مقایسه کارایی فرایند فوتولیز و UV/O_3 در حذف بنزن از جریان هوا

رجب رشیدی[1]، سیدغلامرضا موسوی[2]، علی خوانین[3]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: ترکیب‌های آلی فرار (Volatile organic compounds یا VOCs) یکی از گروه‌های اصلی آلاینده‌های هوا هستند که آثار مخربی بر محیط زیست و سلامت انسان دارند. با توجه به سرطان‌زا بودن برخی از این ترکیب‌ها از جمله بنزن، امروزه چگونگی کنترل آن‌ها موضوعی مهم در پژوهش‌های زیست‌محیطی به حساب می‌آید. هدف از این مطالعه ارزیابی فرایند ترکیبی UV/O_3 در حذف بنزن از جریان هوا بود.

روش‌ها: مطالعه حاضر از نوع تجربی و در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. در این تحقیق از سیستم آزمایشی شامل پمپ هوا، پمپ تزریق سرنگی، محفظه اختلاط، روتامتر، ژنراتور تولید ازن و راکتور استیل به طول ۴۵ cm و حجم مفید ۱/۳۵ لیتر استفاده شد که در داخل آن یک لامپ ۱۵ وات UV-C با طول موج ۲۵۴ نانومتر بود. غلظت‌های مشخص بنزن به صورت مداوم در زمان ماندهای مختلف در معرض تابش اشعه UV-C، دوزهای مختلف ازن و UV/O_3 قرار گرفتند. میزان غلظت بنزن قبل و بعد از در معرض قرارگیری با متغیرهای ذکر شده با هم مقایسه گردید. داده‌ها با استفاده از آمار توصیفی و استنباطی و به کارگیری آزمون Three way ANOVA مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها: در این مطالعه غلظت‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۸۰ ppm از بخارات بنزن از درون راکتور عبور داده شد. سپس در معرض تابش UV-C، دوزهای مختلف ازن و UV و ازن توأم قرار گرفت. نتایج نشان داد که UV به تنهایی تا ۲ درصد قادر به حذف بنزن از جریان هوا است، ولی ازن قادر است تا حدود ۱۴ درصد بنزن را از هوا حذف نماید. این در حالی است که کاربرد همزمان UV/O_3 می‌تواند تا ۲۴ درصد غلظت بنزن را از جریان هوا کاهش دهد. تحلیل آزمون Three way ANOVA نشان داد که بین متغیرهای دوز ازن، اشعه UV و UV/O_3 و میزان حذف بنزن از هوا رابطه معنی‌داری وجود دارد ($P < ۰/۰۰۲$).

نتیجه‌گیری: با توجه به تأثیر اندک UV به تنهایی در تجزیه بنزن از جریان هوا می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که واکنش‌های (AOP یا Advanced oxidation process) که تولید رادیکال‌های فعال می‌کند، می‌تواند برای تجزیه بنزن به کار گرفته شود. یافته‌ها حاکی از آن بود که درصد حذف بنزن در هنگام استفاده توأم از UV و ازن نسبت به کاربرد هر یک به تنهایی کاملاً چشمگیر بود. آزمون تحلیل واریانس نیز نشان داد که کاربرد همزمان UV و O_3 دارای اثر هم‌افزایی مثبت است ($P < ۰/۰۰۱$).

واژه‌های کلیدی: ترکیبات آلی فرار، بنزن، ازن، اشعه ماوراء بنفش

ارجاع: رشیدی رجب، موسوی سیدغلامرضا، خوانین علی. **مقایسه کارایی فرایند فوتولیز و UV/O_3 در حذف بنزن از جریان هوا.** مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۳۹۱؛ ۸ (۷): ۱۱۵۰-۱۱۴۰.

دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۱/۲۱ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۶/۲۱

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

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

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-13]

مقدمه

بنزن با فرمول شیمیایی C_6H_6 کوچک‌ترین و پایدارترین ترکیب آروماتیک محسوب می‌شود. این ماده با اسامی بنزول و اسانس نفت، مایعی بی‌رنگ و شفاف با وزن مولکولی ۷۸/۱۱ است. همچنین این ترکیب دارای بوی ویژه است که این بو از خواص عمومی ترکیب‌های معطر است. این ترکیب آلی فرار دارای فشار بخار ۷۴/۷ mmHg در ۲۰ $^{\circ}C$ است. در نتیجه به شدت قابل اشتعال است و با حرکت و به هم خوردگی دارای شارژ الکتریکی می‌شود (۱). در گذشته بنزن از تقطیر زغال سنگ یا نفت خام به دست می‌آمد، اما امروز از هیدروژناسیون سیکلوهگزان در پتروشیمی ساخته می‌شود (۱).

نکته قابل توجه در رابطه با بنزن آن است که در بین مواد سرطان‌زا، بنزن جزء مواد شیمیایی آلی با بالاترین کاربرد صنعتی است که همانند سایر ترکیبات به دست آمده از نفت، کاربرد وسیعی در صنعت دارد. از کاربرد بنزن نیز با وجود سرطان‌زا بودن آن نمی‌توان به راحتی صرف‌نظر کرد. بنزن در نفت خام و گاز طبیعی به نسبت ۳-۱ درصد حجمی وجود دارد. محصولاتی از جمله حلال‌ها، سوخت‌ها و روغن‌های تهیه شده از نفت خام و گاز طبیعی به واسطه طبیعت و ماهیت فرایندهای ساخت، دارای مقادیر ناچیزی بنزن هستند.

بنزن در ساخت ترکیب‌های معطری نظیر استیرن ۵۵ درصد، سیکلوهگزان ۱۳ درصد، نیترو بنزن ۵ درصد، فنل ۲۴ درصد، بنزن‌های کلره ۱۳ درصد، حشره‌کش‌ها، پاک‌کننده‌ها و برخی داروها و همچنین به عنوان حلال در ترکیب‌های واکس‌ها، رزین‌ها، لاستیک، الکل، رنگ‌ها و چسب‌ها به کار می‌رود (۴-۲). اخیراً به دلیل حذف سرب در بنزین اتومبیل از بنزن به عنوان ماده ضد جرقه در بنزین استفاده می‌شود. از این رو تقریباً ۱۰ درصد از کل مصرف بنزن در سوخت اتومبیل به کار گرفته می‌شود؛ به طوری که امروزه کاربرد بنزن به عنوان عامل بهسوزی بنزین در موتور اتومبیل سیر صعودی به خود گرفته است. در نتیجه معمول‌ترین راه تماس آحاد افراد جامعه با بنزن، اتومبیل و جایگاه‌های سوخت در سطح شهرها است. گروه‌های مختلف جامعه نیز که از چسب‌های مختلف مصنوعی، اسپری‌های پاک‌کننده و حشره‌کش‌ها استفاده می‌کنند، در خطر تماس با این آلاینده فرار قرار دارند (۴). با توجه به گستره وسیع کاربرد بنزن در محیط‌های صنعتی کارگران صنایع پتروشیمی، آزمایشگاه‌ها، سازندگان چسب مصنوعی، کارخانجات کفش‌سازی، چرم، پلاستیک تجاری، سازندگان مبل و صنایع رنگ هم در معرض خطر تماس با بنزن قرار دارند (۳).

بنزن بیشتر از طریق تنفس و به طور محدودی از راه پوست جذب می‌شود. در حالت حاد خواب‌آور و تخدیرکننده می‌باشد. علایمی شامل سرگیجه، سردرد، احساس خستگی، سستی، تهوع، تلوتلو خوردن، کما و مرگ ناشی از ایست تنفسی دارد و در حالت مزمن سبب آسیب پنهانی و اغلب غیر قابل برگشت به مغز استخوان می‌شود. به بیان دیگر سبب کاهش پلاکت‌های خون، گلبول‌های سفید و قرمز یا ترکیبی از این عناصر خونی و یا باعث ایجاد سرطان‌زایی در بافت خون می‌شود (۵).

بر اساس استاندارد (ACGIH) (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)، مقدار (TLV) Threshold limit value بنزن برای هشت ساعت کار (TLV-TWA) ۰/۵ ppm و حد آستانه کوتاه مدت ۱۵ دقیقه (TLV-STEL) ۲/۵ ppm است. بنزن در این استاندارد جزء مواد سرطان‌زای درجه یک است. National institute for occupational safety and health (NIOSH) نیز مقدار حد تماس توصیه شده ۸ ساعت (REL-TWA) را ۰/۱ ppm و مقدار حد تماس توصیه شده سقفی (REL-ceiling) را ۱ ppm برای مدت ۱۵ دقیقه معین نمود و آن را جزء مواد سرطان‌زای انسانی قرار داد (۶). استاندارد Occupational safety and health administration (OSHA) نیز حد تماس مجاز هشت ساعته (PEL-TWA) را برای بنزن برابر ۱ ppm و حد تماس مجاز کوتاه مدت (PEL-STEL) را برابر ۵ ppm به مدت ۱۵ دقیقه معین کرد و آن را جزء مواد سرطان‌زا قرار داد (۷).

با توجه به مطالب ذکر شده، بنزن کاربرد وسیعی در بخش‌های مختلف زندگی اقتصادی و اجتماعی دارد. با توجه به اثرات زیان‌آور آن بر سلامتی انسان به خصوص سرطان‌زا بودن آن لازم است که روش یا روش‌هایی برای حذف این

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-13]

ترکیب آلی فرار و یا کاهش میزان بخارات آن در هوا به کار گرفته شود (۵). روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مختلفی برای حذف ترکیب‌های آلی فرار (VOC یا Volatile organic compound) از جمله بنزن از هوای محیط به کار می‌رود. از جمله این روش‌ها می‌توان به اکسیداسیون حرارتی، متراکم‌سازی، بیوفیلتراسیون و جذب سطحی آلاینده‌های فرار اشاره کرد (۹، ۸، ۶).

از تکنیک‌های ذکر شده با توجه به شرایط سیال، آلاینده موجود در آن، امکانات موجود و همچنین بازده‌ای که از روش کنترلی انتظار می‌رود، می‌توان برای حذف VOCها استفاده نمود. هر یک از این روش‌های ذکر شده با تکیه بر دبی هوای حامل آلاینده و غلظت آلاینده برای یک دامنه مشخص، دارای بیشترین کارایی و کاربرد است. از این رو در حذف ترکیب‌های آلی فرار توسط روش‌های متداول کنترلی که برای آن‌ها مطرح می‌باشد، توجه به محدودیت‌های هر یک از این تکنیک‌ها ضروری است (۱۱، ۱۰).

با توجه به محدودیت‌های فنی و اقتصادی روش‌های ذکر شده برای حذف VOCها از هوا، امروزه تحقیق‌های زیادی در حال انجام است تا یک روش مؤثر برای حذف آلاینده‌ها از هوا توسعه داده شود. یکی از این روش‌های نوین حذف آلاینده‌های آلی، فرایند اکسیداسیون پیشرفته (AOP یا Advanced oxidation process) است. این روش به فرایند اکسیداسیونی گفته می‌شود که رادیکال هیدروکسیل با مقادیر کافی برای تجزیه ترکیب‌های آلی تولید می‌کند (۱۴-۱۲).AOP فرایندی است که علاوه بر کارایی بالا و سادگی فن آوری در دما و فشار طبیعی جهت تولید رادیکال‌هایی با اکتیویته بالا (به خصوص رادیکال OH) به کار می‌رود.

رادیکال‌های OH به دلیل دارا بودن پتانسیل اکسیداسیون بالا (۲/۷)، بیشترین کارایی را در اکسیداسیون ترکیب‌های آلی دارد. رادیکال OH و سایر اجزای بسیار فعال و واکنشگر در نتیجه واکنش بین اکسیدکننده‌های متداول از جمله ازن، پراکسید هیدروژن، اشعه UV، کاتالیزورها و امواج فراصوت تولید می‌شوند (۱۳، ۱۲).

تاکنون تحقیق‌های زیادی روی حذف آلایندهای آلی با استفاده از فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته صورت گرفته است. اغلب این مطالعه‌ها اثربخشی بالای این فرایندها را گزارش نمودند (۱۷-۱۳). Ao و Lee تأثیر دی‌اکسید تیتانیوم و اشعه UV را در حذف VOCها به تنهایی و توأم مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که استفاده از UV به تنهایی و یا دی‌اکسید تیتانیوم به تنهایی نمی‌تواند خاصیت فتوکاتالیستی داشته باشد؛ در صورتی که استفاده توأم از آن‌ها با ایجاد خاصیت فتوکاتالیستی و تولید رادیکال OH در حذف ترکیب‌های آلی مؤثر است (۱۸). Einaga و Futamura برای حذف بنزن از اکسیداسیون کاتالیزوری ازن و اکسیدهای منگنز استفاده نمودند (۱۹).

در پژوهشی که توسط Wang و همکاران صورت گرفت، اکسیداسیون فتوکاتالیتیک برای حذف بخارات آلی فرار مورد مطالعه قرار گرفت. آنان مزیت‌های مهم سیستم‌های فتوکاتالیستی را برای استفاده از اشعه UV در مقایسه با روش جذب سطحی، بیوفیلتراسیون و کاتالیز حرارتی را مقرون به صرفه اعلام نمودند (۲۰). Chao و همکاران (۲۱) و موسوی و همکاران (۲۲) تأثیر ازن در حذف تولوئن و زایلن از هوا را ۱۰-۸ درصد اعلام نمودند.

در مطالعه‌های متعددی حذف ترکیب‌های آلی فرار از جمله بنزن با استفاده از به کارگیری اشعه UV به همراه سایرکاتالیست‌ها نظیر اکسید تیتانیوم، اکسید روی، دی‌اکسید سیلیسیوم، زئولیت، کربن فعال و غیره مورد بررسی قرار گرفته و به اثربخشی این روش اشاره شده است (۲۶-۲۳). از این رو در این مطالعه با به کارگیری یکی دیگر از روش‌های (AOP) یعنی استفاده توأم ازن و اشعه UV، تأثیر آن‌ها را در حذف بنزن از هوای محیط مورد بررسی قرار گرفت.

روش‌ها

توصیف سیستم آزمایشی

مطالعه حاضر از نوع تجربی و در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. سیستم آزمایشی مورد استفاده شامل پمپ هوا، پمپ تزریق سرنگی مدل TOP-۳۵۰۰ ساخت ژاپن، محفظه

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-13]
www.mui.ac.ir

اختلاط، روتامتر، ژنراتور تولید ازن مدل COG-OM ساخت ARDA فرانسه، راکتور و لامپ UV مطابق شکل ۱ بود.

طراحی و ساخت راکتور

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

تولید ازن

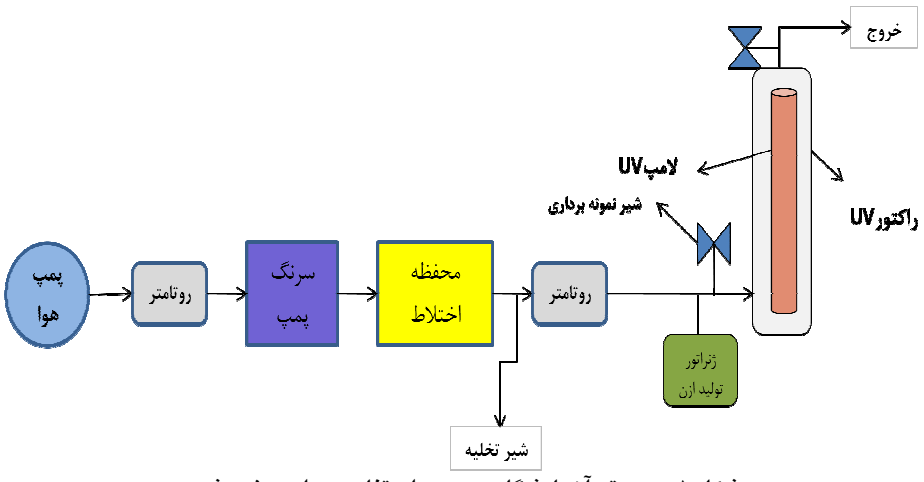
برای تولید ازن مورد نیاز از ژنراتور تولید ازن با نشان تجاری COG-OM ساخت ARDA فرانسه استفاده گردید. در این دستگاه ازن با حضور اکسیژن خالص یا هوای خشک تولید شد. برای تأمین هوای مورد نیاز برای تولید ازن از یک پمپ تزریق هوا قابل تنظیم به همراه یک روتامتر برای سنجش جریان هوا استفاده گردید. این دستگاه قادر بود با توجه به میزان تزریق هوا تا ۱ gr/h ازن تولید کند. برای اندازه‌گیری غلظت ازن در هوا از روش جذب یدید پتاسیم و در نهایت یدومتری استفاده شد.

تولید UV-C

اشعه UV-C با به کارگیری یک عدد لامپ ۱۵ وات ماورای بنفش تک طول موجی ۲۵۴ نانومتر ساخت شرکت فیلیپس هلند فراهم شد که در درون ستون شیشه‌ای استوانه‌ای شکل از جنس کوارتز قرار داشت. این استوانه در مرکز راکتور نصب گردید. برای سنجش میانگین دانسیته توان تابشی لامپ در فضای داخل راکتور، میزان اشعه ماورای بنفش در دو ناحیه روی لامپ و فاصله ۲ cm از لامپ (با توجه به قطر داخلی راکتور) توسط دستگاه دیجیتال اندازه‌گیری اشعه UV-C ساخت کشور تایوان مدل ۷۳۲ بر حسب میکرو وات بر سانتیمتر مربع سنجش گردید. میانگین آن یعنی ۱۹۵۰ $\mu W/cm^2$ ملاک عمل قرار گرفت.

غلظت‌سازی بنزن در فاز گازی

پس از تهیه مایع بنزن با درجه خلوص ۹۹ درصد شرکت Merck برای ساخت هوای حاوی بنزن در غلظت‌های مورد نظر (۱۰–۸۰ ppm) از دستگاه تزریق سرنگی به همراه پمپ تزریق هوا استفاده شد. در این رابطه پارامترهای تأثیرگذار در میزان غلظت بنزن در جریان هوا از جمله دمای بنزن و دمای محیط آزمایش در حین کار ثابت و میزان تزریق بنزن و دبی پمپ تزریق هوا متغیر در نظر گرفته شد. بدین صورت که با تغییر میزان تزریق بنزن توسط دستگاه پمپ سرنگی و یا تغییر دبی هوا با استفاده از روتامتر، غلظت‌های مختلف از بنزن در جریان هوا تهیه گردید. البته هر گونه نوسان در میزان دبی هوا بر میزان غلظت بنزن در جریان هوا تأثیر دارد. برای آرامش جریان و ثابت نمودن غلظت آلاینده از یک محفظه اختلاط شیشه‌ای به ظرفیت ۲۰ لیتر بعد از دستگاه تزریق سرنگی استفاده گردید.



شکل ۱: سیستم آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-13]
www.mui.ac.ir

برای سنجش غلظت بنزن در جریان هوا از دستگاه قرائت مستقیم Phochek ۵۰۰۰ ساخت کشور انگلستان استفاده گردید. این دستگاه با روش آشکارساز یون‌ها (PID) به صورت همزمان نمونه‌برداری و سنجش را انجام می‌دهد. البته برای بررسی صحت کار دستگاه Phochek برای هر متغیر، تعدادی نمونه با روش گاز کروماتوگرافی یونش شعله‌ای (FID) اندازه‌گیری گردید. نتایج به دست آمده از این طریق با نتایج حاصل از دستگاه قرائت مستقیم تقریباً مشابه بود.

ابزار تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای هر مرحله آزمایش، کلیه آزمایش‌ها ۵ بار در شرایط آزمایشگاهی دمای ثابت (^0C ۲۵-۲۳)، رطوبت نسبی ۴۵-۴۲ درصد و در زیر هود انجام شد. اطلاعات آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS-WIN نسخه ۱۶ (version 16, SPSS Inc., Chicago, IL) و به کارگیری آزمون Three way ANOVA آنالیز گردید. نتایج در قالب جداول و نمودارهای خطی ارایه شد و مورد بحث قرار گرفت.

یافته‌ها

برای بررسی تأثیر اشعه UV-C با طول موج ۲۵۴ نانومتر در حذف بنزن از جریان هوا با قرار دادن لامپ در مرکز راکتور (شکل ۱)، هوای حاوی بنزن در غلظت‌های مشخص به طور مداوم در معرض تابش اشعه قرار گرفت. مدت زمان تابش اشعه در حذف بنزن مورد بررسی قرار گرفت. برای این امر با تغییر دبی جریان هوای ورودی به راکتور از Lit/min ۵-۰/۵ و با توجه به حجم راکتور، زمان ماندهایی بین (۱۶۲-۱۴ ثانیه) برای در معرض قرارگیری آلاینده با اشعه UV-C فراهم گردید. در این مرحله از کار با ثابت نگه داشتن پارامترهای دما بین ^0C ۲۵- ۲۳ و رطوبت نسبی ۴۵-۴۲ درصد، کارایی UV-C بر غلظت‌های مختلف بنزن (ppm ۸۰-۱۰) اندازه‌گیری شد (جدول و نمودار ۱). همان طوری که ملاحظه می‌گردد، میزان حذف بنزن برای غلظت‌های مختلف آن حداکثر ۲ درصد بود؛ به عبارتی اشعه UV-C به تنهایی تأثیر اندکی در حذف بنزن از جریان هوا نشان داد (۱۸).

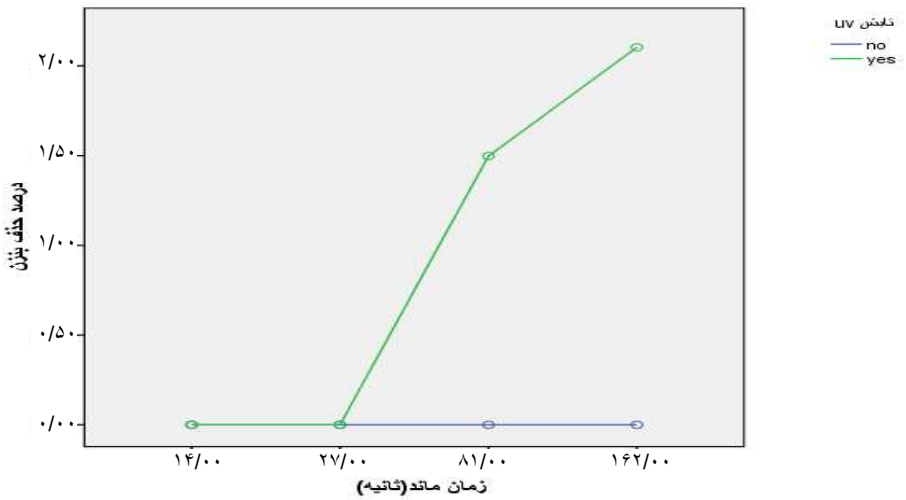
استفاده از O_3 برای حذف بنزن از جریان هوا در جدول ۱ و نمودارهای ۵-۲ نشان داده شده است. در این مرحله از آزمایش نیز برای بررسی تأثیر O_3 در حذف بنزن، غلظت‌های مختلف بنزن (ppm ۸۰-۱۰) در زمان ماندهای اشاره شده در معرض gr/h ۰/۴-۰/۲ ازن با ثابت نگه داشتن سایر متغیرها قرار گرفت. نتایج نشان داد که راندمان حذف بنزن برای غلظت‌های ppm ۸۰-۱۰ بین ۱۱-۷ درصد بود. با افزایش زمان ماند از ۱۴ به ۱۶۲ ثانیه نیز درصد حذف به ۱۴ درصد رسید. آزمون Tukey نشان داد که بین کلیه زوج دوزهای ازن تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($P < ۰/۰۵$).

نتایج کارایی فرایند ترکیبی UV/O_3 در حذف بنزن در جدول ۱ و نمودارهای ۵-۲ ارایه شده است. در این مرحله از کار از دوزهای مختلف ازن (gr/h ۰/۴-۰/۲) به همراه اشعه UV-C استفاده شد. سایر متغیرهای تأثیرگذار بر راندمان سیستم ثابت در نظر گرفته شد. نتایج حاکی از آن بود که کارایی فرایند UV/O_3 در حذف بنزن از جریان هوا برای غلظت‌های ppm ۸۰-۱۰ با توجه به زمان ماند (۱۶۲-۱۴ ثانیه) بین ۲۴-۱۵ درصد است. آزمون Tukey نشان داد که بین کلیه زوج زمان‌های ماند در فرایند UV/O_3

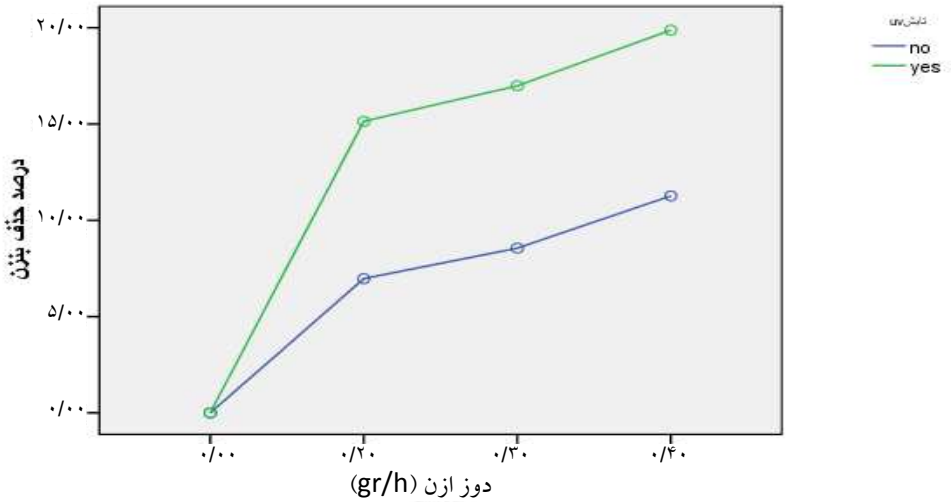
جدول ۱: مقایسه درصد حذف بنزن در فرایند UV، O_3 و UV/O_3 در زمان ماندهای مختلف

دوز ازن gr/h	۰		۰/۲		۰/۳		۰/۴	
زمان ماند (ثانیه)	تابش UV	بدون تابش UV	تابش UV	بدون تابش UV	تابش UV	بدون تابش UV	تابش UV	بدون تابش UV
۱۴	۰/۰	۰	۱۵/۰	۷/۰	۱۷/۰	۸/۶	۱۹/۹	۱۱/۳
۲۷	۰/۰	۰	۱۷/۹	۸/۶	۱۹/۳	۹/۱	۱۹/۷	۱۰/۹
۸۱	۱/۵	۰	۱۹/۶	۹/۳	۲۰/۷	۱۰/۴	۲۰/۴	۱۲/۶
۱۶۲	۲/۱	۰	۲۲/۶	۱۲/۷	۲۴/۰	۱۲/۸	۲۴/۰	۱۴/۰

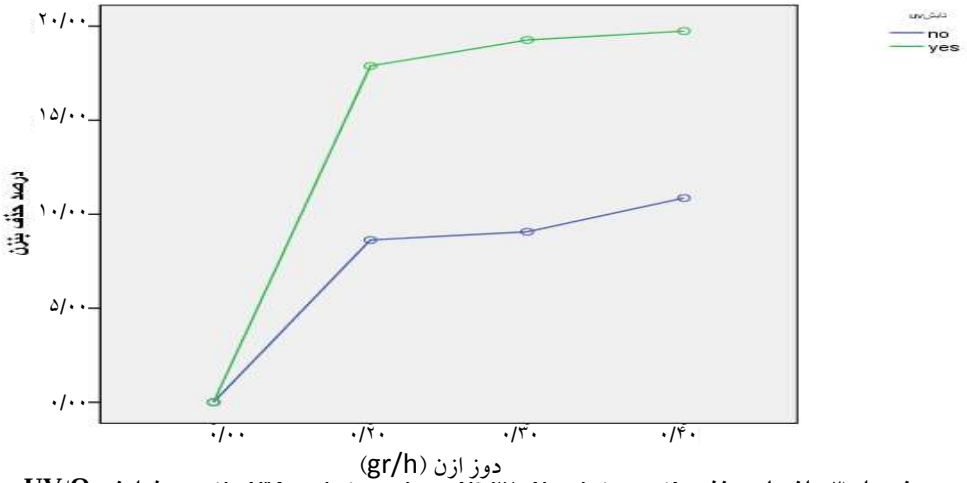
[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-13]
www.mui.ac.ir



نمودار ۱: راندمان حذف بنزن در فرایند فتولیز در زمان ماندهای مختلف

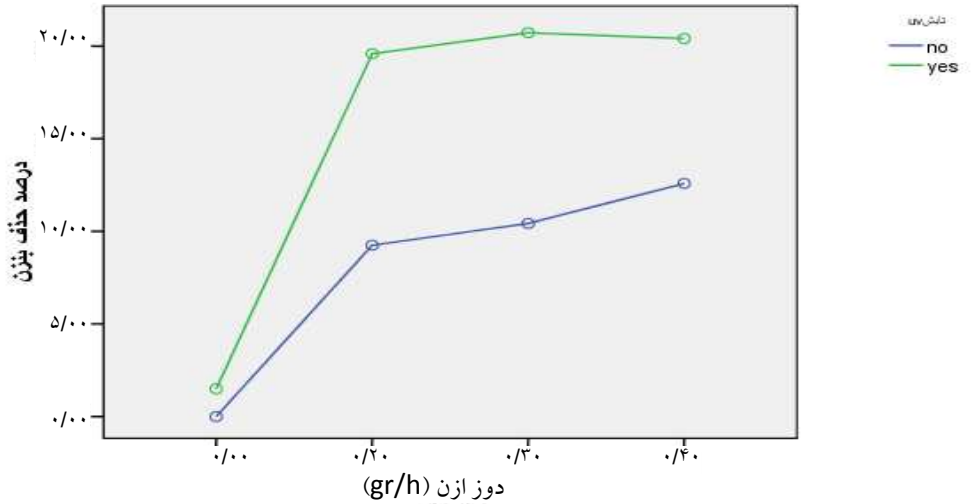


نمودار ۲: راندمان حذف بنزن در زمان ماند ۱۴ ثانیه برای دوزهای مختلف ازن در فرایند UV/O۳

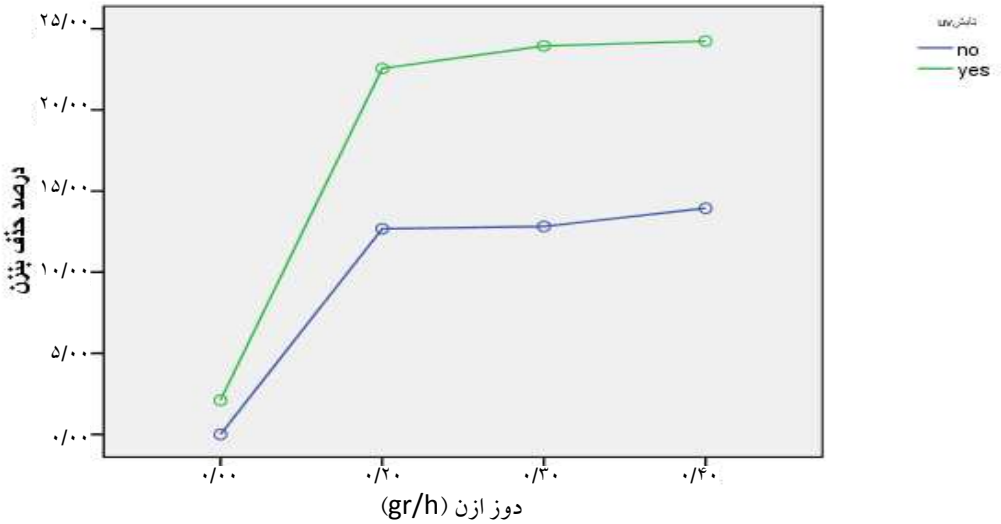


نمودار ۳: راندمان حذف بنزن در زمان ماند ۲۷ ثانیه برای دوزهای مختلف ازن در فرایند UV/O_3

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-13]



نمودار ۴: راندمان حذف بنزن در زمان ماند ۸۱ ثانیه برای دوزهای مختلف ازن در فرایند UV/O_3



نمودار ۵: راندمان حذف بنزن در زمان ماند ۱۶۲ ثانیه برای دوزهای مختلف ازن در فرایند UV/O_3

تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($P < ۰/۰۵$). مقایسه راندمان سه فرایند UV، O_3 و UV/O_3 در حذف بنزن از جریان هوا در جدول ۱ نشان داده شده است. همان طوری که از مقادیر جدول پیدا است، برای کلیه غلظت‌های مورد بررسی (۸۰-۱۰ ppm)، کمترین درصد حذف مربوط به فرایند فوتولیز (۲/۱ درصد) و بیشترین درصد حذف مربوط به فرایند UV/O_3 با ۲۴ درصد بود.

بحث

این مطالعه جهت مقایسه کارایی فرایند فوتولیز و UV/O_3 در حذف بنزن از جریان هوا صورت گرفت. برای این امر تأثیر فرایند UV/O_3، UV و O_3 به تنهایی مورد بررسی قرار گرفت تا بتوان به راحتی کارایی هر یک از فرایندهای مذکور را در حذف بنزن مورد مقایسه قرار داد. حذف آلاینده‌های مختلف هوا از جمله بنزن توسط روش‌های مختلف اکسیداسیون پیشرفته در تحقیق‌های جدید، توانمندی‌های وسیع این تکنیک‌ها را در جهت کنترل آلاینده‌های هوا اثبات کرده است (۲۳، ۱۹، ۱۸).

یافته‌های این مطالعه نشان داد که استفاده از اشعه UV

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-13]
www.mui.ac.ir

به تنهایی نمی‌تواند تأثیر چندانی در حذف بنزن از جریان هوا داشته باشد. در این پژوهش غلظت‌های مختلف بنزن در زمان ماندهای مختلف در معرض تابش اشعه UV-C قرار گرفت و فقط با افزایش زمان ماند بیشتر از یک دقیقه میزان حذف به ۲ درصد رسید. سایر محققین از جمله Ao و Lee گزارش نمودند که استفاده از UV به تنهایی نمی‌تواند در حذف ترکیب‌های آلی فرار مؤثر باشد (۱۸). در واقع می‌توان چنین اظهار نظر نمود که با توجه به پایدار بودن ساختمان اتمی بنزن، انرژی UV به تنهایی هم به دلیل اکتیویته پایین و هم به دلیل زمان ماند کم در روش‌های دینامیکی برای شکستن پیوند بین اتم‌های این عنصر کافی نیست. برای شکستن پیوندهای اتمی بنزن به رادیکال‌های OH که از پتانسیل اکسیداسیون بالایی برخوردار است و یا استفاده از زمان ماند طولانی برای تماس بیشتر اشعه با آلاینده نیاز است (۱۳، ۱۲).

در رابطه با تأثیر O_3 در حذف بنزن از جریان هوا، نتایج حاکی از آن بود که کارایی ازن در حذف بنزن حدود ۱۱ درصد است. البته با افزایش زمان ماند (زمان در معرض قرارگیری بنزن با ازن) به ۱۶۲ ثانیه، حذف بنزن به ۱۴ درصد رسید. آزمون Tukey نشان داد که بین استفاده از دوزهای مختلف ازن و میزان حذف بنزن رابطه معنی‌داری وجود دارد ($P < ۰/۰۵$). هر چه غلظت ازن افزایش یابد، میزان حذف بنزن نیز بیشتر می‌شود. از این رو می‌توان دلیل تأثیر اندک ازن در حذف بنزن را به کوتاه بودن زمان ماند در سیستم دینامیک و در نتیجه کمتر تشکیل شدن اتم‌های فعال اکسیژن و رادیکال‌های OH در فرایند ازن‌زنی دانست.

در واقع ازن فقط به صورت برخورد مستقیم سبب اکسیداسیون بنزن طبق واکنش زیر می‌شود.

$$Benzen + O_3 \longrightarrow CO_2 + H_2O$$

ازن به دلیل نبودن واسطه‌ای در واکنش (کاتالیزور)، امکان واکنش غیر مستقیم را کمتر پیدا می‌کند. نتایج مطالعه Chao و همکاران (۲۱) روی حذف تولوتن و موسوی و همکاران (۲۲) روی حذف زایلن با استفاده از ازن به تنهایی، کارایی ازن را بین ۱۰-۸ درصد گزارش کردند.

در استفاده توأم از اشعه UV و ازن برای حذف بنزن از جریان هوا، داده‌های تحقیق نشان داد که کارایی فرایند ترکیبی UV/O_3 نسبت به کاربرد هر یک به تنهایی بهتر است. در این مرحله با افزایش زمان ماند از ۱۴ به ۱۶۲ ثانیه، راندمان حذف تا ۲۴ درصد افزایش یافت. آزمون Tukey نشان داد که بین زمان ماندهای مختلف و میزان حذف بنزن در فرایند UV/O_3 رابطه معنی‌داری وجود دارد ($P < ۰/۰۵$)؛ به طوری که هر چه زمان ماند افزایش یابد، میزان حذف بنزن نیز بیشتر می‌شود.

در فرایند UV/O_3 علاوه بر این که O_3 مستقیم به مولکول‌های بنزن حمله می‌کند، در اثر واکنش بین ازن و UV به اتم‌های فعال اکسیژن (رادیکال‌های اکسیژن) تجزیه می‌شود. این رادیکال‌ها، هم در اکسیداسیون مولکول‌های بنزن و هم با مولکول‌های آب موجود در جریان هوا طبق واکنش‌های زیر شرکت می‌کنند. رادیکال‌های اکسیژن نیز باعث ایجاد رادیکال‌های هیدروکسیل (OH) می‌شوند که این رادیکال‌ها نقش مهمی در حذف بنزن دارند (۲۵، ۲۴).

اکسیداسیون مستقیم:

$$Benzen + O_3 \longrightarrow CO_2 + H_2O + intermediates$$

اکسیداسیون غیر مستقیم:

$$UV + O_3 \longrightarrow O_2 + {}^{\bullet}O$$

$$O + H_2O \longrightarrow 2\,{}^{\bullet}OH$$

$$OH + Benzen \longrightarrow CO_2 + H_2O + intermediates$$

همان طوری که در واکنش‌های فوق ملاحظه می‌گردد، در فرایند ترکیبی UV/O_3 بنزن هم از طریق اکسیداسیون مستقیم و هم از طریق اکسیداسیون غیر مستقیم تجزیه می‌شود. به عبارتی ازن و رادیکال‌های تولید شده به باندهای C-H و C-C بنزن که نسبت به باندهای دوگانه آن سست‌تر هستند، حمله می‌کنند و باعث تجزیه آن می‌شوند (۲۶).

نتیجه‌گیری

به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کاربرد همزمان UV/O_3 برای حذف ترکیب‌های آلی فرار با توجه به سادگی روش کار، هزینه کم آن و انجام واکنش در شرایط طبیعی و معمول محیط می‌تواند متدی مؤثر در کنترل این گونه آلاینده‌ها از هوا باشد. البته ممکن است که کارایی این

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-13]

سیستم برای سایر VOCها متفاوت باشد. بنابراین می‌بایست این متد برای دیگر ترکیب‌های آلی فرار نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

محققین بر خود لازم می‌دانند که از تمامی کسانی که در انجام این پروژه همکاری نمودند، مراتب سپاس را به جا آورند.

References

1. CDC. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards [Online]. 2002; Available from: URL: http://www.cdc.gov/niosh/npg/
2. Clayton GD, Clayton FE, Patty FA, Allan RE. Patty's industrial hygiene and toxicology. New Jersey, NJ: Wiley; 1994.
3. WHO. Environmental Health Criteria. Geneva, Switzeland: WHO; 1993.
4. Verma DK, Tombe KD. Measurement of benzene in the workplace and its evolution process, Part I: Overview, history, and past methods. AIHAJ 1999; 60(1): 38-47.
5. Irons RD, Lv L, Gross SA, Ye X, Bao L, Wang XQ, et al. Chronic exposure to benzene results in a unique form of dysplasia. Leuk Res 2005; 29(12): 1371-80.
6. Agency for Toxic Substances and Disease Registry [Online]. 2010; Available from: URL: http://www.atsdr.cdc.gov/
7. Osha Regulated Hazardous Substances: Health, Toxicity, Economic, and Technological Data. New Jersey, NJ: William Andrew; 1990.
8. William JC, Lead PE. VOC control strategies in plant design. In: William JC, Lead PE, Editors. Chemical Processing: Project Engineering Annual. Chicago, IL: Putman, Fall; 1997.
9. Everaert K, Baeyens J. Catalytic combustion of volatile organic compounds. Journal of Hazardous Materials 2004; 109(1GÇô3): 113-39.
10. Mukhopadhyay N, Moretti EC. Current and Potential Future Industrial Practices for Reducing and Controlling Volatile Organic Compounds. New York, NY: Center for Waste Reduction Technologies, American Institute of Chemical Engineers; 1993.
11. Khan FI, Ghoshal A. Removal of Volatile Organic Compounds from polluted air. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 2000; 13(6): 527-45.
12. 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.
13. 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.
14. Andreozzi R, Caprio V, Insola A, Marotta R. Advanced oxidation processes (AOP) for water purification and recovery. Catalysis Today 1999; 53(1): 51-9.
15. Valdes H, Zaror CA. Heterogeneous and homogeneous catalytic ozonation of benzothiazole promoted by activated carbon: Kinetic approach. Chemosphere 2006; 65(7): 1131-6.
16. Legube B, Karpel Vel Leitner N. Catalytic ozonation: a promising advanced oxidation technology for water treatment. Catalysis Today 1999; 53(1): 61-72.
17. Environmental Protection Agency. Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual [Online]. 1999; Available from: URL: http://www.epa.gov/ogwdw/mdbp/alternative_disinfectants_guidance.pdf/
18. 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.
19. Einaga H, Futamura S. Catalytic oxidation of benzene with ozone over alumina-supported manganese oxides. Journal of Catalysis 2004; 227(2): 304-12.
20. Wang LK, Pereira NC, Hung YT. Air Pollution Control Engineering. New Jersey, NJ: Humana Press; 2004.
21. Chao CY, Kwong CW, Hui KS. Potential use of a combined ozone and zeolite system for gaseous toluene elimination. J Hazard Mater 2007; 143(1-2): 118-27.
22. Moussavi GR, Khavanin A, Mokarami HR. Investigating the effect of gas flow rate, inlet ozone concentration and relative humidity on the efficacy of catalytic ozonation process in the removal of xylene from waste airstream. Iran Occupational Health 2010; 7(3): 59-67.
23. 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.
24. Souhail A. Degradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (pahs) in Water and Sediments by Field Effect

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-13]

TIO2 Catalysis.US Environmental protection agency. EPA Report [Online]. 2005; Available from: URL: www.epa.gov/epahome/comments.htm/

25. Zou L, Luo Y, Hooper M, Hu E. Removal of VOCs by photocatalysis process using adsorption enhanced TiO2-SiO2 catalyst. Chemical Engineering and Processing 2006; 45(11): 959-64.

26. Seto T, Kwon SB, Hirasawa M, Yabe A. Decomposition of Toluene with Surface-Discharge Microplasma Device. Japanese Journal of Applied Physics 2005; 44(7A): 5206-10.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-13]

Comparison of Photolysis Process and UV/O_3 in Removing Benzene from Airflow

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

Original Article

Abstract

Background: Volatile organic compounds (VOCs) are among the main air pollutants which have destructive effects on the environment and human health. Considering the carcinogenic effects of some of these compounds including benzene, how to control and limit them is considered an important issue in environmental research. The aim of this study was to evaluate the use of the combined ultraviolet (UV)/O_3 method in the removal of benzene from the airflow.

Methods: The present experimental study was conducted using laboratory methods. The laboratory equipment consisted of air pumps, injection pumps, mixing chamber, rotameter, ozone generator, and a steel reactor with 45 cm length and a usable volume of 1.35 liters in which a 15-watt UV-C diode with a wave length of 254 nm had been placed. Then, the different concentrations of benzene were continuously exposed to UV-C rays, different ozone doses, and simultaneous UV/O_3 with varying reaction times (and considering the speed of the input airflow into the reactor). The concentration levels of benzene before and after the exposures were compared with each other and with the above-mentioned variables. The data were analyzed using descriptive and inferential statistics and by three-way ANOVA.

Findings: Concentrations of benzene vapored with different values of 10, 20, 30, 50, and 80 ppm passed through the reactor and was exposed to UV-C rays, different ozone doses, and simultaneous UV/O_3 in sequence. The findings demonstrated that UV alone can remove benzene from the airflow up to 2%. Ozone can remove 14% of benzene from the airflow, while the concurrent application of UV/O_3 can reduce the benzene in the airflow by 24%. The three way ANOVA test showed that there was a significant relationship between the variables of ozone dose, UV rays, and UV/O_3 in the one hand, and benzene removal rate from the airflow, on the other hand ($P < 0.002$).

Conclusion: Given the small effect of UV alone in separating benzene from the airflow, it can be concluded that advanced osidation process (AOP) reactions which produce active radicals can be used in the filtration of benzene. The findings indicated that the removal rate of benzene during the simultaneous use of UV/O_3 is much more considerable than during the use of either of them alone. Additionally, the analysis of variance test demonstrated that the simultaneous use of UV/O_3 has a positive cumulative effect.

Key words: Volatile Organic Compounds, Benzene, Ozone, Ultraviolet Radiation

Citation: Rashidi R, Mousavi SGh, Khavanin A. **Comparison of Photolysis Process and UV/O_3 in Removing Benzene from Airflow.** J Health Syst Res 2013; 8(7): 1140-50.

Received date: 12/04/2012 Accept date: 12/09/2012

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 2026-10-13]