

اصلاح کربن فعال تجاری جهت گوگردزدایی جذبی دی‌بنزوتیوفن از سوخت مدل

صدف جلیلیان^۱، رامین کریمزاده^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، sadafjalilian@modares.ac.ir

۲- استادی، مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ramini@modares.ac.ir

* نویسنده مخاطب

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۹، دریافت آخرین اصلاحات: ۱۴۰۳/۰۲/۰۵، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۳)

چکیده: از کربن فعال تجاری موجود در ایران، جهت گوگردزدایی جذبی از سوخت مدل، استفاده شده است و به منظور افزایش کارایی جذب کربن فعال، فرآیند اصلاح سطح، توسط بارگذاری فلز آهن با روش تلقیح، بر سطح آن، انجام شده است. بارگذاری فلز آهن بر سطح کربن فعال، با موفقیت، کارایی جذب آن را به دلیل تشکیل کمپلکس π و اتفاق افتادن برهم‌کنش مستقیم گوگرد-فلز افزایش داده و این جاذب به میزان ۸۰٪ دی‌بنزوتیوفن را از سوخت مدل حذف کرده است و نسبت به کربن فعال اصلاح نشده ۱۷٪ عملکرد جذب بیشتری برای دی‌بنزوتیوفن دارد و ظرفیت جذب جاذب‌های Fe/GAC و GAC به ترتیب ۳۲۰ mg/g adsorbent و ۲۵۰ mg/g adsorbent است.

کلیدواژگان: کربن فعال تجاری، بارگذاری فلز آهن، گوگردزدایی جذبی، دی‌بنزوتیوفن، سوخت مدل

مقدمه

در چند سال اخیر ترکیبات حاوی گوگرد در سوخت‌های فسیلی به دلیل انتشار از خودروهای دیزلی به یک نگرانی زیست محیطی تبدیل شده‌اند. ترکیبات گوگرد آلی موجود می‌توانند به سولفوریک اسید تبدیل شوند، سپس سولفوریک اسید تولید شده به ذرات ریز تبدیل شده که می‌توانند به شش‌های انسان وارد شده و باعث سرطان ریه شوند. علاوه بر این، حضور ترکیبات گوگردی در فرآورده‌های نفتی باعث مشکلاتی در پالایشگاه‌های نفت می‌شوند. در نتیجه، قوانین زیست محیطی دقیقی برای حد مجاز گوگرد در سوخت‌های حمل‌ونقل تعیین شده‌اند [۱]. در حال حاضر در دنیا در برخی کشورها هیچ محدودیتی برای انتشار گوگرد وجود ندارد اما در کشورهایی مانند آمریکا، آلمان، چین و هند، حد مجاز گوگرد در سوخت ۱۰ ppm اعلام شده است [۲-۴].

مشخص شده است که حذف پیش از احتراق ترکیبات گوگردی از سوخت، نسبت به تجزیه‌ی اکسیدهای گوگرد پس از احتراق سوخت، به دلیل دشواری در جمع‌آوری گاز خارج شده پس از انتشار به اتمسفر، قابل کنترل‌تر است [۵]. متداول‌ترین روش برای کاهش سطح گوگرد در سوخت‌های هیدروکربنی به‌عنوان گوگردزدایی هیدروژنی (HDS) شناخته می‌شود. اگرچه گوگردزدایی هیدروژنی به‌عنوان یک روش کارآمد در حذف اکثر ترکیبات گوگرددار در نظر گرفته می‌شود؛ این روش در حذف ترکیبات گوگردی آروماتیک مقاوم مانند دی‌بنزوتیوفن (DBT) و مشتقات مربوط به آن مؤثر نمی‌باشد [۶]. شرایط عملیاتی موردنیاز این فرآیند فشار هیدروژن بسیار زیاد و دماهای بالا است، همچنین به کاتالیست‌های گران‌قیمت نیاز دارد که ترکیب این عوامل به‌طور قابل‌توجهی هزینه فرآیندها را افزایش می‌دهد. با توجه به این مشکلات روش‌های جایگزین به‌کار گرفته شده‌اند [۷-۹]. از روش‌های جایگزین گوگردزدایی هیدروژنی می‌توان به گوگردزدایی زیستی (BDS)، گوگردزدایی استخراجی (EDS)، گوگردزدایی اکسایشی (ODS) و گوگردزدایی جذبی (ADS) اشاره کرد [۱۰]. در میان این روش‌ها، گوگردزدایی جذبی یک روش امیدوارکننده است زیرا این روش براساس دما و فشار پایین است و هیچ مصرف هیدروژنی ندارد. اساس این روش بر

استفاده از جاذب‌های جامد با مساحت سطح زیاد، متخلخل و پایدار از نظر ساختاری که ترکیبات گوگردی را به‌صورت انتخابی جذب می‌کنند، استوار است [۱۱]. تاکنون جاذب‌های زیادی از جمله زئولیت، آلومینا، اکسیدهای فلزی، چارچوب‌های آلی-فلزی، سیلیکا، خاک رس و کربن فعال جهت گوگردزدایی جذبی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱۰، ۱۱].

با در نظر گرفتن مساحت سطح داخلی بزرگ کربن فعال، این ماده جذب فیزیکی بالاتری را نسبت به سایر جاذب‌ها نشان می‌دهد. با این حال، انتخاب‌پذیری آن برای هیدروکربن‌های آروماتیک نسبتاً پایین‌تر است. بنابراین، اصلاح سطح کربن فعال توسط برخی فلزات واسطه مانند آهن، مس، نیکل، روی، پالادیوم، مولیبدن و غیره کارآیی آن را بهبود می‌بخشد به‌طوری‌که قادر به حذف هیدروکربن‌های آروماتیک می‌شود. جاذب‌های کربنی فلزگذاری شده می‌توانند گوگرد را از سوخت‌های مایع با تشکیل کمپلکس π یا فعل و انفعالات گوگرد-فلز حذف کنند [۴]. جذب ترکیبات گوگرد بستگی به ماهیت و تعداد گروه‌های عاملی اکسیژن موجود بر روی سطح کربن فعال دارد [۱۱]. کربن فعال ارزان‌قیمت است و از منابع رایجی نظیر محصولات جانبی صنعتی، ضایعات کشاورزی و دام‌ها، قیر و زغال‌سنگ، پوسته نارگیل، چوب، پوسته برنج، زباله‌ی لاستیک و استخوان حیوانات تولید می‌شود [۱۲-۱۴]. در سال ۲۰۱۱ موسوی و همکاران سه نوع الیاف کربن فعال آغشته به مس و یک الیاف کربن فعال تجاری اشباع شده با نیترات مس را با استفاده از روش تلقیح مرطوب و سپس کلسیناسیون در دمای ۳۲۵، ۳۷۵ و ۵۹۵ درجه‌ی سانتی‌گراد تحت اتمسفر نیتروژن جهت گوگردزدایی تهیه کردند [۱۵]. در ادامه در سال ۲۰۱۲ بر الیاف کربن فعال گونه‌های Cu ، NiO ، Ni ، Cu_2O و CuO را به‌صورت انتخابی بارگذاری کردند تا تأثیر هرگونه‌ی فلزی بر جذب ترکیبات تیوفنیک را به‌صورت سیستماتیک مورد ارزیابی قرار دهند [۱۶]. سندپ و همکارانش گوگردزدایی جذبی توسط جاذب کربن فعال گرانولی اصلاح شده توسط فلز روی را مورد بررسی قرار دادند [۱۷]. دانمالکی و همکارانش فلزهای سریم و آهن را بر کربن فعال سنتز شده از زباله‌ی لاستیک بارگذاری کرده و به عنوان جاذب گوگردزدایی جذبی مورد آزمایش قرار دادند [۱۳]. یاسین و همکاران فلزات روی و منگنز را بر کربن فعال به دست آمده از ذرت بارگذاری کردند و جهت گوگردزدایی مورد استفاده قرار دادند [۱۰]. ژیانو و همکارانش جذب بنزوتیون (BT) و دی‌بنزوتیوفن توسط کربن فعال‌های اصلاح شده توسط فلزهای آهن، مس، نیکل، روی و نقره را مورد بررسی قرار دادند [۱۸]. صالح و همکاران نانوکامپوزیت‌های اکسید منگنز بر کربن فعال را جهت گوگردزدایی جذبی مورد بررسی قرار دادند [۱۹].

در این پژوهش برای اولین بار از کربن فعال تجاری موجود در ایران به‌عنوان جاذب دی‌بنزوتیوفن جهت گوگردزدایی جذبی از سوخت مدل استفاده شده‌است؛ همچنین از فلز آهن برای اصلاح سطح کربن فعال و افزایش کارآیی جذب آن استفاده شده‌است.

مواد و روش‌ها

مواد

کربن فعال تجاری ایرانی استفاده شده در این پژوهش متعلق به شرکت کربن فعال پارس رفسنجان است و از نوع گرانولی (GAC) با عدد یدی ۷۵۰ بوده و تهیه شده از پوسته گردو است. به‌منظور اصلاح سطح کربن فعال توسط فلز آهن از نمک نیترات آهن $(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3)$ شرکت قطران شیمی استفاده شده‌است. جهت ساخت سوخت مدل از دی‌بنزوتیوفن شرکت مرک آلمان به عنوان ترکیب گوگردی و نرمال هگزان شرکت دکتر مجللی به‌عنوان حلال استفاده شده‌است.

آماده‌سازی جاذب‌ها

پیش از استفاده از تمامی جاذب‌ها، آن‌ها توسط آب مقطر شسته شده‌اند، با فیلتر خلأ جدا شده‌اند و پس از خشک شدن در آن در دمای 110°C به مدت زمان یک شب؛ تا زمان استفاده جهت جلوگیری از جذب رطوبت هوا داخل دسیکاتور قرار گرفته‌اند.

جهت بارگذاری فلز آهن بر کربن فعال از نمک نیترات آهن با روش تلقیح استفاده شده است. در این روش، در ابتدا ۰/۴gr نیترات آهن داخل ۱۰mL آب مقطر حل شده است. سپس مقدار ۱gr کربن فعال داخل بشر حاوی محلول نیترات آهن ریخته شده و به مدت یک شب روی همزن مغناطیسی در دمای محیط باهم در تماس قرار گرفته‌اند. سپس توسط فیلتر خلأ، کربن فعال از محلول جدا شده و به مدت پنج ساعت داخل آون در دمای ۱۲۰°C خشک شده است. پس از آن کربن فعال جهت کلسینه شدن در دمای ۵۵۰°C داخل کوره در حضور جریان گاز نیتروژن قرار گرفته است. نرخ بالا رفتن دمای کوره در محدوده ۵ الی ۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بوده و زمان ماند نمونه در دمای موردنظر دو ساعت است، همچنین نرخ جریان گاز نیتروژن ۱۰۰mL/min است. این کربن فعال پس از پایان فرآیند اصلاح به نام Fe/GAC نام‌گذاری شده است. در شکل ۱ شمای کلی فرآیند بارگذاری آهن بر سطح کربن فعال مشاهده می‌شود.

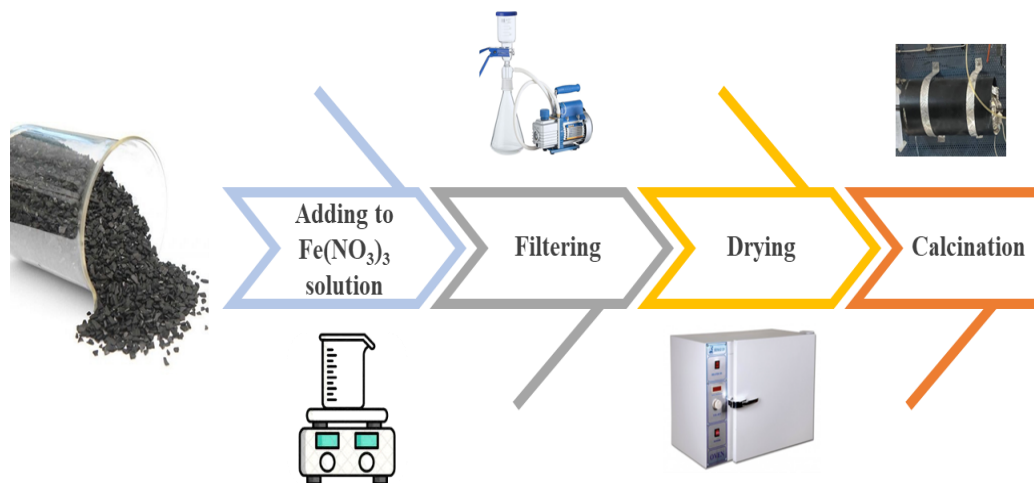


Figure 1- Schematic of Fe impregnation on AC
شکل ۱- شمای کلی بارگذاری فلز آهن بر کربن فعال

تعیین مشخصات جاذب‌ها

جهت بررسی کیفی گروه‌های عاملی حاضر بر سطح کربن فعال‌ها قبل و پس از اصلاح از آنالیز طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FT-IR) توسط دستگاه طیف‌سنج PerkinElmer در محدوده‌ی عدد موجی $4000-400\text{ cm}^{-1}$ استفاده شده است. برای بررسی درصد فلز بارگذاری شده بر جاذب‌ها از آنالیز طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس (XRF) توسط دستگاه شرکت Philips مدل PW2404 ساخت کشور هلند استفاده شده است.

آماده‌سازی سوخت مدل

برای انجام گوگردزایی جذبی، از سوخت مدل با غلظت ۲۰۰ppm گوگرد استفاده شده است. جهت آماده‌سازی این سوخت ۰/۰۴gr دی‌بنزوتیوفن در ۲۰mL نرمال هگزان حل شده است.

آزمایش‌های گوگردزایی جذبی

جهت انجام آزمایش‌های جذب، ۰/۰۱gr از جاذب‌ها به ظروف حاوی سوخت مدل اضافه شده است و عملیات جذب توسط همزن مغناطیسی در دمای محیط و مدت زمان‌های ۱۰، ۱۲۰، ۲۴۰ دقیقه و یک روز انجام شده است. از آنجایی که نرمال

هگزان به شدت فرار است آزمایش‌ها باید در ظروف درب‌دار محکم انجام شوند و جهت اطمینان از تبخیر نشدن حلال تمامی نمونه‌ها قبل و بعد از انجام آزمایش توزین شده و حجم آن‌ها اندازه‌گیری شده است.

برای اندازه‌گیری مقدار دی‌بنزوتیوفن باقی‌مانده در سوخت پس از آزمایش جذب، از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Optizen 3220UV از شرکت Mecasys استفاده شده است. طول موجی که بیشترین جذب نور فرابنفش توسط محلول در آن رخ دهد طول موج شاهد است؛ دی‌بنزوتیوفن در طول موج حدود ۲۸۶nm توسط این دستگاه قابل شناسایی است.

ظرفیت جذب جاذب و درصد جذب

ظرفیت جذب جاذب که نشان‌دهنده‌ی عملکرد و توانایی جاذب در جذب، جذب شونده است از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$q = \frac{(C_0 - C_t)V}{M} \quad (1)$$

و درصد جذب که نشان‌دهنده‌ی بازده فرآیند جذب است طبق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Removal}(\%) = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

در روابط بالا C_t و C_0 به ترتیب غلظت اولیه و غلظت نهایی می‌باشند و واحد آن‌ها mg/L است، V و M به ترتیب حجم محلول بر حسب L و جرم جاذب بر حسب g adsorbent و q ظرفیت جذب بر حسب mg/g adsorbent می‌باشند.

نتایج و بحث

تعیین مشخصات جاذب‌ها - آنالیز FT-IR

در شکل ۲ نمودارهای طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز جاذب‌های GAC و Fe/GAC قابل مشاهده هستند. پیک‌های تیز مشخص شده در نمونه‌ها در محدوده‌ی طول موج $3600-3700 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاشات کششی باند O-H می‌باشند که می‌توانند نشان‌دهنده‌ی حضور گروه‌های عاملی هیدروکسیل یا کربوکسیل بر سطح نمونه‌ها باشند [۱، ۲۰].

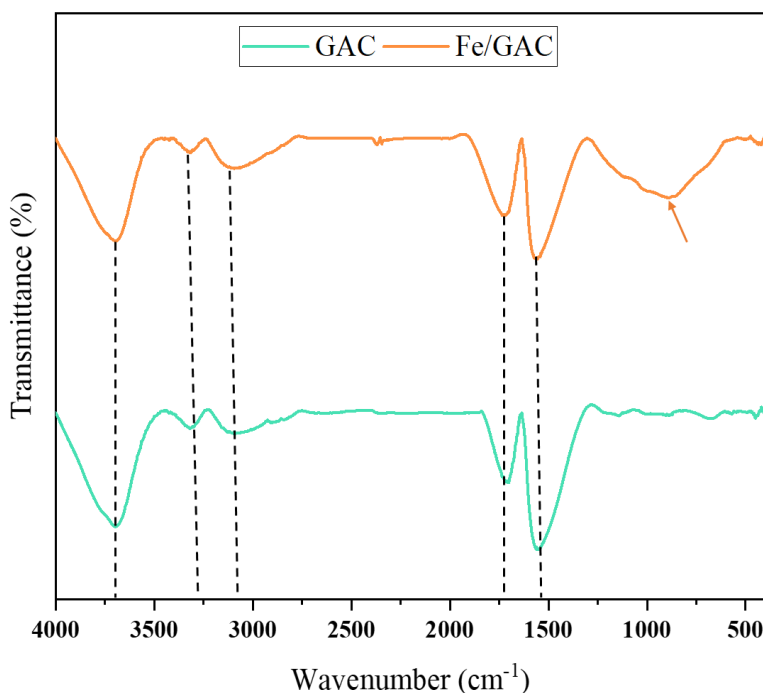


Figure 2- FT-IR curves of GAC and Fe/GAC adsorbents
شکل ۲- نمودارهای FT-IR جاذب‌های GAC و Fe/GAC

پیک‌های مشخص شده برای نمونه‌ها در محدوده‌ی طول موج $3300-3090\text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاشات کششی باند C-H در گروه‌های آلیفاتیک CH، CH₂ و CH₃ می‌باشند [۲۱]. پیک‌های تیز در محدوده‌ی طول موج‌های 1700 cm^{-1} و 1550 cm^{-1} به ترتیب مربوط به ارتعاشات کششی باند C=O در گروه عاملی کربوکسیل و ارتعاشات پیوند دوگانه‌ی C=C در ساختار حلقه‌ی آروماتیک می‌باشند [۲۰، ۲۱]. در نمودار مربوط به نمونه‌ی آهن‌گذاری شده پیک پهنی در محدوده‌ی طول موج 1000 cm^{-1} دیده می‌شود که مربوط به ارتعاشات کششی Fe-O است و نشان از حضور آهن بر سطح این جاذب دارد [۱].

تعیین مشخصات جاذب‌ها - آنالیز XRF

در جدول ۱ درصد حضور فلز آهن بر سطح کربن فعال قبل و پس از آهن‌گذاری طبق نتیجه آنالیز XRF آمده است و می‌توان تفاوت مقادیر آهن موجود بر کربن فعال را قبل و پس از انجام فرآیند اصلاح باهم مقایسه کرد.

جدول ۱- درصد حضور آهن بر سطح جاذب‌ها

Table 1- Fe percentage on the surface of adsorbents

Sample name	Fe percentage (%)
GAC	0.1
Fe/GAC	1

همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار آهن حاضر بر سطح کربن فعال پس از انجام آهن‌گذاری به روش تلقیح افزایش یافته بارگذاری فلز آهن با موفقیت انجام شده است.

گوگردزدایی جذبی سوخت مدل

در شکل ۳ تأثیر زمان عملیات جذب بر میزان جذب دی‌بنزوتیوفن از سوخت مدل با غلظت اولیه ۲۰۰ ppm مشاهده می‌شود. از نتایج پیداست که فرآیند جذب در زمان‌های کوتاه اولیه به سرعت اتفاق می‌افتد و پس از آن سرعت فرآیند کند می‌شود و بیشترین مقدار دی‌بنزوتیوفن در همان زمان‌های اولیه جذب می‌شود.

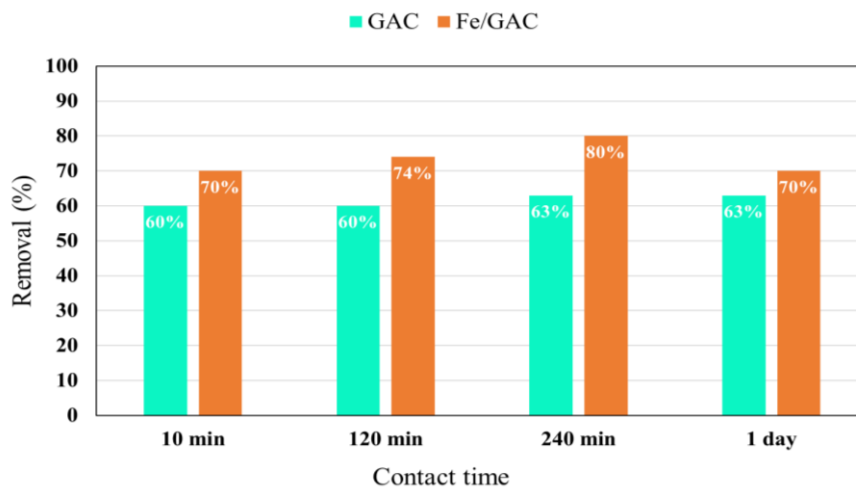


Figure 3- Effect of contact time for DBT adsorption from model fuel

شکل ۳- تأثیر زمان عملیات جذب بر میزان جذب دی‌بنزوتیوفن از سوخت مدل

از این شکل می‌توان تفاوت کارایی کربن فعال قبل و پس از اصلاح توسط فلز آهن را نیز مشاهده کرد. در یک بررسی کلی مشخص است که بارگذاری فلز آهن بر سطح کربن فعال، کارایی جذب آن را افزایش داده و در ۲۴۰ min انجام فرآیند جذب، ۰/۱ gr از جاذب Fe/GAC بهترین عملکرد خود را داشته و به میزان ۸۰٪ دی‌بنزوتیوفن را از سوخت مدل با غلظت اولیه ۲۰۰ ppm حذف کرده است و نسبت به کربن فعال اصلاح نشده ۱۷٪ عملکرد جذب بیشتری برای دی‌بنزوتیوفن دارد. در این شرایط ظرفیت جذب جاذب‌های Fe/GAC و GAC به ترتیب ۳۲۰ mg/g adsorbent و ۲۵۰ mg/g adsorbent است. با توجه به نتایج آنالیز FT-IR و حضور گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار بر سطح جاذب‌ها کارایی خوب کربن فعال در حذف دی‌بنزوتیوفن از سوخت مدل قابل توجیه است. همچنین با توجه به اثبات بارگذاری آهن بر سطح کربن فعال طبق نتایج هر دو آنالیز FT-IR و XRF، می‌توان گفت که فرآیند جذب انجام شده توسط جاذب Fe/GAC ترکیبی از جذب فیزیکی و شیمیایی است و آهن‌گذاری بر سطح کربن فعال کارایی جذب دی‌بنزوتیوفن آن را به دلیل تشکیل کمپلکس π و اتفاق افتادن برهم-کنش مستقیم گوگرد-فلز افزایش داده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، برای اولین بار از کربن فعال گرانولی تجاری موجود در ایران جهت گوگردزایی جذبی از سوخت مدل استفاده شد و به منظور افزایش کارایی جذب کربن فعال، فرآیند اصلاح سطح، توسط بارگذاری فلز آهن با روش تلقیح، بر سطح آن، انجام شد.

نتایج مهم به دست آمده از این پژوهش به شرح زیر می‌باشند:

- فرآیند جذب دی‌بنزوتیوفن فرآیندی سریع است و بیشترین مقدار دی‌بنزوتیوفن در زمان‌های اولیه جذب می‌شود و پس از آن سرعت فرآیند کند می‌شود.
 - بارگذاری فلز آهن بر سطح کربن فعال، با موفقیت، کارایی جذب آن را افزایش داده و این جاذب به میزان ۸۰٪ دی-بنزوتیوفن را از سوخت مدل حذف کرده است و نسبت به کربن فعال اصلاح نشده ۱۷٪ عملکرد جذب بیشتری برای دی‌بنزوتیوفن دارد و ظرفیت جذب جاذب‌های Fe/GAC و GAC به ترتیب ۳۲۰ mg/g و ۲۵۰ mg/g adsorbent است.
 - به دلیل بارگذاری فلز آهن بر سطح کربن فعال، فرآیند جذب انجام شده توسط جاذب Fe/GAC ترکیبی از جذب فیزیکی و شیمیایی است و آهن‌گذاری بر سطح کربن فعال کارایی جذب دی‌بنزوتیوفن آن را به دلیل تشکیل کمپلکس π و اتفاق افتادن برهم‌کنش مستقیم گوگرد-فلز افزایش داده است.
- براساس این نتایج مشخص است که کربن فعال گرانولی تجاری اصلاح شده توسط فلز آهن کارایی مناسبی جهت جذب دی‌بنزوتیوفن دارد.

منابع

- [1] I. S. Ali, O. Y. T. Al-Janabi, E. T. Al-Tikrity, and P. J. Foot, "Adsorptive desulfurization of model and real fuel via wire-, rod-, and flower-like Fe₃O₄@ MnO₂@ activated carbon made from palm kernel shells as newly designed magnetic nanoadsorbents," *Fuel*, vol. 340, p. 127523, May 2023.
- [2] S. Watanabe, X. Ma, and C. Song, "Adsorptive desulfurization of jet fuels over TiO₂-CeO₂ mixed oxides: role of surface Ti and Ce cations," *Catalysis Today*, vol. 371, pp. 265-275, July 2021.
- [3] A. Haruna, Z. M. A. Merican, S. G. Musa, and S. Abubakar, "Sulfur removal technologies from fuel oil for safe and sustainable environment," *Fuel*, vol. 329, p. 125370, December 2022.
- [4] R. A. Omar and N. Verma, "Review of Adsorptive Desulfurization of Liquid Fuels and Regeneration Attempts," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 61, no. 25, pp. 8595-8606, June 2022.
- [5] X. Ren, Z. Liu, L. Dong, G. Miao, N. Liao, Z. Li and J. Xiao, "Dynamic catalytic adsorptive desulfurization of real diesel over ultra-stable and low-cost silica gel-supported TiO₂," *AIChE Journal*, vol. 64, no. 6, pp. 2146-2159, June 2018.

- [6] B. D. Radhi and W. T. Mohammed, "TiO₂ loading on activated carbon: preparation, characterization, desulfurization performance and isotherm of the adsorption of dibenzothiophene from model fuel," *Egyptian Journal of Chemistry*, vol. 66, no. 7, pp. 428-437, July 2023.
- [7] A. E. S. Choi, S. Roces, N. Dugos, and M.-W. Wan, "Adsorption of benzothiophene sulfone over clay mineral adsorbents in the frame of oxidative desulfurization," *Fuel*, vol. 205, pp. 153-160, October 2017.
- [8] E. Karakhanov, A. Akopyan, O. Golubev, A. Anisimov, A. Glotov, A. Vutolkina and A. Maximov, "Alkali earth catalysts based on mesoporous MCM-41 and Al-SBA-15 for sulfone removal from middle distillates," *ACS omega*, vol. 4, no. 7, pp. 12736-12744, July 2019.
- [9] M. Chen, J. Cui, Y. Wang, C. Wang, Y. Li, C. Fan, M. Tian, M. Xu and W. Yang, "Amine modified nano-sized hierarchical hollow system for highly effective and stable oxidative-adsorptive desulfurization," *Fuel*, vol. 266, p. 116960, April 2020.
- [10] M. Yaseen, S. Ullah, W. Ahmad, S. Subhan, and F. Subhan, "Fabrication of Zn and Mn loaded activated carbon derived from corn cobs for the adsorptive desulfurization of model and real fuel oils," *Fuel*, vol. 284, p. 119102, January 2021.
- [11] B. Saha, S. Vedachalam, and A. K. Dalai, "Review on recent advances in adsorptive desulfurization," *Fuel Processing Technology*, vol. 214, p. 106685, April 2021.
- [12] M. O. Azeez and S. A. Ganiyu, "Review of biomass derived-activated carbon for production of clean fuels by adsorptive desulfurization: Insights into processes, modifications, properties, and performances," *Arabian Journal of Chemistry*, p. 105182, July 2023.
- [13] G. I. Danmaliki and T. A. Saleh, "Effects of bimetallic Ce/Fe nanoparticles on the desulfurization of thiophenes using activated carbon," *Chemical engineering journal*, vol. 307, pp. 914-927, January 2017.
- [14] S. S. Shakir, N. Jassim, and S. Dakhil, "Desulfurization of Fuel by Activated Carbon Prepared from Trees Residues," *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, vol. 44, no. 4, pp. 110-122, March 2021.
- [15] E. S. Moosavi, R. Karimzadeh, and S. Dastgheib, "Adsorption of dibenzothiophene by copper-and copper oxide-impregnated activated carbon fibers," *7th International Chemical Engineering Congress & Exhibition, Kish, Iran, 21-24 November, 2011*.
- [16] E. S. Moosavi, S. A. Dastgheib, and R. Karimzadeh, "Adsorption of thiophenic compounds from model diesel fuel using copper and nickel impregnated activated carbons," *Energies*, vol. 5, no. 10, pp. 4233-4250, October 2012.
- [17] S. K. Thaligari, V. C. Srivastava, and B. Prasad, "Adsorptive desulfurization by zinc-impregnated activated carbon: characterization, kinetics, isotherms, and thermodynamic modeling," *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 18, pp. 1021-1030, April 2016.
- [18] J. Xiao, Z. Li, B. Liu, Q. Xia, and M. Yu, "Adsorption of benzothiophene and dibenzothiophene on ion-impregnated activated carbons and ion-exchanged Y zeolites," *Energy & Fuels*, vol. 22, no. 6, pp. 3858-3863, November 2008.
- [19] T. A. Saleh, K. O. Sulaiman, S. A. Al-Hammadi, H. Dafalla, and G. I. Danmaliki, "Adsorptive desulfurization of thiophene, benzothiophene and dibenzothiophene over activated carbon manganese oxide nanocomposite: with column system evaluation," *Journal of cleaner production*, vol. 154, pp. 401-412, June 2017.
- [20] E. Moosavi, D. Hajian, and R. Karimzadeh, "Adsorption Kinetics and Equilibrium of Model Fuel Desulfurization by Activated Carbon Synthesized from Rose Damascena Waste," *Fuel and Combustion*, vol. 14, no. 4, pp. 19-36, February 2022. (in Persian)
- [21] T. A. Saleh and G. I. Danmaliki, "Influence of acidic and basic treatments of activated carbon derived from waste rubber tires on adsorptive desulfurization of thiophenes," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol. 60, pp. 460-468, March 2016.

English Abstract

Modification of Commercial Activated Carbon for Adsorptive Desulfurization of Dibenzothiophene from Model Fuel

Sadaf Jalilian¹, Ramin Karimzadeh^{2*}

1- Department of Chemical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, sadafjalilian@modares.ac.ir

2- Department of Chemical Engineering, TarbiatModares University, Tehran, Iran, ramin@modares.ac.ir

*Corresponding author

(Received: 2023/12/30, Received in revised form: 2024/04/24, Accepted: 2024/06/12)

Commercial activated carbon available in Iran has been used for adsorptive desulfurization from model fuel, and in order to increase its adsorption efficiency, surface modification has been done by Fe impregnation on its surface. The Fe loading on activated carbon surface has successfully increased the adsorption efficiency due to the formation of π complex and direct sulfur-metal interaction, and this adsorbent removed 80% of dibenzothiophene from model fuel, in comparison with unmodified activated carbon has 17% more adsorption performance for dibenzothiophene. Also, adsorption capacity of Fe/GAC and GAC adsorbents are 320mg/g adsorbent and 250mg/g adsorbent, respectively.

Keywords: Commercial activated carbon, Fe loading, Adsorptive desulfurization, Dibenzothiophene, Model fuel