Archive of SID

مجله محیط شناسی، شماره ۳۲، زمستان ۱۳۸۲، صفحه ۴۶-۴۱

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

مهندس هما کشاورزی شیرازی *

مهندس فرح سادات هالک **

مهندس محسن میرمحمدی ***

چکیده

ترکیبات آلی فرار (VOC_S) به طور گسترده‌ای در محصولات مورد استفاده در منازل نظیر: رنگ‌ها، لاک الکل، چسب ها، مواد شوینده و ضدعفونی کننده کاربرد دارند. همچنین سوختهای 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 محیط های 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.

کلید واژه

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

تاریخ دریافت: ۱۳۸۱/۹/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۲/۴/۲۳

* عضو هیأت علمی دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران.

** عضو هیأت علمی پژوهشگاه مواد و انرژی.

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

www.SID.ir

Archive of SID

سرآغاز

ترکیبات آلی فرآر (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 ۱۸۰°C و یا فشار بخار بیشتر از ۰/۰۱Kpa در ۲۵ °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 VOC ها 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 فرآر 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، VOC های شاخص که با حروف اختصاری BTEX شناخته می‌شوند، یعنی بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و گزیلن 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، حشره‌کش ها و انواع چسب‌ها و ...).

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

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، رنگ های 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 ۱-۰/۰۱ ppm (ACGIH, 2000) و در هوای تنفسی ۰/۰۰۳ppm 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، ۲۰ ppm (ACGIH, 2000) و در هوای تنفسی، ۰/۱ ppm است (ATSDR, 1992).

اتیل بنزن: نزدیکی ساختمان ها 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

www.SID.ir

Archive of SID

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 می باشد. 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، آشفتگی و به‌هم‌خوردن 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 نمونه‌برداری مشخص گردید. سپس بر طبق روش استاندارد آنالیز نمونه‌ها انجام شد.

انتخاب محل: در نمونه‌برداری از منازل مسکونی سعی شده است که از ساختمان های 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، نمونه‌برداری 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. ساختمان های اداری با در نظر گرفتن وسایل دفتری، تعداد افراد شاغل و نحوه استفاده آنها از وسایل و دستگاههای موجود (رایانه، دستگاه کپی، وسایل دفتری جدید و ...) انتخاب شده‌اند.

نمونه‌برداری: روش نمونه‌برداری از گازهای آلی موجود در هوا، بویژه هنگام مواجهه با مقادیر کم این آلاینده‌ها طبق توصیه NIOSH[1] و OSHA[2] استفاده از جاذب‌هاست. در مورد BTEX از جاذب کربن فعال آماده در لوله‌های شیشه‌ای دربسته 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 نمونه‌برداری، 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 نمونه‌برداری، لوله جاذب به صورت عمودی قرار گرفته تا از مسدود شدن بستر جاذب جلوگیری شود. نحوه نمونه‌برداری طبق روش NIOSH (NIOSH Manual for Analytical Methods, 1995) و دستورالعمل جاذب SKC، مدت نمونه‌برداری بین ۴ تا ۸ ساعت و میزان هوای عبوری از داخل جاذب به طور متوسط ۲۷۰ ml/min بوده است. پس از اتمام نمونه‌برداری، 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 CS_2 خالص وارد و سپس نمونه‌ها و شاهد به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه ویبراتور 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

www.SID.ir

Archive of SID

گاز کروماتوگرافی PERKIN ELMER-Sigma 3B و دتکتور 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 CS_2 استخراج شدند. سپس نمونه و شاهد توسط دستگاه گاز کروماتوگراف سنجش و بازدهی واجذبی تعیین گردید.

سطح استاندارد/ سطح شاهد – سطح نمونه = بازدهی واجذبی

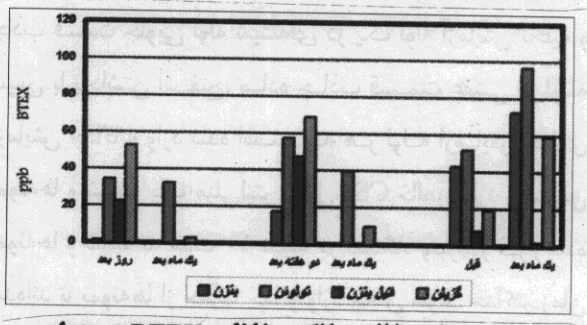
نتایج آزمایش بازدهی واجذبی در جدول شماره (۱) مشاهده می‌شود.

جدول شماره (۱): نتایج بازدهی واجذبی ترکیباتBTEX

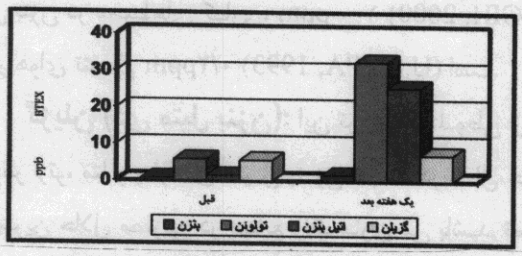
نام ترکیب	بنزن	تولوئن	اتیل بنزن	زایلن
بازدهی (درصد)	۹۱	۸۷	۹۵	۹۰

نتایج

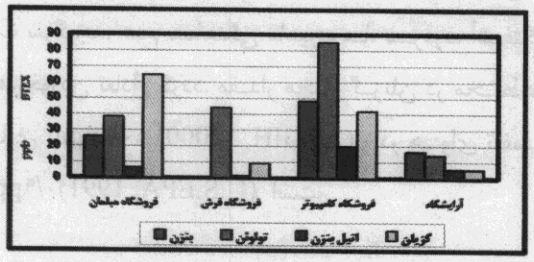
نتایج حاصل از نمونه‌برداری از هوای محیط‌های بسته در چند گروه خانگی، تجاری و اداری طبقه‌بندی شده که در نمودارهای ۱ تا ۴ ملاحظه می‌شود. نتایج با در نظر گرفتن فشار و دمای محیط نسبت به شرایط استاندارد تصحیح شده‌اند.



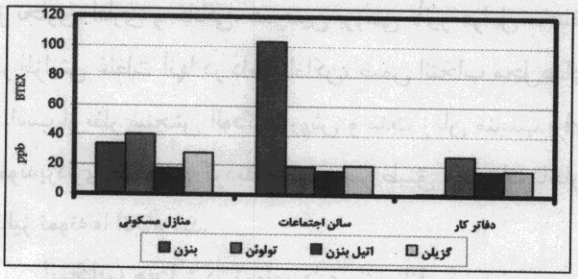
نمودار شماره (۱): میانگین غلظت BTEX در هوای سه واحد مسکونی (تأثیر رنگ کاری)



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

www.SID.ir

Archive of SID

و کار دارند مقادیر بیشتری ترکیبات BTEX و بنزن وجود دارد. بنابراین می‌توان دستگاه‌های رایانه را منبع خاصی برای انتشار این ترکیبات در محیط‌های بسته دانست.

مقادیر BTEX در هوای برخی واحدهای مسکونی و سالن‌های عمومی بجز در یک مورد که مربوط به یک سالن کنفرانس است و بنزن آن قدری از حد مجاز بالاتر می‌باشد، در سایر موارد در حد مجاز قرار دارند. ولی باز باید به این نکته اشاره کرد که واحدهای مسکونی و سالن‌های عمومی محل‌هایی نیستند که بتوان مقادیر مجاز محیط‌های کار را در موردشان تعمیم داد. زیرا در این محیط‌ها هم افراد خردسال و مسن وجود دارند که در مقابل آلودگی هوا حساس‌ترند و هم مدت زمانی که افراد در این محیط‌ها، خصوصاً محیط‌های مسکونی به سر می‌برند بسیار بیشتر از مدت زمانی است که افراد شاغل در محیط‌های کاری طی می‌کنند، 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. بدین‌ترتیب دیده می شود مقدار بنزن در نمونه‌های هوای محیط‌های 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 این‌است که رنگ کاری ساختمان عامل مهمی در ورود این ترکیبات به محیط‌های بسته است ولی میزان BTEX پس از رنگ کاری در محیط‌های 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 می‌تواند به کاهش این ترکیبات در هوای بسته کمک کند. بررسی‌ها نشان داد که آلاینده‌های هوای محیط‌های 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 می‌یابد. درحالی که غلظت آلودگی هوای آزاد بر اثر حرکت‌های هوا و ریزش‌های جوی کاهش می‌یابد. بدین علت است که در برخی از اوقات بدون وجود هیچ منبع خاصی در 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.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به طورکلی نتایج طرح را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- تقریباً در هوای تمامی محیط‌های 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 ضدعفونی‌کننده، همچنین فرش، کوسن یا پشتی‌های نو و فرش های تازه شسته شده مهمترین عوامل آلوده‌ساز داخل منازل محسوب می‌شوند. نوع رنگ‌های مصرفی در نقاشی ساختمان در نوع آلاینده‌های منتشره در داخل ساختمان مؤثرند.
- عوامل آلوده‌ساز بیرونی نقش عمده‌ای در آلوده ساختن و افزایش تدریجی و تجمع آلاینده‌ها در محیط‌های بسته داشته‌اند.
- تهویه مناسب طبیعی یا مصنوعی می‌تواند بهترین نقش را در کاهش آلودگی هوای محیط‌های بسته داشته باشد.
- آلودگی اماکن در زمستان‌ها 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 پنجره‌ها، موقعیت پنجره‌ها و درب‌های داخل ساختمان نسبت به یکدیگر) و تهویه مناسب قسمت‌های آلوده‌ساز ساختمان، مانند آشپزخانه، حمام و موقعیت آن نسبت به سایر بخش‌های

www.SID.ir

Archive of SID

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 فعالیت های خاص مثل اسپری کردن رنگ، جوشکاری و لحیم‌کاری و سمباده زدن در فضای آزاد.

۳- استفاده از دستگاههای تصفیه‌کننده هوا.

یادداشت ها

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

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 Poblic Health Service, US. 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.

www.SID.ir