

## تهیه و شناسایی آهن (III) فتالوسیانیل کلرید به منظور به کارگیری آن در گوگردزدایی از سوخت جت JP4 در مقایسه با پودر نیکل

علی افتخاری<sup>۱</sup>، رضا اسکندری صدیقی<sup>۲</sup>، وحید پیروزفر<sup>۳\*</sup> و افشار علی حسینی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی شیمی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. عضو هیات علمی مرکز مطالعات راهبردی و پژوهش‌های نظری نهجا، دانشگاه هوایی شهید ستاری، تهران، ایران
۳. استادیار گروه مهندسی شیمی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

دریافت: مرداد ۱۳۹۸، بازنگری: مهر ۱۳۹۸، پذیرش: مهر ۱۳۹۸

**چکیده:** در این پژوهش، نانوترکیب  $C_{32}H_{16}ClFeN_8$  با استفاده از پیش‌ماده‌های آهن (III) کلرید، اوره و فتالیک انیدرید به منظور گوگردزدایی از سوخت جت JP4 تهیه شد. همچنین، از پودر نیکل در فرایندی جداگانه استفاده شد و گوگردزدایی آن با آلیاژ نیکل رانی و نانوترکیب تهیه‌شده مقایسه شد. میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) برای ریخت‌شناسی ذره‌ها، آزمون BET برای تعیین سطح و تخلخل ذره‌ها، طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR) برای شناسایی ترکیب‌های آلی و گروه‌های عاملی آن‌ها، پراش پرتو ایکس (XRD) برای بررسی فازهای بلوری نمونه‌ها و طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS) برای تجزیه عنصری نمونه‌ها به کار گرفته شد. بررسی گوگردزدایی سوخت جت در حضور نانوترکیب  $C_{32}H_{16}ClFeN_8$  در شرایط دمایی ۲۵ تا ۳۵ °C و فشار اتمسفری در دستگاه حمام فراصوت با بسامدهای اعمالی ۱۰۰ تا ۴۰۰ Hz انجام شد. نتایج به دست آمده نشان داد که نانو ترکیب تهیه شده با توجه ایمن‌تر بودن آن در گوگرد زدایی، قابل رقابت با پودر نیکل است.

**واژه‌های کلیدی:** فتالوسیانیل، پودر نیکل، نانوترکیب، گوگردزدایی، سوخت جت JP4

### مقدمه

موجود در ساختار آن‌ها است. فتالوسیانیل‌ها با توجه به اتمی که در میان حلقه‌های بنزنی قرار گرفته است، گروه‌بندی می‌شوند. اگر دو اتم هیدروژن در میان حلقه‌های بنزنی قرار گرفته باشد؛ فتالوسیانیل را عاری از فلز می‌نامند. اگر اتمی از فلزی خاص در

فتالوسیانیل<sup>۱</sup>ها مولکول‌های آلی بزرگی هستند که با ویژگی‌های مانند تقارن بالا، در صفحه بودن و در محل نبودن الکترون مشخص می‌شوند و همه این ویژگی‌ها به دلیل الکترون‌های پیوندهای  $\pi$

1. Phthalocyanine

گازی فاز ۴ و ۵ پارس جنوبی با یکدیگر مقایسه و بررسی شده است. پژوهش پیش‌رو، گوگردزدایی پودر نیکل خالص از سوخت جت JP4 را مورد بررسی قرار داده است. نیکل و نیکل رانی از سازوکار مشترک جذب شیمیایی در گوگردزدایی پیروی می‌کنند ولی فعالیت آن‌ها در گوگردزدایی متفاوت است که ناشی از تفاوت ریخت آن‌ها است. این تفاوت با تصویرهای میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نمونه‌ها قابل بررسی است.

همچنین، روش مرکاپتان‌زدایی به کمک محلول سود سوزآور و کاتالیست کبالت مولیبدن فتالوسیانین (فناوری DMD)<sup>۱</sup>، یک روش نوین صنعتی شیرین‌سازی برش‌های نفتی است. فناوری DMD توسط پژوهشگاه صنعت نفت در ایران توسعه یافته است [۱۰]. در این فرایند هیدروژن سولفید به وسیله شست‌وشو با محلول سود سوزآور رقیق از برش نفتی جدا می‌شود. سپس، ترکیب‌های سبک مرکاپتان (C<sub>۱</sub>-C<sub>۳</sub>) با محلول سدیم هیدروکسید در حضور یک کاتالیست تجاری از سامانه جدا می‌شوند و مرکاپتان‌های سنگین (C<sub>۴</sub><sup>+</sup>) با اکسایش در حضور یک کاتالیست تجاری دیگر به دی‌سولفید تبدیل می‌شوند. در واقع برحسب نوع خوراک، از فرایندهای متفاوت DMD، برای جداسازی ترکیبات گوگردی از برش‌های نفتی استفاده می‌شود [۱۱ و ۱۲].

با توجه به بررسی‌های گفته شده در بالا، در این پژوهش سعی شد افزون بر به‌کارگیری پودر نیکل خالص و بررسی تفاوت‌های آن با آلیاژ نیکل رانی در گوگردزدایی، از ترکیبی موثر با پیش‌ماده‌های آهن (III) کلرید، اوره و فتالیک انیدرید نیز استفاده شود که مزیت اصلی آن نسبت به پودر نیکل یا آلیاژ آن و کاتالیست فناوری DMD، ایمنی استفاده و جداسازی آسان و هزینه‌های پایین عملیاتی است. هر چند که قابلیت جذب گوگرد کمتری را دارد.

### بخش تجربی

در جدول ۱، ویژگی شیمیایی سوخت جت JP4 مانند نقطه‌های جوش، انجماد، اشتعال<sup>۲</sup> (پایین‌ترین دمایی که در آن از ماده بخار قابل سوختن منتشر می‌شود) و ... آورده شده است [۱۳].

میان حلقه‌های بنزنی نشانده شود، به آن ترکیب فتالوسیانین فلزی می‌گویند و اگر به جای اتم‌های هیدروژن یک اتم فلزی و یک اتم گروه هالوژنه نشانده شود؛ ترکیب به‌دست آمده فتالوسیانین هالوژن‌دار نامیده می‌شود [۱].

فتالیک اسید، فتالیک انیدرید و یا فتالیمید<sup>۱</sup> به‌همراه اوره بیشتر به‌جای فتالونیتریل (ماده اولیه رایج برای تولید فتالوسیانین) و کاتالیست‌هایی همانند آمونیم مولیبدات می‌تواند برای تولید فتالوسیانین‌های فلزی به روش وایلر<sup>۲</sup> استفاده شود. در واقع بیشتر فرایندهای ارزان برپایه این ترکیب‌ها هستند؛ به‌ویژه فتالیک انیدریدها که به‌عنوان مواد آغازین در مقایسه با فتالونیتریل‌ها به مراتب ارزان‌تر هستند [۲ تا ۴]. کانی‌های نیکل به دو صورت سولفید و اکسید هستند که کانی سولفید دو سوم مصرف جهان را شامل می‌شود. میل شدید نیکل به قراردادن اوربیتال‌های خالی خود در اختیار گوگرد که نسبت به آن الکترون‌کشان‌تر است، موجب این رویکرد شده است. به‌دلیل همین ویژگی، از نیکل و آلیاژهای آن، به‌ویژه آلیاژ نیکل-آلومینیم که به نیکل رانی<sup>۳</sup> شناخته می‌شود، در گوگردزدایی از فرآورده‌های نفتی استفاده می‌شود [۵]. این آلیاژ با حل کردن نیکل در آلومینیم مذاب و سپس، خنک‌کردن آن تهیه می‌شود. به‌کارگیری نیکل در مقیاس صنعتی افزون‌بر گوگردزدایی بالا و مزایای بسیار آن، معایبی نیز دارد که می‌توان به واکنش‌پذیری بالای آن و خطر انفجار واحدهای صنعتی اشاره کرد. از سوی دیگر، چون اندازه ذره‌های آن و NiS جدا شده در حد ppm بوده و از کوچک‌ترین صافی‌ها عبور خواهند کرد و نیز با توجه به ویژگی پارامغناطیسی پودر تیکل، به‌کارگیری واکنشگاه‌های فلزی با بدنه مغناطیسی به منظور جداسازی Ni واکنش نداده و NiS موردنیاز است [۶ تا ۸].

در پژوهشی مشابه با پژوهش پیش‌رو، بررسی جذب شیمیایی ترکیب‌های گوگردی با کاتالیست نیکل رانی برای کاهش گوگرد کل، از میعانات گازی [۹] انجام شده است. در پژوهش یادشده، با تهیه آلیاژ نیکل رانی با ترکیب نسبی ۵۰ درصد وزنی نیکل، از سه شرکت متفاوت، بازدهی آن‌ها در گوگردزدایی از میعانات

1. Phthalimide 2. Wyler method 3. Electronegative 4. Raney nickel 5. DeMercaptanization of Distillate (DMD) 6. Flash point

۵۰۰ میلی‌مول اوره و ۱۰ میلی‌مول آهن (III) را داخل یک واکنشگاه ۵۰۰ میلی‌لیتری مجهز به همزن مکانیکی و دماسنج ریخته و ۰/۱ گرم آمونیم مولیدات به آن افزوده شد. سپس، ۱۵۰ میلی‌لیتر تری‌کلروبنزن به مخلوط واکنش افزوده و مخلوط در دمای °C ۲۱۰ به مدت ۵ ساعت گرمادهی شد. در پایان واکنش، جامد به‌دست آمده با سولفوریک اسید خالص‌سازی شد. به کمک طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR) (شکل ۳)، طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS) و تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی، ماهیت این ترکیب شناسایی و ساختار آن مورد تایید قرار گرفت.

### نتیجه‌ها و بحث

#### تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی

ریخت‌شناسی ترکیب تهیه‌شده با تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه انجام شد. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، فراورده از ذره‌های با شکل‌های متفاوت تشکیل شده است.

#### الگوی پراش پرتو ایکس و تعیین اندازه ذره‌های بلوری

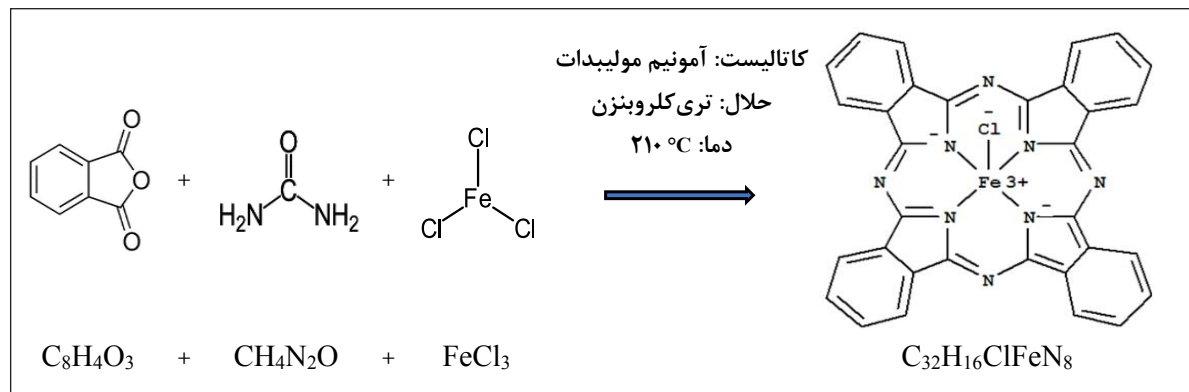
الگوی پراش پرتو ایکس آهن (III) فتالوسیانین کلرید در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به این الگو و معادله دبابی شرر<sup>۲</sup> و نرم افزار XPert High score، میانگین اندازه ذره‌های بلوری در

جدول ۱ ویژگی‌های شیمیایی سوخت جت JP4

| فرمول تقریبی              | C <sub>85</sub> H <sub>17</sub> | دمای نقطه بحرانی (°F)   | ۶۲۰ |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|-----|
| نسبت H/C                  | ۲/۰۰                            | فشار نقطه بحرانی (psia) | ۴۵۰ |
| گستره نقطه جوش (°F)       | ۱۴۰ - ۴۶۰                       | درصد حجمی آروماتیک‌ها   | ۱۰  |
| گستره نقطه انجماد (°F)    | -۸۰                             | درصد حجمی نفتن‌ها       | ۲۹  |
| نقطه اشتعال (°F)          | -۱۰                             | درصد حجمی پارافین‌ها    | ۵۹  |
| ارزش گرمایی خالص (BTU/lb) | ۱۸,۷۰۰                          | درصد حجمی آلفین‌ها      | ۲   |
| وزن مخصوص (۶۰ °F)         | ۰,۷۶                            | گوگرد (ppm)             | ۳۷۰ |

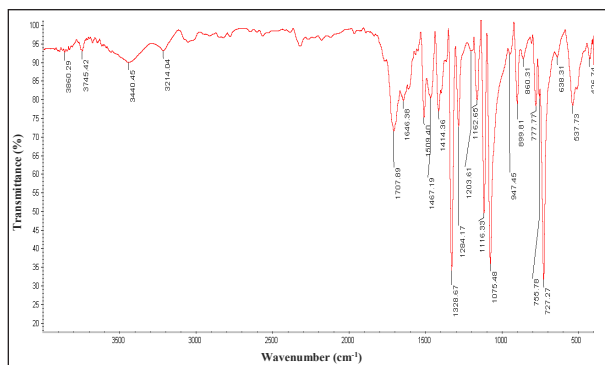
#### واکنش تشکیل آهن (III) فتالوسیانین کلرید

در این پژوهش، تولید آهن (III) فتالوسیانین کلرید که می‌تواند به‌عنوان جاذب گوگرد برای سوخت جت JP4 به‌کار گرفته شود، براساس روش وایلر، انجام شد. از آهن (III) کلرید به‌عنوان نمک فلزی استفاده شد. ابتدا، ۵۰ میلی‌مول فتالیک انیدرید،



1. Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) 2. Debye Scherrer

حدود ۴۵/۹ nm به دست آمد که در مقیاس نانو است.



شکل ۳ طیف فروسرخ تبدیل فوریه آهن (III) فتالوسیانین کلرید

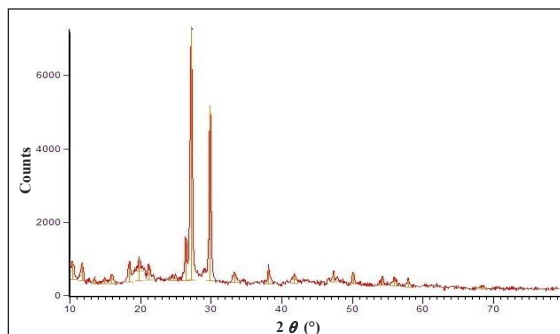
ترکیب تهیه شده، مشکی رنگ است و با آزمون طیف‌سنجی جذب اتمی، ۸/۹٪ وزنی آهن در نمونه تهیه شده، تعیین شد که تفاوت و خطای ناچیزی با ۹/۲٪ وزنی آهن که از فرمول شیمیایی و جرم اتمی نانوترکیب به دست می‌آید، دارد. با توجه به طیف فروسرخ تبدیل فوریه و همخوانی آن با پیوندهای ساختار آهن (III) فتالوسیانین کلرید و درصد وزنی آهن به دست آمده، می‌توان ادعا کرد که ترکیب مورد نظر در این پژوهش تهیه شده است.

### آزمون BET

شکل ۵ هم‌دما جذب-وا جذب نیتروژن نانوترکیب تهیه شده را نشان می‌دهد. برپایه طبقه‌بندی آیوپاک، این نمودار، هم‌دما نوع چهارم را نشان می‌دهد که نمایانگر حضور حفره‌های به خوبی نظم‌یافته، در نمونه‌ها است. همچنین، حضور حلقه پسماند، نشان‌دهنده حضور تخلخل مزو در ماده است. جدول ۲، ویژگی‌های فیزیکی نمونه آهن (III) فتالوسیانین کلرید تهیه شده را که با آزمون BET و نمودار BJH تعیین شده‌اند، نشان می‌دهد. با توجه به داده‌های به دست آمده از آزمون BET، مساحت سطح تقریبی، حجم تخلخل و میانگین قطر حفره نمونه‌های تهیه شده به ترتیب ۳ مترمربع بر گرم، ۰/۰۹۱ سانتی‌مترمکعب بر گرم و ۱۴/۲۱۵ نانومتر است. شکل ۶ توزیع اندازه قطر حفره‌ها نسبت به اندازه حجم تخلخل ترکیب تهیه شده (نمودار BJH) را نشان می‌دهد. این نمودار برای نمونه تهیه شده، توزیع پهن اندازه قطر حفره‌ها را در گستره ۱ تا ۱۰۰ نانومتر نشان می‌دهد که



شکل ۱ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی آهن (III) فتالوسیانین کلرید



شکل ۲ الگوی پراش پرتو ایکس آهن (III) فتالوسیانین کلرید

### طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه

طیف فروسرخ تبدیل فوریه آهن (III) فتالوسیانین کلرید در شکل ۳ نشان داده شده است. جذب موجود در  $3340.45 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به پیوندهای بین مولکولی هیدروژن و NH آزاد و جذب در  $3214.04 \text{ cm}^{-1}$  مرتبط به پیوند NH است و نوار موجود در  $1509.40 \text{ cm}^{-1}$  ناشی از پیوند C=C در حلقه‌های آروماتیک است. همچنین، پیوندهای مربوط به C-H در  $\text{CH}_3$  با  $1467.19 \text{ cm}^{-1}$  و C-H در  $\text{CH}_2$  با  $1414.36 \text{ cm}^{-1}$  نشان داده شده است.

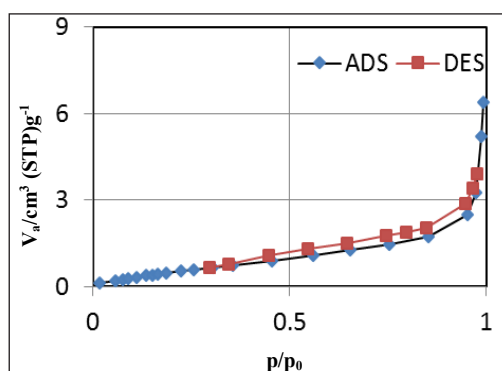
جدول ۲ نتایج به دست آمده از آزمون BET برای نمونه تهیه شده

|                     |  |
|---------------------|--|
| $V_m$               | $0.5886 \text{ cm}^3(\text{STP}) \text{ g}^{-1}$ |
| مساحت سطح           | $3 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$                     |
| میانگین قطر حفره‌ها | $14.215 \text{ nm}$                              |

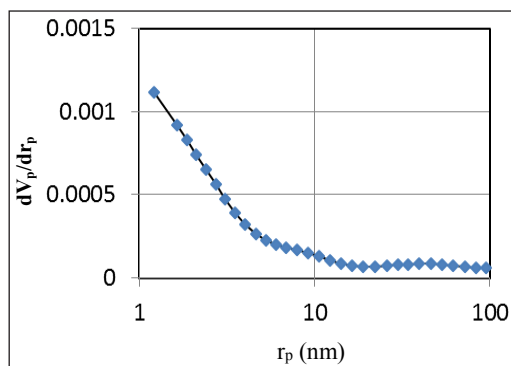
شرح فرایند گوگردزدایی طراحی شده از سوخت جت JP4

نمونه سوخت جت JP4 از شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران برای اندازه‌گیری مقدار گوگرد، دریافت و مورد آزمون قرار گرفت. نتیجه این آزمون که با دستگاه آنالیتیک جنا انجام شد، نشان‌دهنده ۲۷ ppm گوگرد در این نمونه بود. در ادامه، ۲ میلی‌لیتر از سوخت با ۰٫۱ گرم نانوترکیب در شیشه نمونه مخلوط شد و به مدت ۳۰ دقیقه در چهار نوبت جداگانه با بسامدهای ۴۰۰ Hz، ۳۰۰ Hz، ۲۰۰ Hz و ۱۰۰ Hz در داخل حمام فراصوت قرار گرفت. در این مدت دمای حمام در گستره ۲۵ تا ۳۵ °C قرار داده شد تا فرایند گوگردزدایی عملیاتی‌تر باشد. همچنین، در فرایندی جداگانه از مقدار مازاد ۱ گرم پودر نیکل ۹۹٫۵٪ برای به صفر رساندن گوگرد نمونه استفاده شد (با محاسبات ساده استوکیومتری مشخص می‌شود که برای به صفر رساندن گوگرد ۱۰ میلی‌لیتر از این نمونه، ۰٫۱۶ گرم پودر نیکل نیاز است). ۱ گرم از پودر نیکل در ۱۰ میلی‌لیتر از سوخت ترکیب و به مدت ۲۰ دقیقه تا دمای ۸۰ °C گرمادهی شد. در طول این زمان، به دلیل فعالیت بالای پودر نیکل و احتمال آتش‌گرفتن آن، دمای داخل شیشه حاوی نمونه به طور پیوسته کنترل می‌شد. در پایان، پس از عبور هر پنج نمونه از صافی مقاوم به حلال (با منافذ  $0.22 \mu\text{m}$ )، دوباره مقدار گوگرد آن‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج گوگردزدایی در جدول ۳ قابل مشاهده است. برپایه این جدول، بالاترین بسامد اعمالی فراصوت، بیشترین گوگردزدایی را داشته است. از این رو، برای به دست آوردن دما و مدت بهینه در این بسامد عمل شد.

حضور درصد بالایی از حفره‌های مزو و درصد کمی حفره‌های میکرو و ماکرو را در این نمونه تصدیق می‌کند. این شکل نمودار تغییر حجم تخلخل نسبت به تغییر قطر حفره‌ها را نشان می‌دهد. با افزایش اندازه قطر حفره‌های ذره‌ها، اندازه حجم تخلخل جاذب کمتر شده است. زمانی که قطر حفره‌ها تا حدود ۲۰ نانومتر افزایش می‌یابد، کمترین اندازه حجم تخلخل مشاهده می‌شود. با افزایش قطر حفره‌ها در گستره ۲۰ تا ۴۰ نانومتر، اندازه حجم تخلخل کمی زیاد می‌شود. سپس، با افزایش قطر حفره‌ها در گستره ۴۰ تا ۱۰۰ نانومتر، اندازه حجم تخلخل با شیب خیلی کمی کاهش می‌یابد. توزیع قطر حفره‌ها در گستره ۱ تا ۲۰ نانومتر با شیب تند و از ۴۰ تا ۱۰۰ با شیب کم کاهش حجم همراه است. با توجه به اینکه برپایه شکل ۴، هم‌دما از نوع چهارم است و بر پایه شکل ۵، بیشترین حجم تخلخل مربوط به اندازه قطر ۱ تا ۱۰ نانومتر است، مزوحفره بودن نمونه را با درصد بالایی تایید می‌کند.



شکل ۴ نمودار هم‌دما آهن (III) فتالوسیانین کلرید تهیه شده



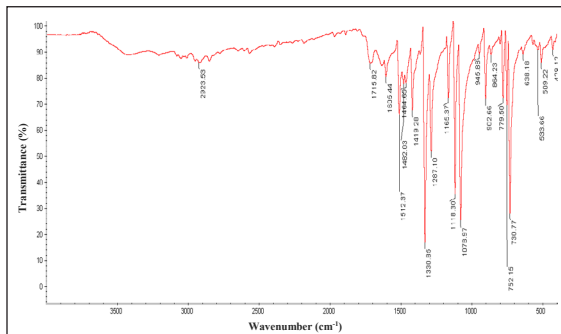
شکل ۵ نمودار BJH آهن (III) فتالوسیانین کلرید تهیه شده

جدول ۳ نتایج به دست آمده از گوگردزایی از سوخت جت JP4 در حضور جاذب تهیه شده

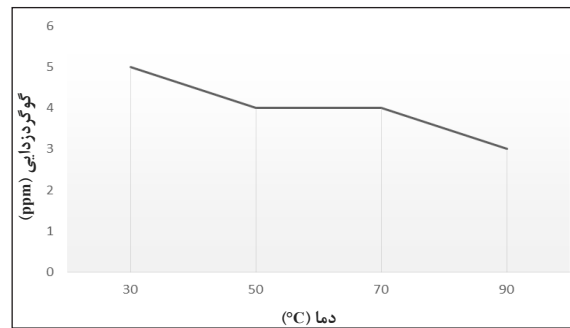
| مقدار گوگرد ثانویه (ppm) | بسامد اعمالی فراصوت (Hz) | گستره دمایی حمام (°C) |
|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
| ۲۲                       | ۴۰۰                      | ۲۵-۳۳                 |
| ۲۳                       | ۳۰۰                      | ۲۹-۳۵                 |
| ۲۴٫۵                     | ۲۰۰                      | ۲۹-۳۵                 |
| ۲۵٫۵                     | ۱۰۰                      | ۲۹-۳۴                 |

برای به دست آوردن دمای بهینه، گوگردزایی با بسامد ۴۰۰ Hz به مدت ۳۰ دقیقه، در سه نوبت جداگانه دیگر با تنظیم دمای حمام بر ۵۰، ۷۰ و ۹۰ °C انجام شد. همان طور که در شکل ۶ مشاهده می شود، افزایش دما موجب کاهش جذب گوگرد می شود.

از جاذب جدا شده با صافی مقاوم به حلال  $0.22 \mu\text{m}$ ، پس از سه روز ماندن در خشک کن، دوباره طیف فروسرخ تبدیل فوریه گرفته شد تا تغییرات آن نسبت به آزمون اولیه بررسی شود. همان گونه که در شکل ۸ مشاهده می شود، به طور تقریب بیشتر اعداد موجی نسبت به طیف نمونه پیش از حضور در فرایند گوگردزایی (شکل ۳)، کمی انتقال پیدا کرده اند که بیانگر پابرجایی کمپلکس اولیه است و احتمال رخ دادن واکنش شیمیایی، شکسته شدن و تشکیل پیوند و تولید ترکیب های جدید به دلیل عدم تغییر اساسی در اعداد موجی، رد می شود. از این رو، نتیجه می شود که جذب گوگرد به صورت سطحی و فیزیکی با زوج الکترون های نیتروژن موجود در ساختار حلقه های آروماتیکی نانوجاذب تولیدی انجام شده است.

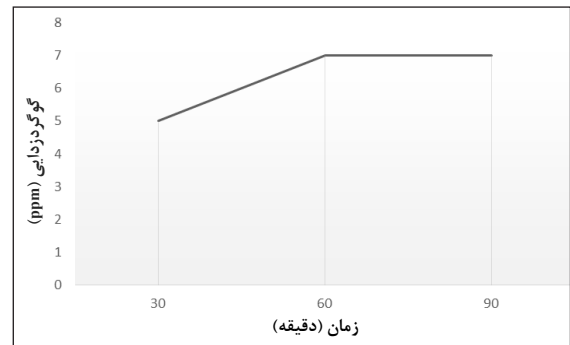


شکل ۷ نمودار گوگردزایی سوخت جت JP4 در زمان های متفاوت (در بسامد و دمای ثابت)



شکل ۶ نمودار گوگردزایی سوخت جت JP4 در دماهای متفاوت (در بسامد و مدت ثابت)

به صورت مشابه برای به دست آوردن مدت بهینه، گوگردزایی با بسامد ۴۰۰ Hz با تنظیم دمای حمام بر دمای بهینه ۳۰ °C در دو نوبت جداگانه دیگر برای مدت ۶۰ min و ۹۰ min انجام شد. همان طور که در شکل ۷ مشاهده می شود، افزایش مدت موجب افزایش جذب گوگرد می شود.



شکل ۸ طیف فروسرخ تبدیل فوریه آهن (III) فتالوسیانین کلرید پس از حضور در گوگردزایی

سطح موثر به دست آمده از آزمون BET برابر با  $3 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$  است که نشانگر سطح کم نانوجاذب تهیه شده و دلیلی بر کاهش ۵ ppm گوگرد است. اما همین مقدار ناچیز کمک بسزایی در خوردنگی قطعه های حساس موتور جت خواهد داشت. اگر از آن در سوخت های حمل و نقل عمومی استفاده شود، کمک زیست محیطی شایانی را به همراه خواهد داشت. از سویی دیگر، فعالیت پودر نیکل در جذب گوگرد، به دلیل ساختار منظم و متخلخل آن [۹]، نسبت به آلیاژ نیکل رانی وجاذب های دیگر بیشتر است. فعالیت بالای پودر نیکل، ایمنی استفاده از آن را در صنعت، پایین تر می آورد و تمهیدات ویژه ای را طلب می کند. بنابراین، ایمنی بالا، جداسازی آسان و هزینه های پایین عملیاتی و قابلیت به کارگیری در

شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران استفاده شد. مقایسه طیف‌های فروسرخ تبدیل فوریه نمونه پیش و پس از انجام فرایند گوگردزدایی نشان داد که نمونه در هنگام فرایند پایدار بوده است. به بیان دیگر، جذب گوگرد به صورت سطحی و فیزیکی با زوج الکترون‌های نیتروژن موجود در ساختار حلقه‌های آروماتیکی نانوجاذب انجام شده است. در فرایندی جداگانه از پودر نیکل ۹۹٫۵٪ برای به صفر رساندن گوگرد نمونه سوخت جت استفاده شد که بالاترین جذب گوگرد نسبت به آلیاژ نیکل رانی و آهن (III) فتالوسیانین کلرید را به همراه داشت، ولی ایمنی به کارگیری آهن (III) فتالوسیانین کلرید بسیار بیشتر است. از سویی دیگر، جداسازی آسان و هزینه‌های پایین عملیاتی و قابلیت به کارگیری در واحدهای صنعتی، مزیت دیگر نانوجاذب تهیه شده نسبت به مواد دیگر، از جمله پودر فعال نیکل است.

واحدهای صنعتی، مزایای نانوجاذب تهیه شده نسبت به مواد دیگر، از جمله پودر فعال نیکل و آلیاژهای آن است.

### نتیجه گیری

ترکیب آهن (III) فتالوسیانین کلرید برای گوگردزدایی از سوخت جت JP4 با روش وایلر تهیه شد. با توجه به طیف فروسرخ تبدیل فوریه و الگوی پراش پرتو ایکس این نمونه و نیز درصد وزنی آهن به دست آمده، تهیه ترکیب مورد نظر تایید شد. شکل ذره‌های ترکیب تهیه شده متفاوت بود. بررسی هم‌دما جذب-واجذب نیتروژن برای این نمونه، توزیع پهن اندازه قطر حفره‌ها را در گستره ۱ تا ۱۰۰ نانومتر نشان می‌دهد که حضور درصد بالایی از حفره‌های مزو و درصد کمی حفره‌های میکرو و ماکرو را در این نمونه تایید می‌کند. از این نمونه برای گوگردزدایی از سوخت جت JP4 دریافتی از

### مراجع

- [1] Heilmerier, G.H.; Harrison, S.E.; Physical Review Journals 132, 2010-2018, 1963.
- [2] Waychunas, G.A.; Apted, M.J.; Brown, G.E.; Physics and Chemistry of Minerals 10, 1-9, 1983.
- [3] Ankudinov, A.L.; Bouldin, C.E.; Rehr, J.J.; Sims, J.; Hung, H.; Phys. Rev. B 65, 104107-104112, 2002.
- [4] Li, M.; Robert Scheidt, W.; National Center for Biotechnology Information 12, 380-384, 2014.
- [5] Department of Agriculture, Water and the Environment; "Nickel and compounds [Fact Sheets]", National Pollutant Inventory, Australia, 2012.
- [6] Gerhard, E.; Helmut, K.; Preparation of Solid Catalysts 3, 29826-29832, 1997.
- [7] Armour, M.A.; Hazardous laboratory chemicals disposal guide 3, 331-337, 2003.
- [8] Hauptmann, H.; Wolfgang Ferdinand, W.; Chem. Rev. 62, 347-352, 1962.
- [9] Karimi, A.H.; Miranbeigi, A.A.; Zendehtnam, A.; Vahid, A.; Journal of Applied Researches in Chemistry, 10(2), 85-95, 2016.
- [10] Bazmi, M.; Tajerian, M.; Ghadiri, R.; Naghipour, P.; 2nd Technology Development of Iranian Oil Industry Conference, Tehran, 2004.
- [11] Meyers, R.A.; "Handbook of Petroleum Refining Processes", Second Edition, McGraw-Hill, USA, 1996
- [12] Mazgarov, A.M.; Vil'danov, A.F.; Sukhov, S.N.; Ormiston, R.M.; Chemistry and Technology of Fuels and Oils, 32(6), 277-280, 1996.
- [13] Groyzman, A.; "Corrosion in Systems for Storage and Transportation of Petroleum Products and Biofuels, Identification, Monitoring and Solutions", Springer, Netherlands, 2014.

## Preparation and characterization of iron (III) phthalocyanine chloride to be employed for desulphurization of JP4 jet fuel compared to nickel powder

Ali Eftekhari<sup>1</sup>, Reza Skandari Sedighi<sup>2</sup>, Vahid Pirouzfard<sup>3,\*</sup>, Afshar Alihosseini<sup>3</sup>

1. M.Sc. Student in Department of Chemical Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2. Academic Staff in Strategic Studies and Theoretical Research Center, Shahid Sattari University, Tehran, Iran

3. Assistant Prof. in Department of Chemical Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: August 2017, Revised: October 2017, Accepted: October 2017

**Abstract:** In this research,  $C_{32}H_{16}ClFeN_8$  nanocomposite was synthesized with the use of iron (III) chloride, urea and phthalic anhydride precursors for desulfurization of JP4 jet fuel. Nickel powder was also used in a separate process and its desulphurization ability was compared with Raney nickel alloy and the synthesized nanocomposite. X-ray powder diffraction (XRD) and atomic absorption spectroscopy (AAS), and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) were used to identify the prepared samples. Scanning electron microscopy (SEM) was used to determine the morphology of the particles. Brunauer–Emmett–Teller (BET) method was applied to determine the surface area, pore volume, and pore diameter of the samples. Desulfurization of JP4 jet fuel in the presence of  $C_{32}H_{16}ClFeN_8$  nanocomposite under ultrasonic and a mild condition (temperature: 25-35 °C and atmospheric pressure) was performed. The obtained results indicated that the prepared nanocomposite due to its safety is competitive with nickel powder.

**Keywords:** Phthalocyanine, Nickel powder, nanocomposite, desulphurization, JP4 jet fuel