دوماهنامه **لا***استکاریران* **دوره ۱۴، شماره ۵، آذر و دی** ۱۳۹۶



## روى بستر زئوليت HZSM-5

مريم فيض عارفي\، فرشيد قرباني شهنا\*؟، عبدالرحمان بهرامي"، حسين ابراهيمي<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۲۸

تاريخ ويرايش: ٩۵/١٢/٢۴

تاريخ پذيرش: ٩۶/٠۴/٠٣

## چکیدہ

**زمینه و هدف**: اتیل بنزن یکی از ترکیبات آلی فرار خطرناک سرطان زا است که در صنایع مختلف تولید یا مورد استفاده قرار می گیرد، لذا کاهش استفاده و کنترل انتشار آن دارای اهمیت است. هدف این مطالعه تعیین اثربخشی نانو کامپوزیت MnO2/Al2O3/Fe2O3 پوشش شده بـر روی بسـتر زئولیـت 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. بـمنظور ارزیابی اثرات اصلی و اثرات متقابل و بهمنظور بهینه نمودن تعداد آزمایشها از روش سطح پاسخ استفاده گردیده و آزمایشها بهوسیله نرمافزار Design 29 Expert طراحی شد.

**یافتهها:** نتایج مطالعه نشان داد اندازه ذرات نانو کامپوزیت پوشش شده بر روی بستر زئولیت کمتر از ۸۰ نانومتر بـوده است. شـرایط بهینـه حـذف اتیـل بنـزن در رطوبت نسبی ۵۰٪، زمانماند ۱۹ ثانیه و غلظت اولیه ۲۰۰ppm حاصل شد. در این شرایط نانو کامپوزیت قادر به حذف ۹۸/۹۵٪ بخارات اتیل بنزن شد.

**نتیجه گیری:** نانو کامپوزیت سنتز شده در شرایط موردمطالعه دارای راندمان بالا بوده و مناسب جهت حذف اتیل بنزن در فاز گازی است. ازجمله مزایای ایـن نـانو کامپوزیت واکنش در دمای اتاق، راندمان بالا حتی در غلظتهای بالا است. نتایج نشان داد که پوشش نانوکامپوزیت بـر روی بسـتر زئـولیتی HZSM-5 قابلیـت جذبی بالایی اتیل بنزن در فاز گازی است.

كليدواژەھا: نانو كامپوزيت MnO2/Al2O3/Fe2O3، جذب، اتيل بنزن، زئوليت 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

مهم ترین مزیت روش اکسیداسیون فتو کاتالیستی آن است که واکنش در دماهای پایین تر صورت می گیرد. امروزه روش اکسیداسیون فتو کاتالیستی یک روش سریع و مقرون به صرفه برای پالایش VOC ها محسوب می شود [۴]. از روش های تخریبی دیگر این ترکیبات می توان به جذب شیمیایی، اکسیداسیون حرارتی و کاتالیستی، پلاسمای غیر حرارتی 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 بهداشـتی، همـدان، ایران.

۲- (نویسنده مسئول) دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفهای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، قطب علمی بهداشت حرفهای و مرکز تحقیقات علـوم بهداشـتی، همـدان، 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.

مریم فیض عارفی و همکاران

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

در فرایندهای فتوکاتالیستی نیز جذب آلاینده تا حدی وجود دارد. مطالعات نشان داده کاتالیست هایی که دارای بستر باشند فرایند حذف آلاینـده در آنهـا بهتـر انجام می شود 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 می کند. در میان بسترهای مرسوم، زئولیت یک ماده متخلخل باقابليت جذب فوق العاده بالا است [٨، ۱۰، ۱۰] که علاوه بر خواص مربوط به یک بستر مناسب، به دلیل افزایش مدتزمان تماس آلاینده با كاتاليست خواص فتوكاتاليستي را نيز افزايش ميدهد [۱۳ و ۱۲،۱۰]. به نظر می رسد استفاده از زئولیت HZSM-5 بهعنوان بستر كاتاليست 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<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> یک کاتالیست جدید است که در پژوهشهایی جهت حذف فتوکاتالیستی فنول و مالاشیت سبز در تصفیه پساب، موردمطالعه قرار گرفته است. [۱۶، ۱۵] با توجه به اینکه ترکیبات آلی فرار طرفی مواجهه استنشاقی در محیط وجود دارند و از مواجهه است و تاکنون مطالعهای در زمینه استفاده از مواجهه است و تاکنون مطالعهای در زمینه استفاده از نگرفته است هدف از مطالعه حاضر حذف بخارات اتیل بنیزن بیا استفاده از نیانو کامپوزیتت بنیزن بیا استفاده از نیانو کامپوزیتت زئولیت 5-HZSM 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<sup>۱</sup> استفاده گردید. سه متغیر در سه سطح شامل: غلظت ۲۰۰،۱۰۰ و ۳۰۰ مطوبت (۳۰، ۵۰ شامل: غلظت ۲۰۰،۱۰۰ و ۲۰۰ ملوبت (۳۰، ۵۰ گرفته شده است. در مجموع تعداد ۱۷ حالت آزمایش برآورد گردید. آزمایشها بهوسیله نرمافزار Design 9 Expert 9

در این مطالعه دو شرایط بهینه بررسی شده است که شامل شرایط بهینه برای زمان ماندهای کوتاه (قابلیت کاربرد در شاریط واقعی صانعت) و شاریط بهینه آزمایشگاهی که در آن زمان ماندهای بیشتر آزمایش شده 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  $\alpha = 0.0$  برای خروج عامل از مدل، صورت گرفت؛ که بیانگر آن است که متغیرهای با value بیشتر از 0.0 از تجزیهوتحلیل کنار گذاشته می شوند.

سنتز نانو کامپوزیت به روش سل ژل: بهمنظور سنتز نانو کامپوزیت ۲۸٫۲۵۱۵۵۹۱۶ از روش سل ژل استفادهشده است[۱۶] به این منظور: مقدار ۲۸٫۲۸گرم ۲۵٫۵۹۵ (۲۵۵) Fe را درون بشر حاوی ۲۸میلی لیتر آب مقطر ریخته هم زده تا کامل حل شود. سپس ۲۸۵۰ گرم ۲۵٫۹۵۵(۲۵۵) A را درون بشر شود. سپس ۲۵٫۰ گرم ۲۵٫۵۹۵) A را درون بشر حاوی ۲۰ میلی لیتری حاوی ۸ میلی لیتر آب مقطر ریخته و تا می شود. در مرحله بعدی ۸۸٫۰ گرم ۲۵۰۵ در بشر حاوی ۴میلی لیتر آب مقطر ریخته سپس محلول می شود. در مرحله بعدی ۲۵٫۰ گرم ۱۹۵۵ در بشر می مود. در مرحله بعدی ۲۵٫۰ گرم ۱۹۵۵ در بشر می شود. در مرحله بعدی ۲۵٫۰ گرم ۱۹۵۵ در بشر می شود. در مرحله بعدی ۲۵٫۰ میلی ایتری ریخته می شود می مود مگزیسازی به طور مرتب با همزن مخاطیسی هم زده شد، سپس ۲۰ میلی لیتر بوتانول به

دو ماهنامه **ملا***متکارایران* **دوره ۱۴، شماره ۵، آذر و دی ۱۳۹۶** 

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Response Surface



شكل ۱- پايلوت آزمايش نانو كامپوزيت

پایلوت نمونه برداری: پایلوت آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. در این مطالعه محفظه ای به شکل مکعب مستطیل به ابعاد ۸× ۳۵ سانتی متر مورد استفاده قرار گرفته است. سطوح محفظه از آینه ساخته شده بود تا نور به تمام سطح راکتور منعکس شود. در داخل این محفظه یک راکتور استوانه ای شکل از جنس پیرکس به طول ۳۲ میلی متر با سطح مقطع ۱۰ میلی متر و دارای حجم ۲۵ میلی متر قرار داده شد. ۴ گرم نانو کامپوزیت در داخل راکتور ریخته شد. برای فعال نمودن فتوکاتالیست از لامیپ LED دارای طول میو. محدوده نور مرئی، در بالای محفظه استفاده شد.

س نجش ک ارایی نانوکامپوزی ت MnO2/Al2O3/Fe2O3 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 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 کنترل شده و غلظت موردنیاز تولید شد. همه آزمایش ها در دمای اتاق غلظت موردنیاز انجام شد.

جهت حصول اطمینان از رسیدن به غلظت مـوردنظر بعد از مدتزمان حدود ۱۵ دقیقـه کـار کـردن مـدار در

نیتریک۶۵٪ افزودهشده و با یک همزن مغناطیسی به مدت ۱۰ دقیقه هم زده می شود 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 یودر زئولیت ZSM-5 با قطر ذرات ۲۵ نانومتر و نسبت ۲۵ Si/Al (شرکت اسیگ) به داخل ژل افزودهشده و هم زده می شود تـا بـهطور یکنواخت کاتالیست بر روی این بستر پوشش شود. بعد از تشكيل ژل، ماده موردنظر جهت تبخير بيشتر محلول و خشک شدن ژل در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳۶ ساعت در خشک کن الکتریکی گرم مے شـود. ژل خشکشــده بــه بوتــه چینــی منتقلشــده و در دمای۴۰۰درجه سانتیگراد برای مدتزمان ۳ ساعت در کورہ الکتریکی قرار دادہشدہ که جہت 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 طيف FTIR، (دستگاه اسپکترومتر FT-IR مدل PerkinElmer)، الگوىXRD (دستگاه پراش پرتو

مـــدل ADP2000 ســاخت شــركت EDX و SEM اتصاوير JEM و KITALSTRUCTURE (ميكروسكوپ الكترونى روبشى، مدلMIRA3 شـركت (TESCAN) استفاده شد.

دو ماهنامه **الاست کارایران** دوره ۱۴، شماره ۵، آذر و دی ۱۳۹۶

مریم فیض عارفی و همکاران

غلظت مشخص، با استفاده از جاذب زغال فعال از درون اتاقکهای تعبیهشده قبل و بعد از راکتور، بهوسیله یمپهای دبی پایین که دبی آنها روی ۱۰۰ میلیلیتر بر دقیقه تنظیمشده بود نمونهبرداری از هوا به مدت ۱۵ دقيقه انجام شد. بهاين ترتيب، بهطور همزمان ميزان آلاینده قبل و بعد از رآکتور سنجش و میزان حذف ألاينده در اثر واكنش روى سطح نانو كامپوزيت سنجيده 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. بەمنظور تعیین میزان فعالیت فتوکاتالیستی غلظت CO<sub>2</sub> قبل و بعد از راکتور با استفاده از دستگاه قرائت مستقيم CO2 (مدل KIMO –AQ 100) سنجيده شده و میزان فعالیت فتوکاتالیستی نانو کامیوزیت سـنتز شده بررسی شده است. همچنین به منظور تعیین دیگر محصولات ناشمي از واكنش اتيل بنزن و اين نانو کامپوزیت نمونه بعد از راکتور به دستگاه GC-MASS مدل Varian با استفاده از ستون مويين RTX-624 با مشخصات (0.25mm ID ,1.4µm 30m) تزريق شده است.

به منظور تعیین میزان کارایی نانو کامپوزیت سنتز شده از طریق فرایند جذب نیز از عبور گاز بی اثر 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.

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

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

$$\mathbf{T} = \mathbf{k} \, \lambda \div \beta \cos \theta$$

دو ماهنامه **الاستکارایران** دوره ۱۴، شماره ۵، آذر و دی ۱۳۹۶

ل الماکتور شکل (۰/۹۴) و  $\lambda$  طول موج XRD (برابر K با سکل (۰/۹۴)،  $\beta$  کل عرض در نصف حداکثر شدت  $\beta$  با شابش پرتو برحسب رادیان و  $\theta$  زاویه تابش برحسب رادیان است.

تعیین نقطه شکست جذب: برای تعیین نقط ه 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 می یابد تعیین گردد.

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

### يافتهها

مشخصات ریخت شناسی نانو کامپوزیت MnO2/Al2O3/Fe2O3 دارای بستر زئولیت HZSM-5: مشخصات ریختشناسی نانو کامپوزیت سنتز شده به تفکیک بیانشده است.

**طیف FTIR:** به منظور تعیین ساختار باند نمونه نانو کامپوزیتFTIR استفاده شد. با توجه به مطالعات گذشته از طیف FTIR استفاده شد. با توجه به مطالعات گذشته عدد موجی <sup>۱</sup>-۲۰۰۰ cm برای بررسی مشخصات نانو کامپوزیت سنتز شده استاده شد. طیف FTIR نانو کامپوزیت در شکل ۲ ارائه شده است. شدت باندهای به دست آمده از نمونه نشان داده پیک 1-۳۳ ۳۳۵ ۳۳۷ مربوط به مولکول های آبی است که به داخل کریستال جذب شدهاند و پیک ۱۶۲۳ مولکول های آزاد آب می باشند. پیک ۵۵۳ مربوط به پیوند O-e و باند ۷۹۷ مربوطه به پیوند O-IA است [۶۵]. پیکهای ۲۹۳۶/۵۳ مربوط به ارتعاشات ساختاری زئولیت مربوط به اکسید و پیکهای کوچک مربوط به اکسید آهن و آلومینیوم و عدم رؤیت پیک جذبی مربوط به









شکل ۳- تصاویر SEM از نانو کامپوزیت MnO2/Al2O3/Fe2O3 پوشش شده بر روی زئولیت HZSM-5 با بزرگنماییهای مختلف

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

تصاویر SEM: تصاویر SEM تهیهشده از سطح نانو کامپوزیت نشان داده سایز ذرات نانو کامپوزیت کمتر از ۸۰ نانومتر (رنج ۲۹۹٬۶nm–۲۹۱۶) بوده است. با توجه به EDX بهدستآمده درصد عنصری اکسید آلومینیوم و اکسید آهـن 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 MnO2/Al2O3/Fe2O3 پوشش شده بر روی بستر زئولیت، با استفاده از دستگاه پراش پرتوایکس، الگوی XRDتهیهشده است. نتایج نشان دهنده وجود پیکهای مربوط به زئولیت 5-ZSM و Fe2O3 به میزان پیکهای مربوط به عناصر Al2O3 و Fe2O3 به میزان جزئی و MnO2 اصلا مشاهده نمی شود، به این علت که

دو ماهنامه **الا***استکارایران* **دوره ۱۴، شماره ۵، آذر و دی ۱۳۹۶** 

مریم فیض عارفی و همکاران



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

با استفاده از رابطه ۲ خداختر شایر دراف سنتر شده در الگوی ۸۶٬۹۷ XRD نانومتر بهدستآمده است.

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

راندمان حذف ألاينده	رطوبت	غلظت	زمانماند	شماره
(%)	(%)	(ppm)	(S)	أزمايش
٩۶٫۴	۵۰	۱۰۰	١.	١
۹۲٫۵۶	۵۰	۲	۱۹	٢
84,4M	۳۰	۲	١	٣
۵۵٬۹۶	٧٠	۲	١	۴
<u> </u>	۵۰	۳	١٠	۵
<b>۹</b> ۸,۲۶	۳۰	۲	١٠	۶
ঀ۶	٧٠	۱۰۰	۱۹	٧
۹۲٫۵۹	۵۰	۲	۱۹	٨
VV/TT	۵۰	۳	١	٩
۹۷٫۳	۵۰	۲	۱۹	١٠
<i>۹۶</i> /۲	۳۰	۱۰۰	۱۹	))
۹۷٫۸۵	۵۰	۲	۱۹	١٢
<i>۹۸/۹۳</i>	٧٠	۳	۱۹	١٣
۶۵٬۳۵	۵۰	۱۰۰	١	١۴
۹⋏ <sub>/</sub> ⅄۳	۳۰	۳	۱۹	۱۵
<i>٩٧</i> / <i>٩</i> ٧	۵۰	۲	۱۹	18
<i>९</i> <b>४</b> /४९	٧٠	۲	١.	۱۷

آلا	حذف	درصد	شده و	طراحى	رهای	- آزمایش	جدول ۱۰
-----	-----	------	-------	-------	------	----------	---------

نتایج آزمایشات نشان داده راندمان حذف اتیل بنزن سا استفاده از نانوکامپوزیت MnO2/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> محداقل 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 ۳۰۰ ppm و رطوبت نسبی ۵۰٪ حدود ۷۷/۲۲٪ بهدستآمده است (شرایط بهینه برای زمانماند کوتاه) و در زمانماند ۱۹ ثانیه حداکثر راندمان در غلظت ۹۸٬۹۵ و رطوبت نسبی ۵۰٪ حدود ۹۸٬۹۵ بهدستآمده است (شرایط ایده آل آزمایشگاهی).

محص\_ولات حاص\_ل از واک\_نش اکسیداس\_یون فتوکاتالیستی اتیل بنزن بهوسیله نانو کامپوزیت MnO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> پوشش شده بر روی زئولیت HZSM-5 فقط CO<sub>2</sub> بوده است. میزان تولید CO<sub>2</sub> در شرایط بهینه (آزمایشگاهی) ۴۰۰ppm–۳۰ بوده است.

تأثیر رطوبت بر راندمان حذف اتیل بنزن: در این مطالعه نشان دادهشده است که افزایش رطوبت نسبی از ۳۰٪ تا ۲۰٪ تأثیر معنیداری بر راندمان حذف نداشته است (۳۱۱) (p=۰/۳۱۱). اما با افزایش رطوبت تا۹۰درصد همزمان با افزایش غلظت تا حدود ۳۰۰۰ppm 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

دو ماهنامه **الاستکارایران** دوره ۱۴، شماره ۵، آذر و دی ۱۳۹۶



شکل ۵– تأثیر زمانماند بر راندمان حذف اتیل بنزن گازی با استفاده از نانو کامپوزیتMnO2/Al2O3/Fe2O3 HZSM-5



شکل ۶- تأثیر غلظت بر راندمان حذف اتیل بنزن گازی با استفاده از نانو کامپوزیتMnO2/Al2O3/Fe2O3 پوشش شده بر روی زئولیت HZSM-5

(p=۰/۰۰۱)، بهطوری که با افزایش زمانماند از ۱ ثانیـه به ۱۹ ثانیه بهطور معنی داری راندمان افزایش یافته است (شکل ۵).

تأثیر غلظت بر راندمان حذف اتیل بنزن: در این مطالعه رنج غلظت ۲۰۰ppm تا ۳۰۰ppm تا بررسی شده 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 ۲۰۰۰ppm، 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 ۲۲٪ کاهش یافت.

عمر نانو کامپوزیت MnO2/Al2O3/Fe2O3: 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 ۲۲/۲۷٪ داشته است و در طی مدت

۳۴ ساعت فعالیت مداوم، راندمان نانو کامپوزیت از ۷۲/۲۲٪ به ۲۰٪ کاهش یافته است.

## بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه الگوهای XRD تهیه شده نشان داده ییک های مربوط به ماده زئولیت بیشتر به چشم میخورد و دیگر ترکیبات در حد بسیار جزئی به صورت عنصری وجود دارند و این مؤید این مسئله است که عناصر مذکور بهخوبی بر روی زئولیت و درون منافذ آن يوشش شده است. اين نتايج با نتيجه مطالعه تسفا الوما و همکاران که برای اولین بار این نانو کامیوزیت را سنتز نمودهاند همخوانی دارد[۱۶]. در مطالعه حاضر رطوبت نسبی در رنج ۷۰–۳۰٪ تأثیر معنی داری بر راندمان حذف اتیل بنزن نداشته است ولی زمانی که رطوبت بیش از ۸۰٪ رسیده است راندمان کاهش یافته است که می تواند به این دلیل باشد که استفاده از زئولیت بهعنوان بستر كاتاليست موجب شده تا فعاليت جذبي اين كاتاليست غالب بوده و رطوبت عمدتاً در فعاليت فتوكاتاليستي موجب بهبود راندمان حذف آلاینده می گردد درحالی کـه در فرایند جذب رطوبت تأثیر منفی دارد، در مراحل اولیه به دلیل اینکه هنوز جاذب اشباعنشده است رطوبت تأثيري نداشته اما به تدريج با افزايش رطوبت، به دليل رقابت بین مولکولهای آب و مولکولهای آلاینده در اشغال جایگاههای فعال سطح نانو کامپوزیت، راندمان کاهشیافته است. درحالی که 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 فتوكاتاليستي غالب بوده است و رطوبت منبع توليد رادیکال هیدروکسیل بوده است که موجب بهبود راندمان حذف فتوكاتاليستي آلاينده شده است. تـأثير بخاراب بر روى فعاليت فتوكاتاليستى به نوع الاينده و غلظت و همچنین رطوبت بستگی دارد[۱۸]. به همین دلیل مشاهده می شود در بعضی مطالعات رطوبت تأثیر مثبت داشته و در بعضی دیگر رطوبت موجب کاهش راندمان حذف می گردد. در مطالعه چنگ و همکاران

دو ماهنامه **ملا***مت کارایران* **دوره ۱۴، شماره ۵، آذر و دی ۱۳۹۶** 

مریم فیض عارفی و همکاران

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 بخاراب 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 تركيبات ألى فرار با استفاده از زئوليت5-HZSM اصلاح شده انجام دادند نتايج نشان داده حضور ۹۰۰۰ppm بخاراًب به دلیل ایجاد رقابت بین مولکول های آب و آلاینده در جذب جایگاه های فعال، موجب كاهش اكسيداسيون آلاينده شده است[١١]. در دیگر مطالعات مشابه نیز رقابت آلاینده و رطوبت بر سر جایگاههای فعال عامل کاهش راندمان محسوب می شود که بامطالعه ما همخوانی دارد[۱۹]. هگر و همكاران اكسيداسيون فتوكاتاليستى تركيبات شامل تری کلرو اتیلن و تتراکلرو – اتیلن را با استفاده از Tio2 مورد بررسی قراردادند. برای تری کلرو اتیلن افزایش غلظت منجر به كاهش راندمان تبديل آلاينده شده است، ازاین رو 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 مولکول های آب و آلاینده برای جذب در سطح کاتالیست کم به نظر میرسد[۲۱]. در مطالعه هانگيو و همكاران بر روى فيلمهاى نانو كامپوزيتى Tio2/LDPEB كاهش رطوبت موجب کاهش راندمان حذف دی کلرومتان شده است [۲۴]. در مطالعه زهیری عبدالله و همکاران بر روی حذف تركيبات كلرينه با استفاده از زئوليت ZSM-5 در غلظت ۲۵۰۰ppm، راندمان در شرایط بدون رطوبت ۹۸٫۳٪ و در حضور رطوبت ۸۵/۲٪ بهدست آمده است [۱۱]که مشابه نتايج 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 معنی داری بر راندمان داشته است به طوری که با افزایش غلظت از ۱۰۰ ppm به ۳۰۰ppm راندمان افزایشیافته است. در مطالعهای سوانا هانگ و همکاران نتایج حاکی از آن است که در غلظتهای پایین دی کلرومتان، نرخ حذف أهستهتر از غلظتهای بالا است بهاین علت که در غلظتهای پايين، جذب دى كلرومتان بر سطح كاتاليست كاهش می یابد [۲۴]. در مطالعه مهری زاده و همکاران با افزایش غلظت از ۳۰۰ppm به ۹۰۰ ppm راندمان حذف افزايش يافته است زيرا افزايش غلظت موجب شده مقادیر مولکول های تولوئن که به سطح کاتالیست میرسد افزایش یافته و راندمان بالا بوده درحالی که بعد از ۹۰۰ ppm فعالیت فتوکاتالیستی کاهشیافته زیرا با اشغال جایگاههای فعال سطح کاتالیست، تولید رادیکال هیدروکسیل و گونه فعال کاهشیافته و موجب کاهش راندمان می شود [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 حدودي كاهش يابد[١٣]. نتايج مطالعه ي ابطحي 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 بهدست آمده است[۲۷] که بامطالعه ما مطابقت ندارد. در بعضی مطالعات كه راندمان حذف با افزايش غلظت آلاينده كاهشيافته است به علت اشغال نمودن جايكاه فعال است [۱۹، ۲۵].

هر دو شرایط بهینه موردبررسی در مطالعه ما، در

دو ماهنامه **الا***متکارایران* **دوره ۱۴، شماره ۵، آذر و دی ۱۳۹۶** 

بسیار ناچیز بوده و در حد تشخیص دستگاه نبوده و تنها مقادیر بسیار کم CO2 قابل مشاهده و اندازه گیری باشد. ازجملــــه مزایـــای نـــانو کامپوزیــت ازجملـــه مزایــای ناو کامپوزیـت MNO2/Al2O3/Fe2O3 و راندمان بالا TZSM-5 حدود ۹۸/۹۵٪ و تحمل غلظتهای بالا تا TSSM-5 محدود ۵۹/۹۵٪ و تحمل غلظتهای بالا تا ستفاده از است. رطوبت تأثیر معنیداری بر راندمان حذف اتیـل بنزن نداشته است. راندمان حذف اتیل بنزن با استفاده از این نانو کامپوزیت تحت تأثیر غلظت آلاینده و زمان ماند است. نتایج بهدست آمده از این مطالعه نشان داده است است. ناده از این مطالعه نشان داده است کامپوزیت 2SM-5 بـهعنوان بســتر نـانو کامپوزیت در SM-203/Fe2O3 بازده حـذف بسـیار ناستفاده از افزایـت مطالعه نمان نموده است کـه 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 انجام شده است ابراز می دارد.

#### 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

دو ماهنامه **ملا***ست کارایران* **دوره ۱۴، شماره ۵، آذر و دی ۱۳۹۶** 

غلظت ppm و رطوبت نسبی ۵۰ درصد بهدستآمده است، تنها با این تفاوت که در زمانمانـد 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 کامیوزیت تـأثیر معنیدارتری داشته است. عواملی که در به دست آمـدن راندمان های بالا موثر بودهاند، شامل: سایز ریز ذرات (کمتر از ۸۰ نانومتر) بود که موجب افزایش سطح تماس الاینده با نانو کامپوزیت و افزایش بازده شده و استفاده از بسترکاتالیست که سبب افزایش مدتزمان تماس ألاينده باكاتاليست مي گردد[ ١٢، ١٢]. انتخاب زئوليت HZSM-5بهعنوان بستر كاتاليست به دليل داشتن تخلخل بسيار بالا بهعنوان يك جاذب فوق العاده قوى نقـش داشـته و موجـب بهبـود خـواص كاتاليسـتي می شود[۱۰، ۱۳] همچنین بستر زئولیتی استفاده شده 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 أن افزودهشده است، بنابراين تمام سطحفعال كاتاليست مورداستفاده قرار می گیرد. در اثر حذف اتیل بنزن توسط اين نانو كامپوزيت بهجز مقادير ناچيز CO2، محصول جانبی دیگری مشاهده نشده است. درحالی که در مطالعه ایندرامانی و همکاران محصولات ناشی از واكنش فتوكاتاليستى اتيل بنزن وكاتاليستTio2 شامل: هگزان، بنزن، تولوئن، بنزوئيک اسيد، فنول، هيدروكينون و استيل بنزن، استيك اسيد و... بوده است[۲۹]. عدم مشاهده محصولات جانبی در مطالعه ما به این دلیل بوده که محصولات در اثر اکسیداسیون فتوكاتالیستی آلاینده تولید میشوند درحالی که در مطالعه ما نانو کامیوزیت MnO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> یوشش شدہ 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



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 twodimensional 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.

دو ماهنامه **ا***لاستکارایران* **دوره ۱۴، شماره ۵، آذر و دی ۱۳۹**۶



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]

WM, KS. 28.Shaheen Hong 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 2025-07-18 ]

دو ماهنامه **الر***است کار ایران* **دوره ۱۴، شماره ۵، آذر و دی ۱۳۹۶** 

Abstract



# Removal of ethylbenzene vapors using MnO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposite coated on HZSM-5 zeolite

Maryam Feiz Arefi<sup>1</sup>, Farshid Ghorbani Shahna\*<sup>2</sup>, Abdulrahman Bahrami<sup>3</sup>, Hossein Ebrahimi<sup>4</sup>

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.

 $\label{eq:keywords: MnO_2/Al_2O_3/Fe_2O_3} Nanocomposites, Adsorption, Ethylbenzene, HZSM-5 zeolite.$ 

Iran Occupational Health, Vol. 14, No. 5, Dec-Jan 2017-2018

<sup>1.</sup> 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.

<sup>2. (</sup>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

<sup>3.</sup> 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.

<sup>4.</sup> Assistant Professor, Department of Occupational Health, Faculty of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.