

## تحلیل زمانی- مکانی آلودگی های خطرناک شهر تبریز با تأکید بر PM<sub>10</sub>

علی محمد خورشیددوست\* - استاد گروه آب‌وهواشناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز  
خلیل ولی‌زاده کامران - استادیار گروه سنجش از دور، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز  
علی قاسمی بگتاش - دکتری آب‌وهواشناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۲۸

### چکیده

در مطالعه حاضر به تحلیل زمانی- مکانی آلودگی های خطرناک کلان‌شهر تبریز با تأکید بر PM<sub>10</sub> پرداخته شده است. بدین منظور، از داده‌های آلودگی PM<sub>10</sub> سازمان حفاظت محیط زیست تبریز پنج ایستگاه- باغشمال، راه‌آهن، راسته‌کوچه، آبرسان، و حکیم نظامی- طی دوره آماری هشت‌ساله (۲۰۰۵-۲۰۱۲) استفاده شد. در این مطالعه، روز خطرناک روزی تلقی می‌شود که مقدار PM<sub>10</sub> آن بیشتر از ۴۲۰ میکروگرم بر متر مکعب باشد. روش کار بدین شرح است: پس از تنظیم ماتریس داده‌ها، روزهای حدی با آلودگی خطرناک PM<sub>10</sub> بیشتر از ۴۲۰ میکروگرم بر متر مکعب در طی دوره آماری هشت‌ساله (۲۰۰۵-۲۰۱۲) تفکیک و پس از فیلترگذاری از نظر زمانی- مکانی تجزیه و تحلیل شد. نتایج حاصل از تحلیل فراوانی PM<sub>10</sub> نشان می‌دهد که در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه بیشترین رخداد فراوانی PM<sub>10</sub> در تابستان (ماه اوت) بوده است و بی‌شک سیطره پرفشار جنب حاره، به دلیل تشکیل لایه‌های حرارتی بر روی ایران، در افزایش آلودگی های خطرناک تابستانه تبریز نقش مؤثری دارد. در فصل زمستان در بیشتر ایستگاه‌ها رخداد آلودگی های خطرناک PM<sub>10</sub> به کمترین مقدار خود رسیده است. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه باغشمال و آبرسان دارای بیشترین آلودگی خطرناک PM<sub>10</sub> هستند.

کلیدواژه‌ها: تبریز، تواتر، روزهای خطرناک، شاخص آلودگی PM<sub>10</sub>

### مقدمه

موضوع آ‌وهوای شهری در سال‌های اخیر بسیار گسترش یافته است. آب‌وهواشناسی شهری به تأثیر دخالت انسان در محیط زیست توجه دارد. طی دهه‌های گذشته به موازات افزایش شتاب‌زده جمعیت، سهم جمعیت شهری نسبت به کل جمعیت کشورها به‌سرعت افزایش یافته و توسعه شهری را در مسیرهای نسنجیده و غیرمنطقی قرار داده است (شکویی، ۱۳۵۸). مهاجرت انسان‌ها به شهرها همراه تراکم و فشردگی واحدهای مسکونی و محدودیت جا و فضا، سر و صدای وسایل نقلیه شهری، خطرهای ناشی از آلودگی هوا و پیامدهای آن انسان را به بیماری‌های گوناگونی از قبیل آسم، برونشیت، بیماری‌های قلبی- عروقی، و سرطان پوست مبتلا کرده است (خورشیددوست، ۱۳۹۳). مسئله آلودگی از مسائل مهم در بررسی‌های آ‌وهوایی است؛ مسئله‌ای که در سلامت موجودات زنده یک منطقه تأثیر زیادی دارد و امروزه یکی از موضوعات مهم مطرح در آ‌وهوای شهری است. دانش آب‌وهواشناسی توجه و تأکید بسیار زیادی در بررسی تأثیرات آلاینده‌های جوی بر ویژگی‌های آ‌وهوایی و برعکس دارد (اصیلیان و همکاران، ۱۳۸۵).  
به طور کلی، آلودگی هوا عبارت است از: وجود یک یا چند آلوده‌کننده مانند گرد و غبار، گازها، بو، دود، بخارات در هوای

آزاد با کمیته‌ها و ویژگی‌های مختلف که برای زندگی انسان، گیاه یا حیوان خطرناک و برای اموال مضر است یا محل استفاده راحت از زندگی و اموال است (روشن و همکاران، ۱۳۸۸). برهم‌کنش حرکات بزرگ‌مقیاس جو با حرکات کوچک‌مقیاس محلی همواره رخ می‌دهد. شرایط جوی بزرگ‌مقیاس (همدید) نقش کنترل‌کننده‌ای در شرایط محلی و منطقه‌ای دارد. مثلاً، به هنگام فعالیت سامانه‌های کم‌فشار دینامیکی، جریان‌ها و پدیده‌های محلی (مانند بادهای کوه به دشت و آلودگی هوا) حذف یا بسیار ضعیف می‌شود و در زمان استقرار سامانه‌های پرفشار شرایط مناسبی برای وقوع این پدیده‌ها مهیا می‌شود. شدت و دوره این پدیده‌ها به عوامل متعددی از جمله عوارض زمینی، شرایط جغرافیایی، و الگوهای همیدی حاکم بستگی دارد (لندز برگ، ۱۹۸۱). یکی از مقوله‌های بارز آلودگی هوا انباشت آلودگی در کلان‌شهرهاست. جمعیت شهری جهان در پنجاه سال اخیر به میزان ۲/۷ درصد در سال افزایش یافته است. در مقابل، جمعیت کل جهان با متوسط ۱/۸ درصد در سال افزایش یافته است. این مسائل بر اهمیت جهانی کلان‌شهرها افزوده است، بنابراین رشد آن‌ها برای کیفیت هوای جهان و مشکلات اقلیم مهم است. کاهش کیفیت هوا در مناطق پرتراکم شهری بزرگ اثرهای مهمی در بهداشت و سلامتی انسان گذارده است که به افزایش شیوع بیماری‌ها و مرگ‌ومیر، افت کیفیت هوای منطقه‌ای و شهری، و در نتیجه تأثیر سوء بر روی اقلیم زمین منجر شده است. از آنجا که پیش‌بینی می‌شود تولیدات صنعتی و رشد اقتصادی افزایش یابد، انتشار آلاینده‌های هوا نیز در اتمسفر افزایش خواهد یافت؛ بنابراین نیاز مبرم به مطالعه خصوصیات آلودگی هوا، دینامیک ذرات، و انتقال آن‌ها در اتمسفر در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف خواهد بود. تغییرپذیری مکانی و زمانی آلاینده‌های هوا موضوع مطالعات زیادی بوده است. علاوه بر این، ضروری است که آلودگی هوا در انباشت‌های شهری نیز بررسی شود (لازاریدیس، ۲۰۱۱). متخصصان با دیدگاه‌های گوناگون به بررسی آلودگی هوا پرداخته‌اند؛ به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. مک‌گریگور و بامزلیس (۱۹۹۵)، ضمن بررسی برخی متغیرهای هواشناسی، از جمله رطوبت، ابرناکی، دید، سرعت باد، و تابش مربوط به سطح زمین، استقرار الگوهای واچرخندی را مهم‌ترین عامل مرتبط با افزایش آلودگی تشخیص دادند. سانچز-کویلو و فاطیما اندراد (۲۰۰۲) به مطالعه شرایط هواشناختی و تأثیر آن در تمرکز آلودگی هوا در سائوپائولو و برزیل و ارزیابی ارتباط سیستم‌های هواشناختی با غلظت آلاینده‌ها پرداختند و نتیجه گرفتند که مقادیر زیاد غلظت آلاینده‌ها در این منطقه تحت تأثیر سیستم‌های پرفشار جنب حاره اطلس جنوبی است. در همین زمینه، کیم اون و همکاران (۲۰۰۵) الگوهای آب‌وهواشناسی را برای پیش‌بینی پتانسیل آلودگی هوا در منطقه‌ای کوهستانی و دره‌ای شکل در کشور تایوان طبقه‌بندی کردند و نشان دادند که این روش در پیش‌بینی شرایط آلوده کاربرد مناسبی دارد. ماکرا و همکاران (۲۰۰۷) رابطه میان الگوهای جوی بزرگ‌مقیاس و سطوح آلودگی هوا را در پچلی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که افزایش غلظت آلاینده‌ها در زمان استقرار سامانه‌های واچرخندی همراه با پُراارتفاع تراز میانی جو رخ می‌دهد و این شرایط بیشتر در فصل زمستان مؤثر است؛ اما کاهش غلظت آلاینده‌ها، علاوه بر زمان فعالیت سامانه‌های چرخندی، به هنگام استقرار پُراارتفاع تراز میانی جو نیز می‌تواند رخ دهد. سهرابی‌نیا و خورشیددوست (۲۰۰۷) به امکان‌سنجی داده‌های مودیس جهت پایش آلودگی هوا در شهر تهران پرداختند. در این مطالعه از داده‌های ضخامت نوری مودیس استفاده شده است. زوار رضا و همکاران (۲۰۱۰) با مدل TAPM ارتباط بین تراکم ذرات معلق و الگوهای جوی حاکم در شهر تهران را ارزیابی کردند و به این نتیجه دست یافتند که بیشترین تمرکز آلاینده‌ها در زمان‌های صبح و عصر است که از الگوی ترافیک پیروی می‌کند. همچنین، می‌توان به وسیله این مدل به شبیه‌سازی آلودگی هوا و الگوهای هواشناسی متوسط‌مقیاس پرداخت. خدیرا و تارک خدیر (۲۰۱۲) تأثیر پارامترهای اقلیمی را در میزان غلظت آلاینده‌های هوا با استفاده از الگوریتم K-mean و شبکه عصبی مصنوعی در منطقه آنبای الجزایر بررسی کردند. در داخل کشور نیز متخصصان به مطالعه در حوزه آلودگی هوا پرداخته‌اند؛ به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود: عزتیان (۱۳۸۶) به بررسی تأثیر عوامل اقلیمی بر روی شاخص کیفیت هوا در شهر اصفهان با استفاده از نقشه‌های همدید پرداخت و به این نتیجه رسید که استقرار الگوهای واچرخندی با فشار مرکزی بالاتر از ۱۰۲۰ هکتوپاسکال روی شهر اصفهان در دوره سرد سال بیش از دیگر سامانه‌های جوی در افزایش آلودگی هوای شهر تأثیر دارند. عطایی و

سادات هاشمی‌نسب (۱۳۹۰) به شناسایی و تجزیه و تحلیل الگوهای تراز میانی جو مؤثر در آلودگی هوای شهر اصفهان با استفاده از داده‌های شاخص استاندارد آلودگی هوا<sup>۱</sup> (PSI) روزانه سه ایستگاه به پایش کیفیت آلودگی میدان لاله، آزادی، و بزرگ‌مهر طی سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۸۶ پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد که الگوهای گردشی تراز میانی جو تأثیر بسزایی در آلودگی هوای شهر اصفهان دارد. در دوره‌های سرد و گرم سال کانونی از پرفشارهای گسترده بر روی قلمروی وسیعی از ایران و به‌خصوص منطقه مورد مطالعه مشاهده شده که حضور این کانون پرفشار باعث پایداری و تراکم ذرات بر روی شهر اصفهان شده است. خورشیددوست و همکاران (۱۳۹۱) به تحلیل آماری میزان آزون در جو ایران پرداختند. نتایج تحلیل‌های آماری این تحقیق حاکی از تغییر میزان آزون در سری‌های زمانی ماهانه، فصلی، و سالانه است. عزتیان و سادات هاشمی‌نسب (۱۳۹۲)، با استفاده از داده‌های آب‌وهوایی ایستگاه همدید اصفهان و مقادیر آلاینده‌های سطح زمین ایستگاه‌های سنجش آلاینده‌های سازمان حفاظت محیط زیست، یک مدل آماری ارائه دادند که قادر به برآورد مقادیر قابل قبولی از آزون سطحی است. شمسی‌پور و همکاران (۱۳۹۲) به شبیه‌سازی الگوی پراکنش آلودگی هوای کلان‌شهر تهران در شرایط ورزش باد پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که شرایط ورزش باد، افزایش میزان انرژی جنبشی تلاطم ناشی از سرعت باد، و شرایط ناپایدار جوی با انتقال افقی آلاینده‌ها و ایجاد حرکات قائم‌فرازشی سبب تعدیل آلودگی می‌شود. رشد شتاب‌آلود جمعیت، مهاجرت‌های روستایی، گسترش کارخانه‌ها، تراکم وسایل نقلیه، شرایط توپوگرافی، و عوامل طبیعی تبریز را به صورت یکی از آلوده‌ترین شهرهای کشور ایران درآورده است. گذشته از عامل انسانی، عوامل جغرافیایی - نظیر موقعیت مکانی، توپوگرافی، و وارونگی دمایی - هم در تشدید آلودگی شهر تبریز مؤثرند. در شرایط فعلی، بدون شک، هرگونه توسعه شهری در صورتی که با درایت و احتیاط کامل اجرا نشود، بیش از پیش بر این معضلات خواهد افزود.

مروری بر پژوهش‌های انجام‌شده بیانگر آن است که یک برنامه مدون و سازمان‌یافته برای شناسایی جنبه‌های مختلف آلودگی هوای شهری در کشور وجود ندارد و تحقیقات انجام‌شده به صورت جزیره‌ای و بر اساس علایق شخصی پژوهشگران به انجام رسیده است. همچنین، بررسی تحقیقات انجام‌شده در رابطه با آلودگی هوا در شهر تبریز بیانگر آن است که، به‌رغم افزایش غلظت آلاینده‌های جوی و بروز پدیده آلودگی هوا در این شهر، پدیده یادشده در کلان‌شهر تبریز کمتر مورد توجه محققان قرار گرفته و به همین جهت جنبه‌های مختلف این معضل محیطی چه در مقیاس محلی و چه در مقیاس منطقه‌ای کمتر آشکار شده است. علاوه بر این، مروری بر تحقیقات انجام‌شده مبین آن است که بررسی جامعی در مورد نقش فرایندهای جوی و الگوهای منطقه‌ای گردش جو بر غلظت آلاینده کلان‌شهر تبریز به‌انجام نرسیده است. از آنجا که کیفیت هوای شهر را به طور توأمان منابع انتشار آلاینده‌ها و شرایط جوی حاکم تعیین می‌کنند و، در عین حال، دوره‌های آلودگی حاد در محیط شهری اساساً نتیجه تسلط شرایط جوی خاص یا الگوهای گردش جوی معینی است که از انتقال یا پخش آلاینده‌ها در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای ممانعت یا آن را کنترل می‌کنند، هدف از این پژوهش تحلیل زمانی - مکانی آلودگی‌های خطرناک شهر تبریز با تأکید بر PM<sub>10</sub> با استفاده از تأثیر برخی پارامترهای آب‌وهوایی در شدت و ضعف این آلودگی است.

## مواد و روش

ذرات معلق یا PM<sub>۲</sub> یکی از شاخص‌های آلودگی هواست که به وسیله ایستگاه‌های سنجش آلودگی نیز اندازه گرفته می‌شود. آنچه در مورد ذرات معلق و آلودگی هوا مهم است این است که ذرات معلق با قطر کوچک‌تر از ۱۰ میکرومتر (PM<sub>10</sub>) است. به هر ماده‌ای به‌جز آب خالص، که به صورت مایع یا جامد در اتمسفر تحت شرایط نرمال در اندازه میکروسکوپی یا کوچک‌تر اما بزرگ‌تر از ابعاد مولکولی (حدود ۲ آنگسترم) موجود باشد ذره معلق (PM) می‌گویند (صحرایی، ۱۳۹۰).

1. Pollutant Standards Index (PSI)  
2. particulate matter

تبریز، به‌عنوان بزرگ‌ترین شهر شمال غرب ایران و مرکز استان آذربایجان شرقی، قطب بازرگانی، صنعتی، سیاسی، و کانون ارتباطی شمال غرب ایران است. تبریز در ۶۳۵ کیلومتری غرب تهران، ۱۳۵ کیلومتری جنوب جلفا، و ۵ کیلومتری شمال غرب کوهستان سهند قرار دارد. وسعت تبریز حدود ۱۵۳۲۶/۷۱ هکتار است و از نظر موقعیت جغرافیایی بزرگ‌ترین شهر در ناحیه کلان‌شهری تبریز است. این شهر در عرض ۳۸ درجه و ۵ دقیقه و ۲۵ ثانیه شمالی و طول ۴۶ درجه ۱۷ دقیقه و ۵ ثانیه شرقی در جلگه شرقی دریاچه ارومیه در مسیر رودخانه آجی‌چای و محصور میان کوه‌های محلی از شمال و پیش کوه‌های سهند از جنوب است که کم‌ارتفاع‌ترین نقطه آن ۱۳۶۱ متر (در محل فرودگاه تبریز) است. ارتفاع متوسط این شهر حدود ۱۳۴۰ متر است. این شهر بزرگ‌ترین مرکز زیستی غرب کشور به‌شمار می‌رود (امیری و همکاران، ۱۳۸۶). امروزه، کلان‌شهر تبریز از شهرهای آلوده ایران است. تبریز بعد از دهه ۱۳۴۰ به‌عنوان یک شهر صنعتی مورد توجه قرار گرفت و صنایع مختلفی که در آن مکان‌یابی شد باعث گسترش بی‌رویه شهر شد. همچنین، در اثر مکان‌یابی نامناسب این مراکز صنعتی بر شدت آلودگی‌های جوی در شهر افزوده شده است. علاوه بر این، تبریز با دارا بودن جمعیت ۱۷۴۰۷۱۹ نفری و مراکز صنعتی مهمی نظیر نیروگاه حرارتی، مجتمع پتروشیمی، پالایشگاه، ماشین‌سازی و تراکتورسازی و ده‌ها کوره آجرپزی و غیره یکی از شهرهای آلوده کشور به‌شمار می‌رود (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰).

هدف از این مطالعه تحلیل زمانی- مکانی آلودگی‌های خطرناک کلان‌شهر تبریز با تأکید بر  $PM_{10}$  طی دوره آماری هشت‌ساله (۲۰۱۲-۲۰۰۵) تبریز برای پنج ایستگاه باغشمال، راه‌آهن، راسته‌کوچه، آبرسان، و حکیم نظامی است. همه این ایستگاه‌ها متعلق به اداره کل حفاظت محیط زیست استان آذربایجان شرقی است. چون داده‌های آلودگی هوا در سطح زمین حجم عظیمی از داده‌ها را شامل می‌شدند، از میان داده‌های روزانه ذرات معلق  $PM_{10}$  انتخاب شد و روزهای فرین آلوده فیلترگذاری شد و مقادیر حدی آلودگی هوای  $PM_{10}$  انتخاب شد. در مورد شاخص  $PM_{10}$  بر اساس جدول ۲ روزهایی با آلودگی‌های خطرناک شناسایی، بررسی، و تجزیه و تحلیل شد.

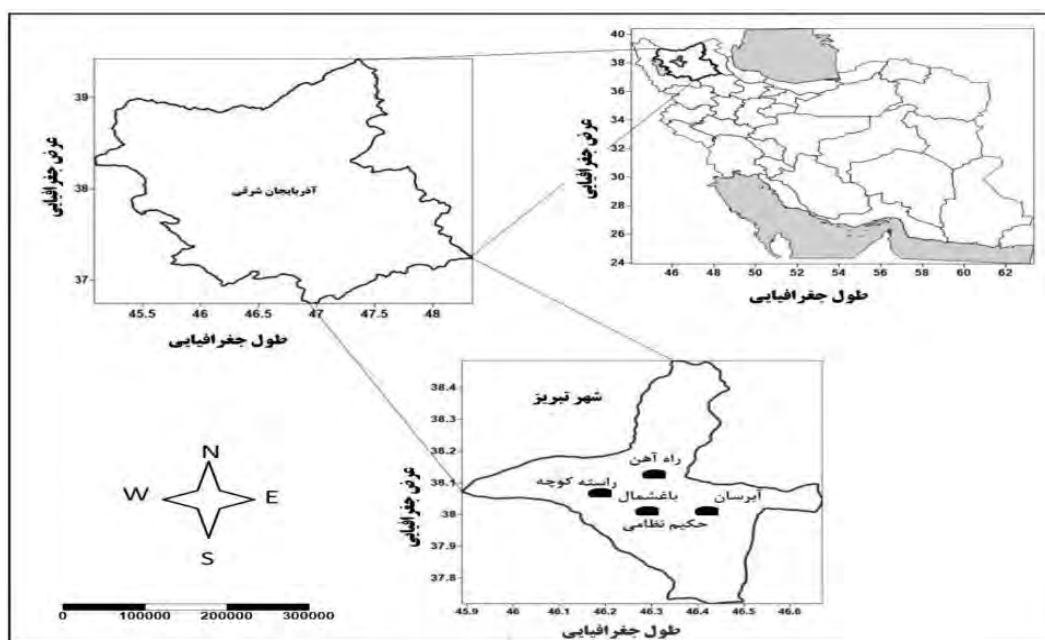
جدول ۱. مختصات ایستگاه‌های آلوده‌سنجی منطقه مورد مطالعه

نام ایستگاه آلوده‌سنجی	طول جغرافیایی			عرض جغرافیایی		
	ثانیه	دقیقه	درجه	ثانیه	دقیقه	درجه
حکیم نظامی	۴۸	۱۶	۴۶	۵۹	۰۲	۳۸
باغشمال	۴۷	۱۳	۴۶	۳۶	۰۳	۳۸
راه‌آهن	۴۷	۱۳	۴۶	۱۲	۰۴	۳۸
آبرسان	۱۲	۱۹	۴۶	۳۶	۰۳	۳۸
راسته‌کوچه	۲۳	۱۷	۴۶	۱۲	۰۴	۳۸

جدول ۲. طبقات غلظت آلاینده  $PM_{10}$  (بر حسب میکروگرم بر متر مکعب) منبع: USEP, A. 1998

شاخص	خوب	سالم	ناسالم	بسیار ناسالم	خطرناک
$PM_{10}$	۰-۵۰	۵۰-۱۵۰	۱۵۰-۳۵۰	۳۵۰-۴۲۰	>۴۲۰

شاخص مورد نظر در این تحقیق روزی است که مقدار  $PM_{10}$  آن از ۴۲۰ (میکروگرم بر متر مکعب) بزرگ‌تر باشد. پس از استخراج روزهای خطرناک، تواتر و تداوم زمانی و مکانی این روزها برای هر ایستگاه جداگانه بررسی و تجزیه و تحلیل شد. به منظور تجزیه و تحلیل آماری، از نرم‌افزار متلب و برای ترسیم نقشه‌ها از نرم‌افزار سورفر بهره گرفته شد.



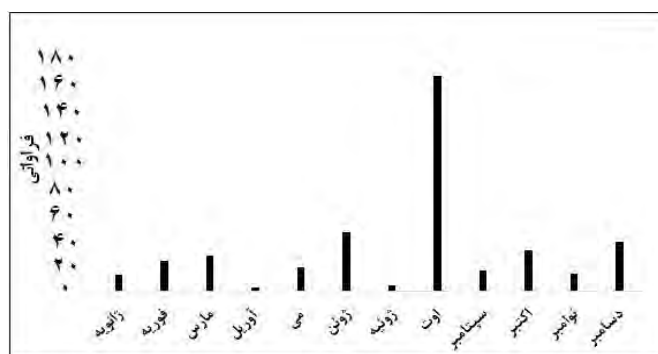
شکل ۱. ایستگاه‌های آلوده‌سنجی و محدوده کلان‌شهر تبریز در ایران و استان آذربایجان شرقی

### یافته‌های پژوهش

جدول ۳ فراوانی وقوع آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  را طی ماه‌های مختلف نشان می‌دهد. ماه اوت (مرداد) در همه سال‌ها دارای بیشینه فراوانی است و این وضعیت شاید به این دلیل باشد که غالباً در ایران در ماه‌های تابستان جو آرامی حاکم است و سیطره پُرفشار پویشی جنب حاره باعث تراکم آلودگی‌ها در شهرهای صنعتی شده است؛ چون در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل تابستان بیشترین رخداد آلودگی‌های خطرناک در ماه اوت بوده است و بی شک سیطره پُرفشار جنب حاره به سبب تشکیل لایه‌های حرارتی بر روی ایران در افزایش آلودگی‌های خطرناک تابستانه تبریز نقش مؤثری دارد. در مقابل، در فصل زمستان، در بیشتر ایستگاه‌ها رخداد آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  به کمترین مقدار رسیده است. این بدان علت است که در فصل زمستان به سبب ورود بادهای غربی به ایران و ریزش‌های جو میزان آلاینده‌های جوی به حداقل میزان خود می‌رسد. با وجود این، حداکثر فراوانی آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  با ۴۴ روز در ماه اوت (مرداد) در سال ۲۰۰۷ رخ داده است.

جدول ۳. فراوانی ماهانه آلودگی خطرناک  $PM_{10}$  ایستگاه باغشمال طی دوره هشت‌ساله (۲۰۰۵-۲۰۱۲)

سال	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۲۰۰۵	۰	۰	۹	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱۳	۱
۲۰۰۶	۰	۱	۰	۱	۰	۹	۳	۳۷	۰	۸	۰	۲۲
۲۰۰۷	۴	۰	۰	۱	۱۱	۰	۰	۴۴	۸	۰	۰	۰
۲۰۰۸	۲	۱	۰	۰	۱	۰	۲	۲۸	۰	۱	۰	۱۲
۲۰۰۹	۱	۰	۰	۱	۵	۱۶	۰	۳	۰	۰	۱	۲
۲۰۱۰	۱	۰	۱۷	۰	۰	۹	۰	۱۵	۶	۰	۰	۱
۲۰۱۱	۵	۲۰	۲	۰	۲	۱	۰	۱۷	۰	۵	۰	۰
۲۰۱۲	۰	۲	۰	۰	۰	۱۰	۰	۱۶	۲	۱۸	۰	۰



شکل ۲. فراوانی ماهانه آلودگی خطرناک PM<sub>10</sub> ایستگاه باغشمال طی دوره هشت ساله (۲۰۱۲-۲۰۰۵)

میزان آلاینده‌های جوی در کلان‌شهر تبریز در ماه‌های ژانویه (دی) تا مارس (اسفند) تقریباً ناچیز است. این در حالی است که هرچه به سمت فصل بهار و تابستان حرکت می‌کنیم آلودگی‌های خطرناک PM<sub>10</sub> افزایش محسوسی به خود می‌گیرد. در اواخر تابستان و اوایل پاییز، به سبب ورود بادهای غربی، فراوانی آلودگی‌های خطرناک PM<sub>10</sub> نسبت به فصل تابستان کاهش درخور توجهی دارد. بعد از ماه اوت (مرداد)، ماه ژوئن (خرداد) دارای بیشترین رخداد روزهای خطرناک PM<sub>10</sub> در ایستگاه باغشمال تبریز است. در ماه آوریل (فروردین) فراوانی رخداد آلودگی‌های خطرناک به کمتر از بیست روز رسیده است. نکته درخور توجه در این است که در ماه دسامبر (آذر) در فصل پاییز روزهای خطرناک یک شیب افزایشی قابل محسوسی را تجربه کرده است؛ این وضعیت را شاید بتوان به رخداد وارونگی‌های دمایی نسبت داد؛ در حالی که در این موقع از سال بادهای غربی از شمال غرب وارد ایران می‌شوند و باید آلاینده‌های جوی در تبریز کاهش یابند. ولی نه تنها کاهش نیافته، بلکه روند افزایشی داشته است (شکل ۲). جدول ۴ تداوم رخداد آلودگی‌های خطرناک PM<sub>10</sub> را در ایستگاه باغشمال نشان می‌دهد.

جدول ۴. رخداد آلودگی‌های خطرناک ناشی از ذرات معلق در ایستگاه باغشمال طی دوره هشت ساله (۲۰۱۲-۲۰۰۵)

احتمال وقوع	فراوانی	نوع تداوم
۰/۱۷۵۵۴	۱۷۸	تداوم دوازده روزه
۰/۱۴۳۰۰	۱۴۵	تداوم سه روزه
۰/۱۲۰۳۲	۱۲۲	تداوم چهار روزه
۰/۱۰۴۵۴	۱۰۶	تداوم پنج روزه
۰/۰۹۱۷۲	۹۳	تداوم شش روزه
۰/۰۷۹۸۸	۶۱	تداوم هفت روزه
۰/۰۷۰۲۰	۲۱	تداوم هشت روزه

تداوم دوازده روزه روزهای آلودگی خطرناک PM<sub>10</sub> در ایستگاه باغشمال در طی دوره هشت ساله مورد مطالعه (۲۰۱۲-۲۰۰۵) ۱۷۸ روز و با احتمال رخداد ۰/۱۷۵۵۴ است. هرچه به سمت تداوم‌های بالاتر نگاه کنیم، از فراوانی آن‌ها کاسته شده است و به تبع آن احتمال رخداد چنین تداوم‌هایی هم کمتر است. مثلاً، تداوم شش روزه روزهای آلودگی خطرناک PM<sub>10</sub> در ایستگاه باغشمال تبریز به ۹۳ روز و احتمال رخداد ۰/۰۹۱۷۲ رسیده است. تداوم هشت روزه این مقدار به ۲۱ روز و احتمال رخداد ۰/۰۷۰۲ رسیده است (جدول ۴).

## ایستگاه آبرسان

جدول ۵ فراوانی وقوع آلودگی‌های خطرناک PM<sub>10</sub> را طی ماه‌های مختلف در ایستگاه آبرسان نشان می‌دهد. همانند ایستگاه باغشمال، در ایستگاه آبرسان نیز بیشترین رخداد آلودگی‌های خطرناک PM<sub>10</sub> در ماه اوت رخ داده است. در این

ماه (اوت) به سمت سال‌های اخیر دوره مورد مطالعه (۲۰۱۲-۲۰۰۸) مقدار آلودگی‌های خطرناک در ایستگاه آبرسان افزایش محسوسی داشته است؛ به طوری که در سال ۲۰۱۲ در ماه اوت مقدار آلودگی‌های خطرناک به ۵۵ روز در سال رسیده است. این در حالی است که ماه‌های ژانویه، فوریه، ژوئیه، و نوامبر در ایستگاه آبرسان فاقد روزهایی با آلودگی خطرناک PM<sub>10</sub> بوده است (جدول ۵).

جدول ۵. فراوانی ماهانه آلودگی خطرناک PM<sub>10</sub> ایستگاه آبرسان طی دوره هشت‌ساله (۲۰۱۲-۲۰۰۵)

سال	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مئ	ژوئن	جولای	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۲۰۰۵	۰	۰	۱۷	۳۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۰۰۶	۰	۰	۱۲	۴۰	۰	۰	۵	۲	۰	۰	۰	۰
۲۰۰۷	۰	۰	۸	۱۰	۰	۰	۱۴	۰	۸	۰	۰	۰
۲۰۰۸	۰	۰	۶	۱۲	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰
۲۰۰۹	۰	۰	۰	۲۷	۰	۰	۲	۰	۰	۰	۰	۰
۲۰۱۰	۰	۰	۰	۴۴	۰	۰	۲	۱۰	۰	۰	۰	۰
۲۰۱۱	۰	۰	۰	۲۴	۰	۹	۳	۰	۰	۰	۰	۰
۲۰۱۲	۰	۰	۰	۵۵	۰	۱	۳	۰	۲	۰	۰	۰

شکل ۳ فراوانی مجموع آلودگی‌های خطرناک PM<sub>10</sub> را برای ایستگاه آبرسان نشان می‌دهد. بیشترین فراوانی رخداد آلودگی‌های خطرناک PM<sub>10</sub> مربوط به ماه‌های اوت و سپتامبر است. در ماه‌های آوریل و می فراوانی رخداد آلودگی‌های خطرناک PM<sub>10</sub> در ایستگاه آبرسان به کمتر از پنجاه روز در طول دوره آماری هشت‌ساله رسیده است (شکل ۳). جدول ۶ تداوم آلودگی خطرناک PM<sub>10</sub> ایستگاه آبرسان را همراه احتمال رخداد آن‌ها نشان می‌دهد. فراوانی تداوم دوروزه در ایستگاه آبرسان طی دوره هشت‌ساله مورد مطالعه (۲۰۱۲-۲۰۰۵) ۱۱۸ روز با احتمال رخداد ۰/۱۷۲۰ است که نسبت به ایستگاه باغشمال کاهش درخور توجهی داشته است. احتمال رخداد تداوم هشت‌روزه برای ایستگاه آبرسان به کمتر از بیست روز در سال رسیده است و احتمال رخداد آلودگی‌های خطرناک PM<sub>10</sub> برای تداوم هشت‌روزه به ۰/۰۶۴۱ رسیده است (جدول ۶).



شکل ۳. فراوانی ماهانه آلودگی خطرناک PM<sub>10</sub> ایستگاه آبرسان طی دوره هشت‌ساله (۲۰۱۲-۲۰۰۵)

جدول ۶. رخداد آلودگی‌های خطرناک ناشی از ذرات معلق در ایستگاه آبرسان طی دوره هشت‌ساله (۲۰۱۲-۲۰۰۵)

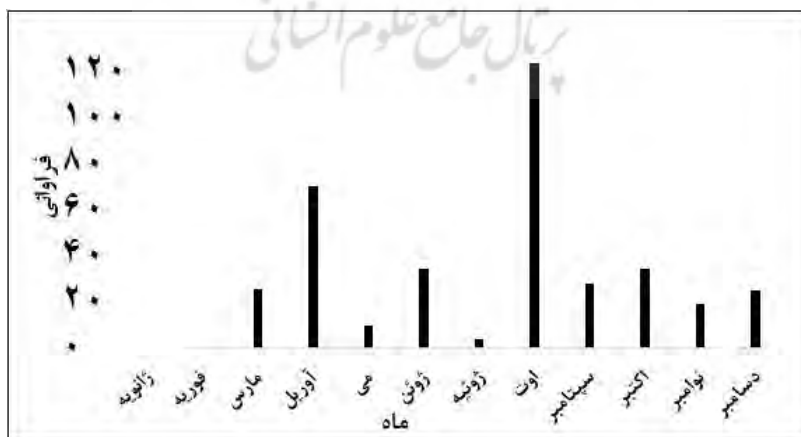
نوع تداوم	فراوانی	احتمال وقوع
تداوم دوروزه	۱۱۸	۰/۱۷۲۰
تداوم سه‌روزه	۱۰۳	۰/۱۵۰۱
تداوم چهارروزه	۸۹	۰/۱۲۹۷
تداوم پنج‌روزه	۷۷	۰/۱۱۲۲
تداوم شش‌روزه	۴۳	۰/۰۹۶۲
تداوم هفت‌روزه	۲۳	۰/۰۸۰۲
تداوم هشت‌روزه	۱۶	۰/۰۶۴۱

## ایستگاه حکیم نظامی

جدول ۷ فراوانی وقوع آلودگی ماهانه خطرناک  $PM_{10}$  را در ایستگاه حکیم نظامی نشان می‌دهد. بیشترین فراوانی رخداد آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  با ۶۱ روز در سال ۲۰۰۹ در ماه اوت رخ داده است. بعد از ماه اوت، ماه آوریل بیشترین رخداد آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  را در ایستگاه حکیم نظامی داشته است. همانند ایستگاه آبرسان، ماه ژانویه و فوریه فاقد رخداد آلودگی خطرناک بوده است. در فصل زمستان، به سبب ریزش‌های جوئی، این آلودگی‌ها به حداقل خود رسیده است. در آخرین ماه فصل زمستان و اوایل بهار فراوانی رخداد آلودگی‌ها افزایش محسوسی به خود می‌گیرد. در ماه ژوئن، رخداد آلودگی‌های خطرناک وضعیتی مشابه با ماه آوریل دارد که بیشترین رخداد آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  در ماه‌های آوریل، اوت، و اکتبر رخ داده است. در فصل پاییز، رخداد مجموع آلودگی‌های  $PM_{10}$  به طور متوسط به زیر چهل روز رسیده است. تداوم آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  ایستگاه حکیم نظامی نشان‌دهنده این است که تداوم‌های آلودگی خطرناک  $PM_{10}$  در ایستگاه حکیم نظامی نسبت به ایستگاه‌های باغشمال و آبرسان به شدت کاهش یافته است؛ به طوری که تداوم دوروزه در این ایستگاه با ۳۱ روز و احتمال رخداد ۰/۰۴۵۲ است. سایر تداوم‌ها، همانند تداوم دوروزه، کاهش درخور توجهی را نسبت به ایستگاه‌های دیگر تجربه کرده است و تداوم هشت‌روزه در این ایستگاه به چهار روز و احتمال رخداد ۰/۰۰۵۸ رسیده است (جدول ۸).

جدول ۷. فراوانی ماهانه آلودگی خطرناک  $PM_{10}$  ایستگاه حکیم نظامی طی دوره هشت‌ساله (۲۰۰۵-۲۰۱۲)

سال	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	م	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۲۰۰۵	۰	۰	۷	۹	۶	۲	۳	۰	۴	۰	۱۴	۰
۲۰۰۶	۰	۰	۱۴	۰	۰	۱۱	۰	۴	۰	۰	۰	۲۳
۲۰۰۷	۰	۰	۰	۱۹	۰	۰	۰	۱	۱۳	۰	۰	۰
۲۰۰۸	۰	۰	۱	۲	۱	۱	۰	۷	۰	۱	۰	۰
۲۰۰۹	۰	۰	۰	۶	۰	۳	۰	۶۱	۰	۰	۲	۰
۲۰۱۰	۰	۰	۲	۱۱	۲	۵	۱	۱۴	۷	۰	۰	۰
۲۰۱۱	۰	۰	۰	۰	۰	۹	۰	۲۴	۱	۵	۰	۰
۲۰۱۲	۰	۰	۰	۱۸	۰	۱	۰	۲۶	۱	۲۶	۱	۰

شکل ۴. فراوانی ماهانه آلودگی خطرناک  $PM_{10}$  ایستگاه حکیم نظامی طی دوره هشت‌ساله (۲۰۰۵-۲۰۱۲)



جدول ۸. رخداد آلودگی‌های خطرناک ناشی از ذرات معلق در ایستگاه حکیم نظامی طی دوره هشت‌ساله (۲۰۱۲-۲۰۰۵)

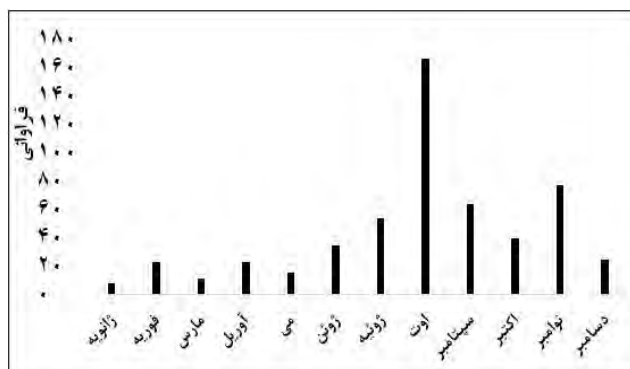
نوع تداوم	فراوانی	احتمال وقوع
تداوم دوروزه	۳۱	۰/۰۴۵۲
تداوم سه‌روزه	۲۴	۰/۰۳۵۰
تداوم چهارروزه	۱۷	۰/۰۲۴۸
تداوم پنج‌روزه	۱۱	۰/۰۱۶۰
تداوم شش‌روزه	۷	۰/۰۱۰۲
تداوم هفت‌روزه	۵	۰/۰۰۷۳
تداوم هشت‌روزه	۴	۰/۰۰۵۸

### ایستگاه راه‌آهن

جدول ۹ فراوانی آلودگی ماهانه خطرناک  $PM_{10}$  را در ایستگاه راه‌آهن نشان می‌دهد. ایستگاه راه‌آهن، در ماه ژانویه، در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷، به ترتیب هفت و یک روز آلودگی خطرناک  $PM_{10}$  را تجربه کرد و این برخلاف سایر ایستگاه‌هاست که در این ماه فاقد روزی با آلودگی خطرناک  $PM_{10}$  بوده‌اند. این آلودگی‌ها در ماه فوریه افزایش محسوسی داشته است و بیشترین رخداد آلودگی خطرناک  $PM_{10}$  با ده روز در سال ۲۰۰۹ رخ داده است. در فصل بهار، تقریباً شرایط مشابه با فصل زمستان اتفاق افتاده است؛ با این تفاوت که توزیع فراوانی‌ها کمی پراکنده‌تر شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت، در فصل تابستان شاهد بیشترین رخداد آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  هستیم؛ به طوری که همانند ایستگاه‌های دیگر در ماه اوت رخداد آلودگی‌های خطرناک به حداکثر رسیده است. مثلاً، در سال ۲۰۰۹، در ماه اوت، ۴۴ روز آلودگی‌های خطرناک اتفاق افتاده و در سال ۲۰۱۰ این آلودگی‌ها به ۴۸ روز در سال رسیده است (جدول ۹).

جدول ۹. فراوانی ماهانه آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  ایستگاه راه‌آهن طی دوره هشت‌ساله (۲۰۱۲-۲۰۰۵)

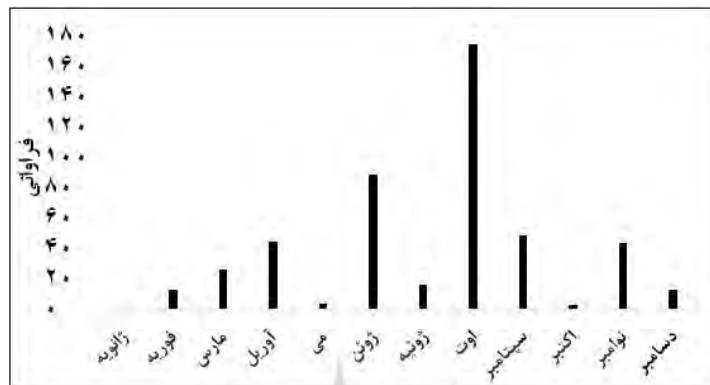
سال	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	م	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۲۰۰۵	۰	۰	۰	۱۶	۰	۰	۱۶	۷	۱۵	۵	۲	۱
۲۰۰۶	۷	۰	۲	۲	۰	۲	۵	۱	۷	۳	۸	۰
۲۰۰۷	۰	۲	۳	۱	۱	۲۶	۱۳	۰	۰	۰	۳۲	۰
۲۰۰۸	۱	۰	۴	۰	۱	۴	۷	۰	۰	۲	۱۷	۱۰
۲۰۰۹	۰	۱۰	۱	۰	۰	۱۴	۱	۴۴	۰	۱۳	۹	۱
۲۰۱۰	۰	۷	۰	۱	۱۱	۰	۱	۴۸	۲۸	۹	۲	۷
۲۰۱۱	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۶	۴	۷	۰	۱
۲۰۱۲	۰	۳	۰	۲	۱	۱۶	۰	۶	۸	۰	۵	۴



شکل ۵. فراوانی ماهانه آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  ایستگاه راه‌آهن طی دوره هشت‌ساله (۲۰۱۲-۲۰۰۵)



است. در مجموع، بیشترین فراوانی رخداد آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  در ماه اوت مشاهده شده است و رخداد آلودگی‌های خطرناک در این ماه به بالای ۱۶ روز رسیده است. در ماه ژوئن، آلودگی‌های خطرناک به کمتر از صد روز در سال رسیده است (جدول ۱۱). در فصل پاییز، رخداد آلودگی‌ها به‌طور پراکنده در بعضی از سال‌ها زیاد بوده است. مثلاً، در ماه نوامبر در سال ۲۰۰۸ به ۲۴ روز رسیده است. جدول ۱۲ تداوم آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  را در ایستگاه راسته‌کوچه نشان می‌دهد. بالاترین تداوم با ۷۵ روز برای تداوم دوازده با احتمال رخداد ۰/۲۰۰۶ مشاهده شده است (جدول ۱۲).



شکل ۶. فراوانی ماهانه آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  ایستگاه راسته‌کوچه طی دوره هشت‌ساله (۲۰۱۲-۲۰۰۵)

جدول ۱۲. رخداد آلودگی‌های خطرناک ناشی از ذرات معلق در ایستگاه راسته‌کوچه طی دوره هشت‌ساله (۲۰۱۲-۲۰۰۵)

احتمال وقوع	فراوانی	نوع تداوم
۰/۲۰۶۰	۷۵	تداوم دوازده
۰/۱۵۶۶	۵۷	تداوم سه‌روزه
۰/۱۲۰۹	۴۴	تداوم چهارروزه
۰/۰۹۳۴	۳۴	تداوم پنج‌روزه
۰/۰۶۸۷	۲۵	تداوم شش‌روزه
۰/۰۵۲۲	۱۹	تداوم هفت‌روزه
۰/۰۴۱۲	۱۵	تداوم هشت‌روزه

شکل ۷ توزیع فراوانی مجموع آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  را برای دوره شش‌ماهه (ژانویه الی ژوئن) در شهر تبریز نشان می‌دهد. بیشینه آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  برای ماه ژانویه در مرکز شهر قرار دارد و رخداد آلودگی‌های خطرناک به ده روز هم رسیده است. از مرکز تبریز به اطراف در ماه ژانویه رخداد آلودگی‌های خطرناک کاهش درخورتوجهی می‌یابد؛ به طوری که در نیمه جنوبی شهر تبریز به حداقل خود، یعنی یک روز، می‌رسد. در نیمه شمالی شهر تبریز زبانه‌ای از آلودگی‌های مرکز تبریز با کنتورهای هفت روز هم مشاهده شده است.

در ماه فوریه رخداد آلودگی‌ها افزایش محسوسی داشته است؛ به طوری که رخداد آلودگی‌های شهر تبریز در این ماه نسبت به ماه ژانویه در مرکز شهر تبریز تقریباً دو برابر شده است تا جایی که رخداد آلودگی‌های خطرناک در مرکز شهر تبریز به ۲۲ روز هم رسیده است. با وجود این، مرکز آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  در ماه فوریه تقریباً وضعیتی مشابه با ماه ژانویه دارد؛ با این تفاوت که جهت هسته آلودگی بیشتر به شمال غرب تبریز تمایل دارد؛ در حالی که در ماه ژانویه بیشتر به سمت شمال شهر تبریز تمایل داشته است. در نیمه‌های شمالی تبریز رخداد آلودگی‌ها به ۲۲ روز هم می‌رسد. در نیمه جنوبی تبریز مجموع رخداد آلودگی‌های خطرناک تفاوت چندانی نسبت به ماه قبل نداشته است. در ماه مارس وضعیت آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  نسبت به ماه ژانویه افزایش درخورتوجهی داشته، اما نسبت به ماه فوریه تفاوت چشم‌گیری نداشته است. در این ماه، شیب تغییرات آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  کاهش یافته است؛ عدم فشردگی خطوط کنتور آلودگی‌های خطرناک ماه مارس تأییدی بر گفته فوق است. در این ماه، برخلاف دو ماه دیگر، هسته آلودگی‌های شهر

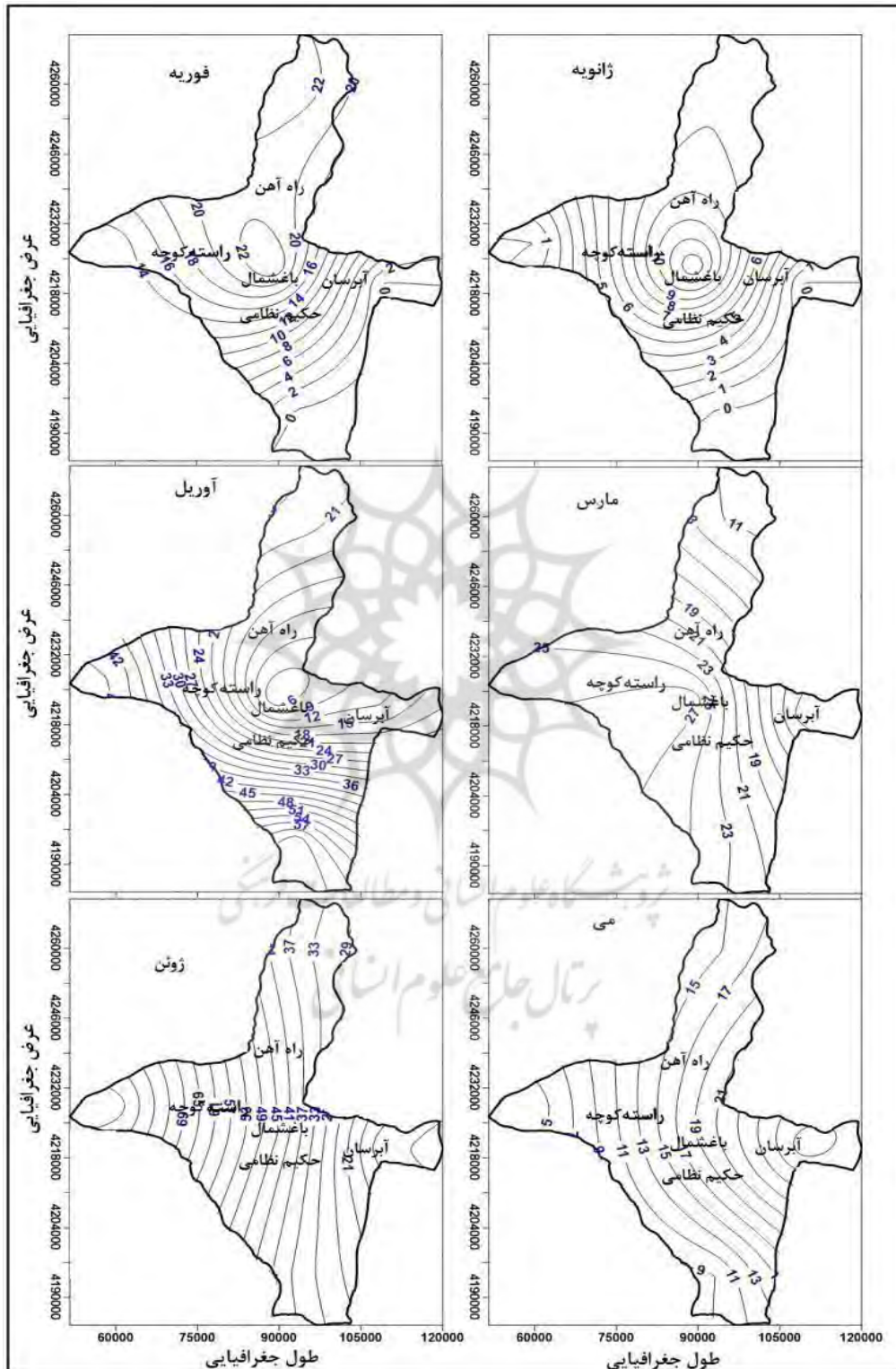
تبریز بیشتر به سمت شرق شهر تبریز تمایل پیدا کرده است؛ به طوری که بیشینه رخداد آلودگی‌های تبریز در مرکز آن به ۲۵ روز هم رسیده است.

با آغاز فصل بهار رخداد آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  به مقدار کمتری دچار تغییرات مکانی شده است؛ به طوری که رخداد بیشینه آلودگی‌های شهر تبریز در ماه آوریل با شیب تغییرات زیادی بیشتر به سمت بخش‌های جنوب شهر تبریز کشیده شده است و رخداد آلودگی‌های خطرناک تبریز در بخش‌های جنوبی شهر در این ماه به ۶۳ روز هم رسیده است. این در حالی است که در ماه‌های قبل بیشینه رخداد آلودگی‌ها در ماه آوریل در شرق تبریز به کمترین مقدار خود، یعنی شش روز، رسیده است. در ماه آوریل، در بخش‌های شمالی تبریز رخداد آلودگی‌ها نسبت به فوریه تفاوت محسوسی نداشته است، اما نسبت به ماه ژانویه و مارس رخداد آلودگی‌ها در این بخش دو برابر شده است. در ماه آوریل، شیب تغییرات آلودگی‌ها از مرکز شهر به سمت بخش‌های جنوبی شهر تبریز با شیب بسیار زیادی رو به افزایش است. در ماه می، علاوه بر اینکه از رخداد آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  تبریز کاسته شده است، شیب تغییرات آلودگی‌های خطرناک ملایم‌تر شده است. با این حال، رخداد آلودگی‌های خطرناک در این ماه در همه بخش‌های شهر تقریباً از توزیع یکسانی برخوردار است. مثلاً، اختلاف رخداد آلودگی‌های بخش‌های شمالی و جنوبی شهر تبریز به کمتر از پنج روز می‌رسد. البته، این اختلاف در مقایسه با غرب تبریز کمی زیاد است، اما در بخش کوچکی از شهر این رخداد اتفاق افتاده است. در ماه ژوئن، آلودگی‌های شهر تبریز جهت غربی-شرقی به خود می‌گیرد؛ به طوری که بیشینه آلودگی شهر تبریز بین دو هسته کمینه‌ای در غرب و شرق تبریز محصور شده است. با این حال، شیب تغییرات رخداد آلودگی‌های خطرناک نسبت به ماه می افزایش درخور توجهی داشته است. در ماه ژوئن، رخداد آلودگی‌ها نسبت به ماه می، علاوه بر اینکه از افزایش درخور توجهی برخوردار بوده است، شیب تغییرات آلودگی‌های  $PM_{10}$  به شدت زیاد شده است؛ به طوری که این وضعیت در بخش‌های مرکزی شهر تبریز بیشتر به چشم می‌خورد (شکل ۷، ماه‌های ژانویه الی ژوئن).

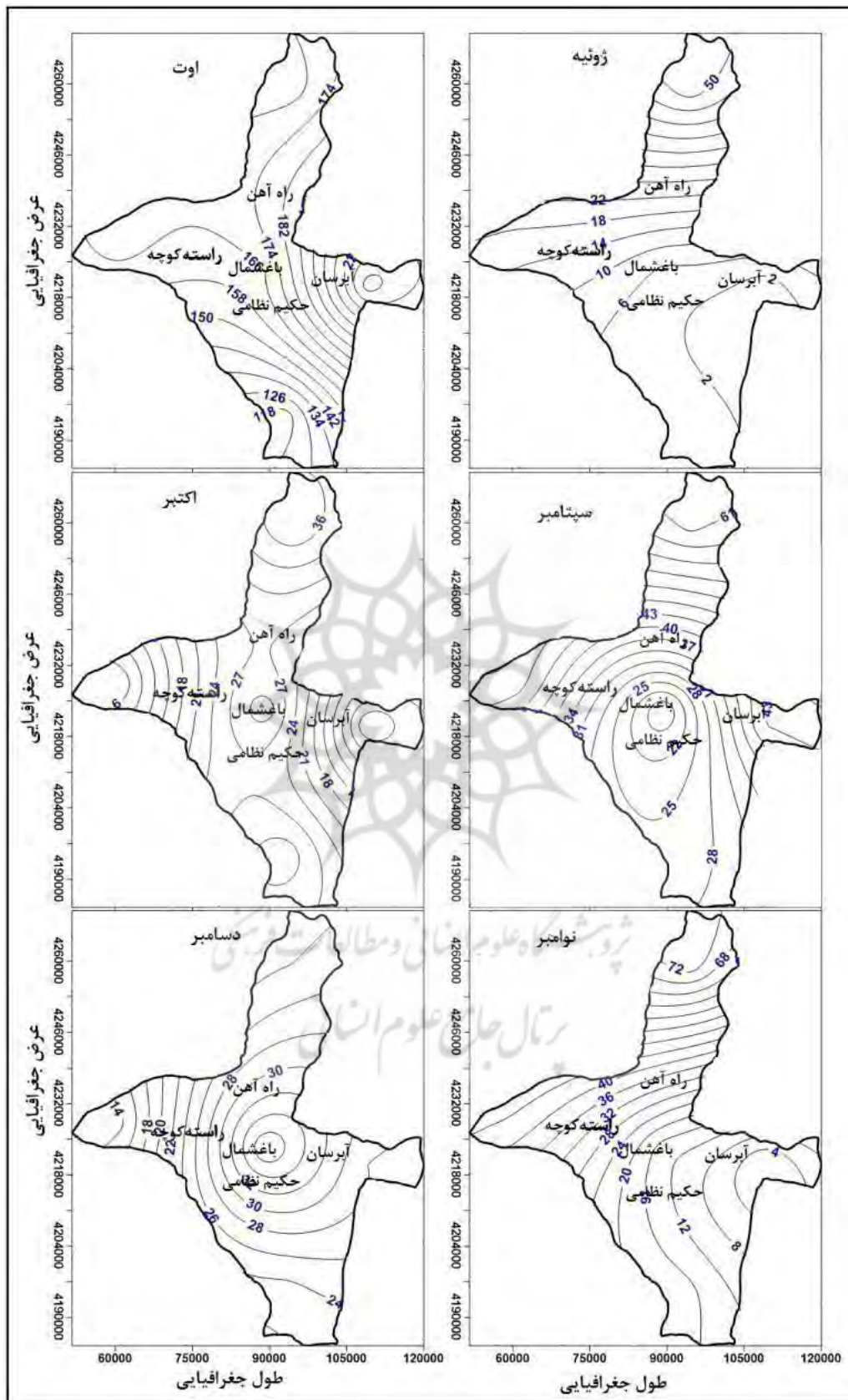
شکل ۸ توزیع فراوانی مجموع آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  را برای دوره شش ماهه (ژوئیه الی دسامبر) در شهر تبریز نشان می‌دهد. با آغاز فصل تابستان رخداد آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  تبریز بیشتر به سمت بخش‌های شمالی شهر تمایل یافته است. در ماه ژوئیه، رخداد آلودگی‌ها در بخش‌های شمالی شهر تبریز به پنجاه روز هم می‌رسد. این در حالی است که این مقدار در ماه ژوئیه در بخش‌های جنوبی به کمتر از پنج روز رسیده است. با آغاز ماه اوت رخداد آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  تبریز به حداکثر مقدار خود در همه بخش‌های شهر تبریز رسیده است. با این حال، هسته تراکمی آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  تبریز در ماه اوت همانند ماه‌های مارس، فوریه، و می در بخش شرقی شهر قرار دارد. هسته مرکزی آلودگی‌های خطرناک تبریز در این ماه (اوت) به ۲۲۵ روز هم رسیده است. رخداد آلودگی‌های خطرناک در بخش‌های جنوب تبریز به ۱۲۰ روز می‌رسد که نسبت به ماه‌های قبل، به‌ویژه ژوئیه، نزدیک به ۲۰۰ درصد افزایش داشته است (شکل ۸، ماه اوت). با آغاز فصل پاییز از تراکم آلودگی‌های خطرناک تبریز نسبت به فصل تابستان کاسته شده است. با وجود این، آلودگی‌های تبریز حالت چند هسته‌ای به خود می‌گیرند؛ به طوری که در ماه اکتبر آلودگی‌های تبریز در چهار ضلع شهر تبریز هسته‌ای تشکیل داده‌اند. بیشینه این هسته‌های آلوده با محور شمالی-جنوبی دارای هسته‌هایی مابین ۲۸ تا ۳۶ روز است و محور شرقی-غربی از شش تا هشت روز متغیر است (شکل ۷، ماه اکتبر). در ماه نوامبر، آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  تبریز نسبت به ماه اکتبر، علاوه بر اینکه افزایش قابل توجهی نداشته است، دارای شیب تغییرات مکانی بسیار زیادی شده است؛ این شیب تغییرات در بخش‌های شمالی شهر تبریز مشاهده می‌شود. با این حال، در ماه نوامبر، آلودگی‌های خطرناک شهر تبریز بیشتر به سمت شهرهای شمالی تبریز متمایل است (شکل ۸، ماه نوامبر).

در ماه دسامبر، دوره آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  تبریز نسبت به ماه نوامبر کاهش درخور توجهی داشته است، اما نسبت به ماه اکتبر تغییرات قابل توجهی نداشته است؛ با این تفاوت که در ماه دسامبر هسته آلودگی‌های شهر تبریز بیشتر در نواحی مرکزی شهر متمرکز بوده است؛ به طوری که هسته مرکزی این آلودگی‌ها به ۳۶ روز هم رسیده است. کمترین

آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  تبریز در ماه دسامبر در بخش‌های غربی تبریز مشاهده شده است (شکل ۸، ماه‌های ژوئیه الی دسامبر).

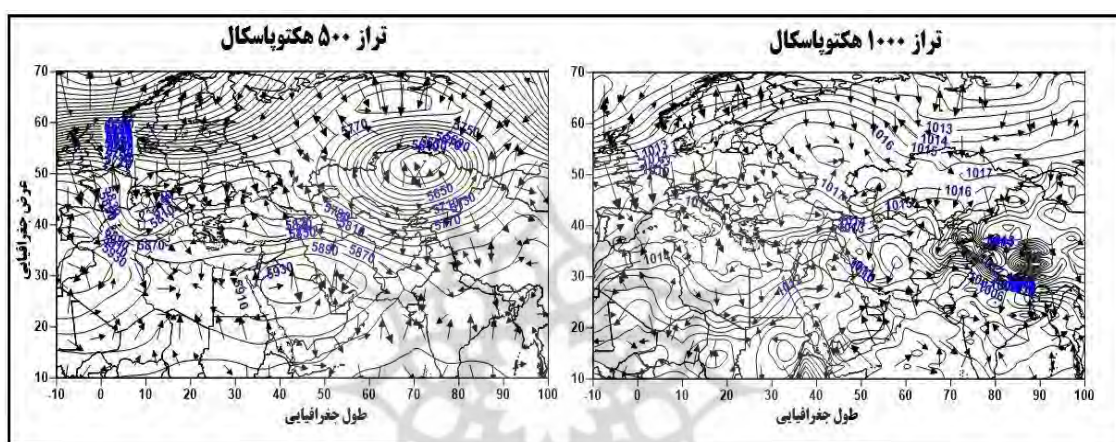


شکل ۷. توزیع مکانی تعداد روزهایی با آلودگی خطرناک  $PM_{10}$  تبریز برای ماه‌های ژانویه الی ژوئن طی دوره هشت‌ساله (۲۰۰۵-۲۰۱۲)



شکل ۸. توزیع مکانی تعداد روزهایی با آلودگی خطرناک PM<sub>10</sub> تبریز برای ماه های ژوئیه تا دسامبر طی دوره هشت ساله (۲۰۰۵-۲۰۱۲)

شکل ۸ الگوی همبندی آلودگی‌های خطرناک PM10 را در شهر تبریز برای ترازهای ۱۰۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز نماینده ۲۰۰۵/۸/۲۵ نشان می‌دهد. در این روز، میانگین آلودگی خطرناک PM10 برابر با ۵۴۱/۷۷ میکروگرم بر متر مکعب در ایستگاه‌های پنجگانه است. آنچه از نقشه‌های تراز ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکالی استنباط می‌شود این است که زبان‌های از پُرفشار خاورمیانه با ایزوبارهای ۱۰۱۴ هکتوپاسکال در منطقه مورد مطالعه کشیده شده است. بعضی از محققان این پُرفشار را پُرفشار جنب حاره نامیده‌اند. با توجه به نقشه ۵۰۰ هکتوپاسکال، این سامانه با تشکیل هسته‌ای بر روی شمال عربستان زبان‌هایی را با ۵۸۷۰ دکامتر بر روی منطقه مورد مطالعه (تبریز) فرستاده است و سبب پایداری جو در این روز در تبریز شده است. از طرفی دیگر، در این الگو در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال کم‌فشار بسته‌ای با هسته مرکزی ۵۵۰۰ بر روی منطقه سبیری و شرق دریای خزر شکل گرفته است که این کم‌فشار در واقع همان سرچالی است که بر اساس سامانه پُرفشار اروپا از هسته مرکزی جدا و سبب پایداری جو شده است.



شکل ۹. الگوی جوی فشار، ارتفاع، و جهت باد برای روز نماینده ۲۰۰۵/۸/۲۵ در تراز ۱۰۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال

## بحث و نتیجه‌گیری

پیچیده‌بودن عوامل و پارامترهای آلودگی هوا اهمیت اجرای مطالعات دقیق و هدفمند بر روی این موضوع را تداعی می‌کند. ناپایداری توسعه شهری و صنعتی کشور در سال‌های گذشته یکی از میراث‌های ناخوشایندی است که در ابعاد و گستره وسیعی محیط زیست شهری کشور، به‌ویژه شهرهای بزرگ، را متأثر کرده است. ابعاد این آثار در زمینه محیط زیست شهری به حدی است که حتی برنامه‌های کلان کشور نیز به طور محسوسی از این ناپهنجاری‌ها متأثر می‌شود و در برنامه‌ریزی پایدار توسعه‌ای بر رفع آلودگی، به‌ویژه آلودگی هوا از چهره کلان‌شهرهای کشور، به‌عنوان یک اصل بنیادی تأکید می‌شود. بنابراین، آلودگی هوا خطری بزرگ برای بسیاری از شهرهای ایران، به‌ویژه کلان‌شهر تبریز، به‌شمار می‌آید. در این مطالعه به تحلیل زمانی- مکانی آلودگی‌های خطرناک شهر تبریز با تأکید بر PM<sub>10</sub> پرداخته شده است.

در نیمه گرم سال، به‌ویژه در فصل تابستان، پُرفشارهای جنب حاره‌ای نواحی وسیعی از تروپوسفر زیرین، میانی، و فوقانی را دربر می‌گیرد و گسترش عمودی این پُرفشار بر بالای ایران از سطح ۲۰۰ هکتوپاسکالی تا ۷۰۰ هکتوپاسکالی حتی پایین‌تر نیز کشیده می‌شود. به سبب نزول دائمی هوا، هیچ‌گونه حرکت صعودی انجام نمی‌گیرد و سراسر ایران از آسمانی صاف و بدون ابر و باران برخوردار است. ارتفاع کف پُرفشار جنب حاره‌ای در همه جای ایران و از روزی به روز دیگر متغیر است. در نواحی غرب ایران این پُرفشار به سطح زمین بسیار نزدیک است، ولی در قسمت‌های جنوب شرق از سطح زمین فاصله دارد و در بعضی ایام فاصله آن به ۲۰۰۰ یا ۳۰۰۰ متر نیز می‌رسد و اجازه می‌دهد هوای گرم و مرطوب زیرین بر اثر عامل همرفتی تا ارتفاع لازم صعود و ابر و باران ایجاد کند. این وضع گاهی تا شمال ایران گسترش می‌یابد و سبب نفوذ باران‌های موسمی می‌شود. افزایش دمای هوا و کاهش صعود هوا و افزایش نزول هوا با افزایش ارتفاع در مرکز پُرفشار جنب

حاره‌ای رابطه‌ای مستقیم دارد؛ یعنی هر چه میزان ارتفاع و فعالیت پُرفشار جنب حاره‌ای بیشتر باشد، شرایط برای نزول هوا و صافی آسمان و رسیدن امواج گرمایی خورشید به سطح زمین مناسب‌تر خواهد شد. علاوه بر این، پُرفشار جنب حاره‌ای سبب وارونگی دما همراه با نشست و گرم‌شدن هوا در تروپوسفر میانی خواهد شد. در بالای این هوای وارونه، هوا بسیار خشک و بخار آب آن نیز ناچیز است؛ به طوری که نمی‌توان آن را اندازه‌گیری کرد. پُرفشار جنب حاره‌ای، با جلوگیری از ورود سامانه‌های بارشی به عرض‌های بالاتر، سبب شکل‌گیری بیابان‌ها می‌شود. پُرفشار جنب حاره‌ای تابستانه ایران زبانه‌ای از پُرفشار آزور است که در تابستان بر ایران و شمال غرب ایران حاکم است و می‌توان گفت یکی از علل مهم افزایش آلاینده‌های خطرناک  $PM_{10}$  تبریز قلمداد می‌شود. چون این آلاینده‌های تابستانه منشأ خارجی دارند و از سیستم‌های همدیدی متأثرند، مجموعه عوامل فوق سبب شده است تا در تابستان شهر تبریز بیشترین رخداد آلودگی‌های خطرناک را تجربه کند. با آغاز فصل پاییز هستهٔ بیشینه و کمینهٔ آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  نسبت به فصول دیگر تغییر مکان می‌دهد. هسته‌هایی با آلودگی خطرناک  $PM_{10}$  در فصل پاییز (ماه‌های اکتبر و نوامبر) در بخش‌های شمالی شهر تبریز قرار دارد و در آخرین ماه پاییز (دسامبر) آلودگی‌های خطرناک تبریز به مرکز شهر منتقل می‌شود.

نتایج حاصل از تحلیل فراوانی رخداد آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  نشان می‌دهد که در همهٔ ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل تابستان بیشترین رخداد آلودگی‌های خطرناک در ماه اوت بوده است و بی‌شک سیطرهٔ پُرفشار جنب حاره به سبب تشکیل لایه‌های حرارتی بر روی ایران در افزایش آلودگی‌های خطرناک تابستانهٔ تبریز نقش مؤثری دارد. در مقابل، در فصل زمستان، در بیشتر ایستگاه‌ها رخداد آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  به کمترین مقدار خود رسیده است.

در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه‌های باغشمال و آبرسان بیشترین آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  را داشته‌اند و تعداد روزهایی با آلودگی خطرناک در هر دو ایستگاه به بالاتر از ۴۰۰ روز طی دورهٔ مورد مطالعه (۲۰۰۵-۲۰۱۲) رسیده است. نتایج حاصل از تداوم آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  بیانگر این است که بیشتر تداوم آلودگی‌ها در ایستگاه باغشمال و کمترین تداوم آلودگی‌ها در ایستگاه حکیم نظامی و راه‌آهن مشاهده شده است. باین‌حال، احتمال رخداد آلودگی‌های خطرناک با تداوم دوازده به کمتر از ۰/۳ در همهٔ ایستگاه‌ها است.

توزیع مکانی هسته‌های آلودگی شهر تبریز در ماه‌های گوناگون متفاوت بوده است. با وجود این، تراکم آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  در بیشتر ماه‌ها در مرکز شهر تبریز تشکیل شده است؛ به طوری که در ماه‌های ژانویه، فوریه، ژوئن، سپتامبر، اکتبر (چند هسته‌ای)، و دسامبر هسته و تراکم آلودگی‌ها در مرکز شهر قرار داشتند. در ماه‌های مارس و اوت، بیشینهٔ فراوانی آلودگی‌ها در شرق شهر تبریز مشاهده شده است. تراکم آلودگی در غرب شهر تبریز فقط در ماه آوریل مشاهده شده است. بیشینهٔ آلودگی‌های خطرناک در نیمهٔ شمالی تبریز و در ماه‌های ژوئیه و نوامبر است؛ با وجود این، نیمه‌های جنوبی شهر تبریز فاقد هستهٔ آلودگی‌های خطرناک  $PM_{10}$  بوده است.

## منابع

- ادارهٔ کل حفاظت محیط زیست استان آذربایجان شرقی (۱۳۸۶). بررسی وضعیت آلودگی هوای شهر تبریز، ص ۱-۲۷.
- اصیلیان، خ؛ اردلان، س. و مرتضوی، ب. (۱۳۸۵). آلودگی هوا، انتشارات میترا.
- امیری، ر؛ علی‌محمدی، ع. و علوی‌پناه، ک. (۱۳۸۶). مطالعهٔ تغییرپذیری فضایی- زمانی حرارت در ارتباط با کاربری / پوشش زمین در منطقهٔ شهری تبریز با استفاده از داده‌های حرارتی و انعکاسی TM و ETM+ لندست، محیط‌شناسی، ۳۳(۴۳): ۱۰۹.
- خورشیددوست، ع؛ قویدل رحیمی، ی. و ولی، ع. (۱۳۹۱). تحلیل آماری میزان و در جو ایران، نشریهٔ جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه تبریز، ۴۱: ۲۳۷-۲۵۰.
- خورشیددوست، ع. م. (۱۳۹۳). حقایق دربارهٔ مخاطرات طبیعی، تبریز: انتشارات دانشگاه تبریز.



- خورشیددوست، ع.م. و قویدل رحیمی، ی. (۱۳۸۵). شبیه سازی آثار دوبرابرشدن دی اکسید کربن جو بر تغییر اقلیم تبریز، *محیط شناسی*، ۳۹: ۱-۱۰.
- روشن، غ؛ خوش اخلاق، ف؛ نگهبان، س. و میرکتولی، ج. (۱۳۸۸). تأثیر آلودگی هوا بر نوسانات اقلیمی شهر تهران، *علوم محیطی*، ۱۷(۱): ۱۷۳-۱۹۲.
- شمسی پور، ع؛ نجیب زاده، ف. و حسین پور، ز. (۱۳۹۱). شبیه سازی الگوی پراکنش آلودگی هوای کلان شهر تهران در شرایط وزش باد، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۴: ۱۹-۳۶.
- شکویی، ح. (۱۳۵۸). *محیط زیست شهری*، تبریز: انتشارات مؤسسه تحقیقات اجتماعی و علوم انسانی.
- عزتیان، و. (۱۳۸۶). بررسی تأثیر عوامل هواشناسی بر روی شاخص کیفیت هوا در شهر اصفهان، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان.
- عزتیان، و. و هاشمی نسب، س. (۱۳۹۲). انتشار آلاینده های جوی چالش زیست محیطی شهر اصفهان، *مطالعات و پژوهش های شهری منطقه ای*، ۴(۱۶): ۱۴۵-۱۶۰.
- صحرائی، ج. (۱۳۹۰). *آلودگی هوا*، انتشارات دانشگاه رازی.
- عطایی، ه. و هاشمی نسب، س. (۱۳۹۰). شناسایی و تجزیه و تحلیل الگوهای تراز میانی جو مؤثر در آلودگی هوای شهر اصفهان، *مجله پژوهش و برنامه ریزی شهری*، ۲(۴): ۹۷-۱۱۲.
- مرکز آمار ایران (۱۳۹۰). *سالنامه آماری*، دفتر آمارهای جمعیت، نیروی کار و سرشماری.
- ولی زاده کامران، خ؛ صلاحی، ب. و قویدل رحیمی، ی. (۱۳۸۶). شبیه سازی تغییرات دما و بارش تبریز در شرایط دوبرابرشدن دی اکسید کربن جو با استفاده از مدل گردش عمومی جو مؤسسه گودارد و GISS، *پژوهش های جغرافیایی*، ۶۲: ۵۵-۶۶.
- Amiri, R.; Weng, Q.; Alimohammadi, A. and Alavipanah, S.K. (2009). 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*, 113(12): 2606-2617.
- Asilian, KH.; Ardalan, S. and Mortazavi, B. (2006). *Air pollution*, Publishers Mitra, 147.
- Atayei, H. and Hasheminasab, S. (2011). Identification and analysis of patterns of atmospheric middle level of air pollution in Isfahan, *Research and Urban Planning*, IV: 97-112.
- Demuzere, M. and Van Lipzig, N.P. (2010). A new method to estimate air-quality levels using a synoptic-regression approach. Part I: Present-day O<sub>3</sub> and PM<sub>10</sub> analysis, *Atmospheric Environment*, 44(10): 1341-1355.
- Department of Environmental Protection in East Azerbaijan Province (2007). Evaluation of air pollution in the city of Tabriz.
- Ezzatiyan, V. and HashemiNasab, S. (2013). Atmospheric emissions and environmental challenges in Isfahan, *Urban Studies and Regional Research*, 4(16): 145-160.
- Ezzatiyan, V. (2007). Effect of meteorological factors on the air quality index in Isfahan, Physical Geography Ph.D thesis, University of Isfahan.
- Kanniah, K.D. and Yaso, N. (2010). Preliminary analysis of the spatial and temporal patterns of aerosols and their impact on climate in Malaysia using MODIS satellite data. *ISPRS J Photogramm*, 38: 386-391.
- Khedairia, S., & Khadir, M. T. (2012). Impact of clustered meteorological parameters on air pollutants concentrations in the region of Annaba, Algeria. *Atmospheric Research*. 113. 89-101
- Khorshiddoust, A.M. and Ghavidel Rahim, Y. (2006). Simulate the effects of a doubling of atmospheric carbon dioxide on climate change Tabriz, *Journal of Environmental Studies*, 39: 1-10.
- Khorshiddoust, A.M. (2014). *Facts about natural hazards*, Published by the University of Tabriz.

- Khorshiddoust, A.M.; Ghavidel Rahim, Y. and Vali, A. (2012). Statistical Analysis of Temporal Oscillations of Total Ozone Rate in IRAN, *Journal of Geography and Planning*, 41: 237-250.
- Kim Oanh, N.T.; Chutimon, P.; Ekbordin, W. and Supat, W. (2005). Meteorological pattern classification and application for forecasting air pollution episode potential in a mountain-valley area. *Atmospheric Environment*, 39(7): 1211-1225.
- Landsberg, H.E. (1981). *The urban climate*, Vol. 28, Academic Press.
- Lazaridis, M. (2011). *First Principles of Meteorology*, Springer Netherlands, 67-118.
- Makra, L.; Mika, J.; Bartzokas, A. and Sümeğhy, Z. (2007). Relationship between the Peczely's largescale weather types and air pollution levels in Szeged, southern Hungary, *Fresenius Environmental Bulletin*, 16(6).
- McGregor, G.R. and Bamzeli, D. (1995). Synoptic typing and its application to the investigation of weather air pollution relationships, Birmingham, United Kingdom, *Theoretical and Applied Climatology*, 51(4): 223-236.
- Roshan, GH.; Khoshakhlagh, F.; Neghahban, S. and Mirkatoli, J. (2009). The impact of air pollution on climate fluctuations in Tehran, *Environmental sciences, seventh year*, 1: 173-192.
- Sahraei, J. (2011). *Air Pollution*, Razi University Press
- Sánchez-Ccoyllo, O.R. and de Fatima Andrade, M. (2002). The influence of meteorological conditions on the behavior of pollutants concentrations in São Paulo, Brazil, *Environmental Pollution*, 116(2): 257-263.
- Shakuie, H. (1979). *Urban Environment*, Social and Human Sciences Research Institute Publications, Tabriz.
- Shamsipour, A.; Najebzadeh, F. and Hossenpur, Z. (2012). Simulated distribution patterns of air pollution in Tehran in wind conditions, *Geography and environmental hazard*, 4: 19-36.
- Sohrabinia, M. and Khorshiddoust, A.M. (2007). Application of satellite data and GIS in studying air pollutants in Tehran, *Habitat International*, 31(2): 268-275.
- Statistical Center of Iran (2011). *Statistical Yearbook*, the Office of demographics, labor force and the census.
- USEP, A. (1998). Guideline for reporting of daily air quality-pollutant standard index-(PSI).
- Valizadeh Kamran, KH.; Salahi, B. and Ghavidel Rahim, Y. (2007). Tabriz simulated temperature and precipitation changes under a doubling of atmospheric carbon dioxide using general circulation models Goddard Institute and GISS, *geographical research*, 62: 55-66.
- Zawar-Reza, P.; Appelhans, T.; Gharaylou, M. and Shamsipour, A. (2010). Mesoscale controls on particulate matter pollution for a mega city in a semi-arid mountainous environment: Tehran, Iran, *International Journal of Environment and Pollution*, 41(1): 166-183.