

بررسی و سنجش مواد آلی فرار (VOCs) در محیط‌های بسته مسکونی و اماکن عمومی

* مهندس هما کشاورزی شیرازی

** مهندس فرح سادات هالک

*** مهندس محسن میرمحمدی

چکیده

ترکیبات آلی فرار (VOCs) به طور گسترده‌ای در محصولات مورد استفاده در منازل نظیر: رنگ‌ها، لاک‌الکل، چسب‌ها، مواد شوینده و ضدعفونی کننده کاربرد دارند. همچنین سوخته‌های فسیلی از ترکیبات آلی تشکیل شده اند و هنگامی که در منازل و اماکن ذخیره می شوند می توانند هیدروکربورهای فرار متصاعد نمایند. ترکیبات BTEX در بین ترکیبات آلی از اهمیت ویژه ای برخوردارند. تأثیر این ترکیبات بر روی سیستم تنفسی و ریه انسان هنگام مجاورت افراد با ترکیبات BTEX به اثبات رسیده است. در این تحقیق میزان ترکیبات BTEX در داخل اماکن مورد سنجش قرار گرفته و نتایج به دست آمده با استانداردهای موجود مقایسه شده است. اطلاعات حاصل از سنجش ترکیبات آلی فرار از نظر پیش بینی میزان تأثیر مجاورت با ترکیبات منتشره در محیط‌های بسته قابل توجه است. نتایج این تحقیق می تواند در جهت کاهش میزان ترکیبات آلی فرار با انتخاب ساختمانهای مناسب و بکارگیری لوازم و محصولات مصرفی مناسب در منازل و اماکن عمومی، حائز اهمیت باشد.

کلیدواژه

آلودگی هوای محیط‌های بسته، ترکیبات آلی فرار، ترکیبات آروماتیک، کنترل VOCs، ساختمان های بیمار.

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۲/۴/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۸۱/۹/۱۸

* عضو هیأت علمی دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران.

** عضو هیأت علمی پژوهشگاه مواد و انرژی.

*** دانشجوی کارشناسی ارشد عمران محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران.

الکترونیک، موکت و ...).

سرآغاز

ترکیبات آلی فرار (VOCs) مایعات یا جامداتی هستند که دارای کربن آلی (کربن متصل به کربن، هیدروژن، نیتروژن یا گوگرد بوده و با سرعت چشمگیری تبخیر می‌شوند. این ترکیبات بعد از ذرات معلق بیشترین فراوانی و تنوع نشر را دارا می‌باشند (Noel de Nevers, 2000). VOCها طیف گسترده‌ای از ترکیبات آلی با نقطه جوش پایین‌تر از 180°C و یا فشار بخار بیشتر از 0.1Kpa در 25°C را شامل می‌شوند.

این گروه ترکیبات آلی از نظر اقتصادی اهمیت زیادی داشته و شامل چندین هزار ترکیب گوناگون است که بسیاری از آنها به عنوان حلال استفاده می‌شوند.

مقدار VOCها در هوای محیط‌های بسته بخصوص ساختمان‌های جدید می‌تواند به چندین برابر میزان آن در هوای آزاد برسد (U.S.EPA, 1991). هنگام بررسی تأثیرات فیزیولوژیکی یا زیست‌محیطی با توجه به گستره مواد آلی فرار، توجه به برخی ترکیبات خاص در این گروه ضروری است. به عبارت دیگر در نظر گرفتن تمامی ترکیبات آلی فرار به عنوان مجموعه ای از واحد و آلاینده در محیط‌های بسته چندان صحیح نمی‌باشد زیرا تأثیر آنها روی انسان از بسیار خطرناک تا بی‌خطر متفاوت است. در این بررسی، VOCهای شاخص که با حروف اختصاری BTEX شناخته می‌شوند، یعنی بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و گزین موجود در هوای محیط‌های بسته سنجش شده‌اند (Molhave, 1982 & U.S.EPA, 1991).

این ترکیبات از سه طریق می‌توانند در داخل اماکن منتشر شوند:

- ۱- نفوذ هوای آلوده بیرونی (رفت و آمد خودروها، منابع آلوده‌کننده صنعتی، تجاری و خانگی و ...)
- ۲- فعالیت‌های انسان (پخت و پز، سیستم گرمایش و سرمایش، دود سیگار، مصرف و نگهداری انواع شوینده‌ها، سفیدکننده‌ها، لاستیک‌های درزگیر، اسپری‌ها، وسایل کپی، حشره‌کش‌ها و انواع چسب‌ها و ...).

۳- مواد و مصالح ساختمانی و تجهیزات و لوازم موجود در ساختمان (وسایل چوبی، فرش ماشینی، لوازم

کاربرد و اهمیت BTEX

کاربرد روزافزون ترکیبات BTEX در تولیدات تجاری و صنعتی باعث رها شدن این ترکیبات فرار در هوای بسته محیط‌های مسکونی شده و آثار نامطلوبی بر سلامت انسان دارد که به برخی از کاربردها و آثار آنها در زیر اشاره می‌شود:

بنزن: منبع اصلی آن در محیط‌های بسته مصرف دخانیات، محل‌های ذخیره انواع سوخت، رنگ‌های ساختمانی، انواع چسب‌ها و مجاورت پارکینگ با محل‌های مسکونی و رخنه گازهای خروجی از خودرو به داخل اماکن است. مقادیر کم بنزن می‌تواند ایجاد خواب آلودگی، سرگیجه، افزایش ضربان قلب، سردرد و پریشانی حواس گردد. مجاورت طولانی با مقادیر زیاد بنزن در هوا منجر به سرطان خون می‌گردد. مقدار مجاز بنزن در محیط‌های کاری بین $1-10\text{ppm}$ (ACGIH, 2000) و در هوای تنفسی 3ppm است (U.S.EPA, 1993).

تولوئن: این ترکیب با وجود فراریت کمتر نسبت به بنزن، در دمای معمولی به اندازه کافی فشار بخار دارد که از طریق تنفس وارد بدن گردد. بیشترین مصرف تولوئن در ایران در صنایع رنگسازی و تولید چسب است. تولوئن سیستم عصبی بدن را تحت تأثیر قرار می‌دهد و مقادیر کم تا متوسط آن می‌تواند سبب خواب‌آلودگی، پریشانی، ضعف، کاهش حافظه، تهوع، بی‌اشتهایی، کاهش شنوایی و کور رنگی شود. حد مجاز تولوئن در محیط‌های کاری، 20ppm (ACGIH, 2000) و در هوای تنفسی، 100ppm است (ATSDR, 1992).

اتیل بنزن: نزدیکی ساختمان‌ها با محیط‌های آلوده صنعتی یا مجاورت با بزرگراه‌های پر ترافیک، مصرف محصولاتی که در تهیه آنها اتیل بنزن به کار رفته، نظیر بنزین، چسب موکت، لاک الکل و انواع رنگ‌ها، همچنین استفاده از فرش و موکت نو می‌تواند موجب ورود این ترکیب به محیط‌های بسته و ورود آن به دستگاه تنفسی شود. وجود این ماده در هوا باعث سردرد، سوزش و التهاب چشم‌ها و گلو و گرفتگی قفسه

(رایانه، دستگاه کپی، وسایل دفتری جدید و ...) انتخاب شده‌اند. **نمونه برداری:** روش نمونه برداری از گازهای آلی موجود در هوا، بویژه هنگام مواجهه با مقادیر کم این آلاینده‌ها طبق توصیه NIOSH^(۱) و OSHA^(۲) استفاده از جاذب‌هاست. در مورد BTEX از جاذب کربن فعال آماده در لوله‌های شیشه‌ای در بسته ساخت SKC استفاده شد که دارای دو قسمت جداگانه است. این دو بخش توسط یک اسفنج ظریف جدا شده‌اند. با سنجش جداگانه دو بخش می‌توان اطمینان حاصل کرد که تمامی ترکیبات آلی موجود در هوا طی مدت نمونه برداری، جذب بخش اصلی شده‌اند. مکش هوا توسط پمپ پرسنلی SKC مدل 224-44EX صورت گرفته است. برای هر بار استفاده از لوله‌های جاذب، دو انتهای آن شکسته شده و با توجه به علامت فلشی که جهت جریان هوا را نشان می‌دهد، لوله جاذب به ورودی پمپ وصل شده است. هنگام نمونه برداری، لوله جاذب به صورت عمودی قرار گرفته تا از مسدود شدن بستر جاذب جلوگیری شود. نحوه نمونه برداری طبق روش NIOSH (NIOSH Manual for Analytical Methods, 1995) و دستورالعمل جاذب SKC، مدت نمونه برداری بین ۴ تا ۸ ساعت و میزان هوای عبوری از داخل جاذب به طور متوسط ۲۷۰ ml/min بوده است. پس از اتمام نمونه برداری، دو انتهای لوله شیشه‌ای جاذب توسط درپوش پلاستیکی کاملاً بسته شده و تا قبل از آنالیز در دمای پایین‌تر از صفر درجه سانتیگراد نگهداری شده است.

بازیافت و سنجش نمونه‌ها: برای خارج کردن کربن فعال حاوی نمونه و شاهد، ابتدا با برداشتن پشم شیشه، ماده جاذب قسمت جلویی لوله شیشه‌ای در یک لوله آزمایش تخلیه و سپس با برداشتن اسفنج، ماده جاذب قسمت عقبی در لوله آزمایش جداگانه وارد شده است. به هر لوله آزمایش حاوی نمونه‌ها و شاهد، یک میلی‌لیتر حلال CS₂ خالص وارد و سپس نمونه‌ها و شاهد به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه ویراتور قرار داده شده‌اند تا نمونه‌ها از جاذب جدا و وارد حلال شوند. حداکثر زمان بین آماده‌سازی نمونه‌ها و آنالیز ۲۴ ساعت بوده است. از دستگاه

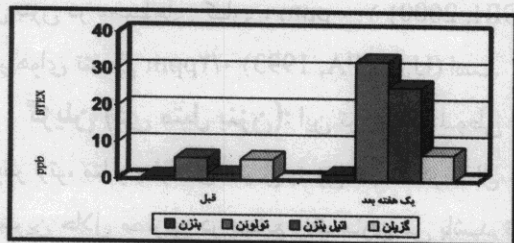
سینه می‌شود. اتیل بنزن می‌تواند ایجاد تومور کند. مقدار مجاز اتیل بنزن در محیط‌های کاری، ۱۰۰ ppm (ACGIH, 2000) و در هوای تنفسی ۰/۲ppm (U.S.EPA, 1993) است.

گزیلن (دی متیل بنزن): این ترکیب مخلوطی از سه ایزومر ارتو، متا و پارا دی متیل بنزن است. در حال حاضر مهمترین حلال مصرفی در صنایع رنگ‌سازی می‌باشد. تماس با بنزین، رنگ، پاک‌کننده‌ها و ضد زنگ و تنفس دود سیگار باعث افزایش غلظت آن در محیط‌های بسته و ورود آن به دستگاه تنفس می‌شود. گزیلن روی مغز اثر می‌گذارد و می‌تواند سبب سرگیجه، عدم هماهنگی ماهیچه‌ها، سردرد، آشفستگی و به هم خوردن تعادل گردد. مقدار مجاز گزیلن در محیط‌های کاری ۱۰۰ ppm (ACGIH, 2000) و در هوای تنفسی، ۰/۹ppm (U.S.EPA, 1991) است.

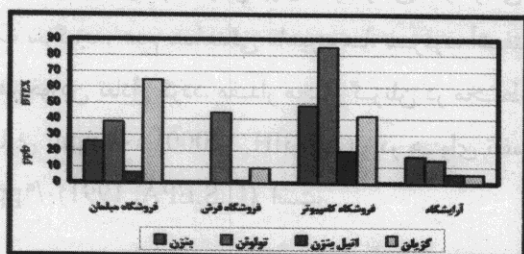
روش تحقیق

برای تعیین مقدار BTEX در هوای محیط‌های بسته اعم از تجاری، اداری و خانگی، همچنین بررسی تأثیر عوامل مختلف در افزایش غلظت آنها در داخل اماکن، ضمن انتخاب محل‌های مناسب از نظر سنجش آلودگی، روش و مدت زمان مناسب برای نمونه برداری مشخص گردید. سپس بر طبق روش استاندارد آنالیز نمونه‌ها انجام شد.

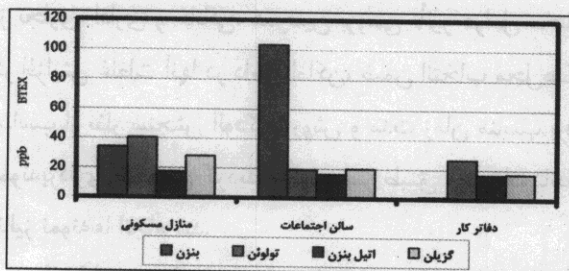
انتخاب محل: در نمونه برداری از منازل مسکونی سعی شده است که از ساختمان‌های مختلف واقع در مناطق گوناگون شهر استفاده شود که از نظر محیط اطراف اماکن، موقعیت داخلی ساختمان، نحوه تهویه هوای داخل ساختمان و منابع آلوده‌ساز متفاوت باشند. یکی از ملاک‌های انتخاب، رنگ کاری ساختمان بوده است. در پاره ای موارد دو بار از یک منزل مسکونی رنگ کاری شده، نمونه برداری شده است تا روند تغییر آلاینده‌ها با گذشت زمان و سایر عوامل بررسی شود. محل‌های تجاری با توجه به وجود منابع نشر ترکیبات آلی فرار انتخاب شده‌اند. ساختمان‌های اداری با در نظر گرفتن وسایل دفتری، تعداد افراد شاغل و نحوه استفاده آنها از وسایل و دستگاه‌های موجود



نمودار شماره (۲): روند تغییرات BTEX در یک محیط بسته (تأثیر کفپوش کردن)



نمودار شماره (۳): مقایسه میانگین مقادیر BTEX در برخی واحدهای تجاری



نمودار شماره (۴): مقایسه میانگین مقادیر BTEX در بعضی محیط‌های بسته

بحث روی یافته‌ها

نتایج مربوط به محیط‌های کاری نشان می‌دهد که جز در مورد بنزن، میزان سایر ترکیبات BTEX در حد مجاز قرار دارد. ولی باید به این نکته هم توجه کرد که مقادیر مجاز محیط‌های کاری برای ۸ ساعت مجاورت در روز ارائه شده و در صورت افزایش زمان مجاورت این مقادیر کاهش خواهد یافت. در بین واحدهای تجاری نیز مراکز و دفاتری که با دستگاه‌های رایانه سر

گاز کروماتوگرافی PERKIN ELMER-Sigma 3B و دکتور

FID برای سنجش نمونه‌ها استفاده شده است.

تعیین بازدهی: برای تعیین بازدهی عملیات واجذبی

ترکیبات BTEX از بستر، جاذب بخش جلویی ۵ لوله مصرف نشده در ۵ ظرف کوچک با درپوش مناسب تخلیه شد و سپس غلظت‌های مشخصی از BTEX به هر یک از ظروف اضافه شده است، سپس درب آنها کاملاً بسته و به مدت ۲۴ ساعت زمان داده شد تا جذب صورت گیرد. تمام نمونه‌ها همراه با شاهد دقیقاً به همان روش نمونه‌های اصلی با حلال CS₂ استخراج شدند. سپس نمونه و شاهد توسط دستگاه گاز کروماتوگراف سنجش و بازدهی واجذبی تعیین گردید.

سطح استاندارد / سطح شاهد - سطح نمونه = بازدهی واجذبی

نتایج آزمایش بازدهی واجذبی در جدول شماره (۱)

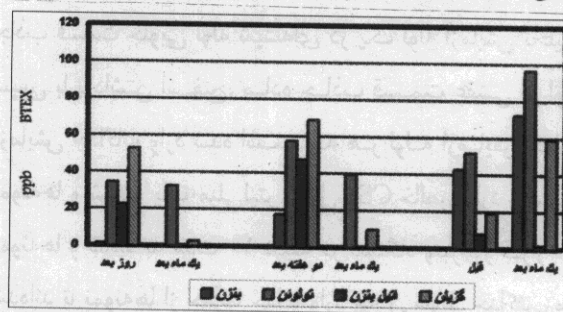
مشاهده می‌شود.

جدول شماره (۱): نتایج بازدهی واجذبی ترکیبات BTEX

نام ترکیب	بنزن	تولونن	اتیل بنزن	زایلین
بازدهی (درصد)	۹۱	۸۷	۹۵	۹۰

نتایج

نتایج حاصل از نمونه‌برداری از هوای محیط‌های بسته در چند گروه خانگی، تجاری و اداری طبقه‌بندی شده که در نمودارهای ۱ تا ۴ ملاحظه می‌شود. نتایج با در نظر گرفتن فشار و دمای محیط نسبت به شرایط استاندارد تصحیح شده‌اند.



نمودار شماره (۱): میانگین غلظت BTEX در هوای

سه واحد مسکونی (تأثیر رنگ کاری)

محیط مسکونی، میزان ترکیبات BTEX بالاست، بنابراین در این گونه مواقع، موقعیت ساختمان از نظر دوری و نزدیکی به خیابان های اصلی یا مجاورت با محل پارک خودروها و یا منابع عمده منتشرکننده VOC ها در خارج ساختمان باید مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه گیری و پیشنهادها

به طور کلی نتایج طرح را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- تقریباً در هوای تمامی محیط های بسته مورد مطالعه، ترکیبات آلی فرار مشاهده گردید.
- میزان ترکیبات BTEX (بجز بنزن و در چند مورد تولوئن) در حد مجاز هوای تنفسی قرار داشتند.
- رنگ های ساختمانی، وسایل چوبی نو و مواد شوینده و ضد عفونی کننده، همچنین فرش، کوسن یا پستی های نو و فرش های تازه شسته شده مهمترین عوامل آلوده ساز داخل منازل محسوب می شوند. نوع رنگ های مصرفی در نقاشی ساختمان در نوع آلاینده های منتشره در داخل ساختمان مؤثرند.
- عوامل آلوده ساز بیرونی نقش عمده ای در آلوده ساختن و افزایش تدریجی و تجمع آلاینده ها در محیط های بسته داشته اند.
- تهویه مناسب طبیعی یا مصنوعی می تواند بهترین نقش را در کاهش آلودگی هوای محیط های بسته داشته باشد.
- آلودگی اماکن در زمستان ها بیش از فصول گرم سال است، که این به دلیل کم شدن عملیات تهویه و همچنین افزایش مصرف سوخت است.
- موقعیت واحد مسکونی یا تجاری در مجتمع آپارتمانی یا مرکز تجاری نقش زیادی در آلودگی هوای محیط دارد.
- فیزیک ساختمان (ارتفاع سقف، وسعت پنجره ها، موقعیت پنجره ها و درب های داخل ساختمان نسبت به یکدیگر) و تهویه مناسب قسمت های آلوده ساز ساختمان، مانند آشپزخانه، حمام و موقعیت آن نسبت به سایر بخش های

و کار دارند مقادیر بیشتری ترکیبات BTEX و بنزن وجود دارد. بنابراین می توان دستگاه های رایانه را منبع خاصی برای انتشار این ترکیبات در محیط های بسته دانست.

مقادیر BTEX در هوای برخی واحدهای مسکونی و سالن های عمومی بجز در یک مورد که مربوط به یک سالن کنفرانس است و بنزن آن قدری از حد مجاز بالاتر می باشد، در سایر موارد در حد مجاز قرار دارند. ولی باز باید به این نکته اشاره کرد که واحدهای مسکونی و سالن های عمومی محل هایی نیستند که بتوان مقادیر مجاز محیط های کار را در موردشان تعمیم داد. زیرا در این محیط ها هم افراد خردسال و مسن وجود دارند که در مقابل آلودگی هوا حساس ترند و هم مدت زمانی که افراد در این محیط ها، خصوصاً محیط های مسکونی به سر می برند بسیار بیشتر از مدت زمانی است که افراد شاغل در محیط های کاری طی می کنند، گاه این زمان ممکن است ۲۴ ساعته باشد. پس مقادیر مجاز پیشنهادی EPA که در مورد هوای تنفسی ارائه شده باید ملاک مقایسه قرار گیرند. بدین ترتیب دیده می شود مقدار بنزن در نمونه های هوای محیط های مسکونی بسیار بالاتر از حد مجاز تنفسی است. مقدار تولوئن نیز در پاره ای موارد بیش از حد مجاز است.

یکی از نتایج به دست آمده این است که رنگ کاری ساختمان عامل مهمی در ورود این ترکیبات به محیط های بسته است ولی میزان BTEX پس از رنگ کاری در محیط های مختلف به دلایلی از جمله نوع تهویه محل، نوع رنگ مورد استفاده و طول مدت بعد از نقاشی ساختمان، متفاوت است.

تهویه مناسب ساختمان در هنگام رنگ کاری و پس از آن می تواند به کاهش این ترکیبات در هوای بسته کمک کند. بررسی ها نشان داد که آلاینده های هوای محیط های بسته در بسیاری از اوقات ناشی از آلودگی هوای خارج از ساختمان است که با وارد شدن و به حبس شدن آنها در هوای بسته ساختمان مقدارشان افزایش می یابد. در حالی که غلظت آلودگی هوای آزاد بر اثر حرکت های هوا و ریزش های جوی کاهش می یابد. بدین علت است که در برخی از اوقات بدون وجود هیچ منبع خاصی در

Department of Health and Human Services, Atlanta, C. A.

Molhave, L. 1982. Indoor air Pollution due to organic gases and Vapours of Solvents in building materials. Environmental International.

NIOSH Manual of Analytical Methods. 1995. 4th edition, III Methods, Hydrocarbons, Aromatic (Method 1501).

Noel de Nevers. 2000. Air Pollution Control Engineering. MC Graw Hill. 329 pp.

U.S.EPA. 1991. Us. Public Health and National Environmental Health Association, Introduction to Indoor Air Quality: A Reference Manual, Epa-400-3-91-0035.

U.S.EPA. 1993. Integrated Risk Information system (IRIS) on Benzene, Environmental Criteria and Assessment office, Cincinnati, OH.

U.S.EPA. 1993. Integrated Risk Information System on Ethylbenzen, Cincinnati, OH.

ساختمان در افزایش یا کاهش VOC ها مؤثر است.
 ▪ نوع سوخت مصرفی و نحوه نگهداری سوخت اضافی، مواد پاک‌کننده، ضدعفونی‌کننده و حلال‌ها برای مصارف خانگی از عوامل مهم تجمع و ازدیاد آلودگی هوای داخل ساختمان است.

برای کنترل آلودگی هوای محیط‌های بسته سه راهکار اصلی پیشنهاد می‌شود که به ترتیب اولویت عبارتند از:
 ۱- کنترل منبع آلودگی در داخل اماکن، برای مثال نگهداری مواد پاک‌کننده یا انواع سوخت‌ها در ظروف کاملاً سربسته و تنظیم اجاق‌های خوراک‌پزی یا بخاری‌های نفت‌سوز و گازسوز.
 ۲- بهبود تهویه در داخل ساختمان، استفاده از تهویه طبیعی در زمان مناسب بودن شرایط جوی و استفاده از دستگاه‌های هواکش مصنوعی، بخصوص در نقاطی چون آشپزخانه و انجام فعالیت‌های خاص مثل اسپری کردن رنگ، جوشکاری و لحیم‌کاری و سمباده زدن در فضای آزاد.
 ۳- استفاده از دستگاه‌های تصفیه‌کننده هوا.

یادداشت‌ها

1. National Institute of Occupational Safety and Health (مرکز ملی بهداشت و ایمنی حرفه‌ای)
2. Occupational Safty and Health Administration (اداره کل بهداشت و ایمنی حرفه‌ای)

منابع مورد استفاده

ACGIH. 2000. Thershold Limit Values for Chemical Substances and physical agents and Biological Exposure Indices. American Conference of Governmental Industrial Hygiene.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 1992. Toxicology Profile for Toluene, U. S Poble Health Service, US.