Improving the Performance of Kaolin inAdsorbing Air Pollutant Gases using Surface Treatment by Argon Atmospheric Pressure Plasma Jet[1]

Fateme Aref[2], Rahele Aboltaman[*3] and Mehran Shahmansouri[4]

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 CO_2 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.*

Article in Press

[1]DOI: 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]

چکیده:

در این پژوهش از میان انواع جاذب‌های شناخته‌شده در طبیعت،از کائولن به دلیلویژگی‌های منحصر به‌فرد و توانایی‌های ویژه آن در مراحل جذب به عنوان یک ماده جاذب استفاده شد.این ماده طی فرآیندهاپیشت‌سرهم پودرکردن و شکل‌دادن، با استفاده از جت پلاسمای فشار اتمسفری تحت تابش قرارگرفت.سپسبه کمک دستگاه آنالیزور گازی آزموده و بهبود عملکرد جذب گازهای CO و CO_2در این نوع ماده جاذب مشاهده شد. تاثیر توان و جریان خروجی گاز آرگون و همچنین مدت زمان تابش‌دهی پلاسما بر ویژگی‌هایکائولن نیز بررسی‌شد. آنالیزهای XRDو $FTIR$به عنوان روش‌های مشخصه‌یابی برایمشخص نمودن خلوص کائولن قبل و بعد از تابش‌دهی مورد استفاده قرارگرفت و نتایج بدست آمده با کمک دستگاه آنالیزورگازی مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌های این پژوهش شیوه‌ی جدیدی برای کنترل و کاهش آلا ینده های هوا در شهرهایی که یکی از معضلات زیستی در آن‌ها آلودگی هوا می‌باشد،ارائه می‌دهد. افزون بر این، دستاوردهای اینپژوهش می‌تواند موجب گستردگی و پیشرفت موثردر کاهش هزینه‌های مربوط به کنترل آلا ینده‌ها شده و همچنین از لحاظ زیست‌سازگاری اطمینان خاطر را به همراه آورد .

واژگان کلیدی:*مواد جاذب آلا ینده‌ها ، آلودگی هوا، جت پلاسمای فشار اتمسفری آرگون، کائولن.*

Article in Press

---

[1] DOI: 10.22051/ijap.2024.47972.1419

[۱] مقالهٔ منتخب یازدهمین کنفرانس مهندسی و فیزیک پلاسمای ایران

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

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

[۴] استاد، گروه فیزیک اتمی و مولکولی، دانشکده فیزیک، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران_Email: m.shahmansouri@alzahra.ac.ir

۱. مقدمه

امروزه هوا و آب‌آلوده زیست جانداران، به ویژه انسان را با مخاطراتی همراه کرده‌است. به ویژه در شهرهای صنعتی آثار مخرب آلودگی‌ها بر زندگی انسان بسیاربحرانیاست [۱- ۲]. از این‌رو، در صورتی که بتوان با روش‌های کم‌هزینه، غیرمخرب و همزمان موثر، آلودگی‌ها و پاتوژن‌های موجود در آب‌وهوا را تا حد مطلوبی کاهش داد، خدمت بزرگی به امنیت زیستی نوع بشر انجام شده است. این پژوهش آغازی برای مطالعه‌ی جدی وسودمند در راستای کاهش آلودگی هوای شهرهای صنعتی با روش‌های ساده، تکرارپذیر و غیرمخرب خواهدبود.

از میان شهرهای صنعتی کشور، شهر اراک به دلیلمکان جغرافیایی و صنعتی ویژه خود همواره درگیر معضل آلودگی هوا بوده‌است. 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 زمانیرخ 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 رسیده‌است، 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» شناخته‌می‌شود. کربن‌دی‌اکسیدیک 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 کربن‌دی‌اکسید در اتمسفر برابر ۴۴۵ جزءدر میلیون (ppm) است که در دوران قبل از انقلاب صنعتی این مقدار برابر ۲۸۰ppmبوده‌است. سالانه میلیاردها تن گاز کربن دی اکسید از سوزاندن سوخت‌های فسیلی آزاد می‌شود و روند افزایشاین گاز در اتمسفر زمین در حال شتاب گرفتن است.

(۲)کربن‌مونوکسید (CO): گازی بی‌بو و بی‌رنگ و سمی است که بر اثر سوخت ناقص مواد ایجاد می‌شود. گاز خارج‌شده از اگزوز خودروها عامل اصلی ورود کربن‌مونواکسید به اتمسفر می‌باشد.

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 قرارگرفته‌اند. مولکولارسیو، اکتیوآلومینا، سیلیکاژل وکربنفعال، از

Article in Press

انواع مختلف جاذب‌ها می‌باشند [۳].جذب سطحیبه عنوان یکی از جدیدترین و رایج‌ترینفرآیندهای موجود در صنعت به‌شمار می‌رود.وقتی یک ماده از یک فاز، به صورت انتخابی روی سطح یک ماده دیگر (مایع یا جامد) به دام افتد، جذب سطحی[1]خواهیم داشت. به ماده اول *جذب‌شونده*[2] و ماده دوم که دارای سطح فعال است *جاذب*[3] 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 فعال‌شده 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 می‌باشد:

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 روزنه گردد.
۳. **درجه‌ی اسیدی یا قلیایی(pH):**pHمحلولی که در آن عمل جذب صورت می‌گیرد بر میزان جذب سطحی تأثیر می‌گذارد.چرا که یون هیدروژن و هیدروکسید به

[1]Adsorption
[2]Adsorbed
[3]Adsorbent

Article in Press

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.

٤. **دما:** واکنش‌های جذب سطحی گرمازا یا اگزوترمیک هستند.از این‌رو، 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، دارایویژگی پلاستیسیته خوب و ویسکوزیته بالا می‌باشد [۵]. چسبندگیکی دیگر ازویژگی‌های 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 نشان‌می‌دهد. همچنین کائولن دارای مقاومت بسیار خوبی در برابر جریان گرما و الکتریسته‌است [۶- ۷].افزون بر این، با توجه به طیف‌سنجی پراش پرتو ایکسِ[1] 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 اگزوز به‌عنوان آلاینده استفاده‌شده، که با توجه به تاثیر پلاسما روی ماده جاذب می‌توان از این پژوهش در کنترل و کاهش آلاینده‌های خروجی کارخانه‌ها نیزاستفاده 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 [۹-۸]. 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 دی‌الکتریک در

[1] XRD

Article in Press

علوم سطح تبدیل کرده است.لازم به ذکر است که ارجحیت استفاده از فناوری زیست سازگار پلاسمای سرد فشار اتمسفری برای ارتقاء ویژگی های جذب در جاذبهایی نظیرکائولن نسبت به روشهای متداول پیشین، علاوه بر 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:

مرحله‌ی۱)ساختار و مشخصات جت پلاسمای آرگون: ساختار تولید پلاسمای مورد استفاده در این پژوهش مطابق شکل (۱)،شامل الکترود ولتاژ بالا به شکل الکترود سوزنی از جنس تنگستن با قطر۱/۲میلی‌متر وطول ۹۰ میلی‌متر به صورت هم محور با بدنه‌ی شیشه‌ای دستگاه در نظر گرفته شده و به منبع تغذیه‌یبسامد رادیویی در بسامد ۱۳/۵۶مگاهرتز 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 مناسبوارد دستگاه می‌شود. زاویه تابش‌دهی بر روی سطح جاذب با تقریب خوبی ۹۰ درجه است.

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

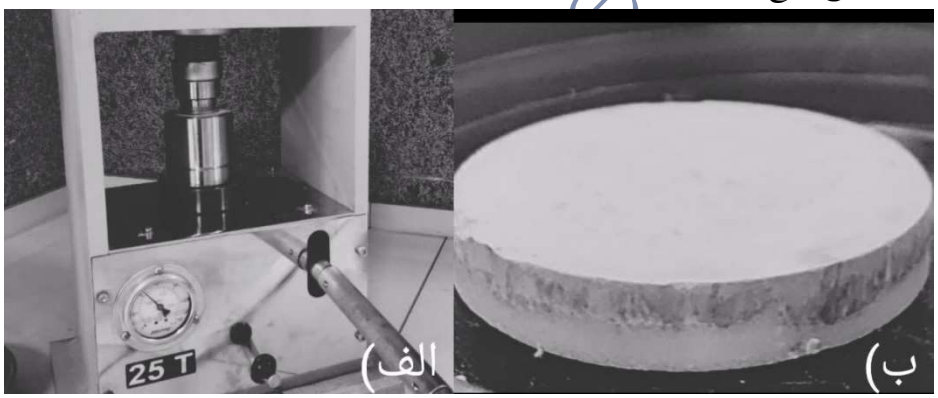
مرحله‌ی۲)پودر کردن کائولن و ترکیب با ماده بی‌اثر:در این مرحله پس از تهیه کائولن از معادن کائولن موجود در کشور، سنگ را در زیر هود استریل و با کمترین تماس با هوای اطراف، با

in Press

استفاده از هاون به پودر تبدیل کرده و برای سهولت فرآیند آزمایش با KBr معروف به ماده‌ی بی‌اثر ترکیب کردیم(شکل(۲)).

شکل ۲پودر کردن کائولن و ترکیب با ماده بی‌اثر.

مرحله‌ی۳)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 قرص‌ساز قرص‌های دایره‌ای شکل با سطح مقطع۲۵ میلی‌متر ساخته و نمونه برای مراحل تابش‌دهی آماده شده است.

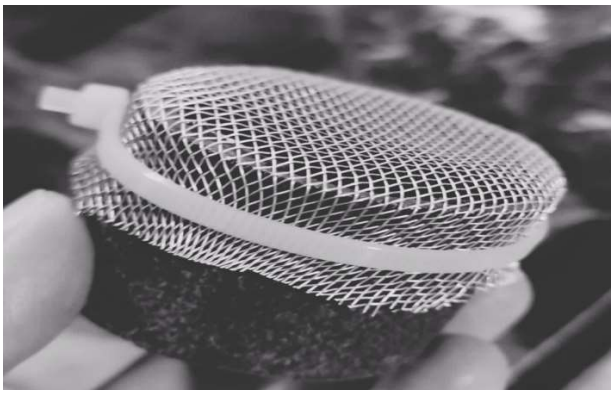


شکل ۳(الف)دستگاه قرص ساز و(ب)قرص کائولن(لایه زیرینKBr).

مرحله‌ی۴)طراحی وساخت فیلتر هوا متناسب با خروجی لوله اگزوز: برای انجام فرآیند آزمایش و در نهایت تست‌هوا از لوله خروجی اگزوز خودرو، یک لوله‌ی استوانه‌ای از جنس آهن با روکش داخلی ضدزنگ و متناسب با ابعاد کائولن که با استفاده از درپوش توری فلزی

In Press

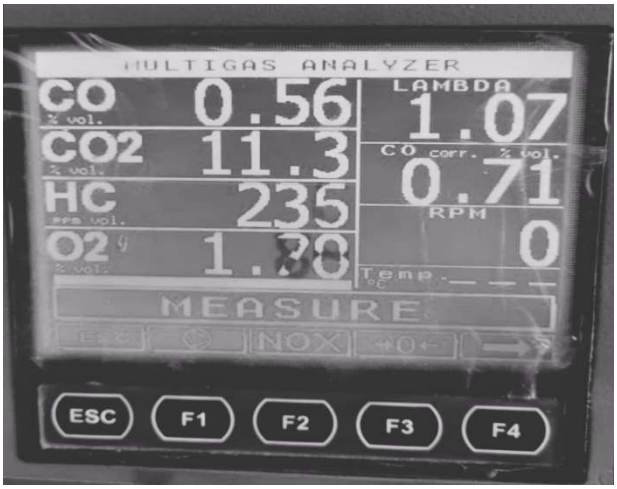
مسدود می‌شود، در خروجی اگزوزقرار گرفته است (شکل (۴)). این کار به‌منظور جلوگیری از بیرون پرتاب شدن قرص کائولن به عنوان ماده جاذب هنگام استارت خودروی تحت آزمایش بود.



شکل۴ فیلتر استوانه‌ای فلزی همراه با درپوش توری فلزی.

مرحله‌ی۵)تست هوا و بررسی نتایج به دست آمده در طول آزمایش:در این مرحله قرص کائولن تابش‌دهی 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 ویژگی های جذب، در طول انجام پژوهش از یک مدل ماشین با سوختگیری از یک جایگاه مشخصاستفاده شد تا ترکیبات گاز خروجی اگزوز تغییرات قابل ملاحظه ای نداشته باشد. لازم به ذکر است که سعی شد تمامی نمونه ها در یک زمانآماده و برای آزمایش و آنالیز گازی به کار گرفته شوند. دمای محیط آزمایش نیزحدودا ۲۷ درجه سانتیگراد بود. پس از روشن‌شدن خودرو و شروع سوخت‌گیری موتور و درنتیجه تولید آلاینده، گازهای خروجی لوله اگزوز در اثر وجود قرص کائولن با کمک دستگاه آنالیزور گازی بررسی(شکل (۵)) و با نتایج قبل از وجود قرص کائولن مورد قیاس قرار گرفت. لازم به بیان است که طی این فرآیند یکی از مشکلات، پودر شدن قرص کائولن حین انجام آزمایش بود، از این‌رو، 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 کائولن تابش‌دهی شده به خوبی افزایش یافت.

Article in Press



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

۳. نتایج

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

جدول ۱کمیت‌های تابشی پلاسمای فشار اتمسفری آرگون.

	فشارگاز (اتمسفر)	درجه تابش (درجه)	فاصله از دهانه نازل (میلی متر)	توان (وات)	زمان تابش‌دهی (دقیقه)	جریان شارشی گاز خروجی (لیتر بر دقیقه)
نمونه شماره۱	۱۷	۹۰	۱۰	۳۵	۸	۶
نمونه شماره۲	۱۷	۹۰	۱۰	۳۵	۵	۶
نمونه شماره۳	۱۷	۹۰	۱۰	۳۵	۵	۳
نمونه شماره۴	۱۷	۹۰	۱۰	۴۵	۸	۶
نمونه شماره۵	۱۷	۹۰	۱۰	۴۵	۵	۶
نمونه شماره۶	۱۷	۹۰	۱۰	۴۵	۵	۳

Article in Press

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 تابش‌دهی نشده در حضور اکسیژن به صورت جداسازی شده، آمدهاست. این جدول تاثیر مطلوب فرایند تابش‌دهی پلاسمایی بر افزایش جایگاه‌های فعال جاذب کائولن را به خوبی نمایش می‌دهد، به صورتی که در آنالیز گاز خروجی کمیت‌های آلاینده شامل درصدهای کمتری هستند.

جدول ۲ نتایج تست آنالیز گازی خروجی اگزوز.

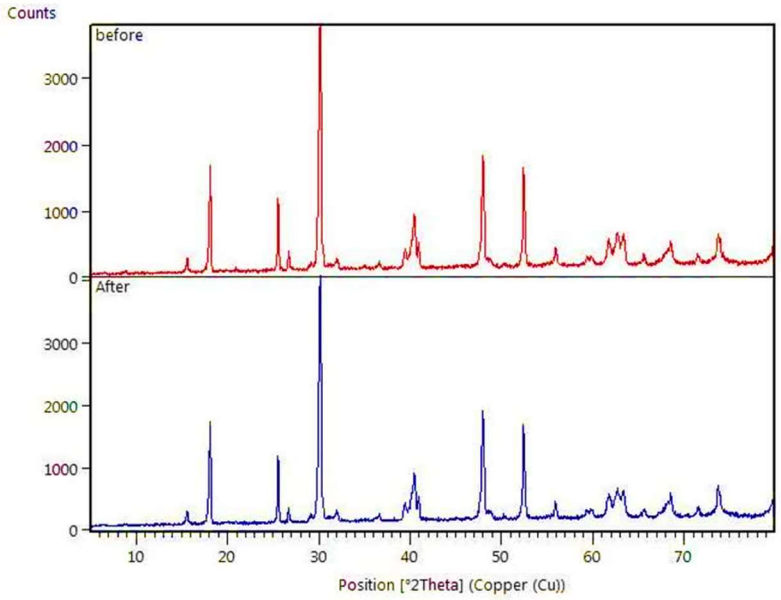
گازهای خروجی اگزوز %vol.	بدون کاتالیزور	در حضور کاتالیزور بدون تابش پلاسما نمونه شماره ۱	نمونه تابش دهی شده شماره ۲	نمونه تابش دهی شده شماره ۳	نمونه تابش دهی شده شماره ۴	نمونه تابش دهی شده شماره ۵	نمونه تابشدهی شده شماره ۶
CO	۲/۱۷	۰/۷۱	۰/۸۵	۰/۸۹	۰/۷۰	۰/۵۶	۰/۶۴
CO_2	۱۱/۶	۱۲/۲	۱۲/۸	۱۲/۲	۱۳	۱۱/۳	۱۲/۴
HC	۳۰۷	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 رشدویژگی جذب کائولن بدون تغییر در ماهیت این ماده می‌باشد. نتایج بررسی‌هایبدست آمده از طیف‌سنجی‌های XRDو FTIR برای ماده کائولن قبل وبعد از تابش‌دهی این مهم را تایید می‌کنند و برگ برنده تیمارسطحی پلاسمایی افزایش ویژگی‌های جذب بدون تغییر اساسی در ماهیت ماده می‌باشد.

Article in Press

۳.۳ بررسی‌های XRDقبل و بعد از تابش پلاسما بر سطح نمونه

بر اساس طیف‌سنجی XRD[1]وبا توجه به قلّه‌های جذبی که این بررسی نشان می‌دهد(شکل (۶))، این نتیجه بدست می‌آید که در زمان تیمار پلاسمایی، با وجود رشدویژگی‌های ماده چون تخلخل، سطح موثر و همچنین افزایش جایگاه‌های فعال کائولن، تغییری در ساختار ماده ایجاد نشده است. به این معنی که پیوندهای جدیدی از گونه‌های پلاسما با کائولن به وجود نیامده و در نتیجه در خلوص ماده تغییری ایجاد نشده ودر نهایت مهندسی سطح ما با موفقیت انجام شده است.

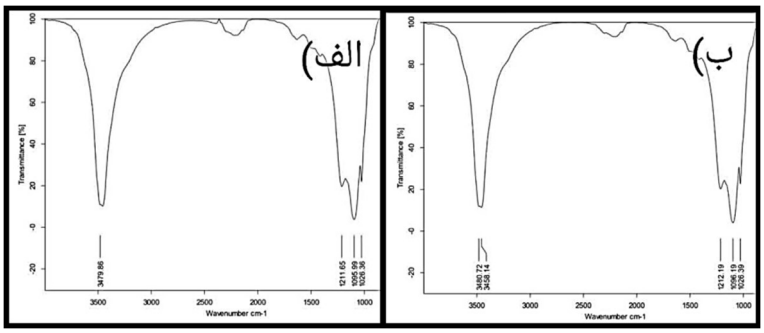


شکل ۶نتایج آنالیزXRDقبل و بعد از تابش‌دهی پلاسما.

۴.۳ بررسی FTIRقبل و بعد از تابش‌دهی با پلاسما:

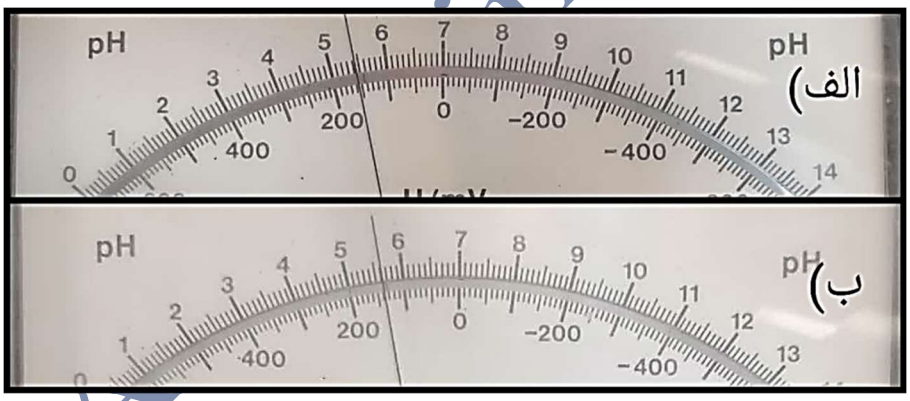
همانطور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود،بر اساس طیف‌سنجیFTIR در محدوده‌ی $۲۵۰۰\ cm^{-1}$ ـ۲۰۰۰ شیفت جزئی مشاهده می‌شود. این شیفت نتیجه این است که ساختار کلی ماده تغییر نکرده، اگرچه ساختار شبکه دستخوش یک سری تغییراتیشده که ممکن است به نفع جایگاه‌های فعال پیش رفته باشد.

[1]X-ray Powder Diffraction



شکل ۷ نتایج آنالیزFTIR(الف) قبلو (ب) بعد از تابش‌دهی پلاسما.

۵.۳ تست pHمتر 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 می‌یابد که نتایج تست میزان اسیدیته (محلول ۰/۱ مولار)قبل از تابش پلاسما بر پودر کائولن عدد۵/۴ و بعد از تابش پودر کائولن با استفاده از پلاسما به عدد ۵/۶ رسید(شکل (۸)).



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

٤. نتیجه‌گیری

وجود گونه‌های فعال در پلاسما سبب افزایش فعالیت سطح کائولن و افزایش انرژی سطحی آن و در نتیجه بهبود ویژگی جذب در این ماده می‌شود، ولی برای داشتن بیشینه جذب کمیت‌های تابش‌دهی بهینه‌ای وجود دارد که در این آزمایش عبارت بودند از: توان ۴۵وات وجریان گاز ورودی ppm ۶ و مدت تابش‌دهی ۵ دقیقه. مقادیر کمتر یا بیشتر از این کمیت‌هاسبب افت در ویژگی کائولن شدند. مقادیر کمتر منجر به واکنش‌پذیری و انرژیسطحی کمتر کائولن

وکمیت‌های بیشتر از بهینه سبب از بینرفتن 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 کلوخه‌ایتغییر 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 نمونهقرص کائولن با کمیت‌های مختلف تحت تابش پلاسما و سپس با استفاده از دستگاه آنالیزورگازی سنجیده شد. بر اساس مطالعات انجام شده برای اکسیژن زیر (.vol%) ۳میزان کربن‌مونوکسید (.vol%)۰/۷ به پایین (بدون حضور کاتالیست) نتیجه مطلوبی است که این میزان با کاتالیزور کائولنی تابش‌دهی شده تا عدد (.vol%)۰/۵رسید. در مراحل انجام شده و با توجه به موضوعات مطرح‌شده در پژوهش‌های گذشته، مورد مهم و قابلتوجه، مطالعه روش تابش‌دهی کائولن بود که قرص‌سازی یکی از ایده‌هایی بود که مورد آزمایش قرارگرفت و نتایج نسبتا مطلوبی بدست آمد.

برای پیش‌برد پژوهش حاضر یکی از ایده‌هایی که مطرح‌شده استفاده از اشکال هندسی حفره‌دار با استفاده از خمیر کائولن 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 کائولن به عنوان یک جاذب (که در مقدمه به آن‌ها اشاره شد)، بررسی تیمارسطحی پلاسما در رشد ویژگی‌های جذب، هدف اصلی این پژوهش است. طبیعتا برای هر جاذبی فرآیند و کمیت اشباع وجود دارد، در نتیجه بررسی فرآیندهای بازیابی برای جاذب بحث مهمی است که در ادامه پژوهش حتما به آن پرداخته و نتایج بدست آمده را به عنوان یک کار پژوهشی با دیگر پژوهشگران به اشتراک خواهیمگذاشت.

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

Article in Press

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 فناری استان مرکزی که ما را در پیشبرد هر چه بهتر این پژوهش یاری رساندند.

مراجع

[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.cclet.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.

Article in Press

[12] Akkari, M., Aranda, P., Rhaiem, 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.

Article in Press