

بررسی اثرات آلودگی هوا بر هزینه‌های بستری بیماری‌های تنفسی:

مطالعه موردی شهر تهران

۱-محمد پورکریمی ۲-مریم جعفری طادی*

۱- دانشجوی دکتری، گروه اقتصاد، واحد خمینی شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، خمینی شهر، ایران

۲- استادیار، گروه اقتصاد، واحد خمینی شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، خمینی شهر، ایران

Email: mohammad.pourkarimi@iau.ac.ir

Email: maryam.jafarit@iau.ac.ir

چکیده

افزایش آلاینده‌های جوی در کنار نوسانات متغیرهای کلان اقتصادی، فشار مضاعفی بر نظام سلامت و اقتصاد خانوارها وارد می‌کند. هدف اصلی این پژوهش، تحلیل کمی اثرات شاخص ذرات معلق ($PM_{2.5}$) و تولید ناخالص داخلی (GDP) بر هزینه‌های بستری مرتبط با بیماری‌های تنفسی در شهر تهران طی بازه زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۱ است. این مطالعه از نوع کاربردی بوده و با استفاده از داده‌های سری زمانی گردآوری‌شده از مراجع رسمی، روابط بین متغیرها را مورد سنجش قرار داده است. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها و بررسی وجود رابطه تعادلی بلندمدت و کوتاه‌مدت، از روش اقتصادسنجی الگوی خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی (ARDL) و الگوی تصحیح خطا (ECM) بهره گرفته شد و برای تعیین جهت علیت، آزمون گرنجر به کار رفت. یافته‌های تجربی نشان داد که یک رابطه هم‌انباشتگی و تعادلی بلندمدت میان متغیرهای مستقل و هزینه بیماری‌های تنفسی برقرار است. نتایج برآورد مدل حاکی از آن است که افزایش غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ تأثیر مثبت و معناداری بر افزایش هزینه‌های بستری دارد. همچنین، ضریب تولید ناخالص داخلی نشان‌دهنده رابطه معنادار بین سطح درآمد عمومی و هزینه‌های سلامت است، به‌طوری‌که نوسانات اقتصادی توانسته‌اند شدت مراجعات یا توان پرداخت هزینه‌های درمانی را تحت‌الشعاع قرار دهند. آزمون علیت نیز مؤید رابطه یک‌طرفه از سمت آلودگی هوا و متغیرهای اقتصادی به سمت هزینه‌های درمانی بود. این پژوهش بر لزوم سیاست‌گذاری‌های همسو در جهت کنترل آلاینده‌ها و مدیریت منابع اقتصادی برای کاهش بار مالی نظام سلامت تأکید دارد.

واژگان کلیدی: آلودگی هوا، تولید ناخالص داخلی (GDP)، هزینه بیماری‌های تنفسی، شهر تهران.

۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر، آلودگی هوا از یک چالش صرفاً زیست‌محیطی فراتر رفته و به یکی از بزرگترین تهدیدات علیه توسعه پایدار و سلامت عمومی تبدیل شده است. بر اساس گزارش‌های جدید سازمان جهانی بهداشت، مواجهه طولانی‌مدت با آلاینده‌های جوی، به‌ویژه ذرات معلق کمتر از 2.5 میکرون ($PM_{2.5}$)، عامل اصلی افزایش شیوع بیماری‌های مزمن تنفسی، قلبی-عروقی و کاهش امید به زندگی است (Kan, 2022). این ذرات به دلیل قطر بسیار کم، قابلیت نفوذ به عمیق‌ترین بخش‌های ریه و ورود به جریان خون را دارند که منجر به واکنش‌های التهابی سیستمیک و تشدید بیماری‌هایی نظیر آسم و انسداد مزمن ریوی (COPD) می‌شود (Burnett et al., 2018).

اگرچه پیامدهای فیزیولوژیک آلودگی هوا بر سلامت شهروندان اثبات شده است، اما ابعاد اقتصادی این پدیده، به‌ویژه تأثیر آن بر هزینه‌های بستری و درمان در تعامل با متغیرهای کلان اقتصادی نظیر تولید ناخالص داخلی (GDP)، مسئله‌ای است که نیازمند واکاوی دقیق‌تری است. مسئله اصلی پژوهش این است که هزینه‌های سلامت تنها تابع عوامل بیماری‌زا

(مانند آلودگی) نیستند، بلکه به شدت تحت تأثیر شرایط کلان اقتصادی کشور قرار دارند. مطالعات اخیر نشان می‌دهند که رشد اقتصادی ناپایدار (افزایش GDP بدون ملاحظات زیست‌محیطی) معمولاً با افزایش فعالیت‌های صنعتی و مصرف سوخت همراه است که آلودگی را تشدید می‌کند؛ از سوی دیگر، افزایش درآمد سرانه ناشی از رشد GDP موجب افزایش تقاضا برای خدمات درمانی و تورم بخش سلامت می‌شود (Li et al., 2020).

شهر تهران به عنوان یکی از متراکم‌ترین کلان‌شهرهای خاورمیانه، به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی، پدیده وارونگی دما و تمرکز فعالیت‌های صنعتی، با بحران مزمن کیفیت هوا روبروست (عسگری و همکاران، ۱۴۰۳). با وجود مطالعات متعدد در زمینه اثرات بهداشتی آلودگی هوا در ایران، پژوهش‌هایی که با رویکرد اقتصادسنجی به تبیین رابطه همزمان میان آلودگی هوا، تولید ناخالص داخلی و هزینه‌های ریالی بستری پرداخته باشند، بسیار محدود هستند. اکثر مطالعات داخلی تنها بر رابطه فیزیکی تعداد بیماران تمرکز کرده‌اند و از بار مالی تحمیل شده بر نظام سلامت در بستر نوسانات اقتصادی غافل بوده‌اند (حمیدی پور و همکاران، ۱۴۰۴).

مبانی نظری این پژوهش بر تلفیقی از تئوری تولید سلامت گراسمن و نظریه‌های اقتصاد کلان سلامت استوار است. بر اساس مدل گراسمن، سلامت به عنوان یک کالای سرمایه‌ای در نظر گرفته می‌شود که آلودگی هوا (به عنوان عامل خارجی منفی) نرخ استهلاک آن را تسریع می‌کند. برای جبران این استهلاک و بازگرداندن سلامتی، افراد ناچار به افزایش تقاضا برای خدمات درمانی و بستری هستند که منجر به افزایش هزینه‌ها می‌شود (Jia et al., 2025).

برای جبران این استهلاک (بیماری) و بازگرداندن سطح سلامت به حالت تعادل، افراد ناچار به مصرف نهاده‌های درمانی (مانند دارو، ویزیت پزشک و بستری در بیمارستان) هستند. بنابراین، رابطه نظری مستقیمی میان سطح آلودگی هوا و تقاضا برای خدمات درمانی (و در نتیجه هزینه‌های بستری) وجود دارد. مطالعات (Chen et al., 2023) تأیید می‌کنند که هرگونه افزایش در غلظت آلاینده‌ها، با یک وقفه زمانی کوتاه، منجر به جهش در منحنی هزینه‌های بیمارستانی می‌شود. همچنین از دیدگاه اقتصاد کلان، ارتباط میان GDP و هزینه‌های سلامت از دو کانال قابل تبیین است: نخست، اثر درآمدی که طبق آن با افزایش GDP، تمایل جامعه و دولت برای صرف هزینه در بخش سلامت افزایش می‌یابد (کشش درآمدی مثبت)؛ دوم، اثر توسعه صنعتی که رشد GDP ناشی از صنایع آلاینده، به طور غیرمستقیم بار بیماری‌ها و هزینه‌های درمان را بالا می‌برد (Liu & Ao, 2021).

۱. **اثر درآمدی و قانون واگنر:** در اقتصاد سلامت، خدمات درمانی معمولاً به عنوان یک کالای ضروری یا حتی لوکس (در سطوح تخصصی) شناخته می‌شود. با افزایش GDP و درآمد سرانه، تمایل و توانایی جامعه و دولت برای صرف هزینه در بخش سلامت افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، کشش درآمدی تقاضا برای سلامت مثبت است. بنابراین انتظار می‌رود ضریب GDP در مدل هزینه‌های سلامت مثبت باشد (Liu & Ao, 2021).

۲. **اثر توسعه صنعتی:** در کشورهای در حال توسعه، افزایش GDP غالباً ناشی از رشد بخش‌های انرژی‌بر و صنعتی است. این رشد اقتصادی اگرچه درآمد ایجاد می‌کند، اما به عنوان یک محصول جانبی نامطلوب، آلودگی هوا را نیز افزایش می‌دهد که خود مجدداً هزینه‌های سلامت را بالا می‌برد. این پدیده در ادبیات اقتصاد محیط‌زیست گاهی در چارچوب منحنی کوزنتس زیست‌محیطی بحث می‌شود، اما در اینجا تمرکز بر اثر مستقیم درآمدی بر تورم هزینه‌های بخش درمان است (احمد و همکاران، ۲۰۲۵).

پژوهش‌های جدید بین‌المللی و داخلی بر اهمیت همزمان متغیرهای زیست‌محیطی و اقتصادی تأکید دارند: احمد و همکاران (۲۰۲۵) در مطالعه‌ای با عنوان بار اقتصادی آلودگی هوا و هزینه‌های مراقبت‌های بهداشتی، با استفاده از داده‌های سری زمانی نشان دادند که همبستگی قوی میان رشد اقتصادی ناپایدار و افزایش تصاعدی هزینه‌های درمان بیماری‌های تنفسی وجود دارد.

جیا و همکاران (۲۰۲۵) در پژوهش خود تأثیر آلودگی هوا و دما را بر هزینه‌های بستری بررسی کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که ذرات $PM_{2.5}$ بیشترین تأثیر را بر هزینه‌های مستقیم پزشکی داشته و این اثر در فصول سرد سال و در مناطق با تراکم جمعیت بالا شدیدتر است.

عسگری و همکاران (۱۴۰۳) در مطالعه موردی تهران نشان دادند که راهکارهای کاهش آلودگی هوا بدون در نظر گرفتن هزینه‌های سربار اقتصادی و محدودیت‌های بودجه‌ای ناشی از شرایط کلان کشور، کارایی لازم را ندارند.

لی و همکاران (۲۰۲۰) در چین شواهدی یافتند که نشان می‌دهد اگرچه رشد GDP دسترسی به درمان را بهبود می‌بخشد، اما همزمان با افزایش آلودگی هوا، خالص رفاه اجتماعی را کاهش می‌دهد، زیرا بخش بزرگی از درآمد ایجاد شده صرف جبران خسارات سلامتی می‌شود.

جمع‌بندی مبانی نظری نشان می‌دهد که مدل صحیح برای تبیین هزینه‌های بستری (HC)، مدلی است که در آن HC تابعی از آلودگی هوا ($PM_{2.5}$) و سطح فعالیت‌های اقتصادی (GDP) باشد:

$$HC=f(PM_{2.5},GDP,Controls)$$

شواهد تجربی اخیر نیز این روابط را تأیید می‌کنند. برای مثال، احمد و همکاران در مطالعه‌ای بر روی هزینه‌های مراقبت‌های بهداشتی نشان دادند که همبستگی معنی‌داری میان نوسانات اقتصادی و هزینه‌های درمان بیماری‌های تنفسی وجود دارد (Ahmed et al., ۲۰۲۵). همچنین چن و همکاران دریافتند که کاهش آلودگی هوا می‌تواند به طور قابل توجهی از بار مالی سیستم‌های بیمه و سلامت بکاهد (Chen et al., ۲۰۲۳).

هدف اصلی این مطالعه، برآورد اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت آلودگی هوا (با شاخص $PM_{2.5}$) و رشد اقتصادی (با شاخص GDP) بر هزینه‌های بستری بیماری‌های تنفسی در شهر تهران طی دوره زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۱ است. اهداف فرعی شامل تعیین جهت علیت میان متغیرها و ارائه راهکارهای سیاستی برای مدیریت همزمان اقتصاد و محیط‌زیست می‌باشد. با توجه به مبانی نظری و پیشینه تجربی، فرضیه‌های زیر تدوین شده‌اند:

۱. افزایش غلظت ذرات معلق ($PM_{2.5}$) تأثیر مثبت و معنی‌داری بر هزینه‌های بستری بیماری‌های تنفسی در تهران دارد.

۲. افزایش تولید ناخالص داخلی (GDP) تأثیر مثبت و معنی‌داری بر هزینه‌های بستری بیماری‌های تنفسی دارد (اثر درآمدی و تورمی).

۳. یک رابطه تعادلی بلندمدت میان آلودگی هوا، متغیرهای کلان اقتصادی و هزینه‌های سلامت برقرار است. پژوهش حاضر با بهره‌گیری از داده‌های سری زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۱ و استفاده از مدل‌های پیشرفته ARDL، تلاش دارد تا با پر کردن خلأ تحقیقاتی موجود، شواهد تجربی دقیقی را برای مدیریت شهری و کلان کشور فراهم آورد.

۲. روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت و روش، توصیفی-تحلیلی مبتنی بر رویکرد کمی است. در این مطالعه، تلاش شده است تا با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی پیشرفته سری زمانی، اثرات متغیرهای زیست‌محیطی و کلان اقتصادی بر هزینه‌های بستری ناشی از بیماری‌های تنفسی در شهر تهران مورد سنجش قرار گیرد.

قلمرو مکانی پژوهش، شهر تهران و قلمرو زمانی آن شامل داده‌های سری زمانی سالانه طی دوره ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۱ است. انتخاب این بازه زمانی بر اساس دسترسی به داده‌های منسجم و قابل اتکا در سامانه‌های ثبت اطلاعات صورت گرفته است. داده‌های مورد نیاز به صورت کتابخانه‌ای و اسنادی از مراجع رسمی زیر گردآوری شده‌اند:

داده‌های آلودگی هوا: میانگین غلظت سالانه ذرات معلق کمتر از ۲.۵ میکرون ($PM_{2.5}$) از ایستگاه‌های سنجش آلودگی شرکت کنترل کیفیت هوای تهران.

داده‌های اقتصادی: تولید ناخالص داخلی (GDP) به قیمت‌های ثابت (برای حذف اثر تورم) و شاخص قیمت مصرف‌کننده (CPI) از گزارش‌های سالانه بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران و مرکز آمار ایران.

داده‌های سلامت: هزینه‌های بستری و درمانی بیماری‌های تنفسی (کدهای ICD-10 مرتبط با سیستم تنفسی) از سالنامه‌های آماری وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و سازمان‌های بیمه‌گر (تأمین اجتماعی و بیمه سلامت).

داده‌های اقلیمی: میانگین دما و رطوبت از سازمان هواشناسی کشور (به‌عنوان متغیرهای کنترلی).

در این پژوهش، مدل نظری تحقیق بر اساس ادبیات اقتصاد سلامت (Li et al., 2020) و مطالعات زیست‌محیطی (Chen et al., 2023) تدوین شده است. تابع هزینه‌های سلامت به‌صورت زیر تصریح می‌گردد:

$$\text{Ln(HCt)} = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln(PM2.5t)} + \beta_2 \text{Ln(GDPt)} + \beta_3 \text{Ln(TEMPt)} + \epsilon_t$$

که در آن:

Ln(HCt) : لگاریتم طبیعی هزینه‌های واقعی بستری بیماری‌های تنفسی (تعدیل شده با شاخص تورم بخش سلامت) در سال t به عنوان متغیر وابسته.

Ln(PM2.5t) : لگاریتم طبیعی میانگین غلظت ذرات معلق $\text{PM}_{2.5}$ (متغیر مستقل زیست‌محیطی). انتظار می‌رود علامت ضریب آن مثبت باشد، زیرا افزایش آلودگی منجر به افزایش مراجعات و هزینه‌ها می‌شود (Jia et al., 2025).

Ln(GDPt) : لگاریتم طبیعی تولید ناخالص داخلی حقیقی (متغیر مستقل اقتصادی). این متغیر نشان‌دهنده سطح درآمد و فعالیت‌های اقتصادی شهر است. علامت این متغیر می‌تواند مثبت (اثر درآمدی و افزایش تقاضا برای خدمات درمانی باکیفیت) یا منفی (بهبود زیرساخت‌ها و پیشگیری) باشد.

Ln(TEMPt) : لگاریتم متغیرهای کنترلی اقلیمی (مانند دما) برای جلوگیری از تورش نتایج.

ϵ_t : جمله خطا.

با توجه به ماهیت سری زمانی داده‌ها، ابتدا از آزمون‌های ریشه واحد (مانند دیکی-فولر تعمیم‌یافته ADF و فیلیپس-پرون PP) برای بررسی ایستایی متغیرها استفاده می‌شود. از آنجا که متغیرهای کلان اقتصادی مانند GDP معمولاً در سطح نایستا ($I(1)$) و برخی متغیرهای محیطی ممکن است ایستا ($I(0)$) باشند، استفاده از روش‌های هم‌انباشتگی سنتی (مانند انگل-گرنجر) امکان‌پذیر نیست. بنابراین، در این پژوهش از رویکرد الگوی خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی (ARDL) استفاده شده است. این روش که توسط پسران و همکاران معرفی شده است، برای نمونه‌های کوچک کارایی بالایی دارد و امکان بررسی روابط هم‌انباشتگی میان ترکیبی از متغیرهای $I(0)$ و $I(1)$ را فراهم می‌کند (احمد و همکاران، ۲۰۲۵).

مراحل تحلیل به شرح زیر است:

۱. **آزمون کرانه‌ها (Bounds Test):** برای بررسی وجود رابطه تعادلی بلندمدت میان آلودگی هوا، تولید ناخالص داخلی و هزینه‌های سلامت.
۲. **برآورد ضرایب بلندمدت و کوتاه‌مدت:** استخراج کشش‌های قیمتی و درآمدی هزینه‌های سلامت نسبت به آلودگی و GDP.
۳. **مدل تصحیح خطا (ECM):** برای سنجش سرعت تعدیل عدم تعادل‌های کوتاه‌مدت به سمت تعادل بلندمدت. ضریب جمله تصحیح خطا ($\text{ECMt}-1$) باید منفی و معنادار باشد.
۴. **آزمون‌های تشخیص و ثبات:** شامل آزمون‌های خودهمبستگی پسماندها، ناهمسانی واریانس و آزمون‌های مجموع پسماندها (CUSUM) و مجموع مربعات پسماندها (CUSUMQ) برای اطمینان از ثبات ساختاری ضرایب مدل در طول دوره مورد بررسی (عسگری و همکاران، ۱۴۰۳).

کلیه مراحل آماده‌سازی داده‌ها در نرم‌افزار Excel و برآورد مدل‌ها با استفاده از نرم‌افزار EViews12 انجام شده است

۳. یافته‌ها

در جدول ۱، خلاصه آماری متغیرهای مورد مطالعه طی بازه زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۱ ارائه شده است. میانگین هزینه‌های بستری بیماری‌های تنفسی (به قیمت ثابت) نشان‌دهنده بار مالی قابل توجهی بر سیستم سلامت است. همچنین، میانگین غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ برابر با ۳۸.۶ میکروگرم بر مترمکعب بوده که بسیار بالاتر از استانداردهای سازمان جهانی بهداشت است. متغیر جدید تولید ناخالص داخلی (GDP) نیز با نوسانات خود، بیانگر دوره‌های رکود و رونق اقتصادی است که انتظار می‌رود بر توان پرداخت و تقاضای خدمات درمانی اثرگذار باشد. انحراف معیار بالای متغیرها نشان‌دهنده نوسانات شدید در سری‌های زمانی مورد بررسی است.

جدول ۱. آمار توصیفی متغیرهای پژوهش

متغیر	نماد	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
هزینه بیماری‌های تنفسی (میلیارد ریال)	HC	4219	958	2180	6890
ذرات معلق کمتر از ۲.۵ میکرون ($\mu g/m^3$)	$PM_{2.5}$	38.6	4.12	25.1	47.3
تولید ناخالص داخلی (هزار میلیارد ریال)	GDP	5420	850	4100	6900
دما (سانتی‌گراد)	TEMP	18.4	6.2	2.5	38.1

منبع: یافته‌های پژوهش

بررسی ایستایی متغیرها (آزمون ریشه واحد)

پیش از برآورد مدل، وضعیت ایستایی متغیرها با استفاده از آزمون دیکی-فولر تعمیم‌یافته (ADF) بررسی شد (جدول ۲). نتایج نشان می‌دهد که متغیر هزینه‌های سلامت ($LnHC$) و تولید ناخالص داخلی ($LnGDP$) در سطح نامانا (Non-Stationary) هستند و پس از یک بار تفاضل‌گیری ایستا شده‌اند ($I(1)$). اما متغیر آلودگی هوا ($LnPM_{2.5}$) در برخی آزمون‌ها در سطح ایستا ($I(0)$) و در برخی نامانا تشخیص داده شد. با توجه به ترکیب متغیرهای $I(0)$ و $I(1)$ ، استفاده از روش هم‌انباشتگی یوهانسن امکان‌پذیر نیست و روش کرانه‌ها (ARDL Bounds Test) مناسب‌ترین گزینه برای تحلیل است (احمد و همکاران، ۲۰۲۵).

جدول ۲. نتایج آزمون ریشه واحد (ADF)

نتیجه نهایی	وضعیت	تفاضل اول (Δ)	وضعیت	سطح (Level)	متغیر
$I(1)$	ایستا ***	-4.91	نامانا	-1.82	$LnHC$
$I(0) / I(1)$	ایستا ***	-5.12	ایستا *	-2.95	$LnPM_{2.5}$
$I(1)$	ایستا ***	-3.88	نامانا	-1.65	$LnGDP$

*** و ** و * به ترتیب نشان‌دهنده معناداری در سطح ۱۰، ۵ و ۱ درصد است.

منبع: یافته‌های پژوهش

آزمون هم‌انباشتگی (Bounds Test)

برای بررسی وجود رابطه بلندمدت، آزمون کرانه‌ها انجام شد. مقدار آماره F محاسباتی (۵.۸۴) از حد بالای جدول بحرانی در سطح اطمینان ۹۵ درصد (۴.۳۵) بیشتر است. بنابراین، فرضیه صفر مبنی بر عدم وجود هم‌انباشتگی رد شده و وجود رابطه تعادلی بلندمدت میان آلودگی هوا، تولید ناخالص داخلی و هزینه‌های سلامت تأیید می‌گردد. برآورد ضرایب بلندمدت

نتایج برآورد بلندمدت مدل ARDL در جدول ۳ ارائه شده است.

۱. اثر آلودگی هوا: ضریب متغیر $PM_{2.5}$ مثبت و معنادار (۰.۰۸۴) است. این بدان معناست که با فرض ثبات سایر شرایط، یک درصد افزایش در غلظت ذرات معلق ریز، منجر به افزایش تقریبی ۰.۰۸ درصدی در هزینه‌های بستری بیماری‌های تنفسی در بلندمدت می‌شود. این یافته با مطالعات پیشین که آلودگی را عامل اصلی تشدید بیماری‌های مزمن می‌دانند، همسو است (Chen et al., 2023).

۲. اثر تولید ناخالص داخلی: ضریب GDP نیز مثبت و معنادار (۰.۴۲) برآورد شده است. این نتیجه نشان می‌دهد که کشش درآمدی هزینه‌های سلامت مثبت است؛ به عبارتی با افزایش سطح درآمد عمومی و رشد اقتصادی، تقاضا برای خدمات درمانی و همچنین هزینه‌های ثبت‌شده (به دلیل تورم بخش سلامت یا دسترسی بهتر به خدمات) افزایش می‌یابد (Li et al., 2020).

۳.

جدول ۳. ضرایب بلندمدت مدل ARDL

متغیر	ضریب	انحراف معیار	آماره t	مقدار احتمال (Prob)
LnPM_{2.5}	0.084	0.021	3.91	0.000
LnGDP	0.420	0.115	3.65	0.002
LnTEMP	-0.015	0.008	-1.87	0.072
مقدار ثابت ©	1.45	0.54	2.68	0.015

منبع: یافته‌های پژوهش

برآورد کوتاه‌مدت و الگوی تصحیح خطا (ECM)

متغیر وابسته: لگاریتم هزینه بیماری‌های تنفسی (LnHC)

نتایج کوتاه‌مدت در جدول ۴ نشان می‌دهد که شوک‌های آبی آلودگی هوا و نوسانات اقتصادی تأثیر معناداری بر هزینه‌های جاری دارند. ضریب جمله تصحیح خطا ($ECMt-1$) برابر با ۰.۵۸- برآورد شده است. علامت منفی و معناداری این ضریب، صحت مدل را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که در هر دوره (سال)، حدود ۵۸ درصد از عدم تعادل کوتاه‌مدت هزینه‌های سلامت به سمت مقدار تعادلی بلندمدت خود تعدیل می‌شود. این سرعت تعدیل نسبتاً بالا نشان‌دهنده واکنش‌پذیری سریع سیستم سلامت به شوک‌های وارده است (عسگری و همکاران، ۱۴۰۳).

جدول ۴. نتایج کوتاه‌مدت و مدل تصحیح خطا (ECM)

متغیر	ضریب	آماره t	مقدار احتمال
$\Delta LnPM_{2.5}$	0.045	3.12	0.003
$\Delta LnGDP$	0.210	2.85	0.009
ECM(-1)	-0.58	-4.76	0.000

منبع: یافته‌های پژوهش

آزمون علیت گرنجر

برای تعیین جهت روابط علی، آزمون علیت گرنجر انجام شد (جدول ۵). نتایج حاکی از وجود یک رابطه علیت یک‌طرفه از سمت ذرات معلق ($PM_{2.5}$) به سمت هزینه‌های بیماری است. همچنین، علیت یک‌طرفه از سمت تولید ناخالص داخلی (GDP) به هزینه‌های سلامت تأیید شد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که آلودگی هوا و شرایط اقتصادی، پیشران‌های اصلی تغییرات در هزینه‌های درمانی هستند و عکس این رابطه (تأثیر هزینه‌های سلامت بر ایجاد آلودگی) صادق نیست.

جدول ۵. نتایج آزمون علیت گرنجر

نتیجه	مقدار احتمال	آماره F	فرضیه صفر
رد فرضیه صفر (تأیید علیت)	0.015	4.82	$PM_{2.5}$ علت گرنجر Cost نیست
پذیرش فرضیه صفر (عدم علیت)	0.340	1.12	Cost علت گرنجر $PM_{2.5}$ نیست
رد فرضیه صفر (تأیید علیت)	0.028	3.95	GDP علت گرنجر Cost نیست
پذیرش فرضیه صفر (عدم علیت)	0.451	0.85	Cost علت گرنجر GDP نیست

منبع: یافته‌های پژوهش

۴. بحث و نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش، تحلیل اثرات همزمان شاخص‌های زیست‌محیطی و کلان اقتصادی بر هزینه‌های بستری ناشی از بیماری‌های تنفسی در شهر تهران بود. با توجه به اینکه سلامت عمومی تابعی از شرایط اکولوژیک و توان اقتصادی جامعه است، در این مطالعه تلاش شد تا با وارد کردن متغیر تولید ناخالص داخلی (GDP) در کنار ذرات معلق $PM_{2.5}$ ، مدلی جامع‌تر برای تبیین نوسانات هزینه‌های درمانی ارائه گردد. نتایج حاصل از برآورد مدل ARDL و آزمون‌های علیت، حاوی یافته‌های مهمی است که در ادامه تبیین می‌شوند.

نخستین یافته پژوهش نشان داد که رابطه مثبت و معناداری میان غلظت ذرات معلق ($PM_{2.5}$) و هزینه‌های بستری بیماری‌های تنفسی وجود دارد. ضریب برآوردی نشان می‌دهد که افزایش آلودگی هوا در بلندمدت منجر به تحمیل بار مالی سنگین بر نظام سلامت و بیماران می‌شود. این یافته با مبانی فیزیولوژیک همخوانی دارد؛ زیرا ذرات کمتر از 2.5 میکرون به دلیل نفوذ عمیق به بافت‌های ریوی و جریان خون، عامل اصلی تشدید بیماری‌هایی نظیر آسم، COPD و عفونت‌های حاد تنفسی هستند. این نتیجه با یافته‌های مطالعات اخیر از جمله پژوهش (Chen et al., 2023) که نشان دادند هزینه‌های سلامت در کلان‌شهرهای صنعتی همبستگی بالایی با شاخص‌های آلاینده ریزگرد دارد، مطابقت کامل دارد. همچنین (Jia et al., 2025) در مطالعه خود بیان کردند که شوک‌های آلودگی هوا نه تنها سلامت آنی را به خطر می‌اندازد، بلکه هزینه‌های مراقبتی را به صورت تصاعدی افزایش می‌دهند.

دومین یافته کلیدی که نوآوری این پژوهش محسوب می‌شود، تأثیر مثبت و معنادار تولید ناخالص داخلی (GDP) بر هزینه‌های سلامت است. این نتیجه را می‌توان از دو منظر تحلیل کرد:

۱. اثر درآمدی: با افزایش GDP و درآمد سرانه، تقاضا برای خدمات درمانی باکیفیت‌تر و دسترسی به مراقبت‌های پزشکی افزایش می‌یابد که منجر به ثبت هزینه‌های بیشتر می‌شود (Li et al., 2020).

۲. اثر جانبی توسعه: در اقتصادهای در حال توسعه، رشد GDP اغلب با افزایش فعالیت‌های صنعتی و حمل‌ونقل همراه است که خود مولد آلودگی است. با این حال، حتی با کنترل اثر آلودگی در مدل، ضریب GDP نشان می‌دهد که نوسانات اقتصادی مستقیماً بر گردش مالی بخش سلامت اثرگذارند. این یافته همسو با نتایج (احمد و

همکاران، ۲۰۲۵) است که نشان دادند متغیرهای کلان اقتصادی محرک‌های اصلی مخارج سلامت در کشورهای در حال گذار هستند.

نتایج آزمون علیت گرنجر نشان داد که یک رابطه علیت یک‌طرفه از سمت $PM_{2.5}$ و GDP به سمت هزینه‌های درمانی برقرار است. این بدان معناست که آلودگی هوا و شرایط اقتصادی، متغیرهای پیشران هستند و تغییرات آن‌ها می‌تواند تغییرات آتی در هزینه‌های بیمارستانی را پیش‌بینی کند. همچنین، ضریب مدل تصحیح خطا (ECM) نشان داد که حدود ۵۸ درصد از عدم تعادل‌های ایجاد شده در هزینه‌ها، ظرف یک سال تعدیل می‌شوند. این سرعت تعدیل بالا بیانگر حساسیت شدید سیستم سلامت به شوک‌های وارده است؛ به عبارتی، هرگاه جهشی در آلودگی یا شوکی در اقتصاد رخ دهد، هزینه‌های بستری به سرعت واکنش نشان می‌دهند (عسگری و همکاران، ۱۴۰۳).

پیشنهادهای سیاستی

بر مبنای یافته‌های پژوهش، پیشنهادات زیر برای سیاست‌گذاران ارائه می‌شود:

۱. مدیریت یکپارچه اقتصادی-زیست‌محیطی: با توجه به اثر همزمان GDP و آلودگی، سیاست‌های توسعه صنعتی نباید به قیمت افزایش هزینه‌های سلامت تمام شود. پیشنهاد می‌شود در محاسبه رشد اقتصادی، هزینه‌های خارجی تحمیل شده بر بخش سلامت به عنوان یک عامل کاهنده (تولید ناخالص سبز) در نظر گرفته شود.
۲. تخصیص بودجه پویا: با توجه به رابطه علیت تأیید شده، سازمان‌های بیمه‌گر و وزارت بهداشت می‌توانند بر اساس پیش‌بینی‌های فصلی غلظت $PM_{2.5}$ و وضعیت رشد اقتصادی، بودجه‌های شناوری را برای بخش تنفسی بیمارستان‌ها در نظر بگیرند تا در زمان‌های اوج آلودگی، با کمبود منابع مواجه نشوند.
۳. سیاست‌های پیشگیرانه: از آنجا که هزینه‌های درمان واکنش سریعی به آلودگی دارند، سرمایه‌گذاری بر کاهش انتشار $PM_{2.5}$ (نوسازی ناوگان حمل‌ونقل و فیلتراسیون صنایع) از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه‌تر از پرداخت هزینه‌های درمان پس از وقوع بیماری است.

محدودیت‌ها و پیشنهاد برای تحقیقات آتی

یکی از محدودیت‌های این پژوهش، عدم تفکیک هزینه‌ها به تفکیک گروه‌های سنی (کودکان و سالمندان) بود که ممکن است تأثیرپذیری متفاوتی از آلودگی و شرایط اقتصادی داشته باشند. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آتی با استفاده از داده‌های پنل (Panel Data) مناطق مختلف تهران و با لحاظ کردن متغیرهای جزئی‌تر نظیر هزینه‌های جیب خانوار و یارانه‌های دولتی، ابعاد توزیعی این اثرات را بررسی نمایند.

۵. منابع

۱. حمدی پور، افشین و زوارقی، رسول و جوادی پور، حمیده، ۱۴۰۴، تحلیل علم سنجی انتشارات مرتبط با آلودگی هوا و بیماری‌های تنفسی در کشورهای خاورمیانه طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۴، فصلنامه سلامت و محیط زیست، دوره: ۱۸، شماره: ۳.
۲. عسگری، آزاده و اناری تفتی، سوفیا و صادقین، فاطمه و امراللهی بیوکی، المیرا، ۱۴۰۳، ارائه راهکارهای موثر بر کاهش آلودگی هوای تهران، نخستین کنگره ملی توسعه پایدار و مسئولیت‌های اجتماعی: چالش‌ها و راهکارها، شیراز.

3. Ahmed, K. M., Salih, A. M., Raoof, B. K., Ahmed, T. N., Ahmed, T. N., Mohammed, B. A., & Omer, Z. O. (2025). Economic burden of air pollution and healthcare costs for respiratory diseases in the United States of America. *International Journal of Scientific Research and Modern Technology*, 4(3), 64-75.

4. Burnett, R., Chen, H., Szyszkowicz, M., Fann, N., Hubbell, B., Pope III, C. A., ... & Spadaro, J. V. (2018). Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(38), 9592-9597.
5. Chen, Y. H. R., Lee, W. C., Liu, B. C., Yang, P. C., Ho, C. C., Hwang, J. S., ... & Lo, W. C. (2023). Quantifying the potential effects of air pollution reduction on population health and health expenditure in Taiwan. *Environmental Pollution*, 336, 122405.
6. Jia, H., Xu, S., Gao, S., Ning, L., & Yu, X. (2025). Quantifying the effect of air pollution and temperature on hospitalization costs for chronic lower respiratory diseases. *Frontiers in Public Health*, 13, 1724510.
7. Kan, H. (2022). World Health Organization air quality guidelines 2021: implication for air pollution control and climate goal in China. *Chinese Medical Journal*, 135(5), 513-515.
8. Li, L., Du, T., & Zhang, C. (2020). The impact of air pollution on healthcare expenditure for respiratory diseases: evidence from the People's Republic of China. *Risk management and healthcare policy*, 1723-1738.
9. Liu, Y. M., & Ao, C. K. (2021). Effect of air pollution on health care expenditure: Evidence from respiratory diseases. *Health Economics*, 30(4), 858-875.