

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. (Corresponding 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. *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

چکیده

زمینه و هدف: مواد نفتی از قبیل نفت خام، گازوئیل و بنزین به عنوان بیشترین مورد مصرفی در دنیا، عمده‌ترین آلوده‌کننده‌های آب‌ها هستند. سالیانه حدود ۱۰ میلیون تن مواد نفتی در دنیا به بیرون ریخته می‌شود. استفاده از روش‌های بهینه و کارآمد برای تصفیه پساب‌های حاوی فرآورده‌های نفت (همچون گازوئیل) کاملاً ضروری می‌باشد. روش‌های مختلفی برای پاک‌سازی آلودگی‌های 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 روش‌ها: در ابتدا با استفاده از آنالیز (طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز) FT-IR ترکیب شیمیایی کاه و کلش تعیین شد، سپس آزمایشات جذب به‌صورت ناپیوسته با استفاده از محلول‌های آزمایشگاهی حاوی گازوئیل انجام گرفت و شرایط بهینه جذب با تغییر فاکتورهای مؤثر بر جذب که شامل pH، غلظت اولیه آلوده‌کننده، 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.

یافته‌ها: بیشترین کارایی جاذب، برای جذب گازوئیل با استفاده از جاذب کاه و کلش در زمان ۱۵ دقیقه مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با دیگر زمان‌های تماس نداشت (میزان ۴۹/۸۵٪ جذب؛ $p < ۰/۰۵$) و کمترین مقدار آن بدون اختلاف معنی‌دار 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 معنی‌داری داشت (میزان ۸۷/۸۹٪ جذب؛ $p < ۰/۰۵$) و کمترین درصد جذب در pH=۹ مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سایر pHها نداشت (میزان ۳۹/۰۴٪ جذب؛ $p < ۰/۰۵$). کارایی مقادیر جاذب کاه و کلش در ۲ گرم در لیتر با اختلاف معنی‌داری بیشتر از دیگر مقدار جاذب‌ها بود (میزان ۵۱/۴۸٪ جذب؛ $p < ۰/۰۵$) و کمترین درصد جذب با اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر مقادیر در ۰/۲۵ گرم در لیتر مشاهده شد (میزان ۲۸/۳۰٪ جذب؛ $p < ۰/۰۵$). برازش هم‌دمای جذب سطحی نشان داد که جذب گازوئیل توسط کاه و کلش با هر دو مدل فروندویچ و لانگمویر به علت داشتن R^2 بالا مطابقت داشت ($R^2 = ۰/۹۹$ ، $R^2 = ۰/۹۶$).

نتیجه‌گیری: جاذب کاه و کلش کارایی بالایی در جذب گازوئیل از پساب دارند و می‌توانند در تصفیه فاضلاب‌های صنعتی مورد استفاده قرار گیرند.

کلید واژه‌ها: پساب، جاذب آلی، کاه و کلش، گازوئیل

محمدحادی 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

◀ **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، 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. وضعیت کنونی منابع در سطح جهان نامساعد و بحرانی است و لزوم حفظ و حراست از آن ها برای نسل های آینده انکارناپذیر است (۱، ۲).

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 (۳). مواد نفتی موجود در پساب ها به روش های طبیعی از قبیل تبخیر شدن از سطح آب، حل و پراکنده شدن درون آب، تجزیه شدن به وسیله اشعه تابشی خورشید، تجزیه شدن به وسیله باکتری های موجود در آب، جذب شدن روی مواد جامد موجود در آب و غیره از آب جدا می شوند (۳)، اما متأسفانه مقدار آلودگی ها به حدی زیاد است که روش های طبیعی پاسخگوی تصفیه آب ها از مواد نفتی نیستند. علاوه بر این محققان متوجه شدند که در تجزیه مواد نفتی به وسیله طبیعت، مواد نفتی کم خطر به مواد نفتی خطرناک تری نظیر آروماتیک ها، آلفاتیک ها، بنزن ها، اسیدهای نفتالنی، الکل ها، فنول و آلفاتیک کتون ها تبدیل می شوند (۴). امروزه برای حل این مشکل از روش های مصنوعی نظیر روش میکروبی (۵)، روش اکسیداسیون به وسیله اشعه های پرانرژی مافوق بنفش^۱ و مایکروویو^۲ (۶، ۷)، تجزیه حرارتی (۸) و روش جذب (۹) برای حذف آلودگی ها استفاده می شود.

اکثر فرآیندهای رایج به دلیل کارایی محدود و اثربخشی کم، ایجاد لجن زیاد، نیاز به افزودن مواد شیمیایی، پرهزینه بودن، نیاز به پیش تصفیه و راهبری مشکل، به عنوان یک روش تصفیه کارآمد برای جداسازی آب از گازوئیل در نظر گرفته نمی شوند (۱۰، ۱۱). متداول ترین روش ها برای تصفیه گازوئیل از آب شامل: روش های بیولوژیکی، شیمیایی مانند انعقاد، اکسیداسیون شیمیایی و فرآیندهای غشایی هستند، اما در فاضلاب فرآورده های نفتی، ترکیبات سخت و مقاومی وجود دارد که توسط فرآیندهای بیولوژیکی به طور مؤثر حذف نمی شوند (۱۲). مقدار مواد شیمیایی مورد نیاز فرآیندهای شیمیایی نیز بسیار زیاد بوده و این فرآیندها با تولید لجن همراه است (۱۳). استفاده از سیستم های غشایی نیز برای فاضلاب هایی با حجم بالا نامناسب است (۱۴)، لذا اگر جاذب مورد استفاده ارزان و به سهولت در دسترس باشد، فرآیند جذب سطحی، روشی مناسب برای تصفیه پیشرفته فاضلاب های نفتی می باشد (۱۵). برای تولید جاذب های ارزان قیمت با استفاده از مواد ارزان و در دسترس، تلاش های زیادی صورت گرفته است (۱۶، ۱۷). مواد جاذب آلاینده های نفتی به سه دسته کلی جاذب های آلی طبیعی (گیاهی)، جاذب های معدنی و جاذب های آلی سنتزی تقسیم می شوند (۱۸). از جاذب های آلی گیاهی می توان باگاس نیشکر، کاه، چوب ذرت، پوسته بادام زمینی، فیبر چوب و تورب ساخته شده از خزه پوسیده را نام برد (۱۹). کاه و کلش گندم، فراوان تر از سایر پسماندهای غلات می باشند. بورانو و همکاران گزارش کردند که تولید جهانی کاه و کلش گندم تقریباً حدود ۵۲۹ میلیون تن در سال می باشد که به طور عمده در آسیا (۴۳٪)، اروپا (۳۲٪) و آمریکای شمالی (۱۵٪) تولید می شود. کاه و کلش گندم به علت قابلیت تجدیدپذیری سالانه و فراوانی بالا، ماده اولیه مناسبی برای استفاده به عنوان جاذب می باشد (۱۹).

در مطالعات دیگر برای حذف فرآورده های نفتی از جاذب های طبیعی استفاده شد. به عنوان مثال در مطالعه بانات و همکاران، عملکرد جاذب های طبیعی باگاس، پوسته برنج، جاذب های سنتزی

1. UV
2. MV

پلی پروپیلن بی بافت 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 به منظور 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 به دست آمده از گندم به عنوان جاذب آلی از گلخانه تهیه شد. نمونه‌های جاذب بعد از تهیه با آب مقطر چندین بار به منظور حذف گردوغبار به خوبی 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 فروسرخ با تبدیل فوریه با دستگاه مدل Bruker Equinox 5 گرفته شد. در حقیقت پرتوی طیف‌سنج مادون قرمز (FT-IR) 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

طیف‌سنجی فلورسانس (XRF) ^۲ ساخت کمپانی فیلیپس مدل PW1480 استفاده شد.

آزمایش جذب آب و گازوئیل به طور 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 به منظور 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؛ بدین منظور ترکیب گازوئیل و جاذب به نسبت ۱ به ۱ در یک ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد و بقیه آن آب مقطر افزوده شد، جاذب به همراه جذب شونده پس از هم زدن با سرعت ۱۵۰ دور بر دقیقه از کاغذ صافی عبور داده شد و در آون 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) به دست آمد (۲۲).

(۱)

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

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

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

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 $1/q_{\max} K_L$ 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 به کار 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 الگوریتم 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 معنی‌داری داشت ($p < 0.05$) و کمترین درصد جذب در pH=۳ مشاهده شد (۳۹/۰۴٪) که اختلاف معنی‌داری با pH=۵ داشت، اما با pHهای ۷ و ۹ اختلاف معنی‌داری نداشت ($p > 0.05$)

بررسی اثر دوز جاذب

نتایج به‌دست 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 معنی‌داری نداشت، اما از دیگر مقدار جاذب‌ها با اختلاف معنی‌داری بیشتر بود و کمترین درصد جذب با اختلافی معنی‌دار در ۰/۲۵ گرم مشاهده شد (به میزان ۳۸/۳۰٪، $p < 0.05$).

بررسی اثر زمان‌های تماس مختلف

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

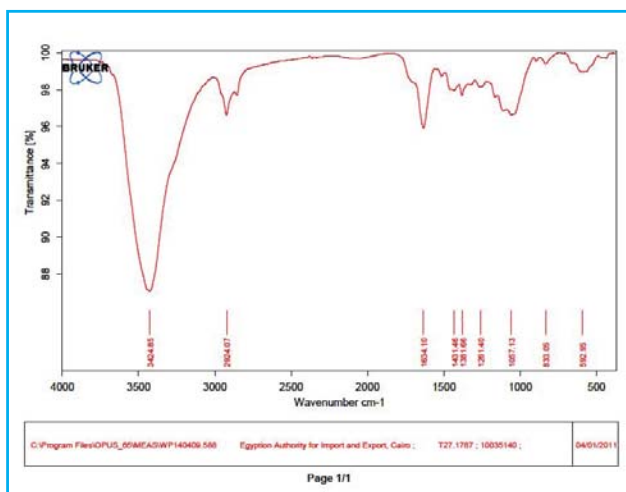
بر اساس جدول ۴، بیشترین میزان جذب کاه در ۱۵ دقیقه مشاهده شد (۴۹/۸۵٪) که اختلاف معنی‌داری با دیگر زمان‌های تماس نداشت ($p < 0.05$) و کمترین درصد در ۳ دقیقه مشاهده شد (۳۷/۱۶٪) که اختلاف معنی‌داری با سایر زمان‌ها نداشت ($p < 0.05$).

بررسی اثر حجم‌های مختلف

نتایج به‌دست 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 معنی‌داری با دیگر غلظت‌ها نداشت، با این حال بیشترین درصد جذب در حجم ۴۵۰ میلی‌لیتر (۴۳/۷۹٪) ($p < 0.05$) و کمترین درصد جذب در حجم ۱۵۰ میلی‌لیتر (۳۵/۵۶٪) ($p < 0.05$) بود.

عاملی مواد کربنی، سیلیس و آب جذب‌شده 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 cm^{-1} ناشی از تغییر شکل ارتعاش مولکول‌های آب و حضور C=C در ترکیب‌های آلی است. پیوندها در بازه ۱۱۱۱ cm^{-1} و ۵۹۲-۱۰۵۷ cm^{-1} مربوط به گروه‌های سیلیکون اکسیژن است (۲۸). به‌طور کلی نتایج آنالیز FT-IR نشان داد که بخش عمده ساختار کاه را ترکیب‌های آلی تشکیل می‌دهد (ترکیب‌های کربنی) و نوارهای پرتوی مربوط به ترکیب‌های معدنی همچون سیلیس بسیار اندک است.



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

ترکیب شیمیایی کاه مورد آزمایش از نتایج حاصل از طیف‌سنجی فلورسانس پرتوی X (XRF) به‌دست آمد و در جدول ۱ ارائه شد.

بررسی اثر pH

نتایج به‌دست 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 طیف‌سنجی فلورسانس پرتوی (XRF) X

نمونه	وانادیوم	افت حرارتی ^۱	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	کبالت	کروم
مقدار (پی پی ام)	۲	۶	۸۵	۲۹	۲۶	۲	۲۵
نمونه	زیرکونیوم	استرانسیم	باریم	تنگستن	لوتیوم	کبالت	نقره
مقدار (پی پی ام)	۷	۶۵	۴۲	۲	۱	۱	۱
نمونه	توریوم	قلع	نیوبیم	ایتیریم	روبییدیم	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	سیلیسم 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 ^b	۸۷/۸۹±۰/۵۹ ^a	۴۷/۲۵±۱۴/۱۲ ^b	۳۹/۰۴±۰/۳۰ ^b

حروف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح $\alpha=0/05$ است.

جدول ۳. جدول مقایسه میانگین درصد جذب کاه و کلش در مقادیرهای 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 ^b	۴۷/۸۵±۲/۴۳ ^{ab}	۴۹/۵۴±۴/۶۵ ^{ab}	۵۰/۷۶±۱/۷۶ ^a	۵۱/۴۸±۰/۳۹ ^a

حروف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح $\alpha=0/05$ است.

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

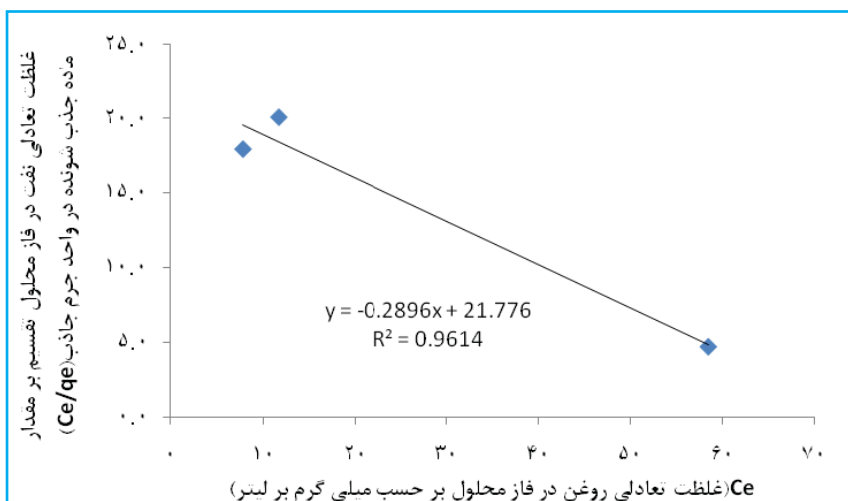
زمان (دقیقه)	۳	۵	۱۰	۱۵
کاه و کلش	۳۷/۱۶±۲/۰۷ ^a	۳۸/۲۵±۰/۰۸ ^a	۴۷/۳۵±۲/۳۱ ^a	۴۹/۸۵±۹/۰۱ ^a

حروف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح $\alpha=0/05$ است.

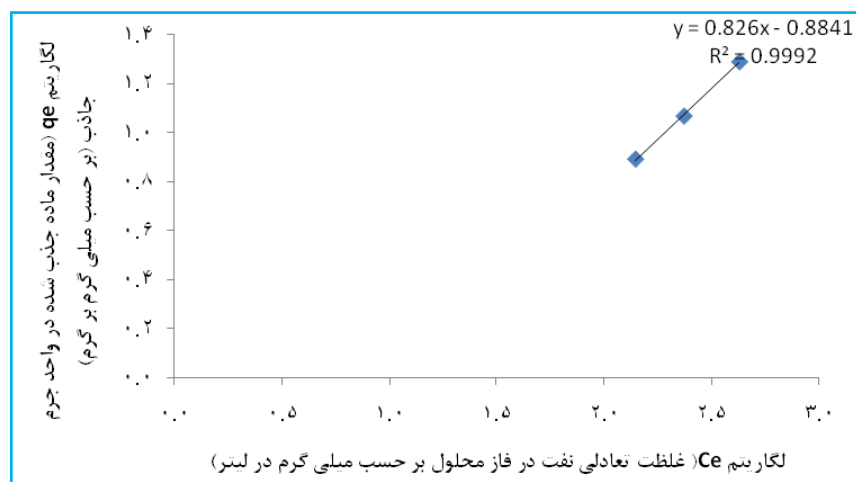
جدول ۵. مقایسه میانگین درصد جذب کاه در حجم‌های مختلف (میلی لیتر)

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

حروف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار 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 هم‌دهای 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 میلی گرم)	لانگمویر $c/x = 1/kb + c/b$
۳/۴۵	b (میکروگرم بر گرم)	
۰/۹۶۱۴	R^2	
۰/۰۱	R_L	

هم‌دماهای جذب

به منظور برازش مدل‌های جذبی بر روی هم‌دماهای جذب باید به این نکته اشاره کرد که این هم‌دماهای جذب سطحی مواد حل‌شونده بر روی مواد جامد را در دمای ثابت بر اساس واحدهای کمی توصیف می‌نمایند. بدین‌منظور برازش نتایج به‌دست آمده با مدل‌های جذبی لانگمویر و فروندلیچ برای جاذب کاه و کلش در نمودار ۲ و ۳ نشان داده شد. پارامترهای این مدل‌ها نیز در جدول ۶ ارائه شد.

جذب گازوئیل به‌وسیله تیمار کاه و کلش از هر دو مدل فروندلیچ و لانگمویر به علت داشتن R^2 بالا (میزان ۰/۹۹۹۲ و ۰/۹۶۱۴) تبعیت می‌کند. ضریب فروندلیچ نیز که معیاری از قدرت جذب می‌باشد، برابر ۷/۶۵ لیتر بر گرم بود. ضریب $1/n$ مدل فروندلیچ که معیار شدت جذب است، برای گازوئیل توسط کاه و کلش ۰/۸۲۶ تعیین گردید.

در مدل لانگمویر جاذب، بیشینه ظرفیت جذب گازوئیل (b)، ۳/۴۵ میلی گرم گازوئیل بر گرم کاه و کلش تعیین شد و ثابت تمایل جذب آن ۰/۰۱ لیتر بر میلی گرم و مقادیر R_L محاسبه شده برای جذب گازوئیل مقدار ۰/۰۱ تعیین گردید. این عدد بین صفر تا یک می‌باشد. R_L به‌دست آمده نشان‌دهنده جذب مطلوب توسط جاذب است.

بحث

در بین روش‌های مختلف برای حذف گازوئیل، استفاده از جاذب‌ها در حال حاضر مهم‌ترین و پرکاربردترین روش تلقی می‌شوند. در میان انواع جاذب‌های طبیعی و مصنوعی فرآورده‌های نفتی، جاذب‌های طبیعی به دلیل تطابق فراوان با اکوسیستم و همچنین فراوانی و دسترس بودن و از همه مهم‌تر زیست‌تخریب‌پذیری، نسبت به جاذب‌های 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 معنی‌داری داشت (به میزان ۸۷/۸۹٪). با افزایش مقدار pH ، میزان جذب کاهش

یافت و کمترین مقدار جذب در $pH=9$ به میزان ۳۹/۰۴٪ اتفاق افتاد که با سایر pH ها اختلاف معنی‌داری 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 می‌توان مرتبط به ساختار آنیونی جذب‌شونده 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 جذب‌شونده 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 گونه‌ای که در $pH=9$ کمترین میزان جذب را دارا بود (۳۳). مطالعه سیاح‌زاده و همکاران که بر روی حذف هیدروکربن‌های نفتی از پساب پالایشگاه نفت با استفاده از جاذب‌های طبیعی انجام شد، نشان داد که pH عامل تأثیرگذاری بر جذب هیدروکربن‌های نفتی نیست، اما با این حال بالاترین راندمان حذف هیدروکربن‌های نفتی در $pH=8$ به‌دست 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 پایین‌تر از pH_{zpc} ، سطح جاذب توسط عوامل کربوکسیلیک حاوی پروتون احاطه می‌شود و این شرایط باعث افزایش بار مثبت بر سطح جاذب می‌شود. با توجه به ماهیت آنیونی مواد جاذب، در این شرایط جاذبه الکترواستاتیکی میان جذب‌شونده و آلاینده افزایش و راندمان حذف افزایش پیدا می‌کند. در مطالعه قاسمی و همکاران که بر روی

کارایی فتوکاتالیست نانواکسید تیتانیوم تثبیت شده بر ژئولیت در حذف آلاینده‌های آلی پساب پالایشگاه نفت انجام گرفت، بهینه درصد حذف ترکیبات آلی بین بازه ۲ تا ۱۰ در $\text{pH}=4$ 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 ژئولیت منطقه سمنان صورت گرفت، افزایش زمان به‌علت 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

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 ۲۵/۰ گرم مشاهده شد (به میزان ۳۸/۳۰٪، $p < 0.05$). 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 ۲۵/۰ 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 مقدارهای 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 ژئولیت در حذف آلاینده‌های آلی پساب پالایشگاه نفت انجام دادند. در این مطالعه مقدار دوز فتوکاتالیستی در بازه ۱ تا ۴ گرم در لیتر متغیر

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 هم‌دهماهای 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 ابرالحسنی 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 کربن فعال پوست بادام و پوست گردو داشت (۳۴). در مطالعه نیکخواه و همکاران که بر روی بررسی اثر اصلاح ساختاری فوم پلی‌یورتان با کربن فعال بر جذب آلانده‌های 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؛ به‌طوری‌که بیشترین درصد جذب در حجم ۴۵۰ میلی‌لیتر به میزان $43/79\%$ 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 به‌سرعت 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 هم‌دماهای 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 GraftSawdust. *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 H₂O₂, *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 external loop 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: Effect 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 fluidized-bed bioreactor with immobilized *Rhodococcus* cells, *Int. Biodeterioration Biodegrad*. 2009; 63(4), 427-432.
- Rahman MM. and Al-Malack MH. Performance of a crossflow membrane bioreactor (CF-MBR) when treating refinery wastewater, *Desalination*. 2006; 191(1-3), 16- 26.
- El-Naas MH, Al-Zuhair S and Abu Alhaija M. Removal of phenol from petroleum refinery 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 K₂CO₃, *Biomass and Bioenergy*. 2012; 37, 73-81.
- Purnomo CW, Salim C and Hinode H. Effect 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.