

ارزیابی عملکرد دکتور فتوینیزان در مطالعات تجربی عوامل شیمیایی محیط کار

مسعود ریسمانچیان^۱ - دکتر فریده گلبابایی^{۲*} - دکتر بداله مرتضوی^۲ - دکتر غلامحسین پورتقی^۴ - دکتر عباس رحیمی فروشانی^۵

fgolbabaei@sina.tums.ac.ir

چکیده

مقدمه: امروزه تحقیقات تجربی و آزمایشگاهی متعددی در حوزه های مختلف عوامل شیمیایی محیط کار روی ترکیبات آلی فرار با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگراف انجام می شود که مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی است. دکتور فتوینیزان یکی از روش های جایگزین مورد علاقه محققین در این زمینه است. این مطالعه با هدف امکان سنجی جایگزینی دکتور فتوینیزان با دستگاه گاز کروماتوگراف انجام شد. **روش کار:** در این مطالعه پس از ساخت غلظت معین زایلن در هوا، نتایج اندازه گیری حاصل از دکتور فتوینیزان و روش مرجع مقایسه شد. این مقایسه در ۴ محدوده غلظت و ۳ محدوده رطوبتی انجام گردید. **یافته ها:** نتایج حاصل از مطالعه نشان دهنده تفاوت معنی دار مقادیر قرائت شده با دکتور فتوینیزان در مقایسه با روش مرجع بود ولی ضریب همبستگی نتایج دو روش صرفنظر از میزان رطوبت در تمام موارد از ۰/۹۹ بالاتر بود.

نتیجه گیری: علی رغم تفاوت نتایج حاصل از دکتور فتوینیزان با روش مرجع به دلیل خطی بودن پاسخ دستگاه و ضریب همبستگی خوب نتایج دو روش مورد آزمون و مرجع در مواردی که تغییرات غلظت آلاینده در مطالعه ای مورد نظر باشد این جایگزینی قابل اجرا و در غیر این صورت کالیبراسیون دکتور با ترکیب مورد آزمون ضروری است.

کلمات کلیدی: دکتور فتوینیزان، بهداشت حرفه ای، عملکرد، مطالعات تجربی

- ۱- دانشجوی دوره دکتری مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران.
- ۲- استاد گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران.
- ۳- دانشیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- ۴- استادیار مرکز تحقیقات بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه اله، تهران.
- ۵- استادیار گروه آمار و اپیدمیولوژی، دانشگاه علوم پزشکی تهران.

مقدمه

امروزه مطالعات مرتبط با حوزه عوامل شیمیایی محیط کار بخش مهمی از پژوهش‌های بهداشت حرفه ای را تشکیل می‌دهد. در این بخش مطالعات مربوط به ارزیابی عملکرد وسایل جمع‌آوری نمونه‌ها (Bege-row, Jermann *et al.*, 1995; Mukerjee, Smith *et al.*, 2004)، وسایل حفاظت فردی (Ghorbanali, Ra-himi Forushani *et al.*, 2008; Jahangiri, Adl *et al.*, 2012)، روش‌های کنترل آلودگی هوا (Crawford *et al.*, 2011)، معرفی روش‌های جدید ارزیابی آلاینده‌های هوای محیط کار (Gómez, Durana *et al.*, 2004) و محیط زیست (McClenny, Plell *et al.*, 1991)، روش‌های ساخت غلظت معین (Tumbiolo, Vincent *et al.*, 2005)، کاربردهای نانو مواد در کنترل آلاینده‌های محیطی (Chan *et al.*, 2008; Demeestere, Dewulf *et al.*, 2009; Paz and Lu 2009; Taranto, Frochot *et al.*, 2009; Paz Kennes, Rene), کاربرد روش‌های بیوفیلتراسیون (Li, Zhao *et al.*, 2011) دیده می‌شود.

از آن‌جا که کنترل متغیرهای محیط و زمینه‌ای در این مطالعات نقش ویژه‌ای دارد، عموماً این مطالعات در قالب پژوهش‌های تجربی آزمایشگاهی برنامه‌ریزی می‌شوند. این پژوهش‌ها محقق را قادر می‌سازد متغیرهای وابسته تحقیق را طبق متدولوژی مورد نظر ساماندهی کند. در تمامی حوزه‌های تحقیقاتی مذکور، یکی از مراحل انجام پژوهش سنجش غلظت آلاینده‌هاست.

در تحقیقاتی که ترکیبات آلی فرار، ترکیب شیمیایی هوا برد تحقیق را تشکیل می‌دهد، ابزار سنجش غلظت اغلب ترکیبات آلی فرار دستگاه گاز کروماتوگراف با دتکتور یونش شعله‌ای و یا دتکتور جرمی هستند. (Park, Seo *et al.*, 2009; Vincent, Marquaire *et al.*, 2009) دستگاه‌های گاز کروماتوگراف مزایایی چون دقت و صحت

مناسب و عملکرد اختصاصی و قدرت تفکیک مخلوطی از مواد فرار را دارند. علاوه بر این دستگاه گاز کروماتوگراف با دتکتور جرمی، امکان بررسی مواد جانبی واکنش‌های فتوکاتالیتیک در جریان سیال را دارد. کار با این دستگاه‌ها محدودیت‌هایی نیز دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به مشکلات دسترسی به این دستگاه‌ها تخصص مورد نیاز برای کار با دستگاه و نیز هزینه بالای آنالیز نمونه‌ها اشاره کرد (Berezkin and de Zeeuw 2008). مهم‌ترین محدودیت، زمانی دیده می‌شود که طول زمان هر آنالیز با این دستگاه از تناوب زمانی مورد نیاز برای سنجش غلظت بیش‌تر باشد. هزینه زیاد خدمات این دستگاه‌ها و نیز ضرورت‌های متدولوژیک تحقیقاتی مبنی بر دریافت سریع و حتی نتایج اندازه‌گیری، محققین را به‌سوی استفاده از روش‌های جایگزین نظیر دتکتور فتو یونیزان (PID)^۱ سوق داده است.

دتکتور فتو یونیزان بر مبنای یونیزاسیون نوری ترکیبات آلی فرار هوا برد عمل می‌کند. هنگامی که یک اتم یا مولکول فوتونی انرژی کافی را جذب کند، یک الکترون از دست داده و به یک یون مثبت تبدیل می‌شود. یون‌های تشکیل شده در اتاقک یونیزاسیون دستگاه جذب الکتروند جمع‌آوری کننده یون‌ها شده و جریان الکتریکی متناسب با غلظت آن اتم یا مولکول تولید می‌شود. این جریان توسط یک سیستم نشانگر که برحسب غلظت مدرج شده است نشان داده می‌شود. بنابر این صرفاً ترکیبات دارای پتانسیل یونیزان کم‌تر یا معادل پتانسیل یونیزان لامپ PID (که یک لامپ UV است) با این دستگاه قابل اندازه‌گیری هستند. سه ایزومر زایلن شامل اورتو زایلن، متازایلن و پارازایلن به‌عنوان یک آلاینده مدل از ترکیبات آلی فرار هستند که به ترتیب دارای انرژی یونیزاسیون ۸/۵۶، ۸/۵۶ و ۸/۴۴۵ الکترون ولت می‌باشد و لامپ UV معمول در دتکتور فتو یونیزان دارای پتانسیل یونیزاسیون ۱۰/۲ الکترون ولت (لامپ دوتریم)، ۱۰/۶ الکترون ولت

1- Photo Ionization Detector (PID)

(لامپ کریپتون) و ۱۱/۸ الکترون ولت (لامپ آرگون) است که هر یک از لامپهای PID کاربردهای خاص خود را دارد. (Barsky, Hee *et al.* 1985; Lee, Hee *et al.* 1987; Drummond 1997; Poirot, Subra *et al.* 2004).

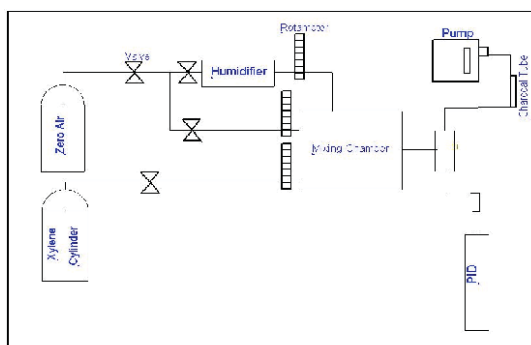
در گذشته مطالعات متعددی در مورد عملکرد و کاربرد های دتکتور فتویونیزان انجام شده است. در مطالعه کوفی و همکاران چهار نوع سیستم قرائت مستقیم با کنترل دما، رطوبت و غلظت مقایسه شدند. این مطالعه که از هگزان به عنوان ماده مورد سنجش استفاده شده بود در دو محدوده غلظت و سه محدوده دما و سه محدوده رطوبت مورد تحقیق قرار گرفت. کوفی در مقاله خود این ابزار را به عنوان یک ابزار غربالگری در بهداشت صنعتی معرفی می کند. هر ۴ نوع دستگاه مورد بررسی فقط در ۴۲٪ موارد، نتیجه ای منطبق بر مقادیر اصلی نشان داد که با کربن فعال نمونه برداری شده اند (یعنی در محدوده ۲۵٪ ±). (Coffey, Pearce *et al.* 2008) در مطالعه پویروت و همکارانش نتایج حاصل از دتکتور فتویونیزان با نتایج حاصل از روش استاندارد در تعیین مواجهه کوتاه مدت مورد بررسی قرار گرفت و خطی بودن نتایج دتکتور فتویونیزان مورد تایید قرار گرفت. (Poirot, Subra *et al.* 2004) در دو مطالعه انجام شده توسط بارسکی (Bar-sky, Hee *et al.* 1985) و لی (Lee, Hee *et al.* 1987) عملکرد سیستم دتکتور فتویونیزان مورد بررسی قرار گرفت. به عقیده آنها رطوبت بر عملکرد این سیستم موثر و در صورت ثبات میزان رطوبت نسبی پاسخ خطی خواهد بود. لی اعلام می کند مقادیر نتایج دتکتور فتویونیزان در هر میزان رطوبت از مقدار واقعی کم تر خواهد بود. در مجموع می توان دید که پاسخ خطی دتکتور فتویونیزان در مطالعات متعدد مورد تایید قرار گرفته است ولی در برخی مطالعات نتایج حاصل در ارزیابی های محیطی با تخمین بیش از مقدار واقعی و در مواردی با تخمین کم تر

از مقدار واقعی روبه رو بوده است. اکنون سوال این است که آیا می توان دتکتور فتویونیزان به عنوان دستگاهی با سهولت کار بیش تر و هزینه کم تر و قابلیت های بالقوه یک سیستم قرائت مستقیم (Coffey, Pearce *et al.* 2008) را با دستگاه گاز کروماتوگراف بعنوان یک دستگاه مرجع در تحقیقات تجربی آزمایشگاهی جایگزین کرد؟ این مقاله با هدف مطالعه عملکرد دتکتور فتویونیزان و سیستم مرجع گاز کروماتوگرافی در اندازه گیری مخلوطی از ۳ ایزومر زایلن به عنوان نماینده ای از ترکیبات آلی فرار در محدوده غلظتی صفر تا ۲۵۰ قسمت در میلیون و ۳ محدوده رطوبت (Kennedy, Fischbach *et al.* 1998) برای استفاده در تحقیقات تجربی آزمایشگاهی در فاز گازی ارائه شده است.

روش کار

ست آپ تحقیق

این تحقیق با استفاده از یک ست آپ ساخت غلظت معین انجام شد. طرح شماتیک این ست آپ در شکل شماره ۱ ارائه شده است. جهت انجام آزمایش، ست آپ برای ساخت غلظت هایی از زایلن در محدوده ۱۰ تا ۲۰، ۵۰ تا ۶۵، ۱۰۵ تا ۱۳۵ و ۲۰۰ تا ۲۶۰ قسمت در میلیون با استفاده از دتکتور فتویونیزان تنظیم شد که به ترتیب گروه ۱ تا ۴ نامیده شدند. برای ساخت زایلن از نسبت مساوی سه ایزومر زایلن (اورتو، متا و پارا زایلن) گرید گاز کروماتوگرافی ساخت شرکت Merck استفاده گردید و غلظت اولیه از اختلاط مقدار معین زایلن حاوی مخلوط سه ایزومر و گاز ازت با خلوص آنالیز دستگاهی ساخته شد. هوای صفر و گاز ازت مورد استفاده از شرکت Technical Gas Service با خلوص ۹۹/۹۹۹ گرید آنالیز دستگاهی بود. مقادیر غلظت مورد ارزشیابی در ۴ محدوده ۰/۱، ۰/۵، ۱ و ۲ برابر (Lee, Hee *et al.* 1987) حدود تماس شغلی (ACGIH, 2011) قرار داشت. برای هر یک از مقادیر غلظت مورد ارزشیابی،



شکل ۱: تصویر شماتیک ست آب ساخت غلظت معین زایلن در فاز گازی

به‌طور جداگانه مورد تجزیه قرار گرفت. (HYDROCAR- BONS) آنالیز کلیه نمونه‌ها با دستگاه گاز کروماتوگراف ساخت شرکت Agilent مدل A ۷۸۹۰ ساخت آمریکا مجهز به دتکتور یونش شعله‌ای و سیستم تزریق اتوماتیک PAL CTC مدل ۶۵۰۰ و با استفاده از ستون مویینه HP-۵ حاوی فاز ساکن فنیل متیل سیلاکس با قطر داخلی ۲۵۰ میکرون و ضخامت لایه فیلم ۰/۲۵ میکرون و طول ۳۰ متر ساخت Agilent آمریکا انجام شد. دمای انژکتور و دتکتور به ترتیب برابر ۱۸۰ و ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و برنامه دمایی آن شروع آنالیز با ۶۰ درجه سانتی‌گراد و ۲ دقیقه ماند بعد افزایش با نرخ ۱۵ درجه در دقیقه تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد و ماند ۳ دقیقه بود. نسبت تقسیم نمونه ۱۰:۱ و فلوی گاز عبوری نیز ۱/۱ میلی لیتر در دقیقه بود. نمونه‌ها از نظر غلظت مجموع سه ایزو مرزایلن مورد تجزیه قرار گرفته و با توجه به منحنی کالیبراسیون (شکل ۲ الف) غلظت زایلن در نمونه‌ها تعیین گردیدند (شکل ۲ ب). تمام نمونه‌ها از نظر وقوع نفوذ^۱ کنترل شدند. (Kennedy, Fis- 1998 *et al.* chbach).

اندازه‌گیری غلظت با استفاده از دتکتور فتو

یونیزان (PID)

این اندازه‌گیری‌ها به‌طور هم‌زمان با دتکتور

آزمون در ۳ رطوبت نسبی ۰٪، ۲۰٪ و ۸۰٪ (Kennedy, Fischbach *et al.* 1998) انجام شد و هر آزمایش ۴ بار تکرار گردید (Coffey, Pearce *et al.* 2008). همان‌گونه که در شکل شماره ۱ دیده می‌شود، گاز حاوی غلظت معین زایلن هم‌زمان از دو مسیر خارج می‌شد هم برای اندازه‌گیری با روش مرجع NIOSH 1501 و دتکتور فتو یونیزان مورد استفاده قرار گرفت.

اندازه‌گیری غلظت با روش مرجع

برای اندازه‌گیری با روش مرجع از روش پیشنهادی

انستیتوی ملی ایمنی و بهداشت حرفه‌ای آمریکا (NIOSH) با شماره ۱۵۰۱ استفاده شد (HYDROCARBONS). نمونه برداری در مدت ۱۰ تا ۳۰ دقیقه و با استفاده از لوله جاذب کربن فعال حاوی دو بخش ۱۰۰ و ۵۰ میلی گرمی زغال پوست نارگیل استاندارد نایوش ساخت شرکت SKC انگلستان (کد ۰۱-۲۲۶) و پمپ نمونه برداری دبی پایین ساخت شرکت SKC انگلستان از سری ۲۲۲ در دبی ۲۰۰ میلی لیتر در دقیقه انجام گردید. پمپ نمونه برداری قبل از به‌کارگیری با دستگاه کالیبراتور الکترونیکی Difender ۵۱۰ شرکت Bios International انگلستان کالیبره شد. پس از نمونه برداری، نمونه‌ها طبق روش استاندارد آماده سازی شده و سپس جاذب موجود در بخش اصلی و پشتیبان

1- Breakthrough

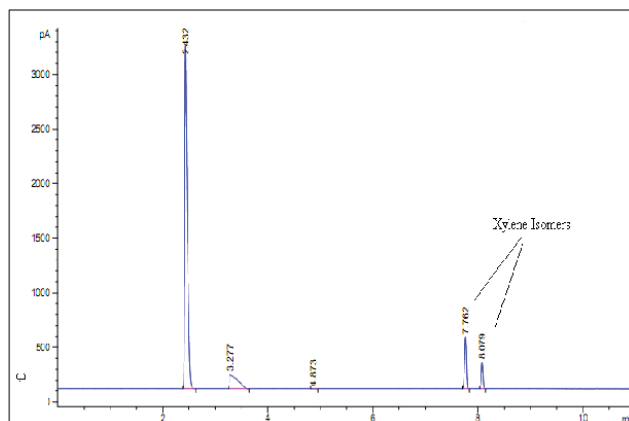
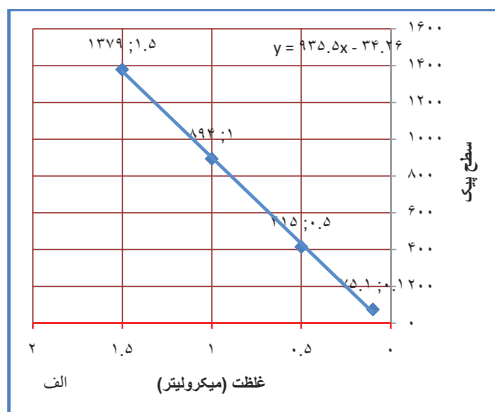
1- National Institute of Occupational Safety and Health

قبل از انجام سنجش با دتکتور فتو یونیزان، دستگاه طبق دستورالعمل شرکت سازنده برای قرائت مخلوط زایلین ها تنظیم شد تا دستگاه اصلاح لازم برای مقادیر اعلام شده زایلین را به صورت نرم افزاری اعمال کند. در طول انجام تحقیق دما در ۲۵ °C ثابت نگه داشته شد

یافته ها

همان گونه که در بخش پیشین گفته شد، پس از ساخت غلظت معین در ست آپ طراحی شده، هوای خروجی برای انجام آزمایشات مختلف در ۴ محدوده غلظتی (گروه غلظت ۲۰-۱۰ و ۶۵-۵۰ و ۱۳۵-۱۰۵ و

فتو یونیزان مدل phockeck + ساخت شرکت Ion Science انگلستان مجهز به لامپ ۱۰/۶ الکترون ولت و دارای پمپ داخلی با دبی مکش هوای ۲۲۰ میلی لیتر در دقیقه انجام شد. این دستگاه طبق دستورالعمل شرکت سازنده با غلظت ۱۰۰ قسمت در میلیون ایزوبوتیلن در هوا در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد کالیبره گردید. همزمان با هر نمونه برداری با روش مرجع، این دستگاه به دومین خروجی سیستم ساخت غلظت معین متصل بوده و همزمان در طول مدت نمونه برداری با روش مرجع، با دتکتور فتو یونیزان ۶ قرائت با فواصل زمانی یکسان برای هر آزمون انجام و نتایج ثبت شد.



شکل ۲: الف) منحنی کالیبراسیون مجموع زایلین ها در آنالیز با گاز کروماتوگراف (۲=۰.۹۹۹)، ب) نمونه نتیجه دریافتی از دستگاه گاز کروماتوگراف

جدول ۱: نتایج سنجش زایلن با سیستم PID و روش مرجع NIOSH در شرایط مختلف رطوبتی و غلظتی

فاکتور پاسخ دکتور فتو یونیزان میانگین (انحراف معیار)	غلظت با دکتور فتو یونیزان میانگین (انحراف معیار)(ppm)	غلظت با روش مرجع میانگین (انحراف معیار) (ppm)	محدوده غلظت (ppm)	رطوبت نسبی (%)
۱/۳۸ (۰/۱۳)	۱۸/۷۸ (۲/۶۶)	۲۵/۸۵(۴/۳۴)	۱۰-۲۰	۰
۱/۳۱ (۰/۱۱)	۵۱/۷۵ (۱/۶۱)	۶۷/۹۲(۶/۹)	۵۰-۶۵	
۱/۳۲ (۰/۰۹)	۱۰۰/۶۳۰ (۰/۰۶)	۱۳۳/۰۱(۸/۸۳)	۱۰۵-۱۳۵	
۱/۱۵ (۰/۰۹)	۲۱۵/۸۳ (۶/۰۸)	۲۴۸/۸(۶/۱)	۲۰۰-۲۶۰	۲۰
۱/۲۶ (۰/۰۸)	۹/۵۷ (۰/۰۴)	۱۲۰/۷(۰/۶۷)	۱۰-۲۰	
۱/۲۱ (۰/۰۵)	۵۱/۹۷ (۲/۷۶)	۶۳/۲۱ (۱/۶۹)	۵۰-۶۵	
۱/۳۶ (۰/۰۳)	۱۰۴/۲۹ (۱/۶)	۱۴۱/۹۲ (۱/۷۷)	۱۰۵-۱۳۵	۸۰
۱/۲۵ (۰/۰۷)	۲۱۸/۵۴ (۳/۳۲)	۲۷۲/۰۲ (۱۴/۸۶)	۲۰۰-۲۶۰	
۱/۴۲ (۰/۱۷)	۱۲/۳۸ (۰/۷۲)	۱۷/۶۰ (۲/۱۹)	۱۰-۲۰	
۱/۲۴ (۰/۰۲)	۵۰/۷۴ (۰/۷۷)	۶۳/۲۸ (۱/۸۵)	۵۰-۶۵	۱۰۰
۱/۳۳ (۰/۰۴)	۱۰۶/۵۳ (۶/۳۲)	۱۴۱/۰۴ (۵/۳۳)	۱۰۵-۱۳۵	
۱/۲۶ (۰/۰۸)	۲۱۳/۴۵ (۵/۹۲)	۲۶۹/۶۹ (۱۹/۱۸)	۲۰۰-۲۶۰	

۱۳۵ و ۲۰۰ تا ۲۶۰ قسمت در میلیون به ترتیب برابر ۲/۲(±۰/۹۱) ، ۲/۲۹(±۰/۹۱) ، ۴ /۰۶ (±۲/۳۴) و ۱/۸۸ (±۰/۷۱) و در مجموع میانگین ضریب تغییرات^۲ ۲/۶ با انحراف معیار ۱/۶ بود.

در شکل شماره ۳ منحنی همبستگی مقادیر غلظت قرائت شده با دکتور فتو یونیزان و روش استاندارد NIOSH به تفکیک میزان رطوبت و در شکل شماره ۴ منحنی همبستگی کلی مقادیر غلظت قرائت شده با دکتور فتو یونیزان و روش مرجع NIOSH اریه شده است. مقادیر ضریب همبستگی در هر سه میزان رطوبت نشان دهنده همبستگی بسیار خوب نتایج با هر دو روش و پاسخ خطی دکتور فتو یونیزان است. معادله خطوط همبستگی حاصله برای رطوبت ۰ % ، ۲۰ % و ۸۰ % به ترتیب زیر است:

$$A) Y_{\%0} = 1.124X_{\%0} + 10.1 \quad (r^2 = 0.992) \quad \text{Eq.1}$$

$$B) Y_{\%20} = 1.254X_{\%20} + 1.975 \quad (r^2 = 0.991) \quad \text{Eq.2}$$

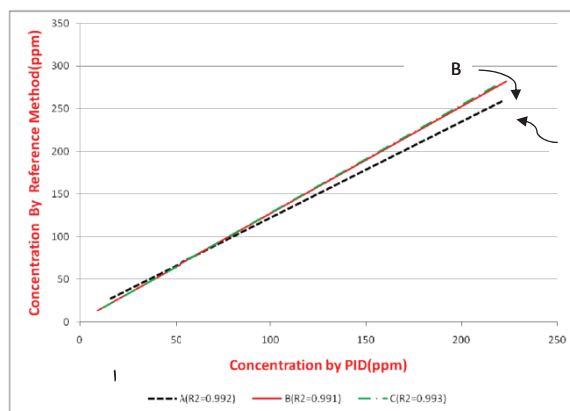
$$C) Y_{\%80} = 1.247X_{\%80} + 2.772 \quad (r^3 = 0.993) \quad \text{Eq.3}$$

۲۶۰-۲۰۰ (ppm) و ۳ مقدار رطوبت نسبی (۰% و ۲۰%) و ۸۰% تنظیم شد. در هر مورد آزمایش ۴ نوبت تکرار گردید. در جدول شماره ۱ میانگین و انحراف معیار مقادیر قرائت شده در اندازه گیری غلظت‌های ساخته شده با سیستم فتو یونیزان و روش مرجع و میانگین و انحراف معیار مقادیر فاکتور پاسخ (RF)^۱ دکتور فتو یونیزان (نسبت مقدار واقعی غلظت در هر آزمون به مقدار قرائت شده دکتور فتو یونیزان در همان آزمون) بر حسب میزان رطوبت نسبی و محدوده غلظت داده شده است. میانگین کلی فاکتور پاسخ دستگاه در تمامی غلظت‌ها و رطوبت‌ها برابر با ۱/۲۹ با انحراف معیار ۰/۱ می باشد. این بدان معناست که غلظت ۱۰۰ قسمت در میلیونی قرائت شده با دکتور فتو یونیزان متناسب با غلظت واقعی ۱۲۹ قسمت در میلیونی است.

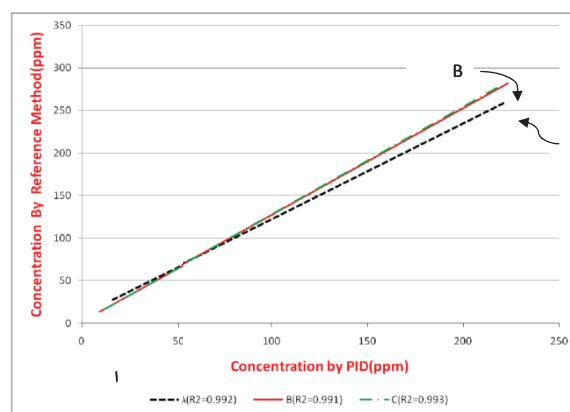
میانگین و انحراف معیار مقادیر ضریب تغییرات در قرائت‌های انجام شده با دکتور فتو یونیزان در غلظت‌های محدوده ۱۰ تا ۲۰ ، ۵۰ تا ۶۵ ، ۱۰۵ تا

2- Coefficient Of Variation (CV)

1- Response Factor (RF)



شکل ۳: منحنی همبستگی مقادیر غلظت قرائت شده با دکتور فتویونیزان و مقادیر غلظت با روش مرجع در رطوبت های ۰% (A)، ۲۰% (B) و ۸۰% (C)



شکل ۴: منحنی همبستگی مقادیر غلظت قرائت شده با دکتور فتویونیزان و مقادیر غلظت با روش مرجع ($R^2=0.989$)

بحث و نتیجه گیری

در مطالعات مرتبط با حوزه عوامل شیمیایی محیط کار که مطالعات گوناگونی را پوشش می دهد، کنترل متغیرهای محیطی و زمینه ای نقش ویژه ای دارد. عموماً این مطالعات در قالب پژوهش های تجربی آزمایشگاهی برنامه ریزی می شوند تا محقق قادر به ساماندهی متغیرهای وابسته به تحقیق باشد. یکی از مراحل انجام پژوهش در این حوزه ها

معادله خط همبستگی بین مقادیر غلظت واقعی و مقادیر قرائت شده توسط دستگاه PID در رطوبت های مختلف به این شکل است:

$$Y_{total} = 1.212X_{total} + 4.784 \quad (r_{total}^2 = 0.989) \quad Eq4$$

در معادلات بالا مقادیر Y نشان دهنده غلظت واقعی (برحسب قسمت در میلیون) و مقادیر X بیانگر مقادیر قرائت شده توسط دکتور فتویونیزان (بر حسب قسمت در میلیون) می باشند

2004) و کوفی (Coffey, Pearce *et al.* 2008) نیز مقادیر ضریب همبستگی مشابهی گزارش شده است. البته در مطالعه بارسکی رطوبت متغیر بر روی لامپ های PID با انرژی یونیزاسیون ۱۱/۸ و ۱۰/۲ الکترون ولت تاثیر گذار گزارش شده است (Barsky, Hee *et al.* 1985). محاسبه فاکتور پاسخ دتکتور فتو یونیزان عدد ۱/۲۹ را به دست می دهد که نشان دهنده تفاوت نتیجه ۲۹% در حالت کالیبره کردن دستگاه با ایزوبوتیلن است. آنالیز واریانس نتایج حاصله نیز نشان می دهد که در هر گروه غلظت، بین مقادیر فاکتور پاسخ دتکتور فتو یونیزان در رطوبت های مختلف، اختلاف معنی داری وجود ندارد. (P<0.05) مطالعه کوفی (Coffey, Pearce *et al.* 2008) این نتیجه گیری را متکی به نوع ترکیب ماده می داند و در مطالعه بارسکی (Barsky, Hee *et al.* 1985) که روی ترکیباتی غیر از زایلن صورت گرفته است، رطوبت در پاسخ دتکتور فتو یونیزان موثر دانسته شده است.

بررسی ضریب تغییرات مقادیر قرائت شده با دتکتور فتو یونیزان نشان دهنده کاهش این ضریب با افزایش مقادیر غلظت قرائت شده است. به عبارت دیگر در غلظت های بالاتر اندازه گیری ها با این دستگاه تکرار پذیری تر بوده و انحراف معیار کمتری خواهند داشت. در مقابل در غلظت های پایین تر نتایج اختلاف بیشتری را نشان داده و از تکرار پذیری کمتری بر خوردار می شوند. بنابر این در مقادیر غلظت پایین تر (کمتر از ۱۰ قسمت در میلیون) کاربرد دتکتور فتو یونیزان باید با احتیاط بیشتر صورت گیرد.

با توجه به شرایط پیشگفت در حوزه تحقیقات تجربی آزمایشگاهی، چنانچه کاربرد دستگاه در پژوهش با هدف بررسی تغییرات غلظت ترکیبات آلی فرار باشد، جایگزینی دتکتور فتو یونیزان با دستگاه گاز کروماتوگراف قابل قبول خواهد بود و در غیر این صورت کالیبراسیون موردی دتکتور فتو یونیزان با آلاینده مورد نظر ضروری

سنجش غلظت آلاینده هاست. با توجه به مزایای نسبی دتکتور فتو یونیزان (هزینه کم و سرعت پاسخ دهی) جایگزینی این دتکتور با دستگاه گاز کروماتوگراف مورد توجه محققین قرار گرفته است. در مواردی که می توان از دتکتور فتو یونیزان استفاده کرد، آیا این کاربرد صحیح است؟ آزمون تی زوج میان مقادیر واقعی غلظت ها به دو روش مرجع و دتکتور فتو یونیزان تفاوت معنی داری را نشان می دهد (P<0.05). به عبارت دیگر نتایج حاصل از دو روش یکسان نیست. این نتیجه ممکن است ناشی از این موضوع باشد که کالیبراسیون دستگاه طبق دستورالعمل سازنده با غلظت ۱۰۰ قسمت در میلیون ایزوبوتیلن انجام می شود و علیرغم دخالت دادن فاکتور تصحیح محاسباتی مربوط به مخلوط سه ایزومر زایلن باز این تفاوت به چشم می خورد. این تفاوت مقادیر با نتایج حاصل از تحقیقات پوپروت (Poirot, Subra *et al.* 2004) و لی (Lee, Hee *et al.* 1987) و کوفی (Coffey, Pearce *et al.* 2008) مطابقت دارد.

در این مطالعه پاسخ دستگاه در غلظت ها و رطوبت های مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفت. ضرایب همبستگی به دست آمده در محدوده بررسی شده در حضور رطوبت ۰% برابر ۰/۹۹۲، در رطوبت ۲۰% برابر ۰/۹۹۱ و در رطوبت ۸۰% برابر ۰/۹۹۳ است که در هر سه مورد نشان دهنده تغییرات کاملاً خطی نتایج حاصله از دتکتور فتو یونیزان نسبت به مقادیر غلظت واقعی می باشد. ضریب همبستگی کلی بین نتایج تمام اندازه گیری های دتکتور فتو یونیزان و مقادیر غلظت واقعی نیز برابر ۰/۹۸۴ است. این ضریب همبستگی نشان می دهد که صرف نظر از میزان رطوبت، رابطه خطی خوبی بین نتایج حاصل از دتکتور فتو یونیزان و مقادیر غلظت واقعی وجود دارد. کاهش جزئی ضریب همبستگی نشان دهنده تاثیر مختصر رطوبت بر عملکرد این سیستم است. در مطالعات لی (Lee, Hee *et al.* 1987)، بارسکی (Bar-sky, Hee *et al.* 1985)، پوپروت (Poirot, Subra *et al.* 1985)

- Evaluation of the Response of Some Portable, Direct-Reading 10.2 eV and 11.8 eV Photoionization Detectors, and a Flame Ionization Gas Chromatograph for Organic Vapors in High Humidity Atmospheres.” American Industrial Hygiene Association Journal 46(1): 9 - 14.
4. Begerow, J., E. Jermann, et al. (1995). “Passive sampling for volatile organic compounds (VOCs) in air at environmentally relevant concentration levels.” *Fresenius’ journal of analytical chemistry* 351(6): 549-554.
 5. Berezkin, V. G. and J. de Zeeuw (2008). Introduction. *Capillary Gas Adsorption Chromatography*, Wiley-VCH Verlag GmbH: 1-19.
 6. Chan, M.-H. and F.-H. Lu (2009). “Characterization of N-doped TiO₂ films prepared by reactive sputtering using air/Ar mixtures.” *Thin Solid Films* 518(5): 1369-1372.
 7. Coffey, C. C., T. A. Pearce, et al. (2008). “Measurement Capability of Field Portable Organic Vapor Monitoring Instruments Under Different Experimental Conditions.” *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 6 (1): 1-8.
 8. Demeestere, K., J. Dewulf, (2008). “Heterogeneous photocatalytic removal of toluene from air on building materials enriched with TiO₂.” *Building and Environment* 43(4): 406-414.
 9. Drummond, I. (1997). “On-the-Fly Calibration of Direct Reading Photoionization Detectors.” *American Industrial Hygiene Association Journal* 58(11): 820-822.
 10. Ghorbanali, A., A. Rahimi Forushani, et al. (2008). “Assessment of Organic Vapor-Respirator Cartridge Efficiency based on the EN 14387: 2004 Standard.” *مجله دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی* (9): 1-10.
 11. Gómez, M. C., N. Durana, et al. (2004). “Ap- خواهد بود. مطالعه کوفی (Coffey, Pearce *et al.* 2008) این نتیجه گیری را در مورد یک ماده و مطالعه پویروت (Poirot, Subra *et al.* 2004) برای مخلوطی از مواد تایید می کند.

در این مقاله ضمن مرور مطالعات قبلی در مورد مزایا و محدودیت های سیستم فتویونیزاسیون در حوزه های مختلف بهداشت صنعتی نشان داده شد که مقادیر قرائت شده از دتکتور فتویونیزان با روش مرجع متفاوت است، ولی پاسخ دستگاه صرف نظر از میزان رطوبت خطی است. بنابراین این در تحقیقات تجربی آزمایشگاهی مشروط بر این که اندازه گیری غلظت آلاینده با هدف تعیین تغییرات غلظت صورت گیرد ، نتیجه قابل قبول است ولی در صورت تمایل به استفاده از مقادیر اعداد دتکتور فتویونیزان به صورت مستقل کالیبراسیون دستگاه با ماده مورد نظر ضروری است.

تشکر و قدردانی

این مقاله از طرح پژوهشی شماره ۱۱۹۸۳-۲۷-۰۴ دانشگاه علوم پزشکی تهران استخراج شده است. نویسندگان مراتب سپاس گزاری خود را از همکاری دانشگاه علوم پزشکی اصفهان ابراز می دارند.

منابع

 1. ACGIH, T. L. V. (2011) “TLV.” Threshold limits values for chemical substances and physical agents. Biological exposure indices. Cincinnati: ACGIH.
 2. Balanay, J. A. G., S. A. Crawford, et al. (2011). “Comparison of Toluene Adsorption Among Granular Activated Carbon and Different Types of Activated Carbon Fibers (ACFs).” *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 8(10): 573-579.
 3. Barsky, J. B., S. S. Q. Hee, et al. (1985). “An

- mospheric Research and Exposure Assessment Lab.
19. Mukerjee, S., L. A. Smith, et al. (2004). "Field method comparison between passive air samplers and continuous monitors for VOCs and NO₂ in El Paso, Texas." *Journal of the Air & Waste Management Association* 54(3): 307-319.
 20. Park, J. H., Y. S. Seo, et al. (2009). "Photodegradation of Toluene and Xylene by Fluidized Bed Gaseous System with TiO₂/SiO₂ Photocatalysts." *Journal of Chemical Engineering of Japan* 42(2): 139-146.
 21. Paz, Y. (2010). "Application of TiO₂ photocatalysis for air treatment: Patents' overview." *Applied Catalysis B: Environmental* 99(3-4): 448-460.
 22. Poirot, P., I. Subra, et al. (2004). "Determination of Short-term Exposure with a Direct Reading Photoionization Detector." *Annals of Occupational Hygiene* 48(1): 75-84.
 23. Taranto, J., D. Frochot, et al. (2009). "Photocatalytic air purification: Comparative efficacy and pressure drop of a TiO₂-coated thin mesh and a honeycomb monolith at high air velocities using a 0.4 m³ close-loop reactor." *Separation and Purification Technology* 67(2): 187-193.
 24. Tumbiolo, S., L. Vincent, et al. (2005). "Thermogravimetric calibration of permeation tubes used for the preparation of gas standards for air pollution analysis." *Analyst* 130(10): 1369-1374.
 25. Vincent, G., P. M. Marquaire, et al. (2009). "Photocatalytic degradation of gaseous 1-propanol using an annular reactor: Kinetic modelling and pathways." *Journal of Hazardous Materials* 161(2-3): 1173-1181.
 12. HYDROCARBONS, A. "METHOD 1501, Issue 3." NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM).
 13. Jahangiri, M., J. Adl, et al. (2012). "Determining Service Life of Respirator Cartridges Using a Simple and Practical Method: Case Study in a Car Manufacturing Industry." *Iran Occupational Health* 8(4): 9-17.
 14. Kennedy, E. R., T. J. Fischbach, et al. (1998). "E. DEVELOPMENT AND EVALUATION OF METHODS." NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th edition, Section E.
 15. Kennes, C., E. R. Rene, et al. (2009). "Bioprocesses for air pollution control." *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 84(10): 1419-1436.
 16. Lee, I. N., S. S. Q. Hee, et al. (1987). "Additivity of detector responses of a portable direct-reading 10. 2 eV photoionization detector and a flame ionization gas chromatograph for atmospheres of multicomponent organics: use of PID/FID ratios." *Journal Name: Am. Ind. Hyg. Assoc. J.; (United States); Journal Volume: 48:5: Medium: X; Size: Pages: 437-441.*
 17. Li, Z., Q. Zhao, et al. (2011). "Porous SnO₂ nanospheres as sensitive gas sensors for volatile organic compounds detection." *Nanoscale* 3(4): 1646-1652.
 18. McClenny, W. A., J. Plell, et al. (1991). Canister-based method for monitoring toxic VOCs in ambient air, Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC (United States). At-