

بررسی رابطه تپ‌های هوایی تبریز و آلودگی هوا

حسین عساکره* - عضو هیئت‌علمی دانشگاه زنجان
لیلا احدی - دانشجوی دکترای آب‌وهواشناسی دانشگاه زنجان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۲۵

چکیده

آلودگی هوا، به‌ویژه در کلان‌شهرها، اهمیت قابل توجهی دارد. از عوامل تشدیدکننده این مشکل شهری شرایط جوی و تپ‌های هوایی حاکم بر شهرهاست. تبریز از جمله کلان‌شهرهای کشور است که با شرایط حاد آلودگی هوا مواجه است. هدف اصلی از این پژوهش بررسی رابطه شرایط جوی و تپ‌های هوایی تبریز در تشدید آلاینده‌های هواست. بدین‌منظور، سه نوع داده استفاده شده است: اول، میانگین داده‌های ساعتی گازهای آلاینده جو جهت بررسی آلودگی جو؛ دوم، میانگین داده‌های روزانه هواشناسی برای استخراج تپ‌های هوایی؛ سوم، داده‌های بازگای شده مرکز ملی پیش‌بینی محیط و مرکز ملی پژوهش‌های جوی ایالات متحده آمریکا برای واریس الگوهای جوی توأم با تپ‌های هوایی به‌کار گرفته شد. نتایج بررسی تپ‌های هوایی توأم با روزهای آلوده نشان داد باد غالب جنوب غربی - شمال شرقی با سرعت کم است که حاصل استقرار مرکز پرفشار اروپا و سیبری در شمال غربی و شمال شرقی ایران و استقرار مرکز کم‌فشار روی دریای خزر بوده است و توأم با حرکت هوا از مناطق پرفشار به منطقه کم‌فشار به‌صورت ساعت‌گرد و همراه تکوین جریانات جنوب غربی بوده است. روزهایی که آلاینده PM_{10} به شدیدترین میزان رسیده است بر روی منطقه مورد مطالعه در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال مرکز کم‌فشار و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال جریانات مداری حاکم است. باد تراز دریا و ۵۰۰ هکتوپاسکال به‌صورت جنوب غربی و غربی است. از آنجا که صنایع در غرب تبریز قرار دارند، کم‌فشار مذکور در ارتباط با سامانه‌های مجاور آلودگی صنایع را به مرکز شهر هدایت می‌کند.

واژگان کلیدی: آلاینده‌های جوی، آلودگی هوا، تبریز، تحلیل خوشه‌ای، نمایه AQI

مقدمه

بی‌توجهی به محیط زیست در سال‌های اخیر موجب به‌وجود آمدن مشکلات زیاد زیست‌محیطی شده است. آلودگی هوا یکی از این مشکلات بزرگ زیست‌محیطی و اقتصادی است که در سراسر جهان مطرح شده و این مسئله به‌ویژه در شهرهای بزرگ صنعتی به‌صورت مشکل حادتری مطرح می‌شود (روحانی و همکاران، ۱۳۸۵: ۸۷). می‌توان گفت آلودگی هوا از زمان اختراع آتش شروع شده است. وقتی صنعت‌گرایی به خط مقدم توسعه رسید، آب‌وهوای شهری و کیفیت هوا به‌طرز چشم‌گیری تغییر کرد که به تغییر در چرخه هیدرولوژیکی، کشاورزی، بارندگی نامنظم، افزایش خشک‌سالی، و سیل منجر شد (لاوانیا و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۲۴۹). گسترش بی‌رویه شهرها و شهرنشینی و نیز رشد بخش صنعت، به‌ویژه در مجاورت شهرهای بزرگ، و ترکیب آن‌ها با مجموعه عوامل طبیعی و اقلیمی باعث افزایش آلودگی هوا و تغییراتی در آب‌وهوای شهری و بعضاً جهانی را در پی داشته و محیط زیست از حالت تعادل خود خارج شده و آسیب‌های جدی بر آن وارد شده است و نگرانی‌های بشر را برای آینده دوچندان کرده است. از مهم‌ترین مشکلات دو دهه اخیر گازهای

گلخانه‌ای و گرمایش جهانی است (کایگوسوز، ۲۰۰۹: ۲۵۳). کیفیت ضعیف هوا بر سلامتی انسان و محیط زیست تأثیر منفی می‌گذارد. به همین دلیل، دولت‌ها و سازمان‌های بخش خصوصی در سراسر جهان طیف گسترده‌ای از راه‌های بهبود کیفیت هوا را توسعه و به هم پیوند می‌دهند (کواری و همکاران، ۲۰۱۹).

وضعیت جوی در هر روز متأثر از شرایط همدیدی حاکم بر هر منطقه در آن روز است (کاوپانی و علیجانی، ۱۳۹۸: ۲۷۴). به عبارت دیگر، ناشی از آرایش سامانه‌های جوی نسبت به یکدیگر و خصوصیت دینامیکی و ترمودینامیکی حاکم بر آن‌هاست. از این رو، الگوی همدیدی در برخی اوقات به گونه‌ای است که شرایط پایداری و آرامش را در جو حاکم ساخته و در نتیجه به دلیل تراکم مواد آلاینده در لایه‌های زیرین و فقدان جریان‌های جوی یا ضعیف بودن شدت آن‌ها، شدت آلودگی افزایش یافته یا الگوی همدیدی حاکم به گونه‌ای است که جو را ناپایدار کرده است و به دلیل شدت یافتن جریان‌های قائم و افقی عناصر آلاینده در داخل جو پخش می‌شود و غلظت آن کاهش می‌یابد (لشکری و هدایت، ۱۳۸۵).

سازمان بهداشت جهانی هر سال فهرستی از ده کشور آلوده جهان ارائه می‌دهد که در این فهرست نام کشور ایران و شهر تبریز به‌عنوان یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان به‌چشم می‌خورد. هشت شهر آلوده کشور ایران عبارت‌اند از: تهران، اهواز، اراک، تبریز، مشهد، شیراز، کرج، و اصفهان. شهر تبریز یکی از کلان‌شهرهای ایران با جمعیت و مهاجرپذیری قابل توجه و نیز وجود مراکز صنعتی (نظیر نیروگاه حرارتی، مجتمع پتروشیمی، پالایشگاه، ماشین‌سازی، تراکتورسازی، کوره آجرپزی، و ...) و همچنین تردد روزانه هزاران خودرو و مصرف میلیون‌ها لیتر بنزین، که مولد آلودگی‌اند، در ارتباط با موقعیت توپوگرافی و عدم پراکنش مؤثر آلاینده‌ها در وضعیت بحرانی قرار دارد. جو و هوای شهر تبریز به دلیل کمبود تهویه طبیعی، کمی سرعت باد، و پایداری جو با وارونگی دما مواجه است و این شرایط باعث ایجاد یا تشدید آلودگی هوا می‌شود (پناهی، ۱۳۹۷). شرایط جوی (شامل وارونگی دمایی هوا در فصل سرد سال، ریزگردهای فرامنطقه‌ای و محلی، و تیپ‌های هوایی مؤثر بر آلودگی) در تشدید این وضعیت بسیار مؤثرند.

پژوهشگران پُرشماری برای شناخت سازوکار، پیشگیری، و کنترل آلودگی هوا اهتمام ورزیده و مطالعات بسیاری انجام داده‌اند. در برخی از این مطالعات، روش‌های شناسایی آلاینده‌ها و سازوکار آن‌ها در معرض توجه قرار گرفتند. مثلاً، کانور و همکاران (۲۰۱۳) منابع آلودگی و پیش‌بینی کیفیت هوای شهری با استفاده از روش آموزش گروه را شناسایی کردند. ایشان با استفاده از شگرد تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و مدل‌های یادگیری منابع آلودگی هوا را شناسایی و کیفیت هوای شهر لکنو را پیش‌بینی کردند. از مدل‌های مطالعه‌شده می‌توان برای پیش‌بینی کیفیت هوای محیط شهری استفاده کرد (کانور و همکاران، ۲۰۱۳: ۴۲۶). قربانی و همکاران (۱۳۹۱) وضعیت آلودگی هوای شهر تبریز براساس تحلیل مؤلفه‌های اصلی را مطالعه کردند. در این پژوهش با استفاده از مدل رگرسیون چندمتغیره عامل‌های اصلی مشخص شد. نتایج نشان داد عوامل انسانی و عوامل اقلیمی بر آلودگی تأثیر زیادی دارد (قربانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۸۹).

از جمله اثرهای آلودگی هوا می‌توان به نقش آلاینده‌ها بر سلامت انسان اشاره کرد؛ مثلاً، دیمیترو و همکاران (۲۰۱۳) کیفیت هوا را براساس ایستگاه‌های آلاینده‌سنجی هشت کشور عضو اتحادیه اروپا و دو نمایه متفاوت API و PI و داده‌های O_3 ، NO ، CO ، SO_2 و PM_{10} در اتحادیه اروپا بررسی کردند و نقش آلاینده‌ها بر سلامتی را در یک طبقه‌بندی اثبات کردند (دیمیترو و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۰۸). بنایسا و همکاران (۲۰۱۴) اثر آلودگی هوا بر سلامت انسان را در شهر بجایا در الجزایر شمالی با نرخ مرگ‌ومیر مرتبط با آلودگی هوا در حد بالا بررسی کردند. نتایج نشان داد حساسیت به آلودگی به سن، جنس، و محل سکونت بستگی دارد. همبستگی قوی بین CO و مرگ‌ومیر ناشی از آسم و بیماری

مزمّن انسداد ریه (COPD) در شهر بجایا مشاهده شد (بنایسا و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۲۲۱). میچینگ ژو و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به ارتباط بین آلودگی هوای محیط و مرگ‌ومیر تنفسی بزرگ‌سالان در ۳۲ شهرستان عمده چینی، ۲۰۰۶-۲۰۱۰ با استفاده از داده PM10 آلودگی هوا، شمار مرگ‌ومیر ماهانه، و نیز شرایط آب‌وهوایی (دما و بارش) پرداختند. یافته‌ها نشان داد ارتباط مثبت و معنی‌داری بین مرگ‌ومیر بیماران تنفسی و آلودگی هوا وجود دارد. در شهرستان‌های شمالی که در طول ماه‌های سرد که زغال سنگ سوزانده می‌شود این رابطه بیشتر است (میگنگ و همکاران، ۲۰۱۵: ۲۷۸). هیسن و همکاران (۲۰۱۵) به مطالعه تأثیرات ذرات آلودگی هوا و ازن در عملکرد ریه کودکان غیرمبتلا به آسم در سراسر کشور تایوان در بین دانش‌آموزان ۶ تا ۱۵ سال در ۴۴ مدرسه در ۲۴ منطقه پرداختند. نتایج نشان داد در کودکان ۶ تا ۱۵ سال با قرارگرفتن در معرض مقدار کم PM2.5 و ازن ظرفیت ریه کاهش می‌یابد و با قرارگرفتن در معرض مقدار زیاد ازن جریان بازدم کاهش می‌یابد. در کودکان ۶ تا ۱۰ سال انسداد راه هوایی و عملکرد ریه ممکن است با مقدار PM2.5 در ارتباط باشد (هیسن و همکاران، ۲۰۱۵: ۴۰). کایوال و همکاران در سال ۲۰۲۰ آلودگی هوا در خانه‌های روستایی به دلیل استفاده از سوخت جامد زیست‌توده و تأثیرات آن بر سلامتی را بررسی و بیان کردند که قرارگرفتن در معرض آلاینده‌های هوای سمی خانگی از احتراق ناقص سوخت‌های زیست‌توده جامد با بیماری انسدادی مزمّن ریوی، عفونت‌های حاد تنفسی تحتانی، سرطان ریه، سکتۀ مغزی، و ... مرتبط است (کایوال و همکاران، ۲۰۲۰: ۱). دل‌پیشه و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی تأثیر آلودگی هوا بر نتایج بارداری پرداختند و دریافتند که آلودگی هوا باعث مرگ نوزادان ناشی از مشکلات تنفسی می‌شود. سطوح بالای آلودگی هوا باعث نقص DNA در نوزادان می‌شود و خطر مرگ‌ومیر، بیماری‌های دوران کودکی، فشار خون، بیماری عروق کرونر، و دیابت غیروابسته به انسولین را در افرادی که در دوران جنینی با سطوح بالای آلودگی هوا مواجه شده‌اند افزایش می‌دهد (دل‌پیشه و همکاران، ۱۳۹۳: ۷).

در خصوص تأثیر فرایندهای جوی بر آلودگی هوا، در ایران مطالعات پُرشماری انجام شده است. مثلاً، جهان‌بخش اصل و روشنی (۱۳۹۳: ۸۱) به بررسی شرایط الگوی سینوپتیکی حاکم بر وضعیت‌های وارونگی دمای بسیار شدید شهر تبریز پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که میان حضور سامانه‌های پُرفشار و وارونگی دمایی بسیار شدید همبستگی معناداری وجود دارد. خلیل ارجقی و هروی (۱۳۹۸) رابطه بین نمایه‌های جوی و آلودگی هوای شهر تبریز را بررسی کردند. در این پژوهش از ۱۴ نمایه استفاده شده است که دو نمایه دمای درونی اینورژن و ضخامت آن با آلودگی هوا ارتباطی نشان نداده‌اند. ولی ۱۲ نمایه دیگر رابطه مستقیم داشته‌اند.

پژوهشگران با بررسی شرایط همدیدی در روزهای استیلای آلودگی هوا به بررسی شرایط جوی در پایداری یا تشدید آلودگی هوا پرداخته‌اند. در پژوهش حاضر، روزهایی که آلودگی هوا تشدید یافته شناسایی و شرایط همدیدی حاکم بر آن روز بررسی می‌شود. هدف از این مطالعه شناسایی تیپ‌های هوایی غالب در منطقه و الگوهای همدیدی در زمان استقرار آلودگی در شهر تبریز است. هیچ یک از مطالعات پیشین به تیپ‌های هوای توأم با آلودگی هوا در شهر تبریز توجه نکرده‌اند. علاوه بر این، هریک از این تیپ‌ها با شرایط همدیدی همراه بوده است که در مطالعات پیشین مورد غفلت قرار گرفته بود.

داده‌ها و روش‌ها

در پژوهش حاضر سعی شده است تیپ‌های هوایی توأم با آلودگی هوای شهر تبریز شناسایی و مطالعه شوند. پژوهش حاضر از نوع کاربردی، روش پژوهش توصیفی-تحلیلی و روش گردآوری داده‌ها کتابخانه‌ای (اسنادی) است. به‌منظور دستیابی به اهداف این پژوهش، از سه گروه داده به شرح زیر استفاده شد:

۱. میانگین داده‌های ساعتی آلاینده‌های جو (CO, PM10, NO2, O3, SO2) برای دوره آماری ۱۳۸۳-۱۳۹۲ از سازمان حفاظت محیط زیست آذربایجان شرقی برای شش ایستگاه (آبرسان، باغشمال، حکیم نظامی، راه‌آهن، راسته‌کوچه، و بهداشت) تأمین شد. بدین ترتیب، امکان بررسی شرایط آلودگی مؤثر بر سلامت انسان با توجه به آستانه‌های تعریف‌شده (EPA)^۱ مهیا شد. شکل ۱ موقعیت شهر تبریز و ایستگاه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد.

بر طبق نظر سازمان محیط زیست تبریز و شرکت کنترل کیفیت هوا، داده‌های پرت، از بین داده‌های ساعتی آلاینده‌های جو حذف شد. داده‌های ساعتی دوره آماری مورد مطالعه به‌صورت تک به تک بررسی شد و داده‌های پرت و سایر مشکلات داده‌ها در جلسه‌ای حضوری با سازمان محیط زیست حذف یا اصلاح شد. داده‌های ساعتی ثبت‌شده در ایستگاه آلاینده‌سنجی شهر تبریز به داده‌های میانگین هشت‌ساعته (ساعت ۰-۷، ۸-۱۵، ۱۶-۲۴) ماهانه و سالانه تبدیل شد و برای درک بهتر و بیشتر این داده‌ها به‌صورت درصد محاسبه و نمایش داده شد. دو محدودیت عمده این داده‌ها شامل طول دوره آماری کوتاه و وجود داده‌های پرت فراوان در مشاهدات است. بر این اساس، می‌توان گفت داده‌ها شامل نمونه‌های غیرتصادفی است. در نمونه‌گیری غیرتصادفی، به پدیده تصادف در انتخاب نمونه‌ها توجه نمی‌شود. عمده‌تأ دسترس‌ها، مهارت، سهمیه، و ... تعیین‌کننده نمونه‌گیری‌اند. یکی از انواع نمونه‌گیری تصادفی نمونه‌گیری در دسترس (اقتضایی) است. وقتی که حجم جامعه بسیار بزرگ باشد، اما از همه اجزای آن نتوان نمونه‌گیری کرد، از این نوع نمونه‌گیری استفاده می‌شود. در این نوع نمونه‌گیری، اعضای جامعه مورد پژوهش براساس راحتی نسبی دسترس به آن‌ها انتخاب می‌شوند. مثلاً، استفاده از طول دوره آماری در دسترس برای عناصر آب‌وهوایی از این قبیل است. چون برآورد عناصر آب‌وهوایی از مجاری دیگر (نظیر تخمین‌های آماری یا نشانه‌های محیطی) توأم با خطا و نیز زمان‌بر و هزینه‌بر است، به داده‌های اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی بسنده می‌شود (عساکره، ۱۳۹۶: ۳۴۴).

۲. میانگین داده‌های روزانه هواشناسی (ساعات آفتابی، دمای نقطه شبنم، حداقل دما، میانگین ابرناکی، میانگین فشار بخار آب، میانگین سرعت باد، فشار سطح ایستگاه، فشار سطح دریا، بارش، میانگین دما، میانگین کمینه دما، میانگین بیشینه دما، میانگین رطوبت نسبی، میانگین کمینه رطوبت نسبی، و میانگین بیشینه رطوبت نسبی) طی دوره مورد مطالعه از سازمان هواشناسی تبریز تهیه شد. بدین ترتیب، امکان بررسی تیپ‌های هوایی تبریز در زمان‌های در دسترس مهیا شد. برای بررسی رابطه عناصر آب‌وهوایی با آلاینده‌های جو، عناصر بارش، دما، رطوبت نسبی، و سرعت باد مطالعه شد و همبستگی عناصر جوی با آلاینده‌های جو محاسبه شد. سپس، برای بررسی ارتباط کل عناصر اقلیمی به‌صورت توأم با شرایط آلودگی هوا تیپ‌بندی انجام گرفت.

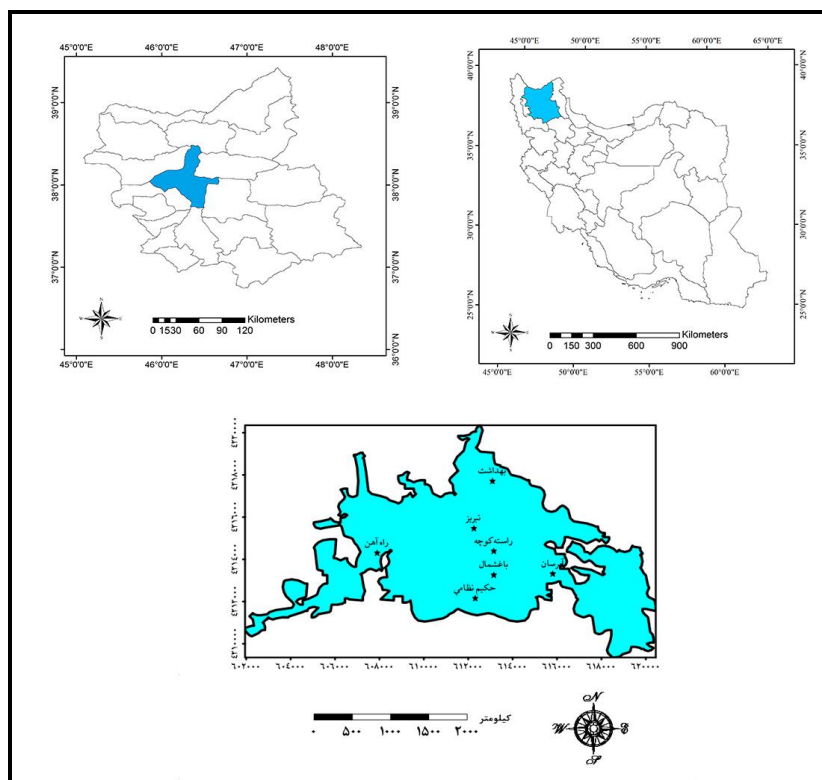
۳. به‌منظور بررسی شرایط جوی توأم با هریک از تیپ‌های هوایی، داده‌های بازکاوی‌شده مرکز ملی پیش‌بینی محیط و مرکز ملی پژوهش‌های جوی ایالات متحده آمریکا (NCEP/NCAR)^۲ (شامل داده‌های فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل) با تفکیک مکانی $2/5 \times 2/2$ درجه در فواصل زمانی شش‌ساعته و در محدوده بین ۱۰ درجه طول غربی تا ۱۲۰ درجه طول شرقی و از مدار ۰ تا ۸۰ درجه عرض شمالی از پایگاه اینترنتی www.cdc.noaa تهیه شد.

1. US Environmental Protection Agency

2. National Center for Environment Prediction/National Center for Atmospheric Research

جدول ۱. میانگین روزانه متغیرهای مورد استفاده طی دوره آماری ۱۳۸۳-۱۳۹۲

سال	ساعت آفتابی	دمای نقطه شبنم	حداقل دید	میانگین ابرناکی	جهت باد غالب	میانگین فشار بخار آب	میانگین سرعت باد	فشار سطح ایستگاه	فشار سطح دریا	بارش	میانگین دما	حداقل دما	حداکثر دما	میانگین رطوبت	حداقل رطوبت	حداکثر رطوبت
۱۳۹۸/۰۱/۰۱	۱۰.۵	-۶.۳	۱۰۰۰۰	۱.۰	۳۳-	۳.۸	۲.۳	۸۶۷.۹	۱۰۲۲.۷	۰.۰	۵.۲	-۲.۶	۱۱.۲	۴۵.۱	۲۶	۷۲
۱۳۹۸/۰۱/۰۲	۱۰.۷	-۷.۸	۱۲۰۰۰	-۰.۳	۲۸-	۳.۴	۳.۶	۸۶۸.۶	۱۰۲۲.۷	۰.۰	۷.۳	-۰.۶	۱۴.۲	۲۶.۳	۱۶	۶۱
۱۳۹۸/۰۱/۰۳	۱۰.۵	-۵.۴	۱۰۰۰۰	۱.۵	۲۳-	۴.۱	۳.۵	۸۷۰.۲	۱۰۲۲.۹	۰.۰	۱۰.۱	۱.۸	۱۷.۴	۲۶.۰	۱۶	۶۰
۱۳۹۸/۰۱/۰۴	۱۱.۰	-۴.۹	۱۰۰۰۰	-۰.۱	۵-	۴.۳	۳.۱	۸۷۱.۴	۱۰۲۳.۱	۰.۰	۱۱.۹	۳.۴	۱۹.۸	۲۲.۱	۱۹	۵۲
۱۳۹۸/۰۱/۰۵	۱۰.۹	-۶.۱	۸۰۰۰	۲.۴	۲۶-	۳.۹	۲.۸	۸۶۹.۴	۱۰۱۹.۷	۰.۰	۱۴.۰	۵.۶	۲۲.۰	۲۵.۳	۱۵	۴۳
۱۳۹۸/۰۱/۰۶	۱۰.۹	-۸.۲	۱۰۰۰۰	۱.۶	۲۶-	۳.۳	۲.۳	۸۶۴.۷	۱۰۱۳.۵	۰.۰	۱۴.۵	۶.۵	۲۱.۶	۲۱.۳	۹	۳۲
۱۳۹۸/۰۱/۰۷	۱۰.۶	-۴.۰	۱۰۰۰۰	-۰.۴	۲۶-	۴.۶	۳.۱	۸۶۳.۹	۱۰۱۲.۷	-۰.۰	۱۴.۳	۶.۲	۲۱.۶	۲۸.۹	۱۷	۴۳
.
.
.
۱۳۹۲/۰۸/۲۹	۹.۵	-۱۰.۳	۷۰۰۰	۲.۰	۲۵-	۲.۸	۲.۴	۸۶۱.۷	۱۰۲۱.۴	-۰.۱	-۴.۶	-۱۱.۶	۱.۶	۶۶.۳	۴۳	۸۹
۱۳۹۲/۰۸/۳۰	۹.۲	-۸.۷	۱۲۰۰۰	۱.۱	۲۷-	۳.۲	۲.۳	۸۵۹.۴	۱۰۱۷.۴	-۰.۰	-۱.۸	-۱۰.۰	۶.۴	۶۱.۸	۳۷	۸۶
۱۳۹۲/۰۹/۰۱	۹.۷	-۷.۴	۷۰۰۰	۲.۶	۲۴-	۳.۵	۳.۰	۸۵۸.۹	۱۰۱۵.۰	-۰.۰	-۰.۹	-۶.۸	۸.۰	۵۶.۹	۲۸	۸۱
۱۳۹۲/۰۹/۰۲	۳.۱	-۵.۱	۱۰۰۰۰	۵.۸	۱۹-	۴.۲	۵.۱	۸۵۴.۹	۱۰۰۸.۸	-۰.۰	۳.۲	-۵.۸	۸.۴	۵۶.۳	۳۵	۸۱



شکل ۱. موقعیت شهر تبریز و ایستگاه های مورد مطالعه

تپ‌بندی هوای شهر تبریز با روش تحلیل خوشه‌ای بر مبنای فاصله اقلیدسی و با تکنیک ادغام «وارد» انجام گرفت. تحلیل خوشه‌ای یکی از روش‌های آماری پُرکاربرد برای طبقه‌بندی داده‌ها در بسیاری از شاخه‌های علمی است (کلانتری، ۱۳۸۷، به نقل از خورشیددوست، ۱۳۹۳: ۱۰۷). طبقه‌بندی پایگاه اطلاعات بزرگ موجب می‌شود حجم زیادی از اطلاعات به چند دسته متجانس کوچک تبدیل شود (قربانی و همکاران، ۱۳۹۳: ۶۴). این شیوه تقسیم‌بندی را برای اولین بار استاینر در سال ۱۹۵۶ به کار گرفت (حیدری و علیجانی، ۱۳۷۸: ۵۸؛ فلاح قاله‌ری و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۵۲). در این روش دسته‌بندی کردن

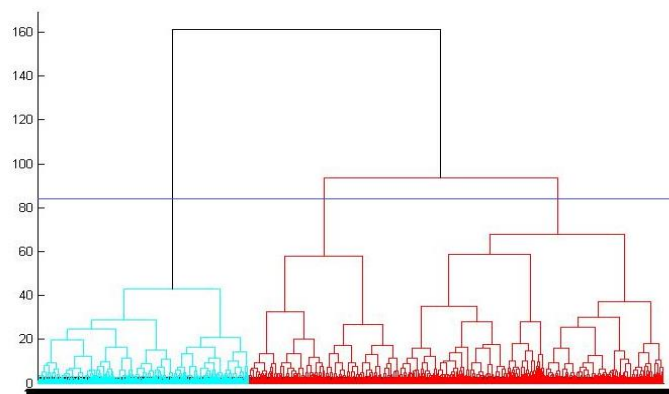
بر اساس مشابهت‌ها یا عدم شباهت‌ها انجام می‌شود. به منظور شناخت کلی ویژگی‌های هر تیپ، مشخصات تیپ‌های مذکور واری و بررسی شد. روزهای نماینده هر تیپ بر اساس روش لوند به دست آمد. بر این اساس، برای انتخاب روز نماینده روزی که بیشترین شباهت را با بیشترین تعداد روزهای گروه دارد انتخاب می‌شود. ضریب همبستگی معرف درجه همانندی روزها با همدیگر است. برای این کار، باید ضریب همبستگی آستانه معینی را پذیرفت. مقدار ضریب همبستگی در این گونه موارد نوعاً بین ۰/۵ تا ۰/۷ تغییر می‌کند. در پژوهش حاضر روزهای نماینده بر پایه آستانه ۰/۵ استخراج شد. روزی که با تعداد روزهای بیشتری ضریب همبستگی ۰/۵ و بیشتر داشته باشد به عنوان روز نماینده انتخاب شد؛ از هر تیپ هوا یک روز نماینده اختیار شد. سپس، با استفاده از داده‌های روزانه شرایط جوی (شامل ساعات آفتابی، دمای نقطه شبنم، حداقل دید، میانگین ابرناکی، میانگین فشار بخار آب، میانگین سرعت باد، فشار سطح ایستگاه، فشار سطح دریا، بارش، میانگین دما، میانگین کمینه دما، میانگین رطوبت نسبی، میانگین رطوبت نسبی، و میانگین بیشینه رطوبت نسبی) در ایستگاه همدید تبریز رابطه تیپ‌های هوا و آلودگی شهر تبریز واری شد. در طی این دوره آماری، ۲۵۲۵ روز، که دارای داده‌های کاملی از ۱۶ متغیر مورد بررسی‌اند، مورد استفاده قرار گرفتند و محاسبه شدند. برای شناسایی شرایط همدید روزهای آلوده، نقشه‌های فشار سطح دریا و ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روزهای نماینده گروه‌ها بررسی شد (بارری، ۱۹۹۷: ۱۱).

یافته‌های پژوهش

تیپ‌های هوایی و آلاینده‌ها

دارنمای ارائه شده در شکل ۲ بر پایه مشخصات جوی روزهای مورد بررسی حاصل شده است. بر مبنای دارنمای ترسیم شده، با آزمون و خطا و نیز اعمال آزمون میانگین درون گروهی و برون گروهی تیپ‌های به دست آمده، مشخص شد که هم‌زمان با آلودگی هوا، سه تیپ هوایی در دوره مورد بررسی بر تبریز غالب بوده‌اند. فراوانی رویداد هر تیپ در هر ماه در جدول ۱ نشان داده شده است.

با توجه به جدول ۲، بیشترین تمرکز تیپ اول در ماه‌های اکتبر تا آوریل و در ماه‌های ژانویه تا آوریل است. می‌توان گفت بیشترین فراوانی تیپ اول در فصل پاییز و زمستان تیپ دوم در ماه‌های ژانویه تا می یعنی در فصل زمستان و بهار است. فراوانی این تیپ در ماه‌های نوامبر و دسامبر در مرتبه بعد قرار دارد. این تیپ جوی در فصل پاییز نیز مشاهده می‌شود. تیپ سوم در فصل بهار و به‌ویژه تابستان بیشتر رخ می‌دهد.



شکل ۲. دارنمای داده‌های فشار تراز دریا

جدول ۲. فراوانی تیپ‌های هوایی تبریز در ماه‌های مختلف (۱۳۸۳-۱۳۹۲)

ماه	تیپ‌های هوا		
	۱	۲	۳
ژانویه	۶۰	۱۳۵	۰
فوریه	۵۶	۱۳۰	۰
مارس	۷۶	۱۴۳	۰
آوریل	۵۲	۱۷۵	۱۳
می	۲۵	۱۲۸	۸۸
ژوئن	۴	۱۶	۱۸۵
ژوئیه	۰	۱	۱۹۸
آگوست	۱	۱	۱۹۵
سپتامبر	۲۱	۲۵	۱۴۷
اکتبر	۱۲۹	۷۶	۲۳
نوامبر	۹۲	۱۱۹	۰
دسامبر	۹۶	۱۱۵	۰

با مشخص شدن ۳ تیپ هوایی، می‌توان دید که در تیپ ۱، که بیشتر در فصول پاییز و زمستان رخ می‌دهد، دما معتدل است. بارش و رطوبت و وزش باد در این تیپ کم است. در تیپ ۲، که بیشتر در فصول زمستان و بهار رخ می‌دهد، دمای هوا خنک، مرطوب، و وزش باد و بارش زیاد است. در تیپ ۳، که عمدتاً در تابستان رخ می‌دهد، شرایط خشک و گرم، با بارش کم، و با وزش زیاد باد همراه است. به دلیل ناهمسانی شمار مشاهدات ایستگاه همدید و آلاینده‌های جو، برای به‌دست‌آوردن آماره‌های توصیفی متغیرهای آلاینده در ۳ تیپ هوا، آماره‌های ۲۴ ساعته آلاینده‌ها محاسبه و برآورد شد. روزهایی که در ایستگاه همدید و در ایستگاه آلاینده‌سنجی ثبت شده‌اند، آماره‌ها برای هر تیپ استخراج شد (جدول ۳).

به‌صورت کلی، تبریز از نظر آلاینده PM_{10} و CO آلوده است. مقدار بالای آلاینده‌های NO_2 ، SO_2 و CO در تیپ ۱ بیشتر از سایر تیپ‌ها است. تیپ ۱ بیشتر در فصل پاییز و زمستان رخ می‌دهد. فصول سرد سال آلودگی هوا بیشتر تحت تأثیر شرایط جوی موجود و پدیده وارونگی دما یا اینورژن است که سبب می‌شود آلاینده‌ها تا مدتی نسبتاً طولانی در هوای اطراف زمین باقی بمانند و تا شدت یافتن نور خورشید و گرم شدن زمین پایدار می‌ماند. مقدار آلاینده O_3 و PM_{10} در تیپ ۱ کمتر از تیپ‌های هوای دیگر است که به دلیل کم‌بودن ساعات آفتابی و نور خورشید در فصول پاییز و زمستان است. مقدار آلاینده NO_2 ، CO و SO_2 در تیپ ۳ کمتر از سایر تیپ‌های هواست. در تابستان با توجه به افزایش طول روز و گرمای هوا به‌ندرت با پدیده وارونگی دما به مدت طولانی و مشابه زمستان روبه‌رو خواهیم شد. بنابراین، از شدت و تراکم آلاینده‌ها تا حدود زیادی کاسته می‌شود؛ اما این بدان معنی نیست که هوای شهر در روزهای عادی کاملاً عاری از آلودگی خواهد بود؛ زیرا روند افزایش آلاینده‌ها به‌ویژه در این فصل بیشتر محدود به ساعات اوج ترافیک می‌شود. سکون نسبی جو از جمله عدم بارندگی مناسب و وزش باد نیز به تجمع آلاینده‌ها کمک می‌کند. نکته جالب توجه آنکه نوعی آلودگی خاص برای فصل گرم سال وجود دارد که به‌جرئت می‌توان گفت مخصوص فصل گرما و تابستان است. غلظت O_3 در تیپ ۳ بیشتر از سایر تیپ‌هاست. تیپ ۳ در بهار و به‌ویژه در تابستان رخ می‌دهد و O_3 با واکنش اکسیدهای نیتروژن و نور خورشید به‌وجود می‌آید و در روزهای گرم و آفتابی به حداکثر می‌رسد. غلظت بالای آلاینده PM_{10} نیز در تیپ ۲ رخ می‌دهد.

الگوهای جوی در روزهای نماینده تیپ‌های هوایی سه‌گانه

روزهای نماینده استخراج‌شده شامل روزهای خطرناک است. طی این روزها، همه ایستگاه‌های مورد مطالعه از نظر آلاینده PM_{10} آلوده‌اند. با توجه به آلاینده PM_{10} و تیپ‌های هوا، مشخص شد روزهایی با وضعیت خطرناک از نظر PM_{10} در

تیپ ۲ رخ داده‌اند. به همین دلیل، سه روز با آلودگی کم، متوسط، و خطرناک از نظر PM_{10} در تیپ ۲ استخراج شد. روزهای نماینده تیپ‌های سه‌گانه به شرح زیر اختیار شدند:

تیپ ۱: ۲۰۰۴/۳/۲۹

تیپ ۲: ۲۰۰۴/۴/۳

۲۰۰۵/۴/۱۵ (از نظر PM_{10} با آلودگی کم)

۲۰۰۵/۱۱/۲۸ (از نظر PM_{10} با آلودگی متوسط)

۲۰۰۹/۵/۶ (از نظر PM_{10} با آلودگی زیاد)

تیپ ۳: ۲۰۰۴/۴/۱۴

جدول ۳. میانگین و ضریب تغییرات آلاینده‌های هوا با نمایه AQI در ۳ تیپ هوا

ایستگاه	تیپ هوا	مشخصه آماری	O_3 ppm	NO_2 ppm	SO_2 ppm	PM_{10} (mg/m ³)	CO ppm
آبرسان	تیپ ۱	میانگین	۸/۳۸	۱۸/۸۷	۱۹/۷۰	۳۷/۶۸	۲۳/۷۰
	تیپ ۲	ضریب تغییرات	۷۴/۸۵	۵۲/۲۱	۶۵/۱۷	۷۳/۱۸	۷۴/۴۶
		میانگین	۱۰/۲۸	۱۶/۳۷	۱۵/۷۷	۴۸/۴۹	۲۰/۹۷
	تیپ ۳	ضریب تغییرات	۷۳/۶۹	۶۴/۸۱	۸۱/۳۵	۱۴۶/۱۷	۶۹/۴۱
		میانگین	۱۶/۸۲	۱۶/۸۹	۱۰/۶۹	۴۲/۳۷	۱۷/۷۱
	باغشمال	تیپ ۱	ضریب تغییرات	۴۵/۷۵	۴۸/۸۴	۷۹/۲۴	۶۶/۰۴
تیپ ۲		میانگین	۱۰/۳۴	۱۶/۲۴	۱۱/۴۰	۵۶/۲۰	۳۹/۹۷
		ضریب تغییرات	۶۰/۱۴	۵۵/۶۳	۸۵/۷۲	۴۳/۵۹	۶۳/۲۹
تیپ ۳		میانگین	۱۱/۳۶	۱۴/۲۰	۸/۳۴	۶۱/۳۳	۳۲/۳۹
		ضریب تغییرات	۵۲/۹۵	۵۹/۸۵	۹۴/۷۷	۸۵/۶۴	۵۹/۷۲
حکیم نظامی		تیپ ۱	میانگین	۳۷/۸۶	۶۷/۵۲	۸۳/۷۲	۴۱/۳۵
	تیپ ۲	ضریب تغییرات	*	۲۷/۶۰	۱۹/۷۴	۵۸/۲۶	۴۲/۷۸
		میانگین	*	۶۷/۱۰	۶۹/۱۲	۴۵/۹۰	۴۴/۱۱
	تیپ ۳	ضریب تغییرات	*	۲۷/۲۳	۱۷/۵۱	۵۹/۶۲	۳۴/۶۷
		میانگین	*	۷۴/۳۷	۷۴/۳۰	۷۹/۹۷	۴۸/۴۲
	راه‌آهن	تیپ ۱	ضریب تغییرات	*	۱۷/۹۹	۱۴/۸۹	۶۸/۸۴
تیپ ۲		میانگین	*	۷۸/۰۳	۶۷/۱۱	۳۵/۵۴	۴۹/۷۹
		ضریب تغییرات	۱۵/۱۴	۱۵/۴۳	۱۹/۱۴	۶۱/۰۷	۴۵/۱۳
تیپ ۳		میانگین	۵۱/۴۸	۵۶/۴۵	۶۸/۳۱	۴۸/۶۴	۳۴/۲۴
		ضریب تغییرات	۱۶/۸۸	۱۱/۸۹	۱۲/۴۳	۶۶/۸۸	۳۴/۲۰
راسته‌کوپه		تیپ ۱	ضریب تغییرات	۴۶/۱۱	۶۸/۱۶	۸۲/۲۴	۶۸/۷۰
	تیپ ۲	میانگین	۲۵/۸۹	۹/۳۰	۹/۸۳	۶۴/۵۴	۲۷/۹۷
		ضریب تغییرات	۲۴/۲۲	۶۵/۶۵	۵۳/۲۶	۴۶/۴۹	۴۰/۷۹
	تیپ ۳	میانگین	۱۴/۹۱	۴۹/۱۷	۲۳/۹۶	۶۹/۰۲	۴۷/۲۰
		ضریب تغییرات	۴۷/۵۲	۴۲/۷۱	۵۵/۸۷	۵۰/۳۰	۳۶/۶۱
	بهداشت	تیپ ۱	میانگین	۱۶/۵۷	۴۰/۴۹	۱۷/۱۶	۷۳/۲۹
تیپ ۲		ضریب تغییرات	۴۷/۶۶	۴۸/۹۵	۶۱/۱۶	۸۴/۲۳	۳۳/۸۵
		میانگین	۲۸/۰۴	۳۰/۱۷	۱۳/۷۷	۶۹/۳۲	۳۷/۸۷
تیپ ۳		ضریب تغییرات	۴۱/۰۹	۵۶/۸۸	۶۵/۴۷	۴۱/۰۴	۲۸/۸۸
		میانگین	*	۱۴/۴۸	*	*	۲۶/۳۹
بهداشت		تیپ ۱	ضریب تغییرات	*	۶۹/۲۵	*	*
	تیپ ۲	میانگین	*	۱۱/۸۹	*	*	۲۴/۱۵
		ضریب تغییرات	*	۶۹/۴۷	*	*	۴۱/۹۵
	تیپ ۳	میانگین	*	۹/۲۶	*	*	۱۸/۳۵
		ضریب تغییرات	*	۱۲۸/۲۵	*	*	۶۵/۰۴

با بررسی متغیرهای جوی و آلاینده‌های جو مشخص شد مقدار آلودگی هوا با سرعت و جهت باد ارتباط بیشتری دارد. وزش باد در فصل زمستان کم ولی سرعت آن در این فصل از سمت جنوب غربی و غرب زیاد است. بیشتر صنایع مهم شهر تبریز در غرب این شهر قرار دارند که وزش باد از غرب ذرات معلق را به روی شهر می‌آورد و کوه‌های عینال و زینال در شمال شرق شهر به‌عنوان سدی در مقابل جریان باد قرار می‌گیرند و ذرات معلق حمل شده توسط باد بر روی شهر قرار می‌گیرند. در فصل زمستان وارونگی رخ می‌دهد که باعث تشدید آلودگی و تمرکز آن در شهر و امکان پخش آن به سایر نقاط کم می‌شود.

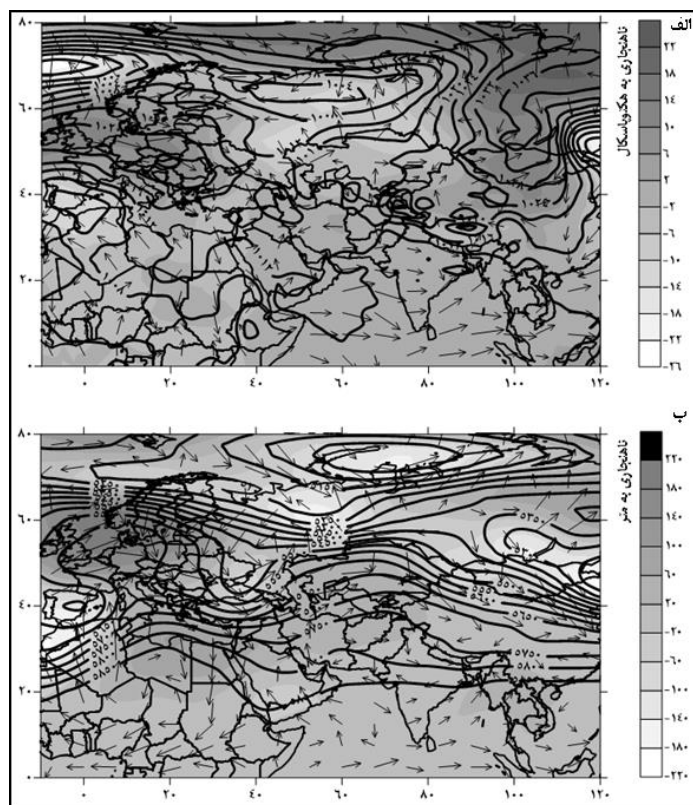
جدول ۴. میانگین مشخصات جوی روزهای نماینده

متغیر	روز نماینده	میانگین نسبتی به درصدها	حداکثر رطوبت نسبی به درصد	حداقل رطوبت نسبی به درصد	میانگین رطوبت نسبی به درصد	حداکثر دما °C	حداقل دما °C	میانگین دما °C	بارش mm	میانگین سرعت باد mi/s	جهت باد	ساعت آفتابی
	۲۰۰۴/۳/۲۹	۴۲	۱۱	۲۸/۳	۲۲	۷	۱۴/۷	۰	۳/۱	۳۶۰	۰	۹/۶
	۲۰۰۴/۴/۳	۹۲	۴۱	۶۹	۱۴/۲	۸/۵	۷/۷	-/۹	۴/۴	۱۸۰	۰	۰
	۲۰۰۵/۴/۱۵	۹۶	۴۱	۶۰/۹	۲۱	۱۳/۸	۱۴	۱۰	۴/۱	۲۴۰	۴/۴	۴/۴
	۲۰۰۵/۱۱/۲۸	۶۹	۳۷	۵۳/۸	۱۴/۶	۲/۸	۷/۵	۰	۲/۱	۲۸۰	۸/۴	۸/۴
	۲۰۰۹/۵/۶	۴۵	۱۹	۳۲/۲۵	۲۱/۴	۱۳	۱۶/۷۵	۰	۷	۲۳۰	۰	۰
	۲۰۰۴/۴/۱۴	۵۰	۱۹	۳۲/۵	۲۵	۹/۴	۱۷/۷	۰	۲/۸	۲۴۰	۱۱/۳	۱۱/۳

جدول ۵. مشخصات آلاینده‌های جو روزهای نماینده در ایستگاه‌های آلاینده‌سنجی

متغیر	روز نماینده	O ₃ ppm	NO ₂ ppm	SO ₂ ppm	PM ₁₀ (mg/m ³)	CO ppm
	۲۰۰۴/۳/۲۹	۵/۳۱	۱۷/۳۷	۶/۴۹	۰	۳۵
	۲۰۰۴/۴/۳	۰	۰	۰	۰	۰
	۲۰۰۵/۴/۱۵	۷/۳۲	۳۷/۳۱	۱۴/۸۲	۴۶/۳۳	۲۶/۵۹
ایستگاه آبرسان	۲۰۰۵/۱۱/۲۸	۳/۳۲	۳۳/۸۲	۵۳/۸۶	۹۴/۳۰	۱۱۰/۲۵
	۲۰۰۹/۵/۶	۳۷/۵۵	۱۱/۶۸	۱/۱۳	۹۱۸/۱۷	۶/۸۷
	۲۰۰۴/۴/۱۴	۶/۵۲	۱۹/۰۲	۶/۴۳	۰	۳۷/۶۴
	۲۰۰۴/۳/۲۹	*	*	*	*	*
	۲۰۰۴/۴/۳	*	*	*	*	*
	۲۰۰۵/۴/۱۵	*	*	*	*	*
ایستگاه باغشمال	۲۰۰۵/۱۱/۲۸	۷/۹۷	۵/۱۳	۴/۸۹	۱۰۲/۹۳	۸۰/۹۶
	۲۰۰۹/۵/۶	۲۰/۱۸	۱۰/۷۰	۷/۹۴	*	۳۷/۴۶
	۲۰۰۴/۴/۱۴	۱۱/۷۲	۲۸/۲۶	۴/۱۵	*	۵۹/۸۷
	۲۰۰۴/۳/۲۹	*	*	*	*	*
	۲۰۰۴/۴/۳	*	*	*	*	*
	۲۰۰۵/۴/۱۵	*	۱۶/۶۲	۷۳/۷۷	*	۳۳/۹۶
ایستگاه حکیم نظامی	۲۰۰۵/۱۱/۲۸	*	۳۲/۱۹	۳۶/۳۹	۹۹/۳۴	۹۵/۳۲
	۲۰۰۹/۵/۶	*	۱۶/۶۳	۲۶/۱۴	۶۹۶/۸۱	۷/۰۵
	۲۰۰۴/۴/۱۴	*	*	*	*	*
	۲۰۰۴/۳/۲۹	*	*	*	*	*
	۲۰۰۴/۴/۳	*	*	*	*	*
	۲۰۰۵/۴/۱۵	*	۱۲/۲۳	۹/۲۸	۴۵/۰۸	۱۷/۶۷
ایستگاه راه‌آهن	۲۰۰۵/۱۱/۲۸	۱۳/۸۸	۳۱/۲۰	۴۴/۲۶	۱۰۹/۹۴	۶۵/۶۳
	۲۰۰۹/۵/۶	۳۴/۳۷	۱	۷/۹۶	۷۴۵/۲۵	۳۸/۵۹
	۲۰۰۴/۴/۱۴	*	*	*	*	*
	۲۰۰۴/۳/۲۹	*	*	*	*	*
	۲۰۰۴/۴/۳	*	*	*	*	*
	۲۰۰۵/۴/۱۵	*	*	*	*	*
ایستگاه راسته‌کوچه	۲۰۰۵/۱۱/۲۸	۳۶/۴۳	۱۸/۶۷	۱۷/۲۶	۷۳۵/۵۴	۴۱/۳۳
	۲۰۰۹/۵/۶	*	*	*	*	*
	۲۰۰۴/۴/۱۴	*	*	*	*	*
	۲۰۰۴/۳/۲۹	*	*	*	*	*
	۲۰۰۴/۴/۳	*	*	*	*	*
	۲۰۰۵/۴/۱۵	*	*	*	*	*
ایستگاه بهداشت	۲۰۰۵/۱۱/۲۸	*	*	*	*	*
	۲۰۰۹/۵/۶	*	۶/۹۹	*	*	۱۵/۳۴
	۲۰۰۴/۴/۱۴	*	*	*	*	*

شکل ۲- الف توزیع مکانی فشار تراز دریا برای روز ۲۰۰۴/۳/۲۹ را نشان می‌دهد. مرکز چرخند دوهسته‌ای بر روی شمال دریای خزر و شمال قزاقستان با فشار مرکزی ۱۰۰۴ هکتوپاسکال و شمال غرب اروپا (چرخند ایسلند) با ناحیه ناهنجاری فشار منفی همراه است. بر روی ناحیه سیبری و چرخند سیبری با فشار مرکزی ۱۰۳۶ هکتوپاسکال و ناهنجاری مثبت فشار توأم با تقویت این مرکز و چرخندی است. همچنین، بر روی شمال ایتالیا و دریای مدیترانه مرکز و چرخندی با هسته مرکزی ۱۰۲۴ هکتوپاسکال و هسته فرعی بر روی بخش شمال غرب ایران (منحنی بسته ۱۰۱۸ هکتوپاسکال) با ناهنجاری منفی فشار در این منطقه همراه بوده است. جابه‌جایی چرخند ایسلند به سمت عرض‌های جنوبی با حرکت و چرخند اروپایی به سمت عرض‌های جنوبی و ایران همراه بوده است. زبانه‌های و چرخند اروپایی با منحنی بسته ۱۰۱۸ هکتوپاسکال از سمت شمال غرب وارد ایران شده است. با توجه به جریان ساعت‌گرد هوا در روی منطقه مورد مطالعه، جریان هوا در این ناحیه از کشور شرقی- غربی بوده و از کرانه‌های جنوبی دریای خزر به سمت نواحی شمال غرب هوا جریان داشته است.

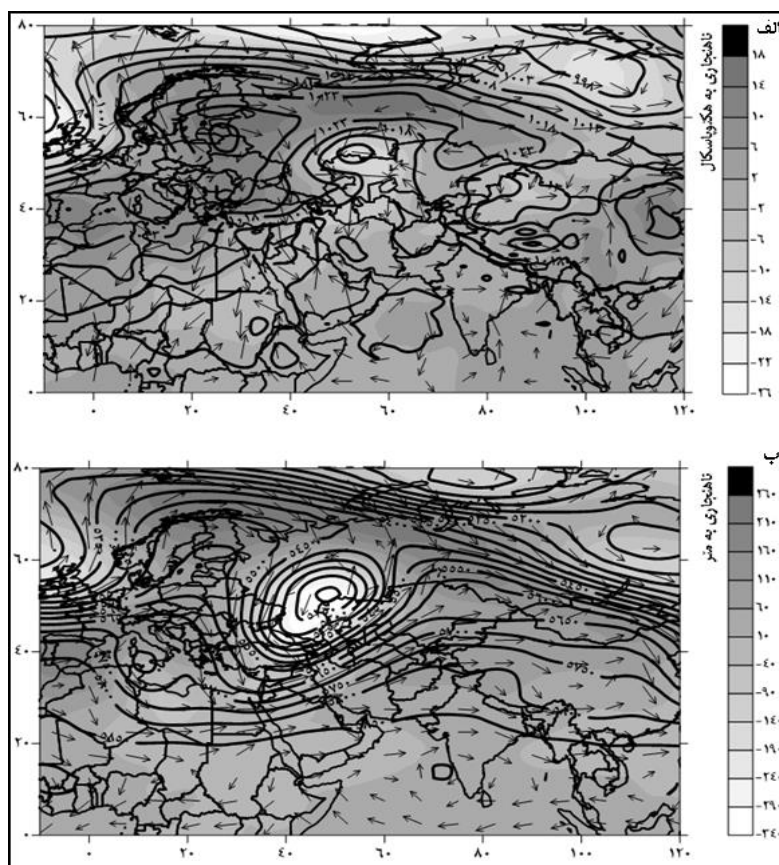


شکل ۲. الف) توزیع مکانی فشار تراز دریا (خطوط کنتور) همراه ناهنجاری آن (پس‌زمینه به هکتوپاسکال)؛ ب) ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (خطوط کنتور) همراه ناهنجاری آن (پس‌زمینه) به متر در روز نماینده ۲۰۰۴/۳/۲۹

نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال این روز نشان می‌دهد که بر غرب اروپا پشته‌ای امگایی قرار دارد که بازوی شرقی آن در شرق اروپا با ناوه عمیقی توأم با محور تقریباً شمالی- جنوبی بر منطقه قفقاز همراه است. بنیاد امگایی شکل جریان هوا را به دو شاخه، یکی به سمت شمال و در نهایت به سوی ترکیه و یکی به سمت جنوب و در نهایت به سمت اروپا، تقسیم کرده است. کم‌ارتفاع جنوب شرق امگا باعث انتقال جریانات جنوبی به طرف منطقه مورد مطالعه (شمال غرب ایران و تبریز) شده است. عمق ناوهای که در شرق بندالی حاکم است زیاد نیست. بنابراین، جریانات در تراز بالا از جهت غرب و با

سرعت زیادی می‌وزد، اما به دلیل اینکه بازوی بالارونده این ناوه در روی شمال غرب ایران قرار گرفته است، با ایجاد واگرایی در تراز بالا، مهیایی دینامیکی جهت انتقال هوای سطح زمین به تراز بالاتر را اما با سرعت کم (ناهنجاری ارتفاعی جو برای ایران بین ۶۰- تا ۲۰ متر است) دارد. با وجود اینکه در سطح زمین سامانه و اچرخندی حاکم است، پایداری حاصل از این واچرخند از طریق دینامیکی تعدیل شده است. توضیح اینکه منطقه مورد مطالعه جلوی ناوه کم‌عمق است، ولی در سمت شمال غرب منطقه مورد مطالعه ناوه عمیق است. این ویژگی با ناپایداری ضعیف در سطح زمین و کاهش تجمع آلودگی‌ها همراه است. جهت جریانات غربی (از عرض‌های بالاتر) و سرعت زیاد آن‌ها قابل مشاهده است. جهت باد غالب برخلاف سطح زمین به صورت غربی- شرقی است.

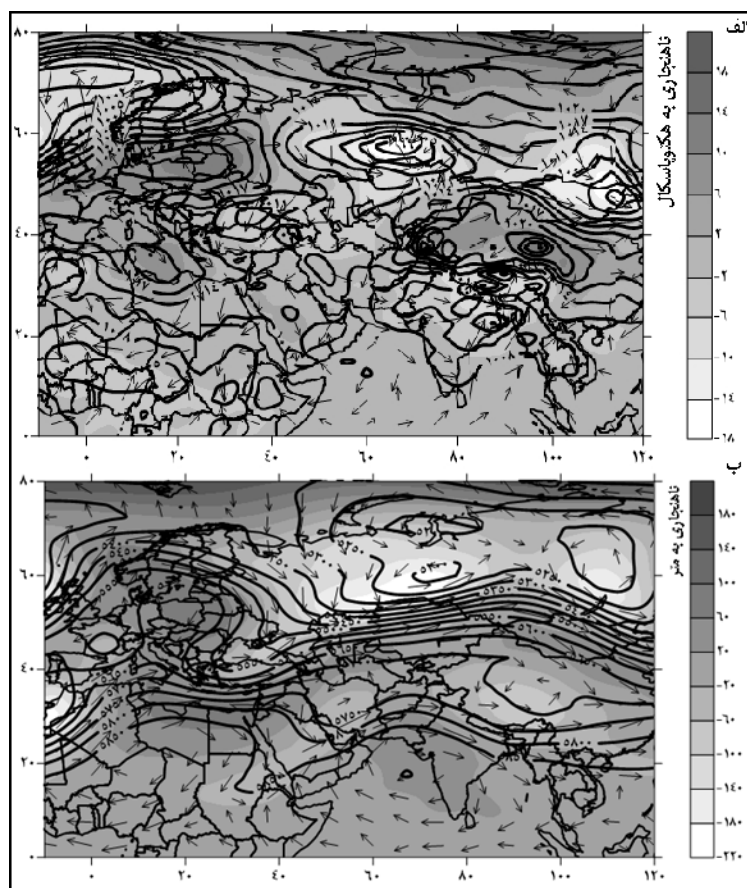
شکل ۳- الف الگوی فشار تراز دریا و شکل ۳- ب الگوی ارتفاعی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال همراه ناهنجاری‌های آن در روز ۲۰۰۴/۴/۳ را نشان می‌دهد. سامانه چرخندی با فشار مرکزی ۱۰۰۴ هکتوپاسکال بر روی سودان مشاهده می‌شود (کم‌فشار سودانی) که زبانه‌ای از آن با ۱۰۰۸ هکتوپاسکال بر روی منطقه مورد مطالعه کشیده شده است. در شمال دریای خزر مرکز چرخندی با هسته مرکزی ۱۰۱۰ هکتوپاسکال توأم با ناهنجاری فشار منفی تشکیل شده است. در شرق اروپا سامانه و اچرخند با حرکت ساعت‌گرد و جهت جریان باد شمالی (از سمت واچرخند به سمت چرخند مستقر بر روی کشور) قرار گرفته است.



شکل ۳. الف) توزیع مکانی فشار تراز دریا (خطوط کنتور) همراه ناهنجاری آن (پس‌زمینه به هکتوپاسکال)؛ ب) ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (خطوط کنتور) همراه ناهنجاری آن (پس‌زمینه) به متر در روز نماینده ۲۰۰۴/۴/۳

نقشه مربوط به تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در این روز نشان می‌دهد که هسته سردچال در شمال دریای خزر تشکیل شده است که با عمیق‌تر شدن جریان‌ات نصف‌النهاری در تراز میانی و با وزش باد غربی- شرقی در منطقه مورد مطالعه همراه است. شیو شدید ارتفاع نشان‌دهنده سرعت زیاد بادهاست. قرارگرفتن منطقه مورد مطالعه در جلوی محور ناوه از ناپایداری جوی حکایت دارد. داده‌های ایستگاهی (همدید و آلاینده‌سنجی) نشان‌دهنده بارش و میزان کم آلاینده‌هاست.

شکل ۴ الگوی توزیع فشار تراز دریا و ناهنجاری آن را در روز ۲۰۰۴/۴/۱۴ نشان می‌دهد. مرکز چرخندی با فشار ۱۰۰۲ هکتوپاسکال در شمال قزاقستان با ناهنجاری منفی همراه است. چرخند ایسلند نیز در شمال اروپا با فشار مرکزی ۹۹۹ هکتوپاسکال قرار گرفته است. همچنین، بر روی ترکیه مرکز چرخندی با هسته مرکزی ۱۰۰۸ هکتوپاسکال و با ناهنجاری منفی دیده می‌شود. این چرخند در مجاورت و اچرخند تشکیل شده بر روی دریای مدیترانه و شمال افریقا است. روی منطقه شمال غرب نیز منحنی بسته ۱۰۱۱ هکتوپاسکالی با ناهنجاری منفی (۲- تا ۶- هکتوپاسکال) دیده می‌شود.

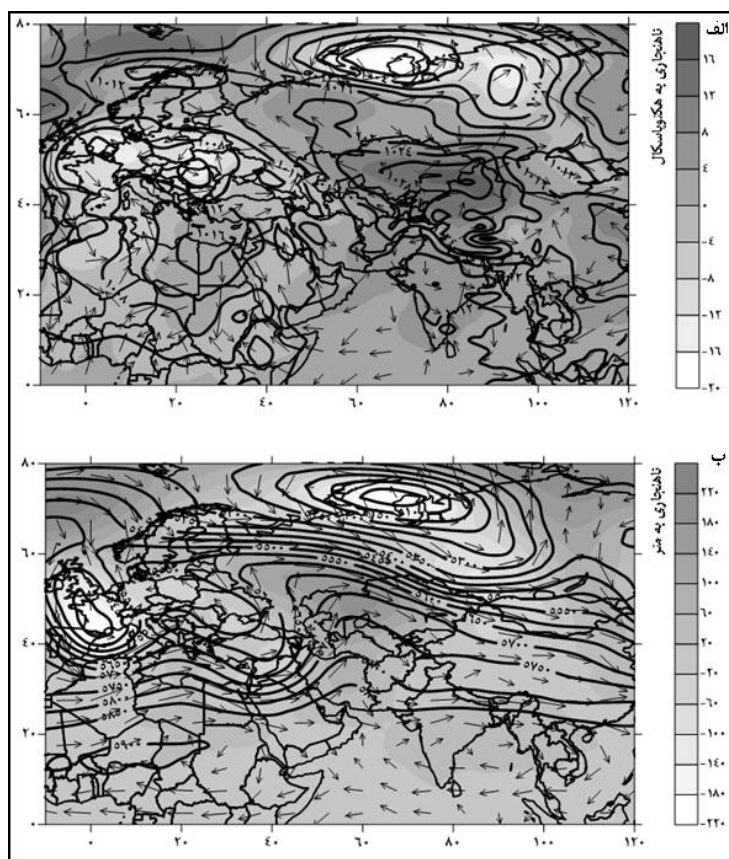


شکل ۴. الف) توزیع مکانی فشار تراز دریا (خطوط کنتور) همراه ناهنجاری آن (پس‌زمینه به هکتوپاسکال)؛ ب) ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (خطوط کنتور) همراه ناهنجاری آن (پس‌زمینه) به متر در روز نماینده ۲۰۰۴/۴/۱۴

تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد که ناوه عمیقی که بر بازوی شرقی بندال امگایی تشکیل شده بر روی اروپاست، با محور شمال شرقی- جنوب غربی در شرق اروپا، روی ترکیه، و دریای سیاه تشکیل شده است. شمال غرب ایران در جلوی محور ناوه ترکیه قرار گرفته است. بندال باعث انحراف جریان هوا از مسیر اصلی خود شده و جریان هوا دوشاخه شده است. شاخه شمالی از شمال اروپا می‌گذرد و هوای این منطقه را به ناحیه شمال غرب ایران وارد می‌کند. شاخه

جنوبی آن از شمال آفریقا می‌گذرد و هوای این منطقه را به جنوب غرب ایران وارد می‌کند. بنابراین، شرایط ناپایداری برای منطقه شمال غرب وجود دارد. جهت باد غالب بر روی منطقه غربی- شرقی و با سرعت زیاد است. ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل منفی است. بنابراین، به دلیل شرایط ناپایداری، صعود هوا، و وزش باد محتمل است کیفیت هوا در این روز براساس شرایط همدید خوب باشد.

در شکل ۵ ویژگی‌های فشار تراز دریا در روز ۲۰۰۵/۴/۱۵ با چند مرکز عمده فشار قابل تشخیص است؛ نخست چرخند شکل گرفته در شمال آفریقا با مرکزیت ۱۰۱۶ هکتوپاسکال است (کم‌فشار افریقای). مرکز چرخندی با هسته ۱۰۰۵ هکتوپاسکالی نیز بر روی شرق اروپا تشکیل شده است که زبانه ۱۰۱۱ هکتوپاسکالی آن با کمینه ناهنجاری فشار از شمال غرب ایران عبور کرده است. مرکز دیگر هسته و اچرخند سیبری با فشار مرکزی ۱۰۲۸ هکتوپاسکال در چین، مغولستان، قزاقستان، و روسیه گسترش یافته است. زبانه‌های غربی آن تا شرق روسیه و زبانه‌های جنوب غربی آن تا جنوب ایران کشیده شده است. در محل استقرار این و اچرخند بیشترین ناهنجاری مثبت فشار حاکم است. مرکز دیگر چرخند ایسلند در شمال روسیه با هسته مرکزی ۱۰۰۲ هکتوپاسکال و محور غربی- شرقی است. زبانه‌های این کم‌فشار تا شمال و شرق روسیه کشیده شده است. در این الگو کشور ایران تحت سیطره و اچرخند سیبری است. شرایط سرد و پایدار همراه فرونشینی هوای سرد محتمل است. میزان ناهنجاری فشار برای منطقه مورد مطالعه منفی (حدود ۴- هکتوپاسکال) است. جهت وزش هوا روی منطقه مورد مطالعه جنوب به شمال بوده است.

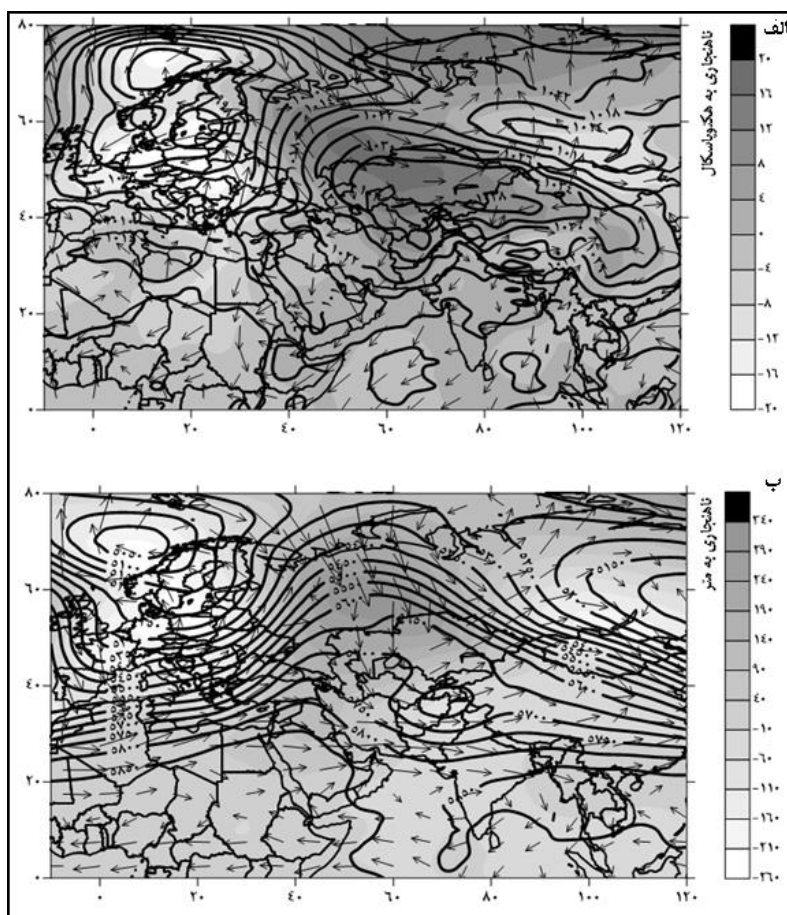


شکل ۵. الف) توزیع مکانی فشار تراز دریا (خطوط کنتور) همراه ناهنجاری آن (پس‌زمینه به هکتوپاسکال)؛ ب) ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (خطوط کنتور) همراه ناهنجاری آن (پس‌زمینه) به متر در روز نماینده ۲۰۰۵/۴/۱۵

در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ناوه‌ای عمیق در غرب ایران بر روی کشور ترکیه با محور تقریباً مایل (جهت شمالی-جنوبی) از مدیترانه تا شمال عربستان مستقر شده است. منطقه مورد مطالعه شمال غرب ایران در جلوی محور ناوه مدیترانه قرار گرفته است. بدین ترتیب، در این روز شرایط جهت صعود هوا و ناپایداری جوی در منطقه مورد مطالعه فراهم شده است. بیشترین میزان ناهنجاری منفی مربوط به نواحی جنوبی اروپاست. بیشترین ناهنجاری مثبت مربوط به بخش‌هایی از شمال غرب روسیه است. میزان این ناهنجاری برای ایران به‌طور کامل منفی است که بیانگر شرایط پایین‌تر از حد معمول ارتفاع جو در این منطقه است. جهت باد غالب به‌صورت جنوبی-شمالی است و از روی منطقه مورد مطالعه منحنی ۵۶۰۰ ژئوپتانسیل متر عبور کرده است و ارتفاع جوی در این منطقه زیاد بوده است. ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل جو روی منطقه شمال غرب بین ۲۰ تا ۲۰- قرار دارد. همان‌طور که ذکر شد، در این روز ناپایداری و بارش بر روی منطقه مورد مطالعه رخ داده است که کاهش آلودگی جوی ناحیه مؤثر بوده است.

در شکل ۶ ویژگی‌های فشار تراز دریا در روز ۲۰۰۵/۱۱/۲۸ ارائه شده است. مرکز چرخند ایسلند با حرکت پادساعت‌گرد با فشار مرکزی ۹۹۴ هکتوپاسکال و با ناهنجاری ۱۶- تا ۲۰- هکتوپاسکال در شمال اروپا شکل گرفته و زبانه‌های آن تا شمال روسیه کشیده شده است. واچرخند سیبری با فشار ۱۰۳۸ هکتوپاسکال سرتاسر چین و مغولستان و قزاقستان و بخش اعظمی از روسیه و ایران را دربر گرفته است. زبانه‌های غربی آن تا شرق روسیه و زبانه‌های جنوب غربی آن تا جنوب ایران کشیده شده است و سراسر ایران تحت تأثیر این پرفشار قرار دارد؛ به‌طوری‌که زبانه ۱۰۲۲ هکتوپاسکالی آن از روی شمال غرب ایران عبور کرده است. در محل استقرار این واچرخند بیشترین ناهنجاری مثبت فشار حاکم است. قوی‌شدن مرکز چرخند ایسلند و حرکت و جابه‌جایی آن با حرکت واچرخند سیبری به‌سمت عرض‌های پایین‌تر همراه است. در نتیجه، ایران تحت تأثیر این سامانه واچرخند و شمال غرب ایران تحت تأثیر زبانه آن است و شرایط برای پایداری هوا همراه فرونشینی هوای سرد به‌وجود آمده است. میزان ناهنجاری برای ایران بین ۴- تا ۴ هکتوپاسکال و از غرب به شرق افزایش یافته است. جهت باد غالب در ایران به‌صورت شرقی-غربی است، ولی با توجه به استقرار سامانه واچرخندی روی منطقه مورد مطالعه می‌توان وجود آلودگی را استنباط کرد.

با توجه به الگوی ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ناوه نسبتاً عمیقی در غرب اروپا و منطقه اسکاندیناوی با ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل منفی و بین ۱۶۰- تا ۲۱۰- تشکیل شده است. نیمه غربی ایران در زیر پشته قرار گرفته و پربند پُراارتفاع ۵۷۰۰ ژئوپتانسیل متر از روی منطقه عبور کرده است. بنابراین، در ترازهای زیرین جو این مناطق پایداری حاکم است. ولی در این تراز به‌دلیل اختلاف ارتفاع با نواحی مجاور جهت باد غالب شمال غربی-جنوب شرقی با سرعت نسبتاً زیاد است. ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل در روی شمال غرب ایران بین ۹۰ تا ۱۴۰ ژئوپتانسیل متر است. بنابراین، شرایط برای آلودگی محتمل است. بنابر داده‌های ثبت‌شده در ایستگاه‌های آلاینده‌سنجی کیفیت هوا در این روز متوسط بوده است.

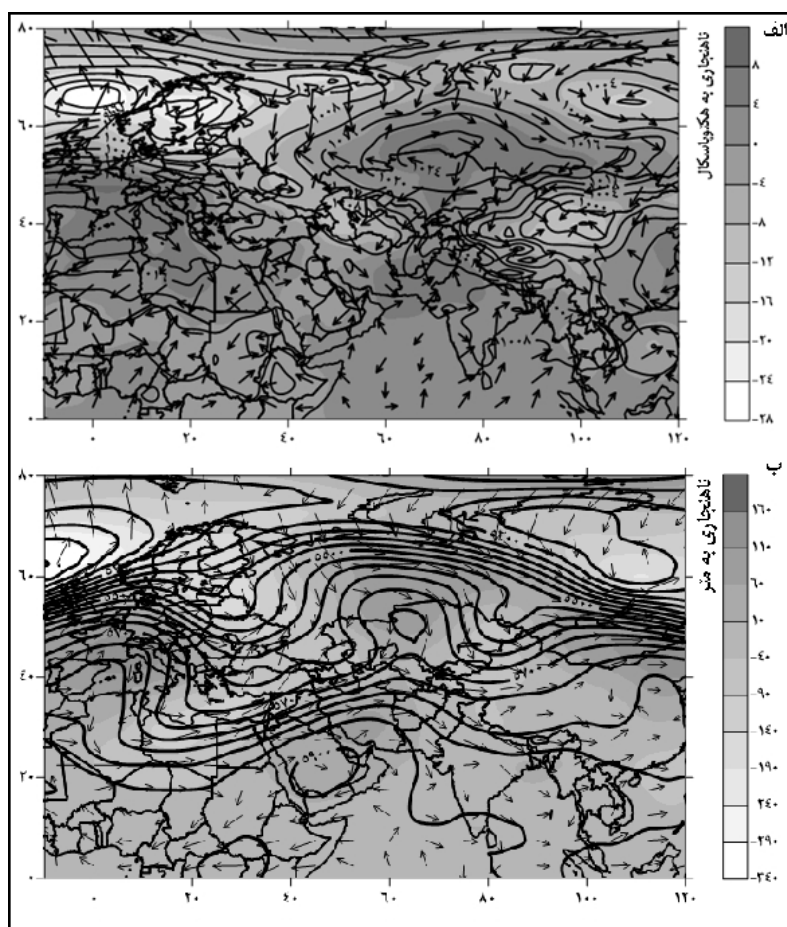


شکل ۶. الف) توزیع مکانی فشار تراز دریا (خطوط کنتور) همراه ناهنجاری آن (پس‌زمینه به هکتوپاسکال)؛ ب) ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (خطوط کنتور) همراه ناهنجاری آن (پس‌زمینه) به متر در روز نماینده ۲۰۰۵/۱۱/۲۸

در شکل ۷، که ویژگی‌های فشار تراز دریا در روز ۲۰۰۹/۵/۶ ارائه شده است، چند مرکز عمده فشار دیده می‌شود. مرکز چرخند ایسلند با هسته مرکزی ۹۹۲ هکتوپاسکال در شمال اروپا شکل گرفته است که زبانه‌های آن با کمترین میزان ناهنجاری منفی فشار تا بخش‌های شرقی روسیه کشیده شده است. واچرخند سیبری با هسته مرکزی ۱۰۲۴ هکتوپاسکال و با بالاترین ناهنجاری مثبت فشار سرتاسر چین، مغولستان، قزاقستان، و بخش اعظمی از روسیه را دربر گرفته است. زبانه‌های غربی آن تا مرکز روسیه و زبانه‌های جنوب غربی آن تا شرق ایران کشیده شده است. بر روی اروپا نیز مرکز واچرخندی با هسته ۱۰۲۴ هکتوپاسکال تشکیل شده و به سمت ایران پیشروی کرده است. کشور ایران به‌ویژه بخش‌های شمال غربی آن تحت سیطره منحنی ۱۰۱۰ هکتوپاسکال (با ناهنجاری بین -۴ تا -۸ هکتوپاسکال) از یک مرکز چرخند با هسته مرکزی ۱۰۰۸ هکتوپاسکال بر روی دریای خزر بوده است. این شرایط برای صعود و ناپایداری هوا مہیایی ایجاد کرده است. بخش‌های غربی کشور و محدوده مورد مطالعه تحت تأثیر بازوهای پرفشار اروپایی است. جهت باد غالب در روی منطقه مورد مطالعه جنوب غربی - شمال شرقی بوده و سرعت باد نسبتاً کم است.

الگوی ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بیانگر وجود یک پشته بر روی غرب اروپاست. در امتداد این پشته بر روی ترکیه، دریای مدیترانه، و شمال آفریقا ناوه عمیقی تشکیل شده است؛ منطقه مورد مطالعه در جلوی این ناوه قرار دارد که منحنی ۵۷۰۰ ژئوپتانسیل متر از روی آن عبور کرده است. در شمال شرقی ترکیه و شمال منطقه مورد مطالعه پشته ضعیفی با

ناهنجاری ارتفاعی ۴۰- ژئوپتانسیل متر تشکیل شده است که می‌تواند توأم با پایداری هوا در این روز باشد. جهت باد غالب در منطقه مورد مطالعه به صورت جنوب غربی- شمال شرقی است. با توجه به جریان مداری در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و پایداری هوا و نبود بارش و جهت باد غالب و با توجه به اینکه صنایع مهم تبریز در غرب و جنوب غرب تبریز استقرار یافته‌اند، می‌توان گفت باد عاملی برای انتقال ذرات معلق از غرب و جنوب غرب به شهر است و وجود ترافیک روزانه باعث ایجاد آلودگی شده‌اند. در شمال غرب این شهر کوه‌های عینالی قرار دارد که باعث می‌شوند آلودگی بر روی شهر باقی بماند.



شکل ۷. الف) توزیع مکانی فشار تراز دریا (خطوط کنتور) همراه ناهنجاری آن (پس‌زمینه به هکتوپاسکال)؛ ب) ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (خطوط کنتور) همراه ناهنجاری آن (پس‌زمینه) به متر در روز نماینده ۲۰۰۹/۵/۶

نتیجه‌گیری

از تیپ‌بندی هوای تبریز مشخص شد در تیپ ۱، که بیشتر در فصول پاییز و زمستان رخ می‌دهد، دما معتدل است. بارش و رطوبت و وزش باد در این تیپ کم است. در تیپ ۲، که بیشتر در فصول زمستان و بهار رخ می‌دهد، دمای هوا خنک، مرطوب، و وزش باد و بارش زیاد است. در تیپ ۳، که عمدتاً در تابستان رخ می‌دهد، شرایط خشک و گرم، با بارش کم و با وزش زیاد باد همراه است. مقادیر بالای ذرات معلق در تیپ ۲، که تیپ زمستان-بهار است، بیشتر رخ می‌دهد. در این تیپ، ضریب تغییرات آلودگی نیز بیشتر است.

با توجه به نقشه‌های همدید روزهای نماینده، مشخص شد که در منطقه مورد مطالعه در روزهایی با آلودگی کم در سطح زمین شرایط پایدار همراه فرونشینی هواست. در حالی که در نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال شرایط ناپایدار وجود دارد. در روز نماینده ۲۰۰۹/۵/۶، بیشترین مقدار آلاینده PM10 ثبت شده است. با توجه به نقشه SLP و HGT، بر روی منطقه مورد مطالعه کم فشار قرار گرفته و جهت باد غالب جنوب غربی - شمال شرقی بوده و سرعت ۷ متر بر ثانیه است. جهت جریانات مداری است و از سمت عربستان و عراق حرکت کرده و باعث انتقال ریزگردها و گردوغبارهای عراق و عربستان به سمت جنوب غرب ایران و منطقه مورد مطالعه شده است. همچنین، بیشتر صنایع مهم شهر نظیر نیروگاه حرارتی، مجتمع پتروشیمی، پالایشگاه، ماشین‌سازی، تراکتورسازی، و ده‌ها کوره آجرپزی در غرب این شهر قرار دارد. تبریز از اطراف با دیواره‌هایی از ناهمواری‌ها مسدود شده است و در دره‌ای قرار گرفته است که آلاینده‌ها نمی‌توانند به راحتی به اطراف پخش شوند و گاهی در بالای منطقه متراکم می‌شوند. وزش باد از غرب ذرات معلق را به روی شهر می‌آورد و کوه‌های عینال و زینال در شمال شرق شهر به عنوان سدی در مقابل جریان باد قرار می‌گیرند و ذرات معلق حمل شده توسط باد بر روی شهر قرار می‌گیرند. موقتی بودن شرایط آلودگی ذرات معلق داشتن عامل انتشار موقتی یعنی عامل باد را تأیید می‌کند. بنابراین، بین افزایش ذرات معلق هوا و وزش باد از سمت جنوب غرب شهر تبریز رابطه مستقیمی وجود دارد. ساخت و سازهای عمرانی و فعالیت‌های درون شهری، و فعالیت‌های کشاورزی نیز از منابع انتشار ذرات محسوب می‌شوند که بر کیفیت هوا تأثیر دارند. یک برنامه جامع مدیریتی جهت اجرایی کردن راهکارهای عملی برای مقابله با مسئله آلودگی نیاز است. با پیش، پیش‌بینی، و هشدار جهت اطلاع‌رسانی به مسئولان و اتخاذ تصمیمات جهت پیشگیری و کاهش آلودگی هوا، اطلاع‌رسانی درباره تأثیر آلودگی هوا بر سلامت انسان، و همچنین استفاده از فیلترهای تصفیه در کارخانه‌ها و کوره‌های آجرپزی این شهر می‌توان از افزایش آلودگی هوا جلوگیری کرد.

منابع

- پناهی، ع. (۱۳۹۷). بررسی ارتباط بین آلاینده‌های شاخص کیفیت هوا و پارامترهای هواشناسی در اینورژهای شدید شهر تبریز، فصل‌نامه فضای جغرافیایی، ۱۸(۶۲): ۶۳-۷۶.
- روحانی، ی.؛ دبیر، ب. و پنجه‌شاهی، م.ح. (۱۳۸۵). توسعه کاربرد تکنولوژی پینچ برای آلودگی هوا، نشریه شیمی مهندسی شیمی ایران، ۲۵(۱): ۸۷-۹۴.
- جهان‌بخش اصل، س. و روشنی، ر. (۱۳۹۳). بررسی شرایط الگوی سینوپتیکی حاکم بر وضعیت‌های وارونگی دمای بسیار شدید شهر تبریز، نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۸(۴۸): ۸۱-۹۶.
- حیدری، ح.؛ علیجانی، ب. (۱۳۷۸). طبقه بندی اقلیمی ایران با استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره، پژوهش‌های جغرافیایی شماره ۳۷، اسفندماه ۱۳۷۸، ۷۴-۵۷.
- خلیل ارجقی، ش. و مربی هروی، ه. (۱۳۹۸). مقایسه رابطه انواع شاخص‌ها و آلودگی هوا در شهر تبریز، مدیریت محیط زیست و توسعه پایدار، ۲(۴۵۸): ۱-۵.
- خورشیددوست، ع. م. و شیرزاد، ع. ا. (۱۳۹۳). بررسی و تحلیل بارش‌های ناحیه شمال ایران با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و تجزیه تابع تشخیص، نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی، ۱۸(۴۹): ۱۰۱-۱۱۸.
- دل‌پیشه، ع.؛ دیرکوند مقدم، ا. و دیرکوند مقدم، ف. (۱۳۹۳). تأثیر آلودگی هوا بر نتایج بارداری: یک مطالعه موردی، مجله زنان مامایی و نازایی ایران، ۱۷(۱۰۲): ۷-۱۱.
- عساکره، ح. (۱۳۹۶). مبانی پژوهش در آب و هواشناسی، زنجان: دانشگاه زنجان.
- فلاح قالهری، غ. ع.؛ اسدی، م. و انتظاری، ع. ر. (۱۳۹۴). ناحیه‌بندی آب‌وهوایی استان گیلان با روش‌های چندمتغیره، نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۹(۵۴): ۲۳۵-۲۵۱.
- قربانی، ر.؛ حسین‌زاده دلیر، ک. و شکری فیروزجاه، پ. (۱۳۹۱). بررسی وضعیت آلودگی هوای شهر تبریز براساس تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۶(۳۹): ۸۹-۱۰۸.
- قربانی، م. ع.؛ سروپور، ب.؛ جباری خامنه، ح.؛ اسدی، ا. و فاضلی فرد، م. ح. (۱۳۹۳). طبقه‌بندی دمایی ایستگاه‌های هواشناسی کشور با استفاده از خوشه‌بندی فازی و شبکه عصبی مصنوعی کوهنن، نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۰(۵۵): ۴۵-۶۳.
- کاوایانی، م. و علیجانی، ب. (۱۳۹۸). مبانی آب‌وهواشناسی، ج ۲۱، تهران: سمت.
- لشکری، ح. و هدایت، پ. (۱۳۸۵). تحلیل الگوی سینوپتیکی اینورژن‌های شدید شهر تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۶: ۶۵-۸۲.
- نوروززاده، ف. (۱۳۸۶). بررسی آلودگی هوا و منابع آلاینده هوا در سطح شهر تبریز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان، دانشکده جغرافیا.

Asakereh, H. (2017). Fundamentals of Research in Meteorology, Zanjan: Zanjan University

Barry, R. (1997). Synoptic Climatology, in J.E Oliver and R.W. Fairbrdge (eds), The Encyclopedia of Climatology, New York: Van Nostrand Reinhold Book.

- Benaissa, F.; Alkama, R. and Annesi -Maesano, I. (2014). Assessment of Air Pollution Impacts on Population Health in Bejaia City, Northern Algeria, *Iranian J Publ Health*, 43(9): 1221-1228.
- Chi-Hsien, C.; Chang-Chuan, C.; Bing-Yu, C.; Tsun-Jen, C. and Yue Leon, G. (2015). Effects of particulate air pollution and ozone on lung function in non-asthmatic children, *Environmental Research*, 137: 40-48.
- Del Pische, A.; Dirkavand Moghaddam, A. and Dirkavannd Moghaddam, F. (2014). The effect of air pollution on pregnancy outcomes: a case study, *Iranian Journal of Obstetrics and Gynecology*, 17(102): 7-11.
- Dimitriou, K.; Paschalidou, A.K. and Kassomenos, P.A. (2013). Assessing air quality with regards to its effect on human health in the European Union through air quality indices, *Ecological Indicators*, 27: 108-115.
- Falah Ghalhari, GH. A.; Asadi, M. and Entezari, A. R. (2015). Climatic zoning of Guilan province with multivariate methods, *Journal of Geography and Planning*, 19(54): 235-251.
- Ghorbani, M.; Sarvarpor, B.; Jabari Khamane, H.; Asadi, A. and Fazeli Fard, M. H. (2014). Temperature classification of meteorological stations using fuzzy clustering and artificial neural network Cohen, *Journal of Geography and Planning*, 20(55): 45-63.
- Ghorbani, R.; Hosseinzadeh Dalir, K. and Shukri Firoozjah, P. (2012). Investigation of air pollution in Tabriz based on principal component analysis (PCA), *Journal of Geography and Planning*, 16(39): 89-108.
- Heydari, H. and Alijani, B. (1999). Climatic Classification of Iran Using Multivariate Statistical Techniques, *Geographical Research No. 37*, March 1999, 74-57.
- Jahan Bakhsh Asl, S. and Roshani, R. (2014). Investigation of synoptic pattern conditions governing very high temperature inversion conditions in Tabriz, *Journal of Geography and Planning*, 18 (48): 81-96.
- Kaviani, M. and Alijani, B. (2019). *Fundamentals of Meteorology*, Tehran: Samt.
- Kaygusuz, K. (2009). Energy and Environmental Issues Relating to Greenhouse Gas for Sustainable Development in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13: 253-270.
- Khaiwal, Ravindra; Maninder, Kaur-Sidhu and Suman, Mor (2020). Air Pollution in Rural Households Due to Solid Biomass Fuel Use and Its Health Impacts, *Indoor Environmental Quality*, pp. 27-33.
- Khalil Arjaghi, .SH. .and Morrabi Heravi, H. (2019). Comparison of the relationship between various indicators and air pollution in the city of Tabriz, *Environmental Management and Sustainable Development*, 2 (458): 1-5.
- Khorshid Dost, A. M. and Shirzad, A. A. (2014). Investigation and analysis of precipitation in the northern region of Iran using cluster analysis and analysis of diagnostic function, *Journal of Geography and Planning*, 18(49): 101-118.
- Kunwar, P.; Singh, Shikha G. and Premanjali, R. (2013). Identifying pollution sources and predicting urban air quality using ensemble learning methods, *Atmospheric Environment*, 80: 426-437.
- Lashkari, H. and Hedayat, P. (2006). Analysis of Synoptic Pattern of Severe Inversions in Tehran, *Geographical Research*, 56: 65-82.
- Lavanya, C.; Dhankar, R.; Chhikara, S. and Soni, R. (2014). Review Article Outdoor Air Pollution and Health: A Comprehensive Review, *International Journal of Recent Scientific Research*, 5(7): 1248-1255.

- Maigeng, Z.; Guojun, H.; Yunning, L.; Peng, Y.; Yichong, L.; Haidong, K.; Maorong, F.; An Xue, Maoyong Fan (2015). The associations between ambient air pollution and adult respiratory mortality in 32 major Chinese cities, 2006–2010, *Environmental Research*, 137: 278-286.
- Noruzzadeh, F. (20017). Investigation of Air Pollution and Air Pollution Sources in Tabriz, M.Sc. Thesis, Zanzan University, Faculty of Geography.
- Panahi, A. (2018). Investigating the relationship between air quality index pollutants and meteorological parameters in severe inversions of Tabriz, *Geographic Space*, 18(62): 63-76.
- Quarmby, S.; Santos, G. and Mathias, M. (2019). Air Quality Strategies and Technologies: A Rapid Review of the International Evidence, *Sustainability*, 11: 2757.
- Spiritual, Y.; Secretary, B.; Spiritual. Y. And Panje Shai, M. H. (2006). Development of application of pinch technology for air pollution, *Iranian Journal of Chemical Engineering*, 25(1): 87-94.