فصلنامه پژوهشهای اقتصادی (رشد و توسعه پایدار) ـ سال بیستم ـ شماره دوم ـ تابستان ۱۳۹۹ ـ صفحات ۷۶-۵۳

بررسی اثر کوتاه مدت آلودگی هوا بر مرگ‌ومیر در شش کلان شهر در ایران

محمدحسین رحمتی[۱]
وحید مغانی[۲]
محمد وصال[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۹

چکیده

در این مقاله، بررسی اثرات کوتاه‌مدت آلاینده‌های مختلف بر میزان مرگ‌ومیر به علل بیماری‌های قلبی-عروقی، بیماری‌های تنفسی، بیماری‌های گوارشی، سرطان‌ها و تومورها، مورد بررسی قرار گرفته است. در این مسیر، از داده‌های روزانه مرگ‌ومیر در شهرهای اهواز، اصفهان، مشهد، تبریز، شیراز و تهران و همچنین داده های روزانه میزان آلاینده‌ها شامل ذرات معلّق، مونو اکسید کربن، دی‌اکسید گوگرد، اکسیدهای نیتروژن و ازن در این ۶ شهر طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ استفاده می‌شود. به منظور یافتن اثرات آلودگی هوا بر میزان مرگ‌ومیر، از تغییرات روزانه و تغییرات میانگین آلودگی هوا در دو هفته قبل از هر روز، به عنوان عاملی برای تعیین اثر کوتاه‌مدّت آلودگی هوا بر تعداد روزانه مرگ‌ومیر استفاده می‌شود. در این بررسی، اثری از افزایش سطح آلاینده‌ها در هر روز بر میزان مرگ‌ومیر در همان روز یافت نشد. این در حالی‌است که یافته‌ها، از اثر معنی‌دار افزایش میانگین میزان گازهای مونو اکسید کربن طی دو هفته قبل از هر روز، بر میزان مجموع مرگ‌ومیر به علل ذکر شده، حکایت دارند.

واژه‌های کلیدی: مرگ‌ومیر، آلودگی هوا، قلبی-عروقی، تنفسی، سرطان، گوارشی
طبقه بندی Jel: Q51, Q53, B23

۱. دانشیار گروه اقتصاد دانشگاه صنعتی شریف rahmati@sharif.edu
۲. دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه تین برگن هلند vahid.moghani@student.uva.nl
۳. استادیار گروه اقتصاد دانشگاه صنعتی شریف m.vesal@sharif.edu

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]

مقدّمه

امروزه بسیاری از انسان‌ها در معرض آلودگی هوا قرار دارند و این پدیده، سلامت انسان‌ها را از جنبه‌های مختلفی تهدید می‌کند. سازمان ملل متحد، طی گزارشی اعلام نموده است که ۹۲ درصد از جمعیت کره زمین، در محیط‌هایی زندگی می‌کنند که آلودگی هوا از میزان توصیه شده، تجاوز می‌کند[1]. این واقعیات، در کنار تشدید مشکل آلودگی هوا در کشور ما، اهمیت بررسی اثرات این پدیده روی شاخص‌های سلامت جامعه را بیش از پیش، نشان می‌دهد.

بررسی اثرات آلودگی بر سلامت انسان‌ها، به دلیل اثراتی که آلودگی‌هوا بر سرمایه انسانی کشورها می‌گذارد و همچنین تخمین هزینه‌هایی که آلودگی هوا به سلامت انسان‌ها تحمیل می‌کند، به منظور اتّخاذ سیاست‌های کنترل آلودگی‌هوا، مورد توجّه اقتصاددانان قرار گرفته است. حوزه‌های اصلی مورد توجّه اقتصاددانان در این ادبیات، بررسی اثرات آلودگی هوا روی شاخص‌های مختلف سلامت، میزان مرگ‌و میر انسان‌ها و اثرات این پدیده بر نوزادان تازه متولّد شده است.

نکته دیگری که این روزها بیش از پیش مورد توجّه قرار گرفته، آن است که سیاستگذاران برای جلوگیری از بالارفتن آلودگی هوا، سیاست‌هایی را اعمال می‌کنند که هزینه‌هایی برای مردم در پی دارد. برای مثال در شهر تهران، طرح‌های مختلفی برای کاهش ترافیک اجرا می‌شود و به طور مشابه، در سراسر کشور، قوانینی برای جلوگیری از ایجاد آلودگی هوا توسّط بنگاه‌ها به اجرا درمی‌آید. هر سیاستی، می‌تواند با فشار بر بخش‌های مختلف مردم، باعث تحمیل هزینه‌هایی بر آنان شود؛ علاوه بر این، اجرای این سیاست‌ها نیز توسّط دولت‌ها، نیازمند بررسی‌های دقیق و صرف هزینه‌های مستقیم مادّی است. به همین دلیل، نیاز است تا به درستی دستاوردهای اجرای سیاست‌ها مورد بررسی قرار گیرند. ادبیات بررسی اثرات سلامت آلودگی هوا، می‌تواند از این زاویه مورد توجّه اقتصاددانان قرار بگیرد که در این ادبیات، هزینه‌هایی که آلودگی به سلامت مردم وارد می‌کند، بررسی می‌شود و در اجرای سیاست‌های کنترل‌کننده آلودگی هوا، کاهش این هزینه‌ها به عنوان سود انجام سیاست، مورد توجّه قرار می‌گیرد.

نکته مهم دیگر، آن است که شناخت درست افراد و گروه‌های حسّاس و همچنین اجزای پرهزینه‌تر آلودگی هوا، می‌تواند سبب شود تا طرّاحی سیاست‌ها با اهداف مشخص‌تری انجام شود. در مورد افرادی که خطرات آلودگی هوا، آنها را بیشتر تهدید می‌کند، سیاست‌ها می‌تواند جدّی‌تر اجرا شود. همچنین در مورد آلاینده‌هایی که هزینه‌های جدّی‌تری برای مردم ایجاد می‌کنند، می‌توان با سیاست‌های دقیق‌تری به مقابله با آنها پرداخت.

1. UN News Center, 2017

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]

مشکل آلودگی هوا در ایران نیز همچون بسیاری از نقاط دیگر کره زمین، یکی از چالش‌های اصلی کشور است. به‌رغم اینکه در چند سال گذشته، تمهیداتی در جهت کاهش آلودگی هوا اتّخاذ شده، این مشکل بیش از هر زمان دیگری نیاز به توجه و بررسی دارد. پدیده‌های طبیعی نظیر باد که گردوغبار را بویژه در مناطق جنوب و غرب کشور با خود به همراه می‌آورد، بیابان‌زایی در کشور، خودروها و کارخانه‌ها، منابع اصلی مشکل آلودگی هوا در ایران هستند. علی‌رغم اهمیّت موضوع آلودگی هوا و اثرات آن بر سلامت افراد، به نظر می‌رسد، اندازه‌گیری اثرات آلودگی هوا در تحقیقات انجام شده در کشور، مغفول مانده است.

در این مطالعه، سعی خواهد شد تا اثرات آلودگی هوا بر مرگ‌ومیر در ایران بررسی شود. آلودگی هوا، هم می‌تواند اثرات بلندمدّت بر سلامت افراد داشته باشد و هم، به صورت کوتاه‌مدّت، سلامت افراد را تحت تأثیر قرار دهد. در این مطالعه، به بررسی اثرات کوتاه‌مدّت آلودگی هوا بر میزان مرگ‌ومیر می‌پردازیم. آنچه به عنوان سؤال اصلی این پژوهش به آن پرداخته می‌شود، این است که آلودگی هوا در کوتاه‌مدّت، چه اثری بر میزان مرگ‌ومیر به علل بیماری‌های قلبی عروقی، بیماری‌های تنفّسی، و سرطان‌ها داشته است.

با عنایت به تأکید نهادهای رسمی مبنی بر عدم خروج افراد آسیب‌پذیر در زمان‌های با آلودگی هوای بالا، اهمیت و ضرورت پاسخ به سؤال فوق، برجسته می‌شود. برای برّرسی اثرات آلودگی هوا بر میزان مرگ‌ومیر، از داده‌های مرگ‌ومیر ۶ کلان‌شهر تهران، تبریز، مشهد، اصفهان، اهواز و شیراز و داده‌های آلودگی هوای این شهرها در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ استفاده می‌شود.

در ادامه این مقاله، ابتدا به مرور ادبیات اثرات آلودگی هوا بر شاخص‌های سلامت پرداخته می‌شود، پس از آن، داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش چهارم، روش تحقیق و در بخش پنجم، نتایج به‌دست آمده، توضیح داده می‌شود. در بخش پایانی نیز جمع‌بندی ارائه می‌گردد.

۱. مرور ادبیات

آلودگی ایجاد شده توسط بشر، زیرمجموعه مطالعات دامنه‌داری بوده، که بر روی تغییرات محیط زیستی و اثر آن بر زندگی سالم انسان‌ها انجام شده، و به عنوان مثال، در مطالعه ارزیابی زیست‌بوم هزاره[1] به‌دست آمده که تنظیم‌گری آلودگی محیط‌زیست در نیمه دوم قرن ۲۱ رو به تنزل گذاشته و این مهم، موجب افت کیفیت زندگی بشر شده است. در عین حال، به‌طور خاص آنچه ادبیات اثر آلودگی هوا که این تحقیق به دنبال آن بوده، بررسی و اندازه‌گیری اثرات کوتاه‌مدّت و بلندمدّت

1. Millennium Ecosystem Assessment, 2005, final report

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]

آلودگی هوا روی سلامت انسان‌ها است.[۱] در بخش مرور ادبیات، ابتدا سعی می‌کنیم تا پدیده‌ای که به عنوان آلودگی هوا شناخته می‌شود را بهتر بشناسیم و پس از آن، به بررسی ادبیات شناخت اثرات آلودگی هوا روی مرگ‌ومیر و سلامت بپردازیم.

۱-۱. آلودگی هوا

اگرچه به دلیل ناکافی بودن دانش در مورد مکانیزم‌های اثر آلودگی هوا روی سلامت انسان، نمی‌توان به طور دقیق در مورد تعریف آلودگی هوا اظهار نظر کرد، امّا آنچه در این پژوهش به عنوان آلودگی هوا شناخته می‌شود، شامل اجزایی نظیر ذرّات معلّق کوچک‌تر از ۲/۵ و ۱۰ میکرون (PM2.5 و PM10)، مونواکسید و دی‌اکسید نیتروژن (NO و NO_2)، مجموع اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، مونواکسید کربن (CO)، دی‌اکسید گوگرد (SO_2) و ازن (O_3) است. در ادامه، به بررسی منابع تولید هرکدام از آلاینده‌های ذکرشده و همچنین مکانیزم‌های احتمالی اثر هر کدام از آنها بر سلامت انسان خواهیم پرداخت.[۲]

منبع اصلی انتشار ذرّات معلّق، گردوغبار و سوخت‌های فسیلی هستند که سبب مشکلات دستگاه تنفسی و دستگاه ایمنی در بدن می‌شود. اکسیدهای نیتروژن نیز در اثر سوختن سوخت‌های فسیلی ایجاد می‌شود و سبب ایجاد اسید نیتریک در هوا شده و مشکلات تنفسی جدّی، مشکلات گوارشی و تظاهرات پوستی پدید می‌آورد. مونواکسید کربن به طور عمده در منابع متحرّک جاده‌ای (اتومبیل‌ها) و غیر جادّه‌ای (هواپیماها) تولید می‌شود و با کاهش اکسیژن‌رسانی به بدن، سبب اختلال در رشد بافت‌ها می‌شود. دی‌اکسید گوگرد در منابع ثابت تولید انرژی منتشر می‌شود. این گاز، بسیار سمی است و سبب مشکلات جدّی تنفسی می‌شود. ازن یک آلاینده ثانویه است که از ترکیب اکسیدهای نیتروژن با گازهای دیگر تولید می‌شود و سبب آسیب‌های جدّی تنفسی به دستگاه تنفسی می‌شود.

---

۱. برای مرور جامع ادبیات موضوع به پیوست وبگاهی این مقاله در پایگاه نویسندگان مراجعه شود.

2. World Health Organization, 2006

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]

جدول ۱. خلاصه منابع انتشار آلاینده‌های هوا و اثرات آنها روی سلامت

آلاینده	منابع اصلی انتشار	اثرات روی سلامت
ذرّات معلّق (PM2.5-PM10)	وزش باد منابع تولید انرژی ساکن نظیر کارخانه‌ها و خانه‌ها منابع متحرّک جاده‌ای (اتومبیل‌ها) و غیر جادّه‌ای (هواپیماها)	ایجاد التهاب در دستگاه تنفسی ایجاد اختلال در دستگاه ایمنی
اکسیدهای نیتروژن (NO_x)	منابع تولید انرژی ساکن نظیر کارخانه‌ها و خانه‌ها منابع متحرّک جاده‌ای (اتومبیل‌ها) و غیر جادّه‌ای (هواپیماها)	ایجاد اسید نیتریک و اختلال در عملکرد دستگاه تنفسی و گوارشی ایجاد تظاهرات پوستی
مونو اکسید کربن (CO)	منابع متحرّک جاده‌ای (اتومبیل‌ها) و غیر جادّه‌ای (هواپیماها)	کاهش اکسیژن‌رسانی به بافت‌ها اختلال در روند تکامل بافت‌ها
دی اکسید گوگرد (SO_2)	منابع تولید انرژی ساکن نظیر کارخانه‌ها و خانه‌ها	گازهای بسیار سمی و اثرگذاری بر دستگاه تنفسی
ازن (O_3)	واکنش‌های اکسیدهای نیتروژن در حضور نور خورشید	اثر جدّی بر عملکرد ریه و دستگاه تنفسی

مأخذ: یافته‌های تحقیق از مرور ادبیات

در انتها، می‌توان گفت که اجزایی که به عنوان آلودگی هوا شناخته می‌شوند، طیفی از گازها و ذرّات معلّق را شامل می‌شوند که برخی از آنها را مورد بررسی قرار دادیم. دلیل انتخاب این موارد به عنوان نماینده آلودگی هوا، توافق عمومی بر مضر بودن این اجزا و همچنین در دسترس بودن داده‌های این آلاینده‌ها در کشور بوده است.

۲-۱. اثرات آلودگی هوا بر سلامت

ادبیات بررسی اثر آلودگی بر سلامت انسان‌ها، به طور عمده، به تلاش برای تخمین اثرات کوتاه‌مدّت و بلندمدّت این پدیده بر سلامت انسان اختصاص می‌یابد. مطالعات جدید در حوزه آلودگی هوا، بیشتر بر روی اثرات این پدیده بر مشکلات تنفسی، قلبی و شکل‌گیری جنین و سلامت نوزاد در بدو تولّد

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]

متمرکز شده‌اند[1]. این اثرات، می‌تواند به دلیل زندگی طولانی مدّت در محیط آلوده و یا به صورت دفعی با بالا رفتن آلودگی هوا عارض شوند؛ اگرچه ممکن است اثرات بلند مدّت بر اثرات دفعی غالب باشند؛ امّا به دلیل قابل مشاهده بودن عوارض دفعی آلودگی هوا بر روی سلامت افراد (نظیر مرگ‌های ناگهانی و یا مراجعه اورژانسی به بیمارستان)، بیشتر مورد توجّه واقع می‌شوند.

از نگاهی دیگر، می‌توان مطالعات انجام‌شده در این حوزه را به دو دسته کلّی مطالعات با استفاده از *روش‌های متعارف اقتصادسنجی* و مطالعات انجام شده با استفاده از *آزمایش‌های طبیعی*[2] تقسیم کرد. مطالعات انجام شده با روش‌های متعارف، عموماً با استفاده از داده‌های *سری زمانی*[3] و یا *تابلویی*[4] انجام می‌گیرد. در این ادبیات، سعی می‌شود تا با کنترل اثرات زمانی و مکانی و عوامل متغیّر با زمان اثرات علّی، آلودگی هوا شناسایی شود. در این حوزه، به دلیل وجود متغیّرهای کنترلی زیاد، اثرات اندازه‌گیری شده، اثرات کوتاه‌مدّت آلودگی هوا بر سلامت انسان است؛ در حالی که در ادبیاتی که بر آزمایش‌های طبیعی متّکی است، سعی می‌شود تا عوامل برونزایی جهت کمک به اندازه‌گیری علّی اثرات آلودگی هوا نظیر تغییر سیاست‌ها و حوادث طبیعی شناسایی شوند و این موضوع، می‌تواند پژوهشگر را به مطالعه اثرات بلندمدّت آلودگی هوا سوق دهد.

در ادبیات اقتصادی نیز بررسی‌های مختلفی با روش‌های مرسوم اقتصادسنجی انجام شده است. کاری، نیدل و اشمیدر (Currie, Neidell, and Schmieder, 2009) با استفاده از داده‌های زایمان ایالت نیوجرسی آمریکا طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۳، اقدام به بررسی اثر آلودگی هوا بر وزن کودکان پس از زایمان کردند؛ که از سه جهت قابل اهمیت است: نخست، آنها با استفاده از نشانی دقیق مادران و فاصله آنها از ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا، میزان آلودگی برای مادران را در هر روز تخمین زدند، دوم، کنترل برای ویژگی‌های فردی مادران، برخی از درونزایی‌های احتمالی را از بین می‌برد و همچنین استفاده از داده‌های مادرانی که بیش از یک زایمان داشته‌اند، برای کنترل اثر ثابت مادران به منظور حذف اثرات غیرقابل مشاهده برای هر مادر، نتایج را بیش از پیش قابل اتکا می‌کند. سوم، آنها اجازه می‌دهند تا موارد خطرزایی نظیر استعمال دخانیات در مادران، باعث شود تا اثرات متفاوتی از آلودگی هوا بر وزن نوزادان دیده شود.

نتایج حاصل از این تحقیق، نشان می‌دهد که گاز مونو اکسید کربن، چه قبل و چه، پس از تولّد، بر روی شاخص‌های سلامت آنها اثر منفی می‌گذارد؛ همچنین این اثر برای مادران سیگاری و پیر، بیش از سایرین است.

---

1. World Health Organization, 2006
2. Natural experiments
3. Time-series
4. Panel-data

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]

با توجّه به انتقادات گفته شده، در ادبیات اقتصادی برخی از مطالعات با استفاده از اتّفاقات برونزا، سعی در رفع محدودیت‌های یادشده می‌کنند.

چن و همکاران (Chen *et al.*, 2013)، با استفاده از سیاست دولت چین برای تضمین گرمایش رایگان در زمستان برای بخش‌های شمالی رودخانه *هوآی*[1] در چین که طی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۸۰ اجرا می‌شد، اقدام به بررسی اثر ذرّات معلّق بر روی مرگ‌ومیر گروه‌های مختلف سِنّی می‌کنند. در این مطالعه از سیاست اجرا شده برای مناطق شمالی رودخانه هوآی به عنوان متغیّری استفاده شده که به صورت برونزا میزان آلودگی‌های مناطق مختلف چین را تحت تأثیر قرار داده است و از این پدیده برای بررسی ارتباط میزان ذرات معلّق در هوا با میزان مرگ‌ومیر بویژه مرگ‌ومیر مرتبط با مشکلات قلبی تنفسّی در سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰ استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده، حاکی از آن است که قرارگیری بلندمدّت در محیطی که ۱۰۰ میکروگرم بر مترمکعب ذرّات معلّق بیشتری دارد، سبب کاهش امید به زندگی به اندازه ۳ سال می‌شود. این نتایج، درحالی‌است که استفاده از سیاست به کار گرفته شده توسّط دولت به عنوان یک متغیّر برونزا، با انتقادات جدّی همراه است.

چای، دوبکین و گرینستون (Chay, Dobkin, and Greenstone, 2003) به دنبال ارزیابی اثر بلندمدّت آلودگی بر سلامت بودند. در سال ۱۹۷۰، دولت آمریکا سیاستی تحت عنوان *اقدام هوای پاک*[2] اتخاذ کرد که در پی آن، کارخانه‌های آلاینده با محدودیت‌های جدّی مواجه می‌شدند. در پی اجرای این سیاست در شهرستان‌های مختلف، میزان ذرّات معلّق به طور قابل توجّهی کاهش پیدا کرد و این کاهش با توجّه به ساختار متفاوت صنایع در شهرستان‌های مختلف، در هر شهرستان به مقدار متفاوتی اتّفاق افتاد. آنها با استفاده از داده‌های شهرستان‌های مشابه، با استفاده از این اتّفاق به عنوان عاملی برونزا، سعی در کشف اثر علّی ذرّات معلّق بر میزان مرگ‌ومیر کردند. داده‌های سالیانه بیش‌از ۵۰۰ شهرستان در ایالات متحده آمریکا طی سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۷۴ مورد استفاده قرار گرفت و نتایج به‌دست آمده، حاکی از آن بود که به‌رغم اینکه سیاست اجرا شده، سبب کاهش قابل توجّه میزان ذرّات معلّق در شهرستان‌های مختلف شده است؛ امّا در میان قشر مسن، میزان مرگ‌ومیر به میزانی قابل توجّه، کاهش نیافته است.

یکی از تلاش‌های قابل توجّه در جهت یافتن اثر علّی و بلندمدّت آلودگی هوا بر سلامت انسان، پژوهش انجام‌شده توسّط اندرسون (Anderson, 2015) است. وی با استفاده از داده‌های افراد فوت‌شده که بیش‌از ۲۰ سال در نزدیکی بزرگراه‌های کالیفرنیا زندگی می‌کرده‌اند و همچنین با استفاده از شناسایی الگوی وزش باد در اطراف بزرگراه‌ها، با استفاده از داده‌های ۳ سال وضع هوا، به این نتیجه

1. Huai
2. Clean air act

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]

رسید که اگر زمانی که افراد بالای ۷۵ سال در پایین‌دست[1] بزرگراه‌ها قرار می‌گیرند، ۲ برابر شود، مرگ‌ومیر ۳/۶ تا ۶/۸ درصد افزایش می‌یابد.

هرچند استفاده از آزمایشات طبیعی، برخی از مشکلات موجود در ادبیات بررسی را مرتفع می‌سازد، امّا یکی از چالش‌های ادبیات این حوزه، آن است که گاهی اتّفاقات مهمّی نظیر سیاست‌های دولت و یا رکود اقتصادی به عنوان متغیّر ابزاری برای بررسی علیّت در این حوزه مورد استفاده قرار گرفته‌اند و این، در حالی است که استفاده از این متغیّرها به دلیل آنکه می‌تواند به خودی خود، بر روی سلامت افراد نیز اثرگذار باشد، جای تردید دارد. برای مثال، سیاستی که دولت در منطقه‌ای اعمال می‌کند، می‌تواند نشان‌دهنده تغییر نگاه دولت به آن منطقه و در نتیجه، تغییر سیاست‌ها در زمینه‌های مختلفی که مستقیم و یا غیرمستقیم بر روی سلامت افراد اثرگذار است، باشد. علاوه بر این، همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد، هنوز هم اثر آلودگی هوا بر سلامت در مکان‌های مختلف با ویژگی‌های متفاوت، می‌تواند یکسان نباشد.

در ایران، تحقیقات انجام شده روی اثرات آلودگی هوا بر سلامت، به بررسی منابع انتشار آلاینده‌ها، مکانیزم‌های احتمالی آنها بر بدن انسان و راه‌های کنترل آلودگی هوا محدود می‌شود. کارهایی نظیر پیشکار، توکلی و خلیلی (۱۳۸۴) و کمالی‌فر و مختاری‌گرکانی (۱۳۸۴)، معطوف به بررسی مکانیزم‌های اثرات آلودگی هوا بر سلامت انسان و راه‌حل‌های کنترل میزان آلودگی هوا است؛ در حالی که در این پژوهش، به دنبال اندازه‌گیری اثرات آلودگی هوا بر مرگ‌ومیر هستیم.

برای اوّلین بار است که در کشور به پدیده آلودگی هوا از این منظر نگاه می‌شود.

۲. توصیف داده‌ها

همان‌طور که در بخش‌های قبل بیان شد، سؤال اصلی این پژوهش، اندازه‌گیری ارتباط آلودگی هوا در کوتاه‌مدّت با میزان مرگ‌ومیر به دلایل مشکلات قلبی-عروقی، تنفسی، گوارشی و سرطان‌ها است. به این منظور، از داده‌های آلودگی به صورت روزانه و برای ۶ شهر تهران، تبریز، اصفهان، مشهد، اهواز و شیراز استفاده می‌کنیم. این داده‌ها از سازمان حفاظت محیط زیست برای سال‌های ۱۳۹۰ تا پایان سال ۱۳۹۴ در اختیار قرار گرفته‌اند. شاخص‌های آلودگی شامل اطّلاعات مربوط به ذرّات معلّق کوچک‌تر از ۱۰ و ۲,۵ میکرون، مونواکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد و ازن هستند که در ایستگاه‌های مختلف شهرهای مذکور، جمع‌آوری شده‌اند. داده‌های ایستگاه‌های مختلف برای هر شهر، تجمیع و متوسّط هر شهر از روی اطّلاعات ایستگاه‌های مختلف در آن شهر، به صورت روزانه تولید شده است.

---

۱. پایین‌دست به معنای در معرض وزش باد (معادل کلمه downwind).

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]

جدول ۲. خلاصه داده‌های روزانه آلودگی هوا به تفکیک شهر (۱۳۹۴-۱۳۹۰)

آلاینده	۶شهر	تهران	تبریز	مشهد	اهواز	اصفهان	شیراز
PM2.5، تعداد مشاهدات	۶۵۲۴	۱۶۰۸	۸۰۳	۱۷۲۶	۵۵۷	۱۳۸۸	۴۴۲
متوسّط مشاهدات [µG/M3]	۳۵/۶۵	۳۷/۶۲	۲۵/۱۷	۳۲/۱۱	۴۵/۴۳	۴۱/۸۸	۲۹/۴۴
(انحراف معیار)	(۱۴/۳۶)	(۱۱/۷۹)	(۱۳/۳۱)	(۱۲/۵۳)	(۱۵/۵۲)	(۱۳/۶۸)	(۱۳/۱۱)
PM10، تعداد مشاهدات	۷۴۸۴	۱۵۵۲	۷۱۶	۱۴۴۸	۱۲۷۳	۱۱۳۶	۱۳۵۹
متوسّط مشاهدات [µG/M3]	۸۸/۲۱	۷۲/۸۶	۷۹/۴۹	۷۹/۸۵	۱۲۴/۲۹	۱۰۲/۷۷	۷۳/۲۶
(انحراف معیار)	(۳۸/۳۸)	(۲۶/۴۶)	(۳۴/۴۳)	(۳۱/۵۶)	(۴۲/۸۱)	(۳۴/۷۳)	(۳۰/۰۳)
CO، تعداد مشاهدات	۷۱۴۹	۱۶۴۰	۷۱۲	۱۳۷۹	۹۹۹	۱۱۰۲	۱۳۱۷
متوسّط مشاهدات [ppm]	۲،۸۰	۲/۶۵	۲/۳۶	۲/۵۷	۲،۳۰	۵،۱۰	۱،۹۱
(انحراف معیار)	(۴،۹۴)	(۰/۷۱)	(۱/۲۰)	(۵/۵۹)	(۷/۲۲)	(۷/۸۴)	(۱،۳۳)
SO_2 تعداد مشاهدات	۵۷۹۱	۱۴۴۷	۷۶۰	۱۲۱۷	۷۵۸	۷۶۸	۸۴۱
متوسّط مشاهدات [ppb]	۱۷/۴۹	۱۷/۵۶	۸/۸۸	۱۳/۰۳	۱۵/۵۷	۳۶/۰۵	۱۶/۳۹
(انحراف معیار)	(۱۳/۱۸)	(۶/۴۳)	(۵/۲۵)	(۴/۰۶)	(۱۳/۳۱)	(۱۲/۶۱)	(۱۸/۸۹)
NO، تعداد مشاهدات	۶۵۰۵	۱۵۸۳	۶۹۳	۱۲۰۴	۹۶۹	۹۸۵	۱۰۷۱
متوسّط مشاهدات [ppb]	۳۶/۷۳	۴۴/۷۷	۳۶/۷۴	۳۳/۰۶	۲۸/۹۸	۳۵/۳۸	۳۷/۲۱
(انحراف معیار)	(۲۲/۵۰)	(۱۸/۵۷)	(۲۵/۰۳)	(۲۱/۵۳)	(۲۱/۹۷)	(۲۴/۰۶)	(۲۲/۵۰)
NO_2، تعداد مشاهدات	۶۲۷۷	۱۴۵۶	۷۲۳	۱۲۱۴	۹۶۶	۱۰۱۶	۹۰۲
متوسّط مشاهدات [ppb]	۲۷/۶۲	۳۶/۰۵	۲۶/۵۲	۲۶/۵۷	۲۶/۷۰	۳۱/۸۴	۱۲/۵۶
(انحراف معیار)	(۱۴/۱۷)	(۹/۷۳)	(۱۳/۳۴)	(۹/۰۵)	(۱۷/۸۹)	(۱۲/۶۱)	(۱۰/۲۳)
NO_X، تعداد مشاهدات	۶۲۳۳	۱۵۰۱	۷۱۷	۱۲۱۰	۹۹۲	۱۰۱۸	۷۹۵
متوسّط مشاهدات [ppb]	۵۷/۸۲	۷۷/۱۶	۵۷/۵۵	۵۷/۴۷	۵۲/۶۱	۶۹/۷۸	۲۱/۱۰
(انحراف معیار)	(۳۶/۲۵)	(۳۲/۶۵)	(۳۵/۰۰)	(۲۸/۶۷)	(۳۷/۰۶)	(۳۲/۸۳)	(۲۴/۱۹)
O_3، تعداد مشاهدات	۶۴۸۱	۱۶۰۳	۸۸۰	۱۳۴۷	۹۶۵	۵۵۵	۱۱۳۱
متوسّط مشاهدات [ppb]	۱۸/۳۵	۱۹/۲۰	۲۰/۱۷	۱۴/۴۵	۲۷/۵۶	۲۸/۹۰	۷/۳۴
(انحراف معیار)	(۱۲/۶۸)	(۱۰/۱۷)	(۹/۲۳)	(۷/۰۴)	(۱۱/۰۵)	(۱۴/۱۲)	(۱۳/۳۶)

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]

آلاینده	۶شهر	تهران	تبریز	مشهد	اهواز	اصفهان	شیراز
PM2.5، تعداد مشاهدات	۶۵۲۴	۱۶۰۸	۸۰۳	۱۷۲۶	۵۵۷	۱۳۸۸	۴۴۲
متوسّط مشاهدات [µG/M3]	۳۵/۶۵	۳۷/۶۲	۲۵/۱۷	۳۲/۱۱	۴۵/۴۳	۴۱/۸۸	۲۹/۴۴
(انحراف معیار)	(۱۴/۳۶)	(۱۱/۷۹)	(۱۳/۳۱)	(۱۲/۵۳)	(۱۵/۵۲)	(۱۳/۶۸)	(۱۳/۱۱)
PM10، تعداد مشاهدات	۷۴۸۴	۱۵۵۲	۷۱۶	۱۴۴۸	۱۲۷۳	۱۱۳۶	۱۳۵۹
متوسّط مشاهدات [µG/M3]	۸۸/۲۱	۷۲/۸۶	۷۹/۴۹	۷۹/۸۵	۱۲۴/۲۹	۱۰۲/۷۷	۷۳/۲۶
(انحراف معیار)	(۳۸/۳۸)	(۲۶/۴۶)	(۳۴/۴۳)	(۳۱/۵۶)	(۴۲/۸۱)	(۳۴/۷۳)	(۳۰/۰۳)
CO، تعداد مشاهدات	۷۱۴۹	۱۶۴۰	۷۱۲	۱۳۷۹	۹۹۹	۱۱۰۲	۱۳۱۷
متوسّط مشاهدات [ppm]	۲،۸۰	۲/۶۵	۲/۳۶	۲/۵۷	۲،۳۰	۵،۱۰	۱،۹۱
(انحراف معیار)	(۴،۹۴)	(۰/۷۱)	(۱/۲۰)	(۵/۵۹)	(۷/۲۲)	(۷/۸۴)	(۱،۳۳)
SO_2، تعداد مشاهدات	۵۷۹۱	۱۴۴۷	۷۶۰	۱۲۱۷	۷۵۸	۷۶۸	۸۴۱
متوسّط مشاهدات [ppb]	۱۷/۴۹	۱۷/۵۶	۸/۸۸	۱۳/۰۳	۱۵/۵۷	۳۶/۰۵	۱۶/۳۹
(انحراف معیار)	(۱۳/۱۸)	(۶/۴۳)	(۵/۲۵)	(۴/۰۶)	(۱۳/۳۱)	(۱۲/۶۱)	(۱۸/۸۹)
NO، تعداد مشاهدات	۶۵۰۵	۱۵۸۳	۶۹۳	۱۲۰۴	۹۶۹	۹۸۵	۱۰۷۱
متوسّط مشاهدات [ppb]	۳۶/۷۳	۴۴/۷۷	۳۶/۷۴	۳۳/۰۶	۲۸/۹۸	۳۵/۳۸	۳۷/۲۱
(انحراف معیار)	(۲۲/۵۰)	(۱۸/۵۷)	(۲۵/۰۳)	(۲۱/۵۳)	(۲۱/۹۷)	(۲۴/۰۶)	(۲۲/۵۰)
NO_2، تعداد مشاهدات	۶۲۷۷	۱۴۵۶	۷۲۳	۱۲۱۴	۹۶۶	۱۰۱۶	۹۰۲
متوسّط مشاهدات [ppb]	۲۷/۶۲	۳۶/۰۵	۲۶/۵۲	۲۶/۵۷	۲۶/۷۰	۳۱/۸۴	۱۲/۵۶
(انحراف معیار)	(۱۴/۱۷)	(۹/۷۳)	(۱۳/۳۴)	(۹/۰۵)	(۱۷/۸۹)	(۱۲/۶۱)	(۱۰/۲۳)
NO_X، تعداد مشاهدات	۶۲۳۳	۱۵۰۱	۷۱۷	۱۲۱۰	۹۹۲	۱۰۱۸	۷۹۵
متوسّط مشاهدات [ppb]	۵۸/۸۲	۷۷/۱۶	۵۷/۵۵	۵۷/۴۷	۵۲/۶۱	۶۹/۷۸	۲۱/۱۰
(انحراف معیار)	(۳۶/۲۵)	(۳۲/۶۵)	(۳۵/۰۰)	(۲۸/۶۷)	(۳۷/۰۶)	(۳۲/۸۳)	(۲۴/۱۹)
O_3، تعداد مشاهدات	۶۴۸۱	۱۶۰۳	۸۸۰	۱۳۴۷	۹۶۵	۵۵۵	۱۱۳۱
متوسّط مشاهدات [ppb]	۱۸/۳۵	۱۹/۲۰	۲۰/۱۷	۱۴/۴۵	۲۷/۵۶	۲۸/۹۰	۷/۳۴
(انحراف معیار)	(۱۲/۶۸)	(۱۰/۱۷)	(۹/۲۳)	(۷/۰۴)	(۱۱/۰۵)	(۱۴/۱۲)	(۱۳/۳۶)

توضیحات: تعداد مشاهدات، متوسط و انحراف معیار داده‌های آلودگی هوا به تفکیک شهر

منبع: ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا، سازمان حفاظت محیط زیست

جدول ۲، خلاصه آماری داده‌های آلودگی هوا را به تفکیک هر شهر پس از میانگین‌گیری روی ایستگاه‌های مختلف، نشان می‌دهد. تعداد کل روزهای سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴، ۱۸۲۶ روز است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، برای همه شهرها، مشاهدات از آلودگی‌های مختلف وجود دارد. دلیل وجود نداشتن داده‌ها برای همه روزها، آن است که وسایل اندازه‌گیری در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا، ممکن است به دلیل مشکلات فنی در برخی از روزهای سال، در مدار نباشند. در شهرهای مختلف

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]

میانگین و انحراف مشاهدات با هم تفاوت دارد و این موضوع، نشانگر آن است که تفاوت روزانه آلاینده‌ها در بین شهرها به اندازه‌ای هست که بتوان از آن، برای شناسایی استفاده کنیم.

داده‌های دیگری که در کنار داده‌های آلودگی هوا مورد استفاده قرار می‌گیرند، داده‌های فردی مرگ‌ومیر ۶ شهری هستند که برای آنها داده‌های آلودگی هوا موجودند. این داده‌ها، صرفاً محدود به افرادی می‌شود که در اثر سرطان‌ها و تومورها، بیماری‌های قلبی-عروقی، بیماری‌های تنفسی و بیماری‌های گوارشی در طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ جان خود را از دست داده‌اند. داده‌های مربوط به مرگ‌ومیر به علل بیماری‌های عفونی و انگلی، بیماری‌های دستگاه ادراری و تناسلی، ناهنجاری‌های مادرزادی، مشکلات حول تولّد، حوادث غیرعمدی، بیماری‌های خونساز و دستگاه ایمنی، بیماری‌های غدد، تغذیه و متابولیک، بیماری‌های روانی، بیماری‌های دستگاه عصبی، بیماری‌های جلدی، زیرجلدی، اسکلتی و عضلانی، بیماری‌های ناشی از عوارض حاملگی، مرگ‌ومیر در اثر علائم و حالات مبهم، مرگ‌ومیر بر اثر خشونت به وسیله دیگران، خودکشی و دلایل نامشخّص یا مواردی که هنوز توسط پزشکی قانونی تعیین تکلیف نشده‌اند، در اختیار پژوهشگر قرار ندارد. البتّه مرگ‌ومیر ناشی از سرطان‌ها و تومورها، بیماری‌های قلبی-عروقی، بیماری‌های تنفسی و بیماری‌های گوارشی، قسمت عمده (حدود ۶۰ درصد) دلایل مرگ‌ومیر در این شهرها را تشکیل می‌دهد. داده‌های مرگ‌ومیر مورد استفاده در این پژوهش، از طریق سازمان ثبت احوال کشور، در اختیار قرار گرفته است. تفکیک ارائه شده این آمار، در سطح شهرستان است. این نکته خلل چندانی به کار وارد نمی‌کند؛ چون، هم در این شهرها نسبت جمعیت مرکز شهر به کل شهرستان بسیار بالا است و هم، ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در سطح شهرها (و گاهی بیرون شهر) پراکنده‌اند و آلودگی اندازه‌گیری شده، می‌تواند شاخص نسبتاً مناسبی برای آلودگی شهرستان باشد.

در جدول ، مشاهده می‌شود که نرخ مرگ‌ومیر در شهرستان‌های مختلف، به هم نزدیک می‌شود و تفاوت معناداری میان نرخ‌های مرگ‌ومیر شهرستان‌های مختلف، مشاهده نمی‌شود. البته در مورد نرخ مرگ‌ومیر روزانه به علّت سرطان، میان شهرستان‌های مختلف، تفاوت وجود دارد و این موضوع، به سبب تفاوت شرایط جغرافیایی و ژنتیکی مردم در شهرستان‌های مختلف است.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]

جدول ۳. متوسط و انحراف معیار نرخ مرگ‌ومیر روزانه به تفکیک علّت و شهرستان (۱۳۹۴-۱۳۹۰)

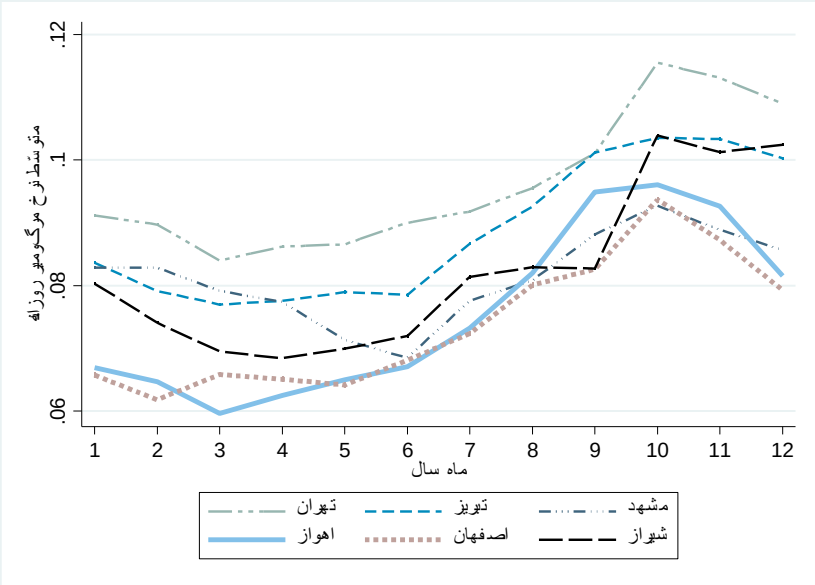
شهرستان	نرخ مرگ روزانه (انحراف معیار)	نرخ مرگ روزانه/قلبی-عروقی (انحراف معیار)	نرخ مرگ روزانه/تنفسی (انحراف معیار)	نرخ مرگ روزانه/گوارشی (انحراف معیار)	نرخ مرگ روزانه/ سرطان و تومور (انحراف معیار)
تهران	۰٫۰۹۴۳	۰٫۰۶۶۴	۰٫۰۰۹۷	۰٫۰۰۳۲	۰٫۰۱۵۱
	(۰٫۰۲۵۷)	(۰٫۰۲۲۶)	(۰٫۰۰۶۵)	(۰٫۰۰۲۸)	(۰٫۰۰۵۹)
تبریز	۰٫۰۸۶۸	۰٫۰۵۰۲	۰٫۰۱۳۶	۰٫۰۰۲۷	۰٫۰۲۰۳
	(۰٫۰۳۱۰)	(۰٫۰۲۳۶)	(۰٫۰۱۳۲)	(۰٫۰۰۴۲)	(۰٫۰۱۲۶)
مشهد	۰٫۰۸۱۵	۰٫۰۴۳۷	۰٫۰۱۷۱	۰٫۰۰۲۹	۰٫۰۱۷۹
	(۰٫۰۲۸۱)	(۰٫۰۲۱۰)	(۰٫۰۱۳۹)	(۰٫۰۰۴۶)	(۰٫۰۱۰۵)
اهواز	۰٫۰۷۴۱	۰٫۰۵۶۵	۰٫۰۰۶۵	۰٫۰۰۱۶	۰٫۰۰۹۶
	(۰٫۰۳۱۹)	(۰٫۰۲۹۱)	(۰٫۰۰۸۱)	(۰٫۰۰۳۶)	(۰٫۰۰۹۱)
اصفهان	۰٫۰۷۱۹	۰٫۰۴۹۹	۰٫۰۰۶۰	۰٫۰۰۱۷	۰٫۰۱۴۲
	(۰٫۰۲۶۰)	(۰٫۰۲۲۷)	(۰٫۰۰۶۳)	(۰٫۰۰۲۹)	(۰٫۰۰۹۳)
شیراز	۰٫۰۷۹۹	۰٫۰۵۵۹	۰٫۰۰۵۴	۰٫۰۰۲۴	۰٫۰۱۶۲
	(۰٫۰۳۲۲)	(۰٫۰۳۰۰)	(۰٫۰۰۶۹)	(۰٫۰۰۴۲)	(۰٫۰۱۰۹)

توضیحات: نرخ مرگ‌ومیر به صورت تعداد مرگ‌ومیر به ازای هر ۱۰ هزار نفر جمعیت در سال ۱۳۹۰ تعریف می‌شود.
منبع: محاسبات تحقیق، با استفاده از داده ثبت احوال کشور

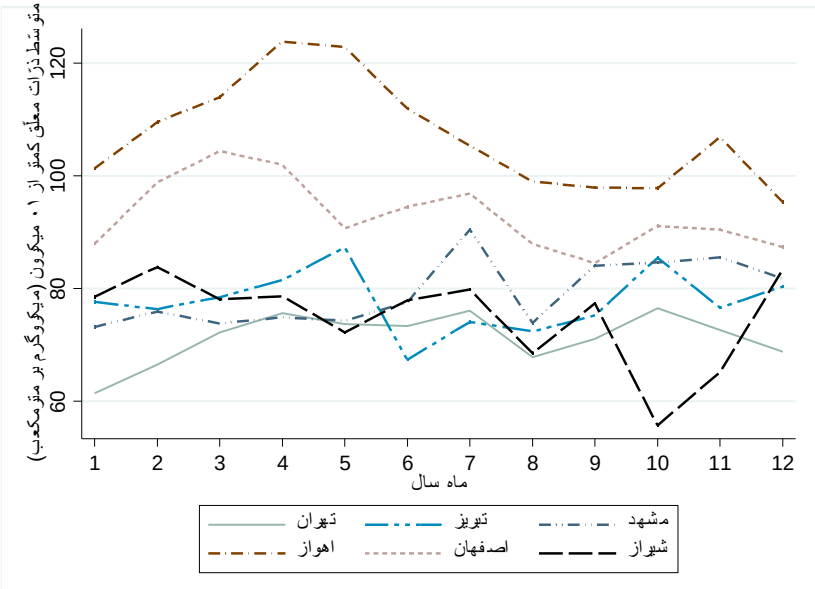
در نمودار ۱، مشاهده می‌شود که نرخ مرگ‌ومیر در ماه‌های مختلف تغییر می‌کند. دلیل اصلی این الگوی زمانی، آن است که افراد در زمستان، به دلیل شرایط آب‌وهوایی، با احتمال بیشتری جان خود را از دست می‌دهند. همچنین با مشاهده داده‌های آلودگی هوا، الگوی زمانی مشخّصی نیز در میزان آلودگی هوا مشاهده می‌شود. برای مثال، در نمودار تغییرات میزان ذرّات معلّق کمتر از ۱۰ میکرون در شهرهای مختلف در طول سال، مشاهده می‌شود که این میزان، برای شهرهای مختلف در طول سال متغیّر است، امّا برای هر شهر، از الگوی خاصّی پیروی می‌کند. در مورد الگوی زمانی تغییرات آلودگی و میزان مرگ‌ومیر، باید به این نکته توجّه کرد که مهم‌ترین عامل ایجاد این الگوها، تغییرات شرایط آب‌وهوایی در طول سال است. این موضوع، علاوه بر نیاز به کنترل اثرات ثابت زمانی و شهری، اهمّیت کنترل شرایط آب‌وهوایی در طول زمان را برای کنترل این متغیر محذوف، نشان می‌دهد.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]



نمودار ۱. متوسط تعداد روزانه مرگ‌ومیر به ازای هر ۱۰ هزار نفر جمعیت در شهرهای مختلف



نمودار ۲. الگوی سالانه تغییرات میزان ذرّات کمتر از ۱۰ میکرون در طول سال در شهرهای مختلف

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]

۲. روش تخمین

در این مطالعه، سعی می‌شود با استفاده از تغییرات میزان آلودگی در طول زمان و در شهرهای مختلف به وسیله مقایسه آثاری که این تغییرات بر میزان مرگ‌ومیر می‌گذارند، بتوان اثر آلودگی هوا بر میزان مرگ‌ومیر را اندازه‌گیری کرد. از منظر ادبیات نظری و روش تخمین، روش این تحقیق، مشابه روش‌های مرسوم اقتصادسنجی است. به این منظور، متغیّری که به عنوان متغیّر وابسته مورد مطالعه قرار می‌گیرد، وضعیت مرگ‌ومیر به صورت روزانه است. در مورد مطالعه، تعداد کلّ مرگ‌ومیر و یا مرگ‌ومیر به علّت بیماری‌های قلبی-عروقی، به این دلیل که تعداد مرگ‌ومیر روزانه، در هر شهر تعداد قابل توجّهی است، می‌توان از تعداد مرگ‌ومیر به ازای هر ۱۰ هزار نفر در هر شهر، به عنوان متغیّر وابسته در رگرسیون خطّی استفاده نمود. دلیل نگاه‌کردن به تعداد مرگ‌ومیر در هر ۱۰ هزار نفر، آن است که با افزایش جمعیت، به طور طبیعی انتظار می‌رود، تعداد مرگ‌ومیر نیز به طور متناسب بالا رود. در مورد میزان مرگ‌ومیر روزانه به دلیل بیماری‌های تنفسی، بیماری‌های دستگاه گوارش و همین‌طور سرطان‌ها و تومورها، به دلیل تعداد کم این مرگ‌ومیر، از مدل شمارشی پواسون[1] استفاده می‌کنیم.

همان‌طور که در بخش توصیف داده‌ها مشاهده شد، در مورد تعداد مرگ‌ومیر و آلودگی هوا، الگوهای زمانی وجود دارد که ممکن است در تخمینی که از اثر آلودگی بر میزان مرگ‌ومیر می‌گذارد، انحراف ایجاد کند. برای حلّ این مسأله، از اثرات ثابت زمان و شهر به عنوان متغیر کنترلی استفاده می‌شود تا الگوی زمانی از داده‌ها حذف شوند. همچنین به منظور حذف اثرات احتمالی آب‌وهوا بر روی آلودگی هوا و مرگ‌ومیر، شرایط آب‌وهوایی، نیز به عنوان کنترل در رگرسیون‌های استفاده شده وارد می‌شود. نکته دیگر، آن است که به دلایل مختلفی نظیر شیوع بیماری‌های مختلف در مقاطع زمانی در شهرهای مختلف، رگرسیون‌ها در سطح شهر و ماه خوشه‌بندی می‌شوند تا تغییرات ناگهانی در مقاطع زمانی کوتاه بر نتایج، اثری نداشته باشد.

همان‌طور که بیان شد، مدل اقتصادسنجی که در این کار مورد استفاده قرار می‌گیرد، بر پایه تغییرات آلودگی هوا به صورت روزانه بین شهرهای مختلف کشور و تغییرات میزان مرگ‌ومیر به صورت روزانه است. برای این منظور، مدلی که برای بررسی اثر آلودگی هوا بر مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی و جمع مرگ‌ومیر استفاده می‌شود، به صورت رابطه (۱) است که برگرفته از روش‌های مرسوم اقتصادسنجی در حوزه اثر آلودگی هوا بر سلامت مانند کاری و نیدل (Currie and Neidell, 2005) است.

$$y_{it} = \alpha + X_{it}\beta + Z_{it}\gamma + \epsilon_{it} \qquad (۱)$$

1. Poisson Count Model

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]

در این رابطه، y_{it} نشانگر تعداد مرگ‌ومیر در هر ۱۰ هزار نفر در روز t و شهر i، به علّت مشکلات قلبی-عروقی و یا جمع مرگ‌ومیر به علل ذکرشده، X_{it} بردار حاوی اطّلاعات آلودگی بازه مورد نظر برای شهر i در روز t و Z_{it} بردار حاوی اطّلاعات مختص روز t در شهر i، شامل اطّلاعات متوسّط سنّ افراد فوت شده، اطّلاعات جغرافیایی (اثرات ثابت منطقه‌ای) و اطّلاعات زمان (اثرات ثابت برای دوره زمانی) و همین‌طور شرایط آب‌وهوایی در آن روز یا بازه‌ای پیش‌از آن روز،[۱] و ϵ_{it} نیز جزء خطا است. باید به این نکته توجّه کرد که لزوماً اثرات دفعی آلودگی هوا در همان روز بروز پیدا نمی‌کند و ممکن است، لازم باشد تا متغیرهای مستقل و کنترل‌ها تا مدّتی پیش از روز مرگ کنترل شوند. این کنترل، می‌تواند به شکل متوسّط یک بازه مشخص در رگرسیون در نظر گرفته شود.

در تصریح مدل فوق، β بردار پارامترهای مورد علاقه است که اثر آلاینده‌های مختلف را بر روی میزان مرگ‌ومیر نشان می‌دهد. α عرض از مبدأ مشاهدات و γ اثر اطّلاعات خاص مختص سنین، شرایط آب‌وهوا، مناطق جغرافیایی و زمانی مختلف را نشان می‌دهد. باید توجّه شود که اگرچه متغیر وابسته در این مدل، تعداد مرگ‌ومیر به دلیل بیماری‌های قلبی-عروقی و همچنین مجموع مرگ‌ومیر است، و چون تعداد مرگ‌ومیر با صفر تفاوت معنی‌داری دارد، از مدل رگرسیون خطی استفاده می‌کنیم (Wooldridge, 2002).

به منظور تحلیل اثرات آلودگی بر مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های تنفسی و بیماری‌های گوارش، به دلیل آنکه تعداد روزهایی که تعداد مرگ‌ومیر به این علل، صفر و یا نزدیک صفر بوده، قابل توجّه است، فرم تابعی (۲) استفاده می‌شود (Wooldridge, 2002).

$$\log\big(E(y_{it}|X.Z)\big) = \log(pop_i) + \alpha + X_{it}\beta + Z_{it}\gamma \qquad (۲)$$

که در آن، y_{it} نشانگر تعداد مرگ‌ومیر در روز t و شهر i، به علّت بیماری‌های تنفسی یا بیماری‌های گوارشی و یا سرطان‌ها و تومورها است. متغیر pop_i نیز میزان جمعیت شهر i را در سال ۱۳۹۰ نشان می‌دهد. دلیل استفاده از log(pop) به عنوان متغیر کنترلی و محدود کردن ضریب آن به یک، این است که انتظار داریم، تعداد وقوع مرگ در هر شهر، متناسب با جمعیت آن شهر باشد. بقیه متغیرها مشابه معادله (۱) هستند.

---

۱. عملاً مدل تخمینی در این مقاله با لحاظ کلیه این اثرات ثابت، به صورت Fixed Effect بوده، و روش جایگزین تخمین Random Effect است که احتمالاً کارآیی آن بیشتر خواهد بود. با عنایت به رد آزمون Hausman، روش Random Effect سازگار نیست.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]

۲. نتایج

در این بخش، به بررسی نتایج حاصل شده از تحقیق انجام شده می‌پردازیم. در ابتدا، به بررسی اثرات آلودگی بر میزان مجموع مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی، تنفسی، گوارشی و سرطان‌ها می‌پردازیم. به منظور سهولت در تفسیر نتایج، متغیرهای آلاینده‌ها پس از کسر از میانگین به انحراف معیار تقسیم شده‌اند (استاندارد شده).

جدول ۴. رابطه آلودگی هوا در هر روز با نرخ مجموع مرگ‌ومیر در آن‌روز

	مجموع مرگ‌ومیر به ازای ۱۰ هزار نفر جمعیت						
متغیرها	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)
CO	-۶٫۱e-۰۵					-۰٫۰۰۰۴	-۰٫۰۰۰۳
	(۰٫۰۰۰۴)					(۰٫۰۰۰۶)	(۰٫۰۰۰۶)
SO2		۰٫۰۰۰۳					-۰٫۰۰۰۱
		(۰٫۰۰۱۰)					(۰٫۰۰۱)
NOx			۰٫۰۰۰۷				-۰٫۰۰۰۷
			(۰٫۰۰۰۷)				(۰٫۰۰۰۹)
O3				۰٫۰۰۰۳		-۰٫۰۰۰۶	-۰٫۰۰۰۹
				(۰٫۰۰۱)		(۰٫۰۰۱)	(۰٫۰۰۱)
PM10					۰٫۰۰۰۷	۰٫۰۰۰۵	۰٫۰۰۰۶۶
					(۰٫۰۰۰۵)	(۰٫۰۰۰۶)	(۰٫۰۰۰۷)
ثابت	۰٫۰۶۶۳	۰٫۰۶۱۴	۰٫۰۶۴۸	۰٫۰۷۰۶	۰٫۰۵۰۸	۰٫۰۶۴۵	۰٫۰۶۳۰
	(۰٫۰۰۶۹۸)	(۰٫۰۰۸۰)	(۰٫۰۰۷۶)	(۰٫۰۰۷)	(۰٫۰۰۶)	(۰٫۰۰۶)	(۰٫۰۰۷)
مشاهدات	۴٫۴۷۴	۳٫۵۳۹	۴٫۰۱۲	۳٫۹۰۳	۴٫۶۶۷	۳٫۲۷۳	۲٫۷۲۶
R2	۰٫۵۱۴	۰٫۵۱۳	۰٫۵۰۰	۰٫۵۱۰	۰٫۵۰۲	۰٫۵۴۷	۰٫۵۵۹
اثرات ثابت							
شهر/ماه	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله
شرایط آب‌وهوایی	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله
تعطیلات	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله
روزهای هفته	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله

خوشه‌بندی در سطح ماه-شهر، انحراف معیار در پرانتز، *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

توضیحات: آلاینده‌ها بعد از کسر میانگین، نسبت به انحراف معیار استاندارد شده‌اند. کنترل‌های شرایط هوا شامل سرعت باد، دمای هوا و متغیرهای دو-دویی است که وضعیت هوا را نشان می‌دهد. متغیرهای دو-دویی تعطیلات، مشخص‌کننده تعطیلات رسمی و ایام نوروز هستند و همین‌طور برای روزهای مختلف هفته نیز متغیرهای دو-دویی در نظر گرفته شده‌اند.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]

در جدول، رابطه میزان مرگ‌ومیر به علل بیماری‌های قلبی-عروقی، تنفسی، گوارشی و سرطان‌ها به ازای ۱۰ هزار نفر جمعیت با میزان نرمال‌شده آلاینده‌های هوا در همان روز بررسی شده است. به دلیل وجود شرایط خاص جغرافیایی و الگوی زمانی اثرات ثابت شهر و زمان کنترل می‌شوند. همچنین شرایط آب‌وهوایی به دلیل اثرات بر روی آلودگی و میزان مرگ‌ومیر، کنترل می‌شوند. به دلیل سفر در روزهای تعطیل، انتظار می‌رود، جمعیت شهرها در روزهای تعطیل کاهش یافته و آلودگی هوا نیز کاهش یابد. به همین دلیل، اثرات ثابت تعطیلات و روزهای مختلف هفته، کنترل می‌شوند. در ستون‌های ۱ تا ۷ جدول، مشاهده می‌شود که میزان مرگ‌ومیر به ازای هر ۱۰ هزار نفر، رابطه معناداری با هیچیک از آلاینده‌ها در همان روز ندارد. باید توجّه کرد که در ستون‌های ۱ تا ۵ جدول، به بررسی رابطه هر یک از آلاینده‌ها با میزان مرگ‌ومیر بدون کنترل میزان سایر آلاینده‌ها می‌پردازیم. دلیل این موضوع، آن است که به دلیل وجود منابع آلاینده‌های مشترک برای آلاینده‌های مختلف، ممکن است همبستگی میان آلاینده‌های مختلف، سبب شود تا اثراتی که برای یک آلاینده بر روی میزان مرگ‌ومیر تخمین زده شود، به دلیل کنترل نکردن سایر آلاینده‌ها، دارای تورش باشد.

به همین منظور، نگاه به تغییرات اثرات آلاینده‌های مختلف بدون حضور و با حضور کنترل سایر آلاینده‌ها، می‌تواند دارای اهمیت باشد. ستون ۶ در این جدول، از این نظر مورد توجه قرار گرفته است که به طور معمول در ادبیات تخمین اثرات آلاینده‌های مختلف، بر میزان مرگ‌ومیر به طور عمده به این تصریح توجّه می‌شود. در ستون ۷، اثرات آلاینده‌های مختلف در کنار هم، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در جدول، متوسّط آلاینده‌ها در دو هفته قبل از هر روز، مورد بررسی قرار گرفته است. مشاهده می‌کنیم که در تصریح‌های ۱، ۶ و ۷، ضریب مربوط به اثر متوسط مونواکسید کربن در دو هفته گذشته، بر میزان مرگ‌ومیر، مثبت و معنی‌دار است. در تصریح ۱، مشاهده می‌شود که با افزایش یک انحراف معیار در میزان متوسط گاز CO در دو هفته گذشته، میزان مرگ‌ومیر در هر ۱۰ هزار نفر ۰,۰۰۱۴ واحد افزایش می‌یابد؛ اما با کنترل میزان ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون و گاز اوزون در ستون ۶، این میزان به ۰,۰۰۱۹۸ افزایش می‌یابد و در ستون ۷، با کنترل میزان اکسیدهای نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد، این اثر به ۰,۰۰۲۴۷ افزایش می‌یابد. این موضوع، اهمیت استفاده از میزان آلاینده‌ها به صورت همزمان برای تخمین اثرات آنها بر میزان مرگ‌ومیر را نشان می‌دهد.

همچنین نکته دیگر، آن است که اگرچه در جدول، اثر معنی‌داری از میزان مونواکسید کربن بر میزان مرگ‌ومیر در هر روز مشاهده نشد؛ اما با نگاه به متوسط ۲ هفته گذشته، رابطه معنی‌داری میان میزان این آلاینده و میزان مرگ‌ومیر، مشاهده می‌کنیم.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]

جدول ۵. رابطه متوسط آلودگی هوا در دو هفته گذشته با نرخ مجموع مرگ‌ومیر

	مجموع مرگ‌ومیر به ازای ۱۰ هزار نفر جمعیت						
متغیرها	**(۱)**	**(۲)**	**(۳)**	**(۴)**	**(۵)**	**(۶)**	**(۷)**
متوسط CO	۰٫۰۰۱*					۰٫۰۰۲*	۰٫۰۰۲**
	(۰٫۰۰۰۸)					(۰٫۰۰۱)	(۰٫۰۰۱)
متوسط SO_2		۰٫۰۰۲					۰٫۰۰۲۹۸
		(۰٫۰۰۱)					(۰٫۰۰۲)
متوسط NO_x			۰٫۰۰۰۹				۰٫۰۰۲۵۶
			(۰٫۰۰۱)				(۰٫۰۰۲)
متوسط O_3				۰٫۰۰۰۵		۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۳
				(۰٫۰۰۱)		(۰٫۰۰۱)	(۰٫۰۰۱)
متوسط PM10					-۰٫۰۰۰۱	-۰٫۰۰۰۲	-۰٫۰۰۰۳
					(۰٫۰۰۰۹)	(۰٫۰۰۱)	(۰٫۰۰۱)
ثابت	۰٫۰۷۴۷	۰٫۰۶۵۴	۰٫۰۶۹۷	۰٫۰۷۴۳	۰٫۰۶۳۷	۰٫۰۷۰۷	۰٫۰۵۵۰
	(۰٫۰۰۸)	(۰٫۰۰۸)	(۰٫۰۰۹)	(۰٫۰۰۹)	(۰٫۰۰۸)	(۰٫۰۰۹)	(۰٫۰۱)
مشاهدات	۶٬۸۰۹	۵٬۳۱۲	۵٬۸۶۷	۶٬۱۷۹	۷٬۳۷۸	۵٬۴۰۸	۴٬۲۸۹
R^2	۰٫۵۱۰	۰٫۵۰۳	۰٫۵۰۳	۰٫۴۹۷	۰٫۴۹۵	۰٫۵۲۶	۰٫۵۵۲
اثرات ثابت شهر/ماه	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله
شرایط آب‌وهوایی	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله
تعطیلات	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله
روزهای هفته	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله

خوشه‌بندی در سطح ماه-شهر، انحراف معیار در پرانتز، *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

توضیحات: منظور از متوسط، متوسط آلاینده‌ها در دو هفته قبل از هر روز است. متوسط آلاینده‌ها بعد از کسر میانگین نسبت به انحراف معیار، استاندارد شده‌اند. کنترل‌های شرایط هوا شامل سرعت باد، دمای هوا و متغیرهای دو-دویی است که وضعیت هوا را نشان می‌دهد. متغیرهای دو-دویی تعطیلات، مشخص‌کننده تعطیلات رسمی و ایام نوروز هستند و همین‌طور برای روزهای مختلف هفته نیز متغیرهای دو-دویی در نظر گرفته شده‌اند.

در جدول ۶، اثرات آلودگی هوا بر میزان مرگ‌ومیر به علل قلبی عروقی، مورد بررسی قرار گرفته است. مشاهده می‌شود که در ستون‌های ۱ تا ۵ که به صورت مجزا، اثرات آلاینده‌های مختلف بر میزان مرگ‌ومیر به علل قلبی-عروقی، مورد بررسی قرار گرفته، تنها اثر ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون بر میزان مرگ‌ومیر در هر ۱۰ هزار مثبت و معنی‌دار است. در ستون ۷، با کنترل همزمان میزان آلاینده‌ها در هر روز، مشاهده که اثر میزان ذرات معلق کوچک‌تر از ۱۰ میکرون، بر میزان مرگ‌ومیر افزایش یافته است. در ستون ۷، مشاهده می‌شود که با افزایش یک انحراف معیار، میزان

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]

ذرات معلق در هر روز، میزان مرگ‌ومیر به علل قلبی-عروقی ۰,۰۰۹۳۴ در هر ۱۰ هزار نفر افزایش می‌یابد.

جدول ۶. رابطه آلودگی هوا در هرروز با نرخ مرگ‌ومیر به علل قلبی عروقی در آن‌روز

	مرگ‌ومیر به علل قلبی عروقی به ازای ۱۰ هزار نفر جمعیت						
متغیرها	**(۱)**	**(۲)**	**(۳)**	**(۴)**	**(۵)**	**(۶)**	**(۷)**
CO	-۰,۰۰۰۲					-۰,۰۰۰۵	-۰,۰۰۰۴
	(۰,۰۰۱)					(۰,۰۰۰۴)	(۰,۰۰۰۴)
SO2		۰,۰۰۰۲					-۰,۰۰۰۹
		(۰,۰۰۱)					(۰,۰۰۰۸)
NOx			۰,۰۰۰۷				-۰,۰۰۰۲
			(۰,۰۰۱)				(۰,۰۰۰۷)
O3				۰,۰۰۰۴		۰,۰۰۰۱	۰,۰۰۰۱
				(۰,۰۰۱)		(۰,۰۰۰۸)	(۰,۰۰۰۹)
PM10					۰,۰۰۰۷*	۰,۰۰۰۷	۰,۰۰۰۹*
					(۰,۰۰۰۴)	(۰,۰۰۱)	(۰,۰۰۰۶)
ثابت	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۵
	(۰,۰۰۶)	(۰,۰۰۶)	(۰,۰۰۶)	(۰,۰۰۶)	(۰,۰۰۵)	(۰,۰۰۶)	(۰,۰۰۶)
مشاهدات	۴,۴۷۴	۳,۵۳۹	۴,۰۱۲	۳,۹۰۳	۴,۶۶۷	۳,۲۷۳	۲,۷۲۶
R2	۰,۵۰۷	۰,۵۱۳	۰,۴۸۱	۰,۴۹۵	۰,۴۹۹	۰,۵۳۷	۰,۵۴۳
اثرات ثابت شهر/ماه	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله
شرایط آب‌وهوایی	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله
تعطیلات	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله
روزهای هفته	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله

خوشه‌بندی در سطح ماه-شهر، انحراف معیار در پرانتز، *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

توضیحات: آلاینده‌ها بعد از کسر میانگین نسبت به انحراف معیار، استاندارد شده‌اند. کنترل‌های شرایط هوا شامل سرعت باد، دمای هوا و متغیرهای دو-دویی است که وضعیت هوا را نشان می‌دهد. متغیرهای دو-دویی تعطیلات، مشخص‌کننده تعطیلات رسمی و ایام نوروز هستند و همین‌طور برای روزهای مختلف هفته نیز متغیرهای دو-دویی در نظر گرفته شده‌اند.

در جدول ۷، اثر متوسط آلودگی هوا در دو هفته گذشته بر نرخ مرگ‌ومیر مشاهده می‌شود. در ستون ۷، مشاهده می‌شود متوسط گاز مونو اکسید کربن، اثر معناداری بر نرخ مرگ‌ومیر ناشی از مشکلات قلبی-عروقی دارد. همچنین گاز اوزون نیز اثر مثبتی بر میزان مرگ‌ومیر ناشی از علل قلبی-

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]

عروقی دارد. تفاوت مشاهده شده در جدول ۶ و جدول ۷ نشان می‌دهد که اثر ذرات معلق، کوچک‌تر از ۱۰ میکرون در همان روز بروز می‌کند؛ اما اثر میزان گازهای مونو اکسید کربن و ازن، نیاز به زمان دارد تا مشاهده شود.

جدول ۷. رابطه متوسط آلودگی هوا در دو هفته گذشته با نرخ مرگ‌ومیر قلبی- عروقی

	مرگ‌ومیر به علل قلبی عروقی به ازای ۱۰ هزار نفر جمعیت						
متغیرها	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)
COمتوسط	۰٫۰۰۱**					۰٫۰۰۲*** (۰٫۰۰۰۵)	۰٫۰۰۲*** (۰٫۰۰۰۵)
SO2متوسط		۰٫۰۰۱ (۰٫۰۰۱)					۰٫۰۰۲ (۰٫۰۰۲)
NOxمتوسط			۰٫۰۰۰۵ (۰٫۰۰۱)				۰٫۰۰۲ (۰٫۰۰۲)
O3متوسط				۰٫۰۰۰۳ (۰٫۰۰۰۲)		۰٫۰۰۱ (۰٫۰۰۱)	۰٫۰۰۳* (۰٫۰۰۲)
PM10متوسط					-۰٫۰۰۰۲ (۰٫۰۰۱)	-۰٫۰۰۰۱ (۰٫۰۰۱)	-۰٫۰۰۰۵ (۰٫۰۰۱)
ثابت	۰٫۰۶۱۷ (۰٫۰۰۶)	۰٫۰۵۶۰ (۰٫۰۰۶)	۰٫۰۵۴۹ (۰٫۰۰۷)	۰٫۰۶۱۰ (۰٫۰۰۷)	۰٫۰۵۳۳ (۰٫۰۰۶)	۰٫۰۵۷۷ (۰٫۰۰۷)	۰٫۰۴۲۲ (۰٫۰۰۹)
مشاهدات	۶٬۸۰۹	۵٬۳۱۲	۵٬۸۶۷	۶٬۱۷۹	۷٬۳۷۸	۵٬۴۰۸	۴٬۲۸۹
R۲	۰٫۵۱۸	۰٫۵۳۱	۰٫۴۹۸	۰٫۴۹۹	۰٫۵۰۲	۰٫۵۲۸	۰٫۵۴۷
اثرات ثابت شهر/ماه	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله
شرایط آب‌وهوایی	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله
تعطیلات	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله
روزهای هفته	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله

خوشه‌بندی در سطح ماه-شهر، انحراف معیار در پرانتز، *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

توضیحات: منظور از متوسط، متوسط آلاینده‌ها در دو هفته قبل از هر روز است. متوسط آلاینده‌ها بعد از کسر میانگین نسبت به انحراف معیار، استاندارد شده‌اند. کنترل‌های شرایط هوا شامل سرعت باد، دمای هوا و متغیرهای دو-دویی است که وضعیت هوا را نشان می‌دهد. متغیرهای دو-دویی تعطیلات مشخص‌کننده تعطیلات رسمی و ایام نوروز هستند و همین‌طور برای روزهای مختلف هفته نیز متغیرهای دو-دویی در نظر گرفته شده‌اند.

همان‌طور که گفته‌شد، به منظور بررسی اثر آلودگی هوا بر میزان مرگ‌ومیر ناشی از مشکلات تنفسی و مشکلات گوارشی، به دلیل تعداد کم مرگ‌ومیر، به علت هرکدام از این علل، از مدل پواسون

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]

برای تخمین اثرات استفاده می‌کنیم. در جدول، نتایج تحلیل اثر آلودگی هوا در هرروز بر مرگ‌ومیر همان‌روز به وسیله مدل پواسون آمده‌است[۱]. در ستون ۲، مشاهده می‌کنیم که میزان مونو اکسید کربن در هر روز و همچنین میزان دی اکسید گوگرد، مرگ‌ومیر ناشی از مشکلات تنفسی را افزایش می‌دهند. همچنین در ستون ۴، مشاهده می‌شود که اثر میزان ذرات معلق بر مرگ‌ومیر ناشی از مشکلات تنفسی، مثبت و معنی‌دار است.

جدول ۸. مرگ‌ومیر روزانه به تفکیک مشکلات تنفسی و گوارشی با آلودگی همان‌روز-مدل پواسون

	بیماری‌های تنفسی		بیماری‌های گوارشی	
متغیرها	**(۱)**	**(۲)**	**(۳)**	**(۴)**
CO	۰٫۰۳۰۲***	۰٫۰۲۹۷***	-۰٫۰۰۰۸۴۲	۰٫۰۰۷۲۶
	(۰٫۰۰۳۴۱)	(۰٫۰۰۳۲۶)	(۰٫۰۰۹۰۷)	(۰٫۰۰۸۰۶)
SO_2		۰٫۰۵۹۷*		-۰٫۰۷۵۸
		(۰٫۰۳۱۹)		(۰٫۰۵۷۰)
NO_x		-۰٫۰۳۳۰		-۰٫۰۵۳۲
		(۰٫۰۲۵۷)		(۰٫۰۳۹۱)
O_3	-۰٫۰۳۳۹	-۰٫۰۴۶۷	-۰٫۰۲۱۷	-۰٫۰۵۳۷
	(۰٫۰۲۵۱)	(۰٫۰۲۸۸)	(۰٫۰۴۵۵)	(۰٫۰۵۱۴)
PM10	-۰٫۰۲۹۲*	-۰٫۰۲۶۸	۰٫۰۳۶۵	۰٫۰۵۱۵*
	(۰٫۰۱۶۶)	(۰٫۰۱۸۵)	(۰٫۰۲۶۶)	(۰٫۰۲۷۸)
ثابت	-۳۴٫۲۳	-۳۴٫۱۴	-۳۳٫۲۱	-۳۳٫۱۶
	(۱٫۰۱۷)	(۱٫۰۱۹)	(۱٫۰۳۴)	(۱٫۰۳۷)
مشاهدات	۳٫۲۷۳	۲٫۷۲۶	۳٫۲۷۳	۲٫۷۲۶
ثابت شهر/ماه	بله	بله	بله	بله
شرایط آب‌وهوا	بله	بله	بله	بله
تعطیلات	بله	بله	بله	بله
روزهای هفته	بله	بله	بله	بله

خوشه‌بندی در سطح ماه-شهر، انحراف معیار در پرانتز، *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

توضیحات: آلاینده‌ها بعد از کسر میانگین نسبت به انحراف معیار، استاندارد شده‌اند. کنترل‌های شرایط هوا شامل سرعت باد، دمای هوا و متغیرهای دو-دویی است که وضعیت هوا را نشان می‌دهد. متغیرهای دو-دویی تعطیلات، مشخص‌کننده تعطیلات رسمی و ایام نوروز هستند و همین‌طور برای روزهای مختلف هفته نیز متغیرهای دو-دویی در نظر گرفته شده‌اند. لگاریتم جمعیت شهرها نیز به عنوان متغیر کنترلی وارد شده و ضریب آن به یک محدود شده است.

۱. برای همه تخمین‌ها، فرض مناسب بودن مدل پواسون، رد نمی‌شود.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]

به منظور بررسی اثرات آلودگی بر مرگ‌ومیر روزهای آتی، مدل پواسون را با استفاده از متوسط آلودگی دو هفته گذشته، مورد مطالعه قرار می‌دهیم[1]. در جدول، اثرات متوسط آلودگی هوا در دوهفته گذشته بر نرخ مرگ‌ومیر به علل تنفسی و گوارشی مشاهده می‌شود. در ستون ۲، مشاهده می‌شود که میان متوسط میزان آلودگی طی دو هفته پیش از هر روز، با میزان مرگ‌ومیر ناشی از مشکلات تنفسی در آن روز، رابطه معنی‌داری یافت نشده است. می‌توان گفت، اثر میزان آلودگی بر مشکلات تنفسی در هر روز نمایان می‌شود، اما در مورد بیماری‌های گوارشی، در ستون ۴ مشاهده می‌کنیم که متوسط میزان ذرات معلق ۱۰ میکرون طی ۲ هفته گذشته، اثر مثبت و معنی‌داری بر تعداد مرگ‌ومیر به این علت دارد.

جدول ۹. مرگ‌ومیر روزانه به تفکیک مشکلات تنفسی و گوارشی با متوسط آلودگی دو هفته قبل-مدل پواسون

	بیماری‌های تنفسی		بیماری‌های گوارشی	
متغیرها	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)
متوسط CO	۰,۰۰۲۶۱	۰,۰۰۳۷۷	-۰,۰۲۱۶*	-۰,۰۲۰۴
	(۰,۰۲۶۷)	(۰,۰۲۹۱)	(۰,۰۱۲۷)	(۰,۰۱۷۶)
متوسط SO_2		-۰,۰۰۲۶۸		۰,۰۱۱۲
		(۰,۰۵۴۵)		(۰,۰۸۶۶)
متوسط NO_x		-۰,۰۳۶۰		۰,۰۳۵۷
		(۰,۰۴۴۳)		(۰,۰۶۱۴)
متوسط O_3	۰,۰۰۷۳۷	-۰,۰۱۰۹	-۰,۰۹۲۸*	-۰,۰۵۴۳
	(۰,۰۳۶۴)	(۰,۰۴۳۳)	(۰,۰۵۵۱)	(۰,۰۶۹۱)
متوسط PM10	۰,۰۲۹۷	۰,۰۳۵۷	۰,۱۱۲**	۰,۱۳۵***
	(۰,۰۲۸۴)	(۰,۰۳۲۲)	(۰,۰۴۵۹)	(۰,۰۵۲۱)
ثابت	-۳۴,۵۵	-۳۳,۱۲	-۳۳,۶۲	-۳۳,۸۳
	(۱,۰۳۷)	(۱,۰۴۴)	(۱,۰۷۰)	(۱,۰۹۲)
مشاهدات	۵,۴۰۸	۴,۲۸۹	۵,۴۰۸	۴,۲۸۹
ثابت شهر	بله	بله	بله	بله
ثابت زمان	بله	بله	بله	بله
شرایط آب‌وهوا	بله	بله	بله	بله

۱. برای همه تخمین‌ها، فرض مناسب بودن مدل پواسون، رد نمی‌شود.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]

	بیماری‌های تنفسی		بیماری‌های گوارشی	
متغیرها	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)
تعطیلات	بله	بله	بله	بله
روزهای هفته	بله	بله	بله	بله

خوشه‌بندی در سطح ماه-شهر، انحراف معیار در پرانتز، *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

توضیحات: منظور از متوسط، متوسط آلاینده‌ها در دو هفته قبل از هر روز است. متوسط آلاینده‌ها بعد از کسر میانگین نسبت به انحراف معیار، استاندارد شده‌اند. کنترل‌های شرایط هوا شامل سرعت باد، دمای هوا و متغیرهای دو-دویی است که وضعیت هوا را نشان می‌دهد. متغیرهای دو-دویی تعطیلات، مشخص‌کننده تعطیلات رسمی و ایام نوروز هستند و همین‌طور برای روزهای مختلف هفته نیز متغیرهای دو-دویی در نظر گرفته شده‌اند.

۲. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله، با استفاده از داده‌های روزانه آلودگی هوا و همچنین تعداد روزانه مرگ‌ومیر به علل بیماری‌های قلبی-عروقی، بیماری‌های تنفسی، بیماری‌های گوارشی و سرطان‌ها و تومورها در شهرهای تهران، تبریز، اهواز، اصفهان، شیراز و مشهد طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴، اقدام به بررسی اثرات کوتاه‌مدّت آلودگی هوا بر میزان مرگ‌ومیر شد. در این مسیر، به منظور یافتن اثرات کوتاه‌مدّت آلودگی هوا با کنترل شرایط آب‌وهوایی و اثرات ثابت ماهانه و شهری از تغییرات آلودگی هوا در هر روز و همچنین تغییرات میانگین آلودگی هوا طی دو هفته پیش از هر روز، به منظور تعیین اثرات آلودگی بر میزان مرگ‌ومیر، استفاده شد.

به منظور بررسی اثرات کوتاه‌مدت آلودگی هوا بر میزان مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی و همچنین مجموع مرگ‌ومیر روزانه به علل بیماری‌های قلبی-عروقی، بیماری‌های تنفسی، بیماری‌های گوارشی و سرطان‌ها و تومورها، از رگرسیون خطی با در نظر گرفتن تعداد مرگ‌ومیر به ازای ۱۰ هزار نفر جمعیت و از مدل پواسون با در نظر گرفتن تعداد مرگ‌ومیر، به عنوان متغیر وابسته استفاده شد. نتایج این بررسی، نشان داد که اگرچه میزان روزانه سطوح آلاینده‌ها بر میزان مرگ‌ومیر، اثر معنی‌داری ندارد، اما میزان مجموع مرگ‌ومیر به علل ذکر شده، تحت تأثیر میزان گاز مونو اکسید کربن طی دو هفته پیش از مرگ است.

با استفاده از مدل رگرسیون پواسون، نتایج به‌دست آمده، نشان داد که افزایش مونو اکسید کربن و دی اکسید گوگرد در هر روز، به طور معنی‌داری سبب افزایش میزان مرگ‌ومیر به دلایل بیماری‌های تنفسی می‌شود. همچنین اثر میزان ذرات معلق در هر روز و طی دو هفته قبل، بر میزان مرگ‌ومیر ناشی از مشکلات گوارشی، قابل توجه است. بررسی اثرات اقتصادی آلودگی هوا، نیازمند تحقیق بیشتر و استفاده از داده‌های فردی است که در تحقیقات آتی، به آن پرداخته می‌شود.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]

منابع و مآخذ

پیشکار، احمدرضا؛ کمال توکلی، و مرتضی خلیلی (۱۳۸۴). اثرات آلودگی هوا بر سلامت کودکان و نوزادان. همایش آلودگی هوا و اثرات آن بر سلامت، مؤسسه مطالعاتی زیست پاک.

کمالی فرد، مژگان، و ایمان مختاری گرکانی (۱۳۸۴). آلودگی هوا و بیماریهای ریوی و قلبی و عصبی. همایش آلودگی هوا و اثرات آن بر سلامت، مؤسسه مطالعاتی زیست پاک.

Chay, K.; Dobkin C., & Greenstone, M. (2003). The clean air act of 1970 and adult mortality. *Journal of Risk and Uncertainty* 27 (3): 279-300.

Chen, Y.; Ebenstein A.; Greenstone M., & Li, H. (2013). Evidence on the Impact of Sustained Exposure to Air Pollution on Life Expectancy from China's Huai River Policy. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110 (32): 12936-41.

Currie, J., & Neidell, M. (2005). Air pollution and infant health: What can we learn from California's recent experience? *Quarterly Journal of Economics*, 120 (3): 1003-30.

Currie, J.; Neidell M., & Schmieder, J. (2009). Air pollution and infant health: Lessons from New Jersey. *Journal of Health Economics* 28 (3): 688-703.

Exposure to Air Pollution on Mortality. National Bureau of Economic Research.

Wooldridge, J. (2002). Count Data and Related Models. In *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. The MIT Press.

World Health Organization (2006). Air Quality Guidelines: Global Update 2005: Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide, and Exposure to Air Pollution on Mortality. National Bureau of Economic Research.

World Health Organization. (2006). Air Quality Guidelines: Global Update 2005: Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide, and Sulfur Dioxide. World Health Organization.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-17]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9]