

Photocatalytic Removal of Styrene from Air Using Titanium Dioxide Nanoparticles Stabilized on Modified Natural Zeolite and Gamma Radiation

Mohammad Salem¹, Hasan Asilian^{1*}, Ali Khavanin¹, Yadollah Yamini²

¹ Department of Occupational Health, Medical Sciences Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

² Department of Chemistry, Basic Sciences Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 7 November 2016 Accepted: 16 September 2017

Abstract

Background and Aim: The aim of this study is to compare the efficiency of styrene removal with using of Iranian natural zeolite and modified natural zeolite by coating TiO₂ nanoparticles as a catalyst.

Methods: Natural zeolite with a diameter of 1 to 2 mm was used. Natural zeolite was modified with 1 normal chloridric acid. The surface and volume of the pores of the bed were determined by the BET method. Surface structure was determined by electron microscopy. Continuous air flow and styrene with a concentration of 100 to 450 ppm was passed from a zeolite bed coated with titanium dioxide photocatalytic by gamma radiation and removed styrene vapors. The setting temperature was about 25 °C and relative humidity was 33%.

Results: The results of measuring the level of zeolite with BET showed an increase in zeolite levels. SEM images show that titanium dioxide nanoparticles have been stabilized on zeolite. The surface analysis with XRF and XRD determined that the structure of zeolite after fixation by chloride acid is still fixed and 1.5% titanium dioxide is increased in zeolite crystals. The highest removal efficiency (95%) was related to modified zeolite by passing styrene at a concentration of 100 to 450 ppm from both natural and modified zeolite bed.

Conclusion: Increasing levels can increase the removal of styrene and gamma rays can activate photocatalyst. Acid-modified zeolite and TiO₂ coating can increase the amount of styrene removal.

Keywords: Styrene, Titanium Dioxide Nanoparticles, Modified Natural Zeolite, Photocatalytic Removal, Gamma Rays

*Corresponding author: Hasan Asilian, Email: asilia_h@modares.ac.ir

حذف فتوکاتالیستی استایرن از هوا با استفاده از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم تثبیت شده بر روی زئولیت طبیعی اصلاح شده و پرتو گاما

محمد سالم^۱، حسن اصیلیان^{۱*}، علی خوانین^۱، یدالله یمینی^۲

^۱ گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۲ گروه شیمی تجزیه، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: هدف از این تحقیق بررسی مقایسه ای راندمان حذف استایرن با استفاده از زئولیت طبیعی سمنان و زئولیت طبیعی اصلاح شده پوشش نانو ذرات TiO_2 به عنوان عامل کاتالیستی می باشد.

روش ها: از زئولیت طبیعی به قطر ۱ تا ۲ میلی متر استفاده شد. اصلاح زئولیت طبیعی با اسید کلریدریک یک نرمال انجام گرفت. سطح و حجم منافذ بستر با روش BET تعیین شد. ساختار سطحی توسط میکروسکوپ الکترونی مشخص گردید. جریان هوای مداوم و استایرن با غلظت ۱۰۰ الی ۴۵۰ ppm از بستر زئولیت با پوشش فتوکاتالیست دی اکسید تیتانیوم با تابش اشعه گاما از سیستم عبور داده شد و باعث حذف بخارات استایرن گردید. دمای محیط انجام تحقیق در حدود ۲۵ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی متوسط ۳۳٪ تنظیم شده بود.

یافته ها: نتایج اندازه گیری سطح زئولیت با BET افزایش سطح زئولیت را نشان داد. عکس های SEM نشان می دهد نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم بر روی زئولیت تثبیت شده است. آنالیز سطح با XRF و XRD مشخص کرد که ساختار زئولیت پس از اصلاح توسط اسید کلریدریک هنوز پابرجاست و دی اکسید تیتانیوم ۱/۵ درصد در بلورهای زئولیت افزایش یافت. بیشترین راندمان حذف (۹۵٪) مربوط به زئولیت اصلاح شده با عبور استایرن با غلظت ۱۰۰ تا ۴۵۰ ppm از دو بستر زئولیت طبیعی و اصلاح شده بود.

نتیجه گیری: افزایش سطح میتواند باعث افزایش حذف استایرن شود و اشعه گاما توانایی فعال کردن فتوکاتالیست را دارد. زئولیت طبیعی اصلاح شده با اسید و پوشش TiO_2 بستر میتواند میزان حذف استایرن را افزایش دهد.

کلیدواژه ها: استایرن، نانوذرات دی اکسید تیتانیوم، زئولیت طبیعی اصلاح شده، حذف فتوکاتالیستی، اشعه گاما

*نویسنده مسئول: حسن اصیلیان. پست الکترونیک: asilia_h@modares.ac.ir

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۱۷ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۲۵

مقدمه

مواد شیمیایی خطرناک متنوعی، از جمله حلال های آلی، در محیط کار و منزل وجود دارند و مواجهه انسان با آنها اجتناب ناپذیر است. خطرات بهداشتی آنها از مدتها قبل شناخته شده است. این مواد دارای ویژگی های فیزیکی و شیمیایی هستند که سمیت خود را در مسیرهای و جذب در سیستم های مختلف از جمله کبد، اندام خونساز، سیستم عصبی، سیستم Imunoendocrinological نشان می دهند (۶-۱).

برخی از مطالعات نشان داده است قرار گرفتن در معرض حلال های آلی ممکن است به سندرم متابولیک منجر شود. Khan و همکاران گزارش داده اند که کارگرانی که در معرض مخلوط حلال آلی قرار گرفته اند سطح الکلین فسفات بالاتری داشته اند (۷). استایرن جزء مواد هیدروکربنی آروماتیک تک حلقه ای است که به طور گسترده ای در تولید لاستیک مصنوعی، رزین پلی استر، و فایبرگلاس تقویت شده پلاستیکی مورد استفاده است. استایرن به سرعت از طریق ریه و از طریق تماس پوستی جذب می شود و در درجه اول در کبد متابولیزه میگردد (۸). علائم و نشانه های اختلالات عصبی در هر دو سیستم اعصاب مرکزی و محیطی کارگران در معرض استایرن گزارش شده است (۵). هنوز تاثیر دقیق ناشی از استایرن بر اعصاب ناشناخته است درحالی که تاثیر بر سطح دوپامین و سراتونین و استیل کولین استراز شناسایی شده اند (۹). علاوه بر این، Fennell و همکاران گزارش کرده اند که استایرن تنها یک سم عصبی نیست، بلکه سرطان زا و ژنوتوکسیک نیز می باشد (۱۰).

برای ارتقاء سطح سلامت کارگران حذف این آلاینده از هوای محیط کار حائز اهمیت است. روشهای مختلفی برای حذف آلاینده ها از هوا و محیط مائی وجود دارد. از جمله روش جذب و حذف با کربن فعال، خاکستر استخوان (۱۲ و ۱۱) زئولیت طبیعی (۱۳)، تصفیه بیولوژیکی (۱۴)، پلاسما، الکترون بیم، دی الکترونیک (۱۵) و فتوکاتالیست (۱۶، ۱۷). هر کدام از این روشها مزایا و معایبی دارد. موادی نظیر حلال های آلی در اثر جرقه احتمالی پلاسما قابل انفجار است. روش های بیولوژیک نگهداری زیادی را لازم دارد و روشهای جذب با کربن فعال گران است و در روش فتوکاتالیستی معمول فقط سطح مورد تابش فعال است. در روش تابش گاما جرقه وجود ندارد و سنگ زئولیت ارزان است. فتوکاتالیست موجود در تمام سطوح داخلی و خارجی فعال میشود. قدرت نفوذ پرتو گاما در اعماق بستر فتوکاتالیستی از دیگر مزایای این روش است.

برخی مطالعات نشان داده سنگ معدنی کلینوپتیلولیت قابلیت جذب گاز امونیاک را دارد (۱۸). استفاده از نانو ذرات اکسید فلزی نظیر ZNO بر روی بستر خاکستر مورد بررسی قرار گرفته است (۱۲). همچنین نانو ذرات TiO_2 با خاصیت فتوکاتالیستی بر روی بستر زئولیت برای حذف استایرن بکار رفته است و نتایج مثبتی در برداشته است (۱۳). حذف فتوکاتالیستی سودوموناس آئروژنزا از

هوا با استفاده از نانو ذرات اکسید روی تثبیت شده بر زئولیت طبیعی ایران انجام گرفته است (۱۹). معصوم بیگی و همکاران ضد عفونی کردن آب توسط نانو ذرات اکسیدروی را مورد مطالعه قرار دادند (۲۰).

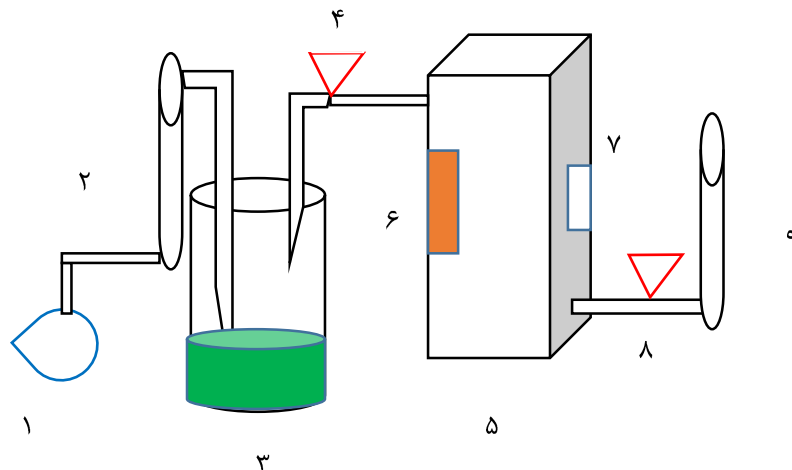
هدف این مطالعه بررسی مقایسه ای راندمان حذف استایرن با استفاده از زئولیت طبیعی سمنان و اصلاح شده با پوشش نانو ذرات TiO_2 به عنوان عامل کاتالیستی در حذف استایرن می باشد. برای فعال شدن فتو کاتالیست نیاز به یک منبع فوتون وجود دارد که اشعه UV بیشترین منبع این فوتون در مطالعات گذشته است (۱۹). مزیت استفاده از اشعه UV مصنوعی تهیه آسان است ولی محدودیت بزرگ آن متوقف شدن در اولین لایه فتوکاتالیست است و در عمق بستر قابل نفوذ نیست بنابراین راندمان در حجم بسیار کم است. در این مطالعه از منبع گاما حاصل تکنسیوم ^{134}Cs استفاده شده است. به علت خاصیت نفوذ گاما در اجسام تمامی لایه های فتوکاتالیست در خلل و فرج بستر و سطوح غیر قابل رویت فعال می شود.

روش ها

این مطالعه در آزمایشگاه تربیت مدرس گروه بهداشت حرفه ای در سال ۱۳۹۲ الی ۱۳۹۴ انجام شد از دو نوع بستر استفاده شد. زئولیت طبیعی و زئولیت اصلاح شده با نوع اول بستر از سنگ خورد شده زئولیت طبیعی سمنان به قطر ۱-۲ میلی متر تولید شده توسط الک های استاندارد ASTM با مش ۲۰-۴۰ استفاده شد. نوع بستر دوم زئولیت طبیعی سمنان اصلاح شده با اسید کلریدریک یک نرمال در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد در ۱۲ ساعت بود. زئولیت با آب مقطر گرم و سپس سرد شستشو داده شد و در دمای ۱۸۰ درجه خشک گردید (۱۳). نانو ذرات TiO_2 با غلظت ۲ درصد وزنی با آب مقطر دوبار تقطیر به روش غوطه ور سازی محلول کلوییدی تهیه و توسط شیکر اولتراسونیک با دانه های زئولیت مخلوط گردید (۲۰). پس از صاف کردن، برای تثبیت در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد خشک شد (۲۱). هر دونوع بستر با روش طیف سنجی فلوروسانس پرتو ایکس (XRF) مورد بررسی قرار گرفت و اجزاء تشکیل دهنده آن در جدول ۱- مشخص گردید. با روش پراش پرتو ایکس (XRD) پابرجا بودن ساختار کریستالی زئولیت در شکل ۲- تعیین شد. بمنظور اثبات تغییر سطح ویژه بستر زئولیت از روش BET استفاده شد و نتایج در جدول ۲- مشاهده می شود. این روش بر اساس سنجش حجم گاز نیتروژن جذب و واجذب شده توسط سطح ماده در دمای ثابت نیتروژن مایع (۷۷ درجه کلونین) کار می کند. در این روش یک لایه کامل از مولکول های ماده جذب شونده روی سطح بوجود می آید. با دانستن ضخامت متوسط یک مولکول می توان سطحی که یک مولکول اشغال می کند را محاسبه نمود و براساس میزان ماده جذب شده، مساحت سطح کل نمونه را اندازه گیری کرد.

منبع اشعه گاما از تکنسیوم ۱۴۴ با شدت تابش ۰/۵ میلی کوری در ویال ۵ سی سی تهیه و در داخل رآکتور در مجاورت لوله شیشه ای قرار گرفت. حجم فتورآکتور معادل ۱/۲ سانتیمتر مکعب بود. به منظور اطمینان از عبور اشعه گاما از زئولیت درجه کنترل در برابر لوله شیشه ای تعبیه و به تناوب اندازه گیری توسط دستگاه RADOS 200 ساخت کشور فنلاند انجام گرفت. برای تشخیص غلظت ورودی و خروجی هوای آلوده به استایرن از دستگاه فوچک ساخت کشور انگلستان استفاده شد.

جهت انجام آزمایش، لوله ای از جنس شیشه به قطر داخلی ۶ میلی متر و طول ۱۵۰ میلی متر انتخاب شد که مقدار یک گرم از زئولیت را در طول ۴۳ میلی متر در خود جای داد. راکتوری با خاصیت نصب منبع گاما به شکل یک مرحله ای و جریان هوای آلوده به صورت ممتد با دیواره ای از جنس سرب به ضخامت شش میلی متر تهیه شد. دمای محیط 1 ± 25 درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی بطور متوسط ۳۳٪ بود.



شکل-۱. نمایش ساده از سیستم طراحی شده برای انجام آزمایش حذف دینامیک استایرن
پمپ هوای پاک (۱) روتامتر (۲) مخزن غلظت ساز (۳) شیر نمونه برداری (۴) راکتور (۵) منبع گاما (۶) درجه نمونه برداری اشعه گاما (۸) محل نمونه برداری (۹) روتامتر

شکل-۱. نمایش ساده از سیستم طراحی شده برای انجام آزمایش حذف دینامیک استایرن

نتایج

در مقایسه زئولیت طبیعی Z-N و زئولیت اصلاح شده با اسید Z-A مقدار دی اکسید تیتانیوم افزایش یافته است و نتایج پراش پرتو ایکس (XRD) در شکل-۲ پابرجا بودن ساختار کریستالی زئولیت را اثبات می کند. برخی ویژگی های فیزیکی زئولیت طبیعی و اصلاح شده با روش BET تهیه شده در جدول-۲ نشان میدهد که زئولیت اصلاح شده در مقایسه با زئولیت طبیعی دارای سطح ویژه بیشتری است. نتایج آزمایش BET نشان می دهد سطح هر گرم زئولیت طبیعی برابر با ۲۵/۷۹۵ متر مربع است و سطح هر گرم زئولیت اصلاح شده با اسید برابر با ۱۰۳/۰۹ متر مربع است. نشان دهنده افزایش قابل توجه سطح برای پوشش فتوکاتالیست است.

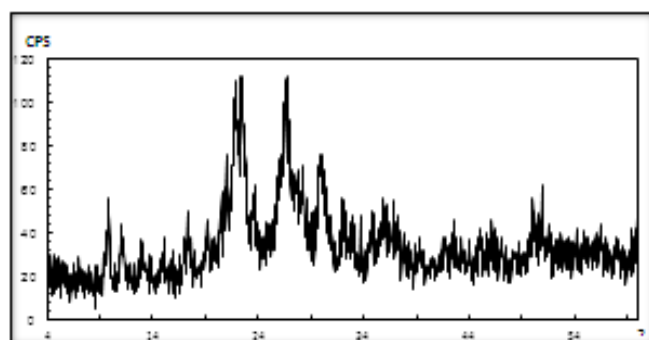
بیشترین راندمان حذف ۹۵٪ در غلظت ۱۰۰ ppm برای نانو ذرات دیاکسید تیتانیوم بر روی بستر زئولیت اصلاح شده با اسید کلریدریک است و کمترین راندمان حذف در غلظت ۴۵۰ ppm با راندمان ۲۲٪ در این گروه مشاهده شد. بالاترین راندمان در زئولیت طبیعی در غلظت ۱۰۰ ppm برابر با ۸۸٪ و کمترین راندمان در غلظت ۴۵۰ ppm برابر با ۲۰٪ است. حذف استایرن در حجم ۱/۲۱۵ سانتیمتر مکعب توسط این مطالعه بدست آمد. از مقایسه نتایج بدست آمده از آنالیز XRF که همان طیف سنجی فلورسانس پرتو ایکس است در جدول-۱ نشان می دهد

جدول-۱. نتایج بررسی مواد تشکیل دهنده زئولیت های مورد بررسی با استفاده از XRF

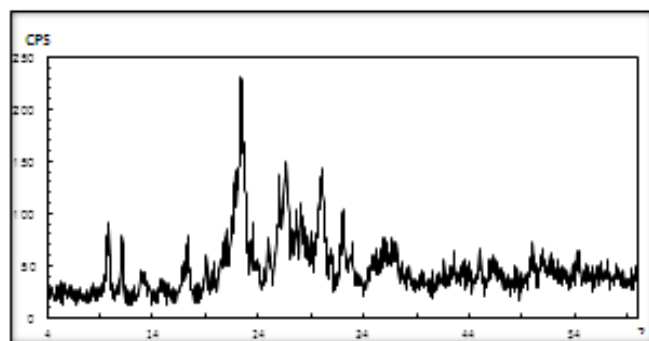
Zeolite name	SiO ₂	Al ₂ O ₃	BaO	CaO	Fet	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	LOI	
زئولیت طبیعی	Z-N	۷۱/۳۸	۱۰/۷۶	۰/۰۸	۰/۹۷	۰/۷۴	۴/۴۹	۰/۶۶	۰/۰۲	۱/۷۷	۰/۰۳	۰/۱۹	۸/۵
زئولیت اسیدی	Z-A	۷۲/۴۶	۱۰/۵۲	۰/۱۲	۰/۴۶	۰/۸	۵/۳۱	۰/۵	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۲۶	۸/۲۲
زئولیت + TiO ₂ اسیدی	Z-A- TiO ₂	۷۵/۱	۸/۵	۰/۰۹	۰/۵۱	۰/۷۸	۴/۱	۰/۱۹	۰/۰۲	۰/۴۵	۰/۰۱	۱/۷	۸/۶۷

تصاویر میکروسکپ الکترونیکی روشی (SEM) از زئولیت طبیعی و زئولیت پوشش داده شده با نانوذرات تیتانیوم همراه با پوشش نانو ذرات در شکل ۳- قابل مشاهده است.

پس از آغشته کردن زئولیت به نانو ذرات Z-A-TiO₂ در آزمایش تکمیلی XRF مشخص شده نانو ذرات TiO₂ از ۰/۱۹ به مقدار ۱/۷ درصد وزنی افزایش یافته است.



نمودار XRD زئولیت طبیعی

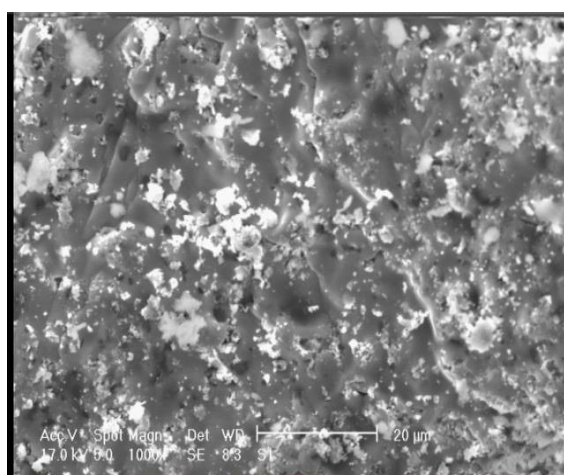
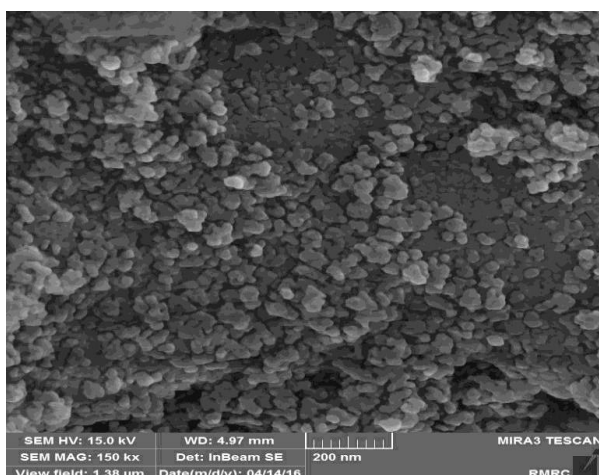


نمودار XRD زئولیت اصلاح شده با اسید

شکل ۲- ساختار زئولیت طبیعی و اصلاح شده با اسید به روش XRD

جدول ۲- نتایج آزمایش ویژگیهای فیزیکی زئولیت طبیعی و اصلاح شده با استفاده از BET

ویژگی	زئولیت طبیعی + TiO ₂	زئولیت اصلاح شده + TiO ₂
مساحت ویژه (m ² /g)	۲۵/۷۹۵	۱۹۲/۳۵
حجم منافذ (cm ³ /g)	۰/۱۵۱۹	۰/۱۰۰۵

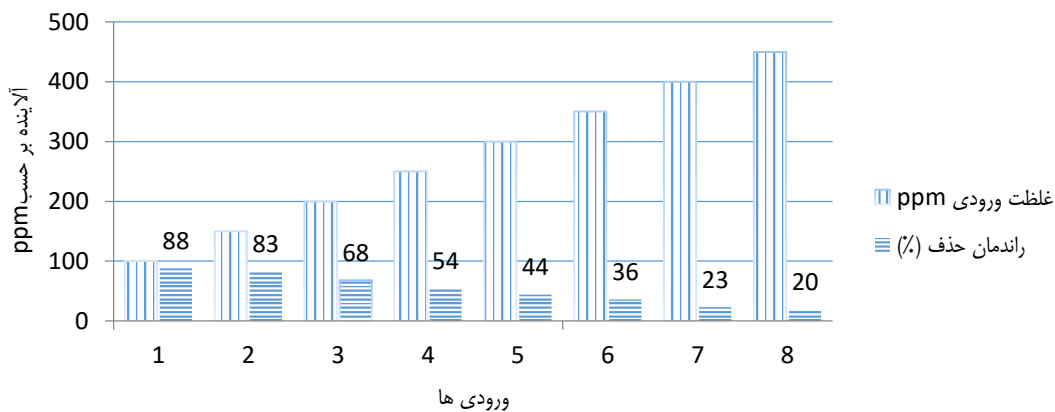


الف- زئولیت طبیعی سمنان ب- زئولیت اصلاح شده با پوشش نانو ذرات TiO₂

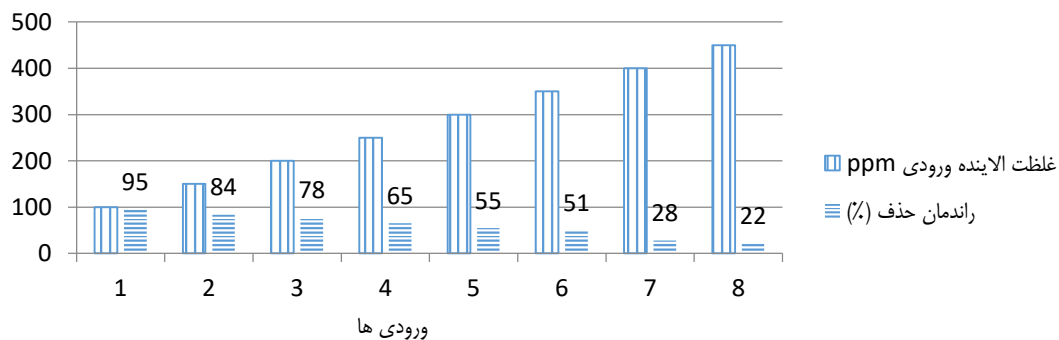
شکل ۳- تصویر تهیه شده با میکروسکوپ الکترونی از دو نوع زئولیت است. در شکل ۲- الف زئولیت طبیعی سمنان است و ۲- ب ذرات تقریباً کروی شکل نانو ذرات TiO₂ تثبیت شده بر بستر زئولیت است

غلظت های ورودی مختلف در نمودار-۲ مشاهده می شود. بالاترین راندمان با عدد ۹۵٪ در ورودی ۱ با غلظت اولیه ۱۰۰ ppm تعلق دارد و با افزایش غلظت گاز ورودی کارایی آن کاهش می یابد. با آزمون کروסקال وایس با $P=0.002$ مشخص شد اختلاف معنی دار است. در مقایسه دو گروه آزمایشی زئولیت طبیعی و اصلاح شده نتیجه بهتر در غلظت آلاینده ۱۰۰ ppm توسط زئولیت اصلاح شده بدست آمده است با آزمون کروסקال وایس اختلاف معنی داری مشاهده نشد.

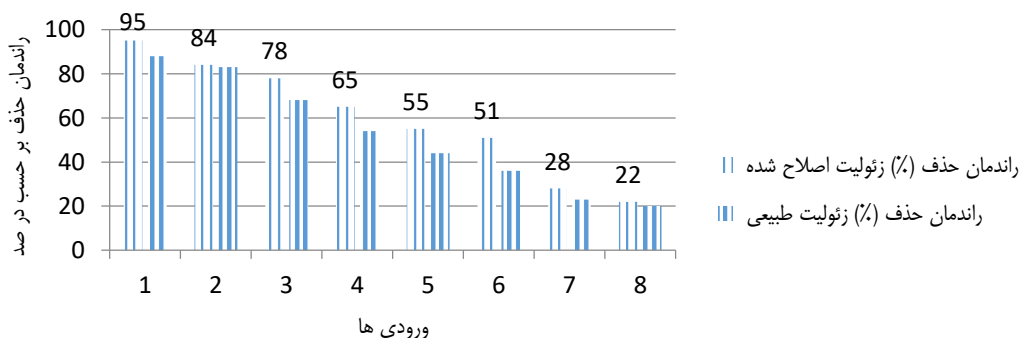
نتایج بررسی کارایی تجزیه فتوکاتالیستی استایرن توسط TiO_2 و تابش اشعه گاما بر روی بستر زئولیت طبیعی در غلظت های ورودی مختلف در نمودار-۱ مشاهده میشود. با آزمون کروסקال وایس با $P=0.002$ اختلاف معنی دار است و می توان نتیجه گرفت بیشترین راندمان با ۸۸٪ ورودی یک با غلظت اولیه ۱۰۰ ppm متعلق است و با افزایش غلظت کارایی آن کاهش می یابد. نتایج بررسی کارایی تجزیه فتوکاتالیستی استایرن توسط TiO_2 و تابش اشعه گاما بر روی بستر زئولیت اصلاح شده با اسید در



نمودار-۱. راندمان زئولیت طبیعی همراه با نانوذرات TiO_2



نمودار-۲. راندمان زئولیت اصلاح شده همراه با نانوذرات TiO_2



نمودار-۳. مقایسه راندمان حذف آلاینده دو گروه آزمایشی زئولیت اصلاح شده و زئولیت طبیعی همراه نانوذرات TiO_2

بحث

در این مطالعه به میزان حذف استایرین از هوا توسط دی اکسید تیتانیوم بر روی بستر زئولیت طبیعی ایران با استفاده از اشعه گاما پرداخته شده است. در مطالعه ولی پور و همکاران برای حذف بیواثرسل های محیط کار از بستر زئولیت طبیعی ایران و فتوکاتالیست اکسید روی با تابش اشعه UV استفاده کرده و راندمان بالایی در حذف باکتری سودوموناس حاصل شده است (۱۹). رضایی و همکاران در مطالعه ای برای حذف تولوئن از هوا با استفاده از نانو ذرات TiO_2 با تابش اشعه ماوراء بنفش با راندمان صد درصد تولوئن را حذف کردند (۲۱). که با نتایج این مطالعه هم خوانی دارد. اصیلیان و همکاران با استفاده از زئولیت طبیعی استایرین را از هوای محیط حذف کردند بهترین راندمان را در زئولیت طبیعی اصلاح شده با اسید بدست آوردند (۱۳). نتایج این تحقیق با یافته های اصیلیان مغایرت دارد احتمالاً به دلیل کم بودن تعداد نمونه در هر غلظت است. لامو و همکاران فعالیت نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و دی اکسید تیتانیوم تجاری راتحت تاثیر اشعه گاما مشابه یافتند (۲۲). نتایج حاصل از آنالیز نمونه ها توسط دستگاه XRF نشان داد (جدول-۱)، ترکیبات اصلی زئولیت های مورد مطالعه سیلیس، آلومینیوم، کلسیم و سدیم می باشند. این نتایج مشابه نتایج مطالعات قهری و همکاران است (۲۳).

همانطور که گفته شد، پس از اصلاح اسیدی مقادیر تمام ترکیبات موجود در ساختار زئولیت Z-A به جز سیلیس و پتاسیم (به علت مقاومت اسیدی بالا) کاهش یافته اند. بالاترین کاهش مربوط به کلسیم با ۵۲٪ می باشد. وجود کلسیم می تواند در ارتباط با وجود دولومیت و فلدسپار در زئولیت های طبیعی می باشد.

اصلاح زئولیت طبیعی با اسید کلریدریک با توجه به نتایج آزمایش BET (جدول-۲) موجب بهبود و ارتقاء سطح ویژه زئولیت شده است که با نتایج اصیلیان و همکاران هم خوانی دارد (۱۳). در گزارش اصیلیان به سطح ویژه قبل و بعد از اصلاح اشاره نشده است. نتایج حجم کل زئولیت اصلاح شده در واحد وزن نشان دهنده کاهش وزن حجمی است. این کاهش موید تاثیر اصلاح با اسید کلریدریک است. Lamo و همکاران در مطالعه ای تاثیر اشعه گاما بر اثر فتوکاتالیستی TiO_2 تجاری را اثبات کردند که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد (۲۲).

Ao و همکاران تاثیر TiO_2 بر روی بستر کربن فعال در کاهش نوعی آلودگی هوای داخل فضای بسته را اثبات کرده که نتایج این مطالعه با آن مطابقت دارد (۲۴). ولیپور و همکاران با استفاده از اشعه UV بعنوان منبع فوتون برای فعال سازی فتوکاتالیست در سطح وسیع فتوکاتالیست باری حذف سودوموناس بکار رفته است (۱۹). در فعال سازی فتوکاتالیستها انرژی فوتون لازم است که از منبع اشعه ماوراء بنفش مصنوعی استفاده می شود. به دلیل ماهیت اشعه ماوراء بنفش محدودیت نفوذ در لایه های پایین تر از سطح

فتوکاتالیست وجود ندارد. بنابراین در روشهای معمول از مقدار زیادی فتوکاتالیست استفاده می شود. در مطالعه حاضر فوتون با منشاء گاما دارای قدرت نفوذ بالا در بستر زئولیت بکار رفته است که تمامی سطوح خارجی و داخلی بستر آغشته به فتوکاتالیست را فعال نمود در نتیجه این بستر با وزن کم سطح بسیار زیادی از فتوکاتالیست را فعال می کند که با مطالعه خوانین و همکاران در حذف تولوئن از هوا تفاوت دارد (۲۱). این مغایرت را می توان به دلیل فعال شدن فتوکاتالیست در حجم نسبت داد. نتایج پژوهش حاضر تاثیر اشعه گاما در فعال نمودن فتوکاتالیست را به خوبی بیان کرده است. نتایج پژوهش حاضر تاثیر اشعه گاما در فعال نمودن فتوکاتالیست را به خوبی نشان می دهد. در مطالعه حاضر بر اثر تماس اشعه گاما با تمامی منافذ و سطوح داخلی زئولیت پوشش داده شده با فتوکاتالیست TiO_2 فعال شد. استفاده از اشعه گاما باعث کوچک تر شدن راکتور شد. در محیط هایی که محدودیت فضا وجود دارد مانند زیردریایی به راحتی میتوان از این روش استفاده کرد.

دسترسی به مواد رادیواکتیو با نیم عمر طولانی تر و شدت تابش کم از محدودیتهای این مطالعه بود.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از مطالعه حاضر این واقعیت را ثابت میکند که مواد معدنی نظیر زئولیت طبیعی و اصلاح شده توسط اسید کلریدریک به سبب افزایش زیاد سطح میتواند بستر مناسبی برای فتوکاتالیست باشد.

این بستر به علت مقاومت فیزیکی بالا و تحمل حرارت بیشتر نسبت به جاذب های رایج همچون کربن فعال است. دسترسی آسان به مواد اولیه می تواند به عنوان بستر جایگزینی مناسب در حذف الاینده آلی مورد استفاده قرار گیرد.

از نتایج این مطالعه استفاده از منبع گاما به عنوان منبع تولید فوتون در فعال کردن فتوکاتالیست است که نویدی برای استفاده از مواد هسته ای در پالایش آلاینده های هوا می باشد که با استفاده از حجم کم بستر راندمان بالایی را ایجاد نموده است. پیشنهاد می گردد در مطالعات آینده برای حذف آلودگی ترکیبات غیرحلقوی هوای محیط کار از این روش استفاده گردد.

تشکر و قدردانی: این مطالعه در قالب پایان نامه دکتری و با حمایت دانشگاه تربیت مدرس انجام شده است که بدین وسیله نهایت تقدیر و تشکر به عمل می آید. همچنین از رییس و کارکنان مرکز پزشکی هسته ای مدرس جهت همکاری علمی و عملی تشکر می گردد.

تضاد منافع: بدینوسیله نویسندگان تصریح می نمایند که هیچگونه تضاد منافی در خصوص پژوهش حاضر وجود ندارد.

منابع

1. Warnes TW, Smith A. Hepatotoxic effects of workplace exposure. *Hunter's Diseases of Occupations*, Tenth Edition: CRC Press; 2010. p. 1171-95.
2. Yao H, Fan M, Wang Y, Luo G, Fei W. Magnetic titanium dioxide based nanomaterials: synthesis, characteristics, and photocatalytic application in pollutant degradation. *Journal of Materials Chemistry A*. 2015;3(34):17511-24.
3. Tavakol HS, Farzad K, Fariba M, Abdolkarim C, Hassan G, Seyed-Mostafa HZ, Akram R. Hepatoprotective effect of *Matricaria chamomilla*. L in paraquat induced rat liver injury. *Drug research*. 2015;65(02):61-4.
4. Natelson EA. Benzene-induced acute myeloid leukemia: a clinician's perspective. *American journal of hematology*. 2007;82(9):826-30.
5. White RF, Proctor SP. Solvents and neurotoxicity. *Lancet (London, England)*. 1997;349(9060):1239-43.
6. Liu K, Cao M, Fujishima A, Jiang L. Bio-inspired titanium dioxide materials with special wettability and their applications. *Chemical reviews*. 2014;114(19):10044-94.
7. Khan AA, Sultan R, Zamani GY. Biochemical and hematological analysis after exposure to hazardous materials during shoe making. *Journal of Biology and Life Sciences*. 2013;4(2):116.
8. Sumner SJ, Fennell TR. Review of the metabolic fate of styrene. *Critical reviews in toxicology*. 1994; 24:11-33.
9. Husain R, Srivastava SP, Mushtaq M, Seth PK. Effect of styrene on levels of serotonin, noradrenaline, dopamine and activity of acetyl cholinesterase and monoamine oxidase in rat brain. *Toxicology letters*. 1980;7(1):47-50.
10. Rueff J, Teixeira JP, Santos LS, Gaspar JF. Genetic effects and biotoxicity monitoring of occupational styrene exposure. *Clinica chimica acta; international journal of clinical chemistry*. 2009;399(1-2):8-23.
11. Ghaneian MT, Ghanizadeh G, Alizadeh MTH, Ehrampoush MH, Said FM. Equilibrium and kinetics of phosphorous adsorption onto bone charcoal from aqueous solution. *Environmental technology*. 2014;35(7):882-90.
12. Rangkooy HA, Rezaee A, Khavanin A, Jonidi Jafari A, Khoopaie AR. A Study on Photocatalytic Removal of Formaldehyde from Air Using ZnO Nanoparticles Immobilized on Bone Char. *Qom Univ Med Sci J*. 2013;7(2):17-26.
13. Hasan A, Ali K, Mahnaz A, Saeed D. Removal of styrene from air by natural and modified zeolite. *Health Scope*. 2012; 7-11.
14. Rene ER, Veiga MC, Kennes C. Experimental and neural model analysis of styrene removal from polluted air in a biofilter. *Journal of chemical technology and biotechnology*. 2009;84(7):941-8.
15. Zhang H, Li K, Sun T, Jia J, Lou Z, Yao S, et al. The combination effect of dielectric barrier discharge (DBD) and TiO₂ catalytic process on styrene removal and the analysis of the by-products and intermediates. *Research on Chemical Intermediates*. 2015;41(1):175-89.
16. Tseng TK, Lin YS, Chen YJ, Chu H. A review of photocatalysts prepared by sol-gel method for VOCs removal. *International journal of molecular sciences*. 2010;11(6):2336-61.
17. Ghaneian M, Ehrampoush M, Rahimi S, Ghanizadeh G, Askarshahi M. Adsorption of Reactive Red 198 Dye on TiO₂ Nano-particle from Synthetic Wastewater. 2011.
18. Mortazavi SB, Asilian Mahabadi H, Faghihzadeh S, Salem M, Kazemian H, Shahtaheri SJ. Ammonia removal from the air by modified natural zeolites (Clinoptilolite), using ion exchange method. *Nashrieh Shimi va Mohandesi Shimi Iran (NSMSI)*. 2003; 28-31.
19. Valipour F, Rezaee A, Joneidi Jafari A, Khavanin A. Photocatalytic removal of *Pseudomonas aeruginosa* from air using immobilized ZNO nanoparticle on Iranian natural zeolite. *J Mil Med*. 2013;15(2):157-162
20. Masoumbaigi H, Rezaee A, Hosseini H, Hashemi S. Water disinfection by zinc oxide nanoparticle prepared with solution combustion method. *Desalination and Water Treatment*. 2015;56(9):2376-81.
21. Rezaee A, Pourtaghi G, Khavanin A, Mamooory RS, Ghaneian M, Godini H. Photocatalytic decomposition of gaseous toluene by TiO₂ nanoparticles coated on activated carbon. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*. 2008; 5(4):305-10.
22. Lamo MB, Williams P, Reece P, Lumpkin GR, Sheppard LR. Study of gamma irradiation effect on commercial TiO₂ photocatalyst. *Applied Radiation and Isotopes*. 2014;89:25-9.
23. Ghahri A, Golbabaie F, Vafajoo L, Mireskandari S, Yaseri M, Shahtaheri S. Removal of Greenhouse Gas (N₂O) by Catalytic Decomposition on Natural Clinoptilolite Zeolites Impregnated with Cobalt. *International Journal of Environmental Research*. 2017;11(3):327-37.
24. Ao C, Lee S. Enhancement effect of TiO₂ on activated carbon filter for the photo degradation of pollutants at typical indoor air level. *Inv Appl Catal J*. 2003; 191-205.