

## Investigation of Removal Feasibility of Diesel from Synthetic Wastewater Using Straw

### Mohammad Hadi abolhasani

\* Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Agricultural Engineering and Natural Resources, Research Institute of Waste and Waste of Islamic Azad University of Isfahan (Khorasgan), Isfahan, Iran. (Coressponding Author): Email: Hadi.mha2001@yahoo.com

### Niloofer pirestani

Young Researchers Club, Science and Research Branch, Department of Environmental Science, Islamic Azad University, Isfahan(Khorasgan) Branch, Isfahan, Iran.

### Parinaz Ahmadi

BSc Student, Department of Environmental Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Isfahan Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

Received: 2019/01/13

Accepted: 2019/07/21

**Document Type:** Research article

### ABSTRACT

**Background and Aim:** Petroleum products such as crude oil, diesel and gasoline are the most commonly used in the world, which is the major pollutants of water. About 10 million tons of oil are used annually in the world. Therefore, the development of new technologies for the elimination and purification of oil pollution is essential. There are several methods for cleaning up oil pollution and its derivatives. In this research, straw adsorbent as an organic one was used to remove diesel oil from wastewater.

**Materials and methods:** The straw characterization was firstly determined using the FT-IR analysis. Then the adsorption experiments were performed discontinuously using diesel oil laboratory's solutions. Optimum adsorption conditions were obtained by changing the factors affecting adsorption including pH, initial concentration of contaminant, contact time and adsorbent amount on adsorption at different levels. The oil adsorption was determined by weighting method.

**Results:** The highest adsorbent efficiency was observed in 15 minutes, which did not have any significant differences with other contact times (49.85% absorbance,  $P < 0.05$ ), and the lowest value was observed without any significant differences in 3 minutes (37.19% absorption). The highest rate of adsorption was observed at pH =5, which had a significant difference with other pHs (87.89% adsorption,  $P < 0.05$ ) and the lowest percentage of adsorption was observed at pH = 9, which had no significant difference with other pHs (39.04% absorption;  $P < 0.05$ ). In the efficiency of the process in adsorbent dosage of 2 g/L was significantly higher than other amounts of adsorbent (51.48% absorption,  $P < 0.05$ ), and the lowest percentage of adsorption was significantly different from other values in 0.25 g/L (38.30%,  $P < 0.05$ ). Also, according to the isotherm studies, the adsorption of diesel oil by straw adsorbent was fitted with both Freundlich and Langmuir models with  $R^2$  of 0.99 and 0.96 respectively.

**Conclusion:** Therefore, it can be concluded that the straw adsorbent, has a high efficiency in adsorption of diesel from wastewater and can be used in the treatment of industrial wastewater.

**Keywords:** Diesel, Wastewater, Organic absorber, Straw

► **Citation:** Abolhasani MH, Pirestani N, Ahmadi P. Investigation of Removal Feasibility of Diesel from Synthetic Wastewater Using Straw. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Fall 2019;5 (3): 249-262.

## بررسی کارایی جاذب آلی کاه و کلش در جذب گازوئیل از پساب ساختمانی

محمدهادی ابوالحسنی

\* استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، پژوهشکده پسماند و پساب دانشگاه آزاد اسلامی خوراسگان، اصفهان، ایران. (نویسنده مسئول): ایمیل: Hadi.mha2001@yahoo.com

نیلوفر پیرستانی

دانشجوی دکتری گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان، اصفهان، ایران.

پریناز احمدی

دانشجوی کارشناسی گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۳۰

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

### چکیده

زمینه و هدف: مواد نفتی از قبیل نفت خام، گازوئیل و بنزین به عنوان بیشترین مورد مصرفی در دنیا، عمده ترین آلوده کننده های آب ها هستند. سالیانه حدود ۱۰ میلیون تن مواد نفتی در دنیا به بیرون ریخته می شود. استفاده از روش های بهینه و کارآمد برای تصفیه پساب های حاوی فرآورده های نفت (همچون گازوئیل) کاملاً ضروری می باشد. روش های مختلفی برای پاک سازی آلودگی های نفتی و مشتقات آن وجود دارد. مطالعه حاضر با هدف بررسی جاذب کاه و کلش به عنوان جاذب آلی برای حذف آلودگی نفتی از پساب انجام شد.

مواد و روش ها: در ابتدا با استفاده از آنالیز (طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز) FT-IR ترکیب شیمیایی کاه و کلش تعیین شد. سپس آزمایشات جذب به صورت ناپیوسته با استفاده از محلول های آزمایشگاهی حاوی گازوئیل 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 میزان جذب گازوئیل به روش وزنی تعیین شد.

یافته ها: بیشترین کارایی جاذب، برای جذب گازوئیل با استفاده از جاذب کاه و کلش در زمان ۱۵ دقیقه مشاهده شد که اختلاف معنی داری با دیگر زمان های تماس نداشت (میزان ۴۹/۸۵٪ جذب؛  $p < 0.05$ ) و کمترین مقدار آن بدون اختلاف معنی دار در ۳ دقیقه مشاهده شد (میزان ۳۷/۱۹٪ جذب). بیشترین میزان جذب کاه و کلش در pH=۵ مشاهده شد که با دیگر pHها اختلاف معنی داری داشت (میزان ۸۷/۸۹٪ جذب؛  $p < 0.05$ ) و کمترین درصد جذب در pH=۹ مشاهده شد که اختلاف معنی داری با سایر pHها نداشت (میزان ۳۹/۰۴٪ جذب؛  $p < 0.05$ ). کارایی مقادیر جاذب کاه و کلش در ۲ گرم در لیتر با اختلاف معنی داری بیشتر از دیگر مقادیر جاذب ها بود (میزان ۵۱/۴۸٪ جذب؛  $p < 0.05$ ) و کمترین درصد جذب با اختلاف معنی داری نسبت به سایر مقادیر در ۰/۲۵ گرم در لیتر مشاهده شد (میزان ۲۸/۳۰٪ جذب؛  $p < 0.05$ ). برآزش هم دماهای جذب سطحی نشان داد که جذب گازوئیل توسط کاه و کلش با هر دو مدل فروندویج و لانگمویر به علت داشتن  $R^2$  بالا مطابقت داشت ( $R^2 = 0.99$ ،  $R^2 = 0.96$ ).

نتیجه گیری: جاذب کاه و کلش کارایی بالایی در جذب گازوئیل از پساب دارند و می توانند در تصفیه فاضلاب های صنعتی مورد استفاده قرار گیرند.

کلید واژه ها: پساب، جاذب آلی، کاه و کلش، گازوئیل

◀ استناد: ابوالحسنی م، پیرستانی ن، احمدی پ. بررسی کارایی جاذب آلی کاه و کلش در جذب گازوئیل از پساب ساختمانی. فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط. تابستان ۱۳۹۸؛ ۵(۳): ۲۴۹-۲۶۲.

## مقدمه

آب، فراوان‌ترین ماده در طبیعت است و به حالت جامد، مایع و گاز وجود دارد. سلول‌های 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 می‌شوند. آب سرمایه ملی هر کشوری می‌باشد که در آینده‌ای نه‌چندان دور ارزشی برابر نفت خواهد داشت. در سطح دنیا و همچنین در ایران، رقابت برای استفاده از آب در مصارف شهری، صنعتی، محیط‌زیست و کاربردهای تفریحی افزایش یافته است. وضعیت کنونی منابع در سطح جهان نامساعد و بحرانی است و لزوم حفظ و حراست از آن‌ها برای نسل‌های آینده انکارناپذیر است (۱، ۲).

مواد نفتی از قبیل نفت خام، گازوئیل و بنزین به‌عنوان بیشترین مورد مصرفی در دنیا، عمده‌ترین آلوده‌کننده‌های آب‌ها هستند. سالیانه حدود ۱۰ میلیون تن مواد نفتی در دنیا به بیرون ریخته می‌شود (۳). مواد نفتی موجود در پساب‌ها به روش‌های طبیعی از قبیل تبخیر شدن از سطح آب، حل و پراکنده شدن درون آب، تجزیه شدن به‌وسیله اشعه تابشی خورشید، تجزیه شدن به‌وسیله باکتری‌های موجود در آب، جذب شدن روی مواد جامد موجود در آب و غیره از آب جدا می‌شوند (۳)، اما متأسفانه مقدار آلودگی‌ها به حدی زیاد است که روش‌های طبیعی پاسخگویی تصفیه آب‌ها از مواد نفتی نیستند. علاوه بر این محققان متوجه شدند که در تجزیه مواد نفتی به وسیله طبیعت، مواد نفتی کم‌خطر به مواد نفتی خطرناک‌تری نظیر آروماتیک‌ها، آلفاتیک‌ها، بنزن‌ها، اسیدهای نفتالنی، الکل‌ها، فنول و آلفاتیک کتون‌ها تبدیل می‌شوند (۴). امروزه برای حل این مشکل از روش‌های مصنوعی نظیر روش میکروبی (۵)، روش اکسیداسیون به‌وسیله اشعه‌های پارانرژی مافوق بنفش<sup>۱</sup> و مایکروویو<sup>۲</sup> (۶، ۷)، تجزیه حرارتی (۸) و روش جذب (۹) برای حذف آلودگی‌ها استفاده می‌شود.

اکثر فرآیندهای رایج به‌دلیل کارایی محدود و اثربخشی کم، ایجاد لجن زیاد، نیاز به افزودن مواد شیمیایی، پرهزینه بودن، نیاز به پیش‌تصفیه و راهبری مشکل، به‌عنوان یک روش تصفیه کارآمد برای جداسازی آب از گازوئیل در نظر گرفته نمی‌شوند (۱۰، ۱۱). متداول‌ترین روش‌ها برای تصفیه گازوئیل از آب شامل: روش‌های بیولوژیکی، شیمیایی مانند انعقاد، اکسیداسیون شیمیایی و فرآیندهای غشایی هستند، اما در فاضلاب فرآورده‌های نفتی، ترکیبات سخت و مقاومی وجود دارد که توسط فرآیندهای بیولوژیکی به‌طور مؤثر حذف نمی‌شوند (۱۲). مقدار مواد شیمیایی مورد نیاز فرآیندهای شیمیایی نیز بسیار زیاد بوده و این فرآیندها با تولید لجن همراه است (۱۳). استفاده از سیستم‌های غشایی نیز برای فاضلاب‌هایی با حجم بالا نامناسب است (۱۴)، لذا اگر جاذب مورد استفاده ارزان و به‌سهولت در دسترس باشد، فرآیند جذب سطحی، روشی مناسب برای تصفیه پیشرفته فاضلاب‌های نفتی می‌باشد (۱۵). برای تولید جاذب‌های ارزان‌قیمت با استفاده از مواد ارزان و در دسترس، تلاش‌های زیادی صورت گرفته است (۱۶، ۱۷). مواد جاذب آلاینده‌های نفتی به سه دسته کلی جاذب‌های آلی طبیعی (گیاهی)، جاذب‌های معدنی و جاذب‌های آلی سنتزی تقسیم می‌شوند (۱۸). از جاذب‌های آلی گیاهی می‌توان باگاس نیشکر، کاه، چوب ذرت، پوسته بادام‌زمینی، فیبر چوب و تورب ساخته شده از خزه پوسیده را نام برد (۱۹). کاه و کلش گندم، فراوان‌تر از سایر پسماندهای غلات می‌باشند. بورانوآ و همکاران گزارش کردند که تولید جهانی کاه و کلش گندم تقریباً حدود ۵۲۹ میلیون تن در سال می‌باشد که به‌طور عمده در آسیا (۴۳٪)، اروپا (۳۲٪) و آمریکای شمالی (۱۵٪) تولید می‌شود. کاه و کلش گندم به‌علت قابلیت تجدیدپذیری سالانه و فراوانی بالا، ماده اولیه مناسبی برای استفاده به‌عنوان جاذب می‌باشد (۱۹).

در مطالعات دیگر برای حذف فرآورده‌های نفتی از جاذب‌های طبیعی استفاده شد. به‌عنوان مثال در مطالعه بانات و همکاران، عملکرد جاذب‌های طبیعی باگاس، پوسته برنج، جاذب‌های سنتزی

1. UV  
2. MV

طیف‌سنجی فلورسانس (XRF) <sup>۲</sup> ساخت کمپانی فیلیپس مدل PW1480 استفاده شد.

### آزمایش جذب آب و گازوئیل به‌طور جداگانه

مقدار ۲۰۰ میلی‌لیتر از نمونه داخل یک بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و مقدار توزین شده‌ای از جاذب (۵/۰ گرم از جاذب) به آن افزوده شد و پس از زمان ۵ دقیقه، جاذب از نمونه جدا و سپس وزن شد. اختلاف وزن جاذب قبل و بعد از جذب برابر با میزان جذب نمونه شد.

### آزمایش جذب گازوئیل از روی آب

در این مطالعه تجربی از پساب ساختگی استفاده شد. جهت تهیه پساب ساختگی، ۱۰۰ میلی‌لیتر گازوئیل به حجم یک لیتر (با آب مقطر) رسیده شد. سپس به‌منظور مخلوط شدن آب و گازوئیل، به مدت ۳۰ دقیقه توسط دستگاه شیکر تکان داده شد.

### تأثیر پارامترهای مختلف بر فرآیند جذب

برای دستیابی به بیشترین میزان جذب، تأثیر عامل‌های گوناگون مؤثر بر جذب بررسی و میزان جذب محاسبه شد؛ بدین‌منظور ترکیب گازوئیل و جاذب به نسبت ۱ به ۱ در یک ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد و بقیه آن آب مقطر افزوده شد، جاذب به‌همراه جذب شونده پس از هم زدن با سرعت ۱۵۰ دور بر دقیقه از کاغذ صافی عبور داده شد و در آن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴۰-۵۰ درجه سلسیوس قرار داده شد تا آب آن تبخیر شود و سرانجام میزان روغن جذب شده از روش وزنی بر اساس معادله (۱) به‌دست آمد (۲۲).

(۱)

$$\text{درصد جذب} = \frac{100 \times (\text{وزن جاذب اولیه (گرم)} - \text{وزن کل نمونه خشک شده جاذب و گازوئیل (گرم)})}{\text{میزان اولیه گازوئیل (گرم)}}$$

از جمله فاکتورهایی که اثر آنها بر روی جذب گازوئیل بررسی شد، pH، مقدار جاذب، زمان تماس و مقدار غلظت آلاینده بود که اثر آنها مقادیر متغیرهای مختلف برای pH (۳، ۵، ۷ و ۹)، برای مقدار جاذب کاه و کلش (۲۵/۰، ۵/۰، ۱، ۱/۵، ۲

پلی پروپیلن بی‌بافت و گرافیت ورقه ورقه شده برای جذب نفت گاز و نفت خام از محیط آبی بررسی شد (۳۱).

از این رو، مطالعه حاضر با هدف بررسی جذب گازوئیل از آب، با در نظر گرفتن تأثیر فاکتورهای مختلف نظیر زمان تماس، pH اولیه، غلظت آلاینده در پساب و مقدار جاذب بر روی میزان جذب توسط جاذب کاه و کلش انجام شد.

### روش کار

در این مطالعه تأثیر فاکتورهای مختلف زمان تماس، pH اولیه، غلظت آلاینده گازوئیل در پساب و مقدار جاذب، بر روی میزان جذب توسط جاذب کاه و کلش مطالعه شد. همچنین به‌منظور آنالیز معادله جذب از مدل‌های جذب لانگمویر و فروندلیچ استفاده 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.

### آماده‌سازی جاذب‌ها

نمونه جاذب کاه و کلش به‌دست آمده از گندم به‌عنوان جاذب آلی از گلخانه تهیه شد. نمونه‌های جاذب بعد از تهیه با آب مقطر چندین بار به‌منظور حذف گردوغبار به‌خوبی شسته شد و در دستگاه آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۴ ساعت خشک شد و سپس با استفاده از دستگاه مولینکس خرد و با الک کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر دانه‌بندی شد (۲۰).

### شناسایی ویژگی جاذب

برای تعیین طیف جذبی و تعیین انواع گروه‌های عاملی کاه و کلش، پرتوسنجی فرورسرخ با تبدیل فوریه با دستگاه مدل Bruker Equinox 5 گرفته شد. در حقیقت پرتوی طیف‌سنج مادون قرمز (FT-IR) <sup>۱</sup> جاذب، اطلاعاتی در مورد ساختار شیمیایی و گروه‌های عاملی سطحی جاذب (قطبی یا غیرقطبی) ارائه می‌دهد (۲۱).

جهت تعیین ترکیب شیمیایی نمونه مورد آزمایش از دستگاه

2. X-Ray Diffraction

1. Fourier-transform infrared spectroscopy

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} (\log C_e) \quad \text{رابطه (۳)}$$

با رسم نمودار  $\log q_e$  (بر روی محور  $Y$ ) نسبت به مقادیر  $\log C_e$  (بر روی محور  $X$ ) خط راستی حاصل می‌شود که دارای شیب  $1/n$  و عرض از مبدأ  $\log K_f$  است. مدل لانگمویر برای جذب فیزیکی و تک‌لایه‌ای کاربرد دارد (۲۵).

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

$C_e =$  غلظت تعادلی (میلی گرم بر لیتر)

$q_e =$  مقدار ماده جذب شده (میلی گرم بر گرم)

$q_{\max} =$  بیشترین مقدار ظرفیت جذب که مطابق با پوشش

تک‌لایه کامل سطح جاذب است (میلی گرم بر گرم).

$K_L =$  ثابت لانگمویر یا ثابت تعادلی (لیتر بر میلی گرم) 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

می‌شود که دارای شیب  $1/n$  و عرض از مبدأ  $K/q_{\max}$  است (۲۶).

### روش تجزیه و تحلیل اطلاعات

داده‌ها پس از گردآوری با استفاده از نرم‌افزارهای اکسل و SAS،

ورژن ۹/۴ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای رسم نمودارهای

تأثیر pH، دما، مقدار جاذب، غلظت و زمان تماس بر جذب

گازوئیل از پساب ساختگی از نرم‌افزار اکسل و جهت پردازش

داده‌های حاصل از نرم‌افزار SAS استفاده شد. همچنین مقایسه

میانگین بین پارامترها توسط آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵٪ انجام

گرفت.

### یافته‌ها

#### آنالیز FT-IR و XRF

نتایج به‌دست آمده از آنالیز پرتوی FT-IR نمونه‌ها در نمودار

۱ قابل مشاهده است. در پرتوی FT-IR کاه و کلش گروه‌های

گرم در لیتر)، برای زمان تماس (بازه‌های زمانی ۳، ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه) و برای مقدار آلاینده گازوئیل (حجم‌های ۱۵۰، ۲۵۰، ۳۵۰ و ۴۵۰ میلی‌لیتر) بود و مقادیر پارامترهای ثابت در اندازه‌گیری متغیر pH (مقدار ۰/۵ گرم جاذب کاه و کلش، زمان ۵ دقیقه و پساب ساختگی (۲۵۰ میلی‌لیتر گازوئیل به حجم یک لیتر))، برای اندازه‌گیری متغیر مقدار جاذب (pH=۵، زمان ۵ دقیقه و پساب ساختگی (۲۵۰ میلی‌لیتر گازوئیل به حجم یک لیتر))، در اندازه‌گیری متغیر زمان تماس (pH=۵، مقدار ۰/۵ گرم جاذب و پساب ساختگی (۲۵۰ میلی‌لیتر گازوئیل به حجم یک لیتر)) و در نهایت برای متغیر مقدار آلاینده (pH=۵، مقدار ۰/۵ گرم جاذب و زمان تماس ۵ دقیقه) بود.

### هم‌دماهای جذب تعادلی

معادله فروندلیچ، مدلی تجربی است که بر اساس جذب سطحی

فیزیکی بین عنصر جذب‌شونده و ماده جاذب بیان شده است. در

این مدل فرض بر این است که جذب به‌صورت چندلایه‌ای صورت

می‌پذیرد و با اضافه شدن مقدار ماده محلول جذب شده، انرژی

جذب سطحی به‌صورت نمایی کاهش می‌یابد؛ به عبارتی این مدل

برای جذب سطحی روی سطوح ناهمگن توأم با برهمکنش بین

مولکول‌های جذب سطحی شده به‌کار می‌رود و توسط رابطه (۲)

بیان می‌شود (۲۳).

$$q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$q_e =$  غلظت تعادلی جذب‌شونده بر روی جاذب (میلی گرم بر

گرم)

$K_f =$  ثابت فروندلیچ که نشان‌دهنده ظرفیت جذب جاذب است

$1/n$  (لیتر بر میلی گرم) (میلی گرم بر گرم)

### $n =$ شدت جذب سطحی

با افزایش  $K_f$ ، ظرفیت جذب جاذب برای جذب ماده جذب‌شونده

افزایش می‌یابد، همچنین مقدار  $n$  بین ۱-۱۰ نشان‌دهنده فرآیند

جذب مناسب است (۲۴).

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

به‌دست می‌آید:

بر اساس جدول ۲، بیشترین میزان جذب کاه و کلش در pH=۵ مشاهده شد (۸۷/۸۹٪) که با دیگر pHها اختلاف معنی داری داشت ( $p < 0.05$ ) و کمترین درصد جذب در pH=۳ مشاهده شد (۳۹/۰۴٪) که اختلاف معنی داری با pH=۵ داشت، اما با pHهای ۷ و ۹ اختلاف معنی داری نداشت ( $p > 0.05$ )

#### بررسی اثر دوز جاذب

نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین درصد جذب کاه در مقدارهای مختلف جاذب در جدول ۳ قابل مشاهده است.

بر اساس جدول ۳، بیشترین میزان جذب کاه و کلش در ۲ گرم در لیتر مشاهده شد (۵۱/۴۸٪،  $p < 0.05$ ) که این میزان با مقدار ۱/۵ گرم در لیتر اختلاف معنی داری نداشت، اما از دیگر مقدار جاذبها با اختلاف معنی داری بیشتر بود و کمترین درصد جذب با اختلافی معنی دار در ۰/۲۵ گرم مشاهده شد (به میزان ۳۸/۳۰٪،  $p < 0.05$ ).

#### بررسی اثر زمانهای تماس مختلف

نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین درصد جذب کاه در زمانهای مختلف در جدول ۴ قابل مشاهده است.

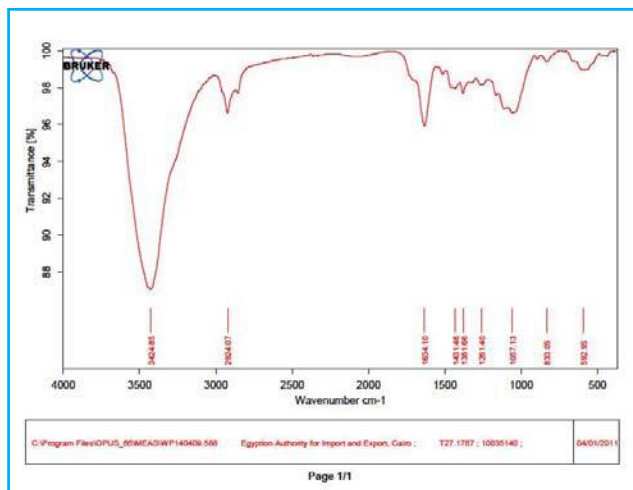
بر اساس جدول ۴، بیشترین میزان جذب کاه در ۱۵ دقیقه مشاهده شد (۴۹/۸۵٪) که اختلاف معنی داری با دیگر زمانهای تماس نداشت ( $p < 0.05$ ) و کمترین درصد در ۳ دقیقه مشاهده شد (۳۷/۱۶٪) که اختلاف معنی داری با سایر زمانها نداشت ( $p < 0.05$ ).

#### بررسی اثر حجمهای مختلف

نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین درصد جذب کاه در حجمهای مختلف در جدول ۵ قابل مشاهده است.

بر اساس جدول ۵، میزان جذب کاه و کلش در تمامی حجمها اختلاف معنی داری با دیگر غلظتها نداشت، با این حال بیشترین درصد جذب در حجم ۴۵۰ میلی لیتر (۴۳/۷۹٪) ( $p < 0.05$ ) و کمترین درصد جذب در حجم ۱۵۰ میلی لیتر (۳۵/۵۶٪) ( $p < 0.05$ ) بود.

عاملی مواد کربنی، سیلیس و آب جذب شده قابل دیدن است. در پرتو عبوری کاه بیشینه طول موج ۳۴۲۴ معکوس سانتی متر مربوط به پیوند اکسیژن و هیدروژن در مولکولهای آب یا O-H موجود در سلولز، همی سلولز و لیگنین است (۲۷). پیوند در طول موج ۱۶۳۴  $\text{cm}^{-1}$  ناشی از تغییر شکل ارتعاش مولکولهای آب و حضور C=C در ترکیبهای آلی است. پیوندها در بازه ۱۱۱۱  $\text{cm}^{-1}$  و ۵۹۲-۱۰۵۷/۱۳ مربوط به گروههای سیلیکون اکسیژن است (۲۸). به طور کلی نتایج آنالیز FT-IR نشان داد که بخش عمده ساختار کاه را ترکیبهای آلی تشکیل می دهد (ترکیبهای کربنی) و نوارهای پرتوی مربوط به ترکیبهای معدنی همچون سیلیس بسیار اندک است.



نمودار ۱. نمودار حاصل از طیف سنجی تبدیل فوری (FT-IR) جاذب کاه و کلش

ترکیب شیمیایی کاه مورد آزمایش از نتایج حاصل از طیف سنجی فلورسانس پرتوی (XRF) به دست آمد و در جدول ۱ ارائه شد.

#### بررسی اثر pH

نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین درصد جذب کاه در pHهای مختلف در جدول ۲ قابل مشاهده است.

جدول ۱. آنالیز ترکیب شیمیایی کاه با استفاده از طیف سنجی فلورسانس پرتوی (XRF) X

نمونه	وانادیوم	افت حرارتی <sup>۱</sup>	کلسیم	گوگرد اکسید	فسفر اکسید	منگنز اکسید	تیتانیوم اکسید
مقدار	۴ پی پی ام	٪۹۱/۲۵	٪۱/۴۵	٪۰/۶۸	٪۰/۰۳	٪۰/۰۴	٪۰/۰۲
نمونه	مولیبدن	گالیوم	روی	مس	نیکل	کیالت	کروم
مقدار (پی پی ام)	۲	۶	۸۵	۲۹	۲۶	۲	۲۵
نمونه	زیر کونیوم	استرانسیم	باریم	تنگستن	لوتیوم	کیالت	نقره
مقدار (پی پی ام)	۷	۶۵	۴۲	۲	۱	۱	۱
نمونه	توریوم	قلع	نیوبیم	ایتیریم	رویدیم	سرب	آرسنیک
مقدار (پی پی ام)	بیشتر از ۲۰	۱	۹	۶	۱۱	۹	۲
نمونه	منیزیم اکسید	پتاسیم اکسید	سدیم اکسید	کلسیم اکسید	آهن اکسید	آلومینیوم اکسید	سیلیسیم اکسید
مقدار (درصد)	۰/۱۳	۰/۴۵	۱/۲۳	۰/۳۲	۰/۱۱	۰/۴۲	۶/۱۱

جدول ۲. جدول مقایسه میانگین درصد جذب کاه کلش در pHهای مختلف

pH	۳	۵	۷	۹
کاه و کلش	۶۱/۰۹±۹/۰۹ <sup>b</sup>	۸۷/۸۹±۰/۵۹ <sup>a</sup>	۴۷/۲۵±۱۴/۱۲ <sup>b</sup>	۳۹/۰۴±۰/۳۰ <sup>b</sup>

حروف نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح  $\alpha=0/05$  است.

جدول ۳. جدول مقایسه میانگین درصد جذب کاه و کلش در مقادیر مختلف جاذب (گرم بر لیتر)

مقدار جاذب (گرم در لیتر)	۰/۲۵	۰/۵	۱	۱/۵	۲
کاه و کلش	۳۸/۳۰±۸/۰۶ <sup>b</sup>	۴۷/۸۵±۲/۴۳ <sup>ab</sup>	۴۹/۵۴±۴/۶۵ <sup>ab</sup>	۵۰/۷۶±۱/۷۶ <sup>a</sup>	۵۱/۴۸±۰/۳۹ <sup>a</sup>

حروف نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح  $\alpha=0/05$  است.

جدول ۴. جدول مقایسه میانگین درصد جذب کاه و کلش در زمانهای مختلف (دقیقه)

زمان (دقیقه)	۳	۵	۱۰	۱۵
کاه و کلش	۳۷/۱۶±۲/۰۷ <sup>a</sup>	۳۸/۲۵±۰/۰۸ <sup>a</sup>	۴۷/۳۵±۲/۳۱ <sup>a</sup>	۴۹/۸۵±۹/۰۱ <sup>a</sup>

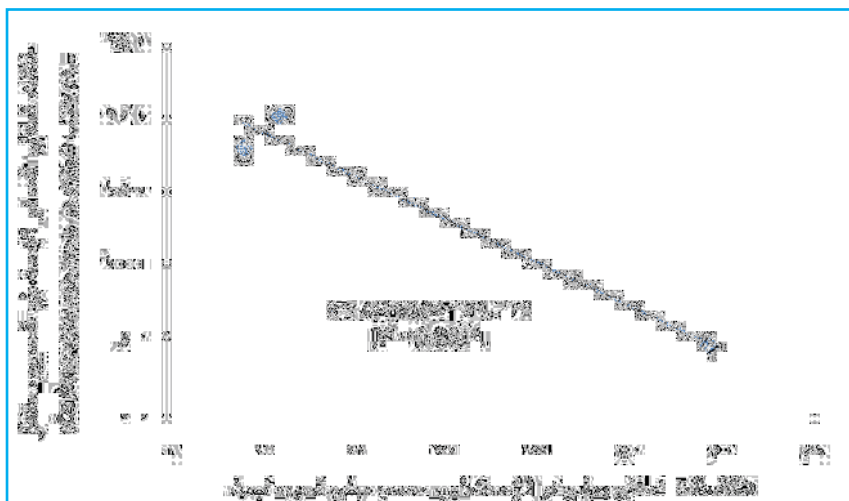
حروف نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح  $\alpha=0/05$  است.

جدول ۵. مقایسه میانگین درصد جذب کاه در حجمهای مختلف (میلی لیتر)

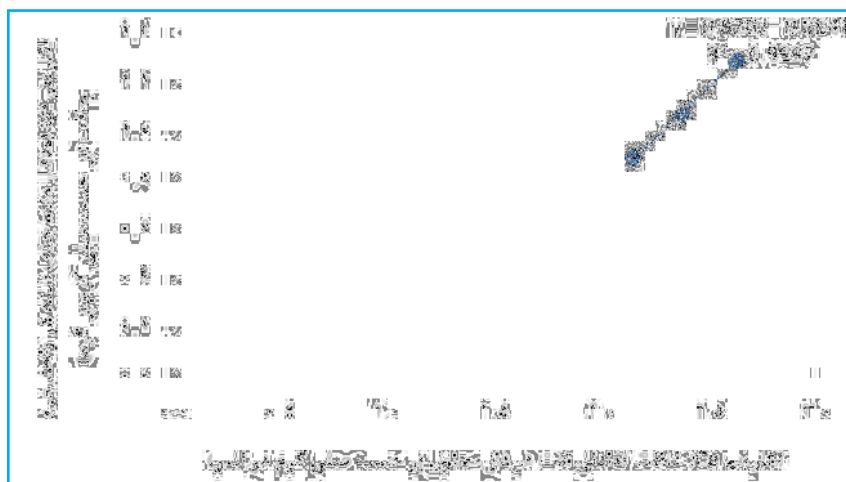
حجم آلاینده (میلی لیتر)	۱۵۰	۲۵۰	۳۵۰	۴۵۰
کاه و کلش	۳۵/۵۶±۲/۳۳ <sup>b</sup>	۳۹/۷۵±۰/۴۳ <sup>ab</sup>	۴۳/۷۴±۰/۸۹ <sup>a</sup>	۴۳/۷۹±۲/۸۴ <sup>a</sup>

حروف نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح  $\alpha=0/05$  است.





نمودار ۲. همدمای جذبی لانگمویر برای جذب گازوئیل به وسیله کاه و کلش



نمودار ۳. همدمای جذبی فروندلیچ برای جذب گازوئیل به وسیله کاه و کلش

جدول ۶. ثابت‌های همدماهای جذبی لانگمویر و فروندلیچ برای جاذب کاه و کلش

مدل	ضریب	مقدار
۷/۶۵	$k_f$ (گرم بر لیتر)	فروندلیچ $\text{Log } q_e = \text{Log } k_f + 1/n \text{ Log } C_e$
۰/۸۲۶	$1/n$	
۰/۹۹۹۲	$R^2$	
۰/۰۱	$K_L$ (لیتر بر میلی‌گرم)	لانگمویر $c/x/m = 1/kb + c/b$
۳/۴۵	$b$ (میکروگرم بر گرم)	
۰/۹۶۱۴	$R^2$	
۰/۰۱	$R_L$	



یافت و کمترین مقدار جذب در  $pH=9$  به میزان  $0.4/39\%$  اتفاق افتاد که با سایر  $pH$ ها اختلاف معنی داری نداشت.  $pH$  یکی از فاکتورهای مهمی بود که از طریق تأثیر بر ساختار ماده آلاینده و بار سطحی جاذب، در فرآیند جذب تأثیر گذاشت (۳۰). علت کاهش درصد جذب با افزایش  $pH$  را می توان مرتبط به ساختار آنیونی جذب شونده دانست. بررسی ها نشان داد که در  $pH$  بالا، بار الکتریکی سطحی غالب در سطح جاذب ها 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 و راندمان جذب کاهش پیدا کرد (۳۱، ۳۲). در مطالعه ابوالحسنی و همکاران که بر روی بررسی کارایی پسماند پشم سنگ در جذب آلودگی نفتی در آب انجام گرفت، بیشترین جذب در  $pH=3$  اتفاق افتاد و با افزایش  $pH$  به تدریج از میزان آن کاسته شد؛ به گونه ای که در  $pH=9$  کمترین میزان جذب را دارا بود (۳۳). مطالعه سیاح زاده و همکاران که بر روی حذف هیدروکربن های نفتی از پساب پالایشگاه نفت با استفاده از جاذب های طبیعی انجام شد، نشان داد که  $pH$  عامل تأثیرگذاری بر جذب هیدروکربن های نفتی نیست، اما با این حال بالاترین راندمان حذف هیدروکربن های نفتی در  $pH=8$  به دست آمد (۳۴). نتایج این پژوهش حاضر با مطالعه بانات و همکاران مطابقت داشت. در مطالعه آنها درصد جذب فنل بر روی بنتونیت با افزایش  $pH$  کاهش پیدا کرد (۳۱). نتایج مشابهی توسط وارگیز و همکاران گزارش شد. این محققین نیز تأثیر  $pH$  در افزایش جذب آلاینده بر سطح جاذب را به ارتباط  $pH$  و بار الکتریکی سطح جاذب نسبت 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. با توجه به ماهیت آنیونی مواد جاذب، در این شرایط جاذبه الکترواستاتیکی میان جذب شونده و آلاینده افزایش و راندمان حذف افزایش پیدا می کند. در مطالعه قاسمی و همکاران که بر روی

## همدماهای جذب

به منظور برازش مدل های جذبی بر روی همدماهای جذب باید به این نکته اشاره کرد که این همدماهای جذب در اصل جذب سطحی مواد حل شونده بر روی مواد جامد را در دمای ثابت بر اساس واحدهای کمی توصیف می نمایند. بدین منظور برازش نتایج به دست آمده با مدل های جذبی لانگمویر و فروندلیچ برای جاذب کاه و کلش در نمودار ۲ و ۳ نشان داده شد. پارامترهای این مدل ها نیز در جدول ۶ ارائه شد.

جذب گازوئیل به وسیله تیمار کاه و کلش از هر دو مدل فروندلیچ و لانگمویر به علت داشتن  $R^2$  بالا (میزان  $0.9992$  و  $0.9614$ ) تبعیت می کند. ضریب فروندلیچ نیز که معیاری از قدرت جذب می باشد، برابر  $7/65$  لیتر بر گرم بود. ضریب  $1/n$  مدل فروندلیچ که معیار شدت جذب است، برای گازوئیل توسط کاه و کلش  $0.826$  تعیین گردید.

در مدل لانگمویر جاذب، بیشینه ظرفیت جذب گازوئیل (b)،  $3/45$  میلی گرم گازوئیل بر گرم کاه و کلش تعیین شد و ثابت تمایل جذب آن  $0.01$  لیتر بر میلی گرم و مقادیر  $R_L$  محاسبه شده برای جذب گازوئیل مقدار  $0.01$  تعیین گردید. این عدد بین صفر تا یک می باشد.  $R_L$  به دست آمده نشان دهنده جذب مطلوب توسط جاذب است.

## بحث

در بین روش های مختلف برای حذف گازوئیل، استفاده از جاذب ها در حال حاضر مهم ترین و پرکاربردترین روش تلقی می شوند. در میان انواع جاذب های طبیعی و مصنوعی فرآورده های نفتی، جاذب های طبیعی به دلیل تطابق فراوان با اکوسیستم و همچنین فراوانی و دسترس بودن و از همه مهم تر زیست تخریب پذیری، نسبت به جاذب های مصنوعی از مزیت بالاتری برخوردارند (۲۹).

در مطالعه حاضر جذب گازوئیل با استفاده از کاه و کلش در  $pH=5$  بیشترین بود که با دیگر  $pH$ ها اختلاف معنی داری داشت (به میزان  $87/89\%$ ). با افزایش مقدار  $pH$ ، میزان جذب کاهش

اختلاف معنی‌داری نداشت، اما از دیگر مقدار جاذب‌ها با اختلاف معنی‌داری بیشتر بود، بنابراین با افزایش مقدار جاذب از ۱/۵ به ۲ گرم در لیتر، درصد جذب افزایش معنی‌داری نداشت. کمترین درصد جذب با اختلافی معنی‌دار در ۰/۲۵ گرم مشاهده شد (به میزان ۳۰/۳۸٪،  $p < 0/05$ ). در مطالعه پیرستانی و همکاران که بر روی بررسی کارایی کاه و کلش به منظور حذف آلودگی نفتی انجام شد، بیشترین میزان جذب در مقدار ۲ گرم در لیتر (۶۱/۰۵٪) و کمترین میزان جذب در مقدار جاذب ۰/۲۵ گرم در لیتر (۲۵/۹۲٪) رخ داد (۳۵). در مطالعه سیاح‌زاده و همکاران بر روی حذف هیدروکربن‌های نفتی از پساب پالایشگاه نفت با استفاده از جاذب‌های طبیعی نیز با افزایش غلظت جاذب از ۰/۲ تا ۱ گرم در لیتر، راندمان حذف هیدروکربن‌های نفتی افزایش یافت، اما با بیشتر شدن مقدار جاذب از ۱ گرم در لیتر به ۵ گرم در لیتر، مقدار این نرخ به تدریج کاهش یافت و این نتیجه به این دلیل است که افزایش میزان جاذب، منجر به چسبیده شدن بخشی از ذرات جاذب به یکدیگر شد که کاهش نسبی سطح تماس و موقعیت‌های جذب و در نتیجه کاهش بهره‌وری از جاذب را به دنبال داشت (۳۴). در مطالعه بانات و همکاران و قادر و همکاران با افزایش مقدار جاذب، میزان جذب در نتیجه افزایش مساحت سطحی فعال و مؤثر در جذب افزایش پیدا کرد، اما در نهایت افزودن مقادیرهای بیشتر جاذب تأثیری در افزایش جذب نداشت. در حقیقت تعادلی بین جاذب و ماده جذب‌شونده در محلول رخ داد و بعد از آن جذبی صورت نگرفت. در ابتدا با افزایش میزان جاذب، مکان‌های جذب بیشتری در غلظت‌های همانند در اختیار جذب‌شونده قرار گرفت و درصد جذب را افزایش داد، اما وقتی ظرفیت جاذب قادر به انباشت فقط میزان خاصی از آلاینده مورد نظر باشد و اشباع شود، افزودن بیشتر مقدار جاذب تأثیری بر افزایش درصد جذب نداشت (۲۹، ۳۳، ۳۴). قاسمی و همکاران مطالعه‌ای بر روی کارایی فتوکاتالیست نانواکسید تیتانیوم تثبیت شده بر زئولیت در حذف آلاینده‌های آلی پساب پالایشگاه نفت انجام دادند. در این مطالعه مقدار دوز فتوکاتالیستی در بازه ۱ تا ۴ گرم در لیتر متغیر

کارایی فتوکاتالیست نانواکسید تیتانیوم تثبیت شده بر زئولیت در حذف آلاینده‌های آلی پساب پالایشگاه نفت انجام گرفت، بهینه درصد حذف ترکیبات آلی بین بازه ۲ تا ۱۰ در  $pH=4$  مشاهده شد (۳۲).

در مطالعه حاضر اثر تغییر زمان تماس بر فرآیند جذب گازوئیل توسط ماده جاذب بیانگر آن بود که با افزایش زمان تماس کاه و کلش با پساب ساختگی حاوی گازوئیل، راندمان جذب افزایش یافت. بهترین زمان ممکن برای جذب گازوئیل توسط کاه و کلش ۱۵ دقیقه در نظر گرفته شد که در این مدت زمان، راندمان برای جذب گازوئیل توسط جاذب ۴۹/۸۵٪ بود که اختلاف معنی‌داری با سایر زمان‌ها نداشت که این می‌تواند به علت کم بودن زمان‌های تماس باشد. در مطالعه‌ای که پیرستانی و همکاران بر روی استفاده از کاه و کلش به منظور حذف آلودگی نفتی از آب انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که با افزایش زمان تماس در ۱۵ دقیقه بیشترین میزان جذب به میزان ۲۸/۸۵٪ رخ داد که اختلاف معنی‌داری با سایر زمان‌های تماس نداشت (۳۵). در مطالعه سیاح‌زاده و همکاران بر روی حذف هیدروکربن‌های نفتی از پساب پالایشگاه نفت با استفاده از جاذب‌های طبیعی نیز با افزایش زمان تماس، میزان جذب افزایش یافت و در حدود ۹۰٪ جذب، طی ۳۰ دقیقه اول انجام شد (۳۴). در مطالعه بهنود و همکاران در این راستا نیز با افزایش زمان تماس، میزان جذب سیر صعودی داشت؛ چراکه مکان‌های فعال زیاد و خالی در سطح جاذب، با گذشت زمان اشغال شد (۳۶). در مطالعه مختاری حسینی و همکاران که بر روی حذف هیدروکربن از لجن مخازن گازوئیل با استفاده از زئولیت منطقه سمنان صورت گرفت، افزایش زمان به علت افزایش تعداد برخورد آلاینده و جاذب، سبب بالا بردن درصد جذب گردید (۳۷).

در مطالعه حاضر اثر تغییر مقدار ماده جاذب بر فرآیند جذب گازوئیل از پساب بیانگر آن بود که با افزایش مقدار جاذب، درصد جذب گازوئیل توسط ماده جاذب افزایش پیدا کرد و بیشترین میزان جذب کاه و کلش در ۲ گرم در لیتر به میزان ۵۱/۴۸٪ مشاهده شد که این میزان با مقدار ۱/۵ گرم در لیتر

یافت، اما این سرعت حذف در غلظت‌های بالا کمتر بود (۴۰). در مطالعه رضوی و همکاران که بر روی کاربرد پوسته 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 ۱ تا ۷ گرم در لیتر افزایش یافت (۸۰٪) و سپس برای غلظت ۱۰۰ گرم در لیتر روغن کاهش پیدا کرد (۷/۵٪) (۳۹).

در مطالعه حاضر در نهایت پس از مقایسه ضرایب تمییز هم‌دماهای خطی در جذب سطحی گازوئیل با یکدیگر، هر دو مدل به علت داشتن  $R^2$  بالا تطابق داشتند، اما مدل فروندلیچ به علت داشتن  $R^2$  بالاتر برای جاذب کاه و کلش انتخاب شد (میزان  $0/9992$ )، ضریب  $K_f$  در جاذب  $7/65$  لیتر بر گرم بود و ضریب  $1/n$  در جاذب کاه و کلش برابر  $0/826$  تعیین شد. در مطالعه ابوالحسنی و همکاران که بر روی بررسی استفاده از پسماند پشم سنگ در جذب آلودگی نفتی انجام گرفت، جذب نفت توسط پسماند پشم سنگ با مدل لانگمویر مطابقت داشت (۳۳). در مطالعه سیاح‌زاده و همکاران که بر روی حذف هیدروکربن‌های نفتی از پساب پالایشگاه نفت با استفاده از جاذب‌های طبیعی انجام شد، مدل فروندلیچ تطابق بیشتری نسبت به مدل‌های لانگمویر، تمکین و دوبینین در جذب هیدروکربن‌های نفتی پساب پالایشگاه بر روی کرین فعال پوست بادام و پوست گردو داشت (۳۴). در مطالعه نیکخواه و همکاران که بر روی بررسی اثر اصلاح ساختاری فوم پلی‌یورتان با کرین فعال بر جذب آلاینده‌های نفتی از آب انجام شد، مدل لانگمویر نسبت به دو مدل فروندلیچ و ردلیچ-پترسون در جذب نفت تطابق بیشتری داشت، بنابراین به دلیل سازگاری نتایج با مدل لانگمویر می‌توان گفت که جذب به صورت تک لایه‌ای و همگن صورت گرفت (۴۱).

### نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر با افزایش زمان تماس، راندمان جذب افزایش یافت. جذب گازوئیل توسط جاذب کاه و کلش در بازه زمانی ۱۵ دقیقه بیشترین مقدار بود. همچنین با کاهش pH تا مقدار pH برابر با ۵، میزان جذب برای گازوئیل افزایش یافت. در بررسی اثر

بود. کارایی حذف با افزایش دوز فتوکاتالیست تا ۳ گرم در لیتر افزایش یافت، زیرا تعداد سایت‌های فعال در محلول با افزایش دوز فتوکاتالیست افزایش یافت، ولی به تدریج با اضافه شدن بیشتر دوز فتوکاتالیست، درصد حذف کاهش یافت (۳۸).

در مطالعه حاضر با افزایش حجم گازوئیل در پساب از ۱۵۰ به ۴۵۰ میلی‌لیتر، راندمان جذب کاه شروع به افزایش یافتن کرد؛ به طوری که بیشترین درصد جذب در حجم ۴۵۰ میلی‌لیتر به میزان  $23/79\%$  تعیین شد که این حجم با حجم ۳۵۰ میلی‌لیتر تفاوت معنی‌داری نداشت، اما از سایر حجم‌ها با اختلاف معنی‌داری بیشتر بود. در مطالعه پیرستانی و همکاران که بر روی جذب نفت توسط کاه و کلش انجام گرفت، با افزایش حجم نفت، درصد جذب افزایش یافت و بیشترین درصد جذب در حجم ۳۵۰ میلی‌لیتر به میزان  $37/30\%$  رخ داد که با اختلاف معنی‌داری از سایر حجم‌ها بیشتر بود (۳۵). در مطالعه رضوی و همکاران درصد جذب نفت خام توسط پوسته برنج خام در ابتدا با افزایش غلظت اولیه نفت از ۱ تا ۷ گرم در لیتر افزایش یافت (۲۵-۴۵٪) و سپس ثابت شد (حدود ۵۱٪). 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 (۳۹). هرچند با افزایش غلظت اولیه ترکیب‌های نفتی از یک سو دسترسی جاذب برای جذب آب کاهش یافت (۳۶) و از سوی دیگر مولکول‌های بیشتری از ترکیب نفتی در اختیار جاذب قرار گرفت و مکان‌های جذب به سرعت توسط جذب‌شونده اشغال شد (۳۷)، 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 (۳۸). در مطالعه جعفری منصوریان که بر روی کارایی پوسته غلاف گیاه آکاسیاتورتیلیس به عنوان جاذب ارزان‌قیمت و قابل دسترس در حذف فنل انجام شد، با افزایش غلظت فنل، کارایی حذف افزایش

دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

### تشکر و قدردانی

بدین وسیله از ریاست پژوهشکده پسماند و پساب دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) و کارشناس پژوهشکده سرکار خانم دکتر پیرستانی به جهت کمک در انجام پروژه و در اختیار قرار دادن امکانات برای انجام این پژوهش، تقدیر و تشکر می‌شود.

تغییر حجم‌های اولیه گازوئیل، با افزایش حجم آلاینده گازوئیل، درصد جذب افزایش یافت. همچنین در رابطه با مقدار جاذب، با افزایش میزان جاذب، میزان جذب افزایش یافت. با استفاده از رسم هم‌ماهای جذب مشخص شد که جذب گازوئیل با استفاده از کاه و کلش از مدل فروندلیچ پیروی می‌کند. در نهایت کاه و کلش کارایی بالایی در جذب گازوئیل از پساب سنتتیک داشتند.

### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار

## References

- Dehghani F, Rahnamaie R, Malakoti Mj, Saadat S. Investigating the ratio of calcium to magnesium ratio in some irrigation water in the country. Journal of Water Research in Agriculture. 2012; 1, 1-13. [Persian].
- Taghvaiepoor A. Water Analysis, Vol. 1. 2015; Arak University Press. [Persian].
- Shashwat SB, Miland VJ, Radha VJ. Treatment of Oil Spill by Sorption Technique Fatty Acid GrafteSawdust. J. Chemosphere. 2006; 64, 1026-1031.
- Hansen E, Rodrigues MAS, de Aquim PM. Wastewater reuse in a cascade based system of a petrochemical industry for the replacement of losses in cooling towers. J Environ Manag. 2016; 181(2), 157-62.
- Geetha SJ, Banat IM, Joshi SJ. Biosurfactants: Production and potential applications in microbial enhanced oil recovery (MEOR). Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2018; 1(14), 23-32.
- Neelanchery R, Jih-Gaw L. Current status of microwave application in waste water treatment- A review, J. Chemical Engineering. 2011; 166, 797-813.
- Klan P, Varik M, Non-catalytic remediation of aqueous solution by microwave-assisted photolysis in the presence of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, J. Photochem, Photobiol. 2006; 177, 24-33.
- Kuhns DB, Hsu AP, Sun D, Lau K, Fink D, Griffith P, Huang DW, Priel DA, Mendez L, Kreuzburg S. and Zerbe CS. NCF1 (p47phox)-deficient chronic granulomatous disease: comprehensive genetic and flow cytometric analysis. Blood advances. 2019; 22, 3(2); 136-47.
- Tashiaki M. and Takashi N, Activated carbon filter treatment of laundry waste water in nuclear power plants and filter recovery by heating vacuum. J. Carbon. 2000; 38(5), 709-714.
- Balla W, Essadki A, Gourich B, Dassaa A, Chenik H, Azzi M. Electrocoagulation/electroflotation of reactive, disperse and mixture dyes in an externalloop airlift reactor. Journal of hazardous materials. 2010; 184(1), 710-716.
- Bande RM, Prasad B, Mishra I, Wasewar KL. Oil field effluent water treatment for safe disposal by electroflotation. Chemical Engineering Journal. 2008; 137(3), 503-509.
- Chavan A and Mukherji S. Treatment of hydrocarbon-rich wastewater using oil degrading bacteria and phototrophic microorganisms in rotating biological contactor: E\_ect of N:P ratio, Journal of Hazardous Materials. 2008; 154(1-3), 63-72.
- Kuyukina MS, Ivshina IR, Serebrennikova MK, Krivorutchko AB, Podorozhko EA, Ivanov RV and Lozinsky VI. Petroleum-contaminated water treatment in a uidized-bed bioreactor with immobilized Rhodococcus cells, Int. Biodeterioration Biodegrad. 2009; 63(4), 427-432.
- Rahman MM. and Al-Malack MH. Performance of a crossow membrane bioreactor (CF-MBR) when treating re\_nery wastewater, Desalination. 2006; 191(1-3), 16- 26.
- El-Naas MH, Al-Zuhair S and Abu Alhaja M. Removal of phenol from petroleum re\_nery wastewater through adsorption on date-pit activated carbon, Journal of Hazardous Materials. 2010; 162(3), 997-1005.
- Isil Gurten I, Ozmak M, Yagmur E and Aktas Z. Preparation and characterization of activated carbon from waste tea using K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Biomass and Bioenergy. 2012; 37, 73-81.
- Purnomo CW, Salim C and Hinode H. E\_ect of the activation method on the properties and adsorption behavior of bagasse y ash-based activated carbon, Fuel Processing Technology. 2012; 102, 132-139.
- Adebajo MO, Frost RL, 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.
19. Annunziado TR, Sydenstricker THD, Amico SC. Experimental investigation of various vegetable fibers as sorbent materials for oil spills. *Marine Pollution Bulletin*. 2005; 50, 1340-1346.
  20. Ahmad AL, Sumathi S, Hameed BH. Adsorption of residue oil from palm oil mill effluent using powder and flake chitosan: Equilibrium and kinetic studies, *Water Research*. 2005; 39, 2483–2494.
  21. Genieva S, Turmanova SC, Dimitrova A, Vlaev L, Characterization of Rice Husks and the Products of Its Thermal Degradation in Air or Nitrogen Atmosphere, *J. Therm. Anal. Calorim*. 2008; 93(2), 387-396.
  22. 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.
  23. Khosravi R, Eslami H, Zarei A, Heidari M, Baghani AN, Safavi N, Mokammel A, Fazlzadeh M. and Adhami S. Comparative evaluation of nitrate adsorption from aqueous solutions using green and red local montmorillonite adsorbents. *Desalination and Water Treatment*. 2018; 116, 119-28.
  24. Qasemi M, Zarei A, Afsharnia M, Salehi R, Allahdadi M. and Farhang M. Data on cadmium removal from synthetic aqueous solution using garbage ash. *Data in brief*. 2018; 1(20), 1115-1123.
  25. Qasemi M, Afsharnia M, Zarei A, Najafpoor AA, Salari S. and Shams M. Phenol removal from aqueous solution using *Citrullus colocynthis* waste ash. *Data in brief*. 2018; 1(18), 620-8.
  26. Dehghani MH, Zarei A, Mesdaghinia A, Nabizadeh R, Alimohammadi M, Afsharnia M. and McKay G. Production and application of a treated bentonite–chitosan composite for the efficient removal of humic acid from aqueous solution. *Chemical Engineering Research and Design*. 2018; 1(140), 102-115.
  27. Markovska I, Lyubchev L, A Study on the Thermal Destruction of Rice Husk in Air and Nitrogen Atmosphere, *J. Therm. Anal. Calorim*. 2007; 89(3), 809-814.
  28. Vlaev L, Petkov P, Dimitrov A, Genieva S, Cleanup of Water Polluted with Crude Oil or Diesel Fuel Using Rice Husks Ash, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng*. 2011; 42(6), 957-964.
  29. 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.
  30. Ong ST, Lee CK, Zainal Z, Removal of basic and reactive dyes using ethylenediamine modified rice hull. *Bioresour Technol*. 2007; 15, 2792-2799.
  31. Banat FA, Al-Bashir B, Al-Asheh S, Hayalneh O. Adsorption of phenol by bentonite. *Environ Pollut*. 2000; 107, 391-398.
  32. Varghese S, Vinod VP, Kinetic and equilibrium characterization of phenols adsorption onto a novel activated carbom in water treatment. *Indian J Chem Technol*. 2004; 11, 825-833.
  33. Abolhasani MH, Pirestani N, Amini H. Study on the efficacy of mineral wool wastes in adsorption of waterborne oil contamination (Kerosene). *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Winter 2018;3 (4) : 300-311.
  34. SAH, G, H, A, B. ROPHFORWUNA: IAKS. *Sharif Scientific Journal* 2015; 31.2(3.2): 41-48.
  35. Piristani N, Abolhasani MH, Amin Javaheri FS. Investigating the use of straw in removing oil pollution from water. *Journal of Environmental and Water Engineering* 2017; 4(1):12-22.
  36. Behnoud R, Jafarzadeh Haghighifard N, Anvaripour B, Frosty M. Laboratory study of the ability of some natural plants as absorbent for oil spots. *International Conference on Oil, Gas, Petrochemical and Power Plant*. Tir 1391. Tehran. Iran.
  37. Mokhtari Hosseini ZB, Taktom Shenavaie Z, SalehAbadi Kh. Removal of Hydrocarbon from Sludge of Diesel Storage Tanks by Semnan Zeolite. *Journal of Petroleum Research* 2016; 26(88): 112-122.
  38. Ghasemi Z, Younesi H, Zaynati Zadeh AA. Efficiency of Photocatalyst of Titanium Nitoxide Stabilized on Fe-ZSM-5 Zeolite in Removal of Organic Pollutants of Oil Refinery Waste. *Journal of Water and wastewater* 2016; 27(2): 23-33.
  39. 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* 2013, 35(1): 13-23.
  40. JafariMansourian H, Mahvi AH, JanidjiJafari A and Malakotian M. Efficiency of the pod of acaciaurotilysis plant as an inexpensive and accessible absorbent for phenol removal. *Water and Wastewater Journal* 2015; 2: 124-132.
  41. Nikkhah AA, Ziluie H, Keshavarz AR. Effect of Structural Correction of Polyurethane Foam with Activated Carbon on Absorption of Oil Pollutants from Water. *Journal of water and Wastewater* 2016; 27(2): 84-93.
  42. Chowdhury AK, 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.

43. Proctor A, Clark P, Parker C. Rice hull ash adsorbent performance under commercial soy oil bleaching conditions, *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1995; 72(4), 459-462.
44. 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.
45. 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.
46. Igansi AV, Engelmann J, Lütke SF, Porto FB, Pinto LA. and Cadaval Jr TR. Isotherms, kinetics, and thermodynamic studies for adsorption of pigments and oxidation products in oil bleaching from catfish waste. *Chemical Engineering Communications*. 2019; 9, 1-5.
47. 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.