



فصلنامه علوم محیطی، دوره پانزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶

۸۹-۱۰۲

برآورد خسارت اقتصادی گاز NO₂ بر مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی شهروندان تهرانی

عطیه پناهی^۱، فتح اله امی^{۱*} و یوسف رشیدی^۲

^۱ گروه هوافضا، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۲ گروه فن‌آوری‌های محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۲۴

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۵

پناهی، ع.، ف. امی و ی. رشیدی. ۱۳۹۶. برآورد خسارت اقتصادی گاز NO₂ بر مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی شهروندان تهرانی. فصلنامه علوم محیطی. ۱۵(۱): ۸۹-۱۰۲.

سابقه و هدف: آلودگی هوا به طرق گوناگونی می‌تواند آثار زیانبار کوتاه مدت و بلند مدت بر سلامت انسان‌ها بگذارد. البته آسیب‌پذیری افراد مختلف در مقابل آلودگی هوا متفاوت است. برخی بیماری‌ها مانند آسم و بیماری قلبی ریوی در مقابل آلودگی هوا تشدید می‌شوند. آلودگی هوا رشد جنین را کند کرده و باعث کاهش بهره‌ی هوشی در کودکان می‌شود. همچنین آمار مراجعه به اورژانس در شهر تهران بر اثر افزایش فشار خون و حملات قلبی در روزهای ناسالم به طرز معناداری افزایش می‌یابد. هزینه‌های درمانی و کاهش بهره‌وری در محل کار می‌تواند سالانه میلیاردها دلار هزینه بر جامعه تحمیل کند.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش هدف تعیین هزینه اقتصادی گاز NO₂ بر مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی شهروندان تهرانی با استفاده از نرم افزار تعیین اثرات بهداشتی می‌باشد. برای این هدف، شهر تهران جهت بررسی انتخاب گردید. ابتدا داده‌های اولیه مربوط به سال ۱۳۹۲ از سازمان‌های متولی اخذ شد. پس از آن این اطلاعات از واحد حجمی (ppb) به واحد جرمی (µg/m³) تبدیل گردیده و سپس اطلاعات لازم شامل تعداد روزهای آلوده در غلظت‌های مختلف آلاینده NO₂ و میانگین سالانه زمستان و تابستان، صدک سالیانه و اطلاعات مربوط به ایستگاه‌هایی با بیشترین و کمترین آلودگی استخراج گردید. ورودی‌های لازم در نرم افزار AirQ قرار داده شد و خروجی نرم افزار بصورت مرگ و میر قلبی بر اثر آلاینده NO₂ اخذ گردید. خروجی نرم افزار سپس توسط آمار اخذ شده از سازمان بهشت زهرا(س) و روش‌های تعیین خسارت از جمله دیه، VSL و درآمد، تبدیل به مقادیر اقتصادی گردید.

نتایج و بحث: بطور کلی نتایج نشان داد که در مجموع تعداد موارد تجمعی مرگ و میر قلبی در اثر گاز NO₂ در سال ۱۳۹۲، تعداد ۸۲۷/۳ مورد بوده و از این تعداد ۳۴۸/۲ مورد زن، ۴۵۱/۷ مرد و ۲۶/۴ مورد کودک بوده‌اند و میانگین سنی کل (زن+مرد+کودک) ۵۱/۹ سال می‌باشد که اگر این میزان از امید به زندگی در ایران که از بدو تولد ۷۳ سال می‌باشد کم شود، ۲۱/۱ سال بدست می‌آید که تعداد سال‌های از دست رفته عمر در اثر آلودگی ناشی از گاز NO₂ در موارد مرگ و میر قلبی در سال ۱۳۹۲ می‌باشد. اطلاعات بدست آمده یکبار بصورت فراوانی تجمعی و یکبار در فواصل مختلف غلظت آلاینده (بین غلظت‌های ۴۰۰ < µg/m³ < ۱۰) در نظر گرفته شد. همچنین برآورد خسارت

* Corresponding Author. E-mail Address: fommi@modares.ac.ir

اقتصادی ناشی از آلاینده NO_x نشان داد، بیشترین میزان مرگ و میر قلبی از نظر تعداد موارد مربوط به غلظت NO₂ بین ۹۹-۹۰ μg/m³ می‌باشد. میزان خسارت اقتصادی با استفاده از سه روش دیه، VSL و درآمد، محاسبه گردید. هزینه‌های اقتصادی تحمیل شده با استفاده از روش دیه در فراوانی تجمعی مبلغ ۷/۴×۱۰^{۱۱} ریال و در غلظت‌های NO₂ بین ۹۹-۹۰ μg/m³ که از نظر تعداد بیشترین مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی (بین غلظت‌های ۴۰۰ < μg/m³ < ۱۰) را به خود اختصاص داده، مبلغ ۸۰,۴۵۰,۶۶۵,۰۰۰ ریال بدست آمد. نتایج بدست آمده از روش VSL نیز مبلغ ۹,۴۳۱,۲۲۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال برای فراوانی تجمعی مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی در سال ۱۳۹۲ و مبلغ ۱,۰۲۰,۳۰۰,۰۰۰ ریال را برای غلظت‌های NO₂ ۹۹-۹۰ μg/m³ آلاینده، نشان می‌دهد. این مبالغ همچنین از روش درآمد بصورت ۶۰۰ میلیارد ریال (برای فراوانی تجمعی) و ۶/۵×۱۰^{۱۰} ریال (در غلظت NO₂ ۹۹-۹۰ μg/m³) می‌باشد.

نتیجه‌گیری: بطور کلی نتایج این مطالعه نشان داد بین فواصل مختلف غلظت آلاینده NO₂ بیشترین میزان مرگ و میر قلبی مربوط به غلظت ۹۹-۹۰ μg/m³ می‌باشد. در نهایت نتایج نشان داد بین سه روش بیمه، VSL و درآمد بیشترین خسارت اقتصادی مربوط به روش VSL بوده است.

واژه‌های کلیدی: هزینه اقتصادی، AirQ، روش دیه، روش VSL، روش درآمد.

مقدمه

آمارها افزایش بیماری‌های تنفسی را نشان می‌دهد، همچنین آمار مراجعه به اورژانس در شهر تهران بر اثر افزایش فشار خون و حملات قلبی در روزهای ناسالم به طرز معناداری افزایش یافته و تعداد مرگ و میر بر اثر بیماری‌های دستگاه تنفسی، مغز و اعصاب و قلب و عروق افزایش می‌یابد. علاوه بر آن گروه‌های اجتماعی حساس مانند کودکان، سالخوردگان، مبتلایان به نارسایی‌های قلبی مغزی و زنان باردار در معرض خطرات جدی‌تر قرار می‌گیرند. عوامل زیادی در آلودگی هوای شهرهای بزرگ نقش دارند اما مهمترین عامل آلودگی هوای شهرها از جمله تهران، منابع متحرک تولید آلودگی شامل خودروهای سبک و سنگین هستند. وسایط نقلیه‌ی موتوری بیشتر از هر فعالیت دیگری هوا را آلوده می‌کنند. به گزارش سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا تقریباً نیمی از مونوکسیدکربن هیدروکربنها و اکسیدهای نیتروژنی که بر اثر احتراق سوخت‌های فسیلی وارد جو میشوند از اگزوز اتومبیل‌های بنزینی و دیزلی خارج می‌شوند (Gholizadeh, 2009).

مطالعات متعددی در خصوص اثرات بهداشتی و

آلودگی هوا به طرق گوناگونی می‌تواند آثار زیانبار کوتاه مدت و بلند مدت بر سلامت انسانها بگذارد. برخی بیماری‌ها مانند آسم، بیماری قلبی و ریوی در مقابل آلودگی هوا تشدید می‌شوند. آلودگی هوا رشد جنین را کند کرده و باعث کاهش بهره‌هوشی در کودکان می‌شود. هزینه‌های درمانی و کاهش بهره‌وری در محل کار می‌تواند سالانه میلیاردها دلار هزینه بر جامعه تحمیل کند. آمارها حاکی از آن است که سلامت شهروندان در روزهای آلوده به مخاطره جدی می‌افتد. به طوری که در سال ۱۹۵۲ در شهر لندن طی یک هفته آلودگی هوا ۴۷۰۰ نفر جان خود را از دست دادند (Ghiasiddin, 2006).

آلودگی ناشی از مصرف انرژی و اثر آن بر سلامت انسان در کلان شهری مثل تهران به دلیل رشد فزاینده جمعیت، توزیع و ساختار جمعیت، موقعیت جغرافیایی و شرایط تاثیرگذار حاکم بر آن از یک سو و تأمین خدمات مشتق از انرژی برای این جمعیت رو به رشد از دیگر سو از اهمیت سیاست‌گذاری بالایی برخوردار است (Dehghani, 2007).

خارجی از دیدگاه آلاینده‌ها مربوط به آلاینده PM با سهم ۸۳ درصد و ازدیدگاه بخش‌های تولیدکننده آلاینده‌ها، مرتبط به بخش حمل و نقل با سهم ۹۴ درصد و از دیدگاه سوخت مصرفی مربوط به فرآورده نفت و گاز با سهم ۷۲ درصد می‌باشد. همچنین مجموع هزینه‌های خارجی آلودگی هوای ناشی از این چهار آلاینده ۰/۱۸ درصد از تولید ناخالص داخلی ایران و ۰/۷۱ درصد از تولید ناخالص تهران برآورد شد. در این تحقیق از روش Cost Plus جهت واقعی‌سازی هزینه‌های خارجی با دو رویکرد نرخ تورم و نرخ ارز استفاده شده است که در رویکرد اول هزینه‌های خارجی ۲۴/۸۸ هزار میلیارد ریال و در رویکرد دوم ۶۶/۷۴ هزار میلیارد ریال برآورد شده است.

باهوش کیوانی (Bahoosh Keivani, 2010) در سال ۱۳۹۰ در مطالعه‌ای به برآورد هزینه‌های اقتصادی انتشار سه گاز NOx, CO و SO₂ از بخش انرژی کشور به منظور بررسی تأثیر انتشار گازهای گلخانه‌ای و هزینه‌های آن در سطح کلی فعالیت‌های اقتصادی ایران طی دو دهه اخیر پرداخته‌اند. بدین منظور پس از گردآوری داده‌ها با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی و از طریق نرم افزار Eviews6 به تجزیه و تحلیل داده‌ها پرداخته‌اند. مدل مورد استفاده نیز مدل کاب - داگلاس می‌باشد. که نتایج نشان می‌دهد یک درصد افزایش در انتشار این گازها منجر به کاهش GDP به میزان ۰/۱۸۸ درصد خواهد شد.

پروژه افکام (Aphekom, 2013) متشکل از ۶۰ دانشمند به مدت سه سال (۲۰۱۱-۲۰۰۸) روی ۲۵ شهر از ۱۲ کشور اروپایی برای توسعه اطلاعات جدید و ابزارها برای مسئولین به منظور کاهش آلودگی هوا و پیامدهای آن بر سلامتی در اروپا انجام گرفته است. این پروژه به روش HIA برای مدیریت یک بروز آوری دقیق و کامل از پیامدهای آلودگی هوا بر سلامتی در ۲۵ شهر اروپایی با نهایتاً نزدیک به ۳۹ میلیون سکنه انجام شده است، که نشان می‌دهد یک کاهش ۱۰ میکروگرم بر متر مکعبی از قرارگیری طولانی مدت با ذرات ریز PM_{2.5} ممکن است

اقتصادی آلودگی هوا صورت گرفته است. خوش اخلاق و ستوده نیا (Khoshakhlagh and SotudehNia, 2012) در سال ۱۳۹۰ در مطالعه‌ای به برآورد هزینه‌های آلودگی هوا در شهر یزد که شامل عوامل مؤثر بر میزان غلظت آلاینده‌های هوای شهر یزد و هزینه‌های زیست محیطی ناشی از آن بر ساکنین این شهر با استفاده از روش ارزشیابی مشروط و برآورد تولیدات ناخالص تعدیل شده می‌باشد پرداخته‌اند. در این تحقیق از مدل تعادل مواد به عنوان مدل استفاده شده است. برآورد معادلات نیز با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی و نرم‌افزار Eviews انجام گرفته است. نتایج حاصله نشان می‌دهد تولید خالص داخلی تعدیل شده به دلیل هزینه‌های زیست محیطی مبلغ ۴۸۸،۷۹۳،۰۶۳۰ ریال در سال ۱۳۸۹ می‌باشد و سطح واقعی رفاه شهروندان یزدی را نشان می‌دهد.

اصفهانیان و دیگران (Esfahanian et al., 2013) نیز در سال ۱۳۹۰ در مطالعه‌ای به برآورد هزینه‌های خارجی آلودگی هوای کلان شهر تهران پرداختند که در این تحقیق میزان هزینه‌های خارجی ناشی از آلودگی هوای کلان شهر تهران برای آلاینده های PM، NOx، CO و SO₂ برآورد شده است. به این منظور ابتدا با استفاده از رویکرد بالا به پایین میزان انتشار چهار آلاینده ذکر شده ناشی از مصرف فرآورده‌های نفتی، گاز مایع و سوخت گاز طبیعی از بخش‌های حمل و نقل، صنعت، خانگی و تجاری، ارتش و ادارات و همچنین نیروگاه و پالایشگاه برآورد شده است. سپس هزینه‌های خارجی ناشی از این انتشار براساس قیمت‌های ارائه شده در مطالعه بانک جهانی و سازمان حفاظت محیط زیست ایران در سال ۱۳۸۱، از دیدگاه‌های مختلف محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که هزینه‌های خارجی ناشی از آلودگی هوای چهار آلاینده ذکر شده برای کلان‌شهر تهران در سال ۱۳۹۰ مبلغی در حدود ۱۸ / ۰۶ هزار میلیارد ریال (براساس قیمت‌های ثابت ۱۳۸۱) می‌باشد. بیشترین هزینه

۲۲ ماه برای یک فرد ۳۰ ساله یا بزرگتر، امید به زندگی را بسته به شهر و میزان PM_{2.5} بالاتر ببرد. فراتر رفتن از خط راهنمای کیفیت هوای WHO^۱ بر PM_{2.5} منجر به مسئولیت مرگ نزدیک به ۱۹۰۰۰ نفر هر سال و عامل بیش از ۱۵۰۰۰ مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی است. افکام همچنین برآورد کرده است که سود مالی مربوط به سلامتی ناشی از پیروی کردن از خط راهنمای WHO می‌تواند در نهایت سالانه ۳۱/۵ بلیون یورو، شامل صرفه‌جویی در هزینه‌های سلامت، هزینه‌های غایب و نامحسوس مثل امید به زندگی و کیفیت زندگی باشد.

ال مازرال و دیگران (Mauzerall et al., 2005) در سال ۲۰۰۴، در مطالعه‌ای هزینه انتشار گاز NO_x بر سلامتی را با استفاده از معرفی یک مفهوم تجزیه و تحلیل سنجش صدمه به سلامتی توسط ازن که از NO_x ساخته شده به صورت کیفی به دست آورده‌اند. همچنین یک تغییر جهت از یک واحد صدور NO_x از یک مکان یا زمان به جای دیگر که منجر به تغییرات بزرگ بر سلامت به خاطر ساختار و موقعیت ازن می‌شود را نشان می‌دهد. روش کار با مدل CAM_x^۲ می‌باشد که این مدل پراکندگی، انتشار و واکنش‌های شیمیایی و فوتوشیمیایی ازن تروپوسفری را به وسیله حل شدن تداوم تساوی برای هر یک از گونه‌های شیمیایی در یک نقشه سه بعدی را نمایان می‌سازد. نتایج پیامدهای مختلف در انتشارات ازن بیولوژیکی تولید شده را نشان می‌دهد و اهمیت انبوهی جمعیت در تعیین نتایج مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی و مرگ و میر تنفسی خلاصه شده است. این عوامل با توجه به توانایی مدل مورد استفاده انتخاب شده‌اند.

بورتاو (Burtaw et al., 2001) نیز در سال ۲۰۰۱، هزینه مؤثر کاهش صدور NO_x از تولید نیروی برق را به دست آورده‌اند و به تجزیه و تحلیل منافع و هزینه‌های سیاست‌ها برای کاهش صدور NO_x از تولید نیروی برق در امریکا پرداخته‌اند. این تجزیه و تحلیل سه سناریوی کاهش NO_x را در بر می‌گیرد: یک کلاهی فصلی

تابستان در آمریکای شرقی که با ناکس EPA^۳ به نام SIP پوشیده شده، یک کلاهی سالیانه در SIP یکسان به نام ناحیه‌ای و یک کلاهی سالیانه ملی. روش کار براساس مدل Haiku electricity market model می‌باشد که برای تلفیق برآوردها با تاییدی از EPA، US DUE و RFF توسعه پیدا کرده است. مدل تقاضای نیروی برق، هزینه برق، ترکیب عرضه نیروی برق و انتشارات آلاینده‌های عمده شامل NO_x، SO₂، جیوه و CO₂ را نمایش می‌دهد. ژنراتور مدلی را براساس حداقل جریان کوتاه ناپایدار تولید گزارش می‌کند. پارامترهای فنی در مدل برای بازتاب فرض نقطه میانی با EIA و تغییرات فنی دیگر سازمان‌های مربوطه، ظرفیت انتقال و یک تعدادی از فاکتورهای دیگر تنظیم شده‌اند. نتیجه اصلی که به چشم می‌آید این است که سود ویژه تحت قانون سالانه SIP، 400 میلیون دلار بیشتر از قانون فصلی SIP است. همچنین با در نظر گرفتن یکسری از هزینه‌ها به نمایندگی از هزینه‌های اجتماعی، سود ویژه حدود ۱/۴- بلیون دلار در سناریوی SIP فصلی، ۰/۹۵- بلیون دلار در سناریوی سالیانه و ۱/۷- بلیون دلار در سناریوی سالیانه ملی می‌باشد. با توجه به اینکه سود ویژه در هر سه سناریو منفی شده‌اند، پس سود مرتبط جداگانه به تنهایی برای هیچ یک از سناریوها برای عبور از هزینه-سود کافی نبوده است. در نتیجه سیاست گذاری برای کاهش انتشار NO_x به صورت یکسال کامل در آمریکای شرقی ۲۷ درصد بیشتر از هزینه سیاست گذاری برای ازن تابستانه ۵ ماهه است، در مقایسه سود ناشی از کاهش یک ساله نگرانی اتمسفری به صورت جداگانه بیشتر از سود دوتایی از یک برنامه است که فقط برای ازن فصلی تدوین می‌شود.

هدف از این تحقیق برآورد هزینه‌های خارجی ناشی از گاز NO₂ بر مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی شهروندان تهرانی با استفاده از مدل AirQ^۴ در سال ۱۳۹۲ می‌باشد. در این تحقیق غلظت‌های مختلف گاز NO₂ و اثرات آن بر مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی

آلودگی در قسمت اطلاعات کیفیت هوا وارد می‌شود و گزینه CALC انتخاب می‌گردد که توسط آن وارد صفحه پارامترهای نرم‌افزار می‌شود (Khanaliakbari, 2013). در این صفحه نیز شاخص‌های BI, RR و AP برآورد گردیده است (شاخص‌های مذکور برای مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی ناشی از گاز NO₂ توسط WHO قبلاً فرض شده است) تعداد موارد و یا تعداد تجمعی یک پیامد در اسکرین جدول قابل مشاهده است. در جدول به دست آمده بر اساس غلظت‌های مختلف آلاینده NO₂ تعداد و درصد فرد - روز، درصد تجمعی، خطر نسبی، تعداد موارد، درصد موارد، درصد و تعداد تجمعی در صد هزار نفر توسط مدل ارائه شد. این اطلاعات با استفاده از یک مدل اقتصادی تجزیه و تحلیل گردید. برای تحلیل این نتایج و اقتصادی نمودن آن‌ها، به دلیل عدم اطلاع از تعداد زن و مرد و کودک و سن آن‌ها، به سازمان بهداشت زهرا (س) مراجعه و آمار مرگ و میر خام در سال ۱۳۹۲ اخذ شد. سپس حد غیرمجاز برای آلاینده NO₂ براساس استاندارد EPA (Anonymous, 2017) در نظر گرفته شد و مشخص شد هر گاه غلظت آلاینده NO₂ در یک ساعت از ۲۴ ساعت شبانه روز از ۱۰۰ ppb (۱۸۹ ppm) فراتر رفت، آن روز، روز بحرانی از نظر این آلاینده می‌باشد. با توجه به این نکته، در ایستگاه‌های مختلف و روزهای مختلف سال، روزهای غیرمجاز تعیین شد و با توجه به داده‌های اخذ شده از سازمان بهداشت زهرا (س)، مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی در روزهای آلوده مشخص شد و تعداد افراد، جنسیت و گروه‌های سنی تعیین شد و از این میزان درصد گرفته شد. ضمناً مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی در این تحقیق شامل سکت قلبی، بیماری‌های ایسکمیک قلبی، ایست قلبی و نارسایی قلبی می‌باشد. تعداد روزهای آلوده ۲۱۵ روز بود و تعداد کل مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی در روزهای آلوده ۹۹۰۶ نفر و در روزهای پاک ۷۵۰۲ نفر تعیین گردید. همچنین در روزهای آلوده تعداد مرگ و

شهروندان تهرانی به صورت جداگانه بررسی و هزینه‌های خارجی مربوطه با استفاده از روش‌های برآورد اقتصادی محاسبه می‌گردد و نتایج به صورت نمودار نمایش داده می‌شود.

مواد و روش‌ها

در سال ۱۳۹۲ تعداد ۳۹ ایستگاه سنجش آلودگی هوا در تهران مربوط به شرکت کنترل کیفیت هوا و سازمان محیط زیست موجود بود که از این تعداد ۱۸ ایستگاه به صورت فعال در طول یکسال وجود داشت و در این تحقیق در نظر گرفته شد مدل مورد استفاده، مدل نرم افزار AirQ می‌باشد که توسط دفتر اروپایی محیط زیست و سلامت سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۰۴ ارائه و در کمی سازی اثرات بهداشتی آلودگی هوا کاربرد دارد. ابتدا داده‌های خام کیفیت هوا مربوط به آلاینده معیار یعنی NO₂ از سازمان‌های متولی کیفیت هوا در سال ۱۳۹۲ بصورت فایل اکسل اخذ گردید. در مرحله بعد با توجه به اینکه داده‌ها بصورت ساعتی بودند، داده‌ها بصورت میانگین روزانه درآورده شدند. همچنین داده‌های اخذ شده بصورت حجمی (ppb) بودند و واحدهای مورد نیاز مدل بصورت جرمی ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) خواسته شده بود، بنابراین داده‌ها برای رساندن به واحد مورد نظر در عدد $1/89$ ضرب شد ($1\text{ppb}=1.89\mu\text{g}/\text{m}^3$) و پس از اصلاح دما و فشار از طریق دستور filter از میانگین‌های بدست آمده تعداد روزهای دارای غلظت‌های مورد نیاز مدل تعیین شد سپس ایستگاه‌هایی که دارای اطلاعات ناقص بودند حذف گردید و داده‌ها وارد فایل اکسل شده و براساس میزان غلظت و تعداد روزهای دارای غلظت مورد نظر، کمینه و بیشینه تابستان و زمستان و سالیانه و... مرتب گردید. همچنین تعداد روزهای آلوده در غلظت‌های مختلف آلاینده NO₂ و میانگین سالانه زمستان و تابستان، صدک سالیانه و اطلاعات مربوط به ایستگاه‌هایی با بیشترین و کمترین

میر کودکان ۵ - ۰ ساله ۳۲۲ مورد (۳/۲ درصد)، زنان ۴۱۷۵ مورد (۴۲/۱ درصد) و مردان ۵۴۰۹ مورد (۵۴/۶ درصد) می‌باشد. همچنین میانگین سن کودکان ۱ سال، زنان ۷۲/۷ سال و مردان ۶۸/۷ سال می‌باشد که با دانستن این اطلاعات می‌توان خروجی بدست آمده از مدل نرم‌افزار را تحلیل نمود. نتایج بدست آمده، در جدول استخراج شده توسط مدل قرار داده شد و در غلظت‌های مختلف تعداد روزهای آلوده، تعداد مرگ و میر در روز، میانگین سنی و جنسیت و گروه سنی مشخص شد تا خسارت اقتصادی تحمیل شده محاسبه شد. میانگین سالانه غلظت آلاینده NO₂ در ایستگاههای مورد بررسی شهر تهران در سال ۱۳۹۲، ۷۶/۵ ppm بود که در مقایسه با میزان استاندارد جهانی (۱۸۹ ppm) تفاوت زیادی دارد و میزان کمتری را نشان می‌دهد. میزان بیشینه این آلاینده نیز ۱۸۱ ppm بود که این میزان هم از استاندارد جهانی کمتر می‌باشد. همچنین در مجموع تعداد موارد تجمع مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی در اثر گاز NO₂ در سال ۱۳۹۲، تعداد ۸۲۷/۳ مورد بدست آمده که از این تعداد ۳۴۸/۲ مورد زن، ۴۵۱/۷ مرد و ۴/۲۶ مورد کودک بوده‌اند و میانگین سنی کل (زن+مرد+کودک) ۵۱/۹ سال بوده که اگر این میزان از امید به زندگی در ایران که از بدو تولد ۷۳ سال می‌باشد کم شود، ۲۱/۱ سال بدست می‌آید که تعداد سال‌های از دست رفته عمر در اثر آلودگی ناشی از گاز NO₂ در موارد مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی در سال ۱۳۹۲ می‌باشد و در اینجا با روش‌هایی از جمله روش دیه، VSL^۵ و در آمد، هزینه‌های اقتصادی ناشی از این آلاینده محاسبه گردید. روش دیه یکی از روش‌های برآورد خسارت‌های مالی و اقتصادی می‌باشد که با توجه به اصول حاکم بر آن در سال‌های متمادی ثابت باقی مانده است و براساس جنسیت متفاوت می‌باشد. هر ساله ارزش ریالی آن طبق فتوای رهبری از طریق وزارت دادگستری به عنوان مبنای عملکرد حاکم قضایی و

شرکت‌های بیمه تعیین می‌شود، دیه کامل در سال ۱۳۹۲ مبلغ ۱,۱۴۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال می‌باشد که برای زنان این میزان نصف در نظر گرفته شده است. در فراوانی تجمع مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی که تعداد ۸۲۷/۳ نفر می‌باشد، تعداد ۳۴۸/۲ مورد زن و ۴۵۱/۷ مورد مرد و ۲۶/۴ مورد کودک بوده‌اند. با توجه به اینکه جنسیت تمامی کودکان بین ۵-۰ سال، در آمار سازمان بهشت زهرا (س) مشخص نبود، دیه کودکان بصورت دیه کامل فرض شد. فرمول زیر روش دیه را برای محاسبه خسارت اقتصادی نشان می‌دهد:

$$EC = P_1 \times f_1 + P_2 \times f_2 \quad (1)$$

که در آن EC: هزینه اقتصادی ناشی از عمر از دست رفته، P₁: دیه مرد ایرانی، P₂: دیه زن ایرانی، f₁: تعداد مردهای ایرانی فوت شده در اثر آلودگی، f₂: تعداد زنان ایرانی فوت شده در اثر آلودگی می‌باشد (Hosseini, 2004).

روش دیگری که از آن استفاده شده است، روش VSL یا ارزش آماری عمر انسان می‌باشد. در این روش از فرمول:

$$EC = VSL \times Dt \quad (2)$$

که در آن EC: هزینه اقتصادی ناشی از عمر از دست رفته، VSL: ارزش آماری عمر هر انسان، D_t: تعداد انسان از دست رفته به خاطر آلودگی می‌باشد (Hosseini, 2004)، VSL ارزش جان آماری می‌باشد و عبارتست از میزان تمایل به پرداخت افراد جامعه برای کاهش یک مورد مرگ از بین افرادی که فوت می‌کنند که مطابق ارزیابی وزارت بهداشت در سال ۲۰۰۲، مقدار آن بین ۱۰۰ هزار تا ۲۵ میلیون دلار آمریکا تعیین گردیده است و بسته به کشور مورد بررسی متفاوت است (Zahed and Rezayi, 2005). در این پژوهش این میزان براساس استاندارد WHO ۳۸۰ هزار دلار آمریکا در نظر گرفته شده است (Anonymous, 2014).

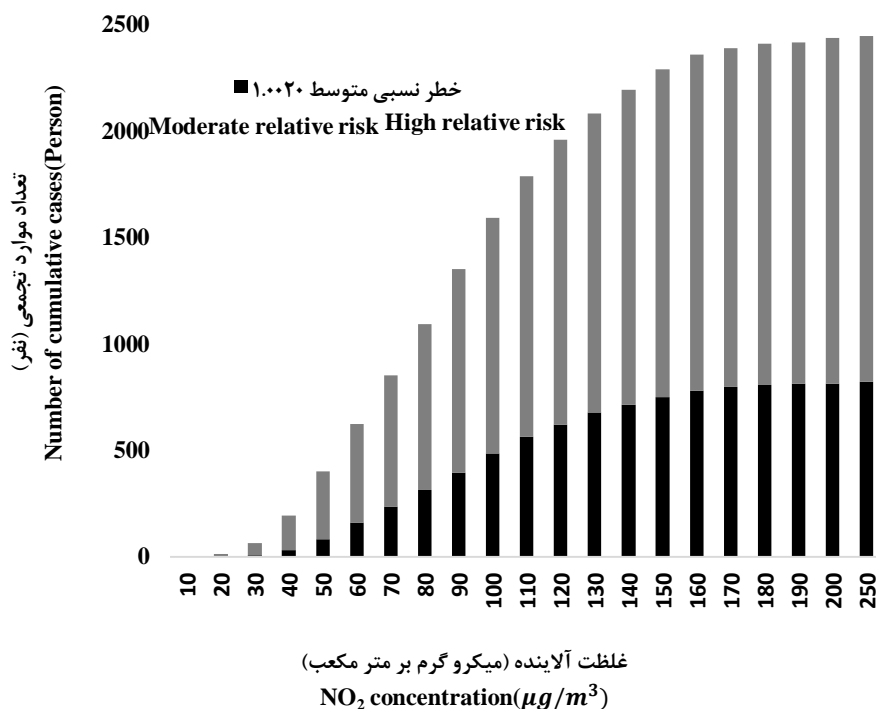
در روش درآمد نیز جهت محاسبه هزینه سال‌های از دست رفته عمر می‌بایستی ارزش حال در آمدهای

نتایج و بحث

نتایج مدل نرم افزاری AirQ به صورت نمودار نشان داده شده است.

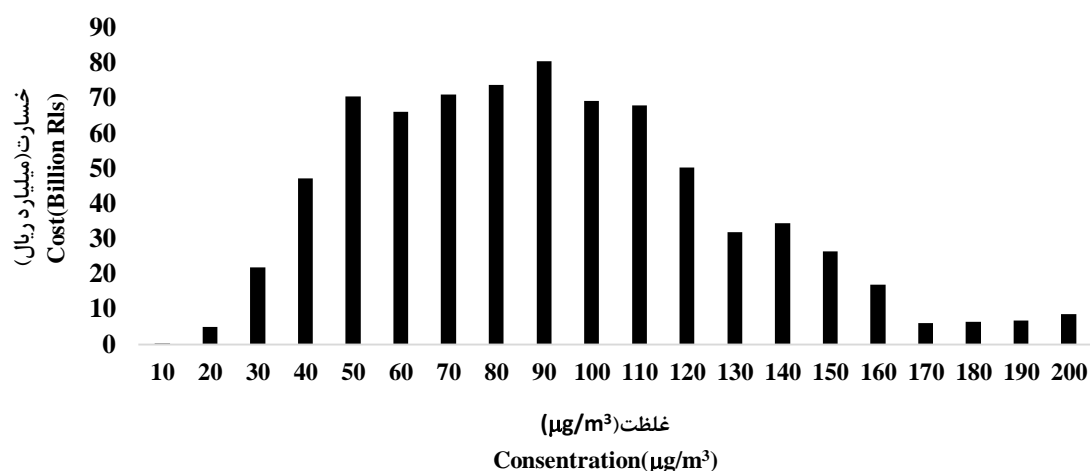
نتایج مدل نرم افزاری AirQ در شکل ۱ نشان داده شده است. در این نمودار مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی - عروقی منتسب به NO₂ به صورت تجمعی در سال ۱۳۹۲ در شهر تهران نمایش داده شده است. رنگ روشن تر خطر نسبی متوسط (RR=۱/۰۰۲۰) و رنگ تیره تر خطر نسبی بالا (RR= ۱/۰۰۴۰) را نمایان می‌سازد. این نمودار توسط خود مدل ارائه شده است. نتایج تحلیل اقتصادی نیز از سه روش دیه، VSL و درآمد بدست آمد. برای فراوانی تجمعی از روش دیه مقدار ۷/۴×۱۰۱۱ ریال بدست آمد.

آتی فرد لحاظ گردد در این مطالعه از درآمد سرانه به عنوان مبنای محاسبه استفاده شده است. که از تقسیم تولید ناخالص داخلی (۹,۳۴۳,۰۷۰ میلیارد ریال تولید ناخالص داخلی به قیمت جاری) بر جمعیت ایران در سال ۱۳۹۲ (۷۶/۹۴۲ میلیون نفر) (Anonymous, 2016) به دست می‌آید و درآمد سرانه هر فرد در سال ۱۳۹۲ را نشان می‌دهد. از طرف دیگر سن افراد در این روش اهمیت دارد و گروه ۳۰-۶۵ سال در نظر گرفته شده است و برای این گروه سنی میانگین طبقه یعنی ۴۷/۵ سال به عنوان شاخص سن فوت در نظر گرفته شده است. تعداد افراد در این محدوده سنی از آمار موجود استخراج شده و افراد با سن کمتر و یا بیشتر حذف گردیده‌اند. همچنین با در نظر گرفتن شاخص سن فوت و اختلاف آن از امید به زندگی در ایران از بدو تولد که ۷۳ سال است، عدد ۲۵/۵ سال به دست آمده است.

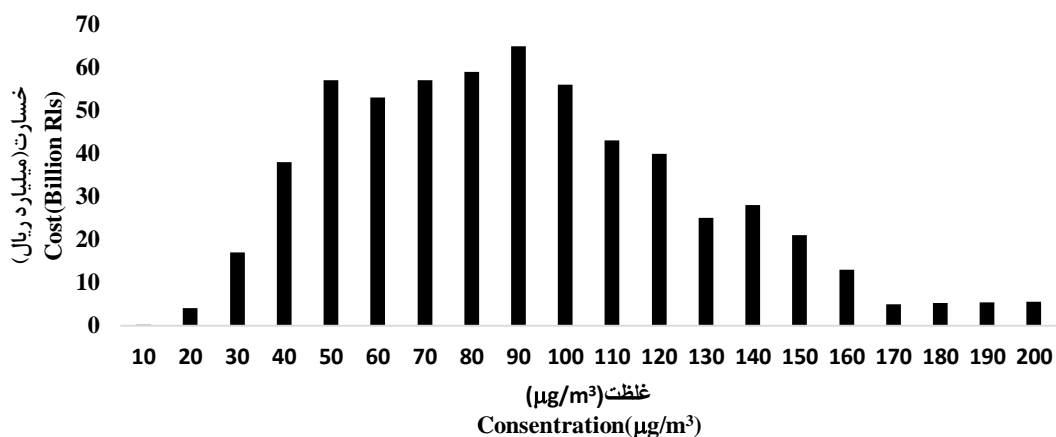


شکل ۱- برآورد مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی منتسب به NO₂ توسط مدل در سال ۱۳۹۲ در شهر تهران

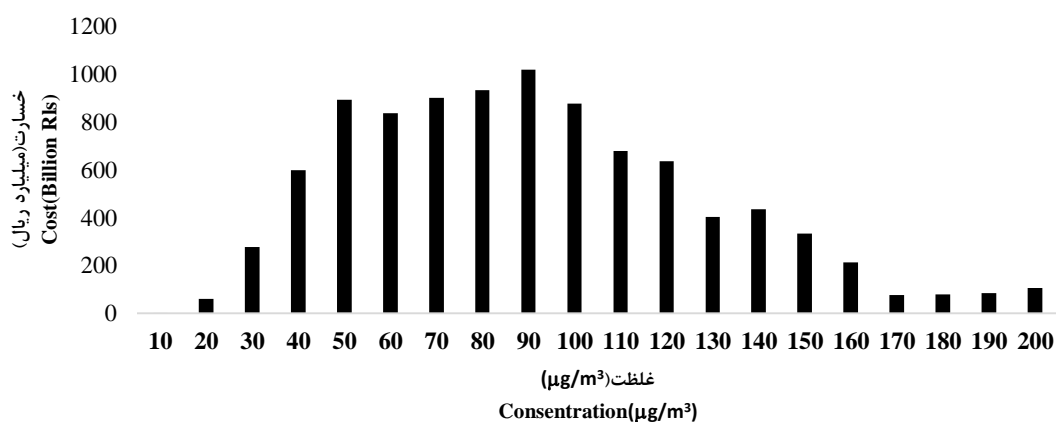
Fig. 1- Estimation by modelling of cardiac mortality in Tehran due to NO₂ during 2013



شکل ۲- خسارت اقتصادی ناشی از آلاینده NO₂ بر مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی در سال ۱۳۹۲ به روش دیه (جبران خسارت)
 Fig. 2- Economic cost of NO₂ pollution due to cardiac deaths in 2013 based on the blood atonement method



شکل ۳- خسارت اقتصادی ناشی از گاز NO₂ برای مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی در سال ۱۳۹۲ به روش VSL
 Fig. 3- Economic cost of NO₂ pollution due to cardiac mortality in 2013 based on VSL method



شکل ۴- خسارت اقتصادی ناشی از گاز NO₂ برای مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی در سال ۱۳۹۲ به روش درآمد
 Fig. 4- Economic cost of NO₂ pollution due to cardiac mortality in 2013 based on the income method

داراست و بعد از آن روش دیه و درآمد در رتبه بعدی قرار دارند. روش VSL نشان دهنده میزان تمایل به پرداخت افراد جامعه برای کاهش یک مورد از مرگ و میرهاست که در این جا به یک مورد از مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی اطلاق شده است. روش دیه ارزش انسان براساس استاندارد کشور ایران را نشان می‌دهد (۳۲ هزار دلار) و روش VSL ارزش آماری حیات انسان براساس استاندارد جهانی WHO (Anonymous, 2014) می‌باشد (۳۸۰ هزار دلار) که ۱۱/۸ برابر بیشتر از استاندارد ایران است. در روش دیه نیز با توجه به اینکه دیه زن در ایران نصف یک دیه‌ی کامل در نظر گرفته می‌شود، بنابراین این روش را یک بار برای مردان، یک بار برای زنان و یک بار برای مجموع این دو در نظر گرفته شد. روش درآمد نیز برای افراد دارای درآمد جامعه در نظر گرفته شده و برای سن خاصی محاسبه می‌شود. (۶۵-۳۰ سال) هزینه‌های اقتصادی برای مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی مربوط به آلاینده NO₂ در شهر تهران و در سال ۱۳۹۲ در غلظت $90-99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ که بیشترین تلفات را نشان داد، به روش VSL، $1,020,300,000,000$ ریال، روش دیه بدست آمد. برای فراوانی تجمعی نیز از روش VSL $9,431,220,000,000$ ریال، روش دیه $7/4 \times 10^{11}$ و از روش درآمد 6×10^{11} ریال بدست آمد (فراوانی تجمعی کل میزان مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی مربوط به آلاینده مذکور را بدون در نظر گرفتن غلظت‌های مختلف آلاینده نشان می‌دهد). به منظور ارزیابی نتایج برآورد اقتصادی، مقایسه‌ای با مطالعات پیشین انجام می‌گردد که در همین راستا، اصفهانیان و همکاران (Esfahanian, 2013) نیز مقادیر مشابه‌ای را جهت هزینه آلودگی، گزارش نمودند. از این رو پیشنهاد می‌گردد در مرحله اول منابع آلاینده با حداقل هزینه بر فایده اصلاح شود. بعنوان مثال با وجود اینکه خودروهای سنگین شهر

شکل ۲ خسارت اقتصادی ناشی از آلاینده NO₂ را برای مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی به روش دیه در سال ۱۳۹۲ در شهر تهران نشان می‌دهد که از مجموع دیه زن و مرد بدست آمده است و در این نمودار بالاترین میزان مرگ و میر برای غلظت بین $90-99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در نظر گرفته شده است. در بررسی نتایج به صورت فراوانی تجمعی این میزان برای مرگ و میرهای ناشی از بیماری‌های قلبی ناشی از گاز NO₂ به روش VSL که تعداد ۸۲۷/۳ مورد بود، $9,431,220,000,000$ ریال می‌باشد. شکل ۳ خسارت اقتصادی ناشی از گاز NO₂ برای مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی در سال ۱۳۹۲ در شهر تهران به روش VSL را نشان می‌دهد. بیشترین میزان هزینه مبلغ $34,010,000$ دلار و مربوط به غلظت‌های بین $90-99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ آلاینده NO₂ می‌باشد. نتایج اقتصادی بدست آمده از روش درآمد نشان می‌دهند که از مجموع ۹۹۰۶ مورد مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی، بطور متوسط تعداد ۲۳۵۴ مورد در سن ۶۵-۳۰ سال قرار داشته‌اند که ۲۳/۷ درصد جمعیت مذکور را تشکیل می‌دهند. در مجموع ۸۲۷/۳ نفر (فراوانی تجمعی)، ۱۹۵ نفر در سن ۶۵-۳۰ سالگی بوده‌اند که هر یک به اندازه ۲۵/۵ سال، سال‌های از دست رفته عمر داشته‌اند و در مجموع ۴۹۷۲/۵ سال است که با در نظر گرفتن مبلغ درآمد سرانه هر فرد در ایران که ۱۲۱,۴۲۸,۴۶۰ ریال می‌باشد، هزینه اقتصادی تحمیل شده مبلغ 6×10^{11} ریال بدست آمده است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از اثر بهداشتی مربوط به مدل AirQ نشان داد که در غلظت $90-99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ بیشترین تعداد موارد مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی در سال ۱۳۹۲ وجود دارد که این میزان بیانگر اثر سوء آلاینده NO₂ می‌باشد. نتایج حاصل از تحلیل اقتصادی نیز نشان داد که هزینه اقتصادی از روش VSL بیشترین میزان را

قیمتی انرژی، تاثیر این خسارت زیست محیطی نیز می-
بایست لحاظ شود که در نتیجه آن استفاده از انرژی های
پاک مورد استقبال قرار گیرد.

پی‌نوشت‌ها

¹ World Health Organization

² Comprehensive AirQuality Model with extensions

³ Enviromental Protection Agency

⁴ Air Quality Health Impact Assessment

⁵ Value Of Statical Life

تهران (مینی بوس، اتوبوس و کامیون) تنها ۲/۴ درصد از
خودروهای شهر تهران را تشکیل می‌دهند، بیش از ۴۱٪
آلودگی NO_x شهر تهران را تولید می‌کنند (Shahbazi,
2016) که از این جهت نیازمند توجه در سیاستگذاری‌های
کلی می‌باشد. همچنین، با توجه به هزینه تحمیلی برای
هر کیلووات ساعت برق تولیدی، که معادل ۱۳۳۰ ریال
(Rahimi *et al.*, 2014) می‌باشد، در سیاستگذاری‌های

منابع

Anonymous, 2014. Guidance on treatment of the
economic value of a statistical life (VSL) in US
department of transportation Analyses. office of
secretary of transportation report. USA

Anonymous, 2016. Iran GDP. Available at:
<http://www.tradingeconomics.com/iran/gdp>

Anonymous, 2017. Air Quality Planning and
Standards. Available online at:
<https://www.epa.gov/airquality/cleanair.html>

Aphekcom, 2013. Summary Report of the Aphekcom
project 2008-2011. Available online at:
<http://www.aphekcom.org>

Bahoosh Keivani, S., 2010. The Estimated
Economic Costs of CO₂, SO₂, NO_x Emissions
from the Energy Sector of the Country. M.Sc.
Thesis. University of payam Noor. (In Persian with
English abstract).

Burtraw, D., Palmer, K., Bhavikar, R. and Paul, A.,
2001. Cost-effective reduction of NO_x emissions
from electricity generation. Journal of the Air &
Waste Management Association. 51(10), 1476-
1489

Dehghani, T., 2007. Technical and economic
evaluation of LPG, CNG and Petroleum fuels in

the transport sector of the country. In proceedings
6th National conference on energy, Tehran, Iran.
(In Persian with English abstract).

Esfahanian, V., 2013. Estimates of External Costs
of Air Pollution In Tehran. Second National
Conference of Noise and Pollution. In proceedings
of 6th National conference on energy, Tehran, Iran.
(In Persian with English abstract).

Ghiasiddin, M., 2006. Air pollution, Second ed.
Tehran University Press., Tehran, Iran. (In Persian
with English abstract).

Gholizadeh, M. and Farajzadeh, M., 2009.
Tehran's air Pollution an Mortality. Hakim
Quarterly. 12(2), 65-71. (In Persian with English
abstract).

Hosseini, N., 2004. The Estimated Social Costs of
Fossil Fuels on Human Resources In Tehran. M.Sc.
Thesis. Azad University, Branch of Tehran Markaz,
Tehran, Iran. (In Persian with English abstract).

KhanAliakbari, K., 2013. Estimate the health
Impact of Tehran air Pollution on the health of the
AirQ model. M.Sc. Thesis. Shahid Beheshti
medical university, Tehran, Iran. (In Persian with
English abstract).

Khoshakhlagh, R. and SotudehNia, M., 2012. Costs of Air Pollution in the City of Yazd. *Journal of Environmental Economy and Energy*. 4, 43-65. (In Persian with English abstract).

Mauzerall, D.L., Sultan, B., Song kim, N., and Bvad ford, D., 2005. NOx emissions from large point sources: variability in ozone production, resulting health damages and economic costs. *Atmospheric Environment*. 39(16), 2851-2866.

Rahimi, N., Samadyar, H., and Nikkhah monfared, Mahmood., 2014. Social (external) costs of NOx, SO₂, and CO₂ emission from energy sector (power plants) in. *Environmental science and technology Quarterly*. 16(3), 107-117. (In Persian with English abstract).

Shahbazi, H., Babaei, M., Hosseini, V., and Afshin, H., 2016. The relative contributions of mobile sources to air pollutant emissions in Tehran. *Journal of Emission Control Science and Technology*. 2(1), 44-56. (In Persian with English abstract).

Zahed, F. and Rezayi. R., 2005. External Cost Estimates of the Social Environment the Country Road. In proceedings of first conference on Road Traffic Accident, Tehran, Iran. (In Persian with English abstract).





Environmental Sciences Vol.15 / No.1 / Spring 2017

89-102

Estimated economic damage of cardiac deaths in Tehran due to NO₂ gas

Atieh Panahi¹, Fathollah Ommi,^{1*} and Yusef Rashidi²

¹ Department of Air Space, Engineering Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

² Department of Environmental Technology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: June 25, 2016

Accepted: May 14, 2017

Panahi, A., Ommi, F. and Rashidi, Y., 2017. NO₂ gas estimated economic damage of cardiac death in Tehran. *Environmental Sciences*. 15(1):89-102.

Introduction: Air pollution can have devastating short- and long-term consequences on human health in different ways (Dehghani, 2007). The vulnerability of individuals to air pollution varies. Some diseases, such as asthma and pulmonary heart disease, are exacerbated by air pollution while it can also effect foetal development and lowers child IQ (Ghiasiddin, 2006). The statistics show that the number of patients who visit the emergency departments due to high blood pressure and heart attacks significantly increases on polluted days in Tehran. The costs of polluted air on health care run to billion dollars per year (Esfahanian, 2013).

Materials and methods: This goal of this study was to determine economic cost of the impact of NO₂ pollution in Tehran's air on cardiovascular death using health effect determination software. Firstly, primary data was gathered from responsible organizations. Then, this volume based data (ppb) was converted into mass based data (µg/m³) and the required data, such as the number of polluted days at various concentrations of NO₂ and its yearly average in winter and summer, annually percentile and data from air pollution control stations with maximum and minimum values were extracted. Based on this data, AirQ software results showed the number of cardiovascular deaths due to NO₂ pollution. These results were then compared with data from *Behesht-e Zahra* (Tehran's main cemetery) and the consequent economic cost calculated using three methods of VSL, blood atonement and income.

Result and discussion: Results indicating that cumulative cardiovascular deaths due to NO₂ pollutant in 2013 numbered 827.3 cases of which 348.2 were women, 451.7 were men and 4.26 were children. The total average age of all cases was 51.9 which, if reduced from life expectancy in Iran which has reached 73 years, shows that the lost life expectancy due to NO₂ pollution reached to 21.1 years in 2013. Economic costs imposed by blood

* Corresponding Author. *E-mail Address:* fommi@modares.ac.ir

atonement were calculated at 7.4×10^{11} Rials on the cumulative frequency which shows the total cumulative cardiac mortality in 2013 which, therefore, was estimated as 80,450,665,000 Rials at concentrations between $90-99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ with the maximum number of cardiac deaths (between $10 >$ to $400 \leq$). The results obtained from the VSL method show 9,431,220,000,000 Rials for total cumulative cardiac mortality in 1392 and 1,020,300,000 Rials for $90-99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ concentrations of NO_2 . Based on the income method results, the amount was calculated as 6×10^{11} Rials (for cumulative frequency) and $6/5 \times 10^{10}$ Rials (at $90-99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ of NO_2 concentration).

Conclusion: In general, according to the results, the majority of cardiovascular deaths due to NO_2 pollution were related to concentrations of between $90-99 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Furthermore economic costs calculated using the VSL method were greater than by the other mentioned methods.

Keywords: Economic cost, AirQ, Blood atonement method, VSL method, Income method.

