

Research Paper

Improving the Performance of Kaolin in Adsorbing Air Pollutant Gases using Surface Treatment by Argon Atmospheric Pressure Plasma Jet¹

Fateme Aref², Rahele Aboltaman^{*3} and Mehran Shahmansouri⁴

Received: 2024.08.10

Revised: 2024.09.30

Accepted: 2024.11.07

Abstract

In this research, among the types of adsorbents known in nature, Kaolin was used as an adsorbent material due to its unique characteristics and special capabilities in the absorption stages. Atmospheric pressure was irradiated and after testing by a gas analyzer, we saw an improvement in the absorption performance of CO and CO₂ gases in this type of adsorbent material. The effect of the output power and flow of argon gas and the duration of plasma irradiation on the properties of Kaolin was also investigated. XRD and FTIR analyses were used as characterization methods to determine the purity of Kaolin before and after irradiation, and a gas analyzer was used to analyze the obtained results. The findings of this research provide a new way to control and reduce air pollutants in cities where air pollution is one of the biological problems. In addition, the achievements of this research can lead to the expansion and effective progress in reducing the costs related to the control of pollutants and also bring reassurance in terms of biocompatibility.

Keywords: *Pollutants Adsorbing Materials, Air Pollution, Argon Atmospheric Pressure Plasma Jet, Kaolin.*

¹ <https://doi.org/10.22051/ijap.2024.47972.1419>

¹ Selected Paper of the 11th Conference of Plasma Engineering and Physics of Plasma

² M. Sc. Student, Department of Physics, Faculty of Science, Arak University, Arak, Iran. Email: Fateme.aref.7770@gmail.com

³ Assistant Professor, Department of Physics, Faculty of Science, Arak University, Arak, Iran. (Corresponding Author). Email: r-aboltaman@araku.ac.ir

⁴ Professor, Department of Atomic and Molecular Physics, Faculty of Physics, Alzahra University, Tehran, Iran. Email: m.shahmansouri@alzahra.ac.ir

بهبود عملکرد کائولن در جذب گازهای آلاینده هوا با استفاده از تیمار سطحی توسط جت پلاسمای فشار اتمسفری آرگون^۱

فاطمه عارف^۲، راحله ابوالتمن^{۳*} و مهران شاهمنصوری^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۷

فصلنامه علمی فیزیک کاربردی ایران

دانشکده فیزیک، دانشگاه الزهرا

سال چهاردهم، پیاپی ۳۹، زمستان ۱۴۰۳

صص ۱۵ - ۲۹

چکیده:

در این پژوهش از میان انواع جاذب‌های شناخته‌شده در طبیعت، از کائولن به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد و توانایی‌های ویژه آن در مراحل جذب به عنوان یک ماده جاذب استفاده شد. این ماده طی فرآیندهای پیش‌تست سرمه‌پودر کردن و شکل‌دادن، با استفاده از جت پلاسمای فشار اتمسفری تحت تابش قرار گرفت. سپس به کمک دستگاه آنالیزور گازی آزموده و بهبود عملکرد جذب گازهای CO₂ و CO در این نوع ماده جاذب مشاهده شد. تاثیر توان و جریان خروجی گاز آرگون و همچنین مدت زمان تابش دهی پلاسما بر ویژگی‌های کائولن نیز بررسی شد. آنالیزهای XRD و FTIR به عنوان روش‌های مشخصه‌یابی برای مشخص نمودن خلوص کائولن قبل و بعد از تابش دهی مورد استفاده قرار گرفت و نتایج بدست آمده با کمک دستگاه آنالیزور گازی مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌های این پژوهش شیوه‌ی جدیدی برای کنترل و کاهش آلاینده‌های هوا در شهرهایی که یکی از معضلات زیستی در آن‌ها آلودگی هوا می‌باشد، ارائه می‌دهد. افزون بر این، دستاوردهای این پژوهش می‌تواند موجب گسترده‌تری و پیشرفت موثر در کاهش هزینه‌های مربوط به کنترل آلاینده‌ها شده و همچنین از لحاظ زیست‌سازگاری اطمینان خاطر را به همراه آورد.

واژگان کلیدی: مواد جاذب آلاینده‌ها، آلودگی هوا، جت پلاسمای فشار اتمسفری آرگون، کائولن.

^۱ <https://doi.org/10.22051/ijap.2024.47972.1419>

^۱ مقاله منتخب یازدهمین کنفرانس مهندسی و فیزیک پلاسمای ایران

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه اراک، اراک، ایران. Email: Fateme.aref.7770@gmail.com

استادیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه اراک، اراک، ایران. (نویسنده مسئول). Email: r-aboltaman@araku.ac.ir

استاد، گروه فیزیک اتمی و مولکولی، دانشکده فیزیک، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران. Email: m.shahmansouri@alzahra.ac.ir



۱. مقدمه

امروزه هوا و آب آلوده زیست جانداران، به ویژه انسان را با مخاطراتی همراه کرده است. به ویژه در شهرهای صنعتی آثار مخرب آلودگی ها بر زندگی انسان بسیار بحران‌ناست [۱-۲]. از این رو، در صورتی که بتوان با روش‌های کم‌هزینه، غیرمخرب و همزمان موثر، آلودگی‌ها و پاتوژن‌های موجود در آب و هوا را تا حد مطلوبی کاهش داد، خدمت بزرگی به امنیت زیستی نوع بشر انجام شده است. این پژوهش آغازی برای مطالعه‌ی جدی و سودمند در راستای کاهش آلودگی هوای شهرهای صنعتی با روش‌های ساده، تکرارپذیر و غیرمخرب خواهد بود.

از میان شهرهای صنعتی کشور، شهر اراک به دلیل مکان جغرافیایی و صنعتی ویژه خود همواره درگیر معضل آلودگی هوا بوده است. اراک به دلیل وجود منابع گوناگون انتشار آلودگی هوا در بیشتر روزهای سال ناسالم بوده و هم‌اکنون جزء ۸ شهر آلوده کشور به شمار می‌رود. آلودگی هوا زمان‌برخ می‌دهد که حجم زیادی از ذرات یا مواد زیان‌آور از قبیل گازها، ذرات و زیست‌مولکول‌ها وارد اتمسفر کره‌ی زمین شود. آلودگی هوا مخلوطی از ذرات معلق و گازهایی است که غلظت آن به محدوده مضر برای انسان رسیده است، که می‌تواند هم در داخل ساختمان و هم در خارج ساختمان باشد. گونه‌هایی از مهم‌ترین آلاینده‌هایی که از راه فعالیت‌های انسانی تولید می‌شوند، شامل موارد زیر می‌شود:

(۱) کربن دی‌اکسید (CO_2): این گاز به دلیل نقش گاز گلخانه‌ای خود به‌عنوان اصلی‌ترین آلاینده هوا و «بدترین آلاینده آب و هوا» شناخته می‌شود. کربن دی‌اکسید یک ترکیب طبیعی از هوا است که وجود آن برای زندگی گیاهان و درخت‌ها ضروری است و با دستگاه تنفس انسان نیز ساخته می‌شود. امروزه غلظت گاز کربن دی‌اکسید در اتمسفر برابر ۴۴۵ جزء در میلیون (ppm) است که در دوران قبل از انقلاب صنعتی این مقدار برابر ۲۸۰ ppm بوده است. سالانه میلیاردها تن گاز کربن دی‌اکسید از سوزاندن سوخت‌های فسیلی آزاد می‌شود و روند افزایش این گاز در اتمسفر زمین در حال شتاب گرفتن است.

(۲) کربن مونوکسید (CO): گازی بی‌بو و بی‌رنگ و سمی است که بر اثر سوخت ناقص مواد ایجاد می‌شود. گاز خارج شده از اگزوز خودروها عامل اصلی ورود کربن مونواکسید به اتمسفر است. پژوهشگران در راستایاز بین بردن مشکلات ناشی از افزایش آلاینده‌ها همواره به دنبال کشف و ارائه راهکارهای جدید و به‌صرفه برای مهار آلاینده‌های زیستی هستند، از این رو مواد جاذب آلاینده‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. مولکول‌های سیلیکات، اکسید آلومینا، سیلیکات و کربن فعال، از انواع مختلف جاذب‌ها هستند [۳]. جذب سطحی عنوان یکی از جدیدترین و رایج‌ترین فرآیندهای موجود در



صنعت به‌شمار می‌رود. وقتی یک ماده از یک فاز، به صورت انتخابی روی سطح یک ماده دیگر (مابع یا جامد) به دام افتد، جذب سطحی^۱ خواهیم داشت. به ماده اول جذب‌شونده^۲ و ماده دوم که دارای سطح فعال است جاذب^۳ گفته می‌شود. فرآیندهای جذب همگی گرماده هستند، بنابراین از دید ترمودینامیکی دمای پایین و فشار بالا برای آن‌ها مناسب است. فرآیندهای جذب سطحی از لحاظ نوع پیوند بین جذب‌شونده و جاذب به دو دسته تقسیم می‌شوند:

(۱) جذب سطحی فیزیکی: این نوع جذب یک فرآیند برگشت‌پذیر است و در آن بین مولکول‌های جاذب و جذب‌شونده نیروهای واندروالسی وجود دارد. این نیرو بسیار ضعیف بوده و برای به وجود آمدن آن نیازی به رخ دادن یک واکنش شیمیایی نیست. از این‌رو، در این نوع جذب واکنش شیمیایی رخ نداده و مولکول‌های جذب‌شونده تنها روی سطح جامد جمع می‌شوند.

(۲) جذب سطحی شیمیایی: جذب شیمیایی که به آن جذب سطحی فعال شده هم می‌گویند، حاصل فعل و انفعالات شیمیایی بین جاذب و ماده جذب‌شونده است. این نوع فرآیندهای جذب اغلب، فرآیندهای برگشت‌ناپذیری هستند و این موضوع از نقص‌های این نوع فرآیندها به‌شمار می‌رود. چرا که پس از جذب، برای حفظ جاذب و استفاده دوباره از آن، باید آن را احیا نموده و اگر جذب شیمیایی رخ دهد، احیا جاذب یا ممکن نیست و یا اگر ممکن هم باشد، سبب تغییر در ساختار جاذب می‌گردد. برخی از عوامل مؤثر بر جذب به شرح زیر هستند:

۱. **مساحت سطح جاذب:** چون جذب سطحی یک پدیده‌ی سطحی است، میزان جذب

به نسبت مساحت سطح به ویژه جسم جاذب بستگی دارد. مساحت سطح به ویژه عبارتند از کل مساحت سطح جاذب که در عمل جذب شرکت می‌کند. هرچه ذرات جاذب ریزتر باشند، به دلیل افزایش سطح تماس میزان جذب افزایش می‌یابد.

۲. **نوع جذب‌شونده:** اندازه و قطر مولکول‌های جزء جذب‌شونده باید در حدی باشد که بتواند جذب و وارد روزه گردد.

۳. **درجه‌ی اسیدی یا قلیایی (pH):** pH محلولی که در آن عمل جذب صورت می‌گیرد

بر میزان جذب سطحی تأثیر می‌گذارد. چرا که یون هیدروژن و هیدروکسید به سرعت جذب سطح جاذب شده و میزان جذب سایر یون‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند [۴]. به صورت کلی جذب سطحی آلاینده آلی محلول در آب با کاهش pH افزایش می‌یابد.

¹Adsorption

²Adsorbed

³Adsorbent



۴. **دما:** واکنش‌های جذب سطحی گرمازا یا آگزوترمیک هستند. از این رو، با کاهش درجه حرارت میزان جذب افزایش می‌یابد و در صورتی که جذب شیمیایی غالب باشد با افزایش دما، میزان جذب افزایش می‌یابد. البته عامل اصلی جذب سطحی، جذب فیزیکی است و در جذب فیزیکی با افزایش دما میزان جذب کاهش می‌یابد.

جذب سطحی مورد بحث در این پژوهش از نوع جذب سطحی فیزیکی می‌باشد که با استفاده از پودر کائولن (کائولینیت) روند پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. این ماده دارای رنگ سفید و ساختار با کیفیت نرم است که به راحتی در آب حل می‌شود. همچنین، دارایی ویژگی پلاستیسیته خوب و ویسکوزیته بالا می‌باشد [۵]. چسبندگی دیگر از ویژگی‌های فیزیکی این ماده معدنی است. هرچه میزان چسبندگی این ماده بیشتر باشد، درجه خلوص آن بیشتر خواهد بود. این محصول شیمیایی در برابر تغییرات بسیار گسترده pH مقاومت بسیار خوبی از خود نشان می‌دهد. همچنین کائولن دارای مقاومت بسیار خوبی در برابر جریان گرما و الکتریسیته است [۶-۷]. افزون بر این، با توجه به طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس^۱ کائولن در زمان‌های قبل و بعد از تابش پلاسما، مشاهده شد که پلاسما تغییری در ساختار پیوندی و خلوص کائولن ایجاد نمی‌کند. اگرچه تیمار سطحی سبب افزایش تخلخل موجود در سطح و تاحدودی در لایه‌های زیرین آن می‌شود. برای سهولت فرایند آزمایش از گازهای خروجی آگزوز به‌عنوان آلاینده استفاده شده، که با توجه به تاثیر پلاسما روی ماده جاذب می‌توان از این پژوهش در کنترل و کاهش آلاینده‌های خروجی کارخانه‌ها نیز استفاده کرد. لازم به بیان است کهبه دلیل توانایی پلاسما در تولید گونه‌های فعال شیمیایی، رادیکال‌های آزاد و گروه‌های قطبی، الکترون‌ها و یون‌ها، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی، تابش اشعه UV و تابش گرمایی، امکان فرآیندهای اصلاحی سطح از جمله ایجاد و بهبود ویژگی‌های آب‌دوستی و آب‌گریزی، جذب مواد شیمیایی (رنگ‌پذیری، چاپ‌پذیری)، افزایش سطح موثر و افزایش چسبندگی سطح از راه ایجاد زبری و تخلخل در مواد توسط پلاسما فراهم می‌باشد [۸-۹]. همچنین توانایی تنظیم‌پذیری و کنترل توان و جریان، دما و فشار پلاسمای تولیدی در جت‌های پلاسمایی که سبب تغییر انرژی گونه‌های فعال پلاسما می‌شود، این چشمه‌های پلاسمایی غیرحرارتی فشار اتمسفری را به یکی از کاربردی‌ترین انواع پلاسماهای تخلیه دی‌الکترونیک در علوم سطح تبدیل کرده است. لازم به ذکر است که ارجحیت استفاده از فناوری زیست سازگار پلاسما سرد فشار اتمسفری برای ارتقاء ویژگی‌های جذب در جاذبهایی نظیر کائولن نسبت به روشهای متداول پیشین، علاوه بر

^۱XRD



صرف انرژی و هزینه اندک در عدم نیاز به معرف برای انجام واکنش، ایجاد محیط استریل و جلوگیری از آلودگی های ثانویه و عدم تولید پسماند و یا محصولات جانبی ناخواسته می باشد.

۲. مواد و روش‌ها:

مرحله ۱) ساختار و مشخصات جت پلاسمای آرگون: ساختار تولید پلاسمای مورد استفاده در این پژوهش مطابق شکل (۱)، شامل الکتروود ولتاژ بالا به شکل الکتروود سوزنی از جنس تنگستن با قطر ۱/۲ میلی‌متر و طول ۹۰ میلی‌متر به صورت هم محور با بدنه‌ی شیشه‌ای دستگاه در نظر گرفته شده و به منبع تغذیه بی‌سامد رادیویی در بسامد ۱۳/۵۶ مگاهرتز متصل شده است. کل ساختار، درون یک پوشش شیشه‌ای قرار گرفته است. آرگون به عنوان گاز اصلی و با خلوص ۹۹/۹۹ درصد با فشار ۱۷ اتمسفر و با اعمال توان مناسب وارد دستگاه می‌شود. زاویه تابش دهی بر روی سطح جاذب با تقریب خوبی ۹۰ درجه است.



شکل ۱ تصویر ساختار جت پلاسمای فشار اتمسفری و پلاسمای تولید شده.

مرحله ۲) پودر کردن کائولن و ترکیب با ماده بی‌اثر: در این مرحله پس از تهیه کائولن از معادن کائولن موجود در کشور، سنگ را در زیر هود استریل و با کمترین تماس با هوای اطراف، با استفاده از هاون به پودر تبدیل کرده و برای سهولت فرآیند آزمایش با KBr معروف به ماده‌ی بی‌اثر ترکیب کردیم (شکل (۲)).



شکل ۲ پودر کردن کائولن و ترکیب با ماده بی اثر.

مرحله ۳) قرص سازی با استفاده از دستگاه قرص ساز ۲۵ تن: با توجه به شکل (۳)، برای تیمار سطحی کائولن با استفاده از جت پلاسمای فشار اتمسفری، لازم بود پودر کائولن به یک شکل هندسی با سطح صاف تبدیل شود. با استفاده از دستگاه قرص ساز قرص های دایره ای شکل با سطح مقطع ۲۵ میلی متر ساخته و نمونه برای مراحل تابش دهی آماده شده است.

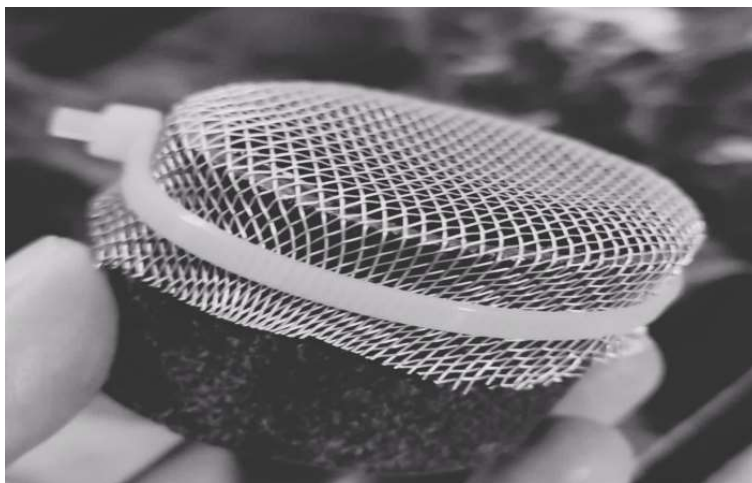


شکل ۳ الف) دستگاه قرص ساز و ب) قرص کائولن (لایه زیرین KBr).

مرحله ۴) طراحی و ساخت فیلتر هوا متناسب با خروجی لوله اگزوز: برای انجام فرآیند آزمایش و در نهایت تست هوا از لوله خروجی اگزوز خودرو، یک لوله ای استوانه ای از جنس

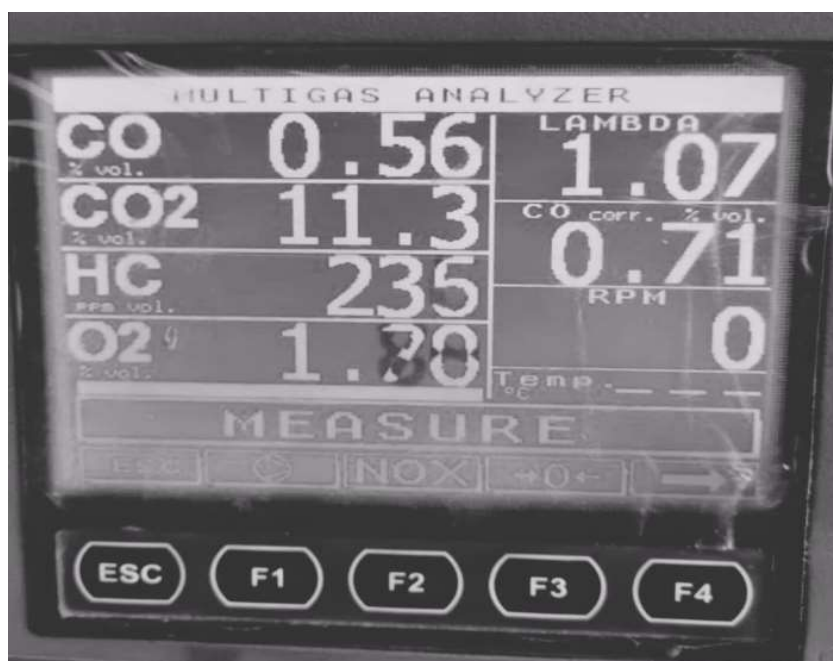


آهن با روکش داخلی ضدزنگ و متناسب با ابعاد کاتولن که با استفاده از درپوش توری فلزی مسدود می‌شود، در خروجی اگزوز قرار گرفته است (شکل (۴)). این کار به منظور جلوگیری از بیرون پرتاب شدن قرص کاتولن به عنوان ماده جاذب هنگام استارت خودروی تحت آزمایش بود.



شکل ۴ فیلتر استوانه‌ای فلزی همراه با درپوش توری فلزی.

مرحله ۵) تست هوا و بررسی نتایج به دست آمده در طول آزمایش: در این مرحله قرص کاتولن تابش دهی شده با استفاده از پلاسمای آرگون، درون فیلتر استوانه‌ای قرار گرفته و سپس خروجی لوله‌ی اگزوز خودرو نصب گردید. برای به حداقل رساندن خطاهای محیطی و به منظور بررسی تنها اثرات تابش دهی پلاسمایی بر ویژگی‌های جذب، در طول انجام پژوهش از یک مدل ماشین با سوختگیری از یک جایگاه مشخص استفاده شد تا ترکیبات گاز خروجی اگزوز تغییرات قابل ملاحظه‌ای نداشته باشد. لازم به ذکر است که سعی شد تمامی نمونه‌ها در یک زمان آماده و برای آزمایش و آنالیز گازی به کار گرفته شوند. دمای محیط آزمایش نیز حدوداً ۲۷ درجه سانتیگراد بود. پس از روشن شدن خودرو و شروع سوخت‌گیری موتور و در نتیجه تولید آلاینده، گازهای خروجی لوله اگزوز در اثر وجود قرص کاتولن با کمک دستگاه آنالیزور گازی بررسی (شکل (۵)) و با نتایج قبل از وجود قرص کاتولن مورد قیاس قرار گرفت. لازم به بیان است که طی این فرآیند یکی از مشکلات، پودر شدن قرص کاتولن حین انجام آزمایش بود، از این رو، فرآیند انجام آزمایش در مدت زمان کوتاه ۶ ثانیه انجام شد که خوشبختانه در این مدت زمان اندک نیز درصد جذب آلاینده‌ها با استفاده از کاتولن تابش دهی شده به خوبی افزایش یافت.



شکل ۵ نمایشگر دستگاه آنالیزور گازی حین انجام تست با استفاده از قرص کاتولن.

۳. نتایج

۱.۳ کمیت‌های پلاسمای مورد بررسی در پژوهش: طبق جدول (۱) کمیت‌های تابش دهیلازما نظیر جریان شارشی گاز خروجی، زمان تابش دهی و توان جت پلاسمایی را تغییر داده و نتایج تست هوا بررسی شده است، بهترین نتایج آنالیز تست هوا برای کمیت‌های تابش دهی مربوط به نمونه شماره ۵ است.



جدول ۱ کمیت‌های تابشی پلاسمای فشار اتمسفری آرگون.

شماره نمونه	فشار گاز (اتمسف)	درجه تابش (درجه)	فاصله از دهانه نازل (میلی متر)	توان (وات)	زمان تابش دهی (دقیقه)	جریان شارشی گاز خروجی (لیتر بر دقیقه)
نمونه شماره ۱	۱۷	۹۰	۱۰	۳۵	۸	۶
نمونه شماره ۲	۱۷	۹۰	۱۰	۳۵	۵	۶
نمونه شماره ۳	۱۷	۹۰	۱۰	۳۵	۵	۳
نمونه شماره ۴	۱۷	۹۰	۱۰	۴۵	۸	۶
نمونه شماره ۵	۱۷	۹۰	۱۰	۴۵	۵	۶
نمونه شماره ۶	۱۷	۹۰	۱۰	۴۵	۵	۳

۲.۳ نتایج تست هوا از دود خروجی اگزوز: در جدول (۲) نتایج مربوط به تست هوا برای نمونه های تابش دهی شده و نمونه تابش دهی نشده در حضور اکسیژن به صورت جداسازی شده، آمده است. این جدول تاثیر مطلوب فرایند تابش دهی پلاسمایی بر افزایش جایگاه های فعال جاذب کاتولن را به خوبی نمایش می دهد، به صورتی که در آنالیز گاز خروجی کمیت های آلاینده شامل درصد های کمتری هستند.

جدول ۲ نتایج تست آنالیز گازی خروجی آگروز.

گازهای خروجی آگروز %vol.	بدون کاتالیزور	در حضور کاتالیزور بدون تابش پلاسما نمونه شماره ۱	نمونه تابش دهی شده شماره ۲	نمونه تابش دهی شده شماره ۳	نمونه تابش دهی شده شماره ۴	نمونه تابش دهی شده شماره ۵	نمونه تابش دهی شده شماره ۶
CO	۲/۱۷	۰/۷۱	۰/۸۵	۰/۸۹	۰/۷۰	۰/۵۶	۰/۶۴
CO ₂	۱۱/۶	۱۲/۲	۱۲/۸	۱۲/۲	۱۳	۱۱/۳	۱۲/۴
HC	۳۰/۷	۲۳۹	۲۳۸	۲۳۸	۲۰۳	۲۳۵	۲۲۵
O ₂	۲/۷۴	۲/۰۳	۰/۶۶	۰/۶۸	۰/۷۸	۱/۲۰	۲/۰۶

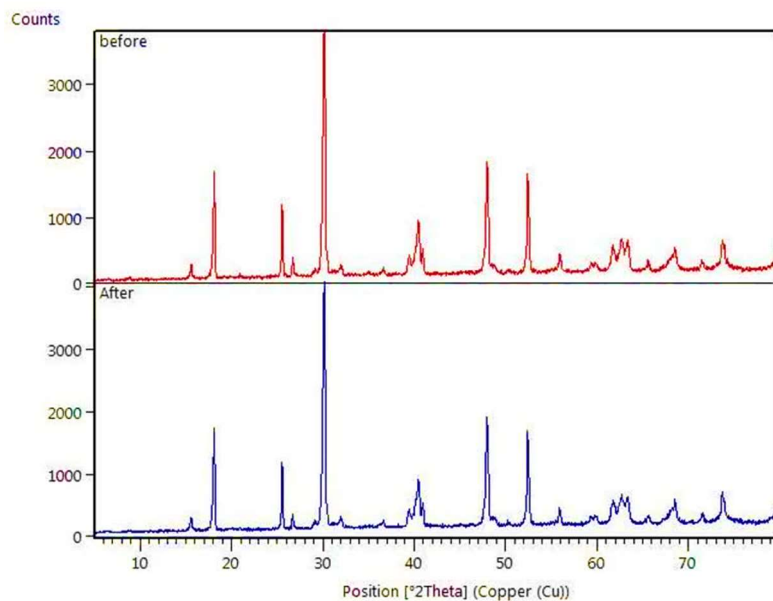
نکته مهمی که در اینجا باید به آن اشاره کرد این است که، از جمله ویژگی‌های مورد توجه در تیمار سطحی پلاسمایی رشد و ویژگی جذب کاتولن بدون تغییر در ماهیت این ماده می‌باشد. نتایج بررسی‌های بدست آمده از طیف‌سنجی‌های FTIR و XRD برای ماده کاتولن قبل و بعد از تابش دهی این مهم را تایید می‌کنند و برگ برنده تیمار سطحی پلاسمایی افزایش ویژگی‌های جذب بدون تغییر اساسی در ماهیت ماده می‌باشد.

۳.۳ بررسی‌های XRD قبل و بعد از تابش پلاسما بر سطح نمونه

بر اساس طیف‌سنجی XRD^۱ و با توجه به قله‌های جذبی که این بررسی نشان می‌دهد (شکل (۶))، این نتیجه بدست می‌آید که در زمان تیمار پلاسمایی، با وجود رشد ویژگی‌های ماده چون تخلخل، سطح موثر و همچنین افزایش جایگاه‌های فعال کاتولن، تغییری در ساختار ماده ایجاد نشده است. به این معنی که پیوندهای جدیدی از گونه‌های پلاسما با کاتولن به وجود نیامده و در نتیجه در خلوص ماده تغییری ایجاد نشده و در نهایت مهندسی سطح ما با موفقیت انجام شده است.

^۱X-ray Powder Diffraction

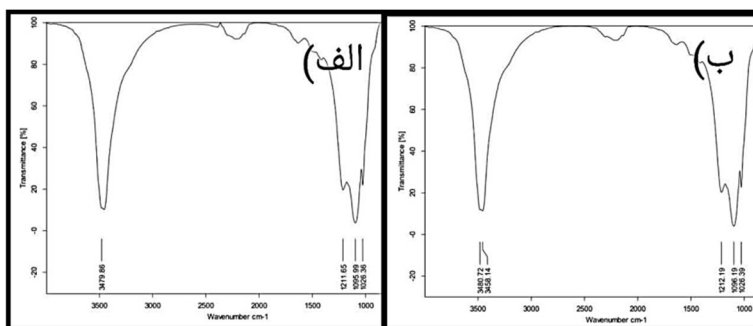




شکل ۶ نتایج آنالیز XRD قبل و بعد از تابش دهی پلاسما.

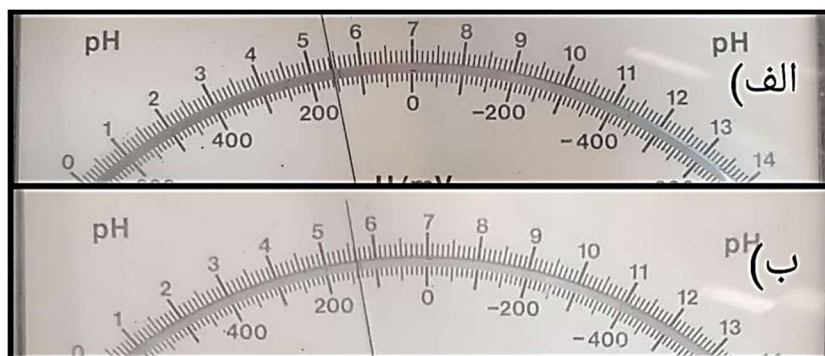
۴.۳ بررسی FTIR قبل و بعد از تابش دهی با پلاسما:

همانطور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، بر اساس طیف سنجی FTIR در محدوده 2500 cm^{-1} - 2000 cm^{-1} شیفت جزئی مشاهده می‌شود. این شیفت نتیجه این است که ساختار کلی ماده تغییر نکرده، اگرچه ساختار شبکه دستخوش یک سری تغییرات شده که ممکن است به نفع جایگاه‌های فعال پیش رفته باشد.



شکل ۷ نتایج آنالیز FTIR (الف) قبل و (ب) بعد از تابش دهی پلاسما.

۵.۳ تست pH متر پودر کائولن قبل و بعد از تابش پلاسما: همانطور که در مقدمه توضیحات مربوط به تغییرات pH ارائه شد، میزان جذب مواد جاذب با کاهش ویژگی اسیدیته، افزایش می یابد که نتایج تست میزان اسیدیته (محلول ۰/۱ مولار) قبل از تابش پلاسما بر پودر کائولن عدد ۵/۴ و بعد از تابش پودر کائولن با استفاده از پلاسما به عدد ۵/۶ رسید (شکل ۸).



شکل ۸ نشانگر pH متر (الف) قبل و (ب) بعد از تابش پلاسما.

۴. نتیجه گیری

وجود گونه های فعال در پلاسما سبب افزایش فعالیت سطح کائولن و افزایش انرژی سطحی آن و در نتیجه بهبود ویژگی جذب در این ماده می شود، ولی برای داشتن بیشینه جذب کمیت های تابش دهی بهینه ای وجود دارد که در این آزمایش عبارت بودند از: توان ۴۵ وات و جریان گاز ورودی ۶ ppm و مدت تابش دهی ۵ دقیقه. مقادیر کمتر یا بیشتر از این کمیت ها سبب افت در ویژگی کائولن شدند. مقادیر کمتر منجر به واکنش پذیری و انرژی سطحی کمتر کائولن و کمیت های بیشتر از بهینه سبب از بین رفتن ساختار حفره مانند در سطح کائولن شدند، زیرا با افزایش دما و رشد جزیره های متخلخل و پیوستن آنها به هم ساختار حفره مانند به سمت آثار کلوخه ای تغییر شکل دادند که منجر به کاهش جایگاه های فعال در سطح کائولن و متعاقبا کاهش ویژگی های جذبی آن شده اند. در این پژوهش ۶ نمونه قرص کائولن با کمیت های مختلف تحت تابش پلاسما و سپس با استفاده از دستگاه آنالیزور گازی سنجیده شد. بر اساس مطالعات انجام شده برای اکسیژن زیر (۳% vol.) میزان کربن مونوکسید (۰/۷% vol.) به پایین (بدون حضور کاتالیست) نتیجه مطلوبی است که این میزان با کاتالیزور کائولنی تابش دهی شده تا عدد (۵% vol.) رسید. در مراحل انجام شده و با توجه به موضوعات مطرح شده در پژوهش های گذشته، مورد مهم و قابل توجه، مطالعه روش تابش دهی



کاتولن بود که قرص‌سازی یکی از ایده‌هایی بود که مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج نسبتاً مطلوبی بدست آمد.

برای پیش‌برد پژوهش حاضر یکی از ایده‌هایی که مطرح شده استفاده از اشکال هندسی حفره‌دار با استفاده از خمیر کاتولن است. که پیش‌بینی می‌شود با توجه به صنعتی بودن کاتالیست و تقاضای آن در مراکز صنعتی برای عرضه‌ی هرچه بهتر نیازمند چنین تغییراتی هستیم. با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد کاتولن به عنوان یک جاذب (که در مقدمه به آن‌ها اشاره شد)، بررسی تیمار سطحی پلاσμα در رشد ویژگی‌های جاذب، هدف اصلی این پژوهش است. طبیعتاً برای هر جاذبی فرآیند و کمیت اشباع وجود دارد، در نتیجه بررسی فرآیندهای بازیابی برای جاذب بحث مهمی است که در ادامه پژوهش حتماً به آن پرداخته و نتایج بدست آمده را به عنوان یک کار پژوهشی با دیگر پژوهشگران به اشتراک خواهیم گذاشت.

همچنین، بر اساس پژوهش‌های انجام شده، عمر کاتالیست‌ها با استفاده از فناوری نانو و کامپوزیت سازی [۱۰-۱۲]، افزایش پیدا کرده است. موضوع دیگری که در این پژوهش مورد نظر است، استفاده از کاتولن به عنوان کاتالیست و بهبود عملکرد آن با استفاده از تیمار پلاسمایی، با آمیزه‌ای از علم نانو و پلاσμα می‌باشد که منجر به افزایش عمر و بهبود عملکرد کاتالیزورها خواهد شد. آمیختگی با نانوذرات به صورت کامپوزیت برآیند ویژگی‌های کاتولن و همچنین استفاده از کامپوزیتی از نانوذرات سنتز شده با روش سنتز سبز و کاتولن ضمن ایجاد ویژگی‌های خاص در جاذب، سبب زیست سازگارتر شدن فرآیند جذب و تولید مواد ثانویه بی‌خطر و یا سودمند از آلاینده‌های جذب شده خواهد شد.

موضوع آخر اینکه می‌توان پس از پژوهش حاضر به عنوان پیش درآمدی برای ادامه‌ی این کار، ورودی در عرصه‌ی سنتز سبز داشت [۱۳].

۵. تقدیر و تشکر

با تقدیم مراتب سپاسگزاری از همکاری عزیزان در سازمان محیط زیست و مرکز معاینه فنی شهر اراک، شرکت اکسیژن سامان و پارک علم و فناوری استان مرکزی که ما را در پیشبرد هر چه بهتر این پژوهش یاری رساندند.



منابع

- [1] Lowther, S.D., Deng, W., Fang, Z., Booker, D., Whyatt, D.J., Wild, O., Wang, X. and Jones, K.C., "How efficiently can HEPA purifiers remove priority fine and ultrafine particles from indoor air?", *Environment international*, 144, 106001, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106001>.
- [2] Alvani, S., Hojati, S., and Landi, A., "Kinetics and isotherms of competitive adsorption of lead and copper using micro- and nanoparticles of palygorskite" *Journal of Agricultural Engineering*, 41(4), 49-65, 2019. <https://doi.org/10.22055/agen.2019.25101.1414>. (In Persian).
- [3] Crini, G., Lichtfouse, E., Wilson, L.D., and Morin-Crini, N., "Conventional and nonconventional adsorbents for wastewater treatment", *Environmental Chemistry Letters*, 17, 195-213, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0786-8>
- [4] Guo, H., Li, Z., Zhang, Y., Jiang, N., Wang, H. and Li, J., "Degradation of chloramphenicol by pulsed discharge plasma with heterogeneous Fenton process using Fe₃O₄ nanocomposites", *Separation and Purification Technology*, 253, 117540, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117540>.
- [5] Cao, Z., Wang, Q. and Cheng, H., "Recent advances in kaolinite-based material for photocatalysts", *Chinese Chemical Letters*, 32(9), 2617-2628, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ccl.2021.01.009>.
- [6] Chen, M., Yang, T., Han, J., Zhang, Y., Zhao, L., Zhao, J., Li, R., Huang, Y., Gu, Z. and Wu, J., "The application of mineral kaolinite for environment decontamination: A review", *Catalysts*, 13, 1, 123, 2023. <https://doi.org/10.3390>.
- [7] Bhattacharyya, K.G. and Gupta, S.S., "Kaolinite and montmorillonite as adsorbents for Fe (III), Co (II) and Ni (II) in aqueous medium", *Applied Clay Science*, 41(1-2), 1-9, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2007.09.005>.
- [8] Mohades, S., Lietz, A.M. and Kushner, M.J., "Generation of reactive species in water film dielectric barrier discharges sustained in argon, helium, air, oxygen and nitrogen", *Journal of Physics D: Applied Physics*, 53(43), 435206, 2020. <https://doi.org/10.1088/1361-6463/aba21a>.
- [9] Kuskova, N.I., Syzonenko, O.M. and Torpakov, A.S., "Electric discharge method of synthesis of carbon and metal-carbon nanomaterials", *High Temperature Materials and Processes*, 39(1), 357-367, 2020. <https://doi.org/10.1515/htmp-2020-0078>.
- [10] Li, X., Peng, K., Chen, H. and Wang, Z., "TiO₂ nanoparticles assembled on kaolinites with different morphologies for efficient photocatalytic performance", *Scientific reports*, 8(1), 11663, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29563-8>.
- [11] Dai, W., Mu, J., Chen, Z., Zhang, J., Pei, X., Luo, W. and Ni, B.J., "Design of few-layer carbon nitride/BiFeO₃ composites for efficient organic pollutant photodegradation", *Environmental Research*, 215, 114190, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114190>.
- [12] Akkari, M., Aranda, P., Rhaïem, H.B., Amara, A.B.H. and Ruiz-Hitzky, E., "ZnO/clay nanoarchitectures: Synthesis, characterization and evaluation as photocatalysts", *Applied Clay Science*, 131, 131-139, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.12.013>.
- [13] Chen, Z., Wei, W., Ni, B.J. and Chen, H., "Plastic wastes derived carbon materials for green energy and sustainable environmental applications", *Environmental Functional Materials*, 1(1), 34-48, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.efmat.2022.05.005>.





This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).