محیط‌شناسی، دورهٔ ۳۹، شمارهٔ ٤ ، زمستان ۱۳۹۲، صفحهٔ ۱۹۲-۱۸۱

سنجش و ارزیابی ریسک آلودگی فلزات سنگین در هوای تهران (مطالعهٔ موردی: خیابان انقلاب)

علیرضا نورپور*[۱]، آرش صدری جهانشاهی[۲]

۱. دانشیار مهندسی محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران a.jahanshahy@ut.ac.ir

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۳/۲۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۶/۲۰

چکیده

فلزات سنگین از قبیل آرسنیک، آهن، روی، سرب، کادمیوم، کروم، مس، منگنز و نیکل در هوای تهران از طریق استنشاق هوای آلوده وارد سیستم بدن انسان می‌شوند و مشکلاتی را برای شهروندان ایجاد می‌کنند. تهران کلان‌شهری است که با مشکلات زیست‌محیطی ناشی ازآلودگی هوا روبه‌روست. در میان خیابان‌ها، معابر و بزرگراه‌های تهران، خیابان انقلاب از پرترددترین آن‌هاست. این خیابان از میدان انقلاب اسلامی‌شروع می‌شود و تا میدان امام حسین (ع) ادامه می‌یابد. دستاورد نهایی این تحقیق، معرفی نتایج سنجش میزان فلزات سنگین در بهمن ۱۳۹۱ و خرداد ۱۳۹۲ شامل آرسنیک، آهن، روی، سرب، کادمیوم، کروم، مس، منگنز و نیکل در هوای خیابان انقلاب تهران در قالب نمودار و نقشه‌های GIS و ارزیابی ریسک سلامت ساکنان دائم و موقت منطقهٔ مذکور و تخمین میزان ابتلا به بیماری‌های سرطانی و غیرسرطانی ناشی از تنفس هوای آلوده به فلزات سنگین برای ۳ گروه ساکنان دائمی، فروشندگان و کارمندان و دانشجویان – به طور مجزا – است. نتایج نشان می‌دهد، نرخ آلودگی در کل مسیر از میدان انقلاب تا امام حسین به یک میزان است و اختلاف ناچیزی در برخی نقاط مشاهده می‌شود. البته نرخ آلودگی در چهارراه ولیعصر بیش از سایر نقاط است. همچنین، در کل خیابان انقلاب تعداد کل ابتلا به سرطان در طول عمر افراد ناشی از استنشاق فلزات سنگین مورد مطالعه در این پژوهش، کمتر از ۵۳ نفر در هر یک میلیون نفر برآورد شده که تمامی ریسک به ۴ آلایندهٔ کروم، آرسنیک، کادمیوم و نیکل اختصاص یافته است.

کلیدواژه: آلودگی هوا، ارزیابی ریسک، پراکنش آلودگی، فلزات سنگین.

۱. سرآغاز

آلودگی محیط‌زیست به فلزات سنگین هر ساله رو به افزایش است و نهایتاً به بروز خطرهای جدی برای سلامت انسان، جانوران و گیاهان منجر خواهد شد. فلزات سنگین با تمامی آثار مخربشان از اصلی‌ترین آلاینده‌ها در هوای شهرهای بزرگ‌اند (Yongming, 2006). افزون بر این، طی سال‌های اخیر مقادیر زیادی غبارات ریزگرد از طریق مرزهای عراق به هوای تنفسی ساکنان شهرها و روستاهای ایران نفوذ و خطرهایی را برایشان ایجاد کرده‌اند (جوردهی، ۱۳۸۲). تهران نیز از این اصل مستثنی نیست.

فلزات سنگین از قبیل: آرسنیک، آهن، روی، سرب، کادمیوم، کروم، مس، منگنز و نیکل در هوای تهران از طریق استنشاق هوای آلوده وارد سیستم بدن انسان می شوند و مشکلاتی را برای شهروندان ایجاد خواهند کرد (ثنایی، ۱۳۷٦). از اساسی‌ترین مسائل در خصوص فلزات سنگین، متابولیزه‌نشدن آن‌ها در بدن است (Al Khashman, 2007). در واقع فلزات سنگین پس از ورود به بدن، دفع نمی‌شوند و در بافت‌هایی مانند چربی، عضلات، استخوان‌ها و مفاصل رسوب می کنند و انباشته می شوند که همین امر موجب بروز بیماری‌ها و عوارض متعددی در

* نویسنده مسئول: تلفن تماس: ۰۹۱۲۱۹۰۶۰۸۶ Email: noorpoor@ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

بدن می‌شود. حضور فلزات سنگین بیش از استانداردهای تعریف‌شده در محیط، سبب بروز مشکلات و عوارض زیست‌محیطی برای ساکنان آن محل و اکوسیستم می‌شود (Absalon, 2010). فلزات سنگین روی انسان تأثیرات مختلفی دارند که از عمده‌ترین آن‌ها بروز اختلالات عصبی است. از طرفی خاصیت سمی و قابلیت تجمع زیستی فلزات سنگین در گیاهان و جانوران و ورود آن‌ها به زنجیرهٔ غذایی، خطرهای ناشی از آن‌ها را دو چندان کرده است و تأثیرات اکولوژیکی زیادی به وجود می‌آورد (احمدی‌زاده، ۱۳۷٦).

تهران کلان‌شهری است که با مشکلات زیست‌محیطی آلودگی هوا روبه‌روست. از عوامل طبیعی مؤثر در ایجاد این مسئله می‌توان به احاطه‌شدن شهر با کوه‌ها، نبود بادهای مداوم با سرعت مناسب و بارش کم اشاره کرد. رشد نامتناسب جمعیت شهری، تعداد زیاد صنایع قدیمی و فرسوده و ورود بیش از ظرفیت خودروها، با میزان بالای انتشار آلاینده‌ها به چرخهٔ حمل‌ونقل شهری از عوامل انسانی آلودگی هوای تهران است (عسکریه، ۱۳۹۰؛ بیات، ۱۳۸۳).

در میان خیابان‌ها، معابر و بزرگراه‌های تهران، خیابان انقلاب از پرترددترین آن‌هاست. این خیابان از میدان انقلاب اسلامی شروع می‌شود و تا میدان امام حسین (ع) ادامه می‌یابد. وسایل نقلیه به علت وجود دانشگاه‌های مختلف از قبیل دانشگاه تهران، امیرکبیر و ... و سازمان‌ها و ادارات مهم تردد بسیاری دارند. این خیابان بدون داشتن طراحی و برنامه‌ریزی مناسب برای تبدیل‌شدن به فضای جمعی و موقعیت جغرافیایی خود، تأثیرگذارترین فضای جمعی طی دوران پیش از انقلاب و حتی تا امروز است. لذا، بررسی میزان آلودگی هوا در خیابان انقلاب با توجه به سیل عظیم جمعیت آن و ارزیابی تأثیر آلودگی هوا در سلامت ساکنان دائم و موقت‌اش، ضروری است.

دستاورد نهایی این تحقیق، سنجش میزان فلزات سنگین شامل آرسنیک، آهن، روی، سرب، کادمیوم، کروم، مس، منگنز و نیکل در هوای خیابان انقلاب تهران و ارزیابی ریسک سلامت ساکنان دائم و موقت منطقهٔ مذکور و تخمین میزان ابتلا به بیماری‌های سرطانی و غیرسرطانی ناشی از تنفس هوای آلوده به فلزات سنگین است.

۲. روش انجام تحقیق

۱.۲. محدودهٔ مورد مطالعه

میدان انقلاب (۲٤ اسفند سابق) به‌منزلهٔ یکی از میدان‌های اصلی شهر در تقاطع خیابان‌های انقلاب، کارگر و آزادی قرار دارد. به علت مرکزیت آن و امکان دسترسی آسان به دیگر نواحی شهر از طریق اتوبوس‌های شرکت واحد، خط متروی انقلاب و بی. آر. تی (سامانهٔ اتوبوس‌های تندرو) و ... روزانه شهروندان بسیاری از این میدان می‌گذرند. میدان و خیابان انقلاب تهران حد فاصل مناطق ٦، ۱۱، ۷ و ۱۲ است. استقرار ۱۰ وزارتخانه و ۱٤۲ سازمان تابعه، ٦٦ بیمارستان و مرکز درمانی، ٤۹ دانشگاه و مؤسسه آموزش عالی، ۲٦ سفارتخانه و دفتر سازمان‌های بین‌المللی و صدها مرکز اداری، مالی، اقتصادی ضرورت بررسی آلودگی هوای منطقه را دوچندان می‌کند. برگزاری راهپیمایی‌ها و تظاهراتی که به طور سالانه (۲۲ بهمن، ۱۳ آبان، ۱٦ آذر و ...) و موردی (۹ دی و ...) در این محدوده برگزار شده ناظر بر وزن مکانی محدودهٔ یادشده است.

شکل ۱. محدودهٔ مورد مطالعه

۲.۲. انتخاب نقاط نمونه‌برداری

خیابان انقلاب از میدان انقلاب اسلامی شروع و تا میدان امام حسین (ع) ادامه می‌یابد. با توجه به آنکه ارزیابی

Archive of SID
www.SID.ir

ریسک روشی مبتنی بر سلامت ساکنان است چهارراه‌ها و میدان‌های اصلی در این مسیر به‌منزلهٔ نقاط نمونه‌برداری انتخاب شدند. بر این مبنا نمونه‌برداری در ۵ ایستگاه شکل گرفت: میدان انقلاب- چهارراه ولیعصر- میدان فردوسی- پیچ شمیران و میدان امام حسین.

۳.۲. روش نمونه‌برداری و آنالیز شیمیایی

در این قسمت نمونه‌های هوا به منظور تعیین میزان غلظت فلزات سنگین (شامل: مس، کادمیوم، کروم، نیکل، منگنز، آهن، سرب و آرسنیک) طی ۲ فصل در ۱۹ بهمن‌ماه ۱۳۹۱ و اول خرداد ۱۳۹۲ به صورت ۸ ساعته با تعیین ۵ ایستگاه جمع‌آوری و آنالیز شدند. برای سنجش میزان فلزات سنگین در خیابان انقلاب تهران مبتنی بر روش‌های نمونه‌برداری فعال به کمک پمپ‌های با دبی پایین SKC و با استفاده از فیلتر غشایی ۳۷ میلی‌متری از جنس فایبرگلاس، که قبلاً وزن هر کدام به طور جداگانه به دست آمده‌اند، عمل می‌کنیم. در حین نمونه‌برداری، فیلترها در محافظ‌های مخصوص خود قرار می‌گیرند و روی پمپ نصب می‌شوند. دبی پمپ برای نمونه برداری به کمک دستگاه کالیبراسیون روی ۱/۵ لیتر بر دقیقه تنظیم شد. فیلترهای جمع‌آوری‌شده را در هولدرهای مخصوص تا محل آزمایشگاه حمل کردند و با استفاده از روش هضم اسیدی و از طریق دستگاه ICP3 میزان فلزات سنگین به تفکیک تعیین مقدار شدند. تمامی مراحل مذکور مطابق با روش استاندارد OSHA-125G شکل گرفتند (OSHA, 2002).

۴.۲. کنترل کیفی آنالیز

برای تعیین کیفیت روش‌های آنالیز، دقت و صحت بررسی و بدین منظور در هر مرحله، حداقل ۱ نمونه ۲ بار آنالیز شد. میزان اختلاف نتایج حاصله بیانگر دقت روش آنالیز است. میزان درصد اختلاف (دقت) برای سنجش فلزات سنگین در خیابان انقلاب اسلامی تهران را می‌توانید در جدول ۱ مشاهده کنید. همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، میزان دقت بین ۳ تا ۱۷ درصد متغیر است که در محدودهٔ قابل قبول دستورالعمل آژانس حفاظت محیط‌زیست امریکاست[1] (Chambers, Pardakhti, 2011; 1983).

برای تعیین میزان صحت روش آنالیز در هر دوره از نمونه برداری، نمونه‌های اسپایک تهیه شدند. بدین منظور مقدار معینی از آلاینده‌ها به نمونه‌ها اضافه و آنالیز می شوند تا با مقایسهٔ نسبت غلظت قرائت‌شده به غلظت واقعی، صحت روش معین شود. همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌کنید میانگین درصد بازیافت (ریکاوری) ما بین ۸۳ تا ۹۷ درصد تعیین شده که با دستورالعمل ارائه‌شدهٔ آژانس حفاظت محیط‌زیست[2] مطابقت دارد (Chambers, 1983)

جدول ۱. میانگین دقت روش آنالیز فلزات سنگین در هوای تنفسی خیابان انقلاب

میانگین درصد اختلاف		
کروم	کادمیوم	مس
٤ درصد	٪۲	٦ درصد
روی	منگنز	نیکل
۸ درصد	۷ درصد	۱۳ درصد
سرب	آرسنیک	آهن
۳ درصد	۹ درصد	۱۷ درصد

هوای تنفس در خیابان انقلاب تهران نمونه‌برداری و غلظت فلزات سنگین در آن در زمستان ۹۱ و بهار ۹۲ (در ۲ مرحله) شناسایی و اندازه‌گیری شد. میدان‌ها و چهارراه‌های اصلی در ۵ نقطه به‌منزلهٔ نقاط نمونه‌برداری انتخاب شدند تا نمایندهٔ خوبی از هوای منطقه باشند. همچنین، در هر مرحله حداقل ۱ نمونهٔ شاهد[3] و ۱ نمونهٔ تعیین درصد بازیافت[4] برای اندازه‌گیری صحت نتایج آنالیز و ۱ نمونهٔ تعیین تکرارپذیری[5] برای اندازه‌گیری دقت نتایج آنالیز برداشت شد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. میانگین صحت روش آنالیز فلزات سنگین در هوای تنفسی خیابان انقلاب

میانگین درصد بازیافت		
کروم	کادمیوم	مس
۸۶ درصد	۹۲ درصد	۹۳ درصد
روی	منگنز	نیکل
۹۱ درصد	۹۰ درصد	۸۴ درصد
سرب	آرسنیک	آهن
۸۶ درصد	۸۶ درصد	۸۵ درصد

۳. کلیات ارزیابی ریسک

پس از تعیین غلظت هر یک از فلزات سنگین در هوای تهران، از دستورالعمل تعریف‌شدهٔ آژانس حفاظت محیط‌زیست امریکا که طی برنامهٔ سیستم هماهنگ اطلاعات ریسک (IRIS, 2005) به چاپ رسیده است، استفاده شد تا مقدار غلظت که هر شهروند تهرانی با این مواد خطرناک در هوا از طرق مختلف در تماس است، شناسایی شود. مقدار تماس از طریق تنفس، جداگانه محاسبه و مشخص خواهد شد (IRIS, 2005). سیستم اطلاعاتی IRIS طی بررسی مطالعات گسترده، فاکتورهایی از قبیل طول عمر متوسط، وزن متوسط، ضرایب جذب و مدت تماس را ارائه کرده که با استفاده از آن، در این تحقیق مشخص شده است که یک شهروند تهرانی در محدودهٔ خیابان انقلاب (Schwarzenegger, 2008) به طور متوسط چه میزان هوا استنشاق می‌کند و با اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ها در هوا، از این طریق چه مقدار فلزات سنگین وارد بدن او می‌شود (U.S-EPA, 2005).

پس از تعیین مقدار نهایی تماس شهروندان با هر یک از آلاینده‌های ذکرشده، از فاکتورهای RfC، RfD، شیب و میزان ریسک واحد، که از طریق سازمان‌های ذکرشده در بالا ارائه شده است، استفاده شد تا میزان افزایش ریسک سرطان در اثر تماس با هر یک از این مواد محاسبه و ارزیابی شود (Kent, 1998). علاوه بر تعیین میزان ریسک سرطان، اندیس خطر برای مجموع موادی که دارای عوارض سوء بهداشتی غیرسرطانی اند نیز محاسبه و تعیین شد (U.S-EPA, 2000). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و تماس روزانهٔ جمعیت تهران در منطقهٔ مورد مطالعه با فلزات سنگین، افزایش تعداد سرطان در تهران طی عمر شهروندان تهرانی ساکن در منطقه به صورت کمّی محاسبه خواهد شد (Borai, 2001).

پس از تعیین مقدار تماس روزانه طی عمر از طریق تنفس، از رابطهٔ ۱ برای تعیین مقدار ریسک سرطان استفاده می‌شود (U.S-EPA, 2005).

رابطه (۱)

$$Risk = CDI\ inhale * URF\ inhalation$$

علاوه بر ریسک سرطان، اندیس خطر از طرق تماس مختلف برای هر یک از فلزات سنگین که در هوای تهران مشاهده شده است به روش زیر محاسبه و اندازه‌گیری می‌شود (U.S-EPA, 2005).

رابطه (۲)

$$HQ\ inhalation = CDI\ inhalation / RfD\ inhalation$$

دستورالعمل‌های ارائه‌شده در هر جامعه با توجه به خاصیت‌های فردی و اجتماعی تغییر می‌کنند لذا، معیارهای مورد نظر برای جوامع گوناگون متفاوت است. برای انجام ارزیابی ریسک سلامت باید ٤ گام برداشت که به آن اشاره خواهد شد (Absalon, 2010).

- **شناسایی خطر**

آلاینده‌هایی که ایجاد خطر می‌کنند در مطالعهٔ حاضر، شامل: آرسنیک، آهن، روی، سرب، کادمیوم، کروم، مس، منگنز و نیکل‌اند.

- **رابطهٔ تماس– واکنش**

ارتباط بین غلظت فلزات سنگین در هوای تنفسی خیابان انقلاب و میزان تاثیر آن در سلامت انسان، باید در این گام مشخص شود.

- **ارزیابی مقدار تماس**

روش‌های تماس با آلاینده‌های مفروض در این

Archive of SID
www.SID.ir

پژوهش شامل موارد زیرند:

تنفس هوای آلوده به فلزات سنگین، نرخ ۲۰ متر مکعب در روز (مطابق با) و با فرض اعمال ضریب میزان جذب از طریق ریه (Heinhold, 1985). بدین منظور ۳ گروه از مردم برحسب نوع و میزان تماسشان با آلودگی فلزات سنگین تعریف می‌شوند:

– ساکنان دائمی در منطقه (از میدان انقلاب تا میدان امام حسین): ۲٤ ساعت شبانه‌روز و ۳۵۰ روز سال در تماس با هوای آلوده‌اند (با فرض ۱۵ روز نبودن در منطقه در سال)؛

– کارمندان و فروشندگان: ۸ ساعت در روز و ٦ روز در هفته با هوای آلوده در تماسند؛

– مشتریان و دانشجویان: ساعات تماس با آلودگی با فرض ۵ ساعت در هر روز و ٤ روز در هفته.

بر مبنای آمار غیررسمی سازمان آمار و سایت دانشگاه‌ها، ساکنان دائمی ٤۸ هزار نفر، کارمندان و فروشندگان معادل ٦ هزار نفر و دانشجویان ۳۹ هزار نفر فرض شده است (سازمان آمار).

- **محاسبهٔ ریسک**

در این مرحله پس از شناسایی تمامی اطلاعات لازم، می‌توان با استفاده از روابط زیر ریسک سرطانی و غیرسرطانی را محاسبه کرد.

٤. محاسبهٔ ریسک سرطانی و غیرسرطانی

بدین منظور، ابتدا میزان دریافت روزانهٔ آلاینده ناشی از تنفس را به دست می‌آوریم (رابطهٔ ۳) (R. A. Forum, 2005).

رابطه (۳)

$$CDI_{inhal} = \frac{cari \,.\, EF \,.\, ED \,.\, (\frac{ET}{24})}{AT}$$

که در آن:

CDI_{inhal}= میزان دریافت روزانهٔ آلایندهٔ ناشی از تنفس؛

C_{air}= غلظت فلز سنگین در هوا ($\mu g/m^3$)؛

EF= تعداد روزهای تماس؛

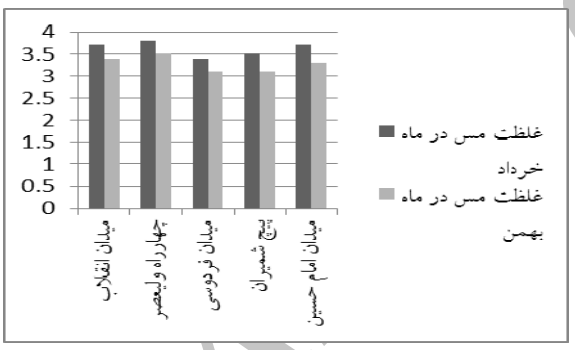
ED= تعداد سال‌هایی که احتمال بیمارشدن وجود دارد؛

ET= تعداد ساعات شبانه‌روز در تماس با آلاینده (برای ساکنان دائمی ٢٤ ساعت)؛

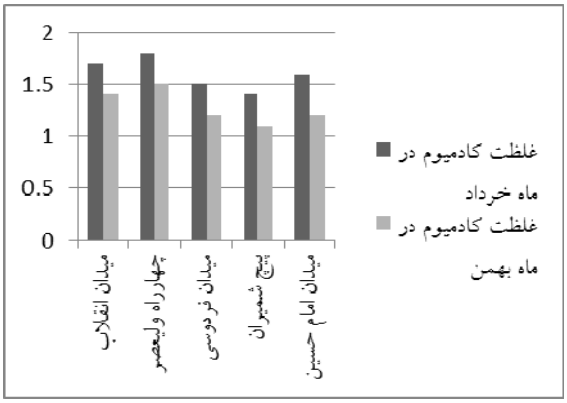
AT= طول عمر انسان که برای بیماری‌های سرطانی و محاسبهٔ ریسک آن معادل ۷۰ سال (میانگین کل طول عمر) و برای بیماری‌های غیرسرطانی معادل زمانی است که در تماسیم.

۵. نتایج

نتایج حاصل از آنالیز فلزات سنگین در هوای خیابان انقلاب ارائه شده است و در خصوص نتایج و اهمیت آن بحث خواهد شد. در ادامه تغییرات غلظت فلزات مذکور را در قالب نمودار در شکل‌های ۲ تا ۱۰ مشاهده می‌کنید.

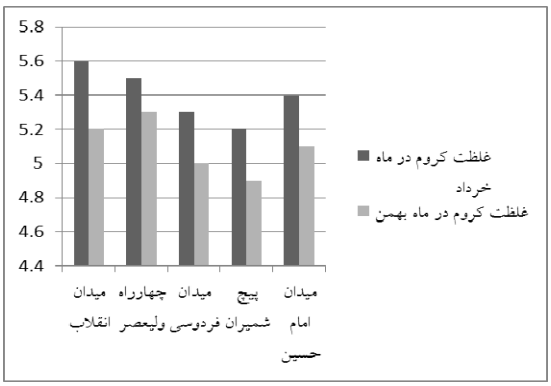


شکل ۲. تغییرات غلظت مس در مناطق مختلف (ng/m^3)



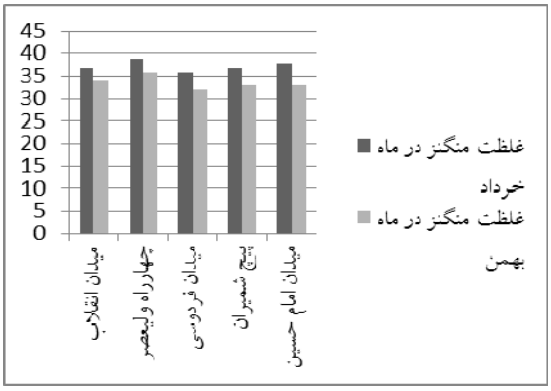
شکل ۳. تغییرات غلظت کادمیوم در مناطق مختلف (ng/m^3)

Archive of SID
www.SID.ir

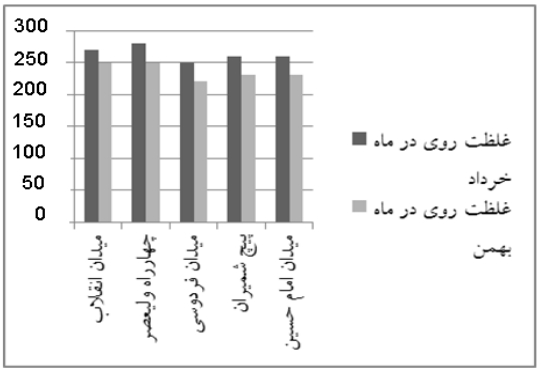


شکل ۴. تغییرات غلظت کروم در مناطق مختلف (ng/m^3)

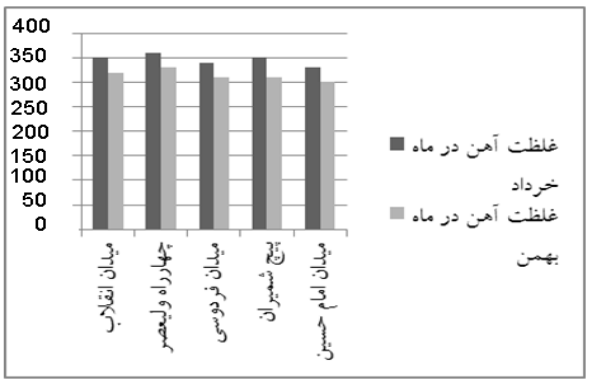
شکل ۵. تغییرات غلظت نیکل در مناطق مختلف (ng/m^3)



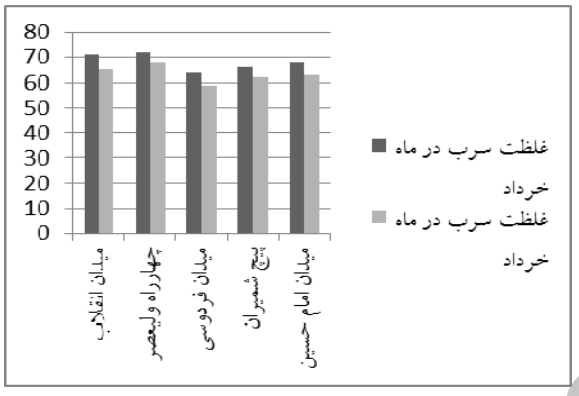
شکل ۶. تغییرات غلظت منگنز در مناطق مختلف (ng/m^3)



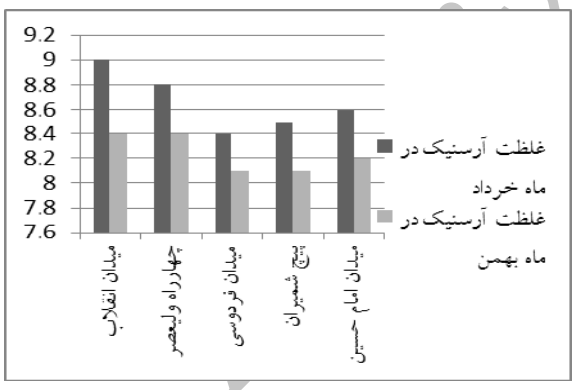
شکل ۷. تغییرات غلظت روی در مناطق مختلف (ng/m^3)



شکل ۸. تغییرات غلظت آهن در مناطق مختلف (ng/m^3)



شکل ۹. تغییرات غلظت سرب در مناطق مختلف (ng/m^3)



شکل ۱۰. تغییرات غلظت آرسنیک در مناطق مختلف (ng/m^3)

۶. پراکنش آلاینده‌ها در سطح خیابان انقلاب

برای تعیین نحوهٔ پراکنش غلظت آلاینده‌ها در هوای تنفسی خیابان انقلاب از نقشه‌های رقومی شده در محیط GIS استفاده شده است. میان یابی به روش کریجینگ[۶] صورت گرفته است که نتایج نحوهٔ پراکنش را در شکل ۱۱ تا ۱۹ مشاهده می‌کنید.

همان‌طور که در اشکال ۱۱ تا ۱۹ مشاهده می‌شود بیشترین میزان آلودگی در چهارراه ولیعصر است و کمترین

www.SID.ir

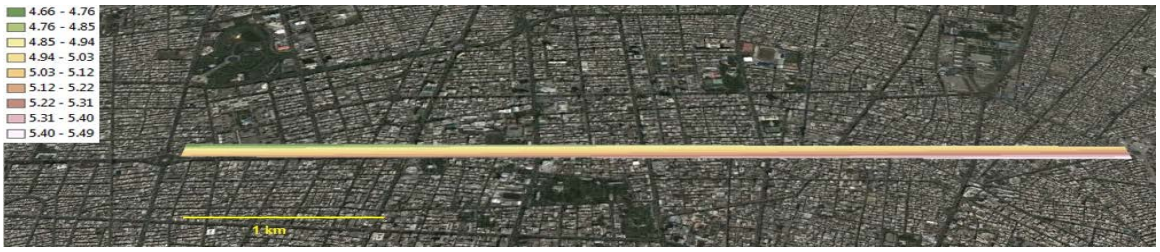
آن در میدان فردوسی که نشان از اثـر ترافیـک در آلـودگی هوا دارد. همچنین، برای آلایندهٔ کادمیوم، آهن، کروم، منگنز و روی نرخ آلودگی به صـورت خطـی تغییـر بـین میـدان انقلاب و میدان امام حسین از کم به زیاد تغییر می‌کند. نوع درون‌یـابی بـرای آلاینـدهٔ سـرب متمـایز اسـت و غلظـت ماکزیمم در میدان امام حسین مشاهده می‌شود.

شکل ۱۱. نحوهٔ پراکنش آلایندهٔ آرسنیک در هوای تنفسی خیابان انقلاب (ng/m^3)

شکل ۱۲. نحوهٔ پراکنش آلایندهٔ مس در هوای تنفسی خیابان انقلاب (ng/m^3)

شکل ۱۳. نحوهٔ پراکنش آلایندهٔ کادمیوم در هوای تنفسی خیابان انقلاب (ng/m^3)

شکل ۱۴. نحوهٔ پراکنش آلایندهٔ آهن در هوای تنفسی خیابان انقلاب (ng/m^3)



شکل ۱۵. نحوهٔ پراکنش آلایندهٔ کروم در هوای تنفسی خیابان انقلاب (ng/m^3)

www.SID.ir

شکل ۱۶. نحوهٔ پراکنش آلایندهٔ منگنز در هوای تنفسی خیابان انقلاب (ng/m^3)

شکل ۱۷. نحوهٔ پراکنش آلایندهٔ نیکل در هوای تنفسی خیابان انقلاب (ng/m^3)

شکل ۱۸. نحوهٔ پراکنش آلایندهٔ سرب در هوای تنفسی خیابان انقلاب (ng/m^3)

شکل ۱۹. نحوهٔ پراکنش آلایندهٔ روی در هوای تنفسی خیابان انقلاب (ng/m^3)

۷. نتایج ارزیابی ریسک

۱.۷. ارزیابی ریسک غیرسرطانی

در صورتی که یک شهروند بیش از مقدار با آلاینده‌ای در تماس باشد، اندیس خطر، که از تقسیم مقدار تماس (غلظت آلاینده در هوای استنشاقی) بر غلظت تنفسی مرجع به دست می‌آید، بزرگ‌تر از ۱ خواهد شد که نشان دهندهٔ این است که افراد تحت تماس، در معرض ابتلا به عوارض بهداشتی غیرسرطانی قرار دارند (R. A. Forum, 2005). جدول ۳ غلظت‌های راهنما را برای تعیین اندیس خطر غیرسرطانی آلاینده‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد (U. S. D. O. H. A. H. SERVICES, 2005,2007,2012).

۲.۷. ارزیابی ریسک سرطانی

در بحث آثار سرطانی حتی کمترین میزان تماس با آلایندهٔ مورد نظر باعث افزایش ریسک بروز سرطان در انسان ها می‌شود. ریسک واحد تنفس، تخمین حد نهایی با احتمال ۹۵ درصد برای افزایش ریسک سرطان طی عمر یک انسان از طریق تنفس یک ماده به صورت نسبی است. جدول ٤ مقادیر ریسک واحد تنفس برای آلاینده‌های موردنظر را نشان می‌دهد.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳. غلظت‌های راهنما برای تعیین اندیس خطر غیرسرطانی طبق دستورالعمل دفتر زیست‌محیطی وزارت نیروی امریکا (IRIS, 2012)

غلظت مرجع حاد Acute (RfC) mg/m3		
آرسنیک	نیکل	کادمیوم
$۲*۱۰^{-۴}$	$۶*۱۰^{-۳}$	$۳*۱۰^{-۵}$
غلظت مرجع درازمدت Chronic (RFC) mg/m3		
نیکل	کروم	کادمیوم
$۹*۱۰^{-۵}$	$۱*۱۰^{-۴}$	$۱*۱۰^{-۵}$
سرب	آرسنیک	منگنز
$۱/۵*۱۰^{-۴}$	$۱/۵*۱۰^{-۵}$	$۵*۱۰^{-۵}$

جدول ۴. غلظت‌های راهنما برای ارزیابی ریسک طبق دستورالعمل دفتر زیست‌محیطی وزارت نیروی امریکا (IRIS, 2009)

ریسک واحد تنفس (µg/m3)		
کروم	**کادمیوم**	**مس**
$۱/۲*۱۰^{-۲}$	$۱/۸*۱۰^{-۳}$	-
روی	**منگنز**	**نیکل**
-	-	$۲/٤*۱۰^{-٤}$
سرب	**آرسنیک**	**آهن**
-	$٤/۳*۱۰^{-۳}$	-

جدول ۵. نسبت‌های مخاطرهٔ آنی[۷] و اندیس خطر[۸] آنی غیرسرطانی برای فلزات سنگین در هوای خیابان انقلاب

سرب	آرسنیک	آهن	روی	منگنز	نیکل	کروم	کادمیوم	مس	آلاینده
-	$٤/۰٥*۱۰^{-۲}$	-	-	-	$٦/٦۲*۱۰^{-٤}$	-	$٤/٦۰*۱۰^{-۲}$	-	**نسبت مخاطرهٔ آنی (گروه ۱)**
-	$۱/۰۹*۱۰^{-۲}$	-	-	-	$۱/۷۸*۱۰^{-٤}$	-	$۱/۲٤*۱۰^{-۲}$	-	**نسبت مخاطرهٔ آنی (گروه ۲)**
-	$٥/۲٦*۱۰^{-۳}$	-	-	-	$۸/٥۹*۱۰^{-٥}$	-	$٥/۹۷*۱۰^{-۳}$	-	**نسبت مخاطرهٔ آنی (گروه ۳)**
-	$٥/٦۷*۱۰^{-۲}$	-	-	-	$۹/۲٥*۱۰^{-٤}$	-	$٦/٤٤*۱۰^{-۲}$	-	**اندیس خطر آنی کل**

جدول ۶. نسبت‌های مخاطرهٔ درازمدت[۹] و اندیس خطر[۱۰] درازمدت غیرسرطانی برای فلزات سنگین در هوای خیابان انقلاب

سرب	آرسنیک	آهن	روی	منگنز	نیکل	کروم	کادمیوم	مس	آلاینده
$٤/۲۱*۱۰^{-۱}$	$٥/٤۰*۱۰^{-۱}$	-	-	$٦/۸۱*۱۰^{-۱}$	$٤/٤۱*۱۰^{-۲}$	$٥/۰۳*۱۰^{-۲}$	$۱/۳۸*۱۰^{-۱}$	-	**نسبت مخاطرهٔ درازمدت (گروه ۱)**
$۱/۱۳*۱۰^{-۱}$	$۱/٤٥*۱۰^{-۱}$	-	-	$۱/۸۳*۱۰^{-۱}$	$۱/۱۸*۱۰^{-۲}$	$۱/۳٥*۱۰^{-۲}$	$۳/۷۱*۱۰^{-۲}$	-	**نسبت مخاطرهٔ درازمدت (گروه ۲)**
$٥/٤٦*۱۰^{-۲}$	$۷/۰۱*۱۰^{-۲}$	-	-	$۸/۸۳*۱۰^{-۲}$	$٥/۷۲*۱۰^{-۳}$	$٦/٥۳*۱۰^{-۳}$	$۱/۷۹*۱۰^{-۲}$	-	**نسبت مخاطرهٔ درازمدت (گروه ۳)**
$٥/۸۸*۱۰^{-۱}$	$۷/٥٥*۱۰^{-۱}$	-	-	$۹/٥۲*۱۰^{-۱}$	$٦/۱۷*۱۰^{-۲}$	$۷/۰٤*۱۰^{-۲}$	$۱/۹۳*۱۰^{-۱}$	-	**اندیس خطر درازمدت کل**

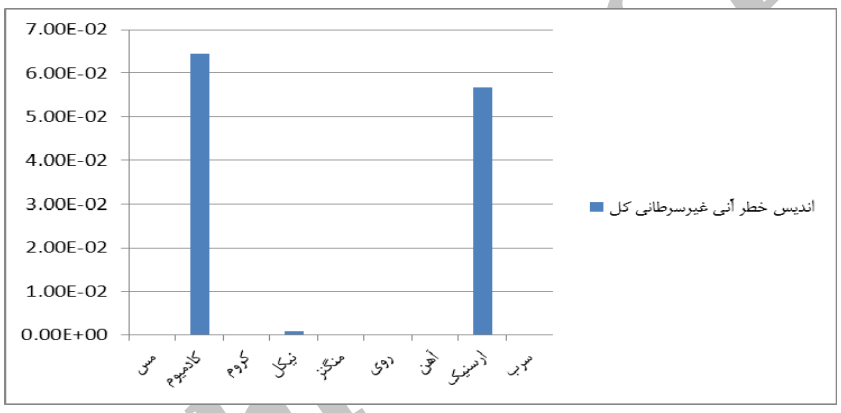
Archive of SID
www.SID.ir

نتایج جدول‌های ۵ و ٦ نشان می‌دهد نرخ ابتلا به بیماری های غیرسرطانی برای هر ۳ گروه همگی زیر «یک» گزارش شده که نشان دهندهٔ ایجاد نکردن مشکلات اضافهٔ ناشی از فلزات سنگین در هوای منطقه است. این نتایج به صورت نمودار نیز در شکل‌های ۲۰ و ۲۱ آمده است.

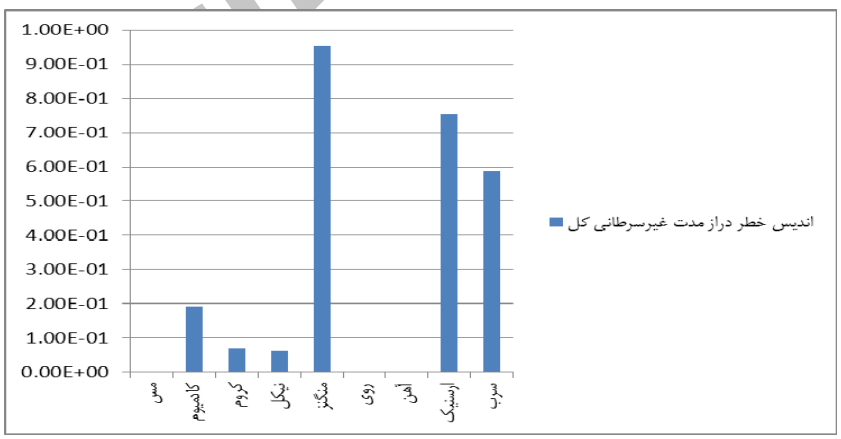
برای ارائهٔ نتایج مربوط به آمار بیماری‌های سرطانی با محاسبهٔ CDI و ریسک سرطانی به نتایج جدول ۷ می‌رسیم.

همان‌گونه که در جدول ۷ و شکل ۲۲ مشاهده می‌کنید در خیابان انقلاب تعداد کل ابتلا به سرطان طی عمر افراد ناشی از استنشاق فلزات سنگین مورد مطالعه در این پژوهش،کمتر از ۵۳ نفر در هر یک میلیون نفر است که نشان‌دهندهٔ شرایط خطرناکی نیست. لذا، با ضرب میزان سرطان‌زایی در جمعیت تمامی گروه‌های مورد مطالعه، تعداد کل سرطان طی عمر افراد ناشی از فلزات سنگین برابر با ۵ برآورد شده که تمامی ریسک به ٤ آلایندهٔ کروم، آرسنیک، کادمیوم و نیکل اختصاص یافته است.

علت بیشتربودن نرخ ابتلا به سرطان برای فلزات کروم و آرسنیک به خاصیت سرطان‌زایی این دو فلز برمی‌گردد. تنفس میزان کمی از فلزات مذکور در قیاس با سایر فلزات مورد مطالعه در این تحقیق می تواند ده ها برابر خطرناک و حتی کشنده باشد.



شکل ۲۰. اندیس خطر آنی کل برای بیماری‌های غیرسرطانی

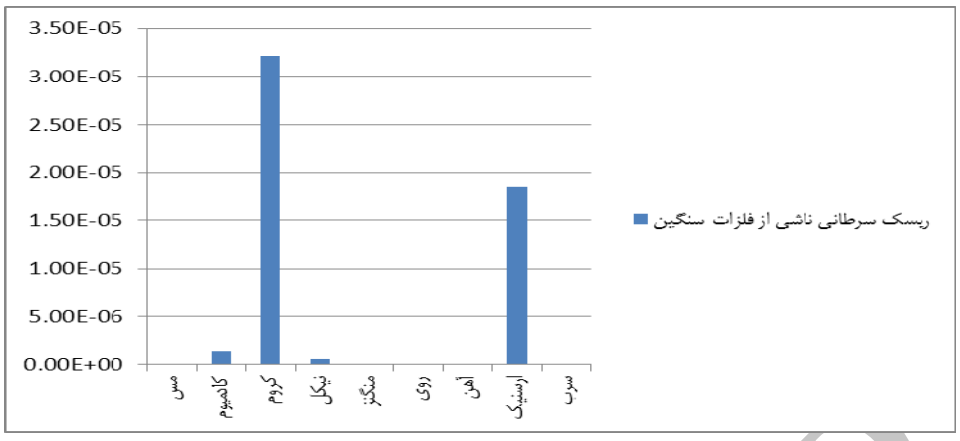


شکل ۲۱. اندیس خطر درازمدت کل برای بیماری‌های غیرسرطانی

جدول ۷. ریسک سرطان طی عمر از طریق تنفس و پوست طی عمر برای فلزات سنگین در هوای خیابان انقلاب

آلاینده	مس	کادمیوم	کروم	نیکل	منگنز	روی	آهن	آرسنیک	سرب
ریسک تنفس گروه ۱	–	$۱/۰۷*۱۰^{-۶}$	$۲/۵۹*۱۰^{-۵}$	$٤/۰۸*۱۰^{-۷}$	-	-	-	$۱/٤۹*۱۰^{-۵}$	-
ریسک تنفس گروه ۲	–	$۲/۳۸*۱۰^{-۷}$	$۵/۷۹*۱۰^{-۶}$	$۹/۱٤*۱۰^{-۸}$	-	-	-	$۳/۳٤*۱۰^{-۶}$	-
ریسک تنفس گروه ۳	–	$۱/۸٤*۱۰^{-۸}$	$٤/٤۸*۱۰^{-۷}$	$۷/۰٦*۱۰^{-۹}$	-	-	-	$۲/۵۸*۱۰^{-۷}$	-
جمع ۳ گروه	–	$۱/۳۲*۱۰^{-۶}$	$۳/۲۱*۱۰^{-۵}$	$۵/۰۷*۱۰^{-۷}$	-	-	-	$۱/۸۵*۱۰^{-۵}$	-
جمع کل	$۵۲/۵*۱۰^{-۶}$								

www.SID.ir



شکل ۲۲. ریسک سرطانی محتمل ناشی از فلزات سنگین در هوای خیابان انقلاب

۸. نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش اندازه‌گیری و بررسی تأثیر آلایندگی فلزات سنگین روی سلامتی انسان‌ها در هوای خیابان انقلاب تهران با استفاده از روش های عرف ارزیابی ریسک (IRIS) است. مراحل اصلی اجرای آن و نتایج حاصله را می‌توان به صورت زیر برشمرد. همان‌گونه که در نتایج مشاهده کردید، میزان فلزات سنگین در خیابان انقلاب خطر جدی برای سلامت ساکنان ایجاد نمی‌کند آنقدر که به صرف هزینه‌های گزاف برای کنترل آلودگی ناشی از این فلزات در هوای منطقه احتیاج باشد. اما، بیشترین تهدید از جانب دو فلز کروم و آرسنیک متوجه ساکنان دائمی و غیردائمی است که آن هم ناشی از ویژگی خاص این دو فلز در داشتن ضرایب بالای سرطان‌زایی است.

نرخ آلودگی در کل مسیر از میدان انقلاب تا میدان امام حسین به یک میزان است و اختلاف ناچیزی در برخی نقاط مشاهده می‌شود. نرخ آلودگی در چهارراه ولیعصر به نسبت سایر نقاط بالاست که به علت تردد بیشتر وسایل نقلیهٔ عمومی و شخصی در این محدوده است. متأسفانه تردد دانشجویان در این مکان بسیار بالاست که حل مشکل ترافیکی این گذر را در اولویت قرار می دهد. برای ساکنان دائمی، میزان ریسک سرطانی و غیرسرطانی به علت تماس بیشتر با آلاینده‌ها، خطرناک‌تر از دیگران گزارش شده است. اگرچه از منظر ریسک سرطانی، برای ساکنان موقت نیز، تماس هر چند کوتاه با آلاینده‌های سرطان‌زا می‌تواند احتمال ابتلا به سرطان را در افراد ایجاد کند. از جمله پیشنهادهایی که برای تکمیل این پژوهش می‌توان عنوان کرد عبارت‌اند از: سنجش و ارزیابی ریسک فلزات سنگین در هوای تنفسی برای کل تهران، شناسایی عوامل انتشار و انتقال آلاینده‌ها به خصوص کروم و آرسنیک در خیابان انقلاب یا سایر خیابان‌های تهران، یافتن راهکارهای مناسب برای کاهش آثار مخرب فلزات سنگین در هوا، سنجش و ارزیابی «ریسک کل» آثار مخرب فلزات سنگین که برابر با مجموع ریسک تنفس، بلع و تماس پوستی برای افراد است.

یادداشت‌ها

1. U. S-EPA-SW-846
2. U. S-EPA-SW-846
3. Blank sample
4. Spiked sample
5. Duplicate
6. Kriging
7. Acute HQ
8. HI
9. Chronic HQ
10. HI

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

احمدی‌زاده، م، (۱۳۷٦). سم‌شناسی صنعتی فلزات سنگین، نشر هزاران.

بیات، ر، (۱۳۸۳). «سهم‌بندی منابع آلودگی هوای تهران»، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف.

ثنایی، غ، (۱۳۷٦). سم‌شناسی صنعتی، انتشارات دانشگاه تهران.

جوردهی، ا، (۱۳۸۲). «اندازه‌گیری عناصر سنگین شامل کروم، آرسنیک، روی، کادمیوم و جیوه در هوای تهران»، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.

عسکریه، ه، (۱۳۹۰). «پتانسیل‌های کاهش نشر آلاینده‌ها از سواری‌های شخصی در شهرهای بزرگ با خودروهای با فناوری‌های نو (مطالعهٔ موردی تهران)»، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد عمران- محیط‌زیست دانشگاه شریف.

Al-Khashman, O. 2007. Determ ination of M etal Accumulation in Deposited Street Dusts in Amman, Jordan. *Environmental geochemistry and health,* Vols. 1-10, no. 29.

Borai, A.A., et al. 2001. M onitoring and statistical evaluation of heavy metals in airborne particulates in C airo, Egypt. E.H. Chromatography, Vol. A, pp. 261–269.

Damian Absalon, B. Ś. 2010. The effects of changes in cadm ium and lead air pollution on cancer incidence in children. *Science of the Total Environment.* vol. 408, p. 4420–4428.

Absalon, D., et al. 2010. The effects of changes in cadmium and lead air pollution on cancer incidence in children. Science of the Total Environment, Vol. 408, pp. 4420–4428.

Nabi, Gh., AR.,Pardakhti .2011. Comparative cancer risk assessment of THMs in drinking water from well water sources and surface water sources. *Environ Monit Assess,* vol. 179, pp. 499-507.

Hanna, S, et al. 1985. Developm ent and Application of a Sim ple Method for Evaluating Air Quality. *American Petroleum Institute Publication,* vol. 4409.

IRIS. 2005. Guidelines for Carcinogen Risk Assessment, EPA.

Kent, C. 1998. Basics of Toxicology.

Online: http://www.nodc.noaa.gov/sog/ghrsst/documents/ESRI_ArcGIS_GHRSST_Rutherford09Dec2008.pdf.

OSHA. 2002. METAL AND M ETALLOID PARTICULATES IN WOR KPLACE ATMOSPHERES (ICP ANALYSIS). T-ID125G-FV-03-0209-M.

Risk Assessment Forum. 2005. Guidelines for Carcinogen Risk Assessment," EPA/630/P-03/001F, Washington DC.

Schwarzenegger, G. A. 2008. M ethodology for Estim ating Premature Deaths Associated with Long-term Exposure to Fine Airborne Particulate Matter in California. State of California: Vol. 24.

U. S. D. O. H. A. H. SERVICES. 2005. TOXICOLOGICAL PROFILE FOR ZINC.

U. S. D. O. H. A. H. SERVICES. 2007. TOXICOLOGICAL PROFILE FOR LEAD.

U. S. D. O. H. A. H. SERVICES. 2012. TOXICOLOGICAL PROFILE FOR CADMIUM.

U. S. D. O. H. A. H. SERVICES. 2012. TOXICOLOGICAL PROFILE FOR CHROMIUM.

U. S. D. O. H. A. H. SERVICES. 2004. TOXICOLOGICAL PROFILE FOR COPPER.

U. S. D. O. H. A. H. SERVICES. 2012. TOXICOLOGICAL PROFILE FOR MANGANESE.

U. S. D. O. H. A. H. SERVICES. 2005. TOXICOLOGICAL PROFILE FOR Nickel.

U.S-EPA. 2005. Guidelines for Carcinogen Risk Assessment. Washington DC.

U.S-EPA. 2000. Exposure Factors Handbook. Office of Environmental Health and Hazard Assessment, Washington DC.

U. S. D. O. H. A. H. SER VICES. 2007. TOXIC OLOGICAL PROFILE FOR ARSENIC. Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

Chambers, J. 1983. Graphical Methods for Data Analysis. *Wadsworth International Group and Duxbury Press,* pp. 395.

Yongming, H. 2006. Multivariate Analys isof Heavy Metal Contam ination in Urban Dusts of Xi'an, Central China. *The Science of the Total Environment,* pp. 176-186.

Archive of SID

www.SID.ir