مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره نوزدهم ، شماره اول، بهار ۱۴۰۵، صفحات ۲۱ تا ۳۶

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

پذیرش مجدد بیماران تنفسی مرتبط با ذرات معلق $PM_{2.5}$: تحلیل اثرات تجمعی و خطر منتسب در شهر سنندج با استفاده از داده‌های سنجش از دور و ایستگاه‌های پایش

سمیرا سلیمانی[۲،۱]، امید ابوبکری[*،۳]

۱- کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
۳- مرکز تحقیقات بهداشت محیط، پژوهشکده توسعه سلامت، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۰۴
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۵/۰۱/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۲۶

واژگان کلیدی: ذرات معلق، پذیرش مجدد، بیماری‌های تنفسی، خطر منتسب

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
asso.mhabad@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: پذیرش مجدد بیماران تنفسی یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی کیفیت خدمات سلامت و نشان دهنده بار بیماری‌های مزمن است. هدف این مطالعه بررسی اثرات تجمعی $PM_{2.5}$ و برآورد خطر منتسب پذیرش‌های مجدد بیماران تنفسی در سنندج طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۱ بود.

روش بررسی: در این مطالعه، مجموعه ای از داده‌های سازمان هواشناسی، داده‌های پذیرش مجدد بیماران تنفسی همراه با تلفیقی از داده‌های ایستگاه پایش محیط زیست و داده‌های سنجش از دور استفاده شد. ارتباط بین $PM_{2.5}$ و پذیرش مجدد به وسیله مدل رگرسیون شبه پارامتریک با توابع غیر خطی جهت کنترل مخدوشگرهای شناخته شده و اندازه‌گیری نشده (ناشناخته) بررسی شد. همچنین اثرات تجمعی تا ۲۱ روز پس از مواجهه و خطر منتسب به تفکیک سن و جنس محاسبه گردید.

یافته‌ها: افزایش غلظت $PM_{2.5}$ اثر تجمعی معنی‌داری به ویژه در مردان و افراد زیر ۶۵ سال بر پذیرش مجدد داشت. در گروه سنی زیر ۶۵ سال، الگوی پاسخ اغلب با لگ زمانی همراه بود، اما سالمندان بیشترین خطر را در روزهای ابتدایی مواجهه داشتند. برآورد خطر منتسب نشان داد حدود ۳۵۰۰ پذیرش مجدد در دوره مطالعه به $PM_{2.5}$ قابل انتساب بوده و از این مقدار بیشترین سهم مربوط به بازه غلظتی ۰-۱۵ $\mu g/m^3$ بود.

نتیجه‌گیری: این مطالعه نشان داد ذرات معلق $PM_{2.5}$ سهم بالایی در پذیرش‌های مجدد بیماران تنفسی داشته و اثرات آن به صورت تجمعی و تأخیری ظاهر می‌شود. یافته‌ها بر ضرورت بازنگری استانداردهای کیفیت هوا، طراحی مداخلات پیشگیرانه متناسب با گروه‌های سنی و جنسی و توسعه سامانه‌های پایش و هشدار زودهنگام برای کاهش بار بیماری‌های تنفسی و هزینه‌های نظام سلامت تأکید می‌کنند.

Please cite this article as: Soleimani S, Aboubakri O. Hospital readmissions of respiratory patients associated with PM2.5: cumulative effects and attributable risk analysis in Sanandaj using remote sensing and monitoring data. Iranian Journal of Health and Environment. 2026;19(1):21-36.

Copyright © 2026 Iranian Association of Environmental Health، and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted، provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

مقدمه

پذیرش مجدد در بیمارستان یکی از پیامدهای مهم مرتبط با بیماری‌های مزمن، به ویژه بیماری‌های تنفسی محسوب می‌شود که توجه ویژه نظام‌های سلامت را می‌طلبد. این نوع پذیرش‌ها نه تنها بار سنگینی بر دوش بیماران، مراقبان، مراکز درمانی و دولت‌ها از نظر منابع مراقبت های بهداشتی، هزینه و کیفیت خدمات می‌گذارند بلکه کیفیت زندگی بیماران را نیز به طور چشمگیری کاهش می‌دهد. این شاخص، علاوه بر نشان دادن شدت بیماری، به عنوان معیاری برای ارزیابی کیفیت مراقبت‌های ارائه شده توسط بیمارستان‌ها و سیستم‌های درمانی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱، ۲). مطالعات مختلف نشان داده‌اند که افرادی که به دلیل بیماری‌های تنفسی مجدداً پذیرش می‌شوند، ممکن است در مقایسه با سایر افرادی که فقط یک بار پذیرش شده‌اند از نظر شدت بیماری، دسترسی به مراقبت های بهداشتی یا مواجهه با شرایط محیطی متفاوت باشند (۳). یکی از عوامل محیطی مهم که در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده، آلودگی هوا به ویژه ذرات معلق است. این ذرات، که عمدتاً ناشی از فعالیت‌های انسانی و پدیده‌های طبیعی هستند، تهدیدی جدی برای سلامت عمومی محسوب می‌شوند (۴-۶). ذرات معلق، به ویژه ذرات ریزتر، به دلیل قابلیت نفوذ بیشتر در بافت‌های عمقی ریه، اثرات مخرب‌تری بر سلامت انسان دارند. به طوری که ممکن است تا ناحیه آلوئول‌ها نیز نفوذ کرده و موجب بروز بیماری‌های تنفسی، کاهش عملکرد ریوی، تغییرات بافتی و در نهایت مرگ زودرس شوند (۷). ذرات معلق با قطر آئرودینامیکی ۲/۵ µm یا کمتر از آن (Particulate Matter 2.5; $PM_{2.5}$) از جمله آلاینده‌های شاخص کیفیت هوا هستند که سالانه میلیون‌ها مورد مرگ زودرس را به خود اختصاص داده‌اند (۸). این ذرات به عنوان عوامل مؤثر در بروز بیماری‌های مزمن، به ویژه بیماری‌های تنفسی، شناخته شده‌اند و نوسانات روزانه غلظت آنها با افزایش مراجعات اورژانسی و پذیرش‌های برنامه‌ریزی نشده مکرر در بیمارستان‌ها ارتباط مستقیم دارد (۹). تأثیرات منفی این ذرات به ویژه در جمعیت‌های حساس مانند سالمندان، کودکان و افراد مبتلا به بیماری‌های مزمن، به طور مستمر گزارش شده است (۱۰). در بیماران مبتلا به بیماری‌های مزمن تنفسی نظیر آسم، بیماری انسدادی مزمن ریه و فیبروز ریوی، مواجهه با غلظت‌های بالای $PM_{2.5}$ با افزایش خطر تشدید علائم، حملات حاد و در نهایت پذیرش مجدد در مراکز درمانی همراه است (۲). مطالعات انجام شده در کشورهای مختلف، ارتباط مواجهه کوتاه مدت با ذرات معلق را با افزایش نرخ پذیرش شدن در بیمارستان و خطر پذیرش‌های مجدد در بازه‌های زمانی مختلف تأیید کرده‌اند (۱۱-۱۴). به عنوان نمونه، مطالعه‌ای در جنوب تگزاس طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴ نشان داد که افزایش غلظت $PM_{2.5}$ تأثیر قابل توجهی بر خطر پذیرش مجدد کودکان مبتلا به آسم دارد (۲). نتایج مشابهی نیز در مطالعات مربوط به نارسایی قلبی و بیماری‌های کلیوی گزارش شده است (۳، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۴-۱۹). برآوردها نشان می‌دهد که در ایالات متحده، تنها در سال ۲۰۱۶، بیش از ۳۵/۴ میلیارد دلار از هزینه‌های مراقبت‌های بهداشتی صرف بیماران نیازمند به پذیرش‌های مکرر شده است (۲۰). با وجود آن که کاهش نرخ پذیرش‌های مجدد از اولویت‌های اصلی سیستم‌های مراقبت‌های بهداشتی است و در درجه اول تمرکز بر استانداردهای مراقبت مبتنی بر بیمارستان در حداقل کشورهای توسعه یافته بوده است (۱۱، ۲۱)، در کشور ما سیاست‌های ملی فعلی در این زمینه یا تدوین نشده‌اند یا مطالعات کافی برای ارزیابی اثربخشی آنها صورت نگرفته است. در ایران، اگرچه مطالعاتی در زمینه ارتباط مواجهه با ذرات معلق و بروز بیماری‌های مزمن قلبی، عروقی و تنفسی انجام شده است (۲۲)، اما تاکنون پژوهشی جامع در خصوص ارتباط میان مواجهه با ذرات معلق و نرخ پذیرش مجدد بیماران تنفسی صورت نگرفته است. پذیرش مجدد بیمارستانی بیماران مبتلا به بیماری‌های تنفسی، یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی بار بیماری و میزان استفاده از خدمات سلامت محسوب می‌شود. برخلاف بستری که عمدتاً موارد شدید بیماری را

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

منعکس می‌کند، پذیرش مجدد می‌تواند تغییرات سریع و کوتاه مدت در وضعیت سلامت بیماران را نشان دهد و از این رو، به ویژه در مطالعات مرتبط با آلودگی هوا و مواجهات محیطی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از این رو، پژوهش حاضر به بررسی ارتباط میان غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ و نرخ پذیرش مجدد بیماران تنفسی در شهر سنندج، یکی از شهرهای واقع در غرب ایران پرداخته است. نتایج این مطالعه می‌تواند به عنوان مبنایی برای تدوین سیاست‌های پیشگیرانه، بهبود مدیریت بیماری‌های تنفسی و ارتقای شاخص‌های سلامت عمومی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

_ جمع آوری داده ها

این پژوهش که بخشی از مطالعه پیشین محققان این مطالعه بود (۴)، به عنوان یک مطالعه موردی در شهر سنندج واقع در غرب ایران انجام شد. این منطقه که در ارتفاع ۱۴۹۴ متری از سطح دریا قرار دارد و حدود km^2 ۳۰۰۰ مساحت دارد، دارای اقلیم سرد و نیمه خشک است، هر چند به نظر می‌رسد در سال‌های اخیر رطوبت این ناحیه افزایش داشته است. در این مطالعه، از چند منبع داده‌ای متنوع به منظور تحلیل اثرات ذرات معلق هوا بر پذیرش‌های مجدد بیماران تنفسی در شهر سنندج استفاده شد. این داده‌ها شامل اطلاعات سازمان حفاظت محیط زیست استان کردستان، داده‌های ماهواره‌ای، داده‌های سازمان هواشناسی کشور (مربوط به شهرستان سنندج) و نیز داده‌های بیمارستانی بودند. داده‌ها در مقیاس زمانی روزانه و در بازه سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۱ گردآوری شدند. از میان داده‌های هواشناسی، پارامترهای رطوبت نسبی هوا، دمای هوا و سرعت باد مورد استفاده قرار گرفت. در بخش داده‌های محیط زیست، آلاینده $PM_{2.5}$ به عنوان یکی از آلاینده‌های اصلی در تحلیل‌ها لحاظ شد؛ هرچند سایر آلاینده‌ها نیز در دسترس بودند، اما به دلیل کیفیت پایین داده‌های مربوط به آنها، از ورودشان به مدل خودداری گردید. همچنین داده‌های بیمارستانی نیز در این مطالعه گنجانده شدند؛ این داده‌ها شامل موارد پذیرش مجدد بیماران مبتلا به بیماری‌های تنفسی بودند که طبق کدهای ICD10 از J00 تا J99 شناسایی شدند.

اندازه گیری متغیر مواجهه و پیامد

بر خلاف مطالعات قبلی محققان این مطالعه (۴، ۲۲) که در آن ابتلا به بیماری تنفسی و بیماری‌های قلبی-عروقی پیامد اصلی مطالعه بودند، پذیرش‌های مجدد به دلیل بیماری‌های تنفسی پیامد اصلی در مطالعه حاضر بود که در مطالعات داخلی و خارجی و خصوصا در ارتباط با داده‌های ماهواره‌ای کمتر بررسی شده است. منظور از پذیرش مجدد بیمارستانی، هر بار مراجعه و پذیرش مجدد بیمار در بیمارستان مرجع شهرستان سنندج به دلیل بیماری‌های تنفسی است که به عنوان یک رویداد مستقل از بستری در نظر گرفته شد. در واقع این تعریف شامل بستری بیماران نمی‌شود و صرفاً به ثبت پذیرش بیمار در سیستم ثبت بیمارستان محدود است. موارد پذیرش مجدد بر اساس کدهای تشخیصی ICD-10 (J00–J99) شناسایی شدند. بنابراین انتخاب پذیرش مجدد به عنوان پیامد مطالعه، به دلیل حساسیت بالای این شاخص در بازتاب تغییرات کوتاه مدت وضعیت سلامت بیماران و پاسخ سیستم درمانی به نوسانات آلودگی هوا صورت گرفت. داده‌های مربوط به این پیامد از بیمارستان مرجع شهرستان سنندج اخذ گردید که در پنج دسته کلی طبقه‌بندی شدند: بر اساس جنسیت (زن و مرد)، بر اساس گروه سنی (جوانان و سالمندان) و یک دسته کلی. تمامی تحلیل‌ها برای این سه دسته به صورت جداگانه انجام شد. داده‌های ماهواره‌ای نیز که هسته اصلی این پژوهش را تشکیل می‌دهند، به منظور پیش‌بینی ذرات معلق مورد استفاده قرار گرفتند. در واقع از آنجا که ذرات معلق اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه تمام روزهای سال را پوشش نمی‌دهد و همچنین از طرفی کل منطقه را پوشش نمی‌دهند، لذا از تلفیق داده‌های ماهواره و داده‌های اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه، داده‌های ذرات معلق پیش‌بینی گردید. در نهایت این داده‌های پیش‌بینی شده به عنوان متغیر مواجهه اصلی

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

استفاده شد. جزئیات پیش‌بینی این داده‌ها در مطالعه انتشار یافته قبلی اشاره شده است (۴). به طور خلاصه، داده‌های اپتیکی ماهواره‌ای مربوط به عمق نوری آئروسل (AOD) استفاده شد که از محصول MCD19A2 نسخه ۶/۱ حاصل از ماهواره ترا و آکوا (سنجنده MODIS) با وضوح ۱ km^2 استخراج گردید. غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ بر پایه مقادیر AOD و با استفاده از یک مدل رگرسیون دو مرحله‌ای پیش‌بینی شد. در مرحله نخست، با بهره‌گیری از تکنیک اعتبارسنجی متقابل (Cross Validation) و مدل‌سازی رگرسیونی، بهترین رابطه بدون تورش (Bias) بین AOD (به عنوان متغیر پیش‌بینی کننده) و $PM_{2.5}$ (به عنوان متغیر وابسته) شناسایی شد. در این مدل، بر اساس تکنیک اعتبارسنجی متقابل، سرعت باد نیز کنترل شد و برای روزهایی که داده‌های هر دو متغیر در دسترس بودند اجرا شد. در مرحله دوم، ضرایب به دست آمده از مرحله اول برای پیش‌بینی $PM_{2.5}$ در روزها و مکان‌هایی که فاقد داده‌های ایستگاهی بودند، به کار رفت و در نهایت داده‌های با وضوح بالا همراه با نقشه از غلظت ذرات $PM_{2.5}$ تولید گردید. باید اشاره گردد که علاوه بر تهیه نقشه، داده‌های فوق تصحیح خطا نیز شدند که به جهت عدم تکرار از ذکر جزئیات آن در این مطالعه خودداری می‌شود. در نهایت مواجهه افراد با ذرات معلق $PM_{2.5}$ بر اساس داده‌های روزانه پیش‌بینی شده و تصحیح شده با وضوح مکانی بالا ارزیابی گردید. بدین منظور، برای هر روز مطالعه، غلظت $PM_{2.5}$ استخراج شده از نقشه‌های ذکر شده، به عنوان شاخص مواجهه جمعیت ساکن در محدوده جغرافیایی مورد مطالعه در نظر گرفته شد. با توجه به نبود اطلاعات فردی از محل دقیق سکونت یا جابه‌جایی روزانه افراد، فرض شد که افراد در معرض میانگین غلظت ذرات معلق متناظر با منطقه محل سکونت خود قرار دارند. این رویکرد که به طور گسترده در مطالعات سری زمانی آلودگی هوا به کار می‌رود، امکان برآورد مواجهه یکنواخت و قابل مقایسه در کل دوره و محدوده مطالعه را فراهم نموده و با کاهش خطای ناشی از داده‌های ناقص ایستگاهی، برآورد پایدارتری از مواجهه محیطی افراد ارائه می‌دهد.

ـ برآورد خطر نسبی و خطر منتسب

برای بررسی ارتباط بین $PM_{2.5}$ و پذیرش مجدد، از مدل رگرسیونی شبه پارامتریک استفاده گردید که در آن از توابع پیشرفته غیر خطی جهت تعیین اثر آنها بر پذیرش مجدد استفاده شد. توابعی که در این مدل مورد استفاده قرار گرفتند شامل توابع اسپلاین و تابع پایه متقاطع (Cross basis) بودند. از تابع اسپلاین با درجه آزادی ۳ برای کنترل مخدوشگرها (میانگین دمای هوا، رطوبت هوا و سرعت باد) استفاده گردید و از تابع پایه متقاطع برای بررسی اثر متغیر اصلی (آلاینده) بر پذیرش مجدد استفاده شد. یکی از نقاط قوت این مدل‌ها استفاده از تابع متقاطع است که در آن هم ارتباط بین مواجهه و پیامد تعریف می‌شود و هم ارتباط لگ (تاخیر) با پیامد.

در این تابع، اثرات با تاخیر (Lag) و غیرخطی در بازه ۲۱ روزه به کار رفت. همچنین اثرات تجمعی در طی ۲۱ روز محاسبه گردید. در واقع اثرات آلاینده هم در هر لگ و هم به صورت تجمعی تا ۲۱ روز محاسبه گردید که در قالب نمودار گزارش گردید. جهت کنترل اثرات فصل، روند و سایر مخدوشگرهای ناشناخته (اندازه‌گیری نشده) متغیر تصنعی زمان تولید گردید که با استفاده از تابع غیر خطی کنترل شد. کنترل زمان نیز با استفاده از تابع اسپلاین صورت گرفت که به ازای هر سال درجه آزادی لحاظ شد. علاوه بر این متغیر تصنعی، متغیرهای طبقه‌ای برای روزهای هفته و تعطیلات نیز در مدل لحاظ شدند. با توجه به اینکه این متغیرها از نوع کیفی بودند نیازی به توابع غیر خطی نبود. لازم به ذکر است که تمامی توابع اشاره شده در بالا در مدل رگرسیونی از نوع شبه پواسن استفاده شدند. لذا خروجی این مدل خطر نسبی برای متغیر مواجهه اصلی بود که از آن

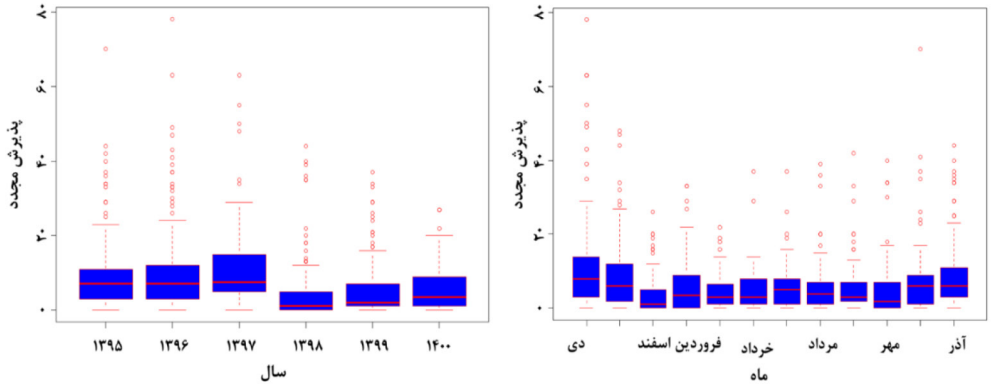
[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

جهت محاسبه خطر قابل انتساب استفاده شد. همان طور که در منابع مختلف اپیدمیولوژی اشاره شده، خطر قابل انتساب از رابطه "خطر نسبی/۱-خطر نسبی" محاسبه می‌شود. باید اشاره شود که در این مطالعه خطر نسبی تجمعی تا ۲۱ روز جهت خطر قابل انتساب مورد استفاده قرار گرفت. خطر نسبی تجمعی و خطر قابل انتساب برای سنین مختلف و به تفکیک جنسیت محاسبه شد. بعد از محاسبه خطر منتسب، تعداد موارد منتسب (AN) نیز با ضرب خطر قابل انتساب در تعداد موارد پذیرش مجدد به دست آمد. لازم به ذکر است که تحلیل خطر و تعداد پذیرش قابل انتساب برای سطوح مختلف آلودگی (۱۵-۰، ۱۰۰-۱۵، ۱۰۰-۰) انجام گرفت. همچنین در انتها، حدود اطمینان با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو محاسبه شد. باید اشاره شود که برای انتخاب پارامترهای بهینه مدل، از معیار اطلاعاتی Q-AIC و مرور منابع علمی استفاده شد. تمامی تحلیل‌ها با استفاده از نرم افزارهای R نسخه ۴٫۳٫۳ و SPSS نسخه ۲۱ انجام شد. جهت توصیف اولیه داده‌ها از آماره‌های توصیفی شامل میانگین، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی استفاده گردید. همچنین نمودار جعبه‌ای با استفاده از نرم افزار R رسم گردید. آزمون فرض مطالعه و یا به عبارتی تحلیل داده‌ها با استفاده از رگرسیون‌های شبه پارامتریک (Semi-Parametric Regression) در چارچوب مدل‌های توزیع لگ غیر خطی(Distributed Lag Non-linear Models) انجام شد.

یافته‌ها

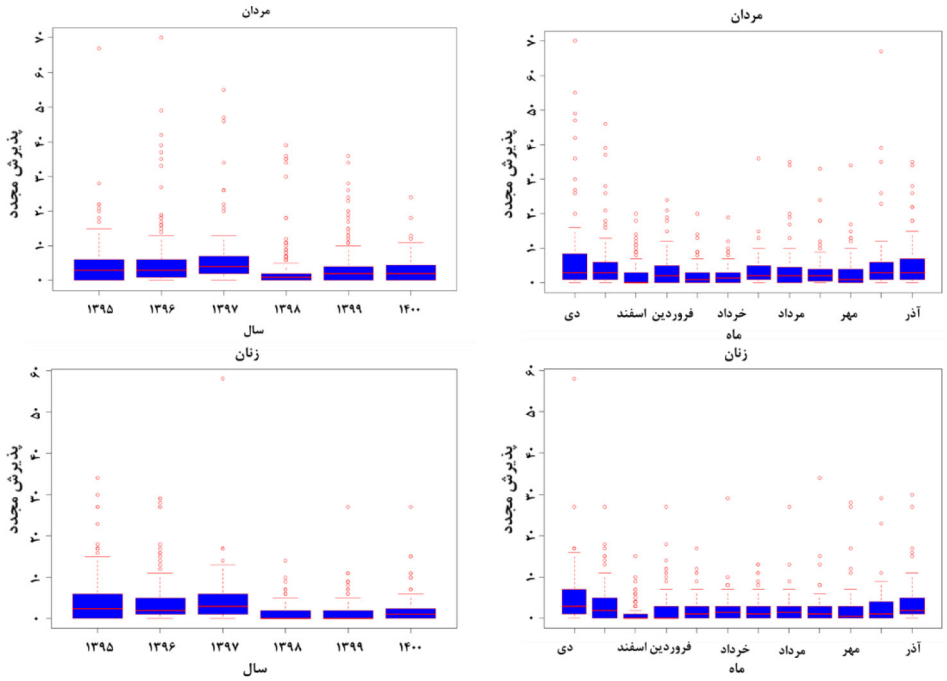
توصیف داده‌های این مطالعه طی دوره زمانی ۱۴۰۱-۱۳۹۶ نشان داد که الگوی توزیع روزانه پذیرش‌های مجدد، همان طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، دارای نوسانات فصلی و سالانه جزئی است. روند کلی داده‌ها در طی این چند سال نشان داد که در ۳ سال پایانی مطالعه، تعداد پذیرش‌های مجدد نسبت به سال‌های ابتدایی تعداد کمتری به ثبت رسیده است. همچنین اوج پذیرش‌های مجدد در ماه‌های سرد سال شامل دی و بهمن و دو ماه آبان و آذر مشاهده گردید. در بقیه ماه‌های سال تقریبا الگوی بارزی مشاهده نشد. همان طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، الگوی فوق برای هر دو گروه زنان و مردان تقریبا مشابه بود اما از نظر گروه‌های سنی تفاوت جزئی در توزیع تعداد پذیرش‌های مجدد دیده شد به طوری که پراکندگی توزیع در سالمندان نسبت به گروه سنی زیر ۶۵ سال بیشتر بود (شکل ۳). در مطالعه حاضر از داده‌های یک ایستگاه اصلی که دقت نسبتا خوبی در ثبت داده داشت و هم از نظر جغرافیای شهر در موقعیت مناسبی قرار داشت، مورد استفاده قرار گرفتند. لازم به ذکر است که سایر ایستگاه‌های شهرستان در زمان انجام مطالعه فعالیت نداشتند. در ابتدا شاخص‌های آماری توصیفی شامل حداقل، حداکثر، میانگین، میانه، انحراف معیار، چولگی، کشیدگی و خطای معیار را برای سه مجموعه داده شامل ذرات معلق اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه‌ها، ذرات معلق پیش‌بینی شده مبتنی بر تلفیق داده‌های ایستگاهی و ماهواره‌ای، و مقادیر نهایی تصحیح شده (به عنوان متغیر اصلی مواجهه) برآورد شدند. داده‌های ایستگاهی دارای دامنه تغییرات وسیع (دامنه = ۷۲/۸۶) و انحراف معیار بزرگتری نسبت به میانگین داشتند (انحراف معیار = ۷/۲۲ و میانگین = ۸/۹۶ $\mu g/m^3$)، در حالی که داده‌های پیش‌بینی شده و به ویژه مقادیر تصحیح خطا شده، از توزیع پایدارتر و دامنه منطقی‌تری برخوردار بودند (میانگین = ۸/۴۲ و انحراف معیار= ۴۴/۷۴ $\mu g/m^3$). بر این اساس، داده‌های تصحیح شده پیش‌بینی شده به عنوان شاخص نهایی مواجهه با ذرات معلق $PM_{2.5}$ در تحلیل‌های اصلی مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند تا هم پوشش زمانی و مکانی کامل‌تری فراهم شود و هم عدم اطمینان ناشی از محدودیت داده‌های ایستگاهی کاهش یابد.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]



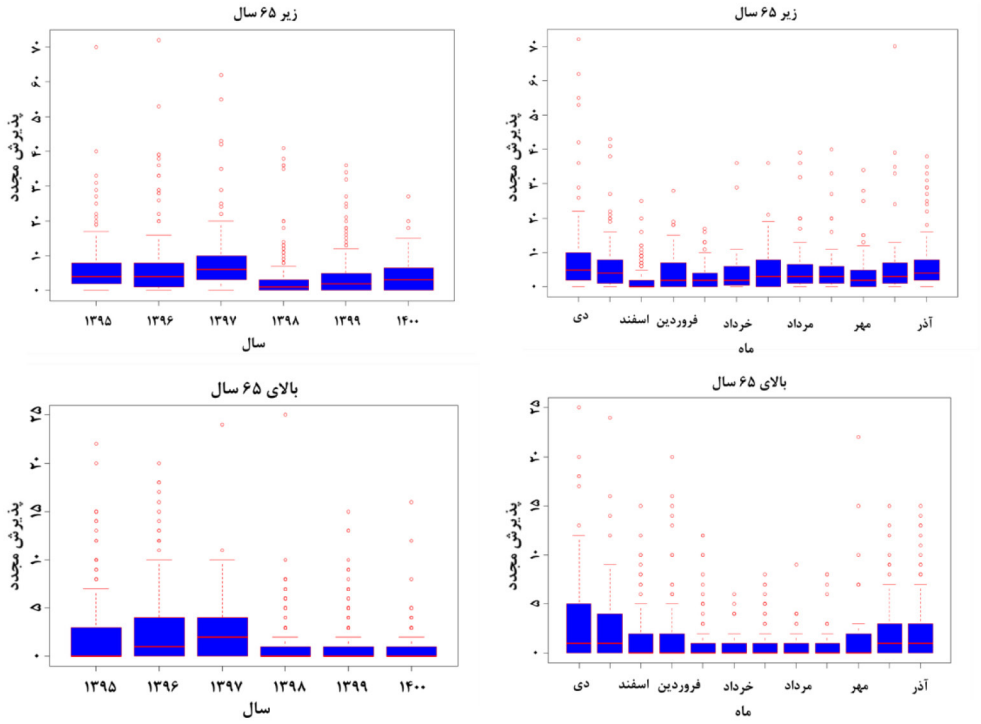
شکل ۱- توزیع تعداد کل پذیرش‌های مجدد بیماران تنفسی در طی سال های ۱۴۰۱-۱۳۹۶ در بیمارستان مرجع کوثر شهرستان سنندج: نمودار جعبه‌ای تعداد پذیرش به تفکیک سال و ماه گزارش گردیده است.

در شکل ۴، اثرات تجمعی تا لگ ۱۴ برای غلظت های مختلف ذرات معلق $PM_{2.5}$ بر پذیرش مجدد بیماران تنفسی به تفکیک جنسیت و گروه‌های سنی (کمتر از ۶۵ سال و ۶۵ سال و بیشتر) نمایش داده شده است. این نمودارها نشان می‌دهد که افزایش غلظت ذرات معلق با افزایش اثرات تجمعی بر پذیرش‌های مجدد در همه‌ی این گروه‌ها همراه بوده است. اما باید اشاره شود که این اثرات در مردان نسبت به زنان بیشتر و از نظر آماری معنی‌دار بود در حالی که برای زنان غیر معنی‌دار بود (عدم قطعیت بیشتر بود). مقایسه گروه‌های سنی نیز نشان داد که افراد زیر ۶۵ سال، به طور معنی داری حساسیت بیشتری به افزایش غلظت $PM_{2.5}$ داشتند و این اثر در گروه سالمندان (≤۶۵ سال) با شدت کمتر و غیر معنی‌دار مشاهده شد.

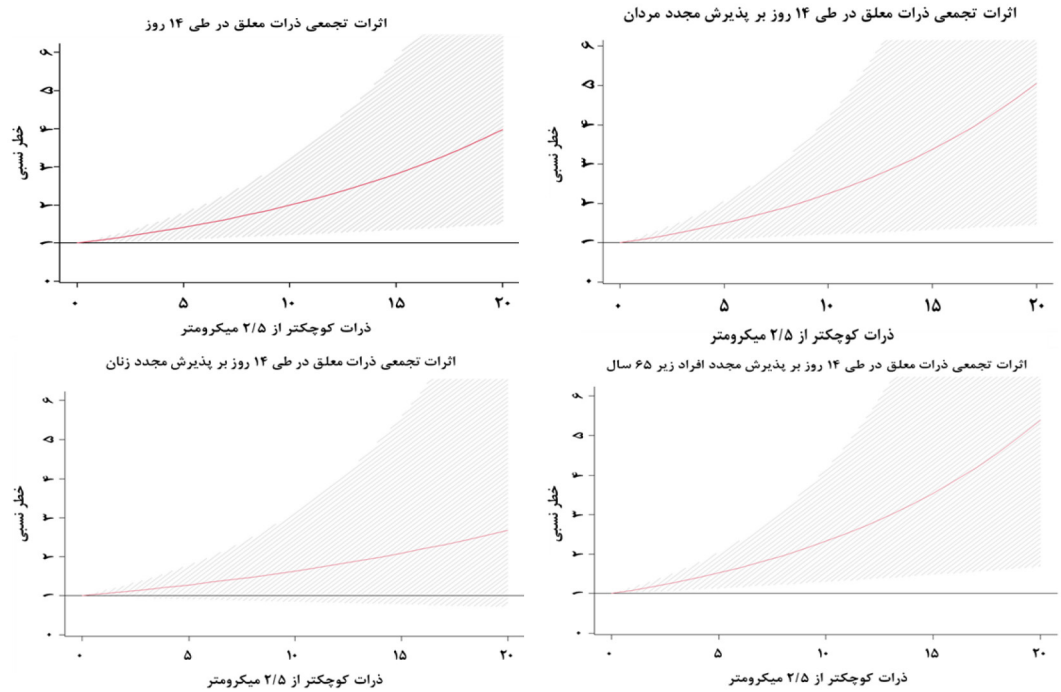


شکل ۲- توزیع تعداد پذیرش‌های مجدد مردان و زنان مبتلا به بیماری تنفسی در طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۹۶ در بیمارستان مرجع کوثر شهرستان سنندج: توزیع روزانه تعداد پذیرش به تفکیک سال و ماه گزارش گردیده است.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

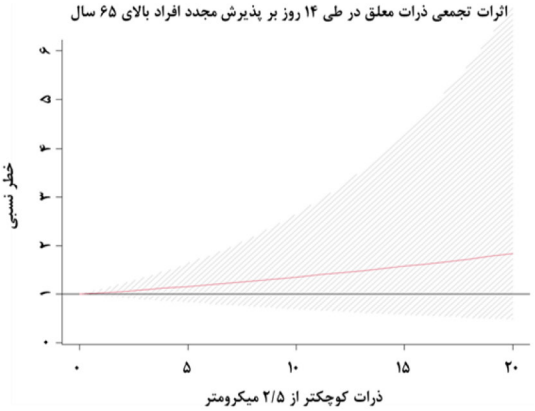


شکل ۳- توزیع تعداد پذیرش‌های مجدد جمعیت جوان و سالمند مبتلا به بیماری تنفسی در طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۹۶ در بیمارستان مرجع کوثر شهرستان سنندج: توزیع روزانه تعداد پذیرش به تفکیک سال و ماه گزارش گردیده است.



شکل ۴- اثرات تجمعی (در طی ۱۴ روز) ذرات معلق $PM_{2.5}$ بر پذیرش مجدد بیماران به تفکیک زیرگروه‌های جنسی و سنی

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]



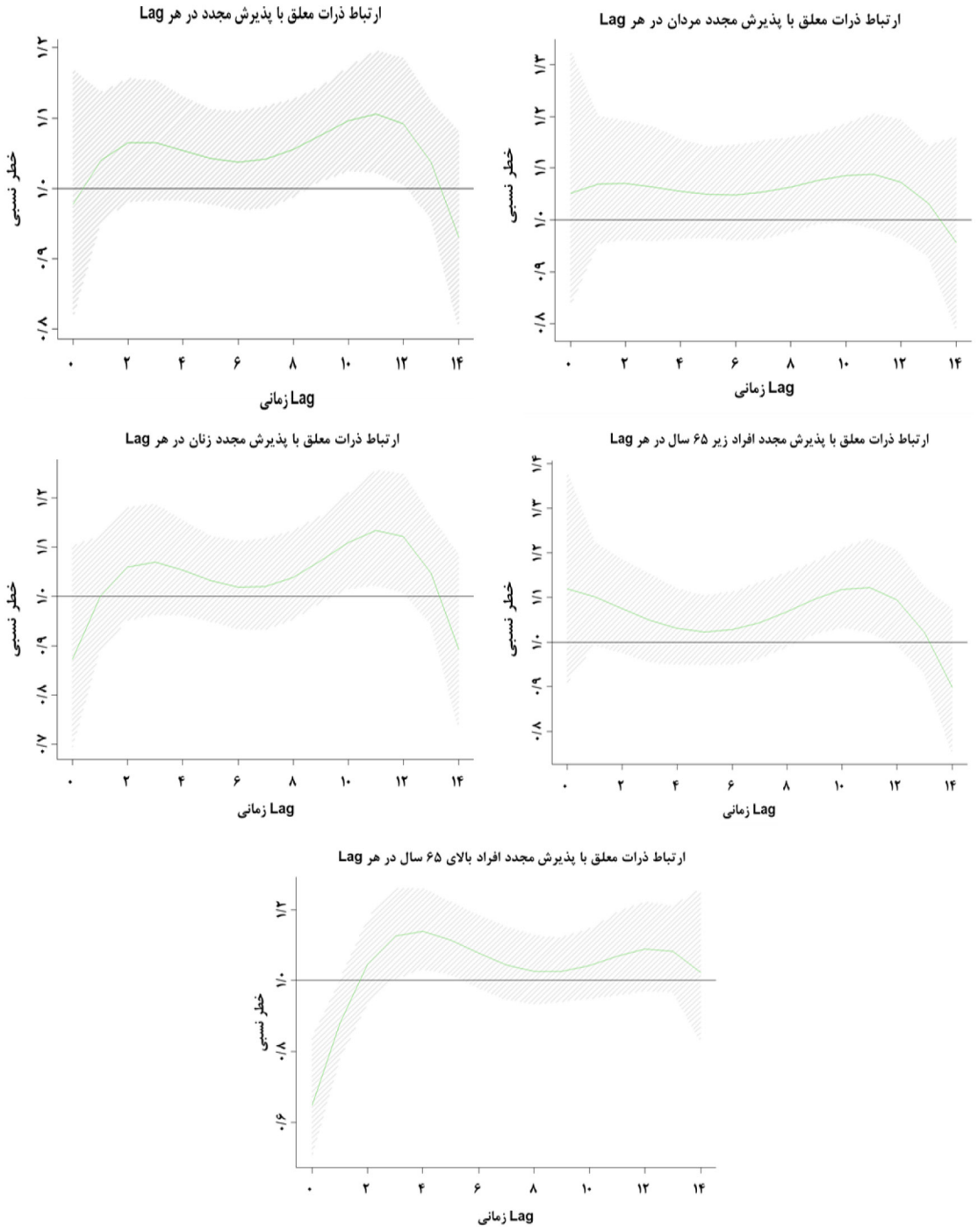
ادامه شکل ۴- اثرات تجمعی (در طی ۱۴ روز) ذرات معلق $PM_{2.5}$ بر پذیرش مجدد بیماران به تفکیک زیرگروه‌های جنسی و سنی

جدول ۱- خطر پذیرش مجدد بیماران تنفسی قابل انتساب به غلظت‌های مختلف ذرات معلق $PM_{2.5}$

زیرگروه	مقادیر غلظت $PM_{2.5}$		
	۰-۱۵	۱۵-۱۰۰	۰-۱۰۰
کل جمعیت مورد مطالعه	۰/۴۱ (۰/۱۳، ۰/۶)	۰/۰۹ (۰/۰۳، ۰/۱۳)	۰/۴۶ (۰/۱۵، ۰/۶۴)
مردان	۰/۴۶ (۰/۱۵، ۰/۶۶)	۰/۱ (۰/۰۲، ۰/۱۶)	۰/۵۱ (۰/۱۵، ۰/۷)
زنان	۰/۳۱ (-۰/۱۶، ۰/۵۸)	۰/۰۷ (-۰/۰۲، ۰/۱۳)	۰/۳۶ (-۰/۱۸، ۰/۶۳)
جوانان	۰/۴۷ (۰/۱۶، ۰/۶۳)	۰/۱ (۰/۰۳، ۰/۱۶)	۰/۵۳ (۰/۱۸، ۰/۷)
سالمندان	۰/۲ (-۰/۳۵، ۰/۵)	۰/۰۳ (-۰/۰۸، ۰/۱)	۰/۲۵ (-۰/۳۸، ۰/۵۸)

همان طور که در شکل ۵ مشخص است، به غیر از سالمندان بیشترین اثر مربوط به روزهای ۱۰ تا ۱۲ روز بعد از مواجهه با ذرات است. در سالمندان بیشترین اثر مربوط به روزهای ابتدایی مواجهه با ذرات بود. در جدول ۱، خطر پذیرش مجدد بیماری تنفسی قابل انتساب به سه بازه غلظت ذرات معلق هوا همراه با فاصله اطمینان ۹۵ درصد به تفکیک گروه های سنی و جنسیتی و همچنین کل جمعیت گزارش شده است. نتایج نشان داد که برای کل جمعیت، خطر قابل انتساب در بازه ۱۰۰-۱۵ که بازه خطرناک (از نظر WHO) تعریف شده است، برابر با ۰/۰۹ درصد بود که همانند دو بازه دیگر از نظر آماری معنی‌دار بود (فاصله اطمینان ۹۵ درصد: ۰/۱۳ – ۰/۰۳). در مقایسه بین زیرگروه‌های جنسی و سنی، مردان و گروه سنی زیر ۶۵ سال در تمامی بازه‌ها خطر قابل انتساب بالاتر و با قطعیت بیشتری (معنی‌دار) نسبت به دو گروه دیگر داشتند. به عنوان مثال برای تمامی غلظت‌های $PM_{2.5}$ (۱۰۰-۰ $\mu g/m^3$) مقدار خطر منتسب برای مردان برابر با ۰/۵۱ درصد با فاصله اطمینان ۰/۱۵- ۰/۷ درصد و برای زنان ۰/۳۶ با فاصله اطمینان ۰/۶۳-۰/۱۸- درصد بود. همچنین در گروه سنی زیر ۶۵ سال که گروه پرخطر بود، ۰/۱ درصد پذیرش‌های مجدد قابل انتساب به بازه خطرناک (طبق تعریف WHO) PM بود که از نظر آماری معنی‌دار بود یا به عبارتی با قطعیت بیشتری برخوردار بود.

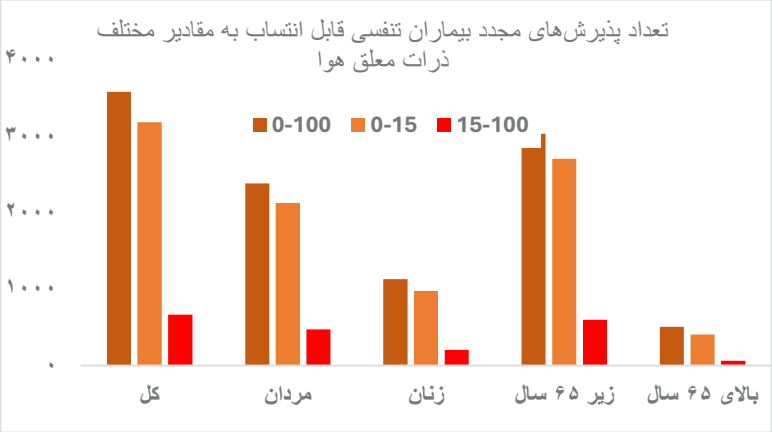
[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]



شکل ۵- اثرات ذرات معلق $PM_{2.5}$ بر پذیرش مجدد بیماران در هر لگ زمانی به تفکیک زیرگروه‌های سنی و جنسی

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

شکل ۶ تعداد پذیرش‌های مجدد بیماران تنفسی قابل انتساب به مواجهه با $PM_{2.5}$ را به تفکیک بازه‌های مختلف غلظت $PM_{2.5}$ و زیرگروه‌ها نشان می‌دهد. به طور کلی، از کل پذیرش‌های مجدد مورد مطالعه طی سال‌های ۱۳۹۶-۱۴۰۱، حدود ۳۵۰۰ مورد پذیرش قابل انتساب به تمامی غلظت‌های $PM_{2.5}$ بود. همان گونه که دیده می‌شود، تعداد پذیرش‌های قابل انتساب به بازه $\mu g/m^3$ ۱۵-۱۰۰ در کل جمعیت حدود ۶۰۰ مورد بود. این عدد برای مردان حدود ۵۰۰ و برای زنان کمتر از نصف این عدد بود. همچنین تعداد پذیرش مجدد مربوط به گروه سنی بالای ۶۵ سال و زیر ۶۵ سال برای همان بازه‌ی خطرناک به ترتیب حدود ۵۰ و ۶۰۰ مورد بود.



شکل ۶- تعداد پذیرش‌های مجدد بیماران تنفسی قابل انتساب به غلظت‌های مختلف ذرات معلق $PM_{2.5}$

بحث

در مطالعه حاضر ارتباط بین تغییرات روزانه ذرات معلق روزانه $PM_{2.5}$ و خطر تجمعی پذیرش‌های مجدد بیماران تنفسی در شهر سنندج طی یک دوره شش ساله (۱۳۹۶-۱۴۰۱) ارزیابی شد. همان طور که نتایج نشان می‌دهد توزیع زمانی پذیرش‌های مجدد بیماران تنفسی دارای نوسانات فصلی و سالانه مشخصی بود، به طوری که بیشترین موارد پذیرش مجدد در بیمارستان‌ها در ماه‌های سرد سال مشاهده شد. مطالعات اپیدمیولوژیک پیشین افزایش بیماری‌های تنفسی در فصل سرد سال را علاوه بر شیوع بیماری‌های تنفسی مانند آنفلوانزا، به غلظت‌های بالاتر آلاینده‌ها، وارونگی دما و کاهش پراکندگی هوا نسبت داده و به طور کلی تاثیر عوامل محیطی مانند دما و کیفیت آب و هوا بر پذیرش بیماران را به اثبات رسانده‌اند (۲۳، ۲۴). اوج پذیرش‌های مجدد در ماه‌های سرد سال مشاهده شد که نشان می‌دهد ارتباط بین آلودگی هوا با تمرکز بر ذرات معلق $PM_{2.5}$ و پذیرش‌های مجدد بیماران تنفسی در این مطالعه از الگویی مشابه به مطالعاتی که ارتباط بین آلودگی هوا و پیامدهای تنفسی در ماه‌های سرد سال را گزارش کرده‌اند، پیروی می‌کند (۲۵). در بررسی توزیع زمانی پذیرش‌های مجدد بیماران تنفسی و مقایسه آن با مطالعات انجام شده، مشخص شد که نتایج مطالعه حاضر از نظر توزیع زمانی، با مطالعه Baek و همکاران بر روی پذیرش مجدد بیماران تنفسی در تگزاس متفاوت است. این تفاوت می‌تواند ناشی از تفاوت در شرایط آب و هوایی دو منطقه باشد زیرا در شهر سنندج افراد زمستان‌های سردی را تجربه می‌کنند در حالی که تگزاس از ایالت‌های با آب و هوای گرم و خشک تا نیمه گرمسیری آمریکا به حساب

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

می‌آید (۲). بنابراین، این تفاوت تاثیر شرایط جوی در فصول مختلف و ارتباط آن با افزایش غلظت آلاینده‌ها و در نتیجه تشدید علائم بیماری‌های تنفسی را برجسته می‌کند. کاهش روند پذیرش‌های مجدد در سال‌های پایانی مطالعه، احتمالا ناشی از افزایش دقت در ثبت بیماران (بهبود ثبت علت دقیق پذیرش) و یا مراقبت‌های جدی هنگام پاندمی Covid-19 است. اگرچه در بیماران مبتلا به Covid-19 احتمال ابتلا به بیماری‌های تنفسی همراه بیشتر از سایرین بوده و خود این می‌تواند شانس پذیرش مجدد را بیشتر کند اما به طور کلی می‌توان گفت میزان مراقبت‌ها در این ایام بیشتر بوده و لذا امکان این وجود دارد که پذیرش مجدد بیماران تنفسی در سطح شهر (به غیر از بیماران مبتلا به Covid-19) کمتر شود. به غیر از موارد فوق، از نظر آلودگی هوا، این تغییرات زمانی می‌تواند ناشی از تغییرات جوی، اثر سیاست‌های کنترل آلودگی هوا و یا حتی بهبود شیوه‌های گرمایشی منازل باشد. تحلیل اثرات تجمعی ذرات معلق $PM_{2.5}$ تا ۱۴ روز پس از تماس نشان داد که همانند اکثر مطالعات انجام شده افزایش غلظت این آلاینده با افزایش پذیرش‌های مجدد بیماران تنفسی به ویژه در مردان و افراد زیر ۶۵ سال همراه است (۱۲، ۲۶). بیشتر بودن اثرات تجمعی ذرات معلق $PM_{2.5}$ بر پذیرش مجدد در مردان نسبت به زنان، احتمالا ناشی از تفاوت‌های فیزیولوژیکی، شغلی، رفتاری و الگوهای مواجهه است. این نتیجه با مطالعه Walsh و همکاران و Buja و همکاران نیز همخوانی داشت که نشان دادند مردان به دلیل مواجهه بیشتر با محیط‌های آلوده مانند محیط‌های شغلی صنعتی، احتمال بیشتر مصرف دخانیات نسبت به زنان و نیز فعالیت در فضاهای باز در زمان آلودگی هوا و افزایش غلظت ذرات معلق احتمالا بیشتر با خطر پذیرش مجدد در بیمارستان مواجه هستند (۱۵، ۲۷). نتایج این مطالعه مبنی بر بالاتر بودن نرخ پذیرش مجدد در افراد زیر ۶۵ سال به دلیل افزایش غلظت $PM_{2.5}$ فرضیات رایج درباره آسیب پذیری بیشتر سالمندان را به چالش کشیده و برخلاف انتظار اولیه مبنی بر آسیب پذیری بالاتر سالمندان، احتمالا افراد گروه سنی زیر ۶۵ سال بیشتر دچار بیماری‌های تنفسی می‌شوند (۱۶). البته این یافته غیر منتظره احتمالا به دلیل تعریف گروه‌های سنی در این مطالعه است. در واقع در این مطالعه دو گروه سنی زیر ۶۵ و بالای ۶۵ سال حضور داشتند که گروه سنی زیر ۶۵ سال کودکان و نوجوانان را هم شامل می‌شود که در این افراد شیوع بالای بیماری‌های تنفسی دور از انتظار نیست. یکی از دلایل احتمالی دیگر، تفاوت در الگوی مواجهه، فعالیت فیزیکی بیشتر گروه جوان‌تر، تشخیص و مدیریت بهتر بیماری‌های زمینه‌ای در سالمندان، رفتارهای مراجعه به مراکز درمانی و احتمال عدم تشخیص و درمان کافی در گروه‌های سنی مرتبط است. به علاوه، در تحلیل لگ زمانی مشخص شد الگوهای پاسخ به مواجهه در گروه‌های سنی مختلف متفاوت است و در سالمندان خطر پذیرش مجدد در روزهای ابتدایی مواجهه با غلظت های بالای $PM_{2.5}$ بیشتر است، در حالی که گروه زیر ۶۵ سال پاسخ های تاخیری داشتند و افزایش خطر پذیرش مجدد در آنها عمدتاً با تأخیر آشکار شده و در روزهای ۱۰ تا ۱۲ به اوج خود رسید که با مطالعه Xu و همکاران مطابقت داشت (۱۷). این اختلاف احتمالا ناشی از اثر هاروستینگ (Harvesting) یا به عبارتی اثر مواجهه بر افراد ضعیف در روزهای ابتدایی است. علاوه بر این، کم بودن رفتارهای خودمراقبتی در افراد جوان‌تر به خصوص مردان می‌تواند از جمله سایر دلایل باشد (۲۸). یافته‌های حاضر بر اهمیت راهبردهای مداخله‌ای متناسب با سن تأکید دارند و نشان می‌دهند که شروع تأخیری علائم در جمعیت‌های جوان ممکن است منجر به نادیده گرفتن عوامل محیطی شود. بنابراین اثرات تأخیری اهمیت ضرورت پایش طولانی مدت جمعیت و مراقبت‌های پیگیری پس از دوره مواجهه اولیه را پررنگ تر می‌کنند. در بررسی ارتباط غلظت‌های مختلف ذرات معلق $PM_{2.5}$ و پذیرش مجدد بیماران تنفسی مشخص شد که از کل پذیرش‌های مجدد، حدود ۳۵۰۰ مورد منتسب به تمامی مقادیر ذرات معلق $PM_{2.5}$ در طول دوره مطالعه بود. از این مقدار، بیشترین سهم مربوط به بازه ۱۵-۰ $\mu g/m^3$ بود که به عنوان بازه کمتر خطرناک شناخته

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

می‌شود. این یافته در واقع نشان می‌دهد که خطر قابل انتساب به ذرات معلق $PM_{2.5}$ حتی در بازه‌های غلظتی کمتر از حد بحرانی توصیه شده توسط سازمان جهانی بهداشت از نظر آماری اثرات معنی‌داری دارد. بنابراین توجه به آلودگی‌های زیر حد استانداردهای بین‌المللی ضروری بوده و بازنگری در استانداردهای کیفیت هوا را می‌طلبد. این یافته همچنین اهمیت توجه به مداخله هدفمند سلامت عمومی شامل استفاده از سامانه های هشدار زودهنگام، آموزش جامعه و راهبردهای کاهش محلی را نشان می‌دهد. سهم بالاتر مردان و افراد زیر ۶۵ سال دارای بیماری تنفسی از پذیرش‌های مجدد در ارتباط با ذرات معلق $PM_{2.5}$، بر ضرورت توجه ویژه به این گروه‌ها به عنوان جمعیت فعال اقتصادی جامعه در سیاست‌های کنترل آلودگی هوا، اقدامات مداخله‌ای پیشگیرانه و راهبردهای سلامت عمومی تأکید می‌کند. کاهش بهره‌وری، افزایش هزینه‌های درمانی، ناتوانی‌های بلند مدت ناشی از پذیرش های مکرر می‌تواند بار قابل توجهی بر خانواده‌ها و نظام سلامت وارد کند. همچنین معنی‌دار بودن نتایج آن هم در بازه‌های خطرناک غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ نشان می‌دهد که بخش اعظم پذیرش‌های مجدد بیماران تنفسی ناشی از افزایش غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ است (۲). بنابراین می‌توان با مدل‌سازی مواجهه در زمان واقعی و تحلیل‌های پیش‌بینی‌کننده، سازمان های مربوطه را به سمتی سوق داد که با اقدامات لازم و هشدارهای سلامت عمومی قبل از بحرانی شدن شرایط، اثرات تحمیلی بر اقتصاد جامعه و نظام سلامت را کاهش دهند. مطالعه حاضر، با وجود استفاده از مدل‌های غیرخطی با لگ زمانی و تلفیق داده‌های ایستگاهی و سنجش از دور، دارای محدودیت‌هایی است که در تفسیر نتایج باید لحاظ شود. نخست، داده‌های اندازه‌گیری شده $PM_{2.5}$ مبتنی بر اطلاعات یک ایستگاه فعال در شهر سنندج بود که ممکن است ناهمگنی مکانی غلظت ذرات معلق را به طور کامل منعکس نکند؛ هر چند این محدودیت تا حدی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و پیش‌بینی غلظت $PM_{2.5}$ با وضوح مکانی بالا جبران شد. دوم، مواجهه با آلاینده در سطح جمعیت برآورد گردید و به دلیل نبود اطلاعات فردی از محل دقیق سکونت، جابه‌جایی روزانه و الگوهای فعالیت افراد، احتمال خطا در برآورد مواجهه وجود دارد؛ هر چند به منظور برآورد ذرات و جلوگیری از خطا از روش‌های نیرومند استفاده گردید. سوم، به دلیل ماهیت اکولوژیک و سری زمانی مطالعه، نتایج در سطح جمعیت تفسیر می‌شوند و امکان استنتاج علی در سطح فردی و کنترل کامل برخی عوامل مخدوش‌کننده مانند وضعیت اجتماعی–اقتصادی، مصرف دخانیات و شدت بیماری زمینه‌ای فراهم نبود. در نهایت، تمرکز مطالعه حاضر بر $PM_{2.5}$ و عدم ورود سایر آلاینده‌ها به مدل، امکان بررسی اثرات هم زمان چند آلاینده را محدود کرده و احتمال باقیماندن مخدوشگری را مطرح می‌کند. لذا با توجه به محدودیت‌های فوق پیشنهاد می‌گردد که این موارد در مطالعات بعدی در نظر گرفته شوند.

نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد که مواجهه با ذرات معلق $PM_{2.5}$ با افزایش خطر پذیرش‌های مجدد بیماران تنفسی در سنندج طی یک دوره شش ساله همراه بوده است. به طوری که حدود ۳۵۰۰ پذیرش مجدد از کل پذیرش ها قابل انتساب به این ذرات بودند. بیشترین اثرات در مردان و در گروه سنی زیر ۶۵ سال مشاهده شد که این موضوع نشان دهنده نیازمند مداخلات ویژه گروه‌های سنی است. همچنین نتایج بیانگر وجود اثرات تجمعی و تأخیری آلودگی هوا، حتی در غلظت‌های پایین‌تر از حدود توصیه شده سازمان جهانی بهداشت بود. این یافته‌ها بر ضرورت توجه به مداخلات پیشگیرانه متناسب با گروه‌های سنی و جنسی، ارتقای سامانه‌های پایش و هشدار زودهنگام و بازنگری در استانداردهای کیفیت هوا تأکید می‌کنند. به طور کلی، کاهش مواجهه با $PM_{2.5}$ می‌تواند سهم قابل توجهی در پیشگیری از پذیرش‌های مکرر بیماران تنفسی، کاهش بار اقتصادی و بهبود سلامت عمومی ایفا کند.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم استفاده از داده های هویتی افراد، عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. مطالعه حاضر کد اخلاق IR.MUK.REC.1403.079 را از کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی کردستان دریافت کرده است.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از کار تحقیقاتی تصویب شده در معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی کردستان است که در آن از گرنت ماده ۵۶ وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی استفاده شده است. بنابراین، از دانشگاه علوم پزشکی کردستان و وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی به خاطر حمایت آنها از این کار سپاسگزاریم. نویسندگان همچنین از سازمان حفاظت محیط زیست و سازمان هواشناسی کشور به خاطر در اختیار قرار دادن داده‌ها تشکر می کنند.

References

1. Berry JG, Hall DE, Kuo DZ, Cohen E, Agrawal R, Feudtner C, et al. Hospital utilization and characteristics of patients experiencing recurrent readmissions within children's hospitals. JAMA. 2011;305(7):682-90.

2. Baek J, Kash BA, Xu X, Benden M, Roberts J, Carrillo G. Effect of ambient air pollution on hospital readmissions among the pediatric asthma patient population in South Texas: A case-crossover study. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020;17(13):4846.

3. Lam HCY, Hajat S, Chan EYY, Goggins III WB. Different sensitivities to ambient temperature between first-and re-admission childhood asthma cases in Hong Kong–a time series study. Environmental Research. 2019;170:487-92.

4. Li G, Aboubakri O, Soleimani S, Maleki A, Rezaee R, Safari M, et al. Estimation of PM2. 5 using high-resolution satellite data and its mortality risk in an area of Iran. International Journal of Environmental Health Research. 2024;34(11):3771-83.

5. Goudarzi G, Geravandi S, Saeidimehr S, Mohammadi M, Vosoughi Niri M, Salmanzadeh S, et al. Estimation of health effects for PM10 exposure using of Air Q model in Ahvaz City during 2009. Iranian Journal of Health and Environment. 2015;8(1):117-26 (in Persian).

6. Gholampour A, Nabizadeh R, Hassanvand M, Taghipour H, Faridi S, Mahvi A. Investigation of the ambient particulate matter concentration changes and assessing its health impacts in Tabriz. Iranian Journal of Health and Environment. 2015;7(4):541-56 (in Persian).

7. Godini H, Ejraei A, Shams Khoramabadi G, Ebrahimzadeh F, Hamzeh B. The relationship between dust storm pollution concentration and burden of hospital admissions for respiratory and heart diseases in hospitals of Kermanshah city in 2011. Journal of Kermanshah University of Medical

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

readmissions and hospital visits among patients with heart failure. Journal of the American Heart Association. 2021;10(10):e019430.

15. Walsh A, Russell AG, Weaver AM, Moyer J, Wyatt L, Ward Caviness CK. Associations between source-apportioned PM2. 5 and 30-day readmissions in heart failure patients. Environmental Research. 2023;228:115839.

16. Huynh QL, Blizzard CL, Marwick TH, Negishi K. Association of ambient particulate matter with heart failure incidence and all-cause readmissions in Tasmania: an observational study. BMJ Open. 2018;8(5):e021798.

17. Xu R, Tian Q, Wei J, Ye Y, Li Y, Lin Q, et al. Short-term exposure to ambient air pollution and readmissions for heart failure among 3660 post-discharge patients with hypertension in older Chinese adults. Journal of Epidemiology & Community Health. 2022;76(12):984-90.

18. Newman NC, Ryan PH, Huang B, Beck AF, Sauers HS, Kahn RS. Traffic-related air pollution and asthma hospital readmission in children: a longitudinal cohort study. The Journal of Pediatrics. 2014;164(6):1396-402.

19. Von Klot S, Peters A, Aalto P, Bellander T, Berglind N, D Ippoliti D, et al. Ambient air pollution is associated with increased risk of hospital cardiac readmissions of myocardial infarction survivors in five European cities. Circulation. 2005;112(20):3073-79.

20. Saran R, Robinson B, Abbott KC, Agodoa LY, Bragg Gresham J, Balkrishnan R, et al. US renal data system 2018 annual data report: Epidemiology

Sciences. 2013;17(7):442-48 (in Persian).

8. Khomenko S, Cirach M, Pereira Barboza E, Mueller N, Barrera Gomez J, Rojas Rueda D, et al. Premature mortality due to air pollution in European cities: a health impact assessment. The Lancet Planetary Health. 2021;5(3):121-34.

9. Liu H, Tian Y, Cao Y, Song J, Huang C, Xiang X, et al. Fine particulate air pollution and hospital admissions and readmissions for acute myocardial infarction in 26 Chinese cities. Chemosphere. 2018;192:282-88.

10. Di Q, Dai L, Wang Y, Zanobetti A, Choirat C, Schwartz JD, et al. Association of short-term exposure to air pollution with mortality in older adults. JAMA. 2017;318(24):2446-56.

11. Wyatt LH, Xi Y, Kshirsagar A, Di Q, Ward Caviness C, Wade TJ, et al. Association of short-term exposure to ambient PM2. 5 with hospital admissions and 30-day readmissions in end-stage renal disease patients: population-based retrospective cohort study. BMJ Open. 2020;10(12):e041177.

12. Wyatt L, Weaver A, Moyer J, Schwartz J, Di Q, Diaz Sanchez D, et al. Short-term PM(2.5) exposure and early-readmission risk: a retrospective cohort study in North Carolina heart failure patients. American Heart Journal. 2022;248:130-38.

13. DeFlorio Barker S, Lobdell DT, Stone SL, Boehmer T, Rappazzo KM. Acute effects of short-term exposure to air pollution while being physically active, the potential for modification: a review of the literature. Preventive Medicine. 2020;139:106195.

14. Ward Caviness C, Danesh Yazdi M, Moyer J, Weaver A, Cascio W, Di Q, et al. Long-term exposure to particulate air pollution is associated with 30-day

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

of kidney disease in the United States. American Journal of Kidney Diseases. 2018;73(3):1-2.

21. Lin Y, Yang C, Chu H, Wu J, Lin K, Shi Y, et al. Association between the Charlson Comorbidity Index and the risk of 30-day unplanned readmission in patients receiving maintenance dialysis. BMC Nephrology. 2019;20(1):363.

22. Rahmati S, Aboubakri O, Maleki A, Rezaee R, Soleimani S, Li G, et al. Risk of cardiovascular and respiratory diseases attributed to satellite-based PM2. 5 over 2017–2022 in Sanandaj, an area of Iran. International Journal of Biometeorology. 2024;68(8):1689-98.

23. Lam HCY, Chan JCN, Luk AOY, Chan EYY, Goggins WB. Short-term association between ambient temperature and acute myocardial infarction hospitalizations for diabetes mellitus patients: a time series study. PLoS Medicine. 2018;15(7):e1002612.

24. Blecker S, Kwon JY, Herrin J, Grady JN, Horwitz LI. Seasonal variation in readmission risk for patients hospitalized with cardiopulmonary conditions. Journal of General Internal Medicine. 2018;33(5):599-601.

25. Ryu B, Yoo S, Kim S, Choi J. Thirty-day hospital readmission prediction model based on common data model with weather and air quality data. Scientific Reports. 2021;11(1):23313.

26. Leiser CL, Smith KR, VanDerslice JA, Glotzbach JP, Farrell TW, Hanson HA. Evaluation of the sex-and-age-specific effects of PM2.5 on hospital readmission in the presence of the competing rsk of mortality in the medicare population of Utah 1999–2009. Journal of Clinical Medicine. 2019;8(12):2114.

27. Buja A, De Polo A, De Battisti E, Sperotto M, Baldovin T, Cocchio S, et al. The importance of sex as a risk factor for hospital readmissions due to pulmonary diseases. BMC Public Health. 2020;20(1):1-5.

28. Suarez Gonzalez P, Suarez Elosegui A, Arias Fernandez L, Perez Regueiro I, Jimeno Demuth FJ, Lana A. Nursing diagnoses and hospital readmission of patients with respiratory diseases: Findings from a case–control study. Nursing Open. 2024;11(5):e2182.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

Orginal Article

Hospital readmissions of respiratory patients associated with $PM_{2.5}$: cumulative effects and attributable risk analysis in Sanandaj using remote sensing and monitoring data

Samira Soleimani[1,2], Omid Aboubakri[3,*]

1- Student Research Committee, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
2- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
3- Environmental Health Research Center, Research Institute for Health Development, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 24 January 2026
Revised: 18 April 2026
Accepted: 21 April 2026
Published: 16 June 2026

Keywords: Particulate matter, Hospital readmission, Respiratory diseases, Attributable risk

***Corresponding Author:**
asso.mhabad@gmail.com

ABSTRACT

Background and Objective: Hospital readmission among respiratory patients is an important indicator for evaluating the quality of healthcare services and for assessing the burden of chronic diseases. This study aimed to examine the cumulative effects of $PM_{2.5}$ and to estimate the attributable risk of respiratory-related readmissions in Sanandaj.

Materials and Methods: In this study, datasets from the Meteorological Organization, hospital readmission records of respiratory patients, along with integrated data from environmental monitoring stations and satellite remote sensing, were utilized. The association between $PM_{2.5}$ and readmissions was assessed using a semi-parametric regression model with nonlinear functions to control for known and unknown confounders. Based on the model outputs, cumulative effects up to 21 days post-exposure and the attributable risk were estimated, stratified by age and sex.

Results: High concentrations of $PM_{2.5}$ were significantly associated with cumulative increases in readmissions, particularly among men and individuals under 65 years old. In younger patients (<65 years), there were delayed effects, while in older adults the highest risk occurred during the initial days following exposure. The attributable risk analysis indicated that approximately 3500 readmissions during the study period were attributed to $PM_{2.5}$ exposure, with the largest proportion observed within the 0–15 μg/m³ concentration range.

Conclusion: This study demonstrated that PM2.5 contributes substantially to respiratory-related hospital readmissions, with effects that were both cumulative and delayed. These findings highlight the need to revise air quality standards, design preventive interventions tailored to age and sex groups, and strengthen early-warning and monitoring systems to reduce the burden of respiratory diseases and healthcare costs.

Please cite this article as: Soleimani S, Aboubakri O. Hospital readmissions of respiratory patients associated with PM2.5: cumulative effects and attributable risk analysis in Sanandaj using remote sensing and monitoring data. Iranian Journal of Health and Environment. 2026;19(1):21-36.

Copyright © 2026 Iranian Association of Environmental Health، and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted، provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]