بررسی تأثیر اشعه UV-C بر حذف بنزن از جریان هوا برای مقادیر مختلف رطوبت در فرایند UV/O_3

رجب رشیدی[۱]، سید غلامرضا موسوی[۲]، علی خوانین[۳]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: بنزن یکی از پرکاربردترین ترکیبات آلی فرار است که اثر مخربی بر سلامتی انسان دارد. حذف و یا کنترل بنزن از هوا، یکی از موضوعات مورد بحث در مهندسی محیط زیست است. هدف از این مطالعه، اثربخشی اشعه UV-C (Ultra violet-C) در هوای مرطوب بر چگونگی حذف بنزن از جریان هوا در فرایند uv/o_3 بود.

روش‌ها: مطالعه حاضر از نوع تجربی و در مقیاس آزمایشگاهی انجام شده است. سیستم آزمایش شامل پمپ هوا، پمپ تزریق سرنگی، محفظه اختلاط، روتامتر، ژنراتور تولید ازن، هیتر، ایمپینجر و رآکتور استیل به طول ۴۵ cm و حجم مفید ۱/۳۵ لیتر که در داخل آن یک لامپ ۱۵ وات UV-C با طول موج ۲۵۴ نانومتر قرار داده شده بود. غلظت‌های مشخص بنزن به صورت مداوم در زمان ماندهای متفاوت و رطوبت‌های مختلف در معرض فرایند uv/o_3 قرار گرفت. میزان غلظت بنزن قبل و بعد از در معرض قرارگیری با متغیرهای ذکر شده سنجش گردید. داده‌ها با استفاده از آمار توصیفی و استنباطی و به کارگیری آزمون Three- way ANOVA (Three- way analysis of variance) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که با افزایش رطوبت نسبی تا ۶۰ درصد اثربخشی UV-C (Ultra violet-C) در حذف بنزن سیر صعودی دارد و در رطوبت هوای بیش از ۶۰ درصد، از تأثیر آن کاسته شده است. همچنین یافته‌ها حاکی از آن بود که با افزایش زمان واکنش در حضور اشعه UV-C و رطوبت بیشترین مقدار حذف بنزن (۱۳/۲ درصد) در جریان هوا اتفاق می‌افتد.

نتیجه‌گیری: با توجه به ارتقای راندمان حذف بنزن در هنگام استفاده توأم از اشعه UV و رطوبت و نتایج آزمون Tukey در خصوص تأثیر افزایش زمان واکنش در موقع کاربرد همزمان اشعه UV و رطوبت نسبی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از اشعه UV-C در هوای حاوی رطوبت ۶۰-۵۰ درصد، اثر هم‌افزایی مثبت در حذف بنزن دارد ($P < ۰/۰۰۱$).

واژه‌های کلیدی: بنزن، رطوبت نسبی، اشعه ماوراء بنفش

ارجاع: رشیدی رجب، موسوی سید غلامرضا، خوانین علی. **بررسی تأثیر اشعه UV-C بر حذف بنزن از جریان هوا برای مقادیر مختلف رطوبت در فرایند UV/O_3.** مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۳۹۱؛ ۸ (۶): ۱۰۸۷-۱۰۷۸.

دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۷/۲۳ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۸/۲۷

۱- دانشجوی دکتری، گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- دانشیار، گروه بهداشت محیط و حرفه‌ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (نویسنده مسؤول)

Email: moussavi@modares.ac.ir

۲- دانشیار، گروه بهداشت محیط و حرفه‌ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-09-08]

مقدمه

گسترش روز افزون آلودگی هوا سبب شده است که حفاظت از محیط زیست در جوامع امروزی بیش از پیش در کانون توجه همه جانبه قرار گیرد. یکی از عوامل آلودگی محیط‌های مختلف اجتماعی و صنعتی ترکیبات آلی فرار (VOCs یا Volatile organic compounds) می‌باشد. این مواد جزء آن دسته از آلاینده‌های محیط زیست است که امروزه توجه ویژه‌ای را به خود معطوف کرده است. این ترکیبات به دلیل فشار بخار بالایی که دارد، به سهولت تبخیر و وارد اتمسفر می‌شود و قادر است که در سطح وسیعی منتشر و باعث آلودگی هوا شود. حضور این آلاینده‌ها در هوا باعث مشکلاتی از جمله رقیق شدن لایه ازن، تولید ازن در جو نزدیک زمین، ایجاد اثر گلخانه‌ای و اثرات زیانبار بهداشتی برای افراد در معرض تماس می‌گردد. وسایل نقلیه موتوری و صنایع نفت و پتروشیمی را می‌توان منبع اصلی تولید این گروه از آلاینده‌ها به حساب آورد. از طرفی در اماکن مسکونی نیز VOC_s از طریق رنگ‌ها، واکس‌ها، پاک‌کننده‌ها، حشره‌کش‌ها، مصالح ساختمانی، وسایل اداری، دستگاه‌های کپی، پرینترها و غیره در هوا منتشر می‌شود. بر اساس مطالعات EPA (Environmental protection agency) اثرات بهداشتی ترکیبات آلی فرار شامل تحریک چشم، بینی، گلو، سر درد، آسیب به کبد، کلیه، سیستم عصبی مرکزی می‌باشد و برخی از آن‌ها از جمله بنزن می‌تواند منجر به بروز سرطان در انسان شود (۱). با شتاب گرفتن فعالیت‌های صنعتی و ماشینی شدن ارکان مختلف زندگی، انتشار چنین آلاینده‌هایی به محیط رو به افزایش است. از این رو کنترل این آلاینده‌ها جزء اولویت‌های اصلی برنامه کنترل آلودگی هوا است.

یکی از روش‌های مؤثر برای کنترل و یا حذف این ترکیبات زیانبار از اتمسفر، فرایند اکسیداسیون پیشرفته AOPs (Advanced oxidation processes) می‌باشد. حذف آلاینده‌ها در یک سیستم AOP بر پایه تولید رادیکال آزاد هیدروکسیل با قدرت اکسیداسیون بالا استوار است که بسیاری از ترکیبات شیمیایی آلی را به مواد معدنی تبدیل می‌کند. این رادیکال‌ها ناپایدار هستند و به شدت فعال و از طریق واکنش‌های شیمیایی یا فتوشیمیایی در محل تولید می‌شوند (۲). رادیکال‌های $OH^{\bullet}$ و سایر اجزای بسیار فعال و واکنشگر از جمله سوپراکسید و هیدروپروکسیل در اثر واکنش بین اکسیدکننده‌های متداول از جمله ازن، پراکسید هیدروژن، اشعه UV، کاتالیزورها و امواج فراصوت تولید می‌شود (۴، ۳).

به کارگیری اشعه UV به همراه سایر اکسیدکننده‌ها و کاتالیزورها، در حذف ترکیبات آلی فرار در مطالعات متعددی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در مطالعات زیادی استفاده از اشعه UV به همراه سایر کاتالیست‌ها نظیر اکسید تیتانیوم، اکسید روی، دی‌اکسید سیلیسیوم، زئولیت، کربن فعال و غیره مورد بررسی قرار گرفته است و به اثربخشی این متدها برای حذف ترکیبات آلی فرار از جمله بنزن اشاره شده است (۸-۵). Wang و همکاران مزیت مهم استفاده از اشعه UV در سیستم‌های فتوکاتالیستی برای حذف ترکیبات آلی فرار را مقرون به صرفه بودن این روش نسبت به سایر روش‌های حذف ذکر کرده‌اند (۹). در پژوهشی که توسط رضایی و همکاران (به نقل از پورتقی) برای حذف تولوئن از هوا با استفاده از نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و اشعه ماوراء بنفش صورت گرفته است، نیز اعلام شده است که اشعه UV-C (Ultra violet-C) به تنهایی می‌تواند به میزان ۶ درصد تولوئن را از جریان هوا حذف کند. آنان دلیل این میزان کاهش تولوئن را تولید گاز ازن در اثر تابش UV-C دانسته‌اند که با توجه به اثر اکسیدکنندگی قوی ازن، تجزیه بخارات تولوئن صورت گرفته است (۱۰). نتیجه مطالعه صورت گرفته در سال ۲۰۰۶ حاکی از آن بود که اشعه UV و اکسید تیتانیوم به تنهایی نمی‌تواند در حذف آلاینده‌های فرار از هوا مؤثر باشد، در صورتی که استفاده توأم از آن‌ها نقش مؤثری در حذف VOCs دارد (۱۱).

از طرفی استفاده از اشعه UV برای حذف آلاینده‌ها در محیط‌های آبی، نشان داده است که این اشعه به تنهایی می‌تواند باعث کاهش غلظت آلاینده‌ها در آب شود. Yang و همکاران با استفاده از UV-C و بدون استفاده از کاتالیست توانست تا ۱۲ درصد از غلظت پارازیتامول در محیط مایع را بکاهد (۱۲). به کارگیری اشعه ماوراء بنفش نیز سبب تجزیه

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-09-08]

ریبوفلاوین از آب شده است (۱۳). Ushichico و همکاران (به نقل از Hirahara و همکاران (۱۴) و Minamidate و همکاران (۱۵)) نیز در مطالعه‌ای اعلام کرده‌اند که UV-C می‌تواند سبب تجزیه باقیمانده سموم حشره‌کش از آب شود. با توجه به تأثیر مثبت UV-C در محیط‌های آبی برای حذف آلاینده‌ها، در این مطالعه در نظر داریم که اثر تابش UV-C را در رطوبت‌های مختلف بر میزان حذف بنزن از جریان هوا مورد بررسی قرار دهیم.

روش‌ها

توصیف آزمایش

مطالعه حاضر از نوع تجربی و در مقیاس آزمایشگاهی به عمل آمده است. در این پژوهش سیستمی شامل پمپ هوا، پمپ تزریق سرنگی Top مدل ۳۵۰۰ ساخت ژاپن، محفظه اختلاط ۲۰ لیتری، روتامتر، ژنراتور ازن، سیستم تولید رطوبت، رآکتور و لامپ UV-C مطابق شکل ۱ برقرار گردید.

طراحی و ساخت رآکتور

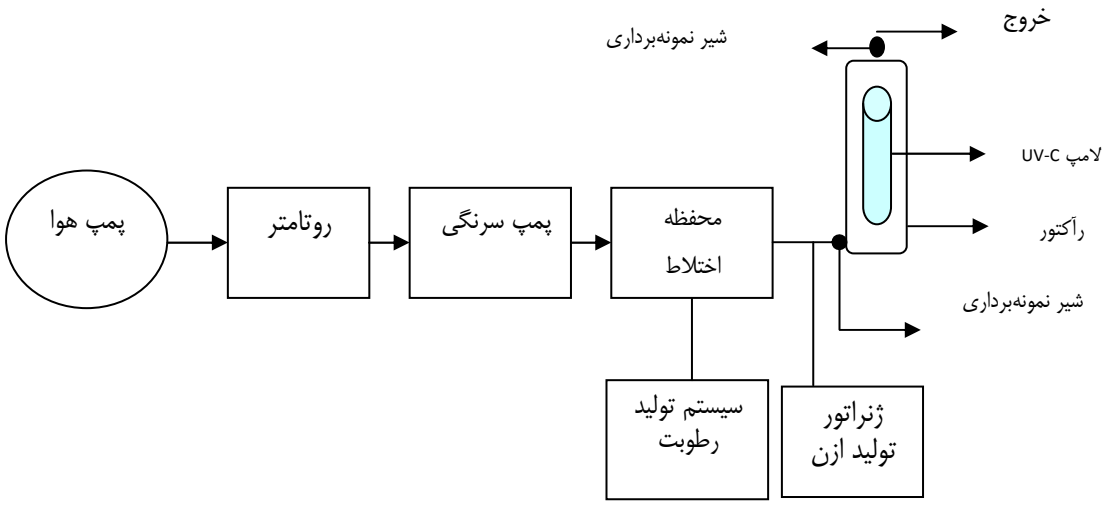
رآکتور از جنس استیل و استوانه‌ای شکل به طول ۴۵ cm و قطر داخلی ۷ cm با حجم مفید ۱/۳۵ لیتر و به طور کامل آب‌بند شده بود. در مرکز رآکتور یک عدد لامپ ماوراء بنفش ۱۵ وات که به وسیله جداره شیشه‌ای از جنس کوارتز از فضای داخلی رآکتور جدا شده است، نصب گردید و در قسمت ورودی و خروجی رآکتور دو شیر جهت برداشت نمونه در نظر گرفته شد.

تولید و سنجش UV-C

اشعه UV-C با به کارگیری یک عدد لامپ ۱۵ وات ماوراء بنفش تک طول موجی ۲۵۴ نانومتر ساخت شرکت فیلیپس هلند فراهم شد که در درون ستون شیشه‌ای استوانه‌ای شکل از جنس کوارتز و در مرکز رآکتور نصب گردیده بود. به منظور سنجش میانگین دانسیته توان تابشی لامپ در فضای داخل رآکتور، میزان اشعه ماوراء بنفش در دو ناحیه روی لامپ و فاصله ۲ cm از لامپ (با توجه به قطر داخلی رآکتور) توسط دستگاه دیجیتال اندازه‌گیری اشعه UV-C ساخت کشور تایوان مدل ۷۳۲ برحسب میکرو وات بر سانتی‌متر مربع سنجش گردید و میانگین آن ۱۹۵۰ $\mu w/cm^2$ بود.

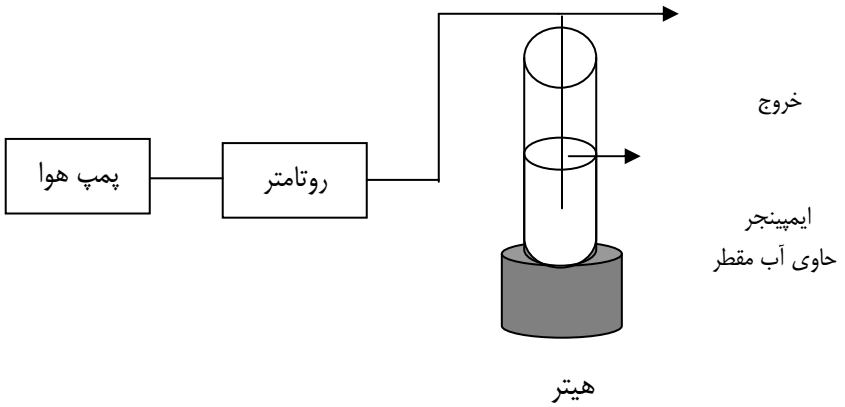
تولید و سنجش رطوبت

مقادیر مختلف رطوبت نسبی مورد استفاده در این تحقیق (۷۰–۴۰ درصد >) با استفاده از سیستمی شامل پمپ هوا، ایمپینجر، روتامتر و هیتر ساخته شد. بدین صورت که با تولید هوا توسط پمپ هوا و تنظیم میزان جریان با استفاده از روتامتر، جریان مشخص هوا توسط شیلنگ‌های رابط از درون ایمپینجر حاوی ۲۰۰ cc آب مقطر که بر روی هیتر قرار گرفته بود، عبور داده می‌شد (شکل ۲). با تغییر میزان جریان هوای عبوری از درون ایمپینجر و یا تغییر دمای آب درون



شکل ۱: شمای کلی سیستم آزمایشی

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-09-08]
www.mui.ac.ir



شکل ۲: شماتیک سیستم تولید رطوبت

ایمپینجر و اندازه‌گیری مرتب رطوبت در خروجی سیستم، توسط رطوبت‌سنج دیجیتال TES مدل ۱۳۶۰ ساخت تایوان، رطوبت‌های مورد نظر ساخته شد.

تولید ازن

برای تولید ازن مورد نیاز از ژنراتور تولید ازن با نشان تجاری COG-OM ساخت ARDA فرانسه استفاده گردید. در این دستگاه ازن با استفاده از هوای محیط تولید می‌شود. به منظور تأمین هوای مورد نیاز برای تولید ازن از یک پمپ تزریق هوا قابل تنظیم به همراه یک روتامتر برای سنجش جریان هوا استفاده گردید. این دستگاه قادر است که با توجه به میزان تزریق هوا تا gr/hr ۱ ازن تولید نماید. برای اندازه‌گیری غلظت ازن در هوا از روش جذب یدید پتاسیم و در نهایت یدومتری استفاده شد (۱۶).

غلظت‌سازی بنزن در فاز گازی

در این مطالعه، از غلظت بنزن ppm ۸۰ در جریان هوا استفاده شد. بدین منظور از بنزن ۹۹ درصد شرکت Merck برای ساخت غلظت مذکور در جریان هوا استفاده گردید. برای این کار پمپ تزریق سرنگی (Syring pump) به همراه پمپ هوا به کار گرفته شد. برای دست‌یابی به غلظت مورد نظر بنزن در جریان هوای ورودی به رآکتور، سعی گردید که دمای محیط آزمایش و مایع بنزن ثابت بماند تا با تغییر میزان تزریق بنزن توسط پمپ سرنگی و یا تغییر دبی هوا با استفاده از روتامتر، به غلظت ppm ۸۰ بنزن در هوا رسید. البته با توجه به این که هر گونه نوسان جریان هوا می‌تواند بر میزان غلظت مؤثر باشد، از این رو به منظور آرامش جریان از یک مخزن شیشه‌ای ۲۰ لیتری بعد از دستگاه تزریق سرنگی استفاده گردید. از دستگاه قرائت مستقیم Phockek مدل ۵۰۰۰ ساخت انگلستان برای اندازه‌گیری غلظت بنزن در جریان هوا استفاده شد. این دستگاه با روش آشکارساز یون‌ها (Photoionization detector یا PID) به صورت همزمان نمونه‌برداری و سنجش را انجام می‌دهد. البته به منظور بررسی صحت کار دستگاه Phockek برای هر متغیر تعدادی نمونه با روش گاز کروماتوگرافی یونش شعله‌ای (Flame ionization detector یا FID) نیز اندازه‌گیری شد که نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از دستگاه قرائت مستقیم مشابه بود.

چگونگی انجام آزمایشات

برای بررسی اثربخشی اشعه UV-C و رطوبت نسبی در تجزیه بنزن از جریان هوا، غلظت ppm ۸۰ بنزن در جریان هوای عبوری از درون رآکتور، به طور مداوم در معرض فرایند uv/o3 قرار گرفت. به منظور بررسی تأثیر درصدهای مختلف رطوبت (۷۰، ۶۰، ۵۰، ۴۰ و ۴۰ درصد >) در چگونگی حذف بنزن از جریان هوا، با توجه به حجم رآکتور به ترتیب زمان ماندهایی بین (۱۶۲، ۸۱، ۲۷ و ۱۴ ثانیه) برای در معرض قرارگیری بنزن با فرایند uv/o3 فراهم شد. مقدار تابش اشعه UV-C با توجه به ثابت بودن لامپ در مرکز رآکتور، یک حالت و به میزان µw/cm2 ۱۹۵۰ بود.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-09-08]

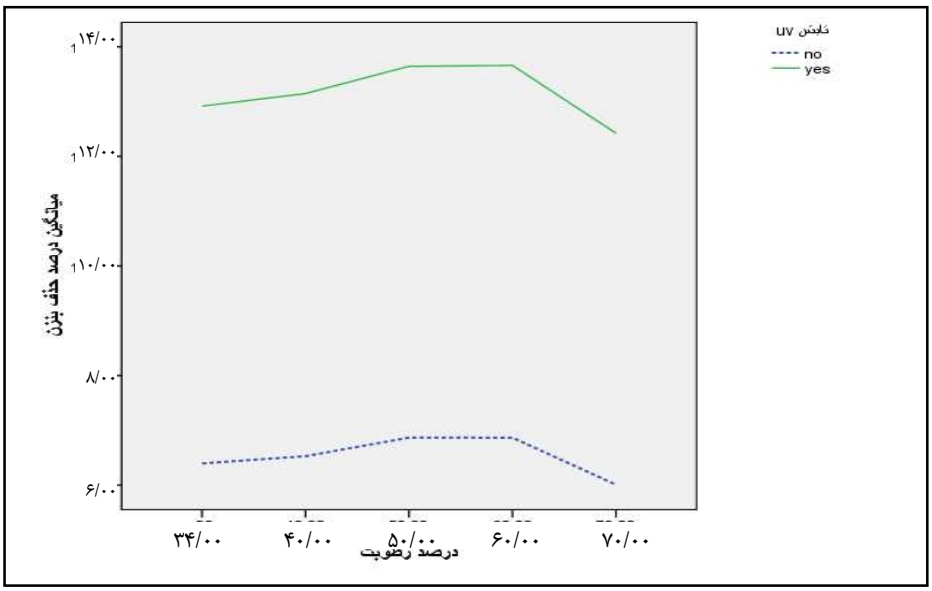
تجزیه و تحلیل داده‌ها

حجم نمونه با در نظر گرفتن ۵ حالت برای متغیر رطوبت و ۴ مورد زمان ماند، برای هر مرحله آزمایش اشعه UV-C، گاز ازن و uv/o3 به ترتیب ۲۰ مورد در نظر گرفته شد (۶۰ = ۲۰ × ۳). با توجه به سه بار تکرار هر مرحله از آزمایشات، در نهایت حجم نمونه ۱۸۰ مورد آزمایش محاسبه گردید. پس از ورود داده‌ها به کامپیوتر، اطلاعات آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ (Version 16 ،SPSS Inc ،Chicago IL) و به کارگیری آزمون تحلیل واریانس سه طرفه (Three- way ANOVA یا Three- way analysis of variance) آنالیز گردید و نتایج در قالب نمودارهای خطی ارایه و مورد بحث قرار گرفت.

یافته‌ها

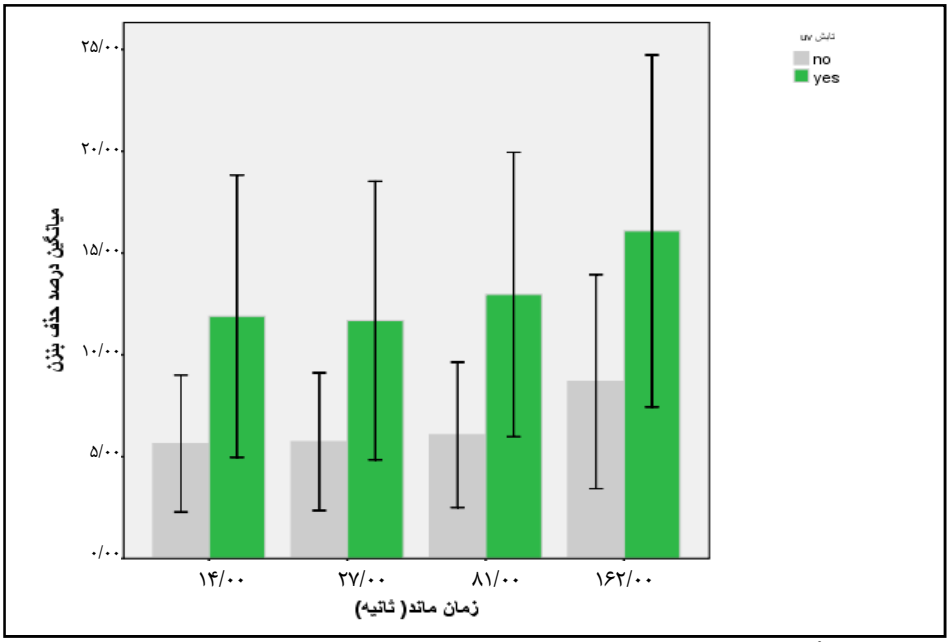
در نمودار ۱ تأثیر اشعه UV-C در حذف بنزن از جریان هوا در فرایند uv/o_3 برای مقادیر مختلف رطوبت نسبی نشان داده شده است. در این مرحله از کار هوای حاوی ppm ۸۰ بنزن برای مدت زمان‌های ۱۴، ۲۷، ۸۱ و ۱۶۲ ثانیه (با توجه به دبی هوای ورودی به رآکتور) در معرض تابش UV-C قرار گرفت. با تغییر مقادیر رطوبت موجود در جریان هوا اثر اشعه UV بر حذف بنزن در رطوبت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. همان طوری که از نمودار مذکور پیدا است، با افزایش رطوبت نسبی تا ۶۰ درصد اثربخشی UV-C در حذف بنزن دارای سیر صعودی می‌باشد و در رطوبت بیش از ۶۰ درصد از تأثیر آن کاسته شده است. در رطوبت نسبی بهینه ۶۰ درصد راندمان حذف بنزن در فرایند uv/o_3 بدون حضور UV-C (۷ درصد) و با حضور UV-C (۱۳/۲درصد) بود. آزمون Tukey نشان داد که بین تابش اشعه UV و مقادیر مختلف رطوبت تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($P < ۰/۰۰۲$). در نمودار ۲ تأثیر زمان تابش اشعه UV-C در حذف بنزن از جریان هوا در فرایند uv/o_3 مورد بررسی قرار گرفته است. همان طوری که نمودار مذکور نشان می‌دهد، هر چه زمان تماس با اشعه افزایش یابد، میانگین حذف بنزن نیز زیاد می‌شود. آزمون Tukey نیز بین تابش UV-C و زمان ماندهای مختلف تفاوت معنی‌داری را نشان داد ($P < ۰/۰۰۱$).

نتایج تأثیر رطوبت نسبی برای زمان ماندهای مختلف در معرض قرارگیری هوای حاوی آلاینده بنزن با فرایند uv/o_3 در نمودار ۳ بیان شده است. همان طوری که ملاحظه می‌شود، بیشترین مقدار حذف بنزن (۱۳/۲ درصد) مربوط به رطوبت ۶۰ درصد و زمان واکنش ۱۶۲ ثانیه می‌باشد. به

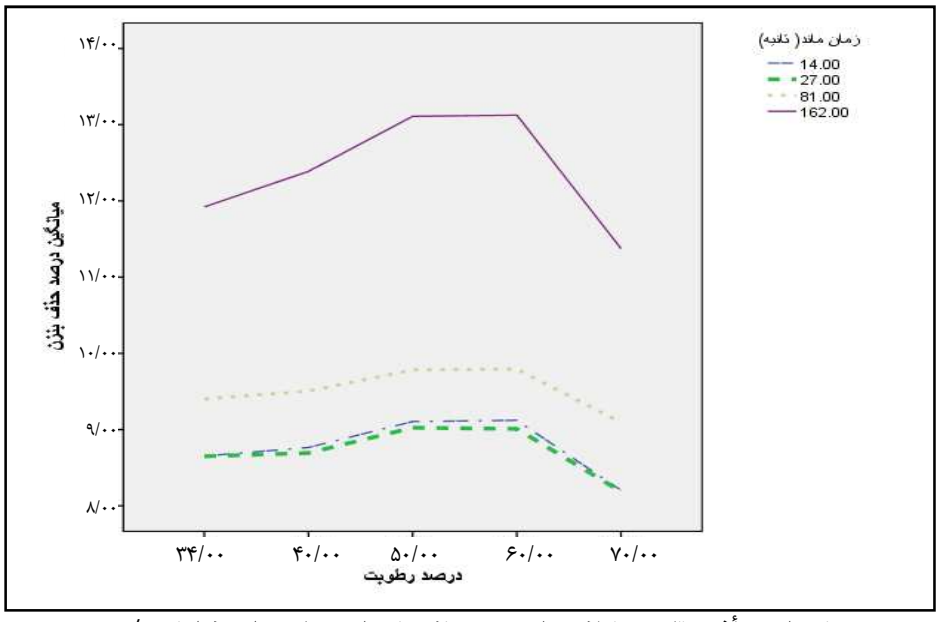


نمودار ۱: تأثیر اشعه UV-C در حذف بنزن از جریان هوا در فرایند uv/o_3 برای مقادیر مختلف رطوبت

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-09-08]
www.mui.ac.ir



نمودار ۲: تأثیر اشعه UV-C در حذف بنزن از جریان هوا در فرایند uv/o_3 برای زمان ماندهای مختلف

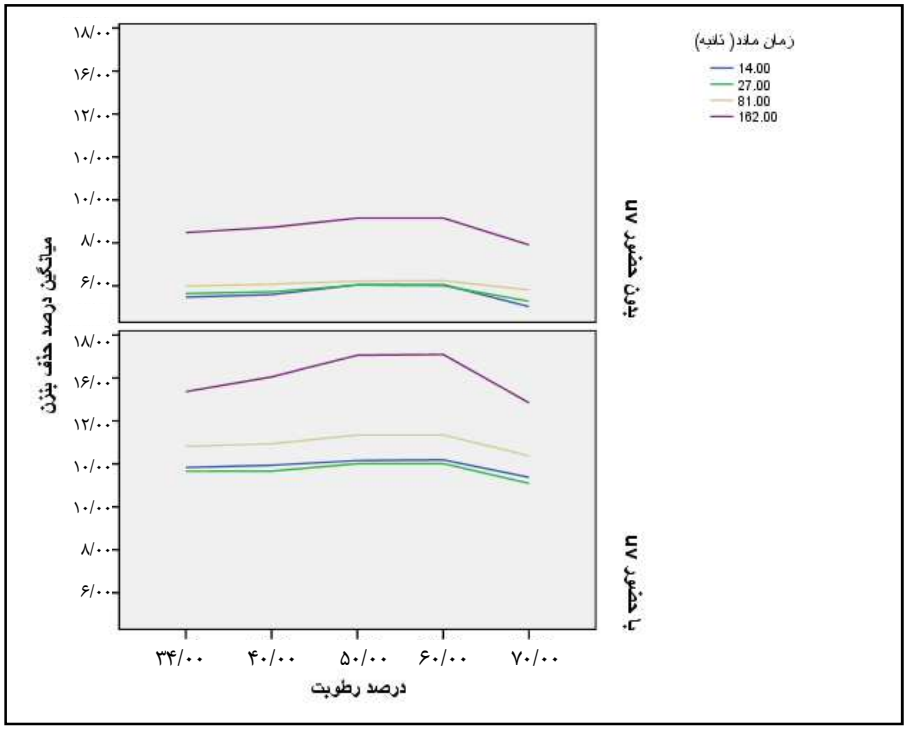


نمودار ۳: تأثیر مقادیر مختلف رطوبت در حذف بنزن از جریان هوا در فرایند uv/o_3 برای زمان ماندهای مختلف

عبارتی افزایش هر دو متغیر زمان واکنش و رطوبت نسبی، در ارتقای میزان حذف بنزن در فرایند uv/o_3 مؤثر بوده‌اند. آزمون دو به دو Tukey نشان داده است که بین متغیرهای زمان ماند، رطوبت نسبی و میزان حذف بنزن رابطه معنی‌داری وجود دارد ($P < ۰/۰۵$).

تأثیر اشعه UV-C در حذف بنزن از جریان هوا با توجه به دو متغیر زمان واکنش و رطوبت نسبی در نمودار ۴ نشان داده شده است. آزمون آنالیز واریانس سه طرفه ANOVA نشان داد که بین متغیرهای تابش UV-C، رطوبت نسبی و زمان واکنش رابطه معنی‌داری وجود دارد ($P < ۰/۰۰۱$).

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-09-08]



نمودار ۴: تأثیر اشعه UV-C و رطوبت نسبی در حذف بنزن از جریان هوا با توجه به زمان واکنش

بحث

با توجه به این که در چندین مطالعه صورت گرفته در آب و فاضلاب اشعه UV-C توانسته است که سبب تجزیه برخی از آلاینده‌ها شود (۱۴-۱۲)، در نتیجه این پژوهش به منظور بررسی تأثیر UV-C بر حذف بنزن از جریان هوا در رطوبت‌های مختلف انجام شد. همان طوری که از نمودار ۱ پیدا است، در فرایند uv/o_3 با افزایش رطوبت در حضور اشعه UV-C میزان حذف بنزن از ۷ درصد به بیش از ۱۳ درصد افزایش یافت و در رطوبت هوای بین ۵۰ الی ۶۰ درصد، بیشترین حذف بنزن صورت گرفت. به عبارتی حضور اشعه UV-C در کنار گاز ازن در هوایی با رطوبت ۶۰-۵۰ درصد بیشترین تأثیر را در حذف این آلاینده فرار از هوا داشته است. در همین زمینه آزمون Tukey نیز بین متغیرهای تابش UV، رطوبت نسبی و میزان حذف بنزن از جریان هوا رابطه معنی‌داری را نشان داد ($P < ۰/۰۰۲$). به عبارتی حضور این دو متغیر در کنار هم سبب کاهش میزان غلظت بنزن از جریان هوا شده است. در برخی از پژوهش‌ها عنوان شده است که اشعه UV-C می‌تواند تا حدود ۶ درصد بخارات تولوئن را در جریان هوا کاهش دهد. یکی از دلایلی که برای این مقدار حذف تولوئن توسط اشعه UV-C مطرح کرده‌اند، تولید گاز ازن در اثر تابش UV-C بوده است. همچنین در برخی مطالعات نیز مطرح شده است که اشعه ماوراء بنفش در محدوده UV-C می‌تواند باعث تولید گاز ازن در هوا گردد و این گاز با توجه به این که یک اکسیدکننده قوی می‌باشد، باعث تجزیه ترکیبات آلی فرار می‌شود (۱۵-۱۰).

در تحقیق دیگری، برای تجزیه ریبوفلاوین در آب، طول موج‌های مختلف اشعه ماوراء بنفش مورد آزمایش قرار گرفته است که بیشترین تجزیه این ماده در اثر طول موج‌های مربوط به UV-C اتفاق افتاده است (۱۳). Yang و همکاران با استفاده از تابش اشعه ماوراء بنفش نوع C و بدون استفاده از هیچ گونه کاتالیستی توانسته‌اند تا ۱۲ درصد از غلظت پارازیتامول را در محیط مایع کاهش دهند (۱۲). Ushichico و همکاران (به نقل از Hirahara و همکاران) برای بررسی حذف باقیمانده سموم حشره‌کش در آب و خاک از اشعه ماوراء

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-09-08]

بنفش استفاده کرده‌اند (۱۴). نتایج تحقیق آنان نشان داد که به کارگیری اشعه UV-C اثر بهتری در تجزیه برخی از سموم دارد. از مجموع مطالعات فوق و همچنین نتایج حاصل از این تحقیق، می‌توان به این جمع‌بندی رسید که اشعه ماوراء بنفش در محدوده UV-C، خود به تنهایی نیز می‌تواند خاصیت تجزیه برخی از آلاینده‌ها از جمله ترکیبات آلی فرار را داشته باشد. به خصوص این اشعه هنگامی که در محیط‌های مایع و یا هوایی با رطوبت کافی به کار گرفته شود، می‌تواند اثر تخریبی بیشتری بر روی آلاینده‌ها داشته باشد.

دلایلی را که می‌تواند برای نقش تجزیه‌کنندگی اشعه UV-C نسبت به سایر تشعشعات هم گروه خود برشمرد، علاوه بر بالا بودن انرژی آن، مشارکت اشعه UV-C در فرایند تولید ازن و رادیکال هیدروکسیل طبق معادلات ۱ و ۲ می‌باشد (۵، ۲).

$$UV + O_3 \rightarrow O_2 + {}^{\bullet}O \quad (۱)$$

$${}^{\bullet}O + H_2O \rightarrow 2\ {}^{\bullet}OH \quad (۲)$$

از طرفی دلیل افزایش راندمان uv/o_3 با افزایش رطوبت تا ۶۰ درصد را می‌توان با روابط ۳ تا ۵ تفسیر نمود. همان طوری که از معادلات ۳ تا ۵ پیدا است، حضور H_2O یا به عبارتی رطوبت در هوا، علاوه بر تسهیل واکنش‌ها، خود نیز می‌تواند در محیطی که اکسیدان‌هایی نظیر O_3 و UV وجود دارد، منشأ تولید رادیکال‌های فعال ${}^{\bullet}OH$ می‌شود.

$$H_2O + O_3 + UV \rightarrow H_2O_2 + O_2 \quad (۳)$$

$$H_2O_2 + UV \rightarrow 2\ {}^{\bullet}OH \quad (۴)$$

$$H_2O_2 + 2O_3 \rightarrow 2{}^{\bullet}OH \quad (۵)$$

رادیکال‌های تولید شده ${}^{\bullet}OH$ و ${}^{\bullet}O$ طی واکنش‌های ۶ و ۷ باعث تجزیه بنزن می‌شود.

$$O + Benzen \rightarrow CO_2 + H_2O + intermediates \quad (۶)$$

$$OH + Benzen \rightarrow CO_2 + H_2O + intermediates \quad (۷)$$

در نهایت می‌توان عنوان کرد که حضور اشعه UV-C در هوای حاوی آلاینده فرار، چنان چه با رطوبت مناسب همراه باشد، می‌تواند اثر تخریبی قابل توجه‌ای بر ترکیبات آلی فرار داشته باشد. در خصوص کاهش راندمان حذف بنزن برای مقادیر رطوبت بالای ۶۰ درصد، شاید بتوان چنین اظهار نظر کرد که به دلیل مملو شدن فضای داخل رآکتور از بخار آب و در نتیجه تمایل بیشتر فاکتورهای رادیکال (${}^{\bullet}OH$ و ${}^{\bullet}O$) به مولکول‌های آب اتفاق می‌افتد که نسبت به پیوندهای دوگانه بنزنی، از استحکام کمتری برخوردار هستند.

ارزیابی تأثیر مدت زمان تابش اشعه UV-C بر چگونگی حذف بنزن از جریان هوا در نمودار ۲ تحلیل شده است. همان طوری که از نمودار پیدا است، هر چه زمان ماند مولکول‌های بنزن در معرض واکنش فرایند، طولانی‌تر شده است، میزان حذف بنزن نیز بیشتر بوده است. دلیل این پدیده می‌تواند چنین باشد که افزایش مدت زمان انجام واکنش نیز یکی دیگر از راه‌های افزایش راندمان حذف ترکیبات آلی فرار در این فرایند است. دلیل این امر می‌تواند به خاطر فراهم شدن فرصت بیشتر برای در معرض قرارگیری آلاینده با فاکتورهای اکسیدکننده باشد. در تحقیقات متعددی به تأثیر زمان واکنش بر راندمان سیستم‌های اکسیداسیون پیشرفته تأکید شده است (۷، ۶). در پژوهشی که برای حذف تولوئن با استفاده از ازن و جاذب‌های سطحی به عمل آمده است، افزایش زمان واکنش منجر به افزایش ۵۰ درصد راندمان فرایند اکسیداسیون پیشرفته شده است (۵). نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر نیز نشان داد که با افزایش زمان ماند، یا به تعبیری زمان در معرض قرارگیری آلاینده با هر یک از فاکتورهای UV و uv/o_3 توأم، میزان حذف بنزن نیز ارتقاء می‌یابد. آزمون Tukey نیز نشان داد که بین زمان ماندهای مختلف و درصد حذف بنزن از هوا برای هر یک از فرایندهای UV، O_3 و uv/o_3 رابطه معنی‌داری وجود دارد ($P < ۰/۰۰۱$). با توجه به مطالب ذکر شده، می‌توان چنین عنوان نمود که چنان چه هر یک از فرایندهای مذکور به همراه یک بستر یا جاذب مناسب به کار گرفته شود، زمان مناسب برای انجام واکنش تأمین می‌گردد و در نتیجه راندمان فرایند در حد مطلوب ارتقاء پیدا می‌کند.

همان طوری که در نمودارهای ۳ و ۴ نشان داده شده است، هر چه زمان حضور رطوبت در کنار فاکتورهای اکسیدکننده UV و ازن بیشتر بوده باشد، درصد حذف بنزن نیز افزایش یافته است. با توجه به این که، یکی از مهم‌ترین رادیکال‌های اکسیدکننده در واکنش‌های AOP_s، رادیکال‌های

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-09-08]

$OH^{\bullet}$هستند (۴-۲). در نتیجه ارتقای راندمان حذف بنزن، همزمان با افزایش زمان ماند دو متغیر رطوبت نسبی و اشعه UV در کنار یکدیگر، تداعی کننده تولید بیشتر رادیکال $OH^{\bullet}$ و در نتیجه بیشتر شدن میزان حذف بنزن بر اثر این رادیکال‌ها می‌باشد. در سایر مطالعات نیز کارایی فرایندهای AOP_s در حضور مولکول‌های آب افزایش داشته است (۱۴-۱۲). البته پژوهش حاضر نشان داد که چنان چه میزان رطوبت به بالای ۶۰ درصد افزایش یابد، راندمان حذف بنزن در فرایند uv/o_3 کم می‌شود. دلیل این اتفاق شاید به خاطر مملو شدن فضای داخل رآکتور از بخار آب و در نتیجه رقابت مولکول‌های آب با مولکول‌های بنزن در برخورد با رادیکال‌های $OH^{\bullet}$ باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که اشعه UV-C در کنار رطوبت در فرایند uv/o_3 می‌تواند در حذف بنزن از جریان هوا مؤثر باشد. البته به منظور ارزیابی بیشتر تأثیر این دو فاکتور بر حذف ترکیبات آلی فرار از جریان هوا، لازم است که این روش برای سایر VOC_s نیز مورد بررسی قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

از معاونت محترم تحقیقات و فن‌آوری دانشگاه علوم پزشکی لرستان به خاطر فراهم کردن فضای لازم برای انجام آزمایشات و همچنین کلیه افرادی که ما را در مراحل مختلف کار این پروژه یاری نموده‌اند، کمال تشکر را داریم.

References

1. World Health Organization. Indoor Air Pollution and Health [Online]. 2009; Available from: URL: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/en/index.html/
2. Crittenden J, Rhodes R, Hand D, Tchobanoglous G. Water Treatment: Principles and Design. New Jersey, NJ: John Wiley & Sons; 2005.
3. Kasprzyk-Hordern B, Ziolek M, Nawrocki J. Catalytic ozonation and methods of enhancing molecular ozone reactions in water treatment. Applied Catalysis B: Environmental 2003; 46(4): 639-69.
4. Esplugas S, Gimenez J, Contreras S, Pascual E, Rodriguez M. Comparison of different advanced oxidation processes for phenol degradation. Water Res 2002; 36(4): 1034-42.
5. Jeong J, Sekiguchi K, Sakamoto K. Photochemical and photocatalytic degradation of gaseous toluene using short-wavelength UV irradiation with TiO2 catalyst: comparison of three UV sources. Chemosphere 2004; 57(7): 663-71.
6. Souhail A. Degradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water and Sediments by Field Effect TIO2 Catalysis.US Environmental protection agency. EPA Report.2005
7. ZOU L, LUO Y, Martin H, Eric H. Removal of VOCs by photocatalysis process using adsorption enhanced TiO2-SiO2 catalyst. Chemical engineering and processing 2006; 45(11): 959-64.
8. Takafumi S, Soon-Bark K, Makoto H, Akira Y. Decomposition of Toluene with Surface-Discharge Microplasma Device. Japanese Journal of Applied Physics 2012; 44(7A): 5206-10.
9. Wang LK, Pereira NC, Hung YT. Air Pollution Control Engineering. Totowa, NJ: Humana Press; 2010.
10. Pourtaghi G. Toluene removal from air using TiO2 Nano- particles coated on Microbial cellulose by induction with Ultraviolet radiation [PhD Thesis]. Tehran, Iran: Tarbiat Modares University; 2009. [In Persian].
11. Ao CH, Lee SC. Enhancement effect of TiO2 immobilized on activated carbon filter for the photodegradation of pollutants at typical indoor air level. Applied Catalysis B: Environmental 2003; 44(3): 191-205.
12. Yang L, Yu LE, Ray MB. Degradation of paracetamol in aqueous solutions by TiO2 photocatalysis. Water Res 2008; 42(13): 3480-8.
13. Joshi PC. Ultraviolet radiation-induced photodegradation and 1O2, O2-.production by riboflavin, lumichrome and lumiflavin. Indian J Biochem Biophys 1989; 26(3): 186-9.
14. Hirahara Y, Ueno H, Nakamuro K. Comparative Photodegradation Study of Fenthion and Disulfoton under Irradiation of Different Light Sources in Liquid- and Solid-Phases. J Health Sci 2001; 47(2): 129-35.
15. Minamidate W, Tokumura M, Znad HT, Kawase Y. Photodegradation of o-cresol in water by the H2O2/UV process. J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng 2006; 41(8): 1543-58.
16. Eaton AD, Franson MA, American Public Health Associate. Standard Methods for Examination of Water & Wastewater: Centennial Edition. 21st ed. Washington, DC: Amer Public Health Assn; 2005.

www.mui.ac.ir

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-09-08]

Effect of UV-C Radiation on Benzene Removal Rates from Humid Airflow in UV/O_3 Process

Rajab Rashidi[1], Seyed Gholamreza Moussavi[2], Ali Khavanin[3]

Original Article

Abstract

Background: Benzene is one of the most widely used volatile organic compounds showing severely adverse effects on human health. Removing benzene from the airflow or controlling its amounts, is one of the issues put to discussion in the field of environmental engineering. The objective of this study was to examine the efficacy of the Ultraviolet-C (UV-C) radiations on removing benzene from the airflow under conditions of varying humidity and reaction time in the UV/O_3 process.

Methods: This was an experimental study which was performed on a laboratory scale. The testing and measurement system included an air pump, an injection pump, a mixing chamber, a rotameter, an ozone generator, a heater, an impinger, and a steel reactor with 45 cm long, and with a net volume of 1.35 L in which a 15-watt UV-C lamp with a wavelength of 254 nm was placed. Different concentrations of benzene were continuously exposed to the UV/O_3 process under varying conditions of reaction time and humidity. The concentrations of benzene before and after exposure to the treatment process were measured taking aforementioned factors into account. The data were analyzed using descriptive and inferential statistics and three-way ANOVA test.

Findings: The results demonstrated that increasing the humidity levels up to 60% led to an increase in the efficacy of UV-C in the removal of benzene, while this efficacy decreased at humidity levels above 60%. Additionally, the findings indicated that increasing the reaction time can lead to the highest benzene removal rates in the presence of humidity (13.2%, $P < 0.001$).

Conclusion: Given the improvement in the efficacy of benzene removal as a result of the simultaneous use of UV and humidity, and the effects of increased reaction times in a process involving the simultaneous use of the UV rays and relative humidity, it can be concluded that the use of UV-C rays in an airflow containing humidity levels of 50% to 60% can have a positive potentiating effect on the efficacy.

Key words: Benzene, Relative Humidity, Ultraviolet Rays

Citation: Rashidi R, Moussavi SGh, Khavanin A. **Effect of UV-C Radiation on Benzene Removal Rates from Humid Airflow in UV/O_3 Process.** J Health Syst Res 2013; 8(6): 1078-87.

Received date: 14/10/2012 Accept date: 17/11/2012

1- PhD Candidate, Department of Occupational and Environmental Health, School of Medicine, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Department of Occupational and Environmental Health, School of Medicine, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (Corresponding Author) Email: moussavi@modares.ac.ir
3- Associate Professor, Department of Occupational and Environmental Health, School of Medicine, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-09-08]