



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

مقاله پژوهشی

## بررسی روند تغییرات مکانی-زمانی آلاینده‌های با قطر آئرودینامیکی ۲/۵ و ۱۰ میکرومتر و ازن هوای شهر تبریز طی سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۸۵

وحیده برزگر<sup>۱</sup>، اکبر غلامپور<sup>۲،۳</sup>، محمدصادق حسنونند<sup>۴</sup>

- ۱- مرکز تحقیقات بهداشت و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران
- ۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران
- ۳- مرکز تحقیقات آلودگی هوا، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
- ۴- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

### اطلاعات مقاله:

### چکیده

**زمینه و هدف:** این مطالعه به منظور بررسی روندهای زمانی بلندمدت و تغییرات مکانی غلظت آلاینده‌های  $O_3$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $PM_{10}$  در شهر تبریز بین سال‌های ۸۵ و ۹۶ انجام شد. **روش بررسی:** غلظت‌های ساعتی آلاینده‌های  $PM_{2.5}$ ،  $PM_{10}$  و  $O_3$  ایستگاه‌های پایش کیفیت هوای این شهر از اداره کل حفاظت محیط زیست استان آذربایجان شرقی طی سال‌های ۸۵ تا ۹۶ دریافت شد و پس از بررسی و پردازش داده‌های دریافتی، مورد آنالیز قرار گرفت. تغییرات مکانی و زمانی آلاینده‌ها با استفاده از آزمون Mann-Kendall و شاخص Moran's I مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج این مطالعه نشان داد که میانگین سالانه غلظت‌های  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  کاهش یافته اما برای  $O_3$  در طول دوره مطالعه تقریباً ثابت بود. در طول بعضی روزهای مورد مطالعه، مقدار آلاینده‌های  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  بیش از رهنمود سازمان بهداشت جهانی و مقادیر استاندارد ملی بود. بالاترین میانگین ماهیانه  $PM_{10}$  در ماه مهر ( $80/3 \mu g/m^3$ )،  $PM_{2.5}$  در ماه دی ( $42/9 \mu g/m^3$ ) و  $O_3$  در ماه خرداد ( $77/8 \mu g/m^3$ ) مشاهده شد. در مقایسه بین مقادیر آلاینده‌ها در ایستگاه‌ها نیز ایستگاه راسته کوچه آلوده‌تر از سایر ایستگاه‌ها بود.

**نتیجه‌گیری:** برنامه ریزی و اجرای سیاست‌های کنترل مؤثر برای بهبود کیفیت هوای محیط شهر تبریز ضروری است. بنابراین این اطلاعات یک گام کلیدی به مدیران شهری، سیاست‌گذاران و مسئولین بهداشتی و سلامتی، برای کاهش اثرات بهداشتی ناشی از آلودگی هوا می‌دهد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۳  
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۸  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۳۱  
تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۶/۳۱

**واژگان کلیدی:** آلودگی هوا، تغییرات زمانی- مکانی، ذرات معلق، ازن، تبریز

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

ak.golampour@gmail.com

Please cite this article as: Barzeghar V, Gholampour A, Hassannvand MS. Spatiotemporal trend of ambient air particulate matter with aerodynamic diameter less than 2.5 and 10  $\mu m$  and ozone in Tabriz city, Iran, during 2006–2017. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;14(2):261-84.

## مقدمه

آلودگی هوا به عنوان یکی از مهمترین چالش‌های زیست محیطی به ویژه در شهرهای بزرگ و صنعتی در کشورهای در حال توسعه بوده و در واقع یک مشکل برای بسیاری از کشورهای در حال توسعه است.

سازمان بهداشت جهانی تخمین زده است که حدود ۹۲ درصد از جمعیت جهان در مناطق آلوده به هوا زندگی می‌کنند و حدود ۱۱/۶ درصد از کل مرگ‌های جهانی به آلودگی هوا نسبت داده می‌شود (۱). امروزه وضعیت نامطلوب کیفیت هوا یکی از مهمترین مشکلات زیست محیطی در بسیاری از شهرهای بزرگ دنیا محسوب می‌شود، که موجب ایجاد طیف وسیعی از اثرات بهداشتی حاد و مزمن، از اختلالات جزئی فیزیولوژیکی گرفته تا مرگ ناشی از بیماری‌های تنفسی و قلبی عروقی می‌شود و اعتقاد بر این است که مرگ و میر ناشی از آلودگی هوا در سراسر جهان بیشتر از مجموع مرگ‌های ناشی از ایدز، مالاریا، سرطان و سل است (۱). ایران نیز مانند بسیاری دیگر از کشورهای در حال توسعه، از مسئله آلودگی هوا مستثنی نیست. علاوه بر این، بار اقتصادی اثرات بهداشتی ناشی از آلاینده‌های هوا در ایران تقریباً ۱۰ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۰ برآورد شده است (۲). چالش آلودگی هوا که مستقیماً با سلامت مردم در ارتباط است یکی از نتایج توسعه صنعتی، افزایش جمعیت، گسترش شهرنشینی و در نتیجه توسعه حمل و نقل بوده و در حال حاضر به عنوان یکی از مهمترین دغدغه‌های ساکنان شهرهای بزرگ و شاید تمامی مناطق از جمله روستاهای دورافتاده کشور نیز باشد.

مهمترین منبع آلودگی هوا در مناطق شهری، آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه بوده که طی دهه‌های اخیر به دلیل افزایش مداوم خودرو توجه زیادی را به خود معطوف کرده است (۳). مناطق صنعتی در اطراف شهرهای بزرگ، تعداد زیادی از گازهای گلخانه‌ای کنترل نشده انسانی، استفاده گسترده و بیش از حد از سوخت‌های فسیلی و عدم حمل و نقل عمومی کافی و گرد و غبار خاورمیانه از جمله دلایل بالا بودن میزان آلاینده‌های هوا در ایران است (۱، ۴-۶).

در تبریز، وارونگی دما و شرایط آرام به دلیل ویژگی‌های

جغرافیایی و هواشناسی و همچنین ساخت مناطق مسکونی در راستای وزش بادهای غالب ورودی به شهر، باعث پراکندگی جوی محدود و تشدید آلودگی هوا در این شهر شده است. واحدهای صنعتی مانند نیروگاه حرارتی (در ۵ km شهر)، پالایشگاه نفت و مجتمع پتروشیمی در جنوب غربی شهر و یک کارخانه سیمان در شمال غربی شهر واقع شده است. در سال‌های اخیر، تبریز به ویژه در زمستان با مشکلات جدی آلودگی هوا روبرو شده است، به دلیل توسعه صنایع مختلف، مقررات زیست محیطی ناکارآمد، سیستم‌های محدود حمل و نقل عمومی و افزایش تعداد وسایل نقلیه در مناطق شهری و امکانات ناکافی پارکینگ، فضای نامناسب خیابان، نقض قوانین رانندگی توسط برخی از شهروندان و ... شهر تبریز روز به روز با مشکلات ازدحام ترافیک روبرو است. همچنین، طی دهه گذشته تعداد گردشگران بهداشتی از این شهر در حال افزایش است. مسافرت‌های توریستی باعث افزایش تراکم اضافی و تحمیل فشار بر خیابان‌های باریک و همیشه شلوغ تبریز، به ویژه در مناطق و خیابان‌هایی می‌شود که کلینیک‌های پزشکان در آن جمع شده‌اند. سرانجام، مشکل عدم آلودگی هوا به دلیل عدم اجرای مقررات موجود زیست محیطی، شهرنشینی و حمل و نقل، و همچنین عدم وجود سیاست‌های سختگیرانه علمی و عملی، که منجر به تشدید مسائل مربوط به کیفیت هوای شهری می‌شود، تشدید شده است.

داده‌های کیفیت هوای محیط برای مدیریت منابع آلودگی هوا مفید و مهم هستند که در تجزیه و تحلیل برای تدوین و اجرای سیاست‌های نظارتی مناسب برای کاهش آلودگی هوا ضروری است. در مورد روند زمانی آلودگی هوا در شهر تبریز مطالعات کم بوده و یکی از دلایل عمده مطالعه حاضر نیز فقدان اطلاعات و مطالعات کافی در این زمینه در شهر تبریز است. بنابراین، هدف اصلی این مطالعه بررسی الگوهای ساعتی، روزانه، ماهانه و سالیانه و تغییرات مکانی برخی از آلاینده‌های معیار شامل:  $PM_{2.5}$  (ذرات معلق با قطر آئروپنایمیکی کوچک‌تر از  $2.5 \mu m$ )،  $PM_{10}$  (ذرات معلق با قطر آئروپنایمیکی کوچک‌تر از  $10 \mu m$ ) و غلظت ازن سطحی در تبریز بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶ است.

## مواد و روش‌ها

– مشخصات جغرافیایی و هواشناسی منطقه مورد مطالعه

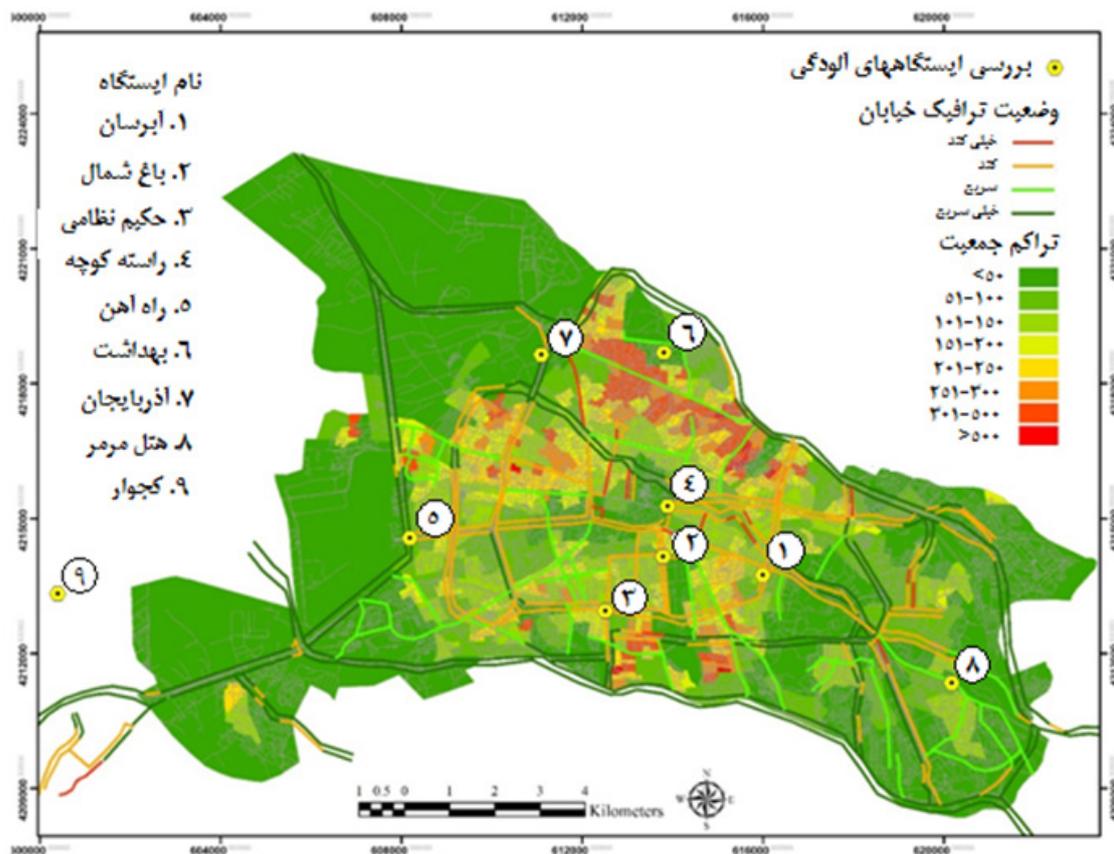
شهر تبریز به عنوان بزرگ‌ترین شهر شمال غرب ایران و با وسعتی حدود  $118 \text{ km}^2$  مرکز استان آذربایجان شرقی بوده که در منطقه کوهستانی با اقلیم نیمه خشک در ارتفاع  $1351 \text{ m}$  از سطح دریا و محصور بین کوه‌های عینالی از شمال و پیش کوه‌های سهند از جنوب بوده که کم ارتفاع‌ترین نقطه آن ( $1361 \text{ m}$  در محل فرودگاه تبریز) از سطح دریا است همچنین این شهر قطب بازرگانی، صنعتی، سیاسی و کانون ارتباطی شمال غرب ایران محسوب می‌شود (۷) و دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک با ۴ فصل بارانی در بهار، خشک و گرم در تابستان، بارانی در پاییز و سرد و برفی در زمستان است. در روزهای تابستان، دمای محیط معمولاً به  $30^\circ\text{C}$  تا  $35^\circ\text{C}$  افزایش می‌یابد و در روزهای سرد، درجه حرارت به  $10^\circ\text{C}$  تا  $20^\circ\text{C}$  کاهش می‌یابد (۸) میزان بارش سالانه تبریز در حدود  $300 \text{ mm}$  بوده (حدود  $100 \text{ mm}$  بارش در زمستان رخ می‌دهد) که بسیار کمتر از میانگین بارش جهانی (یعنی  $800 \text{ mm}$ ) است. همچنین سرعت باد سالانه در حدود  $1/65 \text{ m/s}$  است (۲، ۹-۱۱).

– جمع آوری و پردازش داده‌ها

در بخش اول مطالعه، غلظت‌های ساعتی آلاینده‌های هوای ثبت شده در ۹ ایستگاه پایش اندازه گیری آلاینده‌های هوا متعلق به اداره کل حفاظت محیط زیست استان (ایستگاه‌های آبرسان، باغ شمال، حکیم نظامی، راسته کوچه، راه آهن، بهداشت، هتل مرمر، آذربایجان و کجوار) طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶ دریافت گردید. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در شهر تبریز نشان می‌دهد. در همه ایستگاه‌ها، PMs با استفاده از دستگاه Beta Attenuation و ازن با استفاده از دستگاه UV-spectrophotometry اندازه گیری می‌شوند. طبق دستورالعمل WHO، باید ۷۵ درصد یا حداقل ۵۰ درصد از اطلاعات معتبر برای هر سال و ایستگاه مورد نظر جهت تحلیل روند وجود داشته باشد اگر بیش از ۲۵ درصد از اندازه‌گیری‌های ساعتی هر آلاینده هوا برای یک

سال داده شده در ایستگاه انتخابی از دست رفته بود، آنهایی که حداقل ۵۰ درصد داده کامل داشتند انتخاب شدند در غیر این صورت این سال و ایستگاه مورد نظر از تجزیه و تحلیل حذف شد. لازم به ذکر است که برای داده‌های مفقودی براساس روش‌های علمی و محدودیت‌هایی که روش‌های ذکر شده اعلام کرده‌اند امکان افزودن داده‌های ناقص وجود نداشت. از این‌رو، با توجه به اطلاعات معتبر AQMS ذکر شده داده‌های چهار ایستگاه پایش برای  $\text{O}_3$  و داده‌های پنج ایستگاه پایش برای PMs انتخاب شدند. براساس اطلاعات بدست آمده، داده‌های همه آلاینده‌ها به جز  $\text{PM}_{2.5}$  از سال ۸۵ در دسترس بوده و اندازه‌گیری و ثبت غلظت  $\text{PM}_{2.5}$  از سال ۹۲ آغاز شده است. با توجه به اینکه داده‌های دریافتی نامنظم و غیرمردون بود لذا عملیات پردازش داده‌ها به منظور آماده سازی و به کارگیری آنها در تجزیه تحلیل آماری صورت گرفت. از آنجایی که احتمال داده می‌شد که اطلاعات غلط و نامعتبر در میان داده‌های آلاینده‌های هوا وجود داشته باشد، قبل از شروع کار، داده‌های نامعتبر بررسی و با استفاده از روش نمره Zscore این داده‌ها حذف شدند. مجموعه داده‌های نامعتبر عمدتاً به سه دلیل است: (۱) ورود اشتباه داده‌ها، (۲) اندازه گیری‌های نادرست و (۳) غلظت شدید بالای آلودگی هوا (۱۲). بنابراین جهت حذف اطلاعات نامعتبر (Outlier) و اعتبارسنجی داده‌ها، قبل از محاسبه و برآورد پارامترهای آماری از روش نمره Zscore استفاده شد (۱، ۱۳، ۱۴). جهت محاسبه Zscore، تفاضل غلظت ساعتی از میانگین سالیانه را تقسیم بر انحراف معیار سالیانه کرده و مقدار عددی Zscore برای هر ساعت محاسبه می‌شود سپس با توجه به غلظت عددی Zscore، برای اینکه داده‌ای Outlier در نظر گرفته شود باید ۴ شرط زیر برقرار باشد:

۱. اگر قدر مطلق نمره Zscore بزرگ‌تر از ۴ باشد ( $|zt| > 4$ )
۲. اگر تفاضل نمره Zscore از مقدار قبلی آن بزرگ‌تر از ۹ باشد ( $zt - zt - 1 > 9$ )
۳. اگر مقدار میانگین متحرک ۳ مقدار از نمره Zscore بزرگ‌تر از ۲ باشد ( $zt / \text{RM3}(zt) > 2$ )
۴. و در نهایت اگر  $[(zt - zt - 1) / \text{city}(zt - zt - 1)] > 2$



شکل ۱- نقشه تراکم جمعیتی، بار ترافیکی خیابان‌ها و موقعیت ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در شهر تبریز

روش‌های آماری

تکنیک‌ها و شیوه‌های تجزیه تحلیل آماری که در این پژوهش انجام شد شامل آزمون ناپارامتری Mann-Kendall's، آزمون Sen's slope و شاخص Moran's I بودند. تمامی محاسبات آماری در نرم افزار R نسخه 3,5,0 و SPSS23 و Excel انجام شد. تجزیه و تحلیل تغییرات زمانی با بسته‌های "Kendal" و "Zyp" و تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی با بسته "Ictools" انجام شد. علاوه بر این، نمودارهای سری زمانی با استفاده از نرم افزار R نسخه 3,5,0 و با بسته‌های "Bean plot" کشیده شدند. آزمون روند Mann-Kendall's یک آزمون غیر پارامتری است که رایج‌ترین و مناسب‌ترین روش برای محاسبه روند بوده و یک

تغییرات میانگین سالانه، میانگین ماهیانه و غلظت‌های میانگین روزانه و ساعتی و هفتگی آلاینده‌ها با استفاده از نمودارهای سری زمانی در کل دوره مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. برای محاسبه غلظت‌های سالانه، فصلی، ماهانه و روزانه هر یک از آلاینده‌های معیار هوا از غلظت‌های ساعتی استفاده شد. علاوه بر این، به منظور بررسی روند زمانی آلاینده‌های هوا، داده‌ها به گروه‌های ساعتی، روزانه، هفتگی، ماهانه، فصلی و سالیانه طبقه بندی شده و سپس به تفکیک ایستگاه‌ها مقایسه و مورد تجزیه تحلیل قرار گرفتند. حداکثر غلظت ۸ ساعته از براساس اطلاعات مربوط به غلظت‌های ازن ساعتی محاسبه شد و متوسط میانگین سالیانه ازن از روی حداکثر غلظت ۸ ساعته ازن محاسبه شد.

## یافته‌ها

تغییرات روزانه و هفتگی آلاینده‌های  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$  در این مطالعه میانگین روند و تغییرات روزانه آلاینده‌ها برای روزهای هفته و آخر هفته، به صورت جداگانه برای کل دوره مورد مطالعه ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶ به تفکیک ایستگاه‌ها و به صورت فصلی محاسبه و ارائه شده است. آلاینده‌های  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  به غیر از  $O_3$  الگوی هفتگی مشابهی را با غلظت‌های بیشتر در روزهای هفته و غلظت‌های کمتر در طول تعطیلات آخر هفته به خصوص جمعه نشان دادند. ازن رفتار متفاوتی در مقایسه با سایر آلاینده‌ها نشان داد، به طوری که مقدار متوسط غلظت ازن در تعطیلات آخر هفته بیشتر از روزهای هفته بود. نمودار ۱ تغییرات غلظت‌های ساعتی، هفتگی و فصلی آلاینده  $PM_{10}$  را در دو فصل تابستان و زمستان و در طول ایام هفته و به تفکیک ایستگاه‌ها در طول دوره مطالعه نشان می‌دهد. همانطور که در نمودار ۱ نشان داده شده با شروع هفته غلظت  $PM_{10}$  بتدریج افزایش یافته و در روزهای اواسط هفته غلظت  $PM_{10}$  به طور چشمگیری (چهارشنبه:  $75/2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) افزایش می‌یابد و برعکس در ایام پایانی هفته غلظت  $PM_{10}$  در مقایسه با سایر روزها نوسانات کمتری داشته و غلظت  $PM_{10}$  در روز جمعه ( $66/2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) در کمترین مقدار خود قرار دارد. بالاترین غلظت  $PM_{10}$  در فصول بهار ( $76/1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) و تابستان ( $73/7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) بود.

روند ساعتی، آلاینده  $PM_{10}$  در طول روز دو پیک روزانه داشت، پیک اول که از شدت بسیار بالایی برخوردار بوده ساعت ۷ صبح آغاز شده و در ساعت ۱۲ تا ۱۴ ظهر به اوج خود می‌رسد ( $92/5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) و اوج ثانویه نسبتاً کم بعد از ظهر در ساعت ۲۰ ظاهر شد، ( $80/2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) سپس کمی از شدت آن کاسته شده و تا ساعت ۲۳ روند نزولی داشت در همه روزها ماکزیمم  $PM_{10}$  در ساعت ۱۲ تا ۱۴ ظهر روی می‌دهد و در ساعت ۵ صبح ( $45/1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) در حداقل مقدار خود قرار دارد.

در بررسی مابین ایستگاه‌ها، الگوی دو پیک روزانه در همه ایستگاه‌ها مشاهده نشد، برخی از ایستگاه‌ها مانند حکیم نظامی فقط یک پیک را در طول ۲۴ ساعت نشان داد. گرچه پیک مربوط به ایستگاه حکیم نظامی بالاتر از بقیه ایستگاه‌ها بود اما میانگین

ابزار آماری کارآمد برای تجزیه و تحلیل و تعیین وجود یک روند در داده‌های جمع آوری شده در طول زمان بوده و معنی‌داری و وجود روند یکنواخت (روند صعودی یا نزولی) را در داده‌ها ارزیابی می‌کند تا روند احتمالی آلاینده‌ها در طی دوره چندساله تحلیل شود اما این آزمون اندازه و شدت روند را نشان نمی‌دهد. روش تجزیه و تحلیل روند Mann-Kendall's در مطالعات متعددی پیرامون ردیابی روند جهان در سری زمانی داده‌های اقلیمی، هواشناسی و هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گرفته است. در این مطالعه نیز روندهای زمانی، یعنی میانگین سالیانه آلاینده‌ها، با استفاده از آزمون ناپارامتری Mann-Kendall's مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (۱، ۱۵-۱۷). آزمون Mann-Kendall's برای تعداد کم مشاهدات اعتبار کافی ندارد و قادر به کشف روند در صورت وجود آن در داده‌ها، نخواهد بود. حداقل مقدار داده توصیه شده برای انجام آزمون Mann-Kendall's در حدود ۴ مشاهده است ولی هرچه قدر تعداد مشاهدات بیشتر باشد نتایج معتبرتر خواهد بود. برای هر آلاینده هوا، دوره زمانی بررسی شده همان زمانی بود که اطلاعات در دسترس بود. جهت تعیین اندازه و شدت روند نیز، آزمون Sen's slope برای کل داده‌ها و به تفکیک ایستگاه‌ها محاسبه شد.

در سال‌های اخیر، آزمون‌های مختلفی جهت بررسی تغییرات مکانی انجام شده است، یک نمونه از بررسی تغییرات مکانی استفاده از نرم افزار ArcGIS است. اما در این مطالعه به منظور بررسی همبستگی مکانی آلاینده‌های هوا، مقیاس مجاورت ایستگاه‌ها از لحاظ طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌ها محاسبه و به عنوان ماتریس وزن در شاخص Moran's I مورد استفاده قرار گرفت. آزمون Moran's I یکی از قدیمی‌ترین آزمون‌های آماری جهت محاسبه همبستگی مکانی است (۱۸) شاخص Moran's I، میزان همبستگی و شباهت مقادیر غلظت‌های آلاینده‌های هوا را در مناطق همجوار ارزیابی می‌کند. شاخص Moran's I از جنس ضریب همبستگی است و مقادیر آن بین ۱- تا ۱+ می‌تواند باشد و مقادیر حدود صفر نشان از عدم وجود همبستگی و شباهت بین مشاهدات است. سطح معنی‌داری در این آزمون‌ها  $p < 0/05$  در نظر گرفته شد.

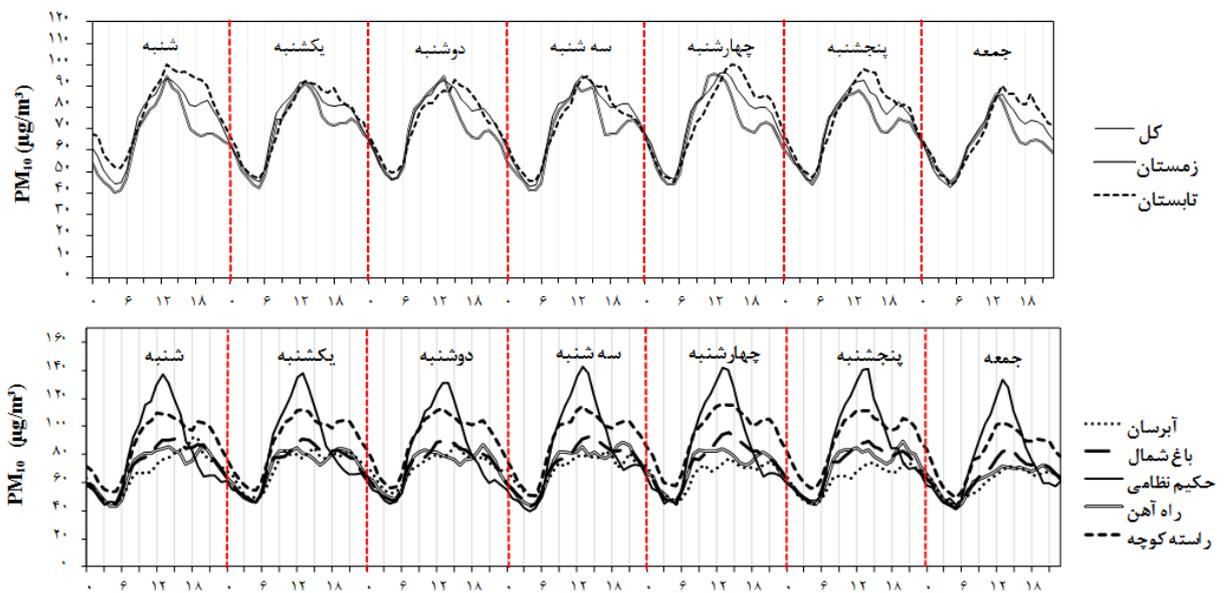
تغییرات زیادی نداشت. برای آلاینده  $PM_{2.5}$  در مقایسه بین ایستگاه‌ها، ایستگاه راسته کوچه آلوده‌ترین و ایستگاه راه آهن پاک‌ترین ایستگاه مشاهده شدند.

تغییرات غلظت آلاینده  $O_3$  در دو فصل تابستان و زمستان و در طول ایام هفته و به تفکیک ایستگاه‌ها در طول دوره مطالعه در نمودار ۱ نشان داده شده است. همانطور که انتظار می‌رفت، یک رفتار بسیار متمایز برای میانگین چرخه روزانه غلظت ازن در مقایسه با سایر آلاینده‌ها مشاهده شد. غلظت‌های بالاتر در طول روز، بعد از ظهر ساعت ۱۵ ( $60/6 \mu g/m^3$ ) در همه ایستگاه‌ها زمانی که حداکثر تابش خورشیدی وجود داشت رخ داد. در طول شب، غلظت ازن کاهش سریعی داشت به طوری که اوج ثانویه کمتری در ساعت ۴ صبح ( $47/8 \mu g/m^3$ ) مشاهده شد. علاوه بر این، یکی دیگر از جنبه‌های مهم در رفتار ازن نشان می‌دهد که مقدار متوسط غلظت ازن در تعطیلات آخر هفته ( $45/4 \mu g/m^3$ ) بیشتر از روزهای هفته است.

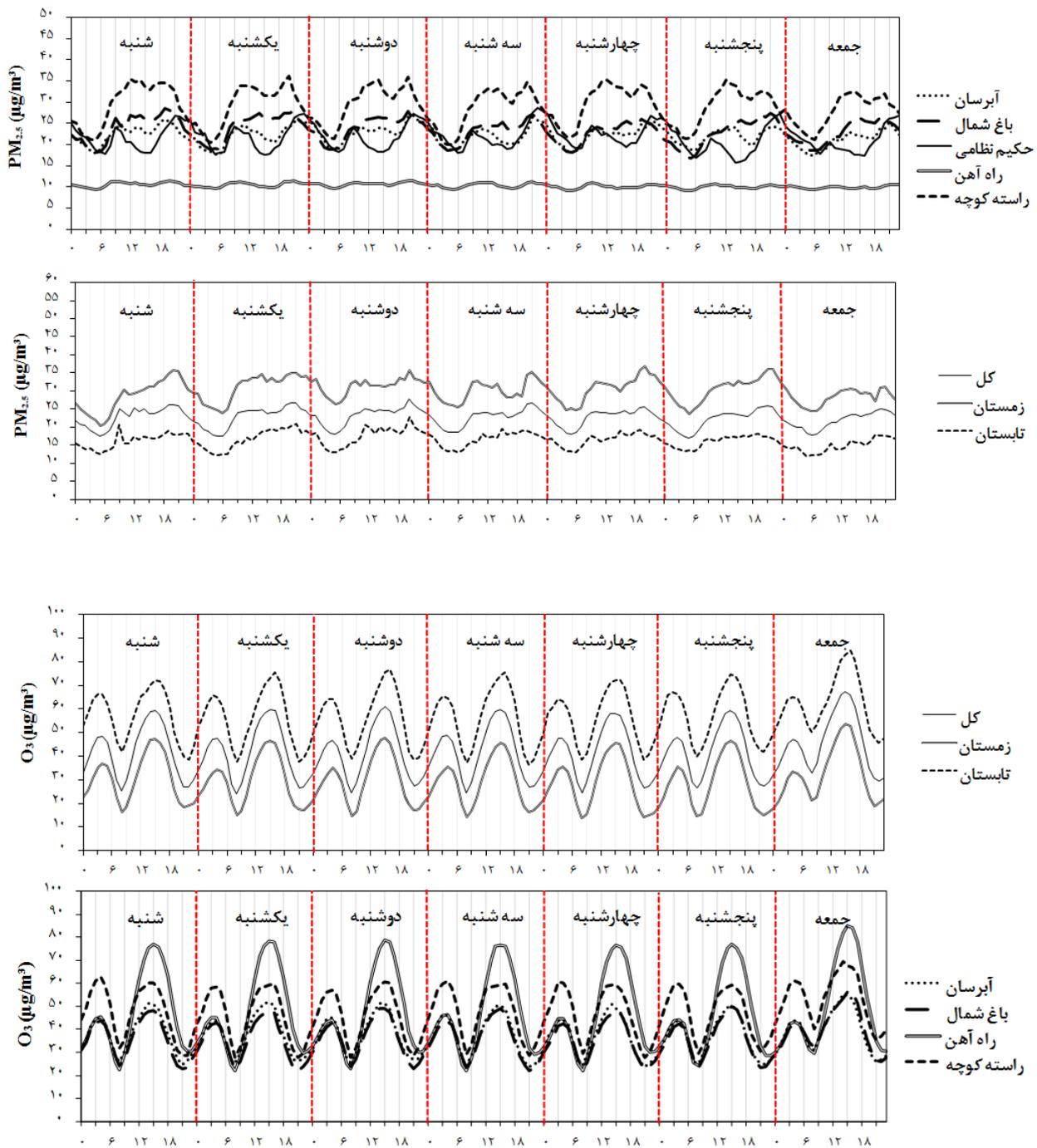
غلظت‌ها در طول روز نشان داد که ایستگاه راسته کوچه آلوده‌تر از بقیه ایستگاه‌ها بود.

همانطور که در نمودار ۱ نشان داده شده است بالاترین غلظت  $PM_{2.5}$  نیز در فصول زمستان ( $30 \mu g/m^3$ ) و پاییز ( $24/3 \mu g/m^3$ ) بود. همچنین بررسی روند ساعتی آلاینده  $PM_{2.5}$  در طول روز دو پیک روزانه را نشان داد؛ برخلاف  $PM_{10}$  پیک قبل از ظهر  $PM_{2.5}$  نسبتاً کم بوده و حوالی ساعت ۱۴ ظهر در حدود ( $24/2 \mu g/m^3$ ) بود اما پیک بعد از ظهر که از شدت بالایی برخوردار بود در ساعت ۲۰ ( $26/2 \mu g/m^3$ ) ظاهر شد. سپس از شدت آن کاسته شده و تا ساعت ۵ صبح که غلظت در حدود ( $17/9 \mu g/m^3$ ) بود روند نزولی داشت.

در بررسی روند هفتگی، به طور کلی، پایین‌ترین میانگین روزانه  $PM_{2.5}$  در روز جمعه با غلظت ( $21/8 \mu g/m^3$ ) مشاهده گردید. با شروع هفته، غلظت  $PM_{2.5}$  روزانه افزایش می‌یابد و شروع به تجمع در جو می‌کند و در روزهای چهارشنبه ( $22/7 \mu g/m^3$ ) به حداکثر غلظت خود می‌رسد. غلظت  $PM_{2.5}$  در طول هفته



نمودار ۱- تغییرات میانگین ساعتی، روزانه و هفتگی غلظت آلاینده‌های  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$  طی سال‌های ۹۶-۸۵



ادامه نمودار ۱- تغییرات میانگین ساعتی، روزانه و هفتگی غلظت آلاینده‌های  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$  طی سال‌های ۹۶-۸۵

بهار به طور قابل توجهی بالاتر از فصل‌های دیگر بود. همانطور که در نمودار ۲ نشان داده شده است برخلاف اینکه میانگین غلظت  $PM_{2.5}$  در بهار تقریباً به همان میزان در پاییز بود. غلظت متوسط  $PM_{2.5}$  دارای تغییرات زمانی بزرگ با بیشترین مقدار در فصل زمستان و کمترین میزان در تابستان بود. بیشترین غلظت در طی ماه‌های سرد سال (دی:  $42/9 \mu g/m^3$  و آذر:  $30/6 \mu g/m^3$ ) بالاتر از ماه‌های دیگر بود.

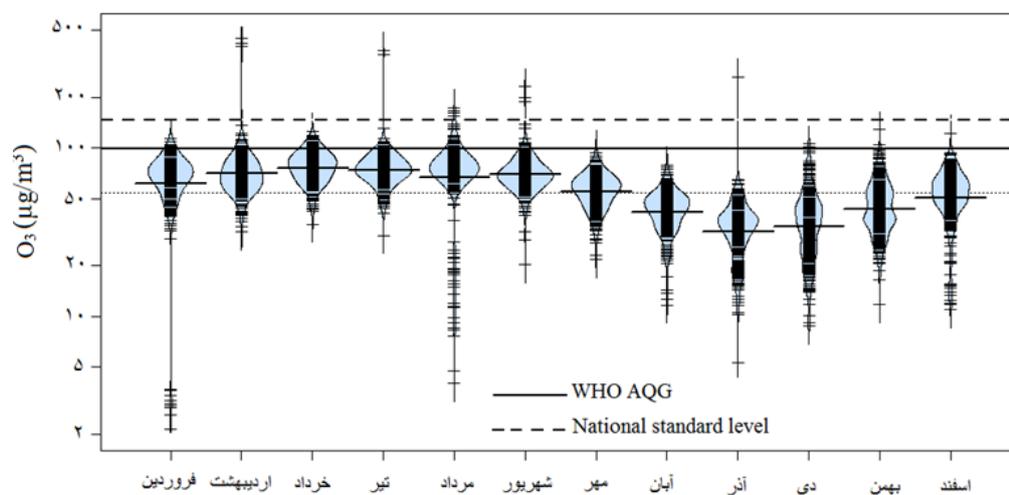
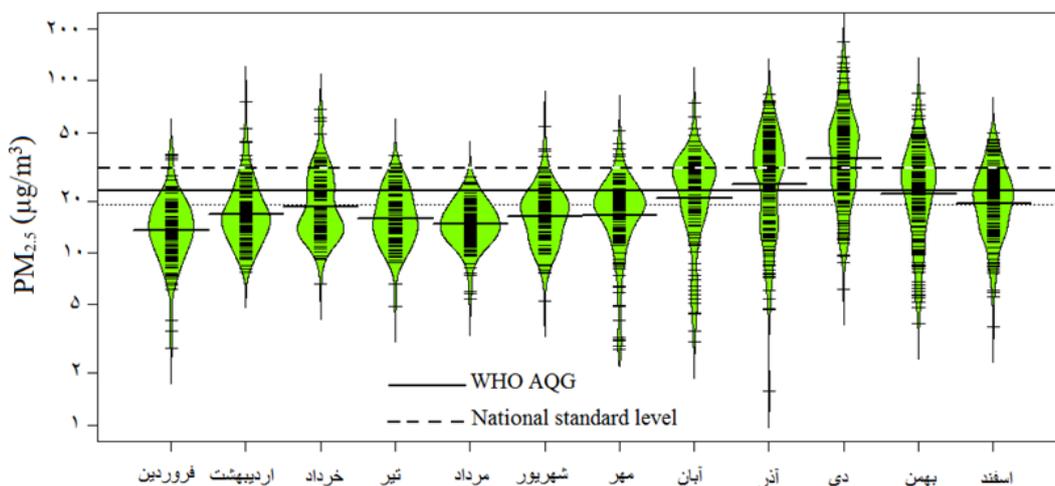
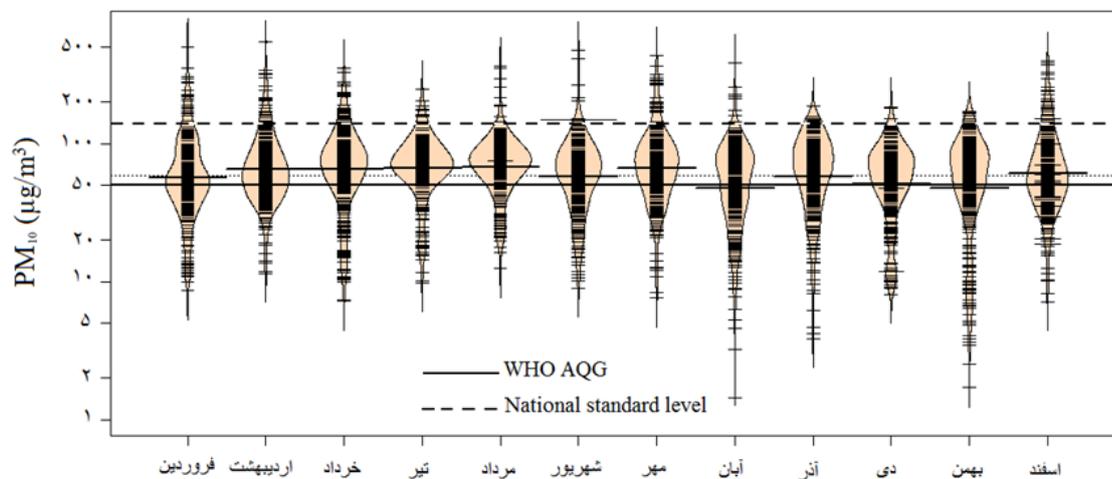
برعکس، ماه فروردین و مرداد با مقادیر ( $14/8 \mu g/m^3$  و  $15/2 \mu g/m^3$ ) به ترتیب پاک‌ترین ماه برای آلاینده  $PM_{2.5}$  بود. غلظت  $PM_{2.5}$  در فصل زمستان ( $30/2 \pm 17/4 \mu g/m^3$ ) < پاییز ( $24/4 \pm 12/6 \mu g/m^3$ ) < بهار ( $17/9 \pm 8/9 \mu g/m^3$ ) < در تابستان ( $16/5 \pm 5/8 \mu g/m^3$ ) در کل دوره مورد مطالعه بود. غلظت  $PM_{2.5}$  در فصل زمستان (دی ماه:  $46/7 \mu g/m^3$ ) در ایستگاه راسته کوچه در اوج بود.

بررسی نقشه توزیع ماهانه حداکثر ازن ۸ ساعته نشان می‌دهد که غلظت ازن در فصول مختلف تغییر کرده و تغییرات ماهانه  $O_3$  دارای روند روشن و منطقی است. این الگوی تغییرات ماهانه  $O_3$  تغییرات فصلی مخالف با آلاینده  $PM_{2.5}$  را نشان داد به طوری که برخلاف  $PM_{2.5}$ ، بیشترین مقدار غلظت ازن در ماه‌های گرم سال اتفاق افتاده است. بالاترین میانگین غلظت  $O_3$  در ماه‌های تابستان و بهار از اردیبهشت تا مرداد ( $76/2 \mu g/m^3$ ) روی داده است. پایین‌ترین غلظت  $O_3$  نیز در پاییز (ماه آذر:  $\mu g/m^3$ ) مشاهده شد. غلظت  $O_3$  در فصل تابستان ( $34/4 \mu g/m^3$ ) < بهار ( $74/5 \pm 26/1 \mu g/m^3$ ) < زمستان ( $46/1 \pm 17/7 \mu g/m^3$ ) < پاییز ( $44/1 \mu g/m^3$ ) در کل دوره مورد مطالعه بود. بنابراین بیشترین مقدار ازن در فصل تابستان و کمترین مقدار آن در فصل زمستان بوده است. پایین‌ترین غلظت  $O_3$  نیز در پاییز (ماه آذر:  $34/4 \mu g/m^3$ ) مشاهده شد.

تغییرات ماهانه غلظت آلاینده‌های  $O_3$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $PM_{10}$  به منظور بررسی اثر تغییرات ماهیانه و فصلی برای تمامی آلاینده‌های در نظر گرفته شده، میانگین ماهیانه برای کل دوره مورد مطالعه از روی داده‌های ساعتی محاسبه و مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. هنگام تجزیه و تحلیل این مقادیر می‌توان به طور کلی غلظت‌های بالاتر  $PM_{2.5}$  را در ماه‌های فصول پاییز و زمستان (آذر - دی - بهمن) و برای  $PM_{10}$  و  $O_3$  در ماه‌های گرم سال یعنی فصل تابستان مشاهده کرد که نشان می‌دهد این نتایج با شرایط هواشناسی محلی مطابقت دارند. در مجموع غلظت میانگین هر کدام از آلاینده‌ها در هر یک از ماه‌های سال به همراه انحراف معیار و حداکثر و حداقل در جدول ۱ ارائه شده است. میانگین کلی ماهانه آلاینده  $PM_{10}$  برابر  $\mu g/m^3$  و آلاینده  $PM_{2.5}$  برابر  $22/3 \mu g/m^3$  در کل دوره مورد مطالعه بود.

نمودار ۲ میانگین غلظت آلاینده  $PM_{10}$  را در ماه‌های مختلف طی سال‌های ۹۶-۸۵ نشان می‌دهد با توجه به نمودار ۲ میانگین غلظت این آلاینده در فصل پاییز (آبان:  $61/1 \mu g/m^3$ ) در کمترین مقدار خود بوده و کمترین غلظت در این ماه ثبت شده است و بیشترین مقدار در ماه‌های گرم و خشک سال (خرداد:  $79/2 \mu g/m^3$ ) نشان داده شد. بنابراین با توجه به این شرایط، بیشترین مقدار از غلظت ثبت شده ذرات معلق مربوط به فصل تابستان و بهار بوده و این مقدار در فصل‌های زمستان و پاییز به ترتیب کاهش یافته و به مقدار کمینه خود می‌رسد.

با توجه به اینکه در فصل زمستان و پاییز در کمترین غلظت خود بود اما ایجاد شرایط پایدار جوی در ماه‌های سرد سال (مهر:  $80/3 \mu g/m^3$ ) نیز در افزایش غلظت این آلاینده موثر بوده است. غلظت  $PM_{10}$  در فصل زمستان ( $44/2 \pm 67/9 \mu g/m^3$ )، بهار ( $55/0 \pm 76/1 \mu g/m^3$ )، پاییز ( $46/1 \pm 70/4 \mu g/m^3$ ) و در تابستان ( $42/3 \pm 73/8 \mu g/m^3$ ) در کل دوره مورد مطالعه بود. بنابراین، غلظت  $PM_{10}$  در



نمودار ۲- روند تغییرات میانگین ماهانه غلظت آلاینده‌های  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$  و  $O_3$  طی سال‌های ۸۵-۹۶

جدول ۱- خلاصه آماری (انحراف معیار  $\pm$  میانگین، حداقل-حداکثر) داده‌های ماهانه آلاینده‌های  $PM_{2.5}$ ،  $PM_{10}$  و  $O_3$  هوای شهر تبریز طی دوره مورد مطالعه

استفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	آلاینده‌ها
$61/2 \pm 77/8$	$3888 \pm 3376$	$3276 \pm 3274$	$3777 \pm 3977$	$4378 \pm 3178$	$5775 \pm 8073$	$4876 \pm 3974$	$3775 \pm 4772$	$3575 \pm 3370$	$3972 \pm 4979$	$3772 \pm 5776$	$3770 \pm 5875$	$PM_{10}$
$(771 - 39970)$	$(177 - 17370)$	$(870 - 18576)$	$(378 - 18763)$	$(776 - 38788)$	$(775 - 43873)$	$(970 - 47475)$	$(1774 - 33772)$	$(977 - 24879)$	$(771 - 35773)$	$(1174 - 55779)$	$(875 - 49873)$	
$2173 \pm 974$	$3272 \pm 1479$	$4279 \pm 2870$	$3073 \pm 1870$	$2472 \pm 1179$	$1874 \pm 779$	$1775 \pm 771$	$1572 \pm 471$	$1279 \pm 372$	$2077 \pm 1172$	$1873 \pm 974$	$1478 \pm 373$	$PM_{2.5}$
$(377 - 4978)$	$(379 - 8473)$	$(371 - 13887)$	$(175 - 8772)$	$(370 - 7475)$	$(277 - 5173)$	$(572 - 5472)$	$(573 - 3775)$	$(479 - 3379)$	$(376 - 3872)$	$(777 - 7575)$	$(277 - 3774)$	
$5377 \pm 1777$	$4274 \pm 1772$	$3881 \pm 1870$	$3474 \pm 1775$	$4370 \pm 1176$	$5673 \pm 1278$	$3771 \pm 2279$	$3476 \pm 3378$	$3778 \pm 2876$	$3778 \pm 1673$	$3575 \pm 4775$	$3771 \pm 1979$	$O_3$
$(1079 - 12272)$	$(1177 - 12873)$	$(877 - 10573)$	$(573 - 23773)$	$(1176 - 7971)$	$(2176 - 9887)$	$(2073 - 33773)$	$(379 - 17372)$	$(370 - 33870)$	$(350 - 12578)$	$(3177 - 52570)$	$(271 - 11471)$	

جدول ۲- خلاصه آماری (انحراف معیار ± میانگین، حداقل-حداکثر) داده‌های سالانه آلاینده‌های  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  و  $O_3$  هوای شهر تبریز طی دوره مورد مطالعه

آلاینده‌ها	۸۵	۸۶	۸۷	۸۸	۸۹	۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۵	۹۶
$PM_{10}$	$28.7 \pm 3.7$	$30.8 \pm 3.8$	$25.0 \pm 3.0$	$27.0 \pm 3.0$	$24.0 \pm 3.0$	$27.4 \pm 3.4$	$21.3 \pm 2.1$	$25.0 \pm 2.5$	-	$27.4 \pm 3.4$	$29.8 \pm 3.0$	$28.7 \pm 3.7$
	( $1.59/6$ - $1.74/6$ )	( $3.77/3$ - $3.77/3$ )	( $2.42/5$ - $3.1/5$ )	( $2.03/0$ - $2.1/0$ )	( $2.7/7$ - $2.7/7$ )	( $2.7/0$ - $2.7/7$ )	( $3.32/2$ - $3.32/2$ )	( $2.98/3$ - $2.98/3$ )	( $2.2/4$ - $2.2/4$ )	( $1.7/0$ - $1.73/0$ )	( $2.27/4$ - $2.27/4$ )	( $1.73/0$ - $1.73/0$ )
$PM_{2.5}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$O_3$	$33.5 \pm 5.0$	-	-	$33.5 \pm 5.0$	$33.5 \pm 5.0$							
	( $1.15/5$ - $1.04/5$ )	( $1.04/4$ - $1.04/4$ )	( $1.11/0$ - $1.11/0$ )	( $1.34/9$ - $1.34/9$ )	( $1.43/3$ - $1.43/3$ )	( $1.43/3$ - $1.43/3$ )	( $1.31/6$ - $1.31/6$ )	( $1.16/0$ - $1.16/0$ )	( $1.16/0$ - $1.16/0$ )	( $1.05/0$ - $1.05/0$ )	( $1.17/3$ - $1.17/3$ )	( $1.16/3$ - $1.16/3$ )

جدول ۳- میانگین درصد روزهای متجاوز از AQG WHO و حد استاندارد ملی آلاینده‌های  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$  و  $O_3$  هوای شهر تبریز طی دوره مورد مطالعه تبریز طی دوره مورد مطالعه تبریز طی دوره مورد مطالعه

ماه‌های سال	$O_3$		$PM_{2.5}$		$PM_{10}$	
	ماکزیمم ۸ ساعته		۲۴ ساعته		۲۴ ساعته	
	ملی	WHO	ملی	WHO	ملی	WHO
فروردین	۰	۰/۸	۰	۰	۶/۴	۵۲/۴
اردیبهشت	۱	۲/۹	۱/۹	۷	۶/۷	۶۱/۵
خرداد	۰	۳/۲	۱/۹	۷	۷/۵	۷۹/۷
تیر	۰	۱/۳	۰/۶	۳/۸	۳/۲	۷۰/۳
مرداد	۰/۸	۵/۹	۰	۱/۲	۲/۱	۶۵/۱
شهریور	۱	۳/۲	۰	۱/۹	۳/۲	۵۴/۵
مهر	۰	۰	۲	۸/۶	۶/۱	۶۳/۳
آبان	۰	۰	۵/۳	۱۶	۱/۹	۴۷/۲
آذر	۰	۰	۱۱/۳	۲۲/۶	۱/۹	۵۳/۹
دی	۰	۰	۳۰	۳۵/۳	۰/۸	۵۱/۲
بهمن	۰	۰	۱۲/۶	۲۴	۲/۲	۵۰
اسفند	۰	۰/۲	۶/۷	۱۹	۲/۲	۵۶/۰

طی سال‌های ۸۵ تا ۸۸ افزایشی بوده و از آن زمان تا سال ۹۶ روند نزولی یافته است. در مجموع مشاهده می‌شود که غلظت سالانه این آلاینده نسبت به سال ۸۸ روند نزولی داشته ولی میانگین غلظت این آلاینده در تمام سال‌های مورد بررسی در مقایسه با استاندارد سالانه WHO ( $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) در وضعیت بسیار نامطلوبی قرار داشته است. بیشترین غلظت میانگین سالیانه مربوط به سال ۸۸ با غلظت  $98/9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و کمترین غلظت میانگین سالیانه مربوط به سال ۹۵ با غلظت  $29/8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  است. آلوده‌ترین ایستگاه با محاسبه میانگین کل دوره مورد مطالعه در حدود  $81/2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  برای ایستگاه راسته کوچه مشاهده شد. بررسی روند کلی آلاینده  $\text{PM}_{10}$  در طی سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۸۵ نشان می‌دهد که از سال ۸۵ تا ۸۸ روند افزایشی با شیب تندی در میزان غلظت  $\text{PM}_{10}$  مشاهده می‌شود به گونه‌ای که در سال ۸۸ به حدود  $98/9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (بیش از حد استاندارد WHO) می‌رسد ولی از سال ۸۸ تا ۹۶ روند کاهشی بوده به طوری که در سال ۹۵ به حدود  $29/8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  می‌رسد که در ۱۰ سال اخیر به کمترین میزان خود می‌رسد. با وجود روند کاهشی در غلظت  $\text{PM}_{10}$  در طی مقایسه با استاندارد WHO همچنان بالاتر از استاندارد WHO بوده است.

نتایج حاصل از بررسی آلاینده  $\text{PM}_{2.5}$  در نمودار ۳ و جدول ۲ نشان می‌دهد که بیشترین غلظت میانگین سالیانه مربوط به  $\text{PM}_{2.5}$  در سال ۹۲ با غلظت  $31/4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و کمترین غلظت میانگین سالیانه مربوط به سال ۹۳ با غلظت  $19/8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  است. روند کلی آلاینده  $\text{PM}_{2.5}$  در طی سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۲ با اینکه حالت نوسانی داشته ولی به طور کلی روند کاهشی در میزان غلظت  $\text{PM}_{2.5}$  مشاهده می‌شود به گونه‌ای که در سال ۹۲ به حدود  $31/4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (بیش از حد استاندارد) بوده که در سال ۹۶ غلظت آن به  $22/3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  رسیده است. آلوده‌ترین ایستگاه نیز با محاسبه میانگین کل دوره مورد مطالعه در حدود  $31/4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  برای ایستگاه راسته کوچه مشاهده شد.

نتایج حاصل از بررسی آلاینده  $\text{O}_3$  در نمودار ۳ و جدول ۲ نشان داد که بیشترین غلظت میانگین سالیانه مربوط به سال ۹۵ با غلظت  $72/9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و کمترین غلظت میانگین سالیانه مربوط

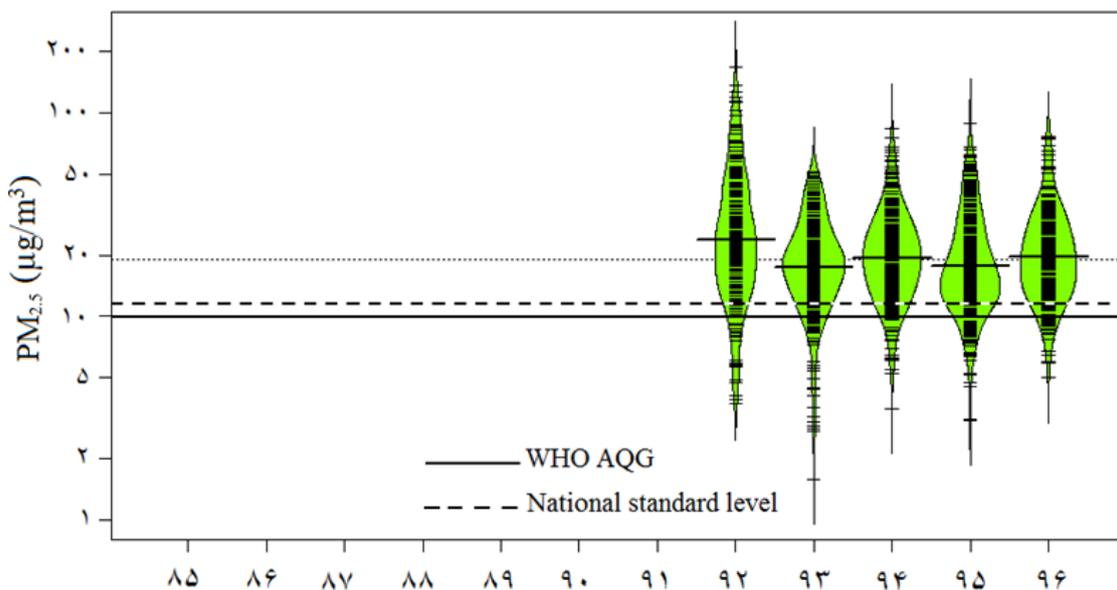
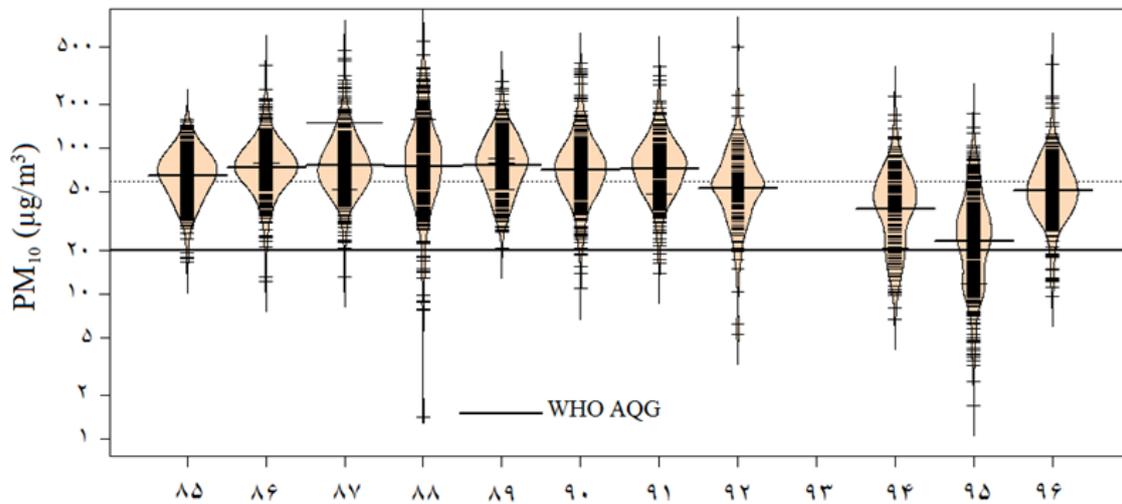
مقایسه میانگین روزانه آلاینده‌ها با  $\text{WHO AQG}$  و استاندارد ملی بررسی میانگین روزانه  $\text{PM}_{10}$  در ایستگاه‌های مختلف نیز نشان داد که میزان ذرات معلق هوا در ایستگاه‌های شهر تبریز در مقایسه با استاندارد سالانه بالاتر از حد مجاز بوده و مقایسه میانگین روزانه  $\text{PM}_{10}$  با سطح  $\text{WHO AQG}$  ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) و سطح استاندارد ملی ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) در ماه‌های مختلف نشان داد که در  $79/7$  و  $70/3$  درصد روز در ماه‌های خرداد و تیر به عنوان آلوده‌ترین ماه‌ها، مقدار  $\text{PM}_{10}$  بالاتر از سطح  $\text{AQG}$  WHO سازمان بهداشت جهانی بود؛ علاوه بر این، با توجه به سطح استاندارد ملی برای  $\text{PM}_{10}$ ، مشخص شد که تقریباً تمام روزهای ماه‌ها، غلظت  $\text{PM}_{10}$  پایین‌تر از سطح استاندارد ملی بود، به جز ماه خرداد، که در آن غلظت  $\text{PM}_{10}$  در حدود  $7/5$  درصد از روز را بالاتر از سطح استاندارد ملی بود (جدول ۳). با توجه به جدول ۲،  $35/3$  و  $24$  درصد روز در ماه‌های دی و بهمن، به عنوان آلوده‌ترین ماه‌ها، مقادیر  $\text{PM}_{2.5}$  بالاتر از سطح  $\text{AQG}$  WHO سازمان بهداشت جهانی بود؛ علاوه بر این، با توجه به سطح استاندارد ملی برای  $\text{PM}_{2.5}$ ، مشخص شد که تقریباً تمام روزهای ماه‌ها، غلظت  $\text{PM}_{2.5}$  پایین‌تر از سطح استاندارد ملی بود، به جز ماه دی و بهمن، که در آن غلظت  $\text{PM}_{2.5}$ ،  $30$  و  $12/6$  درصد از روز را بالاتر از سطح استاندارد ملی بود.

مقایسه حداکثر غلظت ۸ ساعته روزانه  $\text{O}_3$  با سطح  $\text{WHO AQG}$  ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) و سطح استاندارد ملی ( $159 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) در ماه‌های مختلف نشان داد که در  $5/9$  درصد روز در مرداد ماه به عنوان آلوده‌ترین ماه، مقدار  $\text{O}_3$  بالاتر از سطح  $\text{WHO AQG}$  سازمان بهداشت جهانی بود؛ علاوه بر این، با توجه به سطح استاندارد ملی برای  $\text{O}_3$ ، مشخص شد که تقریباً تمام روزهای ماه‌ها، غلظت  $\text{O}_3$  پایین‌تر از سطح استاندارد ملی بوده است.

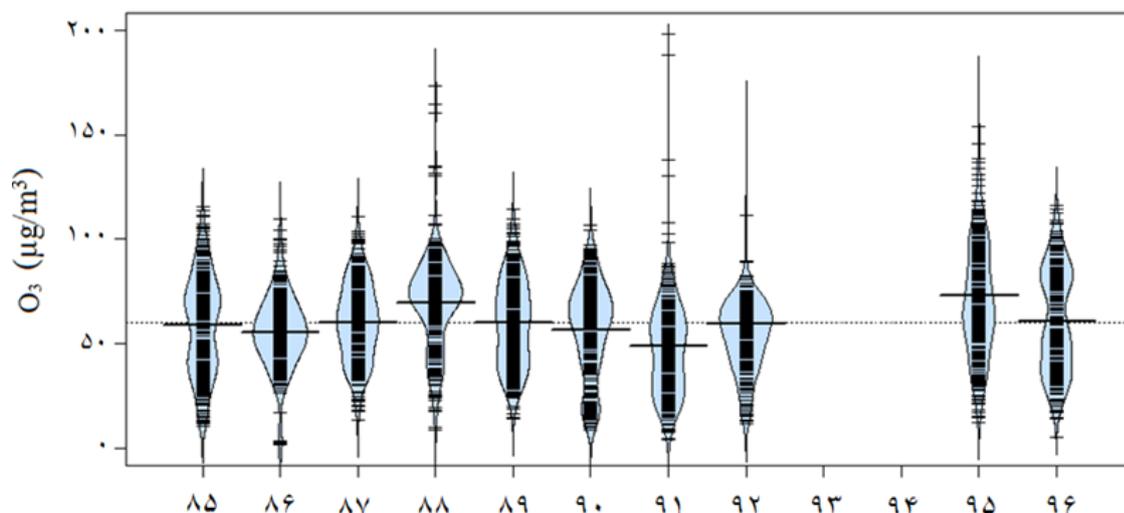
رشد سالانه غلظت آلاینده‌های  $\text{PM}_{10}$ ،  $\text{PM}_{2.5}$  و  $\text{O}_3$  نتایج حاصل از بررسی روند میانگین سالانه آلاینده  $\text{PM}_{10}$  با قطر کمتر از  $10$  میکرون از سال ۸۵ تا ۹۶ در نمودار ۳ و جدول ۲ نشان داده شده است. روند تغییرات غلظت سالانه آلاینده  $\text{PM}_{10}$

بوده ولی از سال ۸۸ تا ۹۱ روند کاهشی با شیب تندی را نشان داد به طوری که در سال ۹۱ به حدود  $48/9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  رسید که در طول ۱۲ سال کمترین میزان خود را نشان می‌دهد. با محاسبه میانگین غلظت کل دوره مطالعه آلوده‌ترین ایستگاه برای ازن ایستگاه راه آهن با مقدار  $73/4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و پاک‌ترین ایستگاه، باغ شمال با مقدار  $49/5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ثبت گردید.

به سال ۹۱ با غلظت  $48/9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  است. در طی سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۸۵ روند شفاف و مشخصی (کاهشی یا افزایشی) نداشته و به طور کلی از سال ۸۵ تا ۹۶ حالت نوسانی در میزان غلظت  $\text{O}_3$  مشاهده می‌شود به گونه‌ای که در سال‌های ۸۵ و ۸۸ غلظت در حدود  $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و  $69/9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  بوده که نشان دهنده روند افزایشی در غلظت ازن



نمودار ۳- روند تغییرات میانگین سالانه غلظت آلاینده‌های  $\text{PM}_{10}$ ،  $\text{PM}_{2.5}$  و  $\text{O}_3$  طی سال‌های ۸۵-۹۶



ادامه نمودار ۳- روند تغییرات میانگین سالانه غلظت آلاینده‌های  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$  و  $O_3$  طی سال‌های ۸۵-۹۶

یک روند نزولی بودند کمترین مقدار Sen's slope مربوط به ایستگاه باغ شمال برای آلاینده  $PM_{10}$  بود. سطح معنی داری نیز برای آلاینده  $PM_{2.5}$  در ایستگاه راسته کوچه بالاتر از بقیه آلاینده‌ها بود. برای  $PM_{2.5}$  هیچ کدام از ایستگاه‌ها روند معنی داری را نشان ندادند. نتایج بررسی همبستگی مکانی آلاینده‌ها طبق آزمون موران، در جدول ۵ نشان داده شده است. طبق آزمون موران آلاینده‌ها در بررسی همبستگی مکانی فقط طی سال‌های ۹۱ برای دو آلاینده  $PM_{10}$  و  $O_3$  و در سال ۹۴ برای  $PM_{2.5}$  از لحاظ آماری معنی دار بود.

تغییرات زمانی و مکانی آلاینده‌ها

روند زمانی آلاینده‌های  $PM_{2.5}$  و  $O_3$  با توجه به جدول ۴ در طی سال‌های ۸۵ تا ۹۶ معنی دار نبود؛ به این معنی که روند یکنواختی (صعودی یا نزولی) را نشان نداد اما برای  $PM_{10}$  با مقادیر (p: ۰/۰۱، tau: -۰/۵۷ و Sen's slope: -۰/۱۲) معنی دار و کاهشی بود. در بررسی ایستگاه‌ها برای آلاینده  $PM_{10}$ ، ایستگاه باغ شمال با مقادیر (p: ۰/۰۴، tau: -۰/۴۵ و Sen's slope: -۰/۱۵)، برای آلاینده ازن ایستگاه راسته کوچه با مقادیر (p: ۰/۰۰۲، tau: -۰/۶۹ و Sen's slope: -۰/۳۲) روند از لحاظ آماری معنی دار بوده و داده‌ها دارای

جدول ۴- نتایج روند تغییرات زمانی با استفاده از آزمون Mann-Kendall و Sen's slope به تفکیک ایستگاه‌ها در طی دوره مورد مطالعه (۸۵ تا ۹۶)

آلاینده	آزمون آماری	آبرسان	باغ	حکیم	راه آهن	راسته	کل دوره مورد
$PM_{10}$	Mann-kendall (z,s)	۰/۲۳	-۰/۴۵*	-۰/۳۳	-۰/۲۸	-۰/۲۸	-۰/۵۷*
	p	۰/۵۴	۰/۰۴*	۰/۳۶	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۰۱*
	Sen's slope	-۰/۰۱	-۰/۱۵*	-۰/۱۱	-۰/۰۶	-۰/۱۰	-۰/۱۲*
$PM_{2.5}$	Mann-kendall (z,s)	۰/۳۳	-۰/۲۰	-۱	۰/۳۳	-۰/۶۶	-۰/۶۰
	p	۰/۷۳	۰/۸۰	۰/۰۸	۱	۰/۳۰	۰/۲۲
	Sen's slope	۰/۳۴	-۰/۱۰	-۰/۴۵	۰/۰۸	۰/۰۴	-۰/۲۸
$O_3$	Mann-kendall (z,s)	-۰/۱۲	۰/۰۴	-	۰/۱۲	-۰/۶۹*	۰/۳۳
	p	۰/۶۲	۰/۸۹	-	۰/۶۳	۰/۰۰۲*	۰/۱۴
	Sen's slope	-۰/۲۶	۰/۰۶	-	۰/۱۸	-۰/۳۲*	۰/۲۸

\*سطح معنی داری روند

جدول ۵- نتایج روند تغییرات مکانی آلاینده‌های معیار هوا با استفاده از شاخص Moran's I در طی دوره مورد مطالعه (۸۵ تا ۹۶)

سال	آزمون آماری	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	O <sub>3</sub>
۱۳۸۵	Moran's I	-۰/۲۳	-	-۰/۳۵
	p	۰/۷۷	-	۰/۲۳
۱۳۸۶	Moran's I	-۰/۲۸	-	-۰/۲۶
	p	۰/۴۲	-	۰/۷۲
۱۳۸۷	Moran's I	-۰/۳۳	-	-۰/۵۸
	p	۰/۴۶	-	۰/۰۵
۱۳۸۸	Moran's I	-۰/۲۹	-	-۰/۵۰
	p	۰/۳۷	-	۰/۰۷
۱۳۸۹	Moran's I	-۰/۰۶	-	-۰/۲۹
	p	۰/۴۶	-	۰/۵۴
۱۳۹۰	Moran's I	-۰/۳۹	-	-۰/۴۴
	p	۰/۱۷	-	۰/۰۸
۱۳۹۱	Moran's I	-۰/۳۹	-	-۰/۵۵
	p	۰/۰۳**	-	۰/۰۳**
۱۳۹۲	Moran's I	-۰/۳۳	-۰/۳۷	-۰/۳۱
	p	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۲۱
۱۳۹۳	Moran's I	-	-۰/۳۶	-
	p	-	۰/۰۷	-
۱۳۹۴	Moran's I	-۰/۳۲	-۰/۴۸	-
	p	۰/۱۰	۰/۰۰۰۵**	-
۱۳۹۵	Moran's I	-۰/۰۲	-۰/۳۳	-۰/۰۸
	p	۰/۳۷	۰/۱۲	۰/۵۰
۱۳۹۶	Moran's I	-۰/۱۳	-۰/۲۸	-۰/۰۹
	p	۰/۷۱	۰/۲۴	۰/۵۷
۱۳۸۵-۱۳۹۶	Moran's I	-۰/۴۱	-۰/۰۶	-۰/۴۱
	p	۰/۰۱۹**	۰/۲۶	۰/۱۰

\*\*سطح معنی داری روند

## بحث

با تجزیه و تحلیل مقادیر تغییرات ماهیانه و فصلی آلاینده‌های مطالعه شده می‌توان به طور کلی غلظت‌های بالاتر  $PM_{2.5}$  را در ماه‌های سرد سال یعنی فصول پاییز و زمستان (آذر-دی-بهمن) و برای  $PM_{10}$  و  $O_3$  در ماه‌های گرم سال یعنی فصل تابستان مشاهده کرد.

بالاترین غلظت  $PM_{10}$  در ماه‌های گرم و خشک سال (خرداد:  $79/2 \mu g/m^3$ ) ممکن است به تدریج با کاهش میزان بارندگی، تشدید گرما و همچنین به دلیل وقوع پدیده گرد و غبار (dust storm) با منشاء غیر محلی در طی فصول گرم باشد. علاوه بر این، افزایش غلظت  $PM_{10}$  می‌تواند تحت تاثیر عواملی مانند ترسیب ذرات از سایش سطح جاده، سایش تایر و سایش ترمز خودرو باشد. از مهمترین منابع انتشار آلاینده ذرات معلق هوا، علاوه بر تردد خودروها می‌توان به واحدهای صنعتی اطراف شهر، ساخت و ساز بی‌رویه در سطح شهر، کمبود فضای سبز و پارک‌های جنگلی و عدم پوشش گیاهی مناسب حومه شهر اشاره نمود که تمامی عوامل مذکور در تشدید آلودگی ذرات معلق مؤثرند. با توجه به اینکه در فصل زمستان و پاییز  $PM_{10}$  در کمترین غلظت خود (آبان:  $61/1 \mu g/m^3$ ) بود اما ایجاد شرایط پایدار جوی در ماه‌های سرد سال (مهرماه:  $\mu g/m^3$ ) نیز در افزایش غلظت این آلاینده مؤثر بوده است.

تغییرات هفتگی  $PM_{10}$  نشان داد که در روزهای اواسط هفته که مصادف با روزهای پرکار هفته هستند به دلیل افزایش تردد خودروها که یکی از منابع عمده ذرات معلق در منطقه شهری است غلظت  $PM_{10}$  به طور چشمگیری افزایش یافته و برعکس در ایام پایانی هفته که تردد خودروها در داخل شهر کاهش یافته و اغلب مردم در خانه استراحت نموده و یا به خارج از شهر می‌روند غلظت  $PM_{10}$  در مقایسه با سایر روزها نوسانات کمتری داشته و مقدار غلظت  $PM_{10}$  در روز جمعه در کمترین مقدار خود قرار داشت.

روند ساعتی آلاینده  $PM_{10}$  نیز در طول ۲۴ ساعت، به طور تصادفی منعکس کننده ترکیبی از الگوهای ترافیکی صبح و بعد از ظهر (ساعت‌های شلوغی) بوده و علیرغم حجم بالای ترافیک در بعد از ظهر، مشاهده پیک کوچک برای  $PM_{10}$

بعد از ظهر ساعت ۲۰ می‌تواند به دلیل عمق اختلاط بالا در آن زمان باشد. در بررسی مابین ایستگاه‌ها، الگوی دو پیک روزانه در همه ایستگاه‌ها مشاهده نشد برخی از ایستگاه‌ها مانند حکیم نظامی فقط یک پیک را در طول ۲۴ ساعت نشان داد غلظت‌های  $PM_{10}$  خیلی وابسته به تعلیق مجدد ذرات بوده و بخش مهمی از آن به دلیل خرد شدن ذرات درشت بوده بعضی از ایستگاه‌ها به محل‌های ساختمانی نزدیک‌تر بوده و بنابراین گرد و غبار ناشی از آنها سبب افزایش غلظت در این ایستگاه‌ها می‌شوند یکی دیگر از فاکتورهای مرتبط با تعلیق مجدد ذرات، تاثیر سرعت باد است. بخش قابل توجهی از ذرات ریز  $PM_{10}$  ناشی از انتشار مستقیم از ترافیک سنگین است (۱۹).

برخلاف اینکه میانگین غلظت  $PM_{2.5}$  در بهار تقریباً به همان میزان در پاییز بود. غلظت متوسط  $PM_{2.5}$  دارای تغییرات زمانی بزرگ با بیشترین مقدار در فصل زمستان و کمترین میزان در تابستان بود. بیشترین غلظت در طی ماه‌های سرد سال بالاتر از ماه‌های دیگر بود که این یافته‌ها با مطالعه Gholampour و همکاران در سال ۲۰۱۵ در تبریز کاملاً مشابهت دارد (۲۰). در حالی که مطالعه Kamani و همکاران در شهر زاهدان نشان داد که میانگین غلظت‌های ماهانه  $PM_{2.5}$  در تابستان بیشتر از زمستان است (۲۱). همچنین در مطالعه حاضر یافته‌های مشابه و قابل مقایسه با سایر مطالعات به دست آمد و علت آن می‌تواند به دلایل مختلف زیر باشد:

۱. با توجه به مطالعات قبلی (۱۸، ۲۲-۲۹) و نتایج حاصل از این مطالعه، یکی از مهمترین منابع انتشار این آلاینده فرایندهای احتراق سوخت نظیر وسایل نقلیه موتوری و سیستم‌های گرمایش مسکونی بوده و با توجه به داده‌های هواشناسی منطقه، یعنی کاهش دما در ماه آذر و دی، که باعث افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و یا سوخت زیست توده توسط سیستم گرمایشی مسکونی می‌شود ممکن است مهمترین دلیل افزایش غلظت  $PM_{2.5}$  در ماه‌های سرد سال باشد که به افزایش این آلاینده‌ها در ماه‌های سرد در هوا کمک می‌کند.

۲. افزایش شدید مصرف سوخت‌های فسیلی در فصل زمستان می‌تواند منجر به افزایش غلظت  $SO_2$  شود که می‌تواند سولفات را که یکی از اجزای اصلی  $PM_{2.5}$  است افزایش دهد (۲۲).

شده است که بیشتر به کاهش  $PM_{2.5}$  منجر می‌شود. تغییرات ماهیانه ازن نشان داد که حداکثر غلظت ازن ۸ ساعته در فصول مختلف تغییر کرده و تغییرات ماهانه  $O_3$  دارای روند روشن و منطقی است. این الگوی تغییرات ماهانه  $O_3$  تغییرات فصلی مخالف با آلاینده  $PM_{2.5}$  را نشان داد به طوری که بر خلاف  $PM_{2.5}$ ، بیشترین مقدار غلظت ازن در ماه‌های گرم سال اتفاق افتاده است. بالاترین میانگین غلظت  $O_3$  در ماه‌های تابستان و بهار روی داده است. که این یافته‌ها مشابه با یافته‌های Safavy و همکاران در شهر تبریز بود (۳۱). غلظت بالای  $O_3$  در فصل بهار و تابستان می‌تواند به دلیل فرایند تبادل استراتوسفر - تروپوسفر، دمای بالای اتمسفری، شدت تابش خورشید، تابش‌های طولانی‌تر و ساعت‌های آفتابی طولانی‌تر در فصل گرم باشد که باعث افزایش واکنش‌های فتوشیمیایی و تولید  $O_3$  می‌شود (۲۲، ۲۶، ۲۷، ۳۲). علاوه بر این، درجه حرارت بالا و شدت تابش‌های خورشیدی قوی موجب تولید مقدار زیادی از رادیکال OH، و در نتیجه تشکیل  $O_3$  از طریق واکنش VOC و OH می‌شود (۲۲، ۳۳) شکل گیری  $O_3$  توسط فرایندهای مختلف و فعالیت‌های مختلف مانند حمل و نقل، رسوب و تثبیت با NOx تحت تاثیر قرار می‌گیرد (۳۴). پایین‌ترین غلظت  $O_3$  نیز در پاییز (ماه آذر:  $34/4 \mu g/m^3$ ) مشاهده شد که می‌تواند به کاهش زمان نور خورشید، مدت زمان تابش خورشید و دمای پایین و غلظت بیشتر آلاینده‌های اولیه پیش ساز  $O_3$  در هوا مربوط باشد که منجر به کاهش شکل گیری  $O_3$  می‌شود نور خورشید ضعیف در زمستان می‌تواند تشکیل  $O_3$  را مهار کند، زیرا سرعت تشکیل  $O_3$  بستگی به شدت تابش خورشیدی دارد (۱، ۲۵، ۳۲، ۳۵).

ازن یک رفتار بسیار متمایز برای میانگین چرخه روزانه در مقایسه با سایر آلاینده‌ها نشان داد، غلظت‌های بالاتر در طول روز، بعد از ظهر ساعت ۱۵ در همه ایستگاه‌ها زمانی که حداکثر تابش خورشیدی رخ می‌دهد و به دنبال آن پدیده فتوشیمیایی منجر به تشکیل ازن می‌شود. این تاخیر در پیک ازن در مقایسه با زمان حداکثر بروز تابش خورشیدی ناشی از زمان لازم برای واکنش‌هایی است که مولکول‌های ازن را تشکیل می‌دهند. در طول شب، غلظت ازن کاهش سریعی

۳. وارونگی دمایی یکی از عوامل بسیار مهم در تشدید آلودگی هوا محسوب می‌شود که در تبریز به کرات به ویژه در فصل سرما رخ می‌دهد. وقوع این پدیده به ویژه در اواخر پاییز و اوایل زمستان می‌تواند باعث انباشته شدن این آلاینده و تراکم آن در منطقه شود. شرایط هواشناسی، از جمله عمق اختلاط کم، دماهای پایین‌تر و باد ضعیف، همراه با شرایط جغرافیایی تبریز، که توسط کوه‌ها احاطه شده، و همچنین وجود ناهمواری‌هایی در داخل شهر باعث ایجاد شرایط پایدار هوا در زمان‌های فوق می‌شود (۱، ۲۲).

۴. با توجه به افزایش غلظت  $PM_{2.5}$  در ماه خرداد ( $20/7 \mu g/m^3$ ) می‌توان نتیجه گرفت که دلیل دیگری برای افزایش غلظت  $PM_{2.5}$  در منطقه، تاثیر طوفان گرد و غبار خاورمیانه است.

۵. در نهایت، پوشش گیاهی می‌تواند بر غلظت  $PM_{2.5}$  نیز تاثیر بگذارد به عنوان مثال همانطور که Song و همکاران و Martins و همکار در مطالعات خود ذکر کردند برگ گیاهان نقش مهمی در حذف ذرات از هوا داشته و به علت ریختن برگ درختان در فصل سرد، ذرات معلق ممکن است افزایش یابد (۲۸، ۳۰). برعکس، ماه فروردین و مرداد پاک‌ترین ماه برای آلاینده  $PM_{2.5}$  بود. دلیل اصلی کاهش غلظت  $PM_{2.5}$  در ماه فروردین، ترافیک کمتر و انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتر از منابع خانگی و صنعتی بوده که مقارن با تعطیلات نوروزی است. این آلاینده در اکثر روزها به عنوان آلاینده شاخص به شمار می‌رود و در صورت بروز شرایط جوی پایدار برای چند روز متوالی می‌تواند در هوای شهر انباشته شود.

همچنین در مورد بررسی روند ساعتی، همانطور که نشان داده شده، آلاینده  $PM_{2.5}$  در همه روزها از الگوی یکسانی پیروی کرده و در طول روز دو پیک روزانه حوالی ساعت ۱۴ ظهر و پیک دوم ساعت ۲۰ ظاهر شد که این نتایج مرتبط با ساعات ترافیک سنگین در شب، فعالیت‌های ساخت و ساز و تخریب بوده، که سبب انتشارات اولیه وسایل نقلیه سبک و سنگین و ایجاد  $PM_{2.5}$  ثانویه از فاز گازی باشد. همچنین پایین‌ترین میانگین روزانه  $PM_{2.5}$  در روز جمعه به عنوان "اثر تعطیلات" به علت ترافیک کمتر خودرو و سایر منابع انتشاری شناخته

که طی سال‌های مورد مطالعه کیفیت هوای شهر تبریز از نظر آلاینده‌های ذرات معلق با اینکه بهبود یافته، اما میانگین غلظت این آلاینده‌ها در تمام سال‌های مورد بررسی در مقایسه با استاندارد سالانه WHO و استاندارد سالیانه ملی در وضعیت بسیار نامطلوبی قرار داشته است (جدول ۲). به طوری که با بررسی میانگین سالیانه و درصد شاخص کیفیت هوا، معلوم گردید که در سال ۸۸ میانگین سالیانه  $PM_{10}$  در بالاترین مقدار خود نسبت به سال‌های دیگر بوده و بالاترین تعداد روزهای خارج از استاندارد ملی را دارا بود. روند صعودی  $PM_{10}$  در سال ۸۸ نسبت به سال‌های دیگر می‌تواند به دلیل بیشترین پدیده گرد و غبار روی داده در این سال باشد Shamsavani و همکاران نیز به این نتیجه رسیدند که در سال ۸۸ با میانگین  $42/8$  روز گرد و غبار در سال بیشترین پدیده گرد و غباری در کشور رخ داده است که این افزایش گرد و غبار در کشور بی‌تاثیر در میزان گرد و غبار شهر تبریز نبوده است (۳۶). براساس داده‌های به‌دست آمده و همچنین غلظت  $PM_{10}$  نتیجه گرفته می‌شود که یکی از منابع انتشار  $PM_{10}$  در منطقه مورد مطالعه می‌تواند پدیده گرد و غبار آسیا باشد که گاهی در بهار و تابستان رخ داده است (۱۷).

براساس این تعریف و با توجه به سرعت زیاد باد در طول بهار و تابستان اما سرعت باد کم در فصول سرد و همچنین کمترین میزان رطوبت جوی در فصول گرم اما بالاترین رطوبت جو در طول پاییز و زمستان می‌توان نتیجه گرفت گرد و غبار محلی در فصول گرم یکی از منابع اصلی  $PM_{10}$  در این منطقه بود. روندهای زمانی آلاینده‌های  $PM_{2.5}$  و  $O_3$  با توجه به جدول ۴ در طی سال‌های ۸۵ تا ۹۶ معنی‌دار نبود به این معنی که روند یکنواختی (صعودی یا نزولی) در طی این سال‌ها نشان ندادند اما برای  $PM_{10}$  معنی‌دار بود. فقدان روند قابل توجه ممکن است با تغییر زیاد در غلظت‌های سالیانه آلاینده‌ها به دلیل شرایط مختلف هواشناسی، حوادث سوختن سوخت یا خطا در اندازه‌گیری آلاینده‌ها توضیح داده شود.

در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، بالاترین میانگین غلظت سالیانه ذرات معلق به غیر از ازن، برای ایستگاه راسته کوچه ( $PM_{10}$ :  $81/2 \mu g/m^3$ ،  $PM_{2.5}$ :  $31/4 \mu g/m^3$ ) مشاهده شد.

داشت که عمدتاً به دلیل مصرف مولکول ازن توسط واکنش با مولکول مونوکسید نیتروژن که نهایتاً سبب رسوب در سطح و مصرف آن در طی واکنش‌های شیمیایی می‌شود. از آنجایی که هیچ تابش خورشیدی در این دوره وجود ندارد، مولکول ازن جدیدی تشکیل نشده و افت شدید غلظت ازن ایجاد می‌شود. با این حال، همانطور که در نمودار ۱ نشان داده شده است می‌توان اوج ثانویه کمتری در ساعت ۳ صبح مشاهده کرد که از آنجایی که مولکول ازن جدیدی تشکیل نمی‌شود این اوج شبانه فقط از طریق حمل و نقل (افقی و عمودی) هوا در اتمسفر از مناطق دیگر توضیح داد (۱، ۱۹).

اگزوز خودروها و آلاینده‌های صنعتی موجب گسترش گازهای NOx (نیتروژن مونوکسید و نیتروژن دی‌اکسید) و همچنین ترکیب‌های آلی فرار (VOC) می‌شوند. NOx و VOC با انجام واکنش شیمیایی با اکسیژن در طی یک روز آفتابی و خشک که معمولاً اواسط تابستان یا اوایل پاییز است موجب تشکیل ازن تروپوسفری می‌شوند. این اتفاق در بعد از ظهرها به اوج خود می‌رسد و در اوایل غروب و ابتدای شب کمتر دیده شده است. نور خورشید با شکستن مولکول‌های نیتروژن دی‌اکسید، اتم‌های O را پدید می‌آورد که آنها نیز به نوبه خود با حمله به مولکول‌های  $O_2$  موجود در محیط تروپوسفر مولکول‌های  $O_3$  را ایجاد می‌کنند. از طرفی مولکول مونو اکسیدنیتروژن می‌تواند با ازن واکنش دهد تا دوباره  $NO_2$  تشکیل شده و این چرخه ادامه یابد. از دلایل احتمالی غلظت‌های بالاتر ازن در آخر هفته نسبت به روزهای هفته می‌توان به کاهش قابل توجه انتشارات NO در آخر هفته که وجود آن سبب واکنش با ازن و تخریب آن می‌شود و کاهش غلظت ذرات با کاهش تعداد وسایل نقلیه در آخر هفته اشاره کرد که به عنوان اثرات آخر هفته شناخته می‌شوند (۱، ۱۹). همچنین شکل‌گیری  $O_3$  با کاهش تابش اشعه ماوراء بنفش یا پراکندگی نور توسط ذرات  $PM_{2.5}$  تضعیف می‌شوند از آنجایی که مقادیر این ذرات در آخر هفته کم می‌شود بیشترین مقدار غلظت  $O_3$  در روزهای جمعه می‌تواند مربوط به کاهش غلظت ذرات  $PM_{2.5}$  باشد (۱).

آنالیز نتایج بررسی روند تغییرات غلظت آلاینده‌های  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$  و  $O_3$  در طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶ نشان می‌دهد

برطرف کند (۹، ۳۷). هرچند، به دلیل کمبود فضای خالی در محدوده مرکز شهر تبریز، توسعه فضای سبز بسیار سخت است؛ بنابراین سایر سیاست‌های مدیریت، مدیریت ترافیک شهری و حمل و نقل، باید در استراتژی‌های میان مدت یا بلند مدت برای کاهش آلودگی هوا قرار گیرد. متداول‌ترین روش‌های مدیریت می‌تواند ادغام کاربری اراضی، توسعه خدمات الکترونیکی، ادغام و انتقال واحدهای مختلف آژانس‌های دولتی به اماکن با ترافیک کمتر باشد.

### نتیجه‌گیری

این مطالعه به منظور بررسی روندهای زمانی بلندمدت و تغییرات مکانی غلظت آلاینده‌های  $O_3$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $PM_{10}$  در شهر تبریز بین سال‌های ۸۵ و ۹۶ انجام شد و نشان داد که با وجود روند کاهشی در غلظت  $PM_{10}$ ، در طی مقایسه با رهنمود سالانه سازمان بهداشت جهانی ( $20 \mu g/m^3$ ) در وضعیت بسیار نامطلوبی قرار داشته است. همچنین مقایسه میانگین روزانه  $PM_{10}$  در طی ماه‌های مختلف نشان داد که در  $7/79$  و  $3/70$  درصد روز در ماه‌های خرداد و تیر به عنوان آلوده‌ترین ماه‌ها، مقدار  $PM_{10}$  بالاتر از حد رهنمود سازمان بهداشت جهانی بود و  $3/35$  و  $24$  درصد روز در ماه‌های دی و بهمن، به عنوان آلوده‌ترین ماه‌ها، مقادیر  $PM_{2.5}$  بالاتر از حد رهنمود سازمان بهداشت جهانی بود. این مطالعه همچنین غلظت‌های بالاتر  $PM_{2.5}$  را در ماه‌های سرد سال و غلظت‌های بالاتر  $PM_{10}$  و  $O_3$  را در ماه‌های گرم سال نشان داد که این نتایج با شرایط هواشناسی محلی مطابقت دارند. در بررسی مابین ایستگاه‌ها نیز، ایستگاه راسته کوچه آلوده‌تر از بقیه ایستگاه‌ها بود.

بنابراین، سیاست‌ها و استراتژی‌های کنترل پایدار مانند اجرای تکنیک‌های متداول مدیریت تقاضا، یعنی یکپارچه سازی کاربری زمین، دورکاری، توسعه خدمات الکترونیکی، ادغام و انتقال واحدهای مختلف سازمان‌های دولتی به مکان‌هایی با تردد کمتر، کدگذاری مقررات زیست محیطی موثر، توسعه سیستم‌های حمل و نقل عمومی، افزایش امکانات پارکینگ، کنترل انتشار گازهای صنعتی، بهبود کیفیت سوخت، استفاده

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، ایستگاه راسته کوچه در مرکز شهر واقع شده و مرکز شهر به دلیل اینکه یک مرکز تجاری محسوب می‌شود به دلیل تردد حجم انبوهی از خودروها در اکثر ساعات روز از ترافیک سنگینی برخوردار هستند که این مسئله باعث افزایش غلظت آلاینده‌ها در مرکز شهر می‌شود. فاکتور مهم دیگر در آلودگی این قسمت از شهر (ایستگاه راسته کوچه) جمعیت زیاد در طول روز در این منطقه است که در طول ساعات روز به سمت خود جذب می‌کند که باعث تشدید آلودگی هوا در این منطقه می‌شود. یکی دیگر از فاکتورهای مهم در آلودگی قسمت مرکزی شهر کمبود فضای سبز در این قسمت از شهر است که با توجه به جمعیت زیاد این منطقه در مقایسه با مناطق دیگر شهر تبریز و موقعیت جغرافیایی بوده که نیاز مبرم برای ایجاد انواع فضای سبز در این منطقه است.

با مقایسه حداکثر میانگین ۸ ساعته  $O_3$  بین کل ایستگاه‌های پایش مشخص شد که بالاترین مقدار در ایستگاه راه آهن ثبت شده است. در حالی که کمترین مقدار مربوط به ایستگاه باغ شمال بود. به دلیل قرار گرفتن ایستگاه راه آهن در حومه شهر، فاصله از مرکز شهر و کم بودن میزان ترافیک در منطقه و به تبع آن غلظت کم  $NO$  و تاثیر قابل توجه  $NO$  بر  $O_3$ ، غلظت  $O_3$  در ایستگاه راه آهن بالاترین در بین همه ایستگاه‌ها بود.

لازم به ذکر است که با وجود طراحی قسمت‌هایی از تبریز، به ویژه خیابان‌های مرکزی و ترافیک پر حجم، به عنوان منطقه کم انتشار ((Low Emission Zone (LEZ)، هیچ گونه سخت گیری برای جلوگیری از ورود وسایل نقلیه شخصی در منطقه وجود ندارد. در نتیجه با توجه به ورود اتومبیل‌های شخصی به منطقه LEZ، حجم ترافیک افزایش یافته و در نهایت انتشار آلاینده‌های هوا در مناطق یاد شده شدت گرفته است. رعایت مقررات LEZ می‌تواند با کاهش ترافیک، انتشار آلاینده‌های هوا در این مناطق را کنترل کند.

همچنین، افزایش فضای سبز شهری و نگهداری آنها از دیگر راهکارهای مؤثر است که می‌تواند با روش‌های مختلفی از جمله حذف مستقیم آلاینده‌های هوا، تغییر ریزگردهای محلی، ایجاد انرژی و غیره، مشکلات آلودگی هوا در شهرها را کاهش داده و

## تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان نامه با عنوان "بررسی روند تغییرات مکانی - زمانی آلودگی هوای شهر تبریز طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۸۵ و برآورد تعداد موارد مرگ منتسب به آن" در مقطع کارشناسی ارشد است که با حمایت معاونت پژوهشی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تبریز در قالب طرح پژوهشی به شماره (۹۶-۱۰-۱۴-۵۸۵۵۹) اجرا شده است. همچنین نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از اداره محیط زیست تبریز برای ارائه داده‌های ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا در تبریز اعلام می‌نمایند.

از انرژی پاک و برچیدن ناوگان فرسوده تاکسی و اتوبوس می‌تواند برای پیشگیری و کاهش آلودگی هوای تبریز مفید باشد. ناپایداری توسعه شهری و صنعتی کشور در سال‌های گذشته نیز یکی از میراث‌های ناخوشایندی است که در ابعاد و گستره وسیعی محیط زیست شهری کشور، به ویژه شهرهای بزرگ را متاثر کرده است.

## ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. کد اخلاق IR.TBZMED.REC.1396.817 است.

## References

1. Faridi S, Shamsipour M, Krzyzanowski M, Künzli N, Amini H, Azimi F, et al. Long-term trends and health impact of PM<sub>2.5</sub> and O<sub>3</sub> in Tehran, Iran, 2006–2015. *Environment International*. 2018;114:37-49.
2. Kalajahi MJ, Khazini L, Rashidi Y, Heris SZ. Development of Reduction Scenarios Based on Urban Emission Estimation and Dispersion of Exhaust Pollutants from Light Duty Public Transport: Case of Tabriz, Iran. *Emission Control Science and Technology*. 2020;6(1):86-104.
3. Wang X-K, Lu W-Z. Seasonal variation of air pollution index: Hong Kong case study. *Chemosphere*. 2006;63(8):1261-72.
4. Hassanvand MS, Naddafi K, Faridi S, Arhami M, Nabizadeh R, Sowlat MH, et al. Indoor/outdoor relationships of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, and PM<sub>1</sub> mass concentrations and their water-soluble ions in a retirement home and a school dormitory. *Atmospheric Environment*. 2014;82:375-82.
5. Hassanvand MS, Naddafi K, Faridi S, Nabizadeh R, Sowlat MH, Momeniha F, et al. Characterization of PAHs and metals in indoor/outdoor PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>1</sub> in a retirement home and a school dormitory. *Science of the Total Environment*. 2015;527:100-10.
6. Naddafi K, Hassanvand MS, Yunesian M, Momeniha F, Nabizadeh R, Faridi S, et al. Health impact assessment of air pollution in megacity of Tehran, Iran. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*. 2012;9(1):1-7.
7. Amiri R, Weng Q, Alimohammadi A, Alavipanah SK. Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran. *Remote Sensing of Environment*. 2009;113(12):2606-17.
8. Azarafza M, Ghazifard A. Urban geology of Tabriz City: Environmental and geological constraints. *Advances in Environmental Research (AER): An International Journal*. 2016;5(2):95-108.
9. Parsa VA, Salehi E, Yavari AR, van Bodegom PM. Analyzing temporal changes in urban forest structure and the effect on air quality improvement. *Sustainable Cities and Society*. 2019;48:101548.
10. Feizizadeh B, Haslauer EM. GIS-based procedures of hydropower potential for Tabriz basin, Iran.

- Proceedings of the GI\_Forum; 2012; Salzburg.
11. Feizizadeh B, Blaschke T. Land suitability analysis for Tabriz County, Iran: a multi-criteria evaluation approach using GIS. *Journal of Environmental Planning and Management*. 2013;56(1):1-23.
  12. Melkonyan A, Kuttler W. Long-term analysis of NO, NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> concentrations in North Rhine-Westphalia, Germany. *Atmospheric Environment*. 2012;60:316-26.
  13. Song C, He J, Wu L, Jin T, Chen X, Li R, et al. Health burden attributable to ambient PM<sub>2.5</sub> in China. *Environmental Pollution*. 2017;223:575-86.
  14. Barrero M, Orza J, Cabello M, Cantón L. Categorisation of air quality monitoring stations by evaluation of PM<sub>10</sub> variability. *Science of The Total Environment*. 2015;524:225-36.
  15. Vuorenmaa J, Augustaitis A, Beudert B, Bochenek W, Clarke N, de Wit HA, et al. Long-term changes (1990–2015) in the atmospheric deposition and runoff water chemistry of sulphate, inorganic nitrogen and acidity for forested catchments in Europe in relation to changes in emissions and hydrometeorological conditions. *Science of The Total Environment*. 2018;625:1129-45.
  16. Cerro J, Cerda V, Pey J. Trends of air pollution in the Western Mediterranean Basin from a 13-year database: A research considering regional, suburban and urban environments in Mallorca (Balearic Islands). *Atmospheric Environment*. 2015;103:138-46.
  17. Ahmed E, Kim K-H, Shon Z-H, Song S-K. Long-term trend of airborne particulate matter in Seoul, Korea from 2004 to 2013. *Atmospheric Environment*. 2015;10.125:33-41.
  18. Ye W-F, Ma Z-Y, Ha X-Z. Spatial-temporal patterns of PM<sub>2.5</sub> concentrations for 338 Chinese cities. *Science of The Total Environment*. 2018;631:524-33.
  19. Carvalho VSB, Freitas ED, Martins LD, Martins JA, Mazzoli CR, de Fátima Andrade M. Air quality status and trends over the Metropolitan Area of São Paulo, Brazil as a result of emission control policies. *Environmental Science & Policy*. 2015;47:68-79.
  20. 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.
  21. Kamani H, Hassanvand MS, Khammari A, Haghghat S. Trend of ambient air particulate matter with aerodynamic diameter of 2.5 μm and smaller in Zahedan city in 2018-2019. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2021;13(4):639-52 (in Persian).
  22. Li R, Cui L, Li J, Zhao A, Fu H, Wu Y, et al. Spatial and temporal variation of particulate matter and gaseous pollutants in China during 2014–2016. *Atmospheric Environment*. 2017;161:235-46.
  23. Li L, Qian J, Ou C-Q, Zhou Y-X, Guo C, Guo Y. Spatial and temporal analysis of Air Pollution Index and its timescale-dependent relationship with meteorological factors in Guangzhou, China, 2001-2011. *Environmental Pollution*. 2014;190:75-81.
  24. Chen T, He J, Lu X, She J, Guan Z. Spatial and temporal variations of PM<sub>2.5</sub> and its relation to meteorological factors in the urban area of Nanjing, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2016;13(9):921.
  25. Guo H, Wang Y, Zhang H. Characterization of criteria air pollutants in Beijing during 2014–2015. *Environmental Research*. 2017;154:334-44.
  26. Wang Y, Ying Q, Hu J, Zhang H. Spatial and temporal variations of six criteria air pollutants in 31 provincial capital cities in China during 2013–2014. *Environment International*. 2014;73:413-22.
  27. Chai F, Gao J, Chen Z, Wang S, Zhang Y, Zhang J, et al. Spatial and temporal variation of particulate matter and gaseous pollutants in 26 cities in China.

- Journal of Environmental Sciences. 2014;26(1):75-82.
28. Song Y, Wang X, Maher BA, Li F, Xu C, Liu X, et al. The spatial-temporal characteristics and health impacts of ambient fine particulate matter in China. *Journal of Cleaner Production*. 2016;112:1312-18.
29. Chen W, Tang H, Zhao H. Diurnal, weekly and monthly spatial variations of air pollutants and air quality of Beijing. *Atmospheric Environment*. 2015;119:21-34.
30. Martins NR, Da Graca GC. Impact of PM<sub>2.5</sub> in indoor urban environments: A review. *Sustainable Cities and Society*. 2018;42:259-75.
31. Safavy S, Mousavi M, Dehghanzadeh Reihani R, Shakeri M. Seasonal and spatial zoning of air quality index and ambient air pollutants by Arc-GIS for Tabriz city and assessment of the current executive problem. *Journal of Health*. 2016;7(2):158-77.
32. Zhao S, Yu Y, Yin D, He J, Liu N, Qu J, et al. Annual and diurnal variations of gaseous and particulate pollutants in 31 provincial capital cities based on in situ air quality monitoring data from China National Environmental Monitoring Center. *Environment international*. 2016;86:92-106.
33. Ou J, Zheng J, Li R, Huang X, Zhong Z, Zhong L, et al. Speciated OVOC and VOC emission inventories and their implications for reactivity-based ozone control strategy in the Pearl River Delta region, China. *Science of the Total Environment*. 2015;530:393-402.
34. Lacressonnière G, Foret G, Beekmann M, Siour G, Engardt M, Gauss M, et al. Impacts of regional climate change on air quality projections and associated uncertainties. *Climatic Change*. 2016;136(2):309-24.
35. Wang X, Shen Z, Cao J, Zhang L, Liu L, Li J, et al. Characteristics of surface ozone at an urban site of Xi'an in Northwest China. *Journal of Environmental Monitoring*. 2012;14(1):116-26.
36. Shahsavani A. Chemical & physical characterization, size distribution of air particles in Khuzestan dust storm and identification of affection Petroleum mulching method in its control [dissertation]. Tehran: Tehran University of Medical Science; 2012:21-45 (in Persian).
37. Nowak DJ, Hirabayashi S, Doyle M, McGovern M, Pasher J. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2018;29:40-48.



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

Original Article



## Spatiotemporal trend of ambient air particulate matter with aerodynamic diameter less than 2.5 and 10 $\mu\text{m}$ and ozone in Tabriz city, Iran, during 2006–2017

Vahideh Barzeghar<sup>1,2</sup>, Akbar Gholampour<sup>1,2,\*</sup>, Mohammad Sadegh Hassanvand<sup>3,4</sup>

1- Health and Environment Research Center, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

2- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

3- Center for Air Pollution Research, Institute for Environmental Research, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

4- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 14 August 2021

**Revised:** 19 September 2021

**Accepted:** 22 September 2021

**Published:** 22 September 2021

**Keywords:** Air pollution, Spatio-temporal variations, Particulate matter, Ozone, Tabriz

**\*Corresponding Author:**

ak.golampour@gmail.com

### ABSTRACT

**Background and Objective:** This study was conducted to investigate the long-term temporal trends and spatial variations of ambient  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{O}_3$ , concentrations in Tabriz city during the years 2006-2017.

**Materials and Methods:** Real-time hourly concentrations of  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{O}_3$  measured at nine air quality monitoring stations (AQMSs) were obtained from the Tabriz Department of Environment (TDoE) during 2006-2017 and analyzed. Spatial and temporal variations of pollutants using the Mann-Kendall's test and Moran's I index were analyzed.

**Results:** The results of this study showed that the annual trend of  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  was decreasing but remained almost constant for  $\text{O}_3$  during the study period. During some of the studied days,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  levels were exceeded greater than the WHO AQG and National standard levels. Moreover, the highest monthly mean concentrations of  $\text{PM}_{10}$  in October ( $80.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ),  $\text{PM}_{2.5}$  in January ( $42.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and  $\text{O}_3$  in June ( $77.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) were observed. Comparison between the stations indicated that the Raste Kuche station was more polluted than other stations.

**Conclusion:** Effective control planning and implementation policies are essential to improve the air quality of the Tabriz environment. Hence, information provided in this research can be used as a key step for city managers, policymakers, and health officials to reduce the health impacts of air pollution.

Please cite this article as: Barzeghar V, Gholampour A, Hassanvand MS. Spatiotemporal trend of ambient air particulate matter with aerodynamic diameter less than 2.5 and 10  $\mu\text{m}$  and ozone in Tabriz city, Iran, during 2006–2017. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2021;14(2):261-84.

