فصلنامهٔ علمی مطالعات اقتصادیِ کاربردی ایران

سال دهم، شمارهٔ ۴۰، زمستان ۱۴۰۰

صفحات: ۲۰۵-۱۸۱

DOI: 10.22084/AES.2021.22958.3194

(مقاله پژوهشی)

ارزیابی اثرات خارجی آلودگی هوای ناشی از حمل‌ونقل شبکهٔ شهری اصفهان

مژگان سلیمانی[۱]

نعمت‌اله اکبری[۲*]

بابک صفاری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۵

چکیده

امروزه کلان شهرهای زیادی در سرتاسر دنیا گریبان‌گیر آلودگی هوا هستند و تلاش‌های زیادی در جهت کنترل این آلودگی صورت می‌گیرد. از آنجایی‌که یکی از مهم‌ترین منابع آلودگی هوا، منابع متحرک هستند، در این مقاله سعی شده است تا برآوردی از هزینه‌های اقتصادی آلودگی هوای $PM_{2.5}$ منتشرشده توسط وسایل نقلیهٔ موتوری انجام شود. در این‌راستا، ابتدا براساس نتایج مدل جمعی تعمیم‌یافته و با استفاده از سهم ترافیک از آلودگی، به برآورد غلظت آلایندگی ایجاد شده توسط ترافیک پرداخته، سپس براساس مدل $AirQ^+$ اثرات بهداشتی آلودگی ارزیابی شده است. درنهایت با استفاده از رویکرد ارزش آماری زندگی و پرداخت‌های جبرانی (نرخ دیه)، به تخمین هزینه‌های اقتصادی ناشی از آلودگی هوای انتشاریافته توسط وسایل‌نقلیه 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 هزینهٔ اجتماعی آلودگی هوا می‌باشد؛ چراکه با اجرای تحلیل‌های هزینه-فایده، می‌توان به معیار مناسبی برای اولویت‌بندی اقدامات کنترلی در جهت کاهش آلودگی هوا دست‌یافت.

کلیدواژه‌ها: ارزش‌گذاری اقتصادی، مدل جمعی تعمیم‌یافته، مدل $AirQ^+$، ارزش آماری زندگی، حمل‌ونقل شهری.

طبقه‌بندی JEL: I11, O18, Q51, C14.

---

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

Email: mozhgansoleymani@gmail.com

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

Email: n_akbari@ase.ui.ac.ir

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

Email: b_saffari@ase.ui.ac.ir

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، به‌طوری‌که غلظت آلایندهٔ ذرات معلق کوچک‌تر از ۲.۵ میکرون در کلان شهرهای ایران بیشتر از سه برابر از سطح استاندارد ملی و راهنمای کیفیت هوای سازمان بهداشت جهانی بالاتر است (ارفعی‌نیا و همکاران، ۲۰۱۴؛ هگر و صراف[1]، ۲۰۱۸). ۲۷٪ از روزهای هوای اصفهان در سال ۱۳۹۸، در وضعیت ناسالم بوده[2] 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، ۱۳٪ متعلق به صنایع شهری، ۱۱٪ مربوط به بخش خانگی و ۷۶٪ 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 تحت‌تأثیر قرار خواهد داد؛ از طرف دیگر، رشد سریع ناوگان حمل‌ونقلی چالش ی را برای مقامات شهری ایجاد می‌کند؛ چراکه می‌تواند کیفیت هوا را به‌طور جدی تخریب کند و منجر به افزایش تراکم ترافیک شود. طبق گزارش ی از شرکت کنترل کیفیت هوای تهران ۹۸٪ از کربن مونوکسید، ۴۷٪ از اکسیدهای نیتروژن، ۸۶٪ از ترکیبات آلی فرار و ۷۰٪ از ذرات معلق کوچک‌تر از ۲.۵ میکرون منتشرشده در هوای تهران ناش ی از بخش حمل‌ونقل است (شهبازی 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 مکرو و همکاران[3]، 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[4]، 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 بررس ی بانک جهانی ۴۰۰۰ نفر در تهران به علت انتشار آلاینده $PM_{2.5}$ در سال ۲۰۱۶ دچار مرگ زودرس شده‌اند (هگر و صراف، ۲۰۱۸). ۱۰ میکروگرم

---

[1]. Heger & Sarraf

[2]. استاندارد سازمان حفاظت از محیط زیست ایران AQI>۱۰۰ می باشد.

[3]. De Marco et al.

[4]. 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[1]، ۲۰۰۹).

روش‌های متفاوتی برای نشان‌دادن 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[2]، 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[3]، ۲۰۱۱).

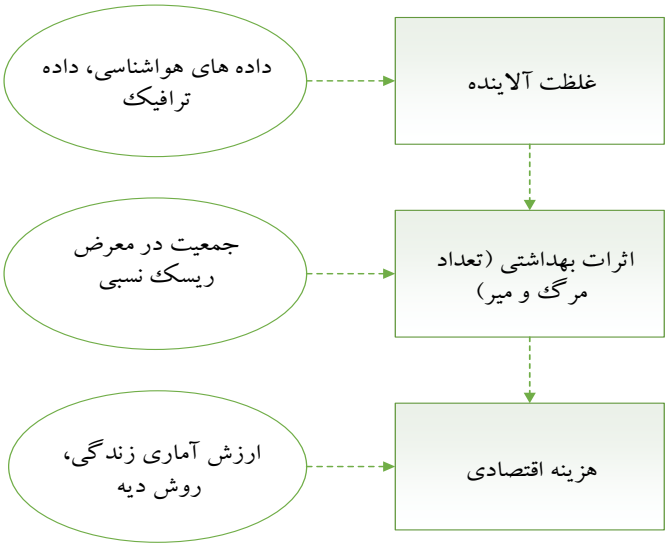
به‌منظورکمک به سیاست‌گذاران برای مدیریت بخش حمل‌ونقل و اقدامات لازم در جهت آن، لازم است تا برآوردی از میزان خسارت اقتصادی ناشی از آلودگی هوایی که این بخش متحمل شده است، صورت بگیرد. در مطالعاتی که در ایران صورت گرفته است، هیچ مطالعه‌ای با رویکرد پایین به بالا و با استفاده از برآوردهای پیامدهای سلامتی به محاسبهٔ هزینه‌های آلودگی هوای وسایل نقلیه موتوری نپرداخته‌اند. در این پژوهش، تمرکز برروی ارزیابی اثرات ایجادشده در حوزهٔ سلامت، توسط انتشار آلاینده‌های حمل‌ونقل موتوری در شبکهٔ شهری اصفهان بوده است. در این‌راستا، با استفاده از نتایج مدل جمعی تعمیم‌یافته به محاسبهٔ سهم ترافیک شهری از آلایندهٔ $PM_{2.5}$ پرداخته می‌شود؛ سپس اثرات بهداشتی آلودگی هوای ناشی از وسایل نقلیه موتوری با استفاده از مدل $AirQ^{+}$ ارزیابی می‌شود و درنهایت خسارت‌ها و هزینهٔ اقتصادی این اثرات بهداشتی برآورد می‌گردد. مراحل سه‌گانهٔ 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[4]، ۱۹۹۹). همچنین متوسط غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ طی چندین سال گذشته در اصفهان از میانگین مجاز اعلام شده توسط سازمان بهداشت جهانی[5] خیلی بیشتر بوده است.

چارچوب پژوهش بر این‌اساس 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 درنهایت در بخش پنجم، نتایج و نحوهٔ به‌کارگیری آن‌ها ارائه می‌گردد.

---

1. Krewski et al.
2. R. Burnett et al.
3. Pascal et al.
4. McCubbin & Delucchi

۵ مقادیر بزرگ‌تر از ۱۰ $\mu g/m^3$



شکل ۱: مراحل انجام پژوهش

۲. پیشینهٔ پژوهش

مدل $AirQ^{+}$ که توسط مرکز اروپایی سازمان بهداشت جهانی توسعه یافته است، در سال‌های اخیر به‌منظور ارزیابی اثرات بهداشتی آلودگی هوا در کشورهای مختلف به‌کار گرفته شده است (بورنت و همکاران[1]، ۲۰۱۸؛ سازمان بهداشت جهانی[2]، 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 به‌ترتیب عبارت بوده از: ۶۷۱۰، ۱۶۱۸، ۹۴۸ (حاجی‌زاده و همکاران، ۲۰۲۰؛ انصاری و احرام‌پوش، ۲۰۱۹؛ کریمی و همکاران، ۲۰۱۹).

طی سالیان گذشته، ادبیات روبه‌رشدی در زمینهٔ ارزیابی اثرات بهداشتی آلودگی هوا ایجاد شده است. میسنر و همکاران[3] (۲۰۱۵) در پژوهش خود به بررسی اثرات بهداشتی و هزینه‌های اقتصادی مربوط به ذرات‌ریز (PM_{10}, $PM_{2.5}$) پرداخته و به‌منظور ارزش‌گذاری بار اقتصادی از سه رویکرد ارزش آماری، هزینهٔ بیماری و سرمایهٔ انسانی استفاده کرده‌اند؛ همچنین هزینهٔ تقریبی برای یک‌سال 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 به‌علت مواجهه با آلودگی هوای ناشی از $PM_{2.5}$ اتفاق می‌افتد که به ازای هر مرگ به‌طور 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[1]، ۲۰۱۸). در مقالهٔ 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 به‌منظور پولی کردن این تبعات، زیان اقتصادی با روش هزینهٔ بیماری و ارزش آماری زندگی برآورد گردید (هان و همکاران[2]، ۲۰۱۹).

مطالعات متعددی هم در مورد ارزش‌گذاری هزینه‌های اقتصادی ناشی از آلودگی هوای مرتبط با حمل‌ونقل انجام شده است. تیچر و همکاران[3] (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 به‌علت ترافیک به‌وجود آمده است را، تخمین زده‌اند. در مطالعهٔ 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 هزینهٔ اقتصادی ناشی از آلودگی هوای بخش حمل‌ونقل برآورد شده است (گو و همکاران[4]، ۲۰۱۰). کراویوتو[5] (۲۰۱۳) هزینه‌های خارجی بخش حمل‌ونقل را برای مکزیک محاسبه کرده که شامل هزینه‌های آلودگی هوا و تصادفات و ازدحام و... می‌باشد. برای تخمین هزینهٔ آلودگی هوای بخش حمل‌ونقل، مقدار غلظت‌های منتشر شده در هوا را برای آلاینده‌های مختلف به‌دست آورده و با استفاده از هزینهٔ هر واحد آلودگی، خسارات اقتصادی ناشی از آلودگی هوا را برآورد کرده است. مطالعهٔ دیگر، اثرات خارجی ناشی از آلودگی هوای بخش حمل‌ونقل را برای یکی از اتوبان‌های چک بررسی کرده و بار اقتصادی ناشی از آلایندهٔ PM_{10} را محاسبه نموده است (پاریل و توتوا[6]، ۲۰۲۰).

در ایران هم مطالعات کمی درمورد ارزیابی زیان‌های اقتصادی اثرات سلامتی آلودگی هوا وجود دارد؛ کریم‌زادگان و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای به بررسی آلاینده‌های مختلف، ازجمله کربن‌مونواکسید و نیتروژن دی‌اکسید برای تهران پرداختند. آن‌ها در مطالعهٔ خود به محاسبهٔ هزینه‌های بیماری با استفاده از روش ارزش‌گذاری مشروط و هزینهٔ 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

اســـتفاده از روش ارزش آماری زندگی پرداختند. براجر[1] (۲۰۱۲) برای تهران به محاســـبهٔ ریســـک مرگ‌ومیر نلشی از آلودگی هوا پرداخت و هزینهٔ سالیانه‌ای معادل ۳۷۸ میلیون دلار را برای کاهش این ریســـک تخمین زد. بیات و همکاران (۲۰۱۹) با اســـتفاده از مدل جهانی مواجهه–مرگ، مرگ‌ومیر منتسب 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 رابطهٔ کوتاه‌مدت و میان‌مدت آلودگی هوا و مرگ‌ومیر پرداخته و هزینه‌های اجتماعی سالانهٔ 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 مطالعهٔ جایکا در محاسبهٔ 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 (خداپناه، ۱۳۸۹). آلودگی هوا طبق تعاریف عبارتنداز: حضـــور یک یا چند آلاینده یا ترکیب آن‌ها در اتمســـفر بیرونی یا داخلی با مقادیر و مدت‌زمانی‌که ممکن است سبب آسیب به زندگی انسانی، حیوانی، گیاهی، اموال و یا اختلال در برخورداری راحت از زندگی شـــود. انواع متفاوتی از آلاینده‌های هوا وجود دارند که آثار مضری 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 وسایل‌نقلیه که بر اثر احتراق ناقص سوخت‌های فسیلی تولید می‌شوند به‌شکل گازهای خروجی از اگزوز وارد محیط‌زیســـت می‌شـــوند. آلودگی هوا در ایجاد بیماری‌های ریوی و ســـرطان و همچنین اختلالات عصبی نقش مؤثری دارد. بیشترین افرادی که در معرض آسیب جدی آلاینده‌های خودرویی

[1]. Brajer

قرار می‌گیرند، شامل: اطفال، افراد مسن، افراد مبتلا به آسم و مشاغلی هستند که با خودرو سروکار دارند. اثرپذیری آلاینده‌ها بر انسان به‌مدت‌زمان تماس و غلظت آن بستگی دارد. اگر مدت‌زمان کوتاه باشد، اثری نداشته و به‌سرعت 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 ازطریق سیستم تنفسی وارد بدن انسان می‌شوند. به‌دست آوردن یک رابطهٔ 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 ریز، ۱.۵٪ مرگ‌ومیر روزانه افزایش می‌یابد (کریویسکی و همکاران[1]، ۲۰۰۰)؛ همچنین ریسک نسبی در حالتی‌که 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[2] (۱۹۹۴) یکی از اقتصاددانان محیط‌زیست، مطرح می‌کند که یکی از دلایل عمدهٔ ورود علم اقتصاد به محیط‌زیست، تعیین ارزش پولی منابع زیست‌محیطی و زیان‌های ناشی از آلودگی می‌باشد. اگر این ارزیابی صورت نگیرد، تعیین سطح بهینهٔ آلودگی با مالیات‌های پیگویی[3] امکان‌پذیر نبوده و منابع اقتصادی با قیمت ارزان مورد ستفاده قرار خواهد گرفت. مسألهٔ 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 طبقهٔ روش‌های رجحان آشکار شده و شیوهٔ رجحان اظهار شده تقسیم‌بندی می‌شود. اقتصاددانان محیط‌زیست تعدادی از تکنیک‌های مبتنی‌بر بازار و غیر بازار را به‌منظور ارزش‌گذاری محیط‌زیست توسعه داده‌اند (یاری، ۱۳۹۲).

برای محاسبهٔ بار اقتصادی بهداشت ناشی از آلودگی هوا روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. تمایل به پرداخت یکی از روش‌های رایجی هست که برای محاسبهٔ 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 کشورها و جوامع ثروتمند و فقیر است (منز و ولش[1]، ۲۰۱۰). دیگر روش‌هایی که براساس بازار محاسبه می‌شوند عبارتنداز: هزینهٔ بیماری، پرداخت‌های جبرانی، رویکرد سرمایهٔ انسانی و رویکرد بیمه. در روش هزینهٔ بیماری مجموع مخارج پزشکی و درآمد از دست‌رفته قابل انتساب به بیماری مرتبط با آلودگی محاسبه می‌شود؛ درحالی‌که در رویکرد سرمایهٔ انسانی، تنها زیان درآمدی به علت مرگ‌ومیر درنظر گرفته می‌شود؛ به‌عبارت دیگر، در این روش ارزش حال درآمدهای آتی افرادی که به‌علت آلودگی هوا مرده‌اند محاسبه می‌شود (آلبرینی و کروپنیک[2]، ۲۰۰۰؛ دانش‌جعفری و همکاران، ۱۳۹۴). در روش پرداخت‌های جبرانی (نرخ دیه)، مقدار ثابتی برای جبران هزینه‌های ناشی از مرگ‌ومیر توسط دولت به‌صورت 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.

٤. روش تحقیق

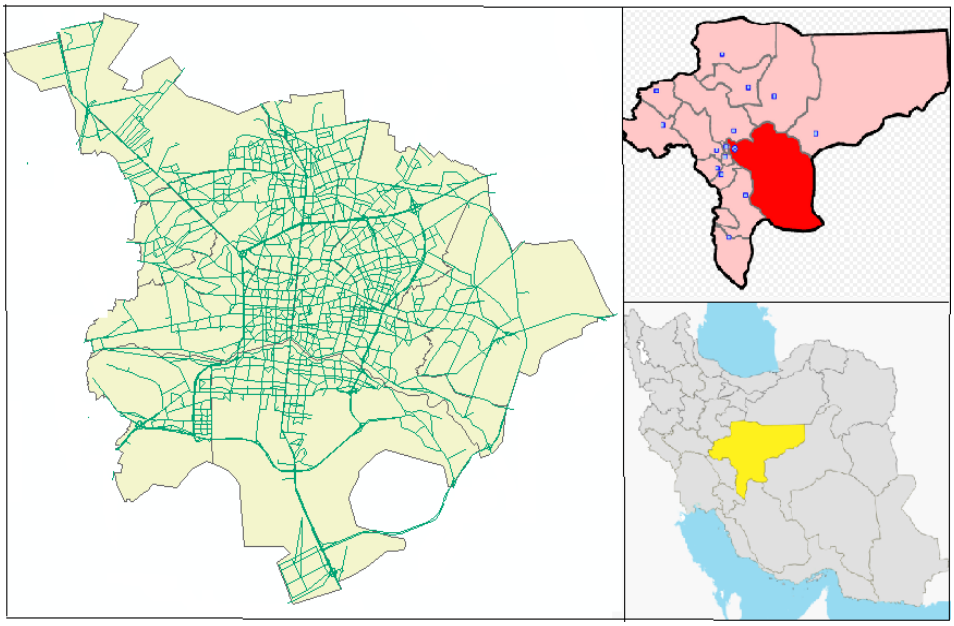
فرآیند ارزیابی بهداشتی و ارزش‌گذاری اقتصادی در چهار مرحله توضیح داده می‌شود که عبارتنداز: ۱- تعریف ناحیهٔ مورد بررسی، ۲- بررسی توزیع غلظت‌های آلایندگی مربوط به حمل‌ونقل، ۳- تخمین اثرات سلامت عمومی از آلودگی هوای مرتبط با وسایل نقلیه موتوری، ۴- مقداری کردن هزینه‌های اقتصادی آن اثرات. در ادامه این مراحل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

٤-۱. تعریف ناحیهٔ موردبررسی

شهر اصفهان با جمعیتی بالغبر 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 حلقهٔ ترافیکی به‌عنوان مسیرهای عبوری اصلی طراحی شده و حلقهٔ چهارم در حال آماده‌سازی است. حلقهٔ اول در محدودهٔ مرکزی شهر به‌طول ۱۲.۵ کیلومتر، حلقهٔ دوم در محدودهٔ میانی شهر به‌طول ۲۴.۵ کیلومتر شامل خیابان‌های شریان اصلی، و حلقهٔ سوم به طول ۴۶ کیلومتر به‌صورت بزرگراه درنظر گرفته شده است. حلقهٔ چهارم با طول حدود ۷۸ کیلومتر به‌عنوان بیرونی‌ترین مسیر

[1]. Menz & Welsch
[2]. Alberini & Krupnick

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

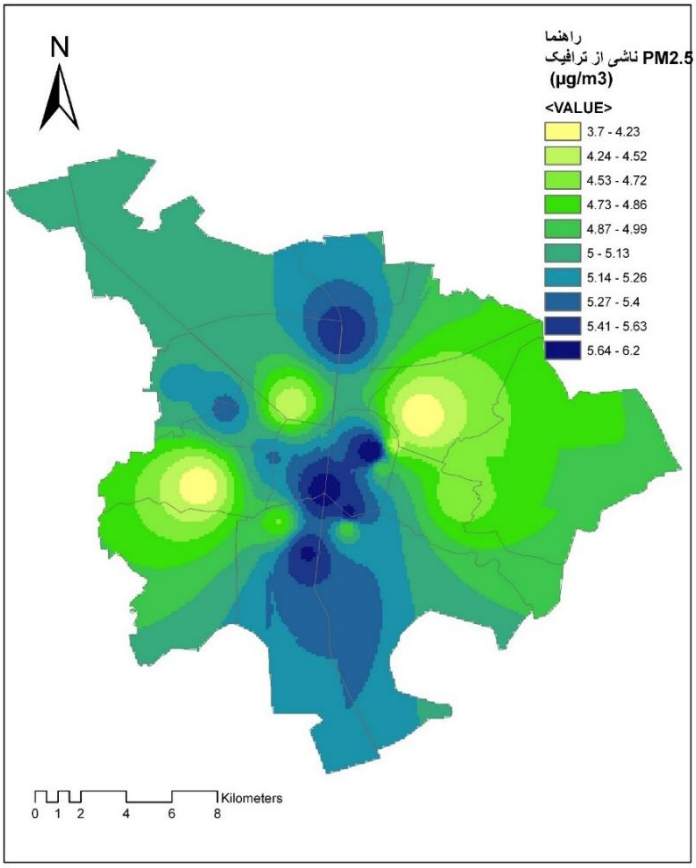


شکل ۲. موقعیت استان اصفهان و شبکه حمل و نقلی شهر اصفهان (منبع: یافته‌های محقق).

٤-۲. محاسبه سهم ترافیک شهری از آلودگی هوا

به‌منظور تخمین آلودگی هوای مربوط به حمل‌ونقل جاده‌ای در شهر اصفهان، از یک مدل آماری برای تخمین سهم ترافیک از غلظت‌های $PM_{2.5}$ استفاده شد. بدین‌منظور رویکرد مدل‌سازی جمعی تعمیم‌یافته به‌عنوان یک مدل آماری انعطاف‌پذیر به‌کار گرفته شد که نشان‌دهندهٔ ارتباطات خطی و غیرخطی بین متغیرهای پیش‌بینی کننده و پاسخ با استفاده از توابع هموارساز غیر پارامتری می‌باشد. در این مدل حجم ترافیک، متغیرهای هواشناسی، ازجمله: 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 مورداستفاده قرار گرفتند. تمام متغیرها برای تست، نرمال بودن توسط نمودار چارکی و تست شاپیرو–ویلک مورد آزمون قرار گرفتند. به‌غیر از آلایندهٔ $PM_{2.5}$ که برای تبدیل به توزیع نرمال، لگاریتم گرفته شد؛ بقیهٔ متغیرها مشکل شایان توجهی نداشتند. سپس به‌منظور پاک‌سازی داده‌ها، داده‌های خارج از محدوده با استفاده از قاعدهٔ 3σ برای بعضی از متغیرها حذف شد.

با توجه به پراکندگی ایستگاه‌های سنجش آلودگی (۱۶ ایستگاه) و جانمایی دوربین‌های تردد شمار حجم ترافیک شهری، محدوده موردمطالعهٔ اصفهان به ۵ ناحیه تقسیم شد و متناسب با ایستگاه‌های موجود در هر ناحیه و متغیرهای دیگر، مدل جمعی تعمیم‌یافته برای هر ناحیه تخمین زده شد و سهم ترافیک از آلودگی $PM_{2.5}$ به‌دست 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 به‌ترتیب ۱۸.۳۸٪، ۱۳.۴۶٪، ۱۶.۲۳٪، ۱۱.۹۳٪، و ۱۴.۶۴٪ شد. با استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای به‌دست آمده از سازمان حفاظت محیط‌زیست و همچنین شهرداری اصفهان (۹ ایستگاه از کل ایستگاه‌ها متعلق به شهرداری اصفهان و ۷ ایستگاه متعلق به سازمان حفاظت محیط‌زیست می‌باشد)، و همچنین سهم ترافیک از این آلودگی، در محیط نرم‌افزاری Arc GIS و با استفاده از درون‌یابی وزن‌دهی‌شده با معکوس مسافت (IDW) توزیع فضایی آلودگی هوای $PM_{2.5}$ در شکل ۳، برای سال ۹۷ ترسیم شده است؛ همان‌طورکه مشاهده می‌شود در ناحیهٔ شمال، شمال‌غربی، مرکز و جنوب غلظت آلایندگی بیشتر می‌باشد.



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

٤-۳. 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 بروزرسانی شده، استفاده گردید. $AirQ^+$ ابزار خاصی است که به کاربر اجازه می‌دهد تا اثرات بالقوهٔ آلایندهٔ خاص را بر سلامتی انسان در ناحیهٔ خاص و دورهٔ 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). همهٔ 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 محاسبهٔ مرگ‌ومیر منتسب به آلودگی در دورهٔ زمانی موردنظر، به چند دسته اطلاعات نیاز است؛ الف) داده‌های آلودگی هوای ناشی از وسایل نقلیه موتوری، ب) داده‌های جمعیتی و محاسبهٔ جمعیت در معرض ریسک برای گروه‌های سنی مختلف که از مرکز آمار ایران تهیه شده است، ج) داده‌های بهداشتی ازجمله 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

پیامدهای بهداشتی	میزان بروز پایه (به ازای هر ۱۰۰۰۰۰نفر)	ریسک نسبی به ازای هر ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب (فاصلهٔ اطمینان)	منبع
	سال ۱۳۹۷		
مرگ‌ومیر، همهٔ موارد	۴۲۸/۶	۱.۰۶۲ (۱.۰۴–۱.۰۸۳)	(هروکس و همکاران[1]، ۲۰۱۵)
مرگ‌ومیر، IHD[1]	۱۲۵/۳	IER	(بورنت و همکاران[2]، ۲۰۱۴)
مرگ‌ومیر، LC[2]	۷/۰۴	۱.۰۹ (۱.۰۴–۱.۱۴)	(بورنت و همکاران، ۲۰۱۴)
مرگ‌ومیر، COPD[3]	۱۴/۰۸	IER	(بورنت و همکاران، ۲۰۱۴)

منبع: محاسبات محقق.

[1]بیماری ایسکمیک قلبی [2]سرطان ریه [3]بیماری انسداد مزمن ریه

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

$$AP = \frac{\sum([RR(c)-1]\times p(c))}{\sum[RR(c)\times p(c)]} \quad (۱)$$

جایی‌که AP[3] یا نسبت منتسب بخشی از پیامد بهداشتی است که می‌توان آن‌را مرتبط با مواجهه جمعیتی خاص طی یک دورهٔ 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 به‌دست آورد عبارت است از:

1. Hérux et al.
2. Burnett et al.
3. Attributable Proportion

$$RR = exp[\beta(x - x_0)] \quad (۲)$$

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

درنهایت برای برآورد تعداد مرگ‌ومیر منتسب به سطوح سالیانه $PM_{2.5}$، از معادلهٔ زیر استفاده می‌شود

$$E = BI \times AP \quad (۳)$$

که در آن BI نشان‌دهندهٔ میزان بروز پایهٔ پیامد بهداشتی منتخب در جامعهٔ موردنظر می‌باشد.

٤-٤. مقداری کردن هزینه‌های اقتصادی اثرات بهداشتی

در این مطالعه، همچنین ارزیابی اقتصادی مربوط به اثرات بهداشتی ناشی از غلظت‌های منتشر شده وسایل نقلیه موتوری ازنظر پولی به‌دست آورده می‌شود. برای محاسبهٔ هزینهٔ اقتصادی اثرات بهداشتی نلشی از آلودگی هوا از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. تمایل به پرداخت یکی از روش‌های رایجی است که برای محاسبهٔ 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 محاسبهٔ هزینهٔ 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 محاسبهٔ هزینهٔ مرگ‌ومیر استفاده می‌شود؛ رویکرد اول، روش ارزش آماری زندگی با استفاده از تمایل به پرداخت است. مطالعات زیادی ارزش آماری زندگی را برای کشورهای توسعه‌یافته تخمین زده‌اند (نارایان و سال[1]، ۲۰۱۶)؛ اما تخمینی محلی برای کشورهای درحال 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[2]، ۲۰۰۳)، با استفاده از رویکرد انتقال منافع، می‌توان به‌طور غیرمستقیم متوسط تمایل به پرداخت برآورد شده توسط مطالعات خارجی را به ایران انتقال‌داد (بلنک جهانی، ۲۰۱۶؛ کریم‌زادگان و همکاران، ۲۰۰۸).

---

[1]. Narain & Sall
[2]. Quah & Boon

$$VOSL_A = VOSL_B \times (\frac{Y_A}{Y_B})^e \quad (۴)$$

که در آن VOSL ارزش آماری زندگی در دو جامعه و Y درآمد ناخالص ملی سرانهٔ 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 محدودهٔ ۱ تا ۱/۴ با برآورد مرکزی ۱/۲ تغییر می‌کند (نارایان و سال، ۲۰۱۶؛ هگر و صراف[1]، ۲۰۱۸)؛ بنابراین هزینهٔ 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 منتسب 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 (غیرعمد) در کشور است و هر سال ارزش آن براساس اصول فقه شیعهٔ 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 رابطهٔ ۷ به‌دست خواهد آمد.

$$\frac{(231000000*8)+(308000000*4)}{12} \simeq 256600000 \quad (۵)$$

مقدار ارزش در این روش متأثر از جنسیت است. نهایتاً هزینهٔ اقتصادی به این روش براساس رابطهٔ زیر است:

$$sc = m_1 \times f_1 + m_2 \times f_2 \quad (۶)$$

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

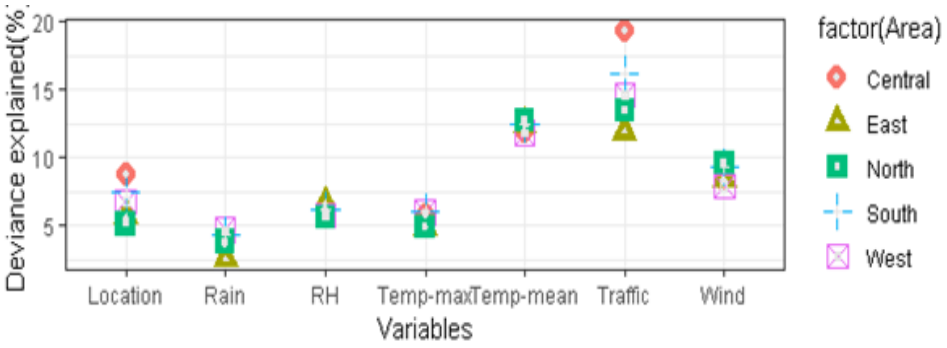
۵. یافته‌های تحقیق

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 ۳۱/۰۳ $\mu g/m^3$ محاسبه شد. با استفاده از نتایج GAMs مبنی‌بر سهم‌های به‌دست آمده برای ترافیک، غلظت آلایندگی خودروها برای ۵ ناحیهٔ ترافیکی شهر اصفهان، ۴.۹۴۱ میکروگرم بر متر مکعب شده است. شکل ۴، طبق نتایج GAMs، سهم متغیرهای مختلف در غلظت آلودگی $PM_{2.5}$ را برای نواحی

[1]. Heger & Sarraf

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



شکل ٤. سهم متغیرهای مختلف از آلودگی ذرات معلق طبق نتایج مدل GAM (منبع: یافته‌های محقق).

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

شواهدی دال‌بر این‌که اثرات بهداشتی مواجههٔ آلودگی در یک‌سال، در همان‌سال تجربه شود؛ وجود ندارد؛ با این‌حال، درصورت 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 پایهٔ 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.

به‌طورکلی 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. ازمجموع ۱۵۰ مرگ، تعداد مرگ هر یک از عوامل عبارتنداز: (CI: ۳۰-۱۰۷) ۵۱ مورد از IHD، (CI: ۲-۵) ۳ مورد از LC، (CI: ۴-۱۲) ۸ مورد از COPD (جدول ۲)؛ بنابراین $PM_{2.5}$ ناشی از ترافیک عامل ۱.۷۶٪ از کل مرگ‌ومیر درمیان بزرگسالان است.

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

پیامد بهداشتی	نسبت منتسب تخمینی (٪)	تعداد موارد قابل استناد	موارد قابل استناد در هر ۱۰^۵ جمعیت
مرگ‌ومیر، همه موارد	۲.۹۳ (۱.۹۲–۳.۸۶)	۱۵۰ (۹۸–۱۹۷)	۱۲.۵۵ (۸.۲۳–۱۶.۵۶)
مرگ‌ومیر، IHD	۳.۳۸ (۲.۰۱–۷.۱۴)	۵۱(۳۰–۱۰۷)	۴.۲۴ (۲.۵۲–۸.۹۴)
مرگ‌ومیر، LC	۴.۱۷ (۱.۹۲–۶.۲۷)	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.

۵-۳. ارزیابی اقتصادی تأثیرات بهداشتی

در روش اول، یعنی رویکرد YOSL، با اســتفاده از تولید ناخالص داخلی ســرانهٔ ایران و کشــورهای OECD و مطابق با محاسبات انجام‌شده در جدول ۳، هزینّ آلودگی ناشی از ترافیک در سال ۱۳۹۷، ۵۷.۹ میلیون دلار به‌دست آمده است. در روش دوم تعداد مرگ‌ومیر منتسب 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 (۱۱۳–۶۱ :CI) ۸۷ می‌باشد.

جدول ۳. محاسبات هزینهٔ اقتصادی با استفاده از رویکرد YOSL

	ارزش (دلار)	واحد (دلار)	منبع
ارزش آماری زندگی (OECD)	۳۸۳۲۸۴۳	براساس قیمت‌های ۲۰۱۱	(نارایان و سال، ۲۰۱۶)
درآمد سرانه (OECD)	۳۷۳۷۰	قیمت جاری ۲۰۱۷	(بانک جهانی، a۲۰۲۰)
درآمد سرانه (ایران)	۵۵۲۰	قیمت جاری ۲۰۱۷	(بانک جهانی، b۲۰۲۰)
ارزش آماری زندگی (ایران)	۳۸۶۲۰۷	براساس قیمت‌های ۲۰۱۱	$۳۸۳۲۸۴۳\times[۳۷۳۷۰/۵۵۲۰]^{۱.۲}$
هزینهٔ کل	۵۷.۹۳۱.۰۵۰	متوسط سالانه	۳۸۶۲۰۷ ×۱۵۰

منبع: یافته‌های محقق.

همچنین تخمین هزینهٔ اقتصادی که براساس روش دیه صورت گرفته است، ۳۰.۴ میلیارد تومان به‌دست آمد که به‌مراتب خیلی کمتر از رویکرد قبلی است. خلاصهٔ نتیجهٔ روش دیه در جدول ۴، ارائه شده است.

جدول ٤. محاسبات هزینه اقتصادی با استفاده از روش دیه

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

منبع: یافته‌های محقق.

٦. 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 آلایندگی 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 همهٔ 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 (مک‌کوبین و دلوچی[1]، 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 مستقلی‌بر سلامت افراد تحمیل‌کنند 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 به‌همین مرگ‌ومیر است (نارایان و سال، ۲۰۱۶)، اما بخش دیگر پیامدهای بهداشتی آلودگی هوا شامل: انواع بیماری‌های تنفسی، قلبی-عروقی، آسم، و از کارافتادگی و هزینهٔ 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، هزینهٔ بیماری را به‌صورت تقریبی و با استفاده از یک قاعدهٔ سرانگشتی معادل ۱۰٪ از کل هزینه‌های مرگ‌ومیر درنظر گرفته‌اند (بیات و همکاران، ۲۰۱۹، هگر و صراف[1]، ۲۰۱۸).

همان‌طورکه در پاراگراف قبلی توضیح داده شد، مرگ‌ومیر به‌عنوان مهم‌ترین پیامد بهداشتی درنظر گرفته می‌شود و به‌منظور 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 منتسب 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[2]، 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 هزینهٔ اقتصادی استفاده شد، با روش انتقال منافع و با استفاده از ارزش آماری زندگی کشورهای OECD و تولید ناخالص ملی سرانهٔ تعدیل شده، برای ایران ۳۸۶.۲۰۷ دلار محاسبه شد که با احتساب تعداد مرگ‌ومیر استخراج شده از نتایج نرم‌افزار $AirQ^+$، به‌طور متوسط سالانه ۵۷.۹ میلیون دلار هزینهٔ اقتصادی ناشی از آلودگی ذرات معلق مربوط به وسایل نقلیه موتوری به جامعه تحمیل کرد. مطالعهٔ براجر در سال ۲۰۱۰ ارزش آماری زندگی را برای ایران با استفاده از روش تعدیل به پرداخت حدود ۵۲۰۱۲۰ دلار برآورد کرد (براجر و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین عینی در سال ۲۰۱۳ به محاسبهٔ هزینه‌های جراحات ناشی از ترافیک پرداخت و ارزش آماری زندگی را ۶۵۷.۱۱۸ دلار تخمین زد (عینی و همکاران، ۲۰۱۴). علاوه‌بر روش ارزش آماری زندگی، رویکرد دیگری برای ارزش‌گذاری اقتصادی مورداستفاده قرارگرفت که مبتنی‌بر روش دیه بود؛ اما

[1]. Heger & Sarraf
[2]. Künzli et al.

هزینهٔ اقتصـادی محاسـبه شـده با این‌روش اختلاف زیادی با روش قبلی داشـت، ولی به‌دلیل مزایا و فراگیر بودن، روش ارزش آماری زندگی به‌عنوان شیوهٔ برگزیده انتخاب شد.

به‌منظور برآورد دقیق‌تر غلظت آلودگی منتشـر شـده از بخش حمل‌ونقل در سـطح شـهر، می‌توان از مدل‌های پراکنش نیز استفاده نمود تا میزان پراکندگی انتشار آلایندگی توسط وسایل‌نقلیه را در محیط شهری اندازه‌گیری نمود که در این پژوهش به آن پرداخته نشده است.

منابع

آمارنامه شهر اصفهان-فصل مدیریت شهری. (۱۳۹۷). Retrieved from http://www.isfahanold.ir/Index

اسدیان، بهنام، (۱۳۹۲). «برآورد هزینهٔ اجتماعی مرگ‌ومیر ناشی از آلودگی هوا در اثر مصرف سوخت‌های فسیلی در شهر مشهد». پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، استاد راهنما: محمدعلی فلاحی، 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، رخشاد؛ و تونی، امیدرضا، (۱۳۹۶). «برآورد هزینه‌های خارجی ناشی از آلودگی هوای کلانشهر کرج ناشی از بخش حمل‌ونقل». *مطالعات علوم محیط‌زیست*، دوره۲، شمارهٔ ۴، صص: ۵۸۲-۵۸۸

حسینی، نونا؛ و مزرعتی، محمد، (۱۳۸۳). «برآورد هزینه‌های اجتماعی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی بر سلامت ساکنان تهران». *فصلنامهٔ مطالعات اقتصادی انرژی*، شمارهٔ ۱(۳)، صص: ۱۰-۲۵.

خداپناه، مسعود، (۱۳۸۹). «پیامدهای بیرونی حمل‌ونقل با خودروی شخصی در شهر تهران و هزینهٔ اجتماعی آن». رسالهٔ دکتری، استاد راهنما: بهروز هادی زنور، اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبایی.

دانش‌جعفری، داوود؛ آماده، حمید؛ و خون‌سیاوشان، شادیه، (۱۳۹۴). «برآورد خسارات ناشی از پدیدهٔ ریزگردها بر سلامت افراد در ایران (مطالعهٔ موردی: استان‌های خوزستان، کرمانشاه و کردستان)». *محیط‌شناسی*، شمارهٔ ۴۱(۳)، صص: ۵۷۳-۵۸۷.

سازمان حفاظت محیط‌زیست، (۱۳۹۸). جدول مقایسهٔ شاخص کیفیت هوا-Retrieved from http://isfahan-doe.ir/Index

ملکی، شهرام، (۱۳۹۴). «مدل‌سازی اثرات بهداشتی براساس آلاینده‌های جوی با کاربرد مدل‌های AirQ, Aermod». پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد، استاد راهنما: محمد مسافری، جغرافیا، دانشگاه تبریز.

یاری، فاطمه، (۱۳۹۲). «برآورد هزینه‌های بیمارستانی و مرگ‌ومیر ناشی از آلودگی هوا». کارشناسی‌ارشد، 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 .

Brajer, 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, PM2.5 and PM10 and estimated health impacts". *IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd*.

Hajizadeh, Y.; Jafari, N.; Mohammadi, A.; Momtaz, S. M.; Fanaei, F. & Abdolahnejad, 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 PM2. 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 oft 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". *2Quarterly 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.

Applied Economics Studies, Iran (AESI) 205

Volume 10, Number 40, Winter 2022

Valuation of External Effects of Air Pollution Due to Urban Transportation Network - Case study: Isfahan

Soleimani, 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 PM2.5 pollution caused by urban traffic is 4.94 µg/m3. In general, 607 (95%Coeffecient Interval: 404-789) premature deaths in adults in 2018 can be attributed to PM2.5 pollution in Isfahan, among which 150 premature deaths are because of PM2.5 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