد، نیز با افزایش زمان تماس، درصد جذب نفت خام توسط پوسته برنج

افزایش پیدا کرد و سپس ثابت شد (۳۴). در مطالعه Hosseini و همکاران (۲۰۱۷) که بر روی حذف هیدروکربن از لجن مخازن گازوئیل با استفاده از ژئولیت منطقه سمنان صورت گرفت، افزایش زمان، به علت افزایش تعداد برخورد آلاینده و جاذب، سبب بالا بردن درصد جذب شد (۳۶).

در مطالعه حاضر اثر تغییر مقدار ماده جاذب بر فرآیند جذب نفت از پساب بیانگر آن بود که با افزایش مقدار جاذب، درصد جذب نفت توسط ماده جاذب افزایش پیدا کرد و اما در مقادیر بالاتری از ماده جاذب، تغییری در درصد جذب رخ نداد. بیشترین میزان جذب توسط پسماند پشم سنگ در مقدار ۵/۰ g/L جاذب اتفاق افتاد (۷۶/۸۰ درصد) که با افزایش میزان جاذب، تغییر معنی داری در درصد جذب رخ نداد و کمترین میزان جذب با اختلاف معنی داری نسبت به سایر مقادیر در ۲۵/۰ g/L مشاهده شد (میزان ۶۷/۷۸ درصد). در مطالعه Banat و همکاران (۲۰۰۰)، با افزایش مقدار جاذب، میزان جذب در نتیجه افزایش مساحت سطحی فعال و مؤثر در جذب افزایش پیدا کرد، اما در نهایت، افزودن مقادیر بیشتر جاذب تأثیری در افزایش جذب نداشت. در حقیقت تعادلی بین جاذب و ماده جذب شونده در محلول رخ داد و بعد از آن جذب صورت نگرفت. در ابتدا با افزایش میزان جاذب، مکان های جذب بیشتری در غلظت های همانند در اختیار جذب شونده قرار گرفت و درصد جذب را افزایش داد (۲۵)، اما وقتی ظرفیت جاذب قادر به انباشت فقط میزان خاصی از آلاینده مورد نظر بود و اشباع شد، افزودن بیشتر مقدار جاذب تأثیری بر افزایش درصد جذب نداشت. در مطالعه Hussein و همکاران (۲۰۰۹)، هرچند افزایش دوز جاذب باعث افزایش راندمان حذف آلاینده (فنل) شد، اما به دلیل غیر اشباع ماندن برخی نقاط فعال موجود در سطح جاذب، میزان جذب در واحد جرم جاذب کاهش یافت (۳۰). در مطالعه Razavi و همکاران (۲۰۱۴) که بر کاربرد پوسته برنج خام در حذف نفت خام از محیط های آبی انجام گرفت نیز با افزایش مقدار جاذب از ۱ تا ۱۰ g/L، درصد جذب تا حد اشباع نیز افزایش پیدا کرد (۳۴). در مطالعه دیگر Razavi و همکاران (۲۰۱۳) که بر روی کاربرد

برنج در حذف روغن موتور از محیط‌های آبی انجام گرفت، در مورد روغن موتور بهران، درصد جذب برای جاذب خام در ابتدا با افزایش غلظت اولیه روغن از ۷ تا ۱ g/L افزایش یافت (۸۰ درصد) و سپس برای غلظت ۱۰۰ g/L روغن کاهش پیدا کرد (۷/۵ درصد).

در آخر پس از مقایسه ضرایب تبیین هم دماهای خطی در جذب سطحی نفت با یکدیگر، مدل لانگمویر با R^2 بالا برای جذب توسط پسماند پشم سنگ انتخاب شد. ضریب KL در جاذب ۰/۳ بود و ضریب b در جاذب پسماند پشم سنگ برابر ۱۳/۳۱ تعیین شد و ضریب RL میزان ۰/۰۹ تعیین شد. در مطالعه Sayyazadeh و همکاران (۲۰۱۵) که بر روی حذف هیدروکربن‌های نفتی از پساب پالایشگاه نفت با استفاده از جاذب‌های طبیعی مانند پوست بادام و گردو صورت گرفت، بیشینه ظرفیت جذب سطحی تک لایه‌ای کربن فعال پوست بادام و پوست گردو به ترتیب در حدود ۸۳ و ۵۹ mg/g برآورد شد (۳۳). در مطالعه Razavi و همکاران (۲۰۱۴) که بر روی کاربرد پوسته برنج خام در حذف نفت خام از محیط‌های آبی انجام گرفت نیز جذب نفت خام بر روی پوسته برنج با مدل فروندلیچ برازش بهتری داشت و بیشترین جذب نفت خام در محیط آبی توسط پوسته برنج خام در شرایط بهینه حدود ۵۵ درصد تعیین شد.

نتیجه‌گیری: در مطالعه حاضر با افزایش زمان تماس، راندمان جذب افزایش یافت. جذب گازوئیل توسط جاذب پسماند پشم سنگ در بازه زمانی ۱۵ min بیشترین مقدار بود. همچنین با کاهش pH، میزان جذب برای نفت افزایش یافت. در بررسی اثر تغییر غلظت اولیه گازوئیل، افزایش غلظت اولیه نفت در پساب، سبب افزایش میزان جذب شد. همچنین در رابطه با میزان جاذب با افزایش میزان جاذب، میزان جذب افزایش یافت. با استفاده از رسم هم‌دماهای جذب مشخص شد که جذب نفت با استفاده از پسماند پشم سنگ از مدل لانگمویر پیروی کرد. در نهایت مشخص شد که پسماند پشم سنگ کارایی بالایی در جذب نفت از پساب دارد و می‌تواند در تصفیه فاضلاب‌های صنعتی مورد استفاده قرار گیرد.

پوست برنج در حذف روغن موتور از محیط‌های آبی انجام گرفت، با افزایش مقدار جاذب خام از مقادیر ۰/۱ تا ۱ g (غلظت روغن بهران ۷ g/L)، درصد جذب روغن بهران افزایش یافت، اما افزودن بیشتر مقدار جاذب، تأثیری در افزایش درصد جذب نداشت و جذب ثابت ماند (۳۵).

در مطالعه حاضر با افزایش حجم نفت در پساب از ۱۵۰ به ۴۵۰ mL، راندمان جذب پسماند پشم سنگ شروع به افزایش یافتن کرد؛ به‌طوری‌که بیشترین درصد جذب در غلظت ۴۵۰ mL برای پسماند پشم سنگ با اختلاف معنی‌دار به میزان ۷۱/۲۰ درصد تعیین شد و کمترین میزان جذب در مقدار ۱۵۰ mL نفت به میزان ۵۸/۹۸ درصد اتفاق افتاد. در مطالعه Sayyazadeh و همکاران (۲۰۱۵) که بر روی حذف هیدروکربن‌های نفتی از پساب پالایشگاه نفت با استفاده از جاذب‌های طبیعی مانند پوست بادام و گردو صورت گرفت، با افزایش غلظت جاذب از ۰/۲ تا ۱ g/L، راندمان حذف با نرخ ثابت و قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت، اما با بیشتر شدن غلظت جاذب از ۱ تا ۵ g/L، اندازه این نرخ به تدریج کاسته شد (۳۳). در مطالعه Razavi و همکاران (۲۰۱۴)، درصد جذب نفت خام توسط پوسته برنج خام در ابتدا با افزایش غلظت اولیه نفت از ۱ تا ۷ g/L افزایش یافت (۴۵-۲۵ درصد) و سپس ثابت شد (حدود ۵۱ درصد). با افزایش غلظت اولیه ترکیب نفتی، جذب افزایش و پس از رسیدن به یک غلظت مشخص، تغییری در جذب مشاهده نشد و جذب ثابت ماند. ثابت ماندن روند جذب پس از رسیدن به بیشترین جذب به این دلیل بود که برای هر جاذب، ظرفیت مشخصی برای جذب وجود داشت (۳۴). هرچند با افزایش غلظت اولیه ترکیب‌های نفتی از یک سو، دسترسی جاذب برای جذب آب کاهش یافت (۳۱). از سوی دیگر مولکول‌های بیشتری از ترکیب نفتی در اختیار جاذب قرار گرفت و مکان‌های جذب به سرعت توسط جذب شونده اشغال شد (۳۲)، اما به محض سیر شدن جاذب، افزودن غلظت بیشتر ترکیب نفتی تأثیری بر جذب نداشت. همچنین به دلیل ثابت بودن مقدار جاذب با وجود افزایش غلظت اولیه ترکیب‌های نفتی، درصد جذب ثابت ماند (۳). در مطالعه دیگر Razavi و همکاران (۲۰۱۳) که بر روی کاربرد پوسته

Reference:

1. Taghvaii pour A. Water Analysis; first ed Arak University Press. 2016. (Persian)
2. Dehghani F, Rahnamaii R, Melkotti M J, Saadat S. Investigating the ratio of calcium to magnesium ratio in some irrigation water in the country. Journal of Water Research in Agriculture. 2015;1:13-1. (in Persian)
3. Durand JP, Béboulène JJ, Ducrozet A. Detailed characterization of petroleum products with capillary analyzers. Analisis. 1995;23:481-483.
4. Chen L, Si Y, Zhu H, Jiang T, Guo Z. A study on the fabrication of porous PVDF membranes by in-situ elimination and their applications in separating oil/ water mixtures and nano-emulsions. Journal of Membrane Science. 2016;520:760-800.
5. Fox C, O'Hara P, Bertazzon S, Morgan K, Underwood F, Paquet P. A preliminary spatial assessment of risk: Marine birds and chronic oil pollution on Canada's Pacific coast. Science of The Total Environment. 2016;573:799-809.
6. Lee M, Jung J-Y. Pollution risk assessment of oil spill accidents in Garorim Bay of Korea. Marine Pollution Bulletin. 2015;100(1):297-303.
7. Bicego M.C, Taniguchi S, Yogui GT, Montone RC, Da Silva DAM, Lourenco RA, De Castro Martins C, Sasaki, ST, Pellizari VH, Webe RR. Assessment of contamination by polychlorinated biphenyls and aliphatic and aromatic hydrocarbons in sediments of the Santos and Sao Vicente Estuary System, Sao Paulo, Brazil. J. of Marine Pollution Bulletin; 2006;52(12):1804-1816.
8. Yuan M, Tong S, Zhao S. and Jia CQ. Adsorption of polycyclic aromatic hydrocarbons from water using petroleum coke-derived porous carbon", Journal of Hazardous Materials. 2011;181(1-3):1115-1120.
9. Bande RM, Prasad B, Mishra I, Wasewar KL. Oil field effluent water treatment for safe disposal by electroflotation. Chemical Engineering Journal. 2008;137(3):503-9.
10. Tir M, Moulai-Mostefa N. Optimization of oil removal from oily wastewater by electrocoagulation using response surface method. Journal of hazardous materials. 2008;158(1):107-15.
11. IRAC. Man-Made Fiber and Radon. IRAC Monograph on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. 1988. Vol. 43. Lyon: IRAC.
12. Graw-Hill, McGraw-hill. Encyclopedia of Science and technology. Asbestos. Mc, Inc., U.S.A. 1989; 91-93.
13. Luoto Kirsi, Holopainen Mikko, Kangas, Juhani, Pentti, Savolainen, Kai. Dissolution of Short and Long Rockwool and Glasswool Fibers by Macropores in flowthrough Cell Culture. Environmental Research. 1998;78:25-37.
14. Kamstrup J, Davis JM, Ellehaug A, Guldborg. The Biopersistence and Pathogenicity of Man-Made Vitreous Fiber after Short and long Term Inhalation. Ann. Occup. Hyg. Vol. 1998;42(3):191-198.
15. ISO 9229, "Thermal insulation-Vocabulary", 2007.
16. Perezcandela M, Martinmartinez JM. Torregrosamacia R. Chromium (VI) removal with activated carbons. water research. 1995;29: 2174-2180.
17. Mortazavi B, Rasoul L, Kazemian H. Chromat removal from aqueous solutions by cationic surfactant modified zeolite. Journal of Health and Environment, Volume III. 2010;46-37. (Persian)
18. Kumar S, Nair RR, Pillai PB, Gupta SN, Iyengar M, Sood AK. Graphene Oxide-MnFe₂O₄ Magnetic Nanohybrids for Efficient Removal of Lead and Arsenic from Water. ACS Appl Mater Interfaces. 2014;6(20):17426-36.
19. Anbia, M. and Moradi, S.E. "Adsorption of naphthalenederived compounds from water by chemically oxidized nanoporous carbon", Chemical Engineering Journal. 2009;148(2-3):452-458.
20. Aklil A, Mouflihb M, Sebt S. Removal of heavy metal ions from water by using calcined pHosphate as a new adsorbent, Journal of Hazardous Materials. 2004:183-190.
21. Hall K, Eagleton R, Acrivos L, Vermeulen A. Pore and solid diffusion kinetics for fixed-bed adsorption under Constant- Pattern Condition, Industrial & Eng. chem. Fundamental. 1996;5:212-223.
22. Roop Ch. B, Goyal M. Activated Carbon Adsorption, CRC Press. 2005; 497.
23. Ibrahim S, Wang S, Ang HM. Removal of Emulsified Oil from Oily Wastewater Using Agricultural Waste Barley Straw, Biochem. Eng. J. 2010;49(1):78-83.
24. Ong ST, Lee CK, Zainal Z. Removal of basic and reactive dyes using ethylenediamine modified rice hull. Bioresource Technol. 2007; 5:2792-9.
25. Banat FA, Al-Bashir B, Al-Asheh S, Hayalneh O. Adsorption of p-Henol by bentonite. Environ Pollut. 2000;107:391-398.
26. Varghese S, Vinod VP. Kinetic and equilibrium characterization of p-Henols adsorption onto a novel activated carbon in water treatment. Indian J Chem Technol. 2004;11:825-833.
27. Salehi Rad A, Haghighat Kish M, Hosseini Verkhani, M. Application of polyester hollow fiber polyethylene (polyethylene terephthalate). Petroleum Research. 2014 23(76):64-57. (Persian)
28. Chowdhury A K, Sarkar AD, Bandyopadhyay A. Rice Husk Ash as a Low Cost Adsorbent for the Removal of Methylene Blue and Congo Red in Aqueous Phases, Clean-Soil, Air, Water. 2009;37(7):581-591.
29. Haussard M, Gaballah I, Kanari N, De Donato P, Barres O, Villieras F. Separation of Hydrocarbons and Lipid from Water Using Treated Bark, Water Res. 2003;37(2):362-374.
30. Hussein M, Amer A, El-Maghraby A, Taha N. Availability of Barley Straw Application on Oil Spill Clean up, Int. J.

- Environ. Sci. Technol. 2009;6(1):123-130.
31. Liew K, Yee A, Nordin M. Adsorption of Carotene from Palm Oil by Acid-Treated Rice Hull Ash, J. Am. Oil Chem. Soc. 1993;70(5):539-541.
 32. Lim TT, Huang X. Evaluation of Kapok (Ceiba pentandra (L.) Gaertn.) as a Natural Hollow Hydrophobic-Oleophilic Fibrous Sorbent for Oil Spill Cleanup, Chemosphere. 2007;66(5):955-963.
 33. Sayyahzadeh A H, Ganji Dost H, Ayati B. The removal of hydrocarbons from petroleum refinery effluent using natural adsorbents. Sharif Civil Engineering Magazine. 2015;2(2-3):41-4. (Persian)
 34. Razavi Z., Mirghfari N. Application of crude rice crust in the removal of crude from aqueous media. Journal of Chemistry and Chemical Engineering of Iran. 2014; 35(1):13-23. (Persian)
 35. Razavi Z, Mirghfari N and Rezaei B. The application of rice husk in the removal of engine oil from aquatic environments, the 6th National Conference and the First International Management Conference on Waste Management, Mashhad, the Organization of Municipalities and Demand of the country. 2013. (Persian)
 36. Majid Hosseini Z B, Shenavaei Zare T, Saleh Abadi Kh. Hydrocarbon removal from sludge in gasoline tanks using the Zeolite region of SEMnan. Oil Research. 2017;88:122-112. (Persian)
 37. Adebajo M.O, Frost R L, Klopogge JT, Carmody O, Kokot S. Porous materials for oil spill cleanup: A review of synthesis and absorbing properties. J. of Porous Materials. 2003;10:159-170.
 38. Fernández-Calviño D, Rodríguez-Salgado I, Pérez-Rodríguez P, Nóvoa-Muñoz JC, Arias-Estévez M. Time evolution of the general characteristics and Cu retention capacity in an acid soil amended with a bentonite winery waste. Journal of Environmental Management. 2015;150:435-443.
 39. Papadopoulos AM. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. Energ Build. 2005;37:77-86.
 40. Müller A, Leydolph B, Stanelle K. Recycling mineral wool waste—Technologies for the conversion of the fiber structure, Part 1. Interceram. 2009;58:378-381
 41. Dunster AM. Industrial sector study on the utilization of alternative materials in the manufacture of mineral wool insulation. http://www.smartwaste.co.uk/filelibrary/Mineralwool_sectorstudy.pdf Accessed: 23 January 2012.