حذف بخارات اتیل بنزن با استفاده از نانو کامپوزیت $MnO_2/Al_2O_3/Fe_2O_3$ پوشش شده بر روی بستر زئولیت HZSM-5

مریم فیض عارفی[۱]، فرشید قربانی شهنا*[۲]، عبدالرحمان بهرامی[۳]، حسین ابراهیمی[۴]

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۲۸ تاریخ ویرایش: ۹۵/۱۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۴/۰۳

چکیده

زمینه و هدف: اتیل بنزن یکی از ترکیبات آلی فرار خطرناک سرطان‌زا است که در صنایع مختلف تولید یا مورد استفاده قرار می‌گیرد، لذا کاهش استفاده و کنترل انتشار آن دارای اهمیت است. هدف این مطالعه تعیین اثربخشی نانو کامپوزیت MnO2/Al2O3/Fe2O3 پوشش شده بر روی بستر زئولیت HZSM-5 برای کنترل اتیل بنزن است.

روش بررسی: نانو کامپوزیت پوشش شده بر روی زئولیت به روش سل ژل سنتز شده و ویژگی‌های مورفولوژی آن با استفاده از الگوی XRD، طیف FTIR و تصاویر SEM تعیین‌شده است. تأثیر غلظت اولیه آلاینده، رطوبت نسبی و زمان‌ماند بر بازده نانو کامپوزیت در کنترل اتیل بنزن موردبررسی قرار گرفت. به‌منظور ارزیابی اثرات اصلی و اثرات متقابل و به‌منظور بهینه نمودن تعداد آزمایش‌ها از روش سطح پاسخ استفاده گردیده و آزمایش‌ها به‌وسیله نرم‌افزار Design Expert 9 طراحی شد.

یافته‌ها: نتایج مطالعه نشان داد اندازه ذرات نانو کامپوزیت پوشش شده بر روی بستر زئولیت کمتر از ۸۰ نانومتر بوده است. شرایط بهینه حذف اتیل بنزن در رطوبت نسبی ۵۰٪ زمان‌ماند ۱۹ ثانیه و غلظت اولیه ppm ۳۰۰ حاصل شد. در این شرایط نانو کامپوزیت قادر به حذف ۹۸/۹۵٪ بخارات اتیل بنزن شد.

نتیجه‌گیری: نانو کامپوزیت سنتز شده در شرایط موردمطالعه دارای راندمان بالا بوده و مناسب جهت حذف اتیل بنزن در فاز گازی است. ازجمله مزایای این نانو کامپوزیت واکنش در دمای اتاق، راندمان بالا حتی در غلظت‌های بالا است. نتایج نشان داد که پوشش نانوکامپوزیت بر روی بستر زئولیتی HZSM-5 قابلیت جذبی بالایی اتیل بنزن در فاز گازی است.

کلیدواژه‌ها: نانو کامپوزیت MnO2/Al2O3/Fe2O3، جذب، اتیل بنزن، زئولیت HZSM-5.

مقدمه

اتیل بنزن ازجمله ترکیبات آلی فرار خطرناک بوده که به دلیل استفاده در صنایع شیمیایی و پتروشیمی مواجهه با آن اتفاق می‌افتد [۱] ازجمله اثرات مواجهه با اتیل بنزن:تحریک پوست، مشکلات تنفسی، سرطان و تأثیر بر سیستم عصبی مرکزی و سیستم گردش خون است [۲، ۳]، بنابراین کنترل این آلاینده حائز اهمیت است. روش‌های متنوعی جهت حذف ترکیبات آلی فرار وجود داشته که به دو دسته کلی روش تخریبی و غیر تخریبی طبقه‌بندی می‌شوند ازجمله روش‌های تخریبی متداول، روش اکسیداسیون فتوکاتالیستی است. در واقع مهم‌ترین مزیت روش اکسیداسیون فتوکاتالیستی آن است که واکنش در دماهای پایین‌تر صورت می‌گیرد. امروزه روش اکسیداسیون فتوکاتالیستی یک روش سریع و مقرون‌به‌صرفه برای پالایش VOC ها محسوب می‌شود [۴]. از روش های تخریبی دیگر این ترکیبات می توان به جذب شیمیایی، اکسیداسیون حرارتی و کاتالیستی، پلاسمای غیرحرارتی و تجزیه زیستی اشاره نمود [۹-۵].

ازجمله روش‌های غیر تخریبی می‌توان به روش جذب آلاینده اشاره نمود که تنها سبب شده تا آلاینده از هوا جداشده و به یک جاذب منتقل گردد. در فرایند

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، همدان، ایران.

۲- (نویسنده مسئول) دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، همدان، ایران. fghorbani@umsha.ac.ir

۳- استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، همدان، ایران.

۴- استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

جذب ماده جاذب بدون تخریب آلاینده و اینکه تغییری در ساختار آلاینده ایجاد شود موجب حذف آلاینده می‌گردد [۹].

در فرایندهای فتوکاتالیستی نیز جذب آلاینده تا حدی وجود دارد. مطالعات نشان داده کاتالیست هایی که دارای بستر باشند فرایند حذف آلاینده در آن‌ها بهتر انجام می‌شود که به علت خاصیت بستر در افزایش مدت‌زمان تماس آلاینده با کاتالیست است. درواقع بستر به‌عنوان جاذب، عمل جذب آلاینده بر روی کاتالیست را تسهیل می‌کند. در میان بسترهای مرسوم، زئولیت یک ماده متخلخل باقابلیت جذب فوق‌العاده بالا است [۸، ۱۰، ۱۱] که علاوه بر خواص مربوط به یک بستر مناسب، به دلیل افزایش مدت‌زمان تماس آلاینده با کاتالیست خواص فتوکاتالیستی را نیز افزایش می‌دهد [۱۳ و ۱۲،۱۰]. به نظر می‌رسد استفاده از زئولیت HZSM-5 به‌عنوان بستر کاتالیست علاوه بر ارتقا خاصیت فتوکاتالیستی سبب افزایش عمر مفید آن نیز بشود. مطالعات متعددی از کاربرد کاتالیست هایی همچون اکسیدهای آهن و منگنز و نانو کامپوزیت‌های مغناطیسی در جهت حذف آلاینده‌هایی همچون فرمالدهید و بنزن صورت گرفته است [۱۴].

$MnO_2/Al_2O_3/Fe_2O_3$ یک کاتالیست جدید است که در پژوهش‌هایی جهت حذف فتوکاتالیستی فنول و مالاشیت سبز در تصفیه پساب، موردمطالعه قرارگرفته است. [۱۶، ۱۵] با توجه به اینکه ترکیبات آلی فرار بیشتر به شکل گاز و بخار در محیط وجود دارند و از طرفی مواجهه استنشاقی در محیط کاری مهم‌ترین نوع مواجهه است و تاکنون مطالعه‌ای در زمینه استفاده از این نانو کامپوزیت در حذف آلاینده‌های هوابرد صورت نگرفته است هدف از مطالعه حاضر حذف بخارات اتیل بنزن با استفاده از نانو کامپوزیت $MnO_2/Al_2O_3/Fe_2O_3$ پوشش شده بر روی بستر زئولیت HZSM-5 و بررسی عوامل مؤثر بر بازده حذف اتیل بنزن است.

روش بررسی

طراحی آزمایش: به منظور ارزیابی اثرات اصلی و اثرات متقابل و بهینه نمودن تعداد آزمایش‌ها از روش سطح پاسخ[1] استفاده گردید. سه متغیر در سه سطح شامل: غلظت ۱۰۰، ۲۰۰ و ppm ۳۰۰، رطوبت (۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد) و زمان‌ماند (۱، ۱۰ و ۱۹ ثانیه) در نظر گرفته شده است. در مجموع تعداد ۱۷ حالت آزمایش برآورد گردید. آزمایش‌ها به‌وسیله نرم‌افزار Design Expert 9 طراحی شد.

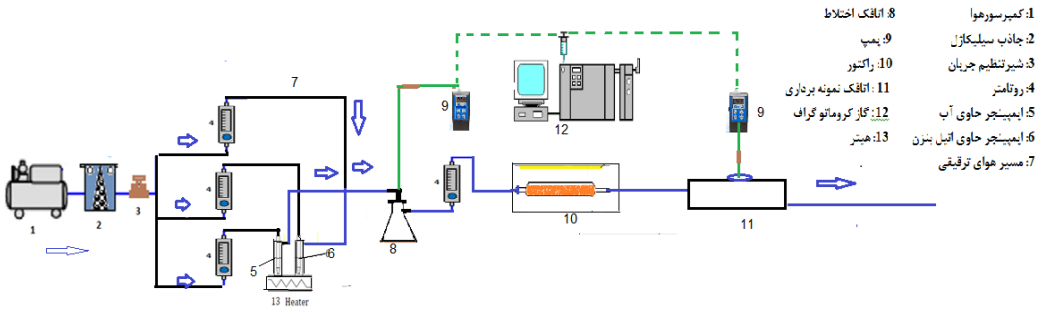
در این مطالعه دو شرایط بهینه بررسی‌شده است که شامل شرایط بهینه برای زمان‌ماندهای کوتاه (قابلیت کاربرد در شرایط واقعی صنعت) و شرایط بهینه آزمایشگاهی که در آن زمان‌ماندهای بیشتر آزمایش‌شده تا میزان افزایش راندمان در شرایط ایده آل آزمایشگاهی بررسی شود.

تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از روش رگرسیونی حذفی رو به عقب با مقدار $\alpha = ۰/۱۰$ برای خروج عامل از مدل، صورت گرفت؛ که بیانگر آن است که متغیرهای با p-value بیشتر از ۰/۱ از تجزیه‌وتحلیل کنار گذاشته می‌شوند.

سنتز نانو کامپوزیت به روش سل ژل: به‌منظور سنتز نانو کامپوزیت $MnO_2/Al_2O_3/Fe_2O_3$ از روش سل ژل استفاده‌شده است[۱۶] به این منظور: مقدار۲۸/۲۸گرم $Fe(NO_3)_3.9H_2O$ را درون بشر حاوی ۲۸میلی‌لیتر آب مقطر ریخته هم زده تا کامل حل شود. سپس۷/۵۰ گرم $Al(NO_3)_3.9H_2O$ را درون بشر ۲۰۰ میلی‌لیتری حاوی۸ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته و تا حل شدن کامل به‌وسیله همزن مغناطیسی هم زده می‌شود. در مرحله بعدی ۰/۸۷ گرم MnO_2 در بشر حاوی ۴میلی‌لیتر آب مقطر ریخته سپس محلول به‌دست‌آمده در یک بشر۲۰۰میلی‌لیتری ریخته می‌شود و به‌منظور همگن‌سازی به‌طور مرتب با همزن مغناطیسی هم زده شد، سپس ۲۰ میلی‌لیتر بوتانول به محلول افزوده و هم زده شد. سپس ۳ میلی‌لیتر اسید

[1] Response Surface

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]



شکل ۱- پایلوت آزمایش نانو کامپوزیت

نیتریک۶۵٪ افزوده‌شده و با یک همزن مغناطیسی به مدت ۱۰ دقیقه هم زده می‌شود تا حل گردد. تمام مواد اولیه محصول شرکت مرک با درجه خلوص بیش از ۹۵ درصد بوده است. درنهایت محلول برای مدت ۵ روز در دمای اتاق نگهداری می‌شود تا ژل تشکیل شود. بعد از تشکیل ژل قبل از قرار دادن نمونه در داخل خشک‌کن الکتریکی مقدار ۴۰ گرم از پودر زئولیت ZSM-5 با قطر ذرات ۲۵ نانومتر و نسبت Si/Al ۲۵ (شرکت اسپگ) به داخل ژل افزوده‌شده و هم زده می‌شود تا به‌طور یکنواخت کاتالیست بر روی این بستر پوشش شود. بعد از تشکیل ژل، ماده موردنظر جهت تبخیر بیشتر محلول و خشک شدن ژل در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۶ ساعت در خشک‌کن الکتریکی گرم می‌شود. ژل خشک‌شده به بوته چینی منتقل‌شده و در دمای۴۰۰درجه سانتی‌گراد برای مدت‌زمان ۳ ساعت در کوره الکتریکی قرار داده‌شده که جهت سوختن مواد آلی غیرضروری وکلسینه شدن است. نمونه‌ها با استفاده از هاون آسیاب می‌شود تا پودری به رنگ زرد مایل به نارنجی به دست آید. نانو کامپوزیت سنتز شده تا زمان استفاده در دسیکاتور نگهداری شد. به‌منظور تعیین مشخصات ریخت‌شناسی نانو کامپوزیت سنتز شده، از طیف FTIR، (دستگاه اسپکترومتر FT-IR مدل PerkinElmer)، الگوی XRD (دستگاه پراش پرتو X مدل ADP2000 ساخت شرکت ITALSTRUCTURE) تصاویر SEM و EDX (میکروسکوپ الکترونی روبشی، مدلMIRA3 شرکت TESCAN) استفاده شد.

پایلوت نمونه‌برداری: پایلوت آزمایش در شکل ۱ نشان داده‌شده است. در این مطالعه محفظه‌ای به شکل مکعب مستطیل به ابعاد ۸× ۳۵ سانتی‌متر مورداستفاده قرارگرفته است. سطوح محفظه از آینه ساخته‌شده بود تا نور به تمام سطح راکتور منعکس شود. در داخل این محفظه یک راکتور استوانه‌ای شکل از جنس پیرکس به طول ۳۲ میلی‌متر با سطح مقطع ۱۰ میلی‌متر و دارای حجم ۲۵ میلی‌متر قرار داده شد. ۴ گرم نانو کامپوزیت در داخل راکتور ریخته شد. برای فعال نمودن فتوکاتالیست از لامپ LED دارای طول‌موج در محدوده نور مرئی، در بالای محفظه استفاده شد.

سنجش کارایی نانوکامپوزیت $MnO_2/Al_2O_3/Fe_2O_3$ پوشش شده بر روی بستر زئولیت HZSM-5 در حذف بخارات اتیل بنزن: به‌منظور سنجش کارایی نانو کامپوزیت غلظت‌های موردنیاز از بخارات اتیل بنزن به روش دینامیک تولید و وارد راکتور می شد. تولید غلظت‌های موردنیاز به روش تبخیر آلاینده با استفاده از ایمپیجر و روش رقیق‌سازی انجام‌شده است به این صورت که از یک ایمپینجر حاوی ماده اتیل بنزن جهت تولید بخارات اتیل بنزن و یک ایمپینجر حاوی آب جهت تأمین رطوبت استفاده شد. با تنظیم دبی هوای عبوری از اتیل بنزن و دمای محلول میزان تبخیر آلاینده کنترل‌شده و غلظت موردنیاز تولید شد. همه آزمایش‌ها در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی‌گراد) انجام شد.

جهت حصول اطمینان از رسیدن به غلظت موردنظر بعد از مدت‌زمان حدود ۱۵ دقیقه کار کردن مدار در

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

غلظت مشخص، با استفاده از جاذب زغال فعال از درون اتاقک‌های تعبیه‌شده قبل و بعد از راکتور، به‌وسیله پمپ‌های دبی پایین که دبی آن‌ها روی ۱۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه تنظیم‌شده بود نمونه‌برداری از هوا به مدت ۱۵ دقیقه انجام شد. به‌این‌ترتیب، به‌طور هم‌زمان میزان آلاینده قبل و بعد از راکتور سنجش و میزان حذف آلاینده در اثر واکنش روی سطح نانو کامپوزیت سنجیده شده است. بعد از اتمام نمونه‌برداری زغال فعال درون ویالی ریخته شده و یک میلی‌لیتر دی سولفید کربن افزوده شد و به مدت نیم ساعت نمونه‌ها در داخل شیکر قرار داده‌شده است تا آلاینده به‌طور کامل استخراج گردد. به‌منظور تعیین میزان فعالیت فتوکاتالیستی غلظت CO_2 قبل و بعد از راکتور با استفاده از دستگاه قرائت مستقیم CO2 (مدل KIMO –AQ 100) سنجیده شده و میزان فعالیت فتوکاتالیستی نانو کامپوزیت سنتز شده بررسی‌شده است. همچنین به‌منظور تعیین دیگر محصولات ناشی از واکنش اتیل بنزن و این نانو کامپوزیت نمونه بعد از راکتور به دستگاه GC-MASS مدل Varian با استفاده از ستون مویین RTX-624 با مشخصات (0.25mm ID ,1.4µm 30m) تزریق‌شده است.

به‌منظور تعیین میزان کارایی نانو کامپوزیت سنتز شده از طریق فرایند جذب نیز از عبور گاز بی‌اثر نیتروژن، خاموش کردن لامپ LED و حذف رطوبت و توانایی نانو کامپوزیت در حذف اتیل بنزن در غلظت ۳۰۰ppm به مدت ۱۵ دقیقه استفاده شد. جهت محاسبه راندمان حذف اتیل بنزن از رابطه ۱ استفاده شد.

$$E(\%) = \frac{C_{in}-C_{out}}{C_{in}} \times 100 \qquad ۱)$$

تعیین سایز ذرات (D) نانو کامپوزیت سنتز شده با استفاده از الگوی XRD مطابق با رابطه ۲ محاسبه می‌گردد [۲].

$$D = k\lambda \div \beta\cos\theta \qquad ۲)$$

K فاکتور شکل (۰/۹۴) و λ طول‌موج XRD (برابر با ۰/۱۵۴nm)، β کل عرض در نصف حداکثر شدت تابش پرتو برحسب رادیان و θ زاویه تابش برحسب رادیان است.

تعیین نقطه شکست جذب: برای تعیین نقطه شکست جذب، غلظت آلاینده در شرایط بهینه افزایش داده شد و راندمان نانو کامپوزیت مورد پایش قرار گرفت تا بدین ترتیب غلظتی که در آن راندمان نانو کامپوزیت کاهش می‌یابد تعیین گردد.

به‌منظور تعیین میزان فعالیت نانو کامپوزیت بعد از تعیین شرایط بهینه، مدار آزمایش به‌طور پیوسته فعالیت داشته و آلاینده به داخل راکتور تزریق‌شده است. به‌این‌ترتیب در طی این مدت در بازه های زمانی ۴ ساعته راندمان راکتور سنجیده شد. این روند تا کاهش راندمان به حدود ۲۰ درصد عملکرد نانو کامپوزیت پایش شده است.

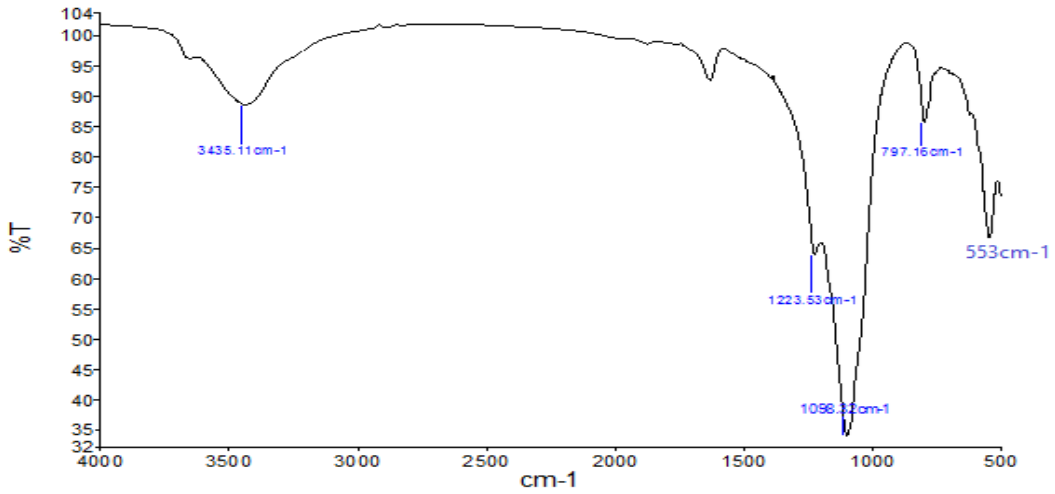
یافته‌ها

مشخصات ریخت شناسی نانو کامپوزیت $MnO_2/Al_2O_3/Fe_2O_3$ دارای بستر زئولیت HZSM-5:

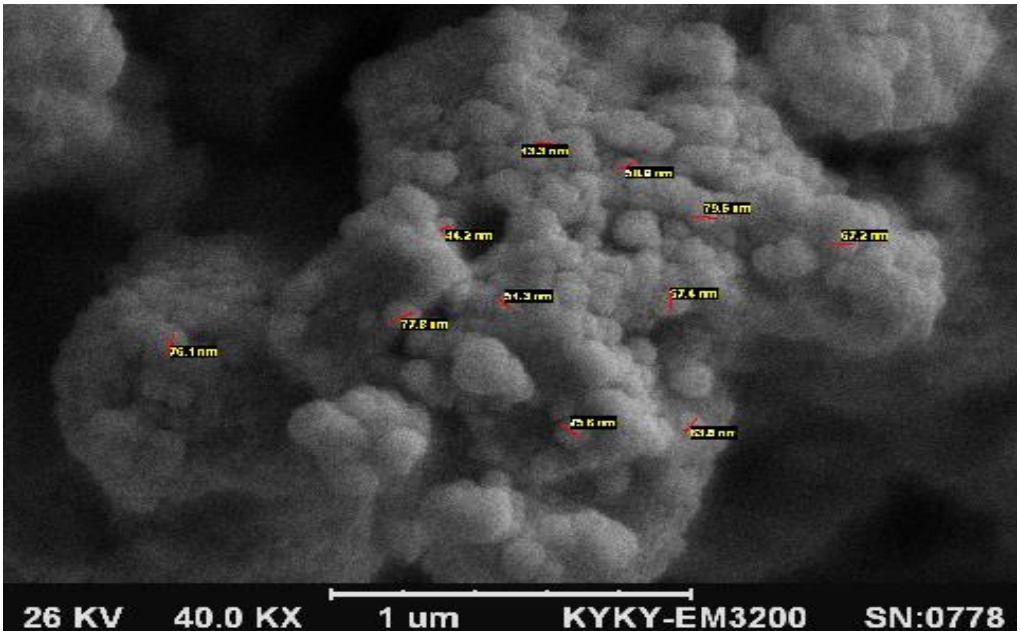
مشخصات ریخت‌شناسی نانو کامپوزیت سنتز شده به تفکیک بیان‌شده است.

طیف FTIR: به‌منظور تعیین ساختار باند نمونه نانو کامپوزیت $MnO_2/Al_2O_3/Fe_2O_3$ دارای بستر زئولیتی از طیف FTIR استفاده شد. با توجه به مطالعات گذشته عدد موجی cm^{-1} ۵۰۰–۴۰۰۰ برای بررسی مشخصات نانو کامپوزیت سنتز شده استفاده شد. طیف FTIR نانو کامپوزیت در شکل ۲ ارائه‌شده است. شدت باندهای به‌دست‌آمده از نمونه نشان داده پیک 3435 cm-1 مربوط به مولکول‌های آبی است که به داخل کریستال جذب‌شده‌اند و پیک ۱۶۲۳ مولکول‌های آزاد آب می‌باشند. پیک ۵۵۳ مربوط به پیوند Fe-O و باند ۷۹۷ مربوطه به پیوند Al-O است [۱۶]. پیک‌های ۱۲۲۳/۵۳ و ۱۰۹۶/۱۲ مربوط به ارتعاشات ساختاری زئولیت ZSM-5 است و پیک‌های کوچک مربوط به اکسید آهن و آلومینیوم و عدم رؤیت پیک جذبی مربوط به

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]



شکل ۲- طیف FTIR ، نمونه نانو کامپوزیت$MnO_2/Al_2O_3/Fe_2O_3$ پوشش شده بر روی زئولیت HZSM-5 بعد از کلسیناسیون



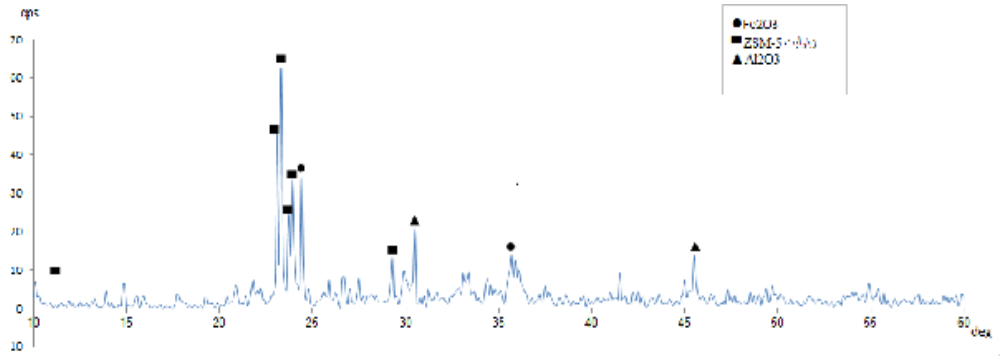
شکل ۳- تصاویر SEM از نانو کامپوزیت $MnO_2/Al_2O_3/Fe_2O_3$ پوشش شده بر روی زئولیت HZSM-5 با بزرگنمایی‌های مختلف

منگنز نشان‌دهنده توزیع مناسب این ترکیبات بر روی زئولیت ZSM -5 است.

تصاویر SEM: تصاویر SEM تهیه‌شده از سطح نانو کامپوزیت نشان داده سایز ذرات نانو کامپوزیت کمتر از ۸۰ نانومتر (رنج ۴۳/۳–۷۹/۶nm) بوده است. با توجه به EDX به‌دست‌آمده درصد عنصری اکسید آلومینیوم و اکسید آهن کمتر از ۱۰ درصد و اکسید منگنز بسیار جزئی (کمتر از ۳ درصد) بوده است (شکل ۳).

الگوی XRD: جهت تعیین اندازه ذرات و ساختار نمونه $MnO_2/Al_2O_3/Fe_2O_3$ پوشش شده بر روی بستر زئولیت، با استفاده از دستگاه پراش پرتوایکس، الگوی XRDتهیه‌شده است. نتایج نشان‌دهنده وجود پیک‌های مربوط به زئولیت ZSM-5 در الگو است و پیک‌های مربوط به عناصر Al_2O_3 و Fe_2O_3 به میزان جزئی و MnO_2 اصلا مشاهده نمی‌شود، به‌این‌علت که

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]



شکل ۴- الگوی XRD مربوط به نانو کامپوزیت MnO2/Al2O3/Fe2O3 پوشش شده بر روی زئولیت HZSM-5

این ترکیبات در ساختار متخلخل زئولیت لایه نشانی شده‌اند و در الگوی XRD حضور ندارند (شکل ۴).

با استفاده از رابطه ۲ حداکثر سایز ذرات سنتز شده در الگوی XRD ۸۶٫۹۷ نانومتر به‌دست‌آمده است.

بر مبنای طرح آزمایش شرح داده‌شده، لیست ۱۷ آزمایش که شامل مقادیر متغیرهای غلظت، زمان‌ماند و رطوبت نسبی در هر آزمایش است و همچنین نتایج محاسبه راندمان حذف آلاینده در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- آزمایش‌های طراحی‌شده و درصد حذف آلاینده

شماره آزمایش	متغیرها			راندمان حذف آلاینده (٪)
	زمان‌ماند (s)	غلظت (ppm)	رطوبت (٪)	
۱	۱۰	۱۰۰	۵۰	۹۶٫۴
۲	۱۹	۲۰۰	۵۰	۹۷٫۵۶
۳	۱	۲۰۰	۳۰	۶۴٫۴۳
۴	۱	۲۰۰	۷۰	۵۵٫۹۶
۵	۱۰	۳۰۰	۵۰	۹۸٫۸۵
۶	۱۰	۲۰۰	۳۰	۹۸٫۲۶
۷	۱۹	۱۰۰	۷۰	۹۶
۸	۱۹	۲۰۰	۵۰	۹۷٫۵۹
۹	۱	۳۰۰	۵۰	۷۷٫۲۲
۱۰	۱۹	۲۰۰	۵۰	۹۷٫۳
۱۱	۱۹	۱۰۰	۳۰	۹۶٫۷
۱۲	۱۹	۲۰۰	۵۰	۹۷٫۸۵
۱۳	۱۹	۳۰۰	۷۰	۹۸٫۹۳
۱۴	۱	۱۰۰	۵۰	۶۵٫۳۵
۱۵	۱۹	۳۰۰	۳۰	۹۸٫۸۳
۱۶	۱۹	۲۰۰	۵۰	۹۷٫۹۷
۱۷	۱۰	۲۰۰	۷۰	۹۷٫۷۹

نتایج آزمایشات نشان داده راندمان حذف اتیل بنزن با استفاده از نانوکامپوزیت $MnO2/Al_2O_3/Fe_2O_3$ پوشش شده بر روی زئولیت HZSM-5، حداقل ۵۵٫۹۶٪ و حداکثر ۹۸٫۹۳٪ به دست آمده است و ۹۷٪ فعالیت جذبی داشته است.

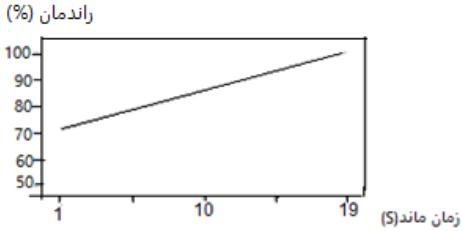
شرایط بهینه: در زمان‌ماند ۱ ثانیه حداکثر راندمان در غلظت ppm ۳۰۰ و رطوبت نسبی ۵۰٪ حدود ۷۷/۲۲٪ به‌دست‌آمده است (شرایط بهینه برای زمان‌ماند کوتاه) و در زمان‌ماند ۱۹ ثانیه حداکثر راندمان در غلظت ppm ۳۰۰ و رطوبت نسبی ۵۰٪ حدود ۹۸٫۹۵ به‌دست‌آمده است (شرایط ایده آل آزمایشگاهی).

محصولات حاصل از واکنش اکسیداسیون فتوکاتالیستی اتیل بنزن به‌وسیله نانو کامپوزیت $MnO_2/Al_2O_3/Fe_2O_3$ پوشش شده بر روی زئولیت HZSM-5 فقط CO_2 بوده است. میزان تولید CO_2 در شرایط بهینه (آزمایشگاهی) ppm۴۰-۳۰ بوده است.

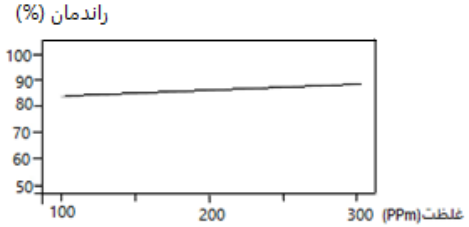
تأثیر رطوبت بر راندمان حذف اتیل بنزن: در این مطالعه نشان داده‌شده است که افزایش رطوبت نسبی از ۳۰٪ تا ۷۰٪ تأثیر معنی‌داری بر راندمان حذف نداشته است (p=۰/۳۱۱). اما با افزایش رطوبت تا۹۰درصد هم‌زمان با افزایش غلظت تا حدود ppm۳۰۰۰ موجب کاهش راندمان از ۹۸ ٪ به ۹۲ ٪ شده است.

تأثیر زمان‌ماند بر راندمان حذف اتیل بنزن: در این مطالعه نتایج نشان داده که زمان‌ماند تأثیر مثبت و معنی‌داری بر راندمان حذف اتیل بنزن داشته است

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]



شکل ۵- تأثیر زمان‌ماند بر راندمان حذف اتیل بنزن گازی با استفاده از نانو کامپوزیت$MnO_2/Al_2O_3/Fe_2O_3$ پوشش شده بر روی زئولیت HZSM-5



شکل ۶- تأثیر غلظت بر راندمان حذف اتیل بنزن گازی با استفاده از نانو کامپوزیت$MnO_2/Al_2O_3/Fe_2O_3$ پوشش شده بر روی زئولیت HZSM-5

(p=۰/۰۰۱)، به‌طوری‌که با افزایش زمان‌ماند از ۱ ثانیه به ۱۹ ثانیه به‌طور معنی‌داری راندمان افزایش‌یافته است (شکل ۵).

تأثیر غلظت بر راندمان حذف اتیل بنزن: در این مطالعه رنج غلظت ۱۰۰ppm تا ۳۰۰ppm بررسی‌شده است و نتایج نشان داده است غلظت تأثیر مثبت بر راندمان حذف داشته است (p=۰/۰۰۱) به‌طوری که با افزایش غلظت راندمان حذف افزایش‌یافته است (شکل ۶).

نقطه شکست جذب: با افزایش غلظت تا حدود ۳۰۰۰ppm، راندمان حذف تغییرات محسوسی نداشته و در حد صدم درصد کاهش داشته است؛ اما با افزایش غلظت به ۳۰۰۰ppm و هم‌زمان افزایش رطوبت نسبی تا ۹۰ درصد، راندمان حذف اتیل بنزن از ۹۸/۹۵٪ به ۹۲٪ کاهش یافت.

عمر نانو کامپوزیت $MnO_2/Al_2O_3/Fe_2O_3$: نتایج نشان داده این نانو کامپوزیت در شرایط بهینه برای زمان‌ماندهای کوتاه که در غلظت ۳۰۰ppm، رطوبت نسبی ۵۰ درصد و زمان‌ماند ۱ ثانیه به دست آمده است راندمان ۷۷/۲۲٪ داشته است و در طی مدت ۳۴ ساعت فعالیت مداوم، راندمان نانو کامپوزیت از ۷۷/۲۲٪ به ۲۰٪ کاهش‌یافته است.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه الگوهای XRD تهیه‌شده نشان داده پیک‌های مربوط به ماده زئولیت بیشتر به چشم می‌خورد و دیگر ترکیبات در حد بسیار جزئی به‌صورت عنصری وجود دارند و این مؤید این مسئله است که عناصر مذکور به‌خوبی بر روی زئولیت و درون منافذ آن پوشش شده است. این نتایج با نتیجه مطالعه تسفا الوما و همکاران که برای اولین بار این نانو کامپوزیت را سنتز نموده‌اند همخوانی دارد[۱۶]. در مطالعه حاضر رطوبت نسبی در رنج ۷۰-۳۰٪ تأثیر معنی‌داری بر راندمان حذف اتیل بنزن نداشته است ولی زمانی که رطوبت بیش از ۸۰٪ رسیده است راندمان کاهش‌یافته است که می‌تواند به این دلیل باشد که استفاده از زئولیت به‌عنوان بستر کاتالیست موجب شده تا فعالیت جذبی این کاتالیست غالب بوده و رطوبت عمدتاً در فعالیت فتوکاتالیستی موجب بهبود راندمان حذف آلاینده می‌گردد درحالی‌که در فرایند جذب رطوبت تأثیر منفی دارد، در مراحل اولیه به دلیل اینکه هنوز جاذب اشباع‌نشده است رطوبت تأثیری نداشته اما به‌تدریج با افزایش رطوبت، به دلیل رقابت بین مولکول‌های آب و مولکول‌های آلاینده در اشغال جایگاه‌های فعال سطح نانو کامپوزیت، راندمان کاهش‌یافته است. درحالی‌که در مطالعه مهری زاده و همکاران بر روی حذف تولوئن گازی با استفاده از نانو ذرات ZnFe2O4 افزایش رطوبت موجب افزایش راندمان حذف‌شده است زیرا در این مطالعه فعالیت فتوکاتالیستی غالب بوده است و رطوبت منبع تولید رادیکال هیدروکسیل بوده است که موجب بهبود راندمان حذف فتوکاتالیستی آلاینده شده است. تأثیر بخارآب بر روی فعالیت فتوکاتالیستی به نوع آلاینده و غلظت و همچنین رطوبت بستگی دارد[۱۸]. به همین دلیل مشاهده می‌شود در بعضی مطالعات رطوبت تأثیر مثبت داشته و در بعضی دیگر رطوبت موجب کاهش راندمان حذف می‌گردد. در مطالعه چنگ و همکاران

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

افزایش رطوبت تا۵۰-۴۰٪ موجب افزایش راندمان و رطوبت‌های بالاتر از ۸۰٪موجب کاهش راندمان شده است[۱۹]. در مطالعه‌ی ریگنهارد و همکاران با عنوان اکسیداسیون کاتالیستی تتراکلریدکربن با استفاده از Y-Zeolite، نتایج نشان داده حضور بخارآب در هوای ورودی به راکتور برای جلوگیری از تخریب ماتریکس زئولیت و حفظ فعالیت کاتالیست ضروری است[۲۰]. زهیری عبدالله و همکاران مطالعه‌ای بر روی حذف ترکیبات آلی فرار با استفاده از زئولیتHZSM-5 اصلاح‌شده انجام دادند نتایج نشان داده حضورppm۹۰۰۰ بخارآب به دلیل ایجاد رقابت بین مولکول‌های آب و آلاینده در جذب جایگاه‌های فعال، موجب کاهش اکسیداسیون آلاینده شده است[۱۱]. در دیگر مطالعات مشابه نیز رقابت آلاینده و رطوبت بر سر جایگاه‌های فعال عامل کاهش راندمان محسوب می‌شود که بامطالعه ما همخوانی دارد[۱۹]. هگر و همکاران اکسیداسیون فتوکاتالیستی ترکیبات شامل تری کلرو اتیلن و تتراکلرو- اتیلن را با استفاده از Tio_2 مورد بررسی قراردادند. برای تری کلرو اتیلن افزایش غلظت منجر به کاهش راندمان تبدیل آلاینده شده است، ازاین‌رو تأثیر آب بر راندمان تبدیل آلاینده بسیار پیچیده است و به سطح رطوبت، ساختار واکنش‌دهنده و غلظت ورودی آن بستگی دارد. تحت شرایط مطالعه هگر احتمال رقابت بین مولکول‌های آب و آلاینده برای جذب در سطح کاتالیست کم به نظر می‌رسد[۲۱]. در مطالعه هانگیو و همکاران بر روی فیلم‌های نانو کامپوزیتیTio_2/LDPEB کاهش رطوبت موجب کاهش راندمان حذف دی کلرومتان شده است [۲۴]. در مطالعه زهیری عبدالله و همکاران بر روی حذف ترکیبات کلرینه با استفاده از زئولیت ZSM-5 در غلظت ppm۲۵۰۰، راندمان در شرایط بدون رطوبت ۹۸٫۳٪ و در حضور رطوبت ۸۵٫۲٪ به‌دست‌آمده است[۱۱]که مشابه نتایج مطالعه ما است.

در مطالعه حاضر با افزایش زمان‌ماند راندمان حذف اتیل بنزن به‌طور معنی‌داری افزایش‌یافته است. در مطالعه لی و همکاران در سال ۲۰۱۶ بر روی حذف بخارات هگزان با افزایش زمان‌ماند از ۰/۱۳ تا ۱/۳۰ دقیقه راندمان حذف از ۴۳٪ به ۶۸٪ افزایش‌یافته است[۲۶]. نتایج مطالعه برزگر و همکاران بر روی حذف تولوئن با استفاده از زئولیت طبیعی اصلاح‌شده با مس نشان داده، افزایش دبی سبب شده کارایی بستر زئولیت تا حدودی کاهش یابد که به دلیل کاهش زمان‌ماند بوده است [۱۳]. این نتایج بامطالعه ما هم‌خوانی داشته است.

در مطالعه حاضر غلظت تأثیر معنی‌داری بر راندمان داشته است به‌طوری‌که با افزایش غلظت از ppm ۱۰۰ به ppm۳۰۰ راندمان افزایش‌یافته است. در مطالعه‌ای سوانا هانگ و همکاران نتایج حاکی از آن است که در غلظت‌های پایین دی کلرومتان، نرخ حذف آهسته‌تر از غلظت‌های بالا است به‌این‌علت که در غلظت‌های پایین، جذب دی کلرومتان بر سطح کاتالیست کاهش می‌یابد[۲۴]. در مطالعه مهری زاده و همکاران با افزایش غلظت از ppm۳۰۰ به ppm ۹۰۰ راندمان حذف افزایش‌یافته است زیرا افزایش غلظت موجب شده مقادیر مولکول‌های تولوئن که به سطح کاتالیست می‌رسد افزایش‌یافته و راندمان بالا بوده درحالی‌که بعد از ppm ۹۰۰ فعالیت فتوکاتالیستی کاهش‌یافته زیرا با اشغال جایگاه‌های فعال سطح کاتالیست، تولید رادیکال هیدروکسیل و گونه فعال کاهش‌یافته و موجب کاهش راندمان می‌شود [۱۸]. که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. در مطالعه برزگر و همکاران بر روی حذف تولوئن با استفاده از زئولیت طبیعی اصلاح‌شده با مس افزایش دبی و افزایش غلظت سبب شده کارایی بستر زئولیت تا حدودی کاهش یابد[۱۳]. نتایج مطالعه‌ی ابطحی و همکاران باهدف سنجش کارایی بیو راکتور تلفیقی ستون مایع –بیوفیلتر در حذف دی کلرومتان از جریان گاز آلوده نشان داده بیشترین راندمان در کمترین نرخ بارگذاری دی کلرومتان به داخل بیوراکتور به‌دست‌آمده است[۲۷] که بامطالعه ما مطابقت ندارد. در بعضی مطالعات که راندمان حذف با افزایش غلظت آلاینده کاهش‌یافته است به علت اشغال نمودن جایگاه فعال است [۱۹، ۲۵].

هر دو شرایط بهینه موردبررسی در مطالعه ما، در

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

غلظت ppm ۳۰۰ و رطوبت نسبی ۵۰ درصد به‌دست‌آمده است، تنها با این تفاوت که در زمان‌ماند ۱ ثانیه راندمان ۷۷/۲۲ درصد و در زمان‌ماند ۱۹ ثانیه ۹۸/۹۳ درصد بوده است. این نتایج نشان داده زمان‌ماند نسبت به دیگر متغیرها بر راندمان نانو کامپوزیت تأثیر معنی‌دارتری داشته است. عواملی که در به دست آمدن راندمان‌های بالا موثر بوده‌اند، شامل: سایز ریز ذرات (کمتر از ۸۰ نانومتر) بود که موجب افزایش سطح تماس آلاینده با نانو کامپوزیت و افزایش بازده شده و استفاده از بسترکاتالیست که سبب افزایش مدت‌زمان تماس آلاینده باکاتالیست می‌گردد[۱۰، ۱۲]. انتخاب زئولیت HZSM-5به‌عنوان بستر کاتالیست به دلیل داشتن تخلخل بسیار بالا به‌عنوان یک جاذب فوق‌العاده قوی نقش داشته و موجب بهبود خواص کاتالیستی می‌شود[۱۰، ۱۳] همچنین بستر زئولیتی استفاده‌شده دارای ذرات با ابعاد نانومتر بوده که تمامی این موارد سبب شده تا راندمان جذب بسیار بالا بوده(حدود ۹۷٪) و راندمان کلی حذف در شرایط بهینه ۹۸/۹۵٪ باشد. از طرفی به‌منظور جلوگیری از چسبیدن ذرات کاتالیست و کلوخه شدن آن مقداری ذرات شیشه خورد شده نیز به آن افزوده‌شده است، بنابراین تمام سطح‌فعال کاتالیست مورداستفاده قرار می‌گیرد. در اثر حذف اتیل بنزن توسط این نانو کامپوزیت به‌جز مقادیر ناچیز CO_2، محصول جانبی دیگری مشاهده نشده است. درحالی‌که در مطالعه ایندرامانی و همکاران محصولات ناشی از واکنش فتوکاتالیستی اتیل بنزن وکاتالیستTio2 شامل: هگزان، بنزن، تولوئن، بنزوئیک اسید، فنول، هیدروکینون و استیل بنزن، استیک اسید و... بوده است[۲۹]. عدم مشاهده محصولات جانبی در مطالعه ما به این دلیل بوده که محصولات در اثر اکسیداسیون فتوکاتالیستی آلاینده تولید می‌شوند درحالی‌که در مطالعه ما نانوکامپوزیت $MnO_2/Al_2O_3/Fe_2O_3$ پوشش شده بر روی زئولیت HZSM-5 غالباً دارای فعالیت جذبی بوده و حدود ۹۷٪ آلاینده را جذب و فعالیت فتوکاتالیستی ناچیز و کمتر از ۲٪ داشته، این امر موجب شده تا محصولات ناشی از فعالیت فتوکاتالیستی بسیار ناچیز بوده و در حد تشخیص دستگاه نبوده و تنها مقادیر بسیار کم CO_2 قابل‌مشاهده و اندازه‌گیری باشد.

ازجمله مزایای نانو کامپوزیت $MnO_2/Al_2O_3/Fe_2O_3$ پوشش شده بر روی زئولیت HZSM-5 شامل: واکنش در دمای اتاق و راندمان بالا حدود ۹۸/۹۵٪ و تحمل غلظت‌های بالا تا ppm۳۰۰۰ است. رطوبت تأثیر معنی‌داری بر راندمان حذف اتیل بنزن نداشته است. راندمان حذف اتیل بنزن با استفاده از این نانو کامپوزیت تحت تأثیر غلظت آلاینده و زمان‌ماند است. نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه نشان داده است استفاده از زئولیت ZSM-5 به‌عنوان بستر نانو کامپوزیت $MnO_2/Al_2O_3/Fe_2O_3$ بازده حذف بسیار خوبی را برای بخارات اتیل بنزن تأمین نموده است که ناشی از افزایش سطوح جذبی برای نانو کامپوزیت است.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از دانشگاه علوم پزشکی همدان به دلیل حمایت مالی از انجام این مطالعه که در قالب طرح پایان‌نامه کارشناسی ارشد به شماره ۹۴۱۱۱۳۶۳۵۵ انجام‌شده است ابراز می‌دارد.

منابع

1. Hinojosa-Reyes Mariana, Arriaga Sonia, Diaz-Torres LA, Rodríguez-González, V. Gas-phase photocatalytic decomposition of ethylbenzene over perlite granules coated with indium doped TiO 2. Chemical engineering journal; 2013,224:106-13.

2. Hadei M, Aalipour M, MengliZadeh N, Pourzamani H.Catalyst design for VOCs Catalytic Oxidation by modified Bi-Transition Metals Supported on HZSM-5 using Intelligent Systems Archives of Hygiene Sciences. 2016,5(1).[Persian]

3.Zhuowei Ch, Pengfei S, Lichao L, Jianmeng Ch, Liying J, Jianming Y. The interaction mechanism and characteristic evaluation of ethylbenzene/chlorobenzene binary mixtures treated by ozone-assisted UV 254nm photodegradation. Separation and Purification Technology. 2014,132:62-9.

4.Izadkhah B. Catalyst design for VOCs Catalytic

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

Destruction of a carbon tetrachloride dense nonaqueous phase liquid by modified Fenton's reagent. Journal of environmental engineering. 2005;131(7):1114-9.

16.Logita Haile H, Tadesse A, Kebede T. Synthesis, characterization and photocatalytic activity of MnO2/Al2O3/Fe2O3 nanocomposite for degradation of malachite green. African Journal of Pure and Applied Chemistry. 2015;9(11):211-22.

17.Tesfa Oluma F, Yadav A. Synthesis, Characterization and Photocatalytic Activity of MnO2/Al2O3/Fe2O3 Nanocomposite for Phenol Degradation. Chemistry and Materials Research. 2014;6(10):73-86.

18.Dastranj F, Barkhordari F, Mehrparvar A, Mahmoudi AH. Comparison of the situation of safety, hygiene and work conditions by a participatory ergonomics approach in a pharmaceutical company in Iran. Occupational Medicine Quarterly Journal. 2013;5(2):66-73.

19.Mehrizadeh H, Niaei A, Tseng HH, Salari D, Khataee A. Synthesis of ZnFe2O4 nanoparticles for photocatalytic removal of toluene from gas phase in the annular reactor. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. 2017;332:188-95

20.Zhuo-Wei Ch, Li F, Jian-Meng Ch, Jian-Ming Y, Yi-Feng J. Photocatalytic conversion of gaseous ethylbenzene on lanthanum-doped titanium dioxide nanotubes. Journal of hazardous materials. 2013;254:354-63.

21.Regenhardt SA, Meyer CI, Trasarti AF, Monzón A, Garetto TF. Catalytic oxidation of carbon tetrachloride on metal exchanged Y-zeolite. Chemical Engineering Journal. 2012;198:18-26.

22.Hager S, Bauer R, Kudielka G. Photocatalytic oxidation of gaseous chlorinated organics over titanium dioxide.Chemosphere. 2000;41(8):1219-25.

23.Hong GB, Ma CM. Photocatalytic degradation of indoor air pollutants by Pt-TiO 2. Journal of Nanomaterials. 2012:88.

24.Hung W, Fu S, Tseng J, Chu H, Ko T. Study on photocatalytic degradation of gaseous dichloromethane using pure and iron ion-doped TiO2 prepared by the sol–gel method.Chemosphere. 2007;66(11): 2142-51.

25.Suwannahong K, Liengcharernsit W, Sanongraj W, Kruenate J. Application of nano-TiO2/LDPE composite film on photocatalytic oxidation degradation of dichloromethane; 2012

26.Lexuan Zh, James BJ, Bartlett Bart M, Christopher G. Heterojunction-based two-dimensional N-doped TiO2/WO3 composite architectures for photocatalytic treatment of Oxidation by modified Bi-Transition Metals Supported on HZSM-5 using Intelligent Systems: Tabriz; 2010. [Persian]

5.Ghorbani Shahna F. Design and Application of Scrubbers for Air Pollution Control: Fanavaran Pub Co; 2013.

6.Ghorbani Shahna F, Bahrami A, Alimohammadi I, Yarahmadi R, Jaleh B, Gandomi M, et al. Chlorobenzene degeradation by non-thermal plasma combined with EG-TiO 2/ZnO as a photocatalyst: Effect of photocatalyst on CO 2 selectivity and byproducts reduction. Journal of Hazardous Materials. 2017;324:544-553.

7.Ghorbani Shahna F, Golbabaei F, Hamedi J, Mahjub H, Darabi HR, Shahtaheri S J. Bioactive foamed emulsion reactor for the treatment of benzene-contaminated air stream. Bioprocess and Biosystems Engineering. 2010;33(2): 219-226.

8.Abedi K, Ghorbani-Shahna F, Jaleh B, Bahrami A, Yarahmadi R, Haddadi R, et al. Decomposition of chlorinated volatile organic compounds (CVOCs) using NTP coupled with TiO 2/GAC, ZnO/GAC, and TiO 2–ZnO/GAC in a plasma-assisted catalysis system. Journal of Electrostatics. 2015;73:80-8

9.Louis Th. Air pollution control equipment calculations: John Wiley & Sons; 2008.

10.Shams-Ghahfarokhi Z, Nezamzadeh-Ejhieh, A. As-synthesized ZSM-5 zeolite as a suitable support for increasing the photoactivity of semiconductors in a typical photodegradation process. Materials Science in Semiconductor Processing. 2015;39:265-75.

11.Ahmad Zuhairi A, Mohamad Zailani AB, Subhash Bh. Combustion of chlorinated volatile organic compounds (VOCs) using bimetallic chromium-copper supported on modified H-ZSM-5 catalyst. Journal of Hazardous Materials. 2006;129(1–3):39-49.

12.Wallis Anna E, Whitehead J Ch, Zhang K. The removal of dichloromethane from atmospheric pressure nitrogen gas streams using plasma-assisted catalysis. Applied Catalysis B: Environmental. 2007;74(1):111-6.

13.Barzegar A, Mortazavi B, Asilian H, Kazemian H. Catalytic degradation of toluene by manganese oxide catalyst loaded on a natural zeolite support. Scientific Journal of Review. 2014;3(5):345-52.

14.Shaheen WM, Hong KS. Thermal Characterization and Physico-Chemical Properties of Fe2O3− Mn2O3/Al2O3 Systems. Journal of thermal analysis and calorimetry. 2002;68(1):289-306.

15.Watts RJ, Howsawkeng J, Teel AL.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

hazardous organic vapor. Journal of Hazardous Materials. 2016;314:22-31.

27.Nazmara Sh. Consolidated liquid bubble column bioreactor performance biofilter to remove dichloromethane from contaminated gas streams. Iranian Journal of Health and Environment. 2014;7(4):455-68.[Persian]

28.Shaheen WM, Hong KS. Thermal characterization and physicochemical properties of Fe2O3–Mn2O3/Al2O3 system. Thermo-chimica Acta. 2002;381(2):153-64.

29.Indramani D, Mukesh Sh, Pavan Kumar N. Quantification and human health risk assessment of by-products of photo catalytic oxidation of ethylbenzene, xylene and toluene in indoor air of analytical laboratories. Journal of hazardous materials. 2016;316:1-10.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

Removal of ethylbenzene vapors using $MnO_2/Al_2O_3/Fe_2O_3$ nanocomposite coated on HZSM-5 zeolite

Maryam Feiz Arefi[1], Farshid Ghorbani Shahna*[2], Abdulrahman Bahrami[3], Hossein Ebrahimi[4]

Received: 2016/06/17 Revised: 2017/03/14 Accepted: 2017/07/01

Abstract

Background and aims: Ethylbenzene (EB) is one of the most hazardous carcinogenic VOCs that is used or produced in various industries. Thus, it is important to reduce its use and control its emissions. The aim of this study was to determine the effectiveness of $MnO_2/Al_2O_3/Fe_2O_3$ nanocomposite coated on HZSM-5 Zeolite for the removal of ethylbenzene vapors.

Methods: Nanocomposite coated on HZSM-5 zeolite was synthesized by the sol-gel method, and its morphological characteristics were determined by XRD, FTIR, and SEM. We investigated the effects of the initial concentration of contaminant, relative humidity, and residence time on the performance of the nanocomposite for the control of ethylbenzene. The Response Surface method was used to estimate the main effects and these variables and their interactions so that we could optimize the number of experiments. The experiments were designed using Design Expert software, version 9.

Results: The result showed that sizes of the nanocomposite particles were less than 80 nanometers. The optimum condition for the removal of EB was found to be in 50% relative humidity, 19 s residence time and an initial concentration of EB of 300ppm. For this condition the nanocomposite removed 98.95% of the EB vapors.

Conclusion: The nanocomposite provided high efficiency removal of EB from the gas phase or the conditions at which the study was conducted. The advantages of using the nanocomposite for this purpose include the reaction at room temperature and the ability to remove high concentrations of contaminants. The results of this study showed coating nanocomposites on HZSM-5 Zeolite provide an effective adsorbent for the removal of EB from the gaseous phase.

Keywords: $MnO_2/Al_2O_3/Fe_2O_3$ Nanocomposites, Adsorption, Ethylbenzene, HZSM-5 zeolite.

1. Msc student, Department of Occupational Health, Faculty of Health, University of Medical Sciences of Hamadan, Center of Excellence for Occupational Health and Health Sciences Research Center, Hamadan, Iran.

2. (**Corresponding author**) Associate Professor, Department of Occupational Health, Faculty of Health, University of Medical Sciences of Hamadan, Center of Excellence for Occupational Health and Health Sciences Research Center, Hamadan, Iran. fghorbani@umsha.ac.ir

3. Professor, Department of Occupational Health, Faculty of Health, University of Medical Sciences of Hamadan, Center of Excellence for Occupational Health and Occupational Health and Safety Research Center, Hamadan, Iran.

4. Assistant Professor, Department of Occupational Health, Faculty of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]