

ارزیابی اثرات خارجی آلودگی هوای ناشی از حمل و نقل شبکه شهری اصفهان

مزگان سلیمانی^۱

نعمت‌اله اکبری^{*۲}

بابک صفاری^۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۸

چکیده

امروزه کلان شهرهای زیادی در سرتاسر دنیا گریبان‌گیر آلودگی هوا هستند و تلاش‌های زیادی در جهت کنترل این آلودگی صورت می‌گیرد. از آنجایی که یکی از مهم‌ترین منابع آلودگی هوا، منابع متحرک هستند، در این مقاله سعی شده است تا برآوردی از هزینه‌های اقتصادی آلودگی هوای $PM_{2.5}$ منتشر شده توسط وسایل نقلیه موتوری انجام شود. در این راستا، ابتدا براساس نتایج مدل جمعی تعمیم‌یافته و با استفاده از سهم ترافیک از آلودگی، به برآورد غلظت آلاینده‌ی ایجاد شده توسط ترافیک پرداخته، سپس براساس مدل $AirQ^+$ اثرات بهداشتی آلودگی ارزیابی شده است. در نهایت با استفاده از رویکرد ارزش آماری زندگی و پرداخت‌های جبرانی (نرخ دیه)، به تخمین هزینه‌های اقتصادی ناشی از آلودگی هوای انتشار یافته توسط وسایل نقلیه موتوری برای شهر اصفهان در سال ۱۳۹۷ پرداخته شده است. نتایج بیانگر این است که ۱۵۰ نفر به علت آلودگی هوای ناشی از وسایل نقلیه موتوری دچار مرگ زودرس شدند. هزینه‌های اقتصادی براساس روش ارزش آماری زندگی به‌طور متوسط ۵۷.۹ میلیون دلار در سال برآورد گردید؛ همچنین این هزینه براساس روش دیه ۳۰.۴ میلیارد تومان در سال بر جامعه تحمیل شده است. ارزیابی اثرات بهداشتی آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین بخش‌های هزینه اجتماعی آلودگی هوا می‌باشد؛ چراکه با اجرای تحلیل‌های هزینه-فایده، می‌توان به معیار مناسبی برای اولویت‌بندی اقدامات کنترلی در جهت کاهش آلودگی هوا دست یافت.

کلیدواژه‌ها: ارزش‌گذاری اقتصادی، مدل جمعی تعمیم‌یافته، مدل $AirQ^+$ ، ارزش آماری زندگی، حمل و نقل

شهری.

طبقه‌بندی JEL: I11, O18, Q51, C14.

Email:
mozhgansoleymani@gmail.com

۱. دانشجوی دکتری اقتصاد شهری، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

Email: n_akbari@ase.ui.ac.ir

۲. استاد گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران (*نویسنده مسئول)

Email: b_saffari@ase.ui.ac.ir

۳. استادیار گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۱. مقدمه

امروزه بیشتر شهرهای پرجمعیت در جهان با معضل آلودگی هوا مواجه هستند و اصفهان هم از این قضیه مستثنی نیست. آلودگی هوا در خیلی از شهرهای ایران به سطح خطرناک رسیده، به طوری که غلظت آلاینده ذرات معلق کوچکتر از 2.5 میکرون در کلان شهرهای ایران بیشتر از سه برابر از سطح استاندارد ملی و راهنمای کیفیت هوای سازمان بهداشت جهانی بالاتر است (ارفعی نیا و همکاران، ۲۰۱۴؛ هگر و صراف^۱، ۲۰۱۸). 27% از روزهای هوای اصفهان در سال ۱۳۹۸، در وضعیت ناسالم بوده^۲ و اصفهان را به دومین شهر آلوده کشور پس از اهواز مبدل کرده است (شاخص کیفیت هوا، ۱۳۹۸). از مجموع کل آلاینده‌های منتشر شده در هوای اصفهان، 13% متعلق به صنایع شهری، 11% مربوط به بخش خانگی و 76% از کل آلاینده‌ها مربوط به وسایل نقلیه موتوری می‌باشد (کریمی و همکاران، ۲۰۱۶؛ ضرابی و همکاران، ۲۰۱۰).

رشد تعداد وسایل نقلیه موتوری طی سال‌های گذشته پیامدهای جدی اقتصادی و اجتماعی را برای افراد در پی داشته است. این مورد به طرز چشمگیری سبک زندگی شهری و همچنین فرصت‌های عظیم اقتصادی برای صنایع مختلف را تحت تأثیر قرار خواهد داد؛ از طرف دیگر، رشد سریع ناوگان حمل و نقلی چالش‌های را برای مقامات شهری ایجاد می‌کند؛ چراکه می‌تواند کیفیت هوا را به طور جدی تخریب کند و منجر به افزایش تراکم ترافیک شود. طبق گزارش‌های شرکت کنترل کیفیت هوای تهران 98% از کربن مونوکسید، 47% از اکسیدهای نیتروژن، 86% از ترکیبات آلی فرار و 70% از ذرات معلق کوچکتر از 2.5 میکرون منتشر شده در هوای تهران ناشی از بخش حمل و نقل است (شهسازی و خدام، ۲۰۲۰)؛ از سوی دیگر، بررسی‌ها نشان می‌دهد که مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر کیفیت هوا، غلظت ذرات معلق به‌ویژه $PM_{2.5}$ می‌باشد؛ بنابراین لازم است تا توجه ویژه‌ای به این آلاینده صورت گیرد (سلیمانی و امینی، ۲۰۱۷؛ دی مکر و همکاران^۳، ۲۰۱۸).

ذرات معلق نسبت به دیگر آلاینده‌ها پتانسیل نفوذ بیشتری در ریه‌ها داشته و اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت بیشتری مثل مرگ زودرس، افزایش علائم و بیماری‌های تنفسی، بیماری‌های قلبی-عروقی، کاهش کارایی ریه‌ها و سرطان را می‌تواند به‌همراه داشته باشد (لیو و همکاران^۴، ۲۰۱۸). طبق گزارش بانک جهانی (۲۰۱۶) هر ساله ۷ میلیون نفر به علت بیماری‌های منتسب به آلودگی هوا در سراسر جهان جان خود را از دست می‌دهند. همچنین طبق بررسی بانک جهانی ۴۰۰۰ نفر در تهران به علت انتشار آلاینده $PM_{2.5}$ در سال ۲۰۱۶ دچار مرگ زودرس شده‌اند (هگر و صراف، ۲۰۱۸). 10 میکروگرم

^۱. Heger & Sarraf

^۲. استاندارد سازمان حفاظت از محیط زیست ایران $AQI > 100$ می‌باشد.

^۳. De Marco et al.

^۴. Liu et al.

بر متر مکعب افزایش در غلظت $PM_{2.5}$ باعث افزایش ۴ درصدی ریسک مرگومیر ناشی از همه نوع مرگومیر، ۹٪ مرگومیر ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی، ۹٪ مرگومیر ناشی از سرطان ریه و ۱۷٪ مرگومیر ناشی از بیماری‌های قلبی می‌شود (بیات و همکاران، ۲۰۱۹؛ کریوسکی و همکاران^۱، ۲۰۰۹).

روش‌های متفاوتی برای نشان دادن رابطه بین ریسک‌های سلامتی و غلظت‌های آلاینده‌های هوا از طریق توابع غلظت-پاسخ وجود دارد؛ همچون خطی، لگاریتمی و یا متدهای دوگانه (برنوت و همکاران^۲، ۲۰۱۸) که توسط مطالعات اپیدمیولوژیک مشخص می‌گردد (دی‌مکرو و همکاران، ۲۰۱۸). در ارزیابی اثرات بهداشتی آلودگی هوا، که یکی از روش‌های تعیین تعداد مرگومیر و مراجعات بیمارستانی است؛ انتخاب تابع و ضرایب آن اهمیت بسیاری دارند و نتایج نهایی را مشخص می‌کنند (پاسکال و همکاران^۳، ۲۰۱۱).

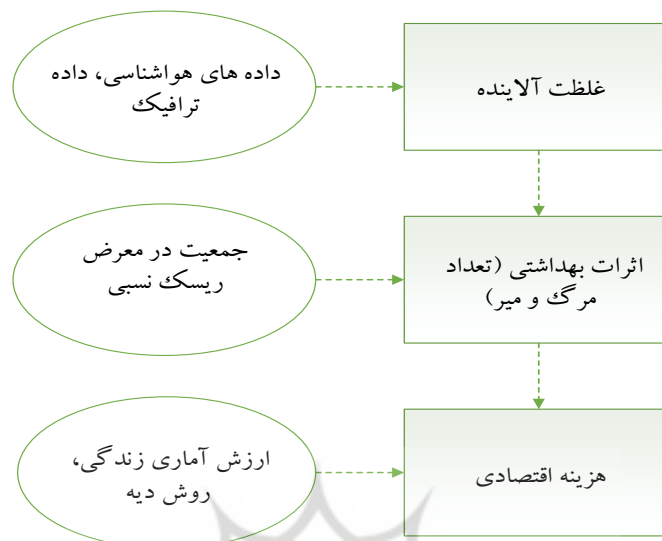
به منظور کمک به سیاست‌گذاران برای مدیریت بخش حمل‌ونقل و اقدامات لازم در جهت آن، لازم است تا برآوردی از میزان خسارت اقتصادی ناشی از آلودگی هوایی که این بخش متحمل شده است، صورت بگیرد. در مطالعاتی که در ایران صورت گرفته است، هیچ مطالعه‌ای با رویکرد پایین به بالا و با استفاده از برآوردهای پیامدهای سلامتی به محاسبه هزینه‌های آلودگی هوای وسایل نقلیه موتوری نپرداخته‌اند. در این پژوهش، تمرکز بر روی ارزیابی اثرات ایجادشده در حوزه سلامت، توسط انتشار آلاینده‌های حمل‌ونقل موتوری در شبکه شهری اصفهان بوده است. در این راستا، با استفاده از نتایج مدل جمعی تعمیم‌یافته به محاسبه سهم ترافیک شهری از آلاینده $PM_{2.5}$ پرداخته می‌شود؛ سپس اثرات بهداشتی آلودگی هوای ناشی از وسایل نقلیه موتوری با استفاده از مدل $AirQ^+$ ارزیابی می‌شود و در نهایت خسارت‌ها و هزینه اقتصادی این اثرات بهداشتی برآورد می‌گردد. مراحل سه‌گانه این پژوهش در شکل ۱ نمایش داده شده است. از بین آلاینده‌های هوا، $PM_{2.5}$ به نمایندگی از سایر آلاینده‌ها انتخاب شده است؛ چراکه طبق بررسی‌ها، اثرات سلامتی آن چندین برابر آلاینده‌های دیگر است (مک‌کوبین و دلوچی^۴، ۱۹۹۹). همچنین متوسط غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ طی چندین سال گذشته در اصفهان از میانگین مجاز اعلام شده توسط سازمان بهداشت جهانی^۵ خیلی بیشتر بوده است. چارچوب پژوهش بر این اساس است که در بخش دوم و سوم به مطالعات انجام‌شده و همچنین مبانی نظری پرداخته می‌شود؛ سپس در بخش چهارم، مراحل انجام روش تحقیق به تفصیل توضیح داده خواهد شد؛ و در نهایت در بخش پنجم، نتایج و نحوه به‌کارگیری آن‌ها ارائه می‌گردد.

1. Krewski et al.

2. R. Burnett et al.

3. Pascal et al.

4. McCubbin & Delucchi



شکل ۱: مراحل انجام پژوهش

۲. پیشینه پژوهش

مدل AirQ⁺ که توسط مرکز اروپایی سازمان بهداشت جهانی توسعه یافته است، در سال‌های اخیر به منظور ارزیابی اثرات بهداشتی آلودگی هوا در کشورهای مختلف به کار گرفته شده است (بورنت و همکاران، ۲۰۱۸؛ سازمان بهداشت جهانی^۱، ۲۰۱۸). در ایران این مدل در مطالعات مختلفی در شهرهای تهران، اهواز، و اصفهان استفاده شده و مرگ‌ومیر منتسب به آلودگی هوای PM_{2.5} در این شهرها به ترتیب عبارت بوده از: ۶۷۱۰، ۱۶۱۸، ۹۴۸ (حاجی‌زاده و همکاران، ۲۰۲۰؛ انصاری و احرام‌پوش، ۲۰۱۹؛ کریمی و همکاران، ۲۰۱۹).

طی سالیان گذشته، ادبیات روبه‌رشدی در زمینه ارزیابی اثرات بهداشتی آلودگی هوا ایجاد شده است. میسنر و همکاران^۳ (۲۰۱۵) در پژوهش خود به بررسی اثرات بهداشتی و هزینه‌های اقتصادی مربوط به ذرات ریز (PM₁₀, PM_{2.5}) پرداخته و به منظور ارزش‌گذاری بار اقتصادی از سه رویکرد ارزش آماری، هزینه بیماری و سرمایه انسانی استفاده کرده‌اند؛ همچنین هزینه تقریبی برای یک سال را ۳.۲٪ از تولید ناخالص داخلی تخمین زده‌اند. در گزارش منتشر شده توسط آژانس حفاظت از محیط‌زیست در

1. Burnett et al.

2. WHO

3. Meisner et al.

کشور سوئد، سالانه ۳۶۰۰ مرگ به علت مواجهه با آلودگی هوای ناشی از PM_{2.5} اتفاق می‌افتد که به ازای هر مرگ به طور متوسط ۱۱ سال از سال‌های زندگی از دست می‌رود. در این گزارش، همچنین هزینه‌های اقتصادی مرگ‌ومیر و بیماری و سال‌های ناتوانی تخمین زده شده است (گوستافسون و همکاران^۱، ۲۰۱۸). در مقاله دیگر اثر آلاینده‌های ذرات معلق، دی‌اکسید سولفور و نیتروژن اکسید در چین بررسی شد و با استفاده از توابع پاسخ-مواجهه پیامدهای بهداشتی تخمین زده شد؛ همچنین به منظور پولی کردن این تبعات، زیان اقتصادی با روش هزینه بیماری و ارزش آماری زندگی برآورد گردید (هان و همکاران^۲، ۲۰۱۹).

مطالعات متعددی هم در مورد ارزش‌گذاری هزینه‌های اقتصادی ناشی از آلودگی هوای مرتبط با حمل‌ونقل انجام شده است. تیچر و همکاران^۳ (۲۰۱۹) در پژوهش خود الگوهای زمان-فضای آلودگی هوای ناشی از ترافیک را در برزیل برای آلاینده‌های مختلف بررسی کرده و خسارت‌های اقتصادی آلودگی هوا که به علت ترافیک به وجود آمده است را، تخمین زده‌اند. در مطالعه دیگر، با تلفیق رویکرد مهندسی و مدل‌های کیفیت هوا، مقدار غلظت آلودگی هوای PM_{2.5} ناشی از حمل‌ونقل جاده‌ای حساب شده و همچنین اثرات بهداشتی و هزینه اقتصادی ناشی از آلودگی هوای بخش حمل‌ونقل برآورد شده است (گو و همکاران^۴، ۲۰۱۰). کراویوتو^۵ (۲۰۱۳) هزینه‌های خارجی بخش حمل‌ونقل را برای مکزیک محاسبه کرده که شامل هزینه‌های آلودگی هوا و تصادفات و ازدحام و... می‌باشد. برای تخمین هزینه آلودگی هوای بخش حمل‌ونقل، مقدار غلظت‌های منتشر شده در هوا را برای آلاینده‌های مختلف به دست آورده و با استفاده از هزینه هر واحد آلودگی، خسارت اقتصادی ناشی از آلودگی هوا را برآورد کرده است. مطالعه دیگر، اثرات خارجی ناشی از آلودگی هوای بخش حمل‌ونقل را برای یکی از اتوبان‌های چک بررسی کرده و بار اقتصادی ناشی از آلاینده PM₁₀ را محاسبه نموده است (پاریل و توتوا^۶، ۲۰۲۰).

در ایران هم مطالعات کمی در مورد ارزیابی زیان‌های اقتصادی اثرات سلامتی آلودگی هوا وجود دارد؛ کریم‌زادگان و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای به بررسی آلاینده‌های مختلف، از جمله کربن مونواکسید و نیتروژن دی‌اکسید برای تهران پرداختند. آن‌ها در مطالعه خود به محاسبه هزینه‌های بیماری با استفاده از روش ارزش‌گذاری مشروط و هزینه مستقیم بیماری و هزینه‌های مرگ‌ومیر با

1. Gustafsson et al.

2. Han et al.

3. Tischer et al.

4. Guo et al.

5. Cravioto

6. Pařil & Tóthová

استفاده از روش ارزش آماری زندگی پرداختند. براجر^۱ (۲۰۱۲) برای تهران به محاسبه ریسک مرگومیر ناشی از آلودگی هوا پرداخت و هزینه سالانه‌ای معادل ۳۷۸ میلیون دلار را برای کاهش این ریسک تخمین زد. بیات و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از مدل جهانی مواجهه-مرگ، مرگومیر متناسب به آلودگی هوای ناشی از PM_{2.5} اندازه‌گیری کردند و توزیع مکانی مرگ را برای شهر تهران محاسبه نمودند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که مناطق ۱۶ و ۱۸ شهرداری تهران نسبت به مناطق دیگر دارای ریسک مرگومیر بالاتری است. در مطالعه‌ای دیگر با استفاده از الگوی ARIMAX به بررسی رابطه کوتاه‌مدت و میان‌مدت آلودگی هوا و مرگومیر پرداخته و هزینه‌های اجتماعی سه الاینده مرگومیر ناشی از آلودگی هوا را در حدود ۳۴۶ میلیارد ریال در سال ۱۳۹۰ برآورد کرده است (یاری، ۱۳۹۲). حجازی و همکاران (۱۳۹۶) هم در مقاله خود با رویکرد بالا به پایین آلودگی هوای ناشی از بخش حمل‌ونقل را در شهر کرج ارزش‌گذاری کرده‌اند. آن‌ها مصرف فرآورده‌های نفتی ایجاد شده توسط چهار آلاینده را محاسبه کرده و سپس برای تخمین هزینه‌های اجتماعی از مطالعه جایکا در محاسبه هزینه‌ها استفاده کرده‌اند.

۳. مبانی نظری

۳-۱. ارتباط آلودگی و سلامت

فرایندهای اصلی اقتصاد، یعنی استخراج، تولید و مصرف همگی باعث تخریب محیط‌زیست می‌شوند. وجود ضایعات فراوان در مکان و زمان نامناسب موجب بروز تغییرات بیولوژیک در محیط‌زیست خواهد شد. چنان‌چه خسارات محیط‌زیستی به سلامتی و بهداشت انسان آسیب رسانده یا به‌طریقی اثر منفی بر رفاه انسان بگذارند، اقتصاددانان اعتقاد دارند که آلودگی اقتصادی روی داده است (خدایانه، ۱۳۸۹). آلودگی هوا طبق تعاریف عبارتند از: حضور یک یا چند آلاینده یا ترکیب آن‌ها در اتمسفر بیرونی یا داخلی با مقادیر و مدت‌زمانی که ممکن است سبب آسیب به زندگی انسانی، حیوانی، گیاهی، اموال و یا اختلال در برخورداری راحت از زندگی شود. انواع متفاوتی از آلاینده‌های هوا وجود دارند که آثار مضر بر سلامت انسان‌ها، گیاهان و جانوران داشته و محیط‌زیست طبیعی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. آلودگی ناشی از حمل‌ونقل به علت گسترش بی‌رویه شهرها دارای اهمیت است. آلودگی ناشی از وسایل نقلیه که بر اثر احتراق ناقص سوخت‌های فسیلی تولید می‌شوند به‌شکل گازهای خروجی از آگزوز وارد محیط‌زیست می‌شوند. آلودگی هوا در ایجاد بیماری‌های ریوی و سرطان و همچنین اختلالات عصبی نقش مؤثری دارد. بیشترین افرادی که در معرض آسیب جدی آلاینده‌های خودرویی

^۱. Brajer

قرار می‌گیرند، شامل: اطفال، افراد مسن، افراد مبتلا به آسم و مشاغلی هستند که با خودرو سروکار دارند. اثرپذیری آلاینده‌ها بر انسان به مدت‌زمان تماس و غلظت آن بستگی دارد. اگر مدت‌زمان کوتاه باشد، اثری نداشته و به سرعت برطرف می‌شود، اما اگر غلظت آلاینده حتی کم باشد و مدت‌زمان تماس زیاد باشد، سبب ایجاد ضایعاتی در بدن انسان می‌شود (اسدیان، ۱۳۹۲).

مواد معلق به‌تنهایی یا در ترکیب با آلاینده‌های دیگر مخاطرات بسیار شدیدی را بر سلامت انسان دارند. آلاینده‌ها عمدتاً از طریق سیستم تنفسی وارد بدن انسان می‌شوند. به‌دست آوردن یک رابطه مستقیم بین در معرض قرارگیری با غلظت‌های متفاوتی از ذرات و اثرات آن‌ها بر سلامت انسان بسیار مشکل است (ملکی، ۱۳۹۴). یافته‌های مطالعات اپیدمیولوژیکی در سال‌های اخیر با اصطلاحات ریسک نسبی همراه با در معرض قرارگیری با مواد معلق گزارش شده‌اند. ریسک نسبی اغلب به‌صورت افزایش در میزان مرگ‌ومیر و بیماری بیش از میزان مبنا همراه با یک افزایش ویژه در غلظت موارد ذره‌ای، گزارش می‌شود. برای ذرات ریز $PM_{2.5}$ مطالعه شش شهر در هاروارد مشخص کرد که به ازای هر ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب افزایش در ذرات بویز، ۱.۵٪ مرگ‌ومیر روزانه افزایش می‌یابد (کریوسکی و همکاران، ۲۰۰۰)؛ همچنین ریسک نسبی در حالتی که به‌صورت بلندمدت در معرض با مواد معلق قرار گرفته باشد، خطر مرگ‌ومیر بالاتری را نشان می‌دهد.

۳-۲. ارزش‌گذاری اقتصادی

در رابطه با اهمیت ارزش‌گذاری هانمن^۲ (۱۹۹۴) یکی از اقتصاددانان محیط‌زیست، مطرح می‌کند که یکی از دلایل عمده ورود علم اقتصاد به محیط‌زیست، تعیین ارزش پولی منابع زیست‌محیطی و زبان‌های ناشی از آلودگی می‌باشد. اگر این ارزیابی صورت نگیرد، تعیین سطح بهینه آلودگی با مالیات‌های پیگویی^۳ امکان‌پذیر نبوده و منابع اقتصادی با قیمت ارزان مورد استفاده قرار خواهد گرفت. مسأله ارزش‌گذاری کالا و خدمات یکی از مسائلی است که از گذشته تاکنون نظر اقتصاددانان را به خود جلب کرده است. برای سنجش ارزش اثرات محیط‌زیستی و از مله آلودگی هوا روش‌های متعددی وجود دارد. روش‌های ارزش‌گذاری تأثیرات محیط‌زیستی فعالیت‌های اقتصادی به دو طبقه روش‌های رجحان آشکار شده و شیوه رجحان اظهار شده تقسیم‌بندی می‌شود. اقتصاددانان محیط‌زیست تعدادی از تکنیک‌های مبتنی بر بازار و غیر بازار را به‌منظور ارزش‌گذاری محیط‌زیست توسعه داده‌اند (یاری، ۱۳۹۲).

برای محاسبه بار اقتصادی بهداشت ناشی از آلودگی هوا روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. تمایل به پرداخت یکی از روش‌های رایجی هست که برای محاسبه بار اقتصادی غیربازاری و

1. Krewski et al.

2. Hanemann

3. Pigouvian tax

غیرمستقیم مرگومیر و بیماری استفاده می‌شود. در این متد، هزینه‌های اقتصادی براساس ترجیحات افراد برآورد می‌شود. هم‌چنین ارزش آماری زندگی رویکرد ترجیحی است که با استفاده از تمایل به پرداخت حساب می‌شود و عبارت است از میزان تمایل به پرداخت افراد جامعه برای کاهش نهایی در ریسک مرگومیر. از آنجایی که این روش به درآمد اشخاص بستگی دارد، ارزش آماری زندگی منعکس‌کننده تفاوت‌های بین کشورهای و جوامع ثروتمند و فقیر است (منز و ولش^۱، ۲۰۱۰). دیگر روش‌هایی که براساس بازار محاسبه می‌شوند عبارتند از: هزینه بیماری، پرداخت‌های جبرانی، رویکرد سرمایه انسانی و رویکرد بیمه. در روش هزینه بیماری مجموع مخارج پزشکی و درآمد از دست‌رفته قابل انتساب به بیماری مرتبط با آلودگی محاسبه می‌شود؛ درحالی‌که در رویکرد سرمایه انسانی، تنها زیان درآمدی به علت مرگومیر در نظر گرفته می‌شود؛ به عبارت دیگر، در این روش ارزش حال درآمدهای آتی افرادی که به علت آلودگی هوا مرده‌اند محاسبه می‌شود (آلبرینی و کروپنیک^۲، ۲۰۰۰؛ دانش‌جعفری و همکاران، ۱۳۹۴). در روش پرداخت‌های جبرانی (نرخ دیه)، مقدار ثابتی برای جبران هزینه‌های ناشی از مرگومیر توسط دولت به صورت سالیانه تعیین می‌شود؛ اما در روش بیمه پرداخت‌های جبرانی براساس حق بیمه‌هایی است که در طول مدت حیات پرداخت شده و میزان درآمد افراد تغییر می‌کند.

۴. روش تحقیق

فرآیند ارزیابی بهداشتی و ارزش‌گذاری اقتصادی در چهار مرحله توضیح داده می‌شود که عبارتند از: ۱- تعریف ناحیه مورد بررسی، ۲- بررسی توزیع غلظت‌های آلاینده‌های مرتبط با حمل‌ونقل، ۳- تخمین اثرات سلامت عمومی از آلودگی هوای مرتبط با وسایل نقلیه موتوری، ۴- مقداری کردن هزینه‌های اقتصادی آن اثرات. در ادامه این مراحل به تفصیل توصیف خواهند شد.

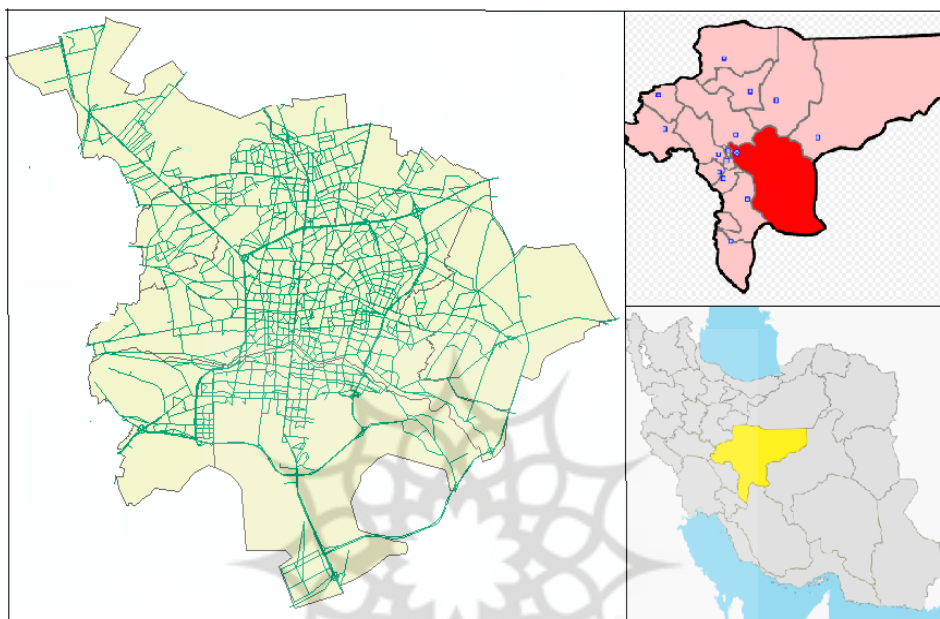
۴-۱. تعریف ناحیه مورد بررسی

شهر اصفهان با جمعیتی بالغ بر ۲ میلیون نفر، یکی از شهرهای پرجمعیت در ایران است که در مرکز ایران واقع شده است و دارای مساحتی در حدود ۵۵۰ کیلومتر مربع می‌باشد. در سطح شهر اصفهان سه حلقه ترافیکی به‌عنوان مسیرهای عبوری اصلی طراحی شده و حلقه چهارم در حال آماده‌سازی است. حلقه اول در محدوده مرکزی شهر به طول ۱۲.۵ کیلومتر، حلقه دوم در محدوده میانی شهر به طول ۲۴.۵ کیلومتر شامل خیابان‌های شریان اصلی، و حلقه سوم به طول ۴۶ کیلومتر به صورت بزرگراه در نظر گرفته شده است. حلقه چهارم با طول حدود ۷۸ کیلومتر به‌عنوان بیرونی‌ترین مسیر

^۱. Menz & Welsch

^۲. Alberini & Krupnick

حرکت نسبت به مرکز شهر در نظر گرفته شده است (اطلس کلان شهر اصفهان، ۱۳۹۲؛ آمارنامه اصفهان، ۱۳۹۷). شکل ۲، شبکه جاده‌ای در اصفهان را نشان می‌دهد.

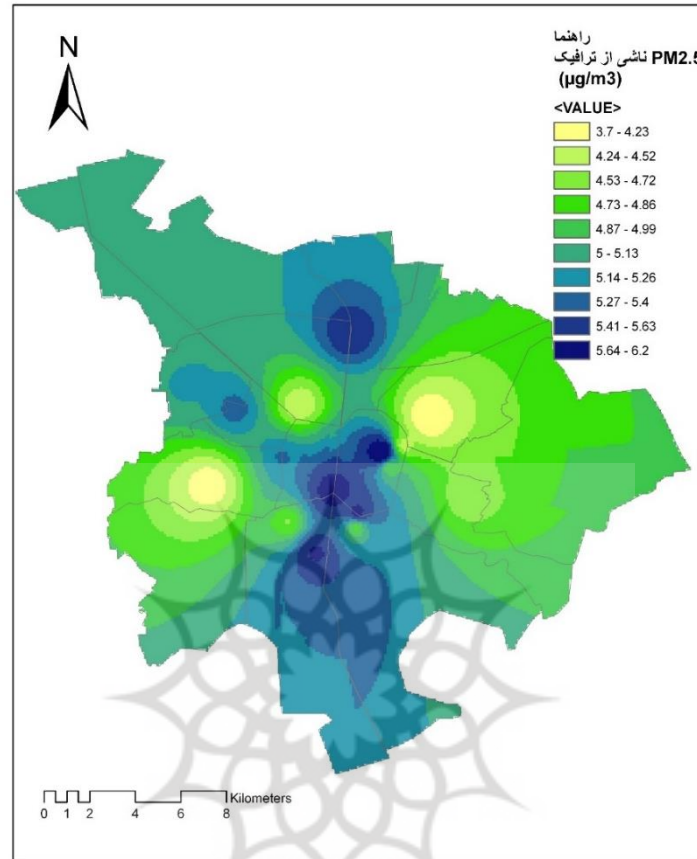


شکل ۲. موقعیت استان اصفهان و شبکه حمل و نقلی شهر اصفهان (منبع: یافته‌های محقق).

۴-۲. محاسبه سهم ترافیک شهری از آلودگی هوا

به منظور تخمین آلودگی هوای مربوط به حمل و نقل جاده‌ای در شهر اصفهان، از یک مدل آماری برای تخمین سهم ترافیک از غلظت‌های $PM_{2.5}$ استفاده شد. بدین منظور رویکرد مدل‌سازی جمعی تعمیم‌یافته به عنوان یک مدل آماری انعطاف‌پذیر به کار گرفته شد که نشان‌دهنده ارتباطات خطی و غیرخطی بین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده و پاسخ با استفاده از توابع هموارساز غیر پارامتری می‌باشد. در این مدل حجم ترافیک، متغیرهای هواشناسی، از جمله: رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد، دما (کمینه و بیش‌ینه و میانگین)، بارندگی و همچنین متغیر فضایی مربوط به طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های سنجش آلودگی مورد استفاده قرار گرفتند. تمام متغیرها برای تست، نرمال بودن توسط نمودار چارکی و تست شاپیرو-ویلک مورد آزمون قرار گرفتند. به غیر از آلاینده $PM_{2.5}$ که برای تبدیل به توزیع نرمال، لگاریتم گرفته شد؛ بقیه متغیرها مشکل شایان توجهی نداشتند. سپس به منظور پاک‌سازی داده‌ها، داده‌های خارج از محدوده با استفاده از قاعده ۳σ برای بعضی از متغیرها حذف شد.

با توجه به پراکندگی ایستگاه‌های سنجش آلودگی (۱۶ ایستگاه) و جانمایی دوربین‌های تردد شمار حجم ترافیک شهری، محدوده مورد مطالعه اصفهان به ۵ ناحیه تقسیم شد و متناسب با ایستگاه‌های موجود در هر ناحیه و متغیرهای دیگر، مدل جمعی تعمیم یافته برای هر ناحیه تخمین زده شد و سهم ترافیک از آلودگی $PM_{2.5}$ به دست آمد. انحراف توضیح داده شده در نواحی مختلف بین ۵۲ تا ۷۰ درصد برآورد شد. همچنین سهم ترافیک از آلودگی ایجاد شده برای نواحی مرکزی، شمال، جنوب، شرق و غرب اصفهان به ترتیب ۱۸.۳۸٪، ۱۳.۴۶٪، ۱۶.۲۳٪، ۱۱.۹۳٪، و ۱۴.۶۴٪ شد. با استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای به دست آمده از سازمان حفاظت محیط زیست و همچنین شهرداری اصفهان (۹ ایستگاه از کل ایستگاه‌ها متعلق به شهرداری اصفهان و ۷ ایستگاه متعلق به سازمان حفاظت محیط زیست می‌باشد)، و همچنین سهم ترافیک از این آلودگی، در محیط نرم افزاری Arc GIS و با استفاده از درون‌یابی وزن‌دهی شده با معکوس مسافت (IDW) توزیع فضایی آلودگی هوای $PM_{2.5}$ در شکل ۳، برای سال ۹۷ ترسیم شده است؛ همان‌طور که مشاهده می‌شود در ناحیه شمال، شمال غربی، مرکز و جنوب غلظت آلاینده‌گی بیشتر می‌باشد.



شکل ۳. توزیع آلودگی PM_{2.5} در سطح شهر اصفهان (منبع: یافته‌های محقق).

۳-۴. تخمین اثرات بهداشتی ناشی از آلودگی هوای مرتبط با حمل‌ونقل

به‌منظور ارزیابی اثرات بهداشتی آلودگی هوای ذرات معلق ناشی از وسایل نقلیه، از نرم‌افزار AirQ⁺ که در سال ۲۰۱۶ توسط مرکز اروپایی سلامت و محیط‌زیست سازمان بهداشت جهانی برورسانی شده، استفاده گردید. AirQ⁺ ابزار خاصی است که به کاربر اجازه می‌دهد تا اثرات بالقوه آلاینده خاص را بر سلامتی انسان در ناحیه خاص و دوره زمانی مشخص ارزیابی کند (امیدی و همکاران، ۲۰۱۶). در این نرم‌افزار، اثرات بلندمدت آلودگی هوا با استفاده از روش جداول عمر تخمین زده می‌شود و براساس برآوردهای ریسک از مطالعات کوهورت می‌باشد (سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۱۸). همه محاسبات انجام‌شده در AirQ⁺ براساس متدولوژی‌ها و توابع پاسخ-غلظت می‌باشد که توسط مطالعات همه‌گیرشناسی به‌دست آمده است (انصاری و احرام‌پوش، ۲۰۱۸؛ بهرامی و همکاران، ۲۰۱۸).

برای محاسبه مرگومیر متناسب به آلودگی در دوره زمانی موردنظر، به چند دسته اطلاعات نیاز است؛ الف) داده‌های آلودگی هوای ناشی از وسایل نقلیه موتوری، ب) داده‌های جمعیتی و محاسبه جمعیت در معرض ریسک برای گروه‌های سنی مختلف که از مرکز آمار ایران تهیه شده است، ج) داده‌های بهداشتی از جمله تعداد مرگومیر بر حسب نوع مرگومیر (قلبی، تنفسی و...) که از معاونت بهداشت و درمان تهیه شده است، د) خطر نسبی که از مقادیر پیش فرض سازمان بهداشت جهانی موجود در نرم‌افزار استفاده می‌شود که به‌طور خلاصه در جدول ۱، نمایش داده شده است.

جدول ۱. پیامدهای بهداشتی، ریسک نسبی و بروز پایه در سال ۱۳۹۷

منبع	ریسک نسبی به ازای هر ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب (فاصله اطمینان)	میزان بروز پایه (به ازای هر ۱۰۰۰۰۰ نفر)	
		سال ۱۳۹۷	پایه
(هروکس و همکاران ^۱ ، ۲۰۱۵)	۱.۰۶۲ (۱.۰۰۴-۱.۰۸۳)	۴۲۸/۶	مرگومیر، همه موارد
(بورنت و همکاران ^۲ ، ۲۰۱۴)	IER	۱۲۵/۳	مرگومیر، IHD ^۱
(بورنت و همکاران، ۲۰۱۴)	۱.۰۰۹ (۱.۰۰۴-۱.۰۱۴)	۷/۰۴	مرگومیر، LC ^۲
(بورنت و همکاران، ۲۰۱۴)	IER	۱۴/۰۸	مرگومیر، COPD ^۳

منبع: محاسبات محقق.

^۱ بیماری ایسکمیک قلبی ^۲ سرطان ریه ^۳ بیماری انسداد مزمن ریه

مدل AirQ⁺ براساس رابطه AP است و توسط فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$AP = \frac{\sum([RR(c)-1] \times p(c))}{\sum[RR(c) \times p(c)]} \quad (1)$$

جایی که AP^۳ یا نسبت متناسب بخشی از پیامد بهداشتی است که می‌توان آن را مرتبط با مواجهه جمعیتی خاص طی یک دوره زمانی مشخص دانست، RR(c) خطر نسبی پیامد بهداشتی در گروه C، و p(c) نسبت جمعیت گروه C می‌باشد. خطر نسبی را که می‌توان از توابع تماس - پاسخ به دست آورد عبارت است از:

1. Hérux et al.

2. Burnett et al.

3. Attributable Proportion

$$RR = \exp[\beta(x - x_0)] \quad (2)$$

که در آن x مقدار سالانه غلظت $PM_{2.5}$ است و x_0 مقدار غلظت در نظر گرفته شده توسط سازمان بهداشت جهانی (۱۰ میکروگرم بر مترمکعب)، β پارامتر تجربی که مشخص کننده تغییر در RR به ازای یک واحد تغییر در غلظت x است.

در نهایت برای برآورد تعداد مرگومیر متناسب به سطوح سالیانه $PM_{2.5}$ ، از معادله زیر استفاده می‌شود

$$E = BI \times AP \quad (3)$$

که در آن BI نشان دهنده میزان بروز پایه پیامد بهداشتی منتخب در جامعه مورد نظر می‌باشد.

۴-۴. مقداری کردن هزینه‌های اقتصادی اثرات بهداشتی

در این مطالعه، همچنین ارزیابی اقتصادی مربوط به اثرات بهداشتی ناشی از غلظت‌های منتشر شده وسایل نقلیه موتوری از نظر پولی به دست آورده می‌شود. برای محاسبه هزینه اقتصادی اثرات بهداشتی ناشی از آلودگی هوا از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. تمایل به پرداخت یکی از روش‌های رایجی است که برای محاسبه بار اقتصادی غیربازاری و غیرمستقیم مرگومیر و بیماری استفاده می‌شود. ارزش آماری زندگی، رویکرد ترجیحی است که با استفاده از تمایل به پرداخت حساب می‌شود. مطالعاتی در ایران برای محاسبه هزینه اقتصادی مرگومیر و بیماری انجام شده است (بیات و همکاران، ۲۰۱۹؛ کریم‌زادگان و همکاران، ۲۰۰۸؛ براجر و همکاران، ۲۰۱۲؛ محمدنژاد و همکاران، ۲۰۲۰؛ حسینی و مزرعتی، ۱۳۸۳). اما هیچ‌کدام تمایل به پرداخت افراد برای کاهش ریسک مردن ناشی از آلودگی هوا را محاسبه نکرده‌اند. در این پژوهش از دو رویکرد برای محاسبه هزینه مرگومیر استفاده می‌شود؛ رویکرد اول، روش ارزش آماری زندگی با استفاده از تمایل به پرداخت است. مطالعات زیادی ارزش آماری زندگی را برای کشورهای توسعه یافته تخمین زده‌اند (ناراین و سال، ۲۰۱۶)؛ اما تخمینی محلی برای کشورهای در حال توسعه وجود ندارد و همچنین از آنجا که طبق شواهد، جوامع با درآمد بالاتر تمایل به پرداخت بالاتری برای کالاهای محیط‌زیستی و خدمات مربوط به هوای پاک دارند (کواه و بون، ۲۰۰۳)، با استفاده از رویکرد انتقال منافع، می‌توان به‌طور غیرمستقیم متوسط تمایل به پرداخت برآورد شده توسط مطالعات خارجی را به ایران انتقال داد (بلنک جهانی، ۲۰۱۶؛ کریم‌زادگان و همکاران، ۲۰۰۸).

¹. Narain & Sall

². Quah & Boon

$$VOSL_A = VOSL_B \times \left(\frac{Y_A}{Y_B}\right)^e \quad (4)$$

که در آن $VOSL$ ارزش آماری زندگی در دو جامعه و Y درآمد ناخالص ملی سرانه دو جامعه و e کشش درآمدی ارزش آماری زندگی می‌باشد. همچنین برای کشورهای با درآمد متوسط و پایین در مقابل کشورهای با درآمد بالا، مقدار کشش درآمدی در محدوده ۱ تا ۱/۴ با برآورد مرکزی ۱/۲ تغییر می‌کند (نارایان و سال، ۲۰۱۶؛ هگر و صراف^۱، ۲۰۱۸)؛ بنابراین هزینه اقتصادی کل برای مرگومیر ناشی از آلودگی هوای منتشر شده از وسایل نقلیه با استفاده از رویکرد $VOSL$ عبارت است از حاصل ضرب تعداد مرگومیر متناسب به آلودگی هوای ناشی از وسایل نقلیه در ارزش آماری زندگی محاسبه شده برای ایران.

رویکرد دوم استفاده از روش دیه می‌باشد. این روش تنها روش اجرایی جبران خسارت (غیر عمد) در کشور است و هر سال ارزش آن براساس اصول فقه شیعه جعفری مشخص و به شرکت‌های بیمه و وزارت دادگستری اعلام می‌گردد. مقدار ارزش آن برای ماه‌های حرام بیش از سایر ماه‌هاست. در سال ۹۷ این نرخ معادل ۲۳۱ میلیون تومان، و در ماه‌های حرام، ۳۰۸ میلیون تومان بوده است؛ بنابراین متوسط نرخ دیه در سال براساس رابطه ۷ به دست خواهد آمد.

$$\frac{(231000000*8)+(308000000*4)}{12} \approx 256600000 \quad (5)$$

مقدار ارزش در این روش متأثر از جنسیت است. نهایتاً هزینه اقتصادی به این روش براساس رابطه

زیر است:

$$sc = m_1 \times f_1 + m_2 \times f_2 \quad (6)$$

که در آن sc هزینه اجتماعی عمر از دست رفته، m تعداد مرگومیر زنان و مردان و f نرخ دیه آن‌ها می‌باشد.

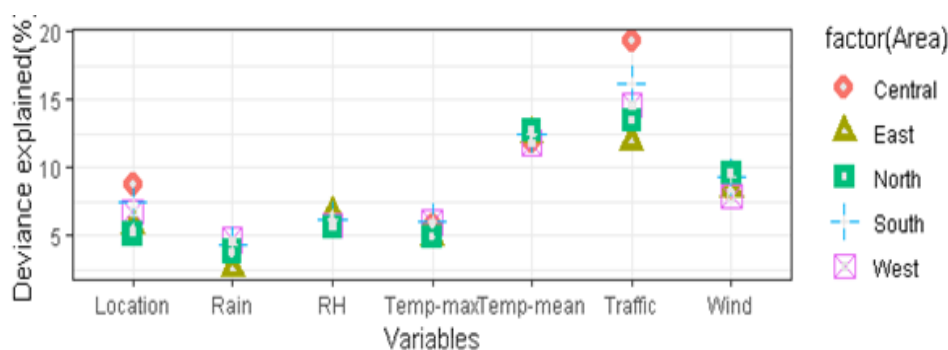
۵. یافته‌های تحقیق

۵-۱. غلظت‌های ذرات معلق ناشی از وسایل نقلیه موتوری

پس از تحلیل اکتشافی و پاک‌سازی داده‌های خارج از محدوده، برای سال ۱۳۹۷ متوسط غلظت $31/03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ محاسبه شد. با استفاده از نتایج GAMS مبنی بر سهم‌های به دست آمده برای ترافیک، غلظت آلاینده‌های خودروها برای ۵ ناحیه ترافیکی شهر اصفهان، ۴۹۴۱ میکروگرم بر متر مکعب شده است. شکل ۴، طبق نتایج GAMS، سهم متغیرهای مختلف در غلظت آلودگی $\text{PM}_{2.5}$ را برای نواحی

¹. Heger & Sarraf

مختلف شهر و به تفکیک متغیرهای تأثیرگذار نمایش می‌دهد؛ همان‌طور که مشاهده می‌شود، ترافیک شهری نقش بسزایی در توضیح مدل دارد.



شکل ۴. سهم متغیرهای مختلف از آلودگی ذرات معلق طبق نتایج مدل GAM (منبع: یافته‌های محقق).

۲-۵. اثرات بهداشتی به علت آلودگی هوای ناشی از ترافیک

شواهدی دال بر این‌که اثرات بهداشتی مواجهه آلودگی در یک‌سال، در همان‌سال تجربه شود؛ وجود ندارد؛ با این‌حال، درصد ورت وجود آن، با استفاده از داده‌های غلظت آلودگی $PM_{2.5}$ ، جمعیت کل و جمعیت در معرض ریسک، توابع مواجهه-پاسخ، و نرخ‌های میزان بروز پایه هر مورد از مرگ‌ومیر، می‌توان تعداد مرگ‌ومیر منتسب به آلودگی هوای $PM_{2.5}$ ناشی از وسایل نقلیه موتوری را در شهر اصفهان در جدول ۲، مشاهده کرد.

به‌طور کلی تعداد ۶۰۷ (CI: ۴۰۴-۷۸۹) مرگ زودرس در بزرگسالان در سال ۱۳۹۷ را می‌توان به آلودگی هوای $PM_{2.5}$ اصفهان نسبت داد که از این تعداد ۱۵۰ مرگ زودرس (معادل ۲۵ درصد) مربوط به آلودگی هوای $PM_{2.5}$ ناشی از وسایل نقلیه موتوری است. از مجموع ۱۵۰ مرگ، تعداد مرگ هر یک از عوامل عبارتند از: ۵۱ (CI: ۳۰-۱۰۷) مورد از IHD، ۳ (CI: ۲-۵) مورد از LC، ۸ (CI: ۴-۱۲) مورد از COPD (جدول ۲)؛ بنابراین $PM_{2.5}$ ناشی از ترافیک عامل ۱.۷۶٪ از کل مرگ‌ومیر در میان بزرگسالان است.

جدول ۲. نتایج اثرات بهداشتی قابل استناد به مواجهه بلندمدت با غلظت های PM_{2.5}

پیامد بهداشتی	نسبت متناسب تخمینی (%)	تعداد موارد قابل استناد	موارد قابل استناد در هر ۱۰° جمعیت
مرگومیر، همه موارد	۲.۹۳ (۱.۹۲-۳.۸۶)	۱۵۰ (۹۸-۱۹۷)	۱۲.۵۵ (۸.۲۳-۱۶.۵۶)
مرگومیر، IHD	۳.۴۸ (۲.۰۱-۷.۱۴)	۵۱ (۳۰-۱۰۷)	۴.۲۴ (۲.۵۲-۸.۹۴)
مرگومیر، LC	۴.۱۷ (۱.۹۲-۶.۳۷)	۳ (۲-۵)	۰.۲۹ (۰.۱۴-۰.۴۴)
مرگومیر، COPD	۴.۵۴ (۲.۵-۶.۸۸)	۸ (۴-۱۲)	۰.۶۴ (۰.۳۵-۰.۹۷)

منبع: یافته‌های محقق.

۳-۵. ارزیابی اقتصادی تأثیرات بهداشتی

در روش اول، یعنی رویکرد YOSL، با استفاده از تولید ناخالص داخلی سرانه ایران و کشورهای OECD و مطابق با محاسبات انجام شده در جدول ۳، هزین آلودگی ناشی از ترافیک در سال ۱۳۹۷، ۵۷.۹ میلیون دلار به دست آمده است. در روش دوم تعداد مرگومیر متناسب به آلودگی براساس نتایج مدل AirQ⁺ برای هر دو جنسیت محاسبه شده است که برای زنان در سال ۹۷ عبارت است از: (۸۴-۴۳) (CI: ۶۳) و برای مردان برابر با (۶۱-۱۱۳) (CI: ۸۷) می‌باشد.

جدول ۳. محاسبات هزینه اقتصادی با استفاده از رویکرد YOSL

ارزش (دلار)	واحد (دلار)	منبع
۳۸۳۲۸۴۳	براساس قیمت‌های ۲۰۱۱	(نارایان و سال، ۲۰۱۶)
۳۷۳۷۰	قیمت جاری ۲۰۱۷	(بانک جهانی، ۲۰۲۰a)
۵۵۲۰	قیمت جاری ۲۰۱۷	(بانک جهانی، ۲۰۲۰b)
۳۸۶۲۰۷	براساس قیمت‌های ۲۰۱۱	$3832843 \times [37370/5520]^{1.2}$
۵۷.۹۳۱.۰۵۰	متوسط سالانه	386207×150

منبع: یافته‌های محقق.

همچنین تخمین هزینه اقتصادی که براساس روش دپه صورت گرفته است، ۳۰.۴ میلیارد تومان به دست آمد که به مراتب خیلی کمتر از رویکرد قبلی است. خلاصه نتیجه روش دپه در جدول ۴، ارائه شده است.

جدول ۴. محاسبات هزینه اقتصادی با استفاده از روش دبه

سال	۱۳۹۷
نرخ دبه در ۸ ماه غیر حرام (تومان)	۲۳۱۰۰۰۰۰۰
نرخ دبه در ۴ ماه حرام (تومان)	۳۰۸۰۰۰۰۰۰
متوسط نرخ دبه	۲۵۶۶۰۰۰۰۰
نرخ دبه تصحیح شده مرد	۲۵۶۶۰۰۰۰۰
نرخ دبه تصحیح شده زن	۱۲۸۳۰۰۰۰۰
تعداد مرگومیر مرد (نفر)	۸۷
تعداد مرگومیر زن (نفر)	۶۳
هزینه اقتصادی (تومان)	۳۰.۴۰۷.۱۰۰.۰۰۰

منبع: یافته‌های محقق.

۶. نتیجه‌گیری، بحث و پیشنهاد

ارزش‌گذاری اثرات بهداشتی جزو مهمی از ارزیابی هزینه‌های اجتماعی آلودگی هوا است؛ چراکه با اجرای تحلیل هزینه-فایده، می‌توان به معیاری برای الویت‌بندی اقدامات کنترل آلودگی دست‌یافت و سیاست‌گذاری‌ها متناسب با این اولویت‌ها انجام پذیرد؛ برای مثال، به‌منظور الویت‌بندی اقداماتی همچون نوسازی ناوگان اتوبوسرانی یا ناوگان تاکسی‌رانی، لازم است هزینه‌های انتشار آلاینده‌گی را برای این ناوگان‌ها محاسبه نمود و با منافع این طرح‌ها مقایسه کرد و درنهایت بهترین طرح را انتخاب نمود.

آلودگی هوا ترکیبی از گازهای مختلف است که به نمایندگی از همه آن‌ها، $PM_{2.5}$ انتخاب شد؛ چراکه اثرات تخریبی ذرات معلق، به‌خصوص $PM_{2.5}$ بسیار بیشتر از آلاینده‌های دیگر است؛ برای مثال، طبق تخمین مک کوبین اثرات تخریبی ذرات معلق ۷-۸ برابر بیشتر از اثرات تخریبی NO_x می‌باشد (مک کوبین و دلوچی^۱، ۱۹۹۹). همچنین طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی (۲۰۱۶) تعداد مرگومیر قابل استناد به آلاینده ازون بسیار کمتر از $PM_{2.5}$ است (در کشورهای آسیای میانه و شمال آفریقا حدوداً ۵٪). با این‌وجود آلاینده‌های دیگری همچون SO_2 و NO_x می‌توانند اثرات مخرب مستقلاً بر سلامت افراد تحمیل کنند و نادیده گرفتن آن‌ها می‌تواند باعث کمتر از حد تخمین زدن اثرات بهداشتی کل آلودگی هوا گردد.

به‌منظور بررسی اثرات بهداشتی آلودگی هوا و ارزیابی اقتصادی آن، فقط به مرگومیر ناشی از آلودگی هوا و انواع آن پرداخته شد؛ چراکه طبق گزارش بانک جهانی بیش از ۹۰٪ از هزینه‌های

¹ McCubbin & Delucchi

اقتصادی ناشی از آلودگی هوا مربوط به همین مرگ‌ومیر است (نارایان و سال، ۲۰۱۶)، اما بخش دیگر پیامدهای بهداشتی آلودگی هوا شامل: انواع بیماری‌های تنفسی، قلبی-عروقی، آسم، و از کارافتادگی و هزینه فرصت مربوط به آن است که به علت نبود مطالعات، تمایل به پرداخت اجتناب از بیماری‌های مرتبط با آلودگی هوا در ایران، در این تحقیق از بررسی آن صرف‌نظر شد. پژوهش‌های دیگر نیز که هزینه‌های بیماری را همراه با هزینه‌های مرگ‌ومیر محاسبه نموده‌اند؛ براساس نتایج مطالعات کشورهای OECD، هزینه بیماری را به صورت تقریبی و با استفاده از یک قاعده سرانگشتی معادل ۱۰٪ از کل هزینه‌های مرگ‌ومیر در نظر گرفته‌اند (بیات و همکاران، ۲۰۱۹، هگر و صراف^۱، ۲۰۱۸).

همان‌طور که در پاراگراف قبلی توضیح داده شد، مرگ‌ومیر به عنوان مهم‌ترین پیامد بهداشتی در نظر گرفته می‌شود و به منظور بررسی ارتباطات پاسخ-غلظت بین مرگ‌ومیر و آلودگی هوا دو دسته از مطالعات وجود دارد؛ اول، مطالعات سری زمانی که با استفاده از داده‌های مرگ‌ومیر روزانه، تغییرات آلودگی هوا؛ و دیگر، متغیرهای توضیحی به بیان ارتباط بین مرگ‌ومیر و آلودگی هوا می‌پردازد (دهقان و همکاران، ۲۰۱۸؛ جانجانی و همکاران، ۲۰۲۰). دوم، مطالعات کوهورت است که مواجهه بلندمدت با آلودگی هوا را بررسی می‌کند. اما از آنجا که طبق بررسی‌های کونزلی مطالعات سری زمانی تعداد مرگ‌ومیر متناسب به آلودگی هوا را کمتر از حد تخمین می‌زند و مطالعات کوهورت ارزیابی کامل‌تری از اثرات آلودگی هوا بر مرگ‌ومیر ارائه می‌دهد، در این پژوهش از مطالعات کوهورت استفاده شده است (کونزلی و همکاران^۲، ۲۰۰۱). پژوهش‌های دیگری نیز در ایران وجود دارد که با استفاده از مطالعات کوهورت به برآورد میزان مرگ‌ومیر پرداخته‌اند (ندافی و همکاران، ۲۰۱۲؛ میری و همکاران، ۲۰۱۷). ارزش آماری زندگی که برای برآورد هزینه اقتصادی استفاده شد، با روش انتقال منافع و با استفاده از ارزش آماری زندگی کشورهای OECD و تولید ناخالص ملی سرانه تعدیل شده، برای ایران ۳۸۶.۲۰۷ دلار محاسبه شد که با احتساب تعداد مرگ‌ومیر استخراج شده از نتایج نرم‌افزار AirQ⁺، به طور متوسط سالانه ۵۷.۹ میلیون دلار هزینه اقتصادی ناشی از آلودگی ذرات معلق مربوط به وسایل نقلیه موتوری به جامعه تحمیل کرد. مطالعه براجر در سال ۲۰۱۰ ارزش آماری زندگی را برای ایران با استفاده از روش تملیل به پرداخت حدود ۵۲۰۱۲۰ دلار برآورد کرد (براجر و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین عینی در سال ۲۰۱۳ به محاسبه هزینه‌های جراحات ناشی از ترافیک پرداخت و ارزش آماری زندگی را ۶۵۷.۱۱۸ دلار تخمین زد (عینی و همکاران، ۲۰۱۴). علاوه بر روش ارزش آماری زندگی، رویکرد دیگری برای ارزش‌گذاری اقتصادی مورد استفاده قرار گرفت که مبتنی بر روش دیه بود؛ اما

^۱. Heger & Sarraf

^۲. Künzli et al.

هزینه اقتصادی محاسبه شده با این روش اختلاف زیادی با روش قبلی داشت، ولی به دلیل مزایا و فراگیر بودن، روش ارزش آماری زندگی به عنوان شیوه برگزیده انتخاب شد. به منظور برآورد دقیق تر غلظت آلودگی منتشر شده از بخش حمل و نقل در سطح شهر، می توان از مدل های پراکنش نیز استفاده نمود تا میزان پراکندگی انتشار آلاینده های توسط وسایل نقلیه را در محیط شهری اندازه گیری نمود که در این پژوهش به آن پرداخته نشده است.



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

- Retrieved from .(۱۳۹۷). فصل مدیریت شهر اصفهان-فصل مدیریت شهر اصفهان-فصل مدیریت شهر اصفهان
<http://www.isfahanold.ir/Index>
 اسدیان، بهنام، (۱۳۹۲). «برآورد هزینه اجتماعی مرگومیر ناشی از آلودگی هوا در اثر مصرف سوخت‌های فسیلی در شهر مشهد». پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: محمدعلی فلاحتی، اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد.
 ارشدی‌پور، اعظم؛ باباصفری، عبدالمجید؛ خلیلیان، مائده؛ گلستان‌نژاد، ابوالقاسم؛ موسوی، رسول؛ و نصری، اعظم،
 (۱۳۹۲). اطلس کلان شهر اصفهان، Retrieved from <https://new.isfahan.ir/Index>
 حجازی، رخسار؛ و تونی، امیدرضا، (۱۳۹۶). «برآورد هزینه‌های خارجی ناشی از آلودگی هوای کلانشهر کرج ناشی از بخش حمل‌ونقل». *مطالعات علوم محیط‌زیست*، دوره ۲، شماره ۴، صص: ۵۸۸-۵۸۲
 حسینی، نونا؛ و مزرعتی، محمد، (۱۳۸۳). «برآورد هزینه‌های اجتماعی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی بر سلامت ساکنان تهران». *فصلنامه مطالعات اقتصادی انرژی*، شماره ۱ (۳)، صص: ۲۵-۱۰.
 خداپناه، مسعود، (۱۳۸۹). «پیامدهای بیرونی حمل‌ونقل با خودروی شخصی در شهر تهران و هزینه اجتماعی آن». رساله دکتری، استاد راهنما: بهروز هادی زور، اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبایی.
 دانش‌جعفری، داوود؛ آماده، حمید؛ و خون‌سیاوشان، شادیه، (۱۳۹۴). «برآورد خسارات ناشی از پدیده ریزگردها بر سلامت افراد در ایران (مطالعه موردی: استان‌های خوزستان، کرمانشاه و کردستان)». *محیط‌شناسی*، شماره ۴۱ (۳)، صص: ۵۷۳-۵۸۷.
 سازمان حفاظت محیط‌زیست، (۱۳۹۸). جدول مقایسه شاخص کیفیت هوا-<http://isfahan.doe.ir/Index>
 ملکی، شهرام، (۱۳۹۴). «مدل‌سازی اثرات بهداشتی براساس آلاینده‌های جوی با کاربرد مدل‌های AirQ، Aermod و یاری، فاطمه، (۱۳۹۲). «برآورد هزینه‌های بیمارستانی و مرگومیر ناشی از آلودگی هوا». کارشناسی ارشد، استاد راهنما: غلامحسین کیانی، اقتصاد، دانشگاه اصفهان.
- Ainy, E.; Soori, H.; Ganjali, M.; Le, H. & Baghfalaki, T., (2014). "Estimating cost of road traffic injuries in Iran using willingness to pay (WTP) method". *PLoS One*, No. 9(12), e112721 .
- Alberini, A. & Krupnick, A., (2000). "Cost-of-illness and willingness-to-pay estimates of the benefits of improved air quality: evidence from Taiwan". *Land Economics*, No. 1, Pp: 37-53.
- Ansari, M. & Ehrampoush, M. H., (2019). "Meteorological correlates and AirQ+ health risk assessment of ambient fine particulate matter in Tehran, Iran". *Environmental research*, No. 170, Pp: 141-150 .
- Arfaeinia, H.; Kermani, M.; Aghaei, M.; Bahrami Asl, F. & Karimzadeh, S. (2014). "Comparative investigation of health quality of air in Tehran, Isfahan and Shiraz metropolises in 2011-2012". *Journal of Health in the Field*, No. 1(4), Pp: 37-44 .

- Bahrami Asl, F.; Leili, M.; Vaziri, Y.; Arian, S. S.; Cristaldi, A.; Conti, G. O. & Ferrante, M., (2018). "Health impacts quantification of ambient air pollutants using AirQ model approach in Hamadan", *Iran. Environmental research*, No. 161, Pp: 114-121 .
- Bayat, R.; Ashrafi, K.; Motlagh, M. S.; Hassanvand, M. S.; Daroudi, R.; Fink, G. & Künzli, N., (2019). "Health impact and related cost of ambient air pollution in Tehran". *Environmental research*, No. 176, Pp: 108547 .
- Brajert, V.; Hall, J. & Rahmatian, M., (2012). "Air pollution, its mortality risk, and economic impacts in tehran, iran". *Iranian journal of public health*, No. 41(5), Pp: 31
- Burnett, R.T., et al. (2014). "An integrated risk function for estimating the global burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure". *Environmental health perspectives*, No. 122(4), Pp: 397-403 .
- Burnett, R.; Chen, H.; Szyszkowicz, M.; Fann, N.; Hubbell, B.; Pope, C. A.; . . . Weichenthal, S., (2018). "Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, No. 115(38), Pp: 9592-95 .
- Burnett, R. T.; Pope III, C. A.; Ezzati, M.; Olives, C.; Lim, S. S.; Mehta, S.; . . . Brauer, M., (2014). "An integrated risk function for estimating the global burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure". *Environmental health perspectives*, No. 122(4), Pp: 397-403 .
- Cravioto, J.; Yamasue, E.; Okumura, H. & Ishihara, K. N., (2013). "Road transport externalities in Mexico: Estimates and international comparisons". *Transport policy*, No. 30, Pp: 63-76 .
- De Marco, A.; Amoatey, P.; Khaniabadi, Y. O.; Sicard, P. & Hopke, P. K.; (2018). "Mortality and morbidity for cardiopulmonary diseases attributed to PM2.5 exposure in the metropolis of Rome, Italy". *European Journal of Internal Medicine*, No. 57, Pp: 49-57 .
- Dehghan, A.; Khanjani, N.; Bahrampour, A.; Goudarzi, G. & Yunesian, M., (2018). "The relation between air pollution and respiratory deaths in Tehran, Iran-using generalized additive models". *BMC pulmonary medicine*, No. 18(1), Pp: 49 .
- Guo, X.; Cheng, S.; Chen, D.; Zhou, Y. & Wang, H., (2010). "Estimation of economic costs of particulate air pollution from road transport in China". *Atmospheric Environment*, No. 44(28), Pp: 3369-3377 .

- Gustafsson, M.; Lindén, J.; Tang, L.; Forsberg, B.; Orru, H.; Åström, S. & Sjöberg, K. (2018). "Quantification of population exposure to NO₂, PM_{2.5} and PM₁₀ and estimated health impacts". *IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd*.
- Hajizadeh, Y.; Jafari, N.; Mohammadi, A.; Momtaz, S. M.; Fanaei, F. & Abdollahnejad, A., (2020). "Concentrations and mortality due to short-and long-term exposure to PM 2.5 in a megacity of Iran (2014–2019)". *Environmental Science and Pollution Research*, Pp: 1-11 .
- Han, F.; Lu, X.; Xiao, C.; Chang, M. & Huang, K., (2019). "Estimation of Health Effects and Economic Losses from Ambient Air Pollution in Undeveloped Areas: Evidence from Guangxi, China". *International journal of environmental research and public health*, No. 16(15), Pp: 2707 .
- Hanemann, W. M. (1994). "Valuing the environment through contingent valuation". *Journal of economic perspectives*, No. 8(4), Pp: 19-43 .
- Heger, M. & Sarraf, M., (2018). "Air pollution in Tehran: health costs, sources, and policies". *Environment and Natural Resources Global Practice Discussion Paper*, No. 6, <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29909> License: CC BY 3.0 IGO.
- Héroux, M.-E., et al., (2015). "Quantifying the health impacts of ambient air pollutants: recommendations of a WHO/Europe project". *International journal of public health*, No. 60(5): Pp: 619-627.
- Janjani, H.; Hassanvand, M. S.; Kashani, H. & Yunesian, M., (2020). "Characterizing Multiple Air Pollutant Indices Based on Their Effects on the Mortality in Tehran, Iran during 2012–2017". *Sustainable Cities and Society*, No. 59, Pp: 102222 .
- Karimi, A.; Shirmardi, M.; Hadei, M.; Birgani, Y. T.; Neisi, A.; Takdastan, A. & Goudarzi, G., (2019). "Concentrations and health effects of short-and long-term exposure to PM_{2.5}, NO₂, and O₃ in ambient air of Ahvaz city, Iran (2014–2017)". *Ecotoxicology and Environmental Safety*, No. 180, Pp: 542-548 .
- Karimi, H.; Soffianian, A.; Mirghaffari, N. & Soltani, S., (2016). "Determining air pollution potential using geographic information systems and multi-criteria evaluation: A case study in isfahan province in Iran". *Environmental Processes*, No. 3(1), Pp: 229-246 .
- Karimzadegan, H.; Rahmatian, M.; Farhud, D. & Yunesian, M., (2008). "Economic Valuation of Air Pollution Health Impacts in the Tehran Area, Iran". *Iranian journal of public health*, No. 37(1), Pp: 20-30 .
- Krewski, D.; Burnett, R. T.; Goldberg, M. S.; Hoover, K.; Siemiatycki, J.; Jerrett, M.; . . . White, W. (2000). "Reanalysis of the Harvard Six Cities Study and the

- American Cancer Society Study of particulate air pollution and mortality". *Health Effects Institut, Cambridge, MA* .
- Krewski, D.; Jerrett, M.; Burnett, R. T.; Ma, R.; Hughes, E.; Shi, Y.; . . . Calle, E. E., (2009). "Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality". *Health Effects Institute Boston, MA*.
- Künzli, N.; Medina, S.; Kaiser, R.; Quenel, P.; Horak Jr, F. & Studnicka, M., (2001). "Assessment of deaths attributable to air pollution: should we use risk estimates based on time series or on cohort studies?" *American journal of epidemiology*, No. 153(11), Pp: 1050-1055 .
- Liu, W.; Xu, Z. & Yang, T., (2018). "Health effects of air pollution in China". *International journal of environmental research and public health*, No. 15(7), Pp: 1471 .
- McCubbin, D. R. & Delucchi, M. A., (1999). "The health costs of motor-vehicle-related air pollution". *Journal of Transport Economics and Policy*, No. 33(3), Pp: 253-286 .
- Meisner, C.; Gjorgjev, D. & Tozija, F., (2015). "Estimating health impacts and economic costs of air pollution in the Republic of Macedonia". *South Eastern European Journal of Public Health (SEEJPH)*. No. 4.
- Menz, T. & Welsch, H., (2010). "Population aging and environmental preferences in OECD countries: The case of air pollution". *Ecological Economics*, No. 69(12), Pp: 2582-2589 .
- Miri, M.; Aval, H. E.; Ehrampoush, M. H.; Mohammadi, A.; Toolabi, A.; Nikonahad, A., . . . Abdollahnejad, A., (2017). "Human health impact assessment of exposure to particulate matter: an AirQ software modeling". *Environmental Science and Pollution Research*, No. 24(19), Pp: 16513-16519 .
- Mohamadnejad, N.; Assari Arani, A.; Keshavarz Haddad, G. & Faraji Dizaji, S., (2020). "Statistical Value of Life and Health Capital in Iran". *Quarterly Journal of Economic Research and Policies*, No. 27(92), Pp: 197-225 .
- Narain, U. & Sall, C., (2016). "Methodology for valuing the health impacts of air pollution: discussion of challenges and proposed solutions". *World Bank Report*.
- Omidi, Y.; Goudarzi, G.; Heidari, A. M. & Daryanoosh, S. M., (2016). "Health impact assessment of short-term exposure to NO₂ in Kermanshah, Iran using AirQ model". *Environ. health eng. manag.*, No. 3(2), Pp: 91-97.

- Pařil, V. & Tóthová, D., (2020). "Assessment of the burden on population due to transport-related air pollution: The Czech core motorway network". *Journal of Cleaner Production*, No. 275, Pp: 123111 .
- Pascal, M.; Corso, M. & Ung, A., (2011) "Guidelines for assessing the health impacts of air pollution in European cities". *Aphekom project*. Work package 5 .
- Quah, E. & Boon, T. L., (2003). "The economic cost of particulate air pollution on health in Singapore". *Journal of Asian Economics*, No. 14(1), Pp: 73-90 .
- Shahbazi, H. & Khoddam, N., (2020). "Tehran Air and Sound Quality Report in 2019". Report. Retrieved from <https://hshahbazi.ir/fa>
- Soleimani, M. & Amini, N., (2017). "Source identification and apportionment of air pollutants in Iran". *Journal of Air Pollution and Health*, No. 2(1), Pp: 57-72.
- Tischer, V. Fountas, G.; Polette, M. & Rye, T., (2019). "Environmental and economic assessment of traffic-related air pollution using aggregate spatial information: A case study of Balneário Camboriú, Brazil". *Journal of Transport & Health*, No. 14, Pp: 100592 .
- World Bank (2016). "The cost of air pollution: strengthening the economic case for action. Washington". *World Bank Group* .
- World Bank web site, (2020a). "GDP per capita (current US\$) - OECD members".
- World Bank web site, (2020b). "GDP per capita (current US\$) - Iran, Islamic Rep".
- World Health Organization (2018). "AirQ+: Software tool for health risk assessment of air pollution".
- Zarabi, A.; Mohammadi, J. & Abdollahi, A., (2010). "Investigation and evaluation of fixed and mobile sources in air pollution in Isfahan". *Iranian Journal of Geography*, No. 2(1), Pp: 1-18.

Valuation of External Effects of Air Pollution Due to Urban Transportation Network - Case study: IsfahanSoleimani, M.¹, Akbari, N.^{2*}, Saffari, B.³**Abstract**

Most populous cities in the world are currently facing the air pollution problem, and Iran is no exception. Since one of the most important sources of air pollution is mobile sources, this paper tries to estimate the health effects and economic costs of PM_{2.5} concentration emitted by transportation in the urban network of Isfahan during 2018-2019. In this regard, for more detail, we estimate the concentration of pollution caused by vehicles by using the results of the Generalized Additive Model (GAM). We also calculate the spatial distribution of pollution in Isfahan using ArcGIS. Then, the health impacts of air pollution caused by motor vehicles are assessed using the AirQ⁺. Damages and economic costs of these health impacts are finally estimated by value of a statistical life and mortality rate approach. The results indicate that the mean concentrations for 2018 is 31.03 µg/m³. Using the results of Generalized Additive Model based on the shares obtained for traffic in the five areas studied in Isfahan, the concentration of PM_{2.5} pollution caused by urban traffic is 4.94 µg/m³. In general, 607 (95% Coefficient Interval: 404-789) premature deaths in adults in 2018 can be attributed to PM_{2.5} pollution in Isfahan, among which 150 premature deaths are because of PM_{2.5} pollution caused by motor vehicles. Using the value of a statistical life approach, the estimated total annual economic cost of traffic pollution in 2018 is USD 57.9 million and 304 billion IRR per year using compensation payment (mortality cost).

Keyword: Economic Valuation, AirQ⁺ Model, Value of Statistical Life, Road Transport, Generalized additive model.

JEL Classification: I11, O18, Q51, C14.

1. Ph.D. candidate of Economics, Department of Economics, University of Isfahan, Iran

Email: mozhgansoleymani@gmail.com

2. Professor of Economics, Department of Economics, University of Isfahan (Author)*

Email: n_akbari@ase.ui.ac.ir

3. Assistant Professor of Economics, Department of Economics, University of Isfahan

Email: b_saffari@ase.ui.ac.ir