

واکاوی شرایط همدید-ترمودینامیک آلودگی هوای شهر اصفهان (مطالعه موردی: ۱۳-۱۵ آذر ۱۳۹۱)

امیرحسین حلیان^{۱*}، جواد پورشهبازی فراشبندی^۲

۱ دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور تهران

۲ کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، کارشناس همدید اداره هواشناسی استان فارس

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۳۱؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۱/۰۴)

چکیده

کلان‌شهرها همواره با مشکل آلودگی هوا دست و پنجه نرم می‌کنند. تغییرات فصلی فشار و دما در ساختار قایم جو در برخی از شهرهای آلوده، می‌تواند با ایجاد اینورژن فاجعه به بار آورد. در این پژوهش، داده‌های شاخص کیفیت هوا (AQI) در ۵ ایستگاه شهر اصفهان (میدان آزادی، میدان احمدآباد، چهار باغ خواجو، بلوار کشاورز، اتوبان خرازی) استفاده شد. برای بررسی وضعیت همدید در روزهای ۱۳ تا ۱۵ آذر ۱۳۹۱ از داده‌های جو بالا سازمان ملی اقیانوس‌شناسی ایالات متحده و برای ساختار قایم جو، از گراف Skew-T استفاده شد. نتایج نشان داد: در روزهای مورد مطالعه میزان آلودگی‌ها از حد مجاز بالاتر رفته و اوج آلودگی‌ها در روز ۱۵ آذر، در روز تعطیلی مدارس و دانشگاه‌ها به میزان ۲۴۷ در میدان احمدآباد به ثبت رسید. شرایط پایداری هوا، تشکیل سامانه پرفشار بر روی سطح زمین و فرونشینی هوا سبب ایجاد لایه وارونگی دمایی در نزدیکی سطح زمین شده است. این امر، مانع تلاطم و جابه‌جایی هوا شده و آلودگی هوا در شهر اصفهان را به حداکثر رسانده است.

کلید واژه‌ها: اینورژن، آلودگی هوا، همدید-ترمودینامیک، AQI، اصفهان

سرآغاز

بدون شک آلودگی هوا یکی از مهمترین مسایل محیط‌زیستی در قرن حاضر است که سبب شده هزینه‌های هنگفتی سالانه برای کنترل این معضل شهرنشینی در برنامه کاری دولت‌ها قرار گیرد. آلودگی هوا به عنوان یکی از پیامدهای توسعه شهرنشینی، افزایش فعالیت‌های صنعتی و مصرف فزاینده سوخت‌های فسیلی، علاوه بر تخریب محیط و ضررهای اقتصادی، جزء ۱۰ عامل مهم افزایش مرگ و میر در دنیا شناخته شده است. به طوری که، میزان مرگ و میر ناشی از آن، از ۸۰۰ هزار نفر در سال ۲۰۰۰ به ۱/۳ میلیون نفر در سال ۲۰۱۰ رسیده است که در این میان، ۶۵ درصد این مرگ و میرها به قاره آسیا اختصاص دارد (Hirota, 2010). امروزه، حیات بیش از یک میلیارد نفر از مردم جهان به دلیل آلودگی هوای شهری مورد تهدید واقع شده است. برآوردهای انجام شده توسط بانک جهانی نشان می‌دهد که هزینه سالیانه ضررهای مستقیم و غیرمستقیم آلودگی هوا در کشورهای در حال توسعه، تا ۵ درصد تولید ناخالص ملی می‌رسد (Chaaban, 2008). به وجود مواد مضر، اضافه بر ترکیبات طبیعی در جو که توسط پدیده‌های طبیعی یا فعالیت‌های آلوده‌کننده هوا توسط انسان بوجود می‌آید، آلودگی هوا اطلاق می‌شود (شفیع‌پور مطلق و خمه‌ای، ۱۳۸۷). آلودگی هوا همیشه مورد توجه دانشمندان بوده است. در زیر به شمار اندکی از آن بسنده می‌شود:

در پژوهشی (شمسی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱)، به شبیه‌سازی پراکنش آلودگی هوای کلان شهر تهران در شرایط بادی پرداختند. پژوهشگران با استفاده از شاخص ترمودینامیکی ترکیبی اولری-لاگرانژی موجود در مدل مقیاس آلودگی هوا (TAPM) به پراکندگی الگوی آلاینده‌ها در سطح زمین دریافتند، نتایج حاصل از شبیه‌سازی حاکی از آن است که شرایط وزش باد، افزایش میزان انرژی جنبشی تلاطم ناشی از سرعت باد و شرایط ناپایدار جوی، با انتقال افقی آلاینده‌ها و ایجاد حرکات قایم فرازشی سبب تعدیل آلودگی می‌شود. سطوح وارونگی در آلودگی‌های شهر تهران توسط (باوری و سلیقه، ۱۳۹۰)، بررسی شد. در این پژوهش، با استفاده از اطلاعات ۵ ایستگاه آلودگی، متغیرهای CO ، PM_{10} ، SO_2 ، NO_2 و O_3 اندازه‌گیری و با استفاده از گراف Skew-T و نقشه‌های فشار سطح زمین و ۵۰۰ هکتوپاسکال و همچنین، امگای ۸۵۰ هکتوپاسکالی نتایج زیر حاصل شد: بین ۷۳ تا ۸۵/۵ درصد میزان آلودگی تهران سهم

وارونگی دما می‌باشد. از نظر NO_2 و O_3 ایستگاه شهری آلوده‌ترین ایستگاه بوده است. در پژوهشی دیگر، در تحلیل سینوپتیکی اینورژن‌های شدید شهر تهران چهار الگو توسط (لشکری و هدایت، ۱۳۸۵) شناسایی شد. در سه الگوی A1، C و D استقرار یک پشته عمیق در ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکالی و پایداری دینامیکی حاصل از آن سبب انتقال هوای گرم عرض‌های پایین بر روی هوای سرد سطح زمین شده است. کیفیت هوای مناطق مرکزی تهران با استفاده از شاخص AQI سال ۸۵-۱۳۸۴ به وسیله (ندافی و همکاران، ۱۳۸۹) بررسی شد. آنها غلظت ذرات معلق موجود در هوای آزاد شامل TSP و PM_{10} و توصیف کیفیت هوا با تکیه بر شاخص AQI بر اساس ماه‌های مختلف نمونه‌گیری مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد از نظر TSP، اسفند ماه ۱۳۸۴ آلوده‌ترین و فروردین ماه ۱۳۸۵ پاک‌ترین ماه بود. از نظر آلاینده PM_{10} ، دی‌ماه ۱۳۸۴ آلوده‌ترین و فروردین‌ماه پاک‌ترین ماه گزارش شد. واکاوی سینوپتیکی آلودگی هوای شهر تهران با استفاده از متغیرهای منواکسیدکربن، دی‌اکسیدنیترژن، دی‌اکسید گوگرد ایستگاه‌های سنجش آلاینده‌های آزادی، بهمن، تجربش، مرکزی و قلهک در تاریخ ۱۷ الی ۲۳ آذر ۱۳۷۷ با استفاده از نمودار Skew-T و تحلیل سیستم فشار ارزیابی شد (اسکانی کزازی و سیاه‌پیرانی، ۱۳۸۹). نتایج نشان داد: طی دوره آماری مورد مطالعه چنانچه استقرار پرفشار منطقه‌ای (منطقه ایران)، از نوع سامانه‌های عرض‌های میانی در ناحیه حاکم باشد؛ غلظت آلاینده‌ها افزایش یافته و بعضاً آن را دو تا سه برابر، بیشتر از حد مجاز می‌نماید. مطالعه و بررسی وارونگی دما و ناپایداری بر روی آلودگی هوای شهر تهران نشان داد که گاز منواکسیدکربن با سمت و سرعت باد همبستگی منفی و غلظت آن با شدت اینورژن رابطه مستقیم دارد (دلجو، ۱۳۷۹). بررسی علل و عوامل افزایش آلودگی در تهران نیز نشان داد که تعداد خودروهای موجود و موقعیت جغرافیایی و طبیعی در این شهر عامل اصلی آلودگی است (روشن‌ضمیر و ایکانی، ۱۳۸۰). در بررسی کیفیت وضعیت هوای ارومیه و معرفی آلاینده آن در سال ۱۳۹۰ به صورت مقطعی غلظت لحظه‌ای آلاینده‌های منواکسیدکربن، دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسیدنیترژن و ذرات معلق توسط آنالیزهای Envir SA، Ecotec در چهار ایستگاه شهر ارومیه بررسی شد (خرسندی و همکاران، ۱۳۹۱). نتایج نشان داد در این سال، ۲۵ روز شرایط

موناوکسیدکربن برای اکثر ماه‌های سال طی ۷ سال مورد مطالعه و افزایش غلظت آلاینده NO_2 از سال ۱۳۸۴ به بعد است (حسینی و همکاران، ۱۳۸۹). برآورد تعداد مرگ و میرهای ناشی از بیماری‌های قلبی-تنفسی متناسب به آلودگی هوای تهران در افراد بالای ۳۰ سال در سال ۱۳۸۵ و نتایج آزمون‌های حساسیت نشان داد که برآوردهای حاصل از فرضیات مختلف در مورد حداکثر غلظت PM_{10} ، $\text{PM}_{2.5}$ و شکل تابع غلظت پاسخ در محدوده فواصل اطمینان برآورد شده قرار دارد. بر اساس نتایج برآوردها، تعداد مرگ و میر متناسب به ذرات، ۵۳۸۸ مورد، حدود ۳۹/۹٪ از کل مرگ و میرهای قلبی-تنفسی افراد بالای ۳۰ سال شهر تهران را در بر می‌گیرد (جنیدی جعفری و همکاران، ۱۳۸۸). ارزیابی کیفیت بهداشتی هوای تهران در سال ۱۳۸۵ با کاربرد شاخص کیفیت هوا به تفکیک سنجش آلاینده‌های هوا آشکار ساخت که در سال ۱۳۸۵، ۲۶۱ روز کیفیت هوای شهر تهران از حد استاندارد تعیین شده توسط EPA تجاوز کرده است. در ۸۴ درصد از این موارد آلاینده مسئول، موناوکسیدکربن بوده است (اردکانی و همکاران، ۱۳۸۷). واکاوی کیفیت هوای تهران در سال‌های ۷۷-۱۳۷۶ نیز نشان داد که در سال ۱۳۷۶ کیفیت هوا در ۳۲ درصد از روزها از نظر توصیفی، غیربهداشتی و در ۵ درصد از روزها خیلی غیربهداشتی بوده است. در صورتی که، این موارد برای سال ۱۳۷۷ به ترتیب ۳۴ و ۶ درصد افزایش یافته است (موسوی و ندافی، ۱۳۷۹). ارتباط بین الگوهای فشار و آلودگی هوا برای شهر تهران نیز نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین فشار و سطح آلودگی بالا وجود دارد (صفوی و علیجانی، ۱۳۸۵). بررسی و مقایسه کیفیت هوا در شهرهای تهران و اصفهان در سال ۱۳۷۸ و ارائه راهکارهایی برای بهبود آن حاکی از این بود که در شهر تهران آلوده‌ترین ماه‌ها خرداد، شهریور، آبان، بهمن و در شهر اصفهان خردادماه می‌باشد. همچنین، مشخص شد که در شهر تهران در سال ۱۳۷۸ در ۹۰ درصد روزها شاخص استاندارد، بالای حد استاندارد قرار داشته است (چراغی و همکاران، ۱۳۸۱). در عین حال، براساس گزارش سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۰۰ میلادی افزون بر ۲۰۰ میلیون نفر از مردم جهان در محیط‌هایی به سر برده‌اند که در آن، سطح آلاینده‌ها بالاتر از استانداردهای کیفیت هوا بوده است (Klasner et al., 1998). بررسی تاثیر آلودگی هوا در محیط داخل خانه بر ۲۱۰۱ زن نیز نشان داد که آلاینده‌های ناشی از پخت و پز با توجه به میزان درآمد طبقه‌بندی می‌شود.

هوا از وضعیت استاندارد تجاوز کرده است. بررسی وضعیت هواشناسی آلودگی هوای شهری تهران برای آلاینده CO نیز آشکار ساخت که برای این آلاینده برای فصل زمستان و تابستان دو بیشینه، یکی در صبح و دیگری در شب وجود دارد. در بررسی نقشه ۲۰۰ میلی‌باری در فصل سرد در روزهای حاد آلودگی، محور جت جنب حاره‌ای شمال‌غربی-جنوب‌غربی و نزدیک به نصف‌النهار است و در دوره کمینه، محور جت جنب حاره‌ای شرق-غربی و مداری است؛ وجود ناوه بر ایران و سرعت مداری باد سبب از بین رفتن آلودگی است (شرعی‌پور و علی اکبری بیدختی، ۱۳۸۹). بررسی شاخص کیفیت هوا و غلظت ذرات معلق با قطر آئروپنایمیک در هوای شهر قم نیز نشان داد که در طول دوره نمونه‌گیری از نظر آلاینده PM_{10} ، آبان ماه با میانگین 117 mg/m^3 آلوده‌ترین و مهرماه با میانگین 83 mg/m^3 پاک‌ترین ماه است. همچنین، از نظر آلاینده $\text{PM}_{2.5}$ ، آذرماه با میانگین 33 mg/m^3 آلوده‌ترین و مرداد، شهریور و مهرماه با میانگین 8 mg/m^3 پاک‌ترین ماه‌ها بودند (عزیزی‌فر و همکاران، ۱۳۹۰). در پژوهشی دیگر (لیلی و همکاران، ۱۳۸۸)، به بررسی غلظت ذرات معلق و شاخص کیفیت هوا (AQI) در دو ایستگاه بین ماه‌های بهمن ۱۳۸۵ تا خرداد ۱۳۸۶ واقع در محدوده مرکزی شهر تهران پرداختند. شاخص کیفیت هوا برای ایستگاه شماره یک (میدان انقلاب) در ۳۲ درصد موارد و برای ایستگاه شماره دو (گیشا) در ۱۰/۵ درصد موارد کیفیت هوا غیربهداشتی است. در میدان انقلاب ۸۷ درصد و پل گیشا ۸۲ درصد موارد $\text{PM}_{2.5}$ آلاینده مسئول بوده است. نتایج تحقیقات (علی اکبری بیدختی و بنی‌هاشمی، ۱۳۷۶)، هنگام بررسی لایه مرزی و آلودگی هوا نشان داد؛ لایه مرزی دارای تغییرات شبانه‌روزی است که به همراه تغییرات عمق آن، غلظت آلاینده‌ها نیز تغییر می‌کند. بررسی مقیاس‌های کیفیت بهداشتی هوای شهرهای تهران و اصفهان در سال ۱۳۸۷ نیز نشان داد کیفیت هوای شهر تهران و اصفهان در سال ۱۳۸۷ به ترتیب ۴۳ و ۶۷ روز کمتر از حد استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، ۳۲۳ و ۲۹۹ روز دیگر از حد استاندارد $\text{PSI} > 100$ بیشتر بوده است. در شهر تهران و اصفهان، در تابستان به ترتیب ازن و موناوکسید کربن و در زمستان موناوکسیدکربن و ذرات معلق عامل آلودگی شناخته شدند (گل‌باز و جنیدی جعفری، ۱۳۹۰). نتایج تحلیل و بررسی آماری داده‌های شاخص آلودگی هوای تهران از سال ۱۳۸۱ - ۱۳۸۷ نیز حاکی از روند قابل توجه کاهشی غلظت

پژوهش، به شرایط قایم جو (Skew_T) و الگوهای همدیدی تشدیدکننده این پدیده می‌پردازیم. اطلاعات و داده‌های Skew_T از تارنمای دانشگاه وایومینگ دریافت و با استفاده از نرم‌افزار RAOB گراف‌های Skew_T و لایه‌های اینورژن مشخص شد. برای بررسی شرایط همدید نیز از داده‌های جوی بالا از پایگاه داده‌های جوی مرکز پیش‌یابی اقلیم (www.cdc.noaa.gov) و نرم‌افزار GrADS استفاده شد.

جدول (۱): طبقه‌بندی شاخص QAI

وضعیت	AQI
پاک	۰-۵۰
سالم	۵۱-۱۰۰
ناسالم	۱۰۱-۱۵۰
بسیار ناسالم	۱۵۱-۲۰۰
خطرناک	۲۰۱-۳۰۰
بحرانی	بالتر از ۳۰۰

یافته‌ها

همان‌طور که می‌دانیم، عوامل اقلیمی و طبیعی از جمله عواملی هستند که با توجه به کنترل جریان‌های عمودی و افقی هوا و انتقال توده‌های هوایی با ویژگی‌های ترمودینامیکی مختلف وضعیت آلودگی در طول سال را تعدیل یا تشدید می‌کند. وضعیت جوی هر روز متأثر از شرایط سینوپتیکی حاکم بر منطقه در آن روز و یا به عبارتی ناشی از آرایش سامانه‌های جوی نسبت به یکدیگر و ویژگی‌های دینامیکی و ترمودینامیکی حاکم بر آنها می‌باشد. الگوی سینوپتیکی حاکم در برخی از اوقات به گونه‌ای است که شرایط پایداری و آرامش را در جو حاکم ساخته و در نتیجه به دلیل تراکم عناصر آلاینده در لایه‌های زیرین و فقدان جریان‌های جوی و یا ضعیف بودن آنها، شدت آلودگی افزایش یافته و یا الگوی سینوپتیکی حاکم به گونه‌ای است که جو را ناپایدار ساخته و به دلیل شدت یافتن جریان‌های قایم و افقی، عناصر آلاینده در داخل جو پخش شده و غلظت آن کاهش می‌یابد. آمار دریافتی شاخص کیفیت هوا از سازمان محیط‌زیست اصفهان در روز ۱۳ آذر به صورت زیر است: ایستگاه‌های بلوار کشاورز ۱۷۸، میدان آزادی ۱۸۷، چهارباغ خواجو ۲۰۰، میدان احمدآباد ۲۱۲ و اتوبان خرازی ۲۰۸ گزارش شده است. با توجه به جدول طبقه‌بندی شاخص AQI (جدول ۱)، از لحاظ کیفیت هوا به ترتیب دارای شرایط بسیار ناسالم، بسیار ناسالم،

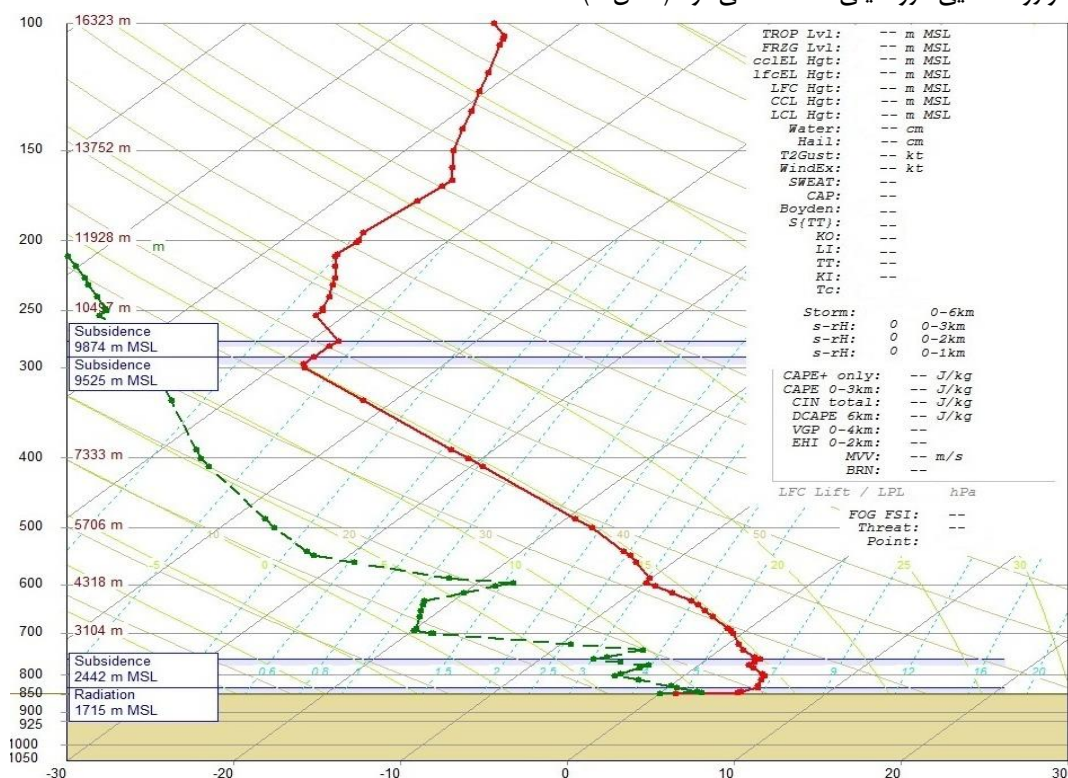
خانواده‌های کم درآمد، به خاطر استفاده از سوخت‌های فسیلی به‌ویژه نفت از آلودگی بیشتری برخوردارند و بیشتر به بیماری‌های ریوی، سل، آب مروارید و عفونت‌های تنفسی مبتلا می‌شوند (Lakshmi Singh & Jamal, 2012). در پژوهشی دیگر (Prashant, 2005)، نشان داد که اوج ذرات $PM_{2.5}$ و PM_{10} در زمان پیک ترافیک در شهر دهلی حادث می‌شود. در عین حال، طبقه‌بندی سینوپتیک و کاربرد آن در تعیین تأثیرات اقلیمی بر روی غلظت دی‌اکسید سولفور و اکسید نیتروژن در هنگ‌کنگ توسط (Lam & Cheng, 1998) انجام گرفت. در پژوهشی دیگر، تحلیل آلودگی هوا در اطراف ایستگاه‌های مرکزی شهر لندن صورت گرفت (Olga et al., 2009). بررسی ارتباط سیستم‌های هواشناسی با غلظت آلاینده ذرات معلق در برزیل نیز نشان داد که مقادیر بالای غلظت آلاینده همراه با سیستم‌های پرفشار جنب حاره‌ای اطلس جنوبی است (Ccoyllo, & Andrade, 2002). بررسی میزان ذرات معلق $PM_{2.5}$ نیز در امریکا نشان داد که ۸۶ درصد موارد و نمونه‌گیری‌ها از حد استاندارد سازمان محیط‌زیست آمریکا بالاتر بوده است (Rodriguez, 2001). (Chan et al. 2005). در مطالعه‌ای در جنوب و شرق اسپانیا میزان میانگین PM_{10} را $18\mu g/m^3$ و اوج آن را $50\mu g/m^3$ به دست آورد.

مواد و روش‌ها

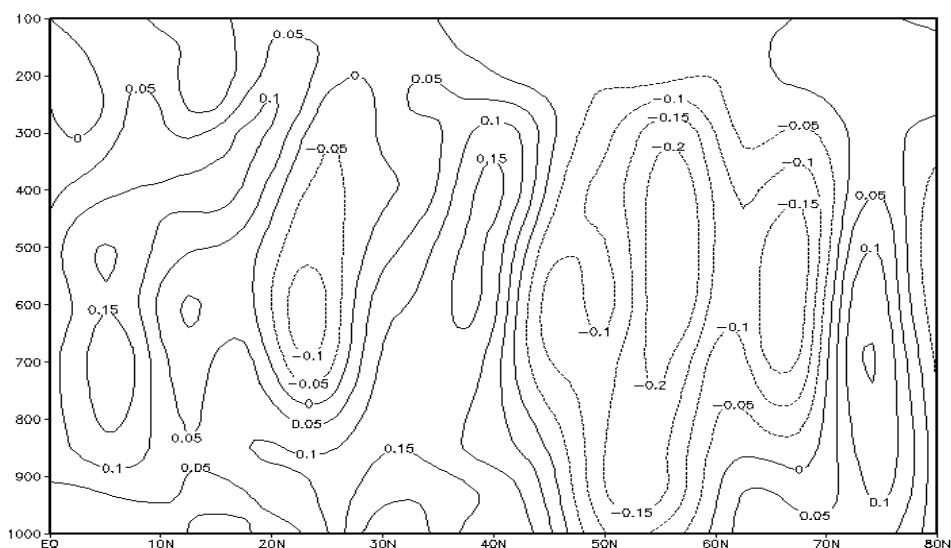
در این پژوهش، داده‌های شاخص کیفیت هوا (AQI) از سازمان محیط‌زیست استان اصفهان اخذ شد. شاخص آلودگی هوا (AQI) معیاری است که غلظت ترکیبات مختلف آلاینده موجود در هوا مانند منوکسیدکربن- دی‌اکسیدگوگرد- ترکیبات نیتروژن- ازن و ذرات معلق را که دارای حدود مجاز متفاوت با واحدهای مختلف می‌باشند را تبدیل به یک عدد بدون واحد کرده و وضعیت آلودگی هوا را به‌صورت کیفی در شش سطح پاک- سالم- ناسالم بسیار ناسالم- خطرناک و بحرانی نمایش می‌دهد (سازمان محیط‌زیست ایالات متحده، ۲۰۰۹). بنا به گزارش‌های خبری به علت آلودگی هوای در روزهای پیش و غلظت آلاینده‌ها در روز ۱۵ آذرماه، تمامی مدارس و دانشگاه‌های اصفهان و شهرستان‌های حومه تعطیل اعلام شد (خبرگزاری تابناک). برای این منظور، داده‌های شاخص AQI آذرماه در ۵ ایستگاه سنجش آلودگی (بلوار کشاورز، میدان آزادی، چهارباغ خواجو، میدان احمدآباد، اتوبان خرازی) استفاده شد. در این

همچنین، نقشه سرعت صعود قایم هوا نشان‌دهنده اعداد مثبت (۰/۱ تا ۰/۲ Pa/s) تا ترازهای بالای جو، به معنای فرونشینی هوا و پایداری است (شکل ۲). بررسی شرایط فشار سطح زمین نیز حاکی از گسترش زبانه پرفشار سیبری است. همچنین، تشکیل پرفشارهای محلی در نواحی مرکزی ایران، نشان از پایداری و جو آرام دارد (شکل ۳).

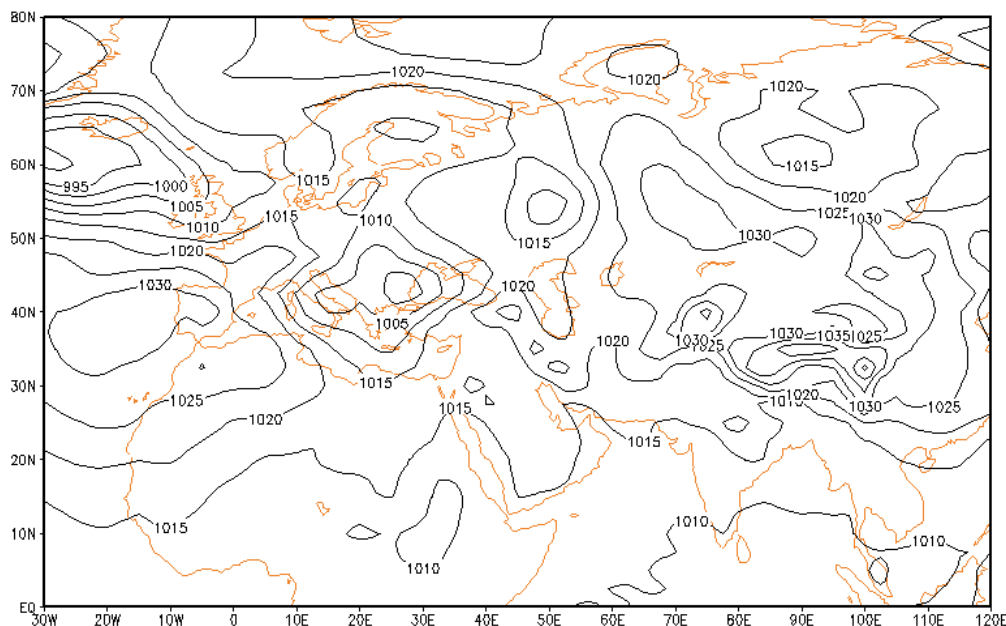
ناسالم، خطرناک، خطرناک می‌باشند. گراف Skew_T در ساعت UTC ۰۰ (۶/۵ صبح به وقت محلی) نشان می‌دهد بر خلاف معمول با افزایش ارتفاع دما کاهش نمی‌یابد، بلکه از سطح زمین (۱۵۵۰ متری) تا ارتفاع ۱۷۱۵ متری یک لایه وارونه دمایی (از نوع تابشی) به ضخامت ۱۶۵ متر تشکیل شده و از بالاروی و تلاطم در لایه مرزی جلوگیری می‌کند، در ارتفاع ۲۴۰۰ متری نیز یک لایه وارونه دمایی فرونشینی مشاهده می‌شود (شکل ۱).



شکل (۱): نمودار Skew_T ساعت ۰۰ زولو ۱۳ آذر ۱۳۹۱



شکل (۲): سرعت صعود قایم هوا (امگا) Pa/S در ساعت ۰۰ زولو ۱۳ آذر ۱۳۹۱

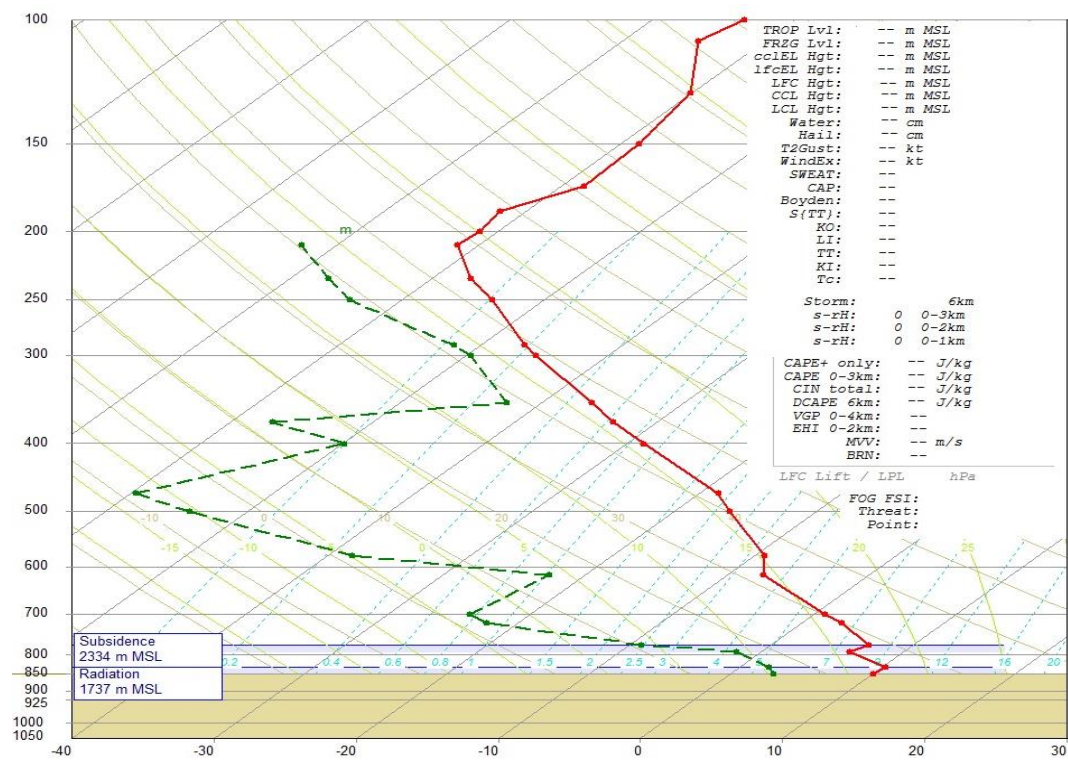


شکل (۳): الگوی فشار تراز دریا ساعت ۰۰ زولو ۱۳ آذر ۱۳۹۱

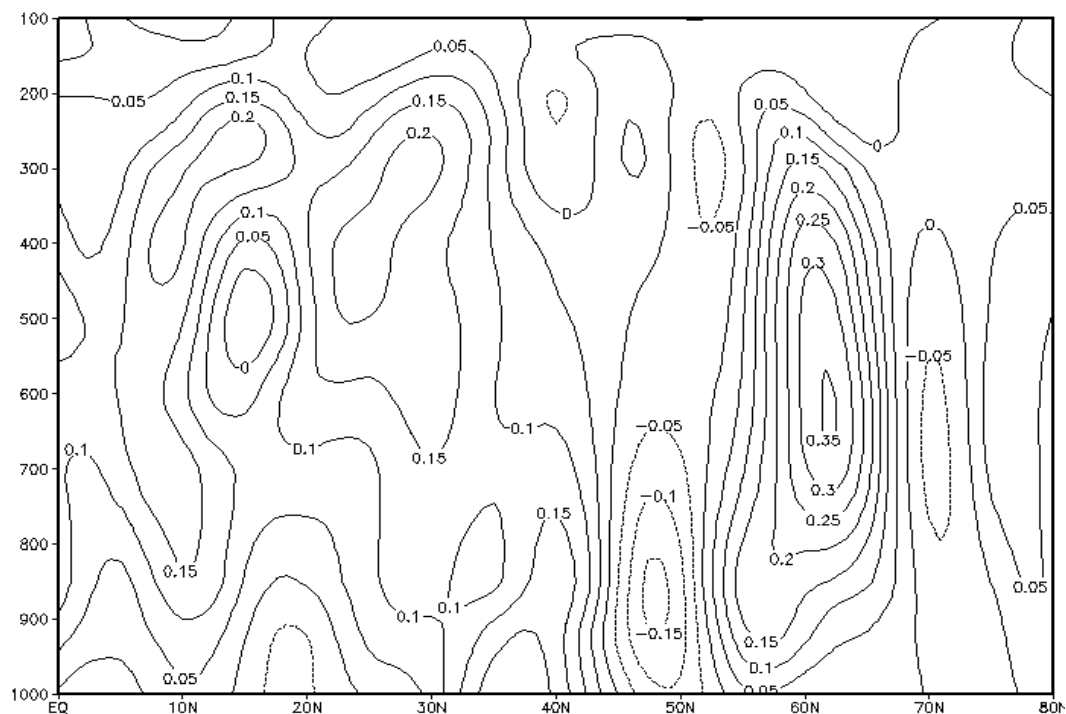
۱۹۵، چهار باغ خواجو ۱۷۵، میدان احمدآباد ۲۴۷ و اتوبان خرازی ۲۲۹ است که نشان‌دهنده غلظت آلاینده‌ها در جو می‌باشد. محدوده میدان احمدآباد و اتوبان خرازی به علت رفت و آمد وسایل نقلیه موتوری و راه مواصلاتی از کیفیت هوای پایین‌تر و خطرناکی برخوردارند. در گراف Skew_T ساعت ۰۰ UTC (۶/۵) به وقت محلی) با افزایش ارتفاع از سطح زمین تا ۱۷۵۶ متری بر مقدار دما با شیب زیادی افزوده می‌شود و یک لایه وارونگی دمایی به سبب برای ۲۴۵ متر ایجاد می‌کند (شکل ۷). بررسی نقشه امگا نیز پایداری و نزول هوا در جو را نشان می‌دهد (شکل ۸). کشیده شدن زبانه‌های پرفشار سیبری با مرکزیت فشار ۱۰۵۰ هکتوپاسکال بر روی نواحی شرقی و مرکزی تا دامنه‌های کوه‌های زاگرس و البرز حاکی از جو آرام و بدون ابر در این منطقه است (شکل ۹). زمانی که شرایط آسمان صاف و بدون ابر (استقرار سامانه پرفشار) در منطقه‌ای در فصل سرما به وجود می‌آید؛ این ایستایی هوا خود سبب از دست دادن انرژی دریافتی زمین، سردتر شدن هوای مجاور زمین نسبت به هوای بالا و سبب عکس شدن گرادیان دما و ارتفاع و ایجاد اینورژن می‌شود.

اندازه‌گیری شاخص کیفیت هوا در ایستگاه‌های مورد بررسی در روز ۱۴ آذر ۱۳۹۱، مقادیر زیر را نشان می‌دهد. ایستگاه‌های بلوار کشاورز ۱۵۱، میدان آزادی ۱۴۸، چهار باغ خواجو ۱۸۹، میدان احمدآباد ۲۱۱ و اتوبان خرازی ۲۰۸. وضعیت سلامت هوا در ایستگاه‌های بلوار کشاورز و چهارباغ خواجو بسیار ناسالم، میدان آزادی ناسالم و میدان احمد آباد و اتوبان خرازی خطرناک گزارش شده است. گراف Skew_T یک لایه وارونگی دمایی به ضخامت ۱۸۹ متری (اختلاف سطح زمین تا تراز ۱۷۳۹ متری) را آشکار می‌سازد و همچنین، در بین ارتفاع ۲۱۰۰ تا ۲۳۰۰ متری جو نیز پدیده وارونگی دمایی (فرونشینی) مشاهده می‌شود (شکل ۴). نقشه سرعت صعود قایم هوا در جو نیز نشان از نزول هوا بین عرض‌های ۳۰ تا ۴۰ درجه شمالی تا ترازهای بالای جو در راستای نصف‌النهار ۵۱ درجه شرقی دارد. میزان مثبت امگا، نشان‌دهنده پایداری در سطح زمین و ترازهای بالا جو است (شکل ۵). الگوی فشار سطح دریا وجود زبانه پرفشار سیبری را بر روی ایران نشان می‌دهد. همچنین، در جنوب البرز و شرق زاگرس یک سیستم پرفشار محلی تشکیل شده و در سطح زمین، هوای سرد و پایداری را ایجاد نموده است (شکل ۶).

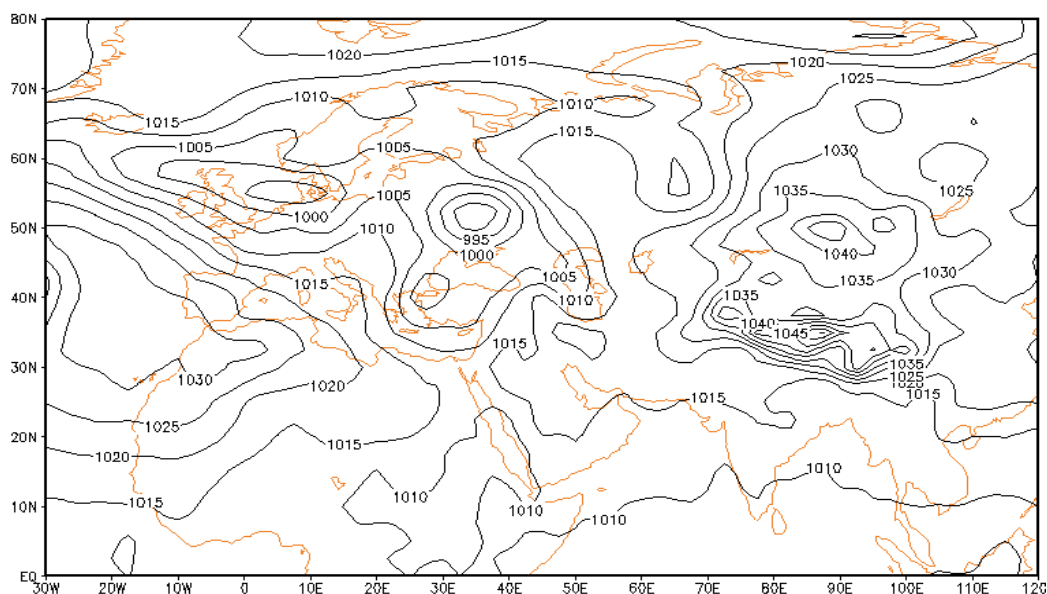
در روز ۱۵ آذر، به خاطر افزایش آلاینده‌ها و پایداری هوا میزان سلامت و کیفیت هوا از سطح متعارف آن بسیار پایین‌تر آمده است. مقادیر در ایستگاه‌های بلوار کشاورز ۱۶۶، میدان آزادی



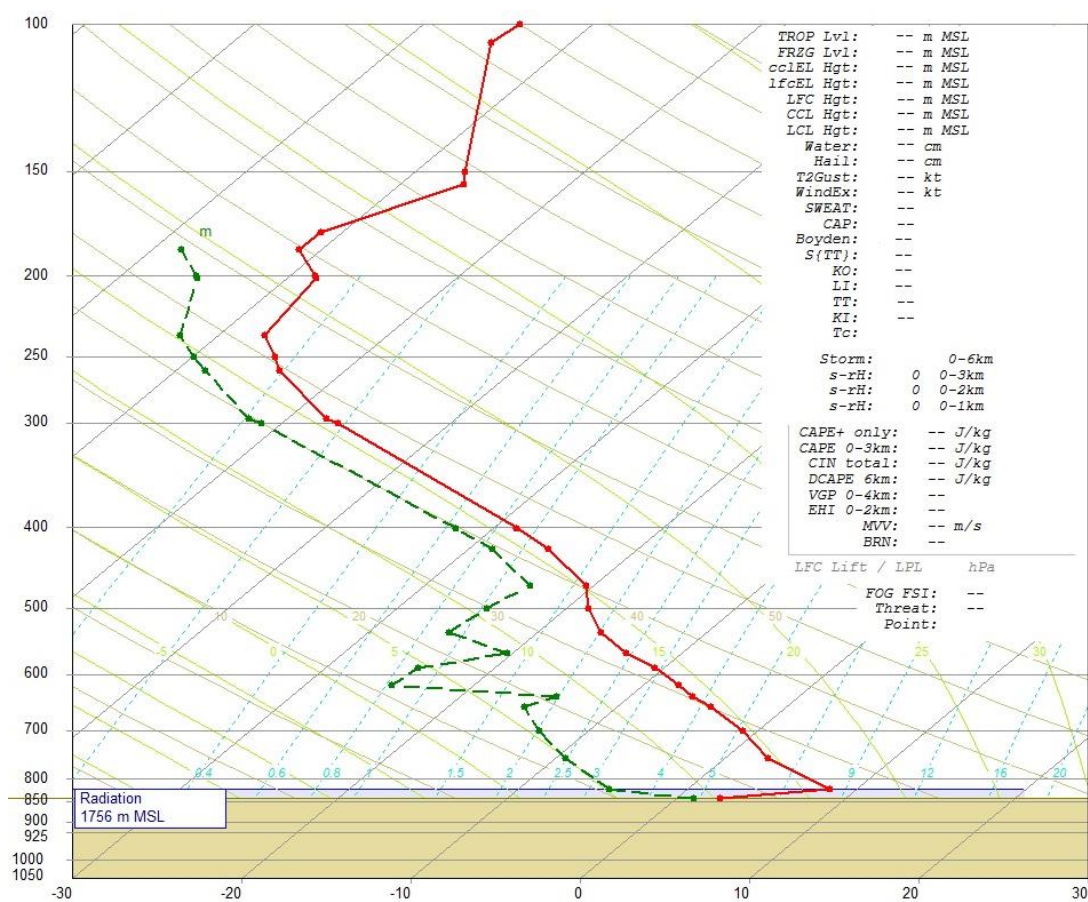
شکل (۴): نمودار Skew_T ساعت ۰۰ زولو ۱۴ آذر ۱۳۹۱



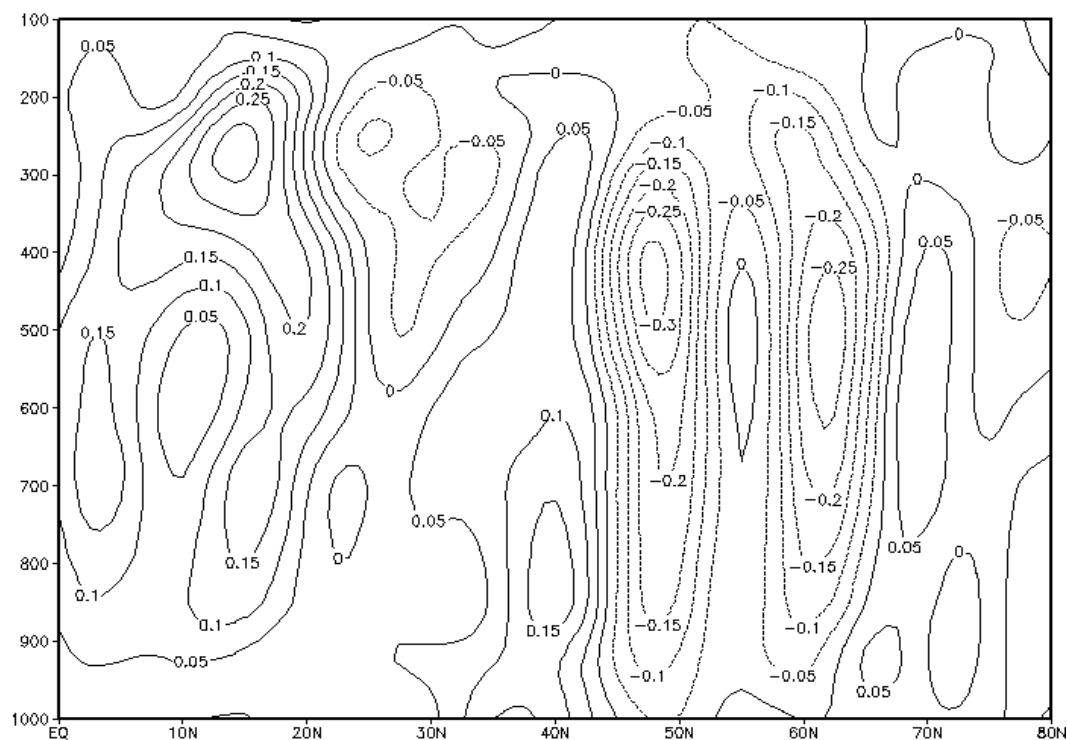
شکل (۵): سرعت صعود قایم هوا (امگا) در ساعت ۰۰ زولو ۱۴ آذر ۱۳۹۱



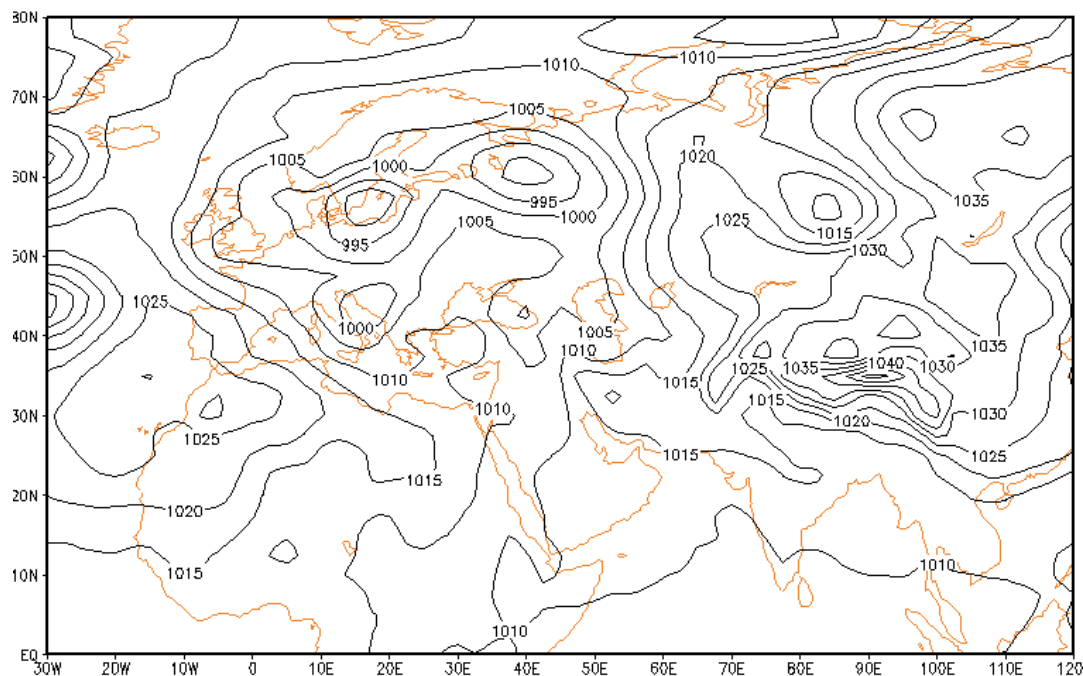
شکل (۶): الگوی فشار سطح دریا ساعت ۰۰ زولو ۱۴ آذر ۱۳۹۱



شکل (۷): نمودار Skew_T ساعت ۰۰ زولو ۱۵ آذر ۱۳۹۱



شکل (۸): سرعت صعود قایم هوا (امگا) Pa/s در ساعت ۰۰ زولو ۱۵ آذر ۱۳۹۱



شکل (۹): الگوی فشار سطح دریا ساعت ۰۰ زولو ۱۵ آذر ۱۳۹۱

بحث و نتیجه‌گیری

فعالیت‌های وی می‌باشد. در پاره‌ای از اوقات، ویژگی‌ها و شرایط جوی در تشدید یا ایجاد یک مخاطره‌ی آلودگی نقش بسزایی دارد. در روز ۱۳ آذر، شاخص AQI در سه ایستگاه میدان احمدآباد، چهار باغ خواجو و اتوبان خرازی به بیش از

آلودگی در کلان‌شهرها یکی از معضلات جوامع بشری در عصر حاضر است. علل اصلی ایجاد آلودگی هوا در مراکز انسانی بیشتر به عهده انسان و تحت تاثیر مستقیم

۲۰۰ رسیده و وارد مرز خطرناک شده است. روز ۱۴ آذر نیز سه ایستگاه یاد شده در رده‌ی بسیار ناسالم و خطرناک قرار داشته‌اند. اوج آلودگی‌ها در روز ۱۵ آذر اتفاق افتاده است. به طوری که، میدان احمدآباد عدد ۲۴۷ و اتوبان خرازی عدد ۲۲۹ را نشان می‌دهند. در این روزها شرایط پایداری هوا،

تشکیل سامانه پرفشار بر روی سطح زمین و فرونشینی هوا سبب وارونگی دمایی در لایه مرزی نزدیک سطح زمین شده و این امر مانع تلاطم و جابه‌جایی هوا در این بخش از اتمسفر شده است.

فهرست منابع

- اردکانی، س.؛ طیبی، ل.؛ چراغی، م. و اردکانی، ا. س. ۱۳۸۷. ارزیابی کیفیت بهداشتی هوای تهران در سال ۱۳۸۵ با کاربرد شاخص کیفیت هوا به تفکیک ایستگاه‌های سنجش آلاینده‌ها ی هوا؛ دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران. اسکانی کزازی، غ. ج. و لاله سیاه پیرانی، م. ۱۳۸۹. تحلیل سینوپتیکی آلودگی هوای شهر تهران، فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیا، ۱۲ (۴): ۱۳۵-۱۶۱
- جنیدی جعفری، ا. ج.، ظهور، ع. ر.، رضایی، ر.، ملک افضلی، ش و سیف، آ. ۱۳۸۸. برآورد تعداد مرگ‌های قلبی و تنفسی منتسب به آلودگی هوای، شهر تهران بر حسب ذرات (۱۳۸۵)، فصلنامه طب و تزکیه، دوره ۱۷، شماره ۷۴-۷۵: ۴۷-۳۷.
- حسینی، ا.؛ هاشمی، ح. و نیکروان، م. ۱۳۸۹. تحلیل و بررسی آماری داده‌های شاخص آلودگی هوای تهران از سال ۱۳۸۱ الی ۱۳۸۷، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۴ تا ۱۶ اردیبهشت ۱۳۸۹، دانشگاه فردوسی مشهد.
- خراسانی، ن.؛ چراغی، م.؛ ندافی، ک. و کرمی، م. ۱۳۸۱. بررسی و مقایسه کیفیت هوا در شهرهای تهران و اصفهان در سال ۱۳۷۸ و ارائه راهکارهایی برای بهبود آن، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۵ (۴): ۵۶۸-۵۵۹.
- خرسندی، ح.؛ امینی تپوک، ف.؛ کارگر، ح. و موسوی مغانجوقی، س. ۱۳۹۱. بررسی کیفیت بهداشتی هوای شهر ارومیه بر اساس شاخص AQI، مجله پزشکی ارومیه، ۲۳ (۷): ۷۷۵-۷۶۷.
- دلجو، ا. ه. ۱۳۷۹. مطالعه و بررسی وارونگی دما و ناپایداری بر روی آلودگی هوای شهر تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی.
- روشن‌ضمیر، س. و ایکانی، م. ج. ۱۳۸۰. بررسی آلودگی هوای تهران، سومین همایش ملی انرژی در ایران، کمیته ملی انرژی جمهوری اسلامی ایران، معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو.
- شرعی‌پور، ز. و علی‌اکبری بیدختی، ع. ع. ۱۳۸۹. ارتباط شرایط هواشناسی جو بالا با حالات حاد آلودگی هوای تهران، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران، فیزیک فضا.
- شفیع‌پور مطلق، م. و خمسه‌ای، س. ب. ۱۳۸۷. مهندسی آلودگی هوا، نشر شهر، ۲۸۸ ص.
- شمسی‌پور، ع. ا.؛ نجیب‌زاده، ف. و حسین‌پور، ز. ۱۳۹۱. شبیه‌سازی الگوی پراکنش آلودگی هوای کلان شهر تهران در شرایط وزش باد، جغرافیا و مخاطرات محیطی ۱ (۴): ۳۶-۱۹.
- صفوی، س. ی. و علیجانی، ب. ۱۳۸۵. بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۸ (۳۸): ۹۹-۱۱۲.
- عزیزی‌فر، م.؛ ندافی، ک.؛ محمدیان، م.؛ صفدری، م. و خزایی، م. ۱۳۹۰. بررسی شاخص کیفیت هوا و غلظت ذرات معلق با قطر آئرودینامیکی در هوای شهر قم، مجله دانشگاه علوم پزشکی قم، ۵ (۲): ۶۴-۵۹.
- علی‌اکبری بیدختی، ع. ع. و بنی‌هاشم، ت. ۱۳۷۶. لایه آمیخته شهری و آلودگی هوا، محیط‌شناسی، ۲۰.
- گلباز، س. و جنیدی جعفری، ا. ۱۳۹۰. بررسی مقایسه‌ای کیفیت بهداشتی هوای شهرهای تهران و اصفهان در سال ۱۳۸۷، مجله علوم پزشکی رازی، ۱۸ (۸۴): ۴۶-۲۸.

- لشکری، ح. و هدایت، پ. ۱۳۸۵. تحلیل سینوپتیکی اینورژن‌های شدید در تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، ۸۲:۵۶-۶۵.
- لیلی، م.؛ ندافی، ک.؛ نبی‌زاده، ر.؛ یونسین، م.؛ مصداقی‌نیا، ع. ر. و نظم‌آرا، ش. ۱۳۸۸. بررسی غلظت ذرات معلق و شاخص کیفیت هوا (AQI) در محدوده‌ی مرکزی شهر تهران، دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده‌ی بهداشت.
- ندافی، ک. و موسوی، غ. ر. ۱۳۷۹. بررسی مقایسه‌ای کیفیت هوای شهر تهران در سال ۱۳۷۶ و ۱۳۷۷، سومین همایش کشوری بهداشت محیط، کرمان.
- ندافی، ک.؛ نبی‌زاده، ر.؛ نظم‌آرا، ش.؛ نورمرادی، ح. و محمدی، ف. ۱۳۸۹. بررسی مقادیر TSP و PM₁₀ و توصیف کیفیت هوا با تکیه بر شاخص AQI در هوای مناطق مرکزی شهر تهران در سال ۸۵-۱۳۸۴، مجله تحقیقات سلامت، ۶ (۴): ۵۶-۴۵.
- یاوی، ح. و سلیقه، م. ۱۳۹۰. سطوح وارونگی در آلودگی‌های شهر تهران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۷ (۲۰): ۱۰۵-۸۹.
- Chan, C.Y; XU XD; & LI. Y.S .2005. Characteristics of vertical profiles and sources of PM_{2.5}, PM₁₀ and Carbonaceous Species in Beijing. *Atmospheric Environment* 2005;39: 5113-5124.
- Ccoyllo, S. O. R. & Andrade, M. F. 2002. The influence of meteorological conditions on the behavior of pollutants concentrations in São Paulo, Brazil, *Environmental Pollution*, 116, Issue 2, 257-263.
- Chaaban FB. 2008. Air quality. In: Tolba MK and Saab NW, Editor Arab environment: future challenges. Beirut: Technical Publications and Environment & Development Magazine;. P.45-62.
- Hirota K. 2010. Comparative studies on vehicle related policies for air pollution reduction in ten Asian countries. *Sustainability*; 2:145-62.
- Klasner, A; Smith, S; Thompson, M; & Scalzo A. 1998, Carbon monoxide mass exposure in a pediatric population. *Academic Emergency Medicine*; 5: 992-96.
- Lakshmi Singh. & A. Jamal, S .2012. Assessing vulnerability of women to indoor air pollution, *Research Journal of Environmental and Earth Sciences* 4(11): 982-989, 2012.
- Lam, K. C. & Cheng, S. 1998. A synoptic climatological approach to forecast concentrations of sulfur dioxide and nitrogen oxides in Hong Kong. *Environmental pollution* 101, 183-191.
- Olga V.; Taseiko. A; Sergey, V; Mikhailuta. A; Anne Pitt. B; Anatoly, A; Lezhenin, c; Yuri, V; & Zakharov, d. 2009. Air pollution dispersion within urban street canyons. 245-252.
- Prashant K. 2005. Mass and number concentration of respirable suspended particulate matter (RSPM) on Selected urban corridors of Delhi City. MSc. Thesis: Indian Institute of Technology Delhi.
- Rodriguez S. 2001. Sahara dust contribution to PM₁₀ and TSP level a in southern and eastern. *Atmospheric Environment* 2001; 35(14):36-45.
- U.S. Environmental Protection Agency .2009. A guide to air quality and your health, Office of air quality planning and standards outreach and information division research, Triangle Park, NC, August 2009, EPA-456/F-09-002.