The 2nd National Conference on Climatology of Iran
دومین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران
May 9th , 2018
Ferdowsi University of Mashhad
۱۹ اردیبهشت ۱۳۹۷
دانشگاه فردوسی مشهد

«گواهی ارائه مقاله»

مرکز منطقه ای اطلاع رسانی علوم و فناوری
ISC Islamic World Science Citation Center

تاریخ: ۱۳۹۷/۰۲/۱۹
شماره: SNCCI --۲۰۰۱۲۲
کد مقاله: ۱۱۲

بدین وسیله گواهی می شود سرکار خانم نسرین حسین آبادی
و همکاران: تقی طاوسی، عباس مفیدی و محمود خسروی

در دومین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران که در ۱۹ اردیبهشت ماه ۱۳۹۷ توسط گروه جغرافیای دانشگاه فردوسی مشهد برگزار گردید، شرکت نموده و مقاله خود را با عنوان «**بررسی شرایط ترمودینامیکی وقوع وارونگی های دمایی شدید و آلودگی هوای شهر مشهد (مطالعه موردی: ۱۰ آذر-۱۰ دی ۱۳۹۶)**» ارائه نمودند. توفیق روزافزون ایشان را از خداوند تبارک و تعالی مسئلت داریم.

خدیجه بوزرجمهری
رئیس دومین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران

دومین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران
The 2nd National Conference on Climatology of Iran

عباس مفیدی
دبیر علمی دومین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران

بررسی شرایط ترمودینامیکی وقوع وارونگی های دمایی شدید و آلودگی هوای شهر مشهد (مطالعه موردی:۱۰ آذر-۱۰ دی ۱۳۹۶)

نسرین حسین آبادی [۱]*، تقی طاوسی [۲]، عباس مفیدی [۳]، محمود خسروی [۴]

[۱] دانشجوی دکتری آب و هواشناسی،گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، Hosseinabadyn@pgs.usb.ac.ir

[۲] استاد آب و هواشناسی،گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، t.tavousi@gep.usb.ac.ir

[۳] استادیار آب وهواشناسی،گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، abbasmofidi@um.ac.ir

[۴] دانشیار آب وهواشناسی،گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، khosravi@gep.usb.ac.ir

چکیده

افزایش تمرکز آلاینده ها در اتمسفر کلانشهرها در نتیجه پایداری جو، مساله آزار دهنده ای است که اکثر کلانشهرهای ایران در فصول سرد سال با آن مواجهند. در این پژوهش به بررسی وارونگی‌های دما در کلانشهر مشهد در ماه‌های اخیر پرداخته شده است. به منظور برآورد تعداد روزهای وارونگی و شناسایی ساختار وارونگی دما در کلانشهر مشهد، داده‌های جو بالای ایستگاه مشهد از سایت دانشگاه وایومینگ اخذ و بررسی گردید. نتایج نشان داد در طول دوره مورد مطالعه (۱۰ آذر تا ۱۰ دی ۱۳۹۶)، تنها یک روز شهر مشهد وارونگی دما را تجربه ننموده است. در مقابل، در ۲۹ روز باقی مانده، انواع وارونگی دما با شدت های متفاوت از ضعیف تا بسیار شدید بر روی این شهر تسلط یافته است، به طوری که ۵۹ درصد از روزها دارای وارونگی شدید و بسیار شدید بوده اند. در بین روزهای مورد مطالعه، روز ۷ دی ماه، وارونگی بسیار شدید و اوج آلودگی هوا (AQI =۱۷۱) و وضعیت هشدار ثبت گردیده است که سبب تعطیلی مدارس شهر مشهد گردیده است. بررسی ها نشان داد که، استقرار سامانه پرفشار و فرونشینی هوا در ترازهای زیرین جو به همراه پایداری جو، سبب شکل‌گیری وارونگی دمایی در نزدیکی سطح زمین و وقوع وارونگی شدید (۰/۰۳۱<۰۰۰) شده است. این امر، مانع تلاطم و جابه‌جایی هوا شده و آلودگی شدید هوا در شهر مشهد را در این روز به همراه داشته است.

واژه‌های کلیدی: وارونگی شدید، آلودگی هوا، AQI، مشهد.

The Study of thermodynamic conditions of severe inversions and air pollution in Mashhad (Case Study: December 2017)

Nasrin Hossein Abadi [1], Taghi Tavousi[2], Abbas Mofidi[3], Mahmood Khosravi[4]

[1] Ph.D. student of climatology, University of Sistan and Baluchistan

[2]Professor of Climatology, University of Sistan and Baluchistan

[3]Assistant professor of Climatology, Ferdowsi University of Mashhad.

[4]Associate Professor of climatology, University of Sistan and Baluchistan

Abstract

In this study, the temperature inversion in the metropolis of Mashhad has been studied in recent months. The atmospheric data for Mashhad Station from Wyoming University site for December 2017 were analyzed. In the study period (December 2017), 59% of the days had severe and very severe inversion. On December 28, a very severe inversion occurred and peak air pollution (AQI =171) and a warning condition have been recorded, which has shut down schools in Mashhad on this day. The results showed that the air stability conditions, the formation of a high-pressure system on the ground and air subsidence caused a temperature inversion layer near the surface of the earth and an intense inversion (> 0.031). This has prevented the turbulence and movement of air and caused severe air pollution in Mashhad.

Keywords: Severe inversion, air pollution, AQI, Mashhad.

* نویسنده مسئول مکاتبات: شماره تماس(۰۹۱۵۱۹۱۰۶۳۷)

۱ – مقدمه

امروزه آلودگی هوا در شهرهای بزرگ دنیا یکی از معضلات اساسی به شمار می رود. عوامل، عناصر و پدیده های متعددی به تشدید آلودگی هوا کمک می‌کنند. یکی از این پدیده ها، که نقش مهمی در افزایش غلظت آلاینده ها در شهرهای بزرگ و صنعتی دارد، پدیده وارونگی دماست. کاهش دما با ارتفاع، افت آهنگ عمودی دما (Lapse Rate) نامیده می‌شود و کاهش دمای یاد شده در تروپوسفر این امکان را به وجود می‌آورد که تا ترازهای زیرین جو به طور دائم دارای حرکات عمودی باشند و هوای آلوده سطح زمین به لایه فوقانی صعود کرده و هوای عاری از آلودگی جایگزین آن شود. در واقع، در تروپوسفر نزدیک سطح زمین دائماً تهویه طبیعی صورت می‌گیرد، اما گاهی در یک ارتفاع مشخص یا در بخشی از جو به جای اینکه دما با ارتفاع کاهش یابد، افزایش پیدا می‌کند که این حالت را وارونگی دمایی(اینورژن) می‌نامند. در این حالت هوای سرد و سنگین سطح زمین تمایلی به جابجایی یا حرکت به سمت بالا ندا شته و دائم در معرض تزریق مواد آلاینده از منابع آلودگی قرار می‌گیرد و سبب نگهداری مواد آلاینده و افزایش پتانسیل آلودگی می‌شود. معضل آلودگی هوا و علل و عوامل بوجود آورنده آن همیشه مورد توجه پژوهشگران بوده است. در زیر به شمار اندکی از آنها بسنده می‌شود:

بر سی سینوپتیکی وارونگی دما و همچنین نو سانات و روند دوره‌ای وارونگی در کالیفرنیا ن شان داد که همب ستگی شدیدی بین سیستم های جوی بزرگ مقیاس و وقوع پدیده وارونگی دما وجود دارد و وقوع وارونگی های شدید همواره با سیستم های پرفشار و وقوع وارونگی های ضعیف با سیستم های کم فشار همراه هستند. نتایج تحقیقات مذکور نشان می دهد هنگامی که الگوی جریانات اقلیمی ناحیه ای تغییر می یابند فراوانی و شدت وارونگی های دمای سطح پایین رفتار متفاوتی را ن شان می‌دهند و روی کیفیت هوا تاثیر می گذارند، همچنین آنها اثبات کردند که وارونگی های قوی همراه با رویداد انسو و شاید مهم تر از آن نوسانات دهه ای اقیانوس آرام می‌باشند و اطلاعات رادیوسوند روند معنی‌داری را در وقوع وارونگی های کالیفرنیا نشان می دهد(یاکوبلیس،۲۰۰۹). در بررسی وارونگی دما و اثرات زیست محیطی آن روی شهر کراچی، از داده‌های روزانه دما، دید، رطوبت نسبی،گرد وغبار تهیه شده از ایستگاه هواشناسی کراچی، همچنین داده‌های جو بالا (رادیو سوند) تهیه شده از مرکز پردازش داده (pmp) برای یک دوره‌ی آماری ۱۰ ساله (۲۰۰۹-۲۰۰۰) استفاده شد. نتایج این بررسی نشان دادکه بیشتر فراوانی وقوع وارونگی مربوط به ماه‌های تابستان است(یاسمین،۲۰۱۰). بررسی تأثیر وارونگی‌های دمایی بر آلودگی هوا در شهر سبیو نشان داد که به علت موقعیت فرورفته فلات ترانسیلوانیا، وارونگی‌های دمایی باعث بروز دماهای بسیار پایین و همچنین ایجاد یک لایه هوای پایدار می‌شوند که با بررسی غلظت آلاینده‌های دی‌اکسید گوگردSO2 ،دی‌اکسید نیتروژنNO2، مونوکسید کربن CO و اوزون O3 در روزهای با وارونگی دما و بدون وارونگی مشخص شد که با وقوع وارونگی دما، فشار بالای جو و سرعت پایین باد غلظت دو مورد از آلاینده‌ها به شدت افزایش می‌یابد (کوبر، ۲۰۱۳). زنگو ژانگ ، (۲۰۱۷) بامطالعه تاثیرعنا صر هوا شنا سی بر تداوم آلودگی‌های سنگین هوا در منطقه چنگدو چین ن شان داد که نه تنها فاکتورهای سطحی هوا شنا سی، بلکه ساختار لایه مرزی و وجود وارونگی های دمایی نقش مهمی در انتشار عمودی آلاینده ایفا می‌کند. 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(بیدختی و بنی‌هاشمی، ۱۳۷۶). مطالعه وارونگی دما و ناپایداری هوا بر روی آلودگی هوای شهر تهران نشان داد از بین عوامل مورد مطالعه، گاز منواکسیدکربن با سمت و سرعت باد همبستگی منفی و غلظت آن با شدت وارونگی رابطه مستقیم دارد (دلجو ، ۱۳۷۹). در بررسی علل و عوامل افزایش آلودگی هوای تهران، تعداد خودروهای موجود و موقعیت جغرافیایی و طبیعی در این شهر جزو عوامل اصلی آلودگی است(روشن ضمیر و ایکانی،۱۳۸۰). در مطالعه بسامد پایداری هوا در استان کردستان با هدف شناخت پتانسیل آلودگی هوا در شهرهای مختلف استان کردستان مواردی چون تجمع منابع آلاینده در یک نقطه، استقرار شهر در دره، حضور سامانه های دینامیکی فشار زیاد در منطقه، وجود وارونگی شدید دما، لایه آمیخته کم عمق، شب های صاف، بادهای ضعیف وتابش شدید به عنوان عوامل تعیین کننده معرفی گردیده اند (پژوهشگاه هواشناسی،۱۳۸۲). جهانشیری (۱۳۸۹) با استفاده از داده های روزانه منواکسیدکربن و ذرات معلق (PM10) برای یک دوره یک ساله (سال ۱۳۸۸)، سامانه های فشاری مؤثر بر افزایش آلودگی هوا در شهر مشهد را مورد بررسی قرار داد، در این پژوهش از داده های ۸ ایستگاه سنجش آلودگی هوا که درسطح شهر مشهد استقرار دارند، استفاده شد و نتایج بررسی منجر به شناسایی پنج الگوی همدید برای روزهای آلوده درکلانشهر مشهدگردید که در میان الگوهای تعیین شده، سامانه های کم فشار نیز از نقش قابل توجهی برخوردار هستند.

شرایط وزش باد، افزایش میزان انرژی جنبشی تلاطم نا شی از سرعت باد و شرایط ناپایدار جوی، با انتقال افقی آلاینده‌ها و ایجاد حرکات قائم فراز شی سبب تعدیل آلودگی می شود(شمسی پور و همکاران، ۱۳۹۱). بررسی وارونگی‌های دمایی شهر تهران در بازه زمانی

۲۰۱۴-۲۰۱۰ نشان داد میانگین روزهای توأم با پدیده وارونگی دما در دوره مورد مطالعه ۲۳۱روز شامل ۸۹ درصد وارونگی تابشی ناشی از سرمایش شبانه سطح زمین و ۱۱ درصد وارونگی فرونشینی (پویشی) بوده است. نتایج گویای حاکمیت وارونگی دما در بیشتر روزهای سال به ویژه در فصل تابستان می‌باشد (طاو سی و حسین آبادی،۱۳۹۶). نتایج برر سی تحلیل همدیدی روزهای بسیار آلوده ۱۳ و ۱۴ نوامبر ۲۰۰۷ در شهر مشهد بیانگر آن است که عبور امواج غربی از روی منطقه، استقرار پشته‌ای قوی در محدوده کوههای اورال و دریای خزر که با یک اریب شرق سو، شکل گیری مرکز واچرخندی را در حد فاصل دریای خزرتا بخش‌های شمالی خراسان تا ترازهای زیرین جو موجب می‌گردد (سلطانی گردفرامرزی و همکاران).

۲- داده ها و روش تحقیق

به منظور بررسی ویژگی‌ها و پارامترهای مربوط به وارونگی‌های دمای سطح پایین شهر مشهد از داده‌های رادیو سوند مربوط به ساعت ۰۰ گرینویچ (۳/۵ محلی) ماه دسامبر سال ۲۰۱۷ ایستگاه مشهد در مقیاس روزانه استفاده شد، از داده های مزبور روزهای دارای شرایط وارونگی دما استخراج و مورد تحلیل قرار گرفت. ویژگی های وارونگی از جمله ارتفاع پایه لایه وارونگی (Zbase)، میزان دما در پایه لایه وارونگی (Tbase) ، ارتفاع رأس لایه وارونگی از سطح زمین به متر (Ztop)، میزان دما در رأس لایه وارونگی به درجه سانتیگراد (Ttop) و اختلاف دما بین پایه و رأس لایه (DTinv) ، با استفاده از داده های مزبور محاسبه شد. همچنین داده‌های شاخص کیفیت هوا (AQI) از سامانه پایش کیفیت هوای کشور تهیه شد. شاخص آلودگی هوا(AQI) معیاری است که غلظت ترکیبات مختلف آلاینده موجود در هوا مانند منوکسیدکربن، دی اکسیدگوگرد، 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 (۰-۵۰)، سالم(۵۱-۱۰۰)، ناسالم (۱۰۱-۱۵۰)، بسیار ناسالم (۱۵۱-۲۰۰)، خطرناک(۲۰۱-۳۰۰) و بحرانی(>۳۰۰) نمایش می‌دهد (سازمان محیط زیست ایالات متحده، ۲۰۰۹). اطلاعات و داده‌های Skew -T از تارنمای دانشگاه وایومینگ (weather.uwyo.edu/cgi-bin/sounding) دریافت و با استفاده از گراف‌های Skew -T لایه‌های وارونگی مشخص شد. از میان روزهای دارای شرایط وارونگی، وارونگی‌های بحرانی به روش هافتر استخراج گردید. وارونگی بحرانی با دو شرط زیر مشخص می شود:

رابطه(۱)

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta z} > 0.005$$

$$\boldsymbol{\theta t - \theta b > 2}$$

θ دمای پتانسیل و θb و θt به ترتیب دمای پتانسیل کف و رأس لایه وارونگی بحرانی بر حسب کلوین و $\boldsymbol{\frac{\Delta\theta}{\Delta z}}$ افتاهنگ دما نسبت به ارتفاع در لایه وارونگی بحرانی بر حسب کلوین در متر می‌باشد (لین و مایکل،۲۰۱۰).

سپس وارونگی های رخ داده بر اساس شدت طبقه بندی شد:

رابطه (۲)

$$I = \frac{(\Delta\theta)^2}{3 + Z(\Delta z)}$$

I شـدت وارونگی، $\Delta\theta$ اختلاف دمای پتانسـیل رأس و پایه وارونگی به درجه کلوین، Δz ضـخامت لایه وارونگی به متر و Z ارتفاع ایستگاه (هکتومتر) است (هدایت و لشکری،۱۳۸۵).

برای بررسـی شـرایط همدید نیز از داده‌های جوی بالا مرکز اروپائی پیش بینی میان برد آب و هوا (ECMWF) و نرم‌افزار GRADS اسـتفاده شـد. در این پژوهش به دلیل بروز وارونگی‌های شـدید دمایی در آذر و دی ماه ۱۳۹۶ و آلودگی شـدید هوا در کلانشهرهای ایران بازه زمانی مورد مطالعه انتخاب و وارونگی های رخ داده بررسی و شدیدترین وارونگی مورد تحلیل قرار گرفت. شهر مشهد به لحاظ موقعیت در ′ ۳ ° ۵۹ تا′ ۳۵ ° ۶۰ طول شرقی و ′ ۴۲ ° ۳۵ تا ′ ۵۹ ° ۳۶ عرض شمالی قرار گرفته است.

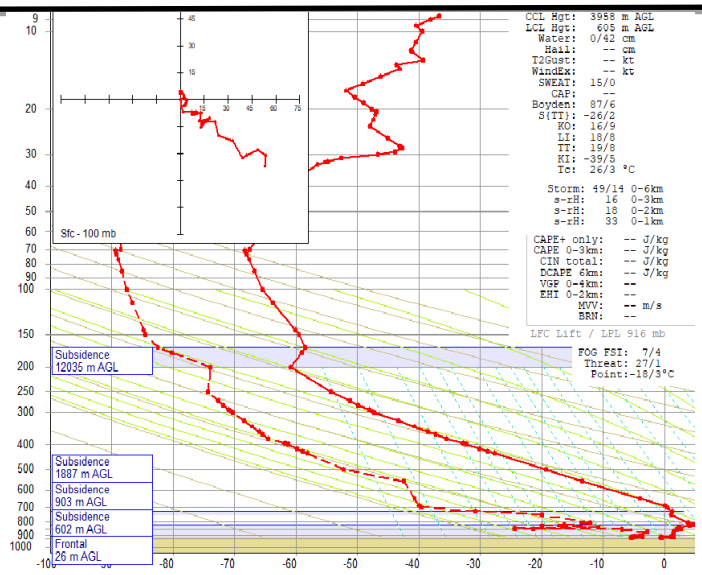
۳- نتایج و بحث

وضعیت جوی هر روز متأثر از آرایش سامانه‌های جوی و ویژگیهای دینامیکی و ترمودینامیکی حاکم بر جو می‌باشد. آرایش سامانه‌های مقیاس سینوپتیک در برخی از اوقات به گونه‌ای است که شرایط پایدار را در جو حاکم ساخته و در نتیجه به دلیل افزایش غلظت آلاینده در لایه‌های زیرین جو و فقدان یا ضعیف بودن جریان‌های جوی، شدت آلودگی افزایش یافته و یا الگوی سینوپتیکی حاکم به گونه‌ای است که جو را ناپایدار ساخته و به دلیل شدت یافتن جریان‌های قائم و افقی، عناصر آلاینده در داخل جو پخش شده و غلظت آن کاهش می‌یابد(حلیبیان و پورشهبازی، ۱۳۹۵). با توجه به بررسی‌های حاصل از داده های رادیوسوند ایستگاه فرودگاه مشهد روزهای دارای وارونگی استخراج شد. از ۳۰روز مورد بررسی در بازه زمانی ۱۰ آذر تا ۱۰ دی ماه ۱۳۹۶(دسامبر۲۰۱۷) در ایستگاه مشهد تنها در روز۱۴ دسامبر ۲۰۱۷ (۲۳ آذر۱۳۹۶) وارونگی دمایی مشاهده نشد و شاخص (AQI) نیز در این روز در وضعیت سالم (AQI =۸۶) قرار دارد و روز ۲۱ آذر (۱۲دسامبر) داده رادیوسوند گزارش نشده است. بررسی‌ها نشان داد که از ۲۹ روز باقی مانده بر اساس رابطه (۱) همه روزها دارای شرایط بحرانی بوده و طبقه بندی وارونگی به لحاظ شدت بر اساس رابطه(۲) بدین شرح است:

جدول ۱- طبقه بندی وارونگی های رخ داده براساس شدت

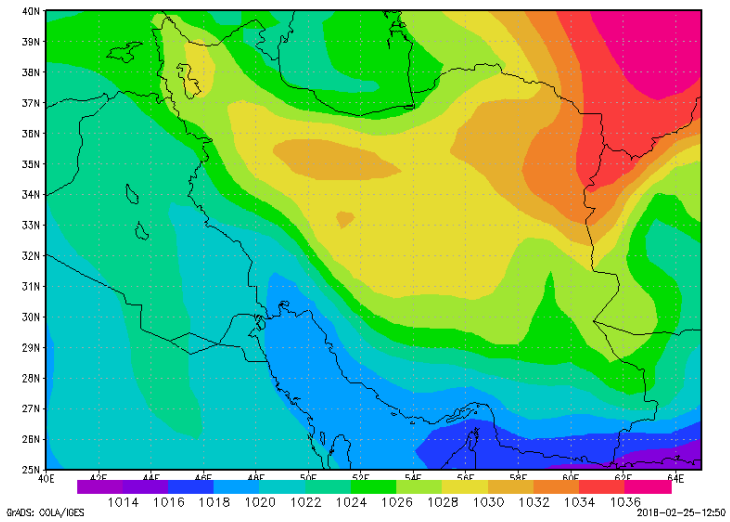
درصد	فراوانی	شدت	طبقه بندی شدت
۱۰	۳	۰,۰۱۰-۰,۰۰۰	ضعیف
۳۱	۹	۰,۰۲۰-۰,۰۱۱	متوسط
۳۱	۹	۰,۰۳۰-۰,۰۲۱	شدید
۲۸	۸	بالای۰/۰۳۱	بسیار شدید

در مجموع ۵۹ درصد از روزهای مورد مطالعه دارای وارونگی شدید و بسیار شدید بوده است، در روزهای۱۶ و۱۷و ۲۶و ۲۹آذر و ۱ و ۴و ۷ و ۸ دی ماه وارونگی های بسیار شدید رخ داده است و شاخص (AQI) در تمامی این روزها بالای ۱۳۰ و در بعضی از روزها بالای ۲۰۰گزارش شده است. از بین روزهای دارای وارونگی شدید روز ۷ دی ماه انتخاب شد، طبق مصوبه کمیته اضطرار آلودگی هوای مشهد و در پی تداوم آلودگی هوا ،تمامی فعالیت های آموزشی و مدارس در مناطق هفت‌گانه مشهد و تبادکان روز پنجشنبه ۷ دی ماه تعطیل اعلام شد. (خبرگزاری مهر). آمار دریافتی شاخص کیفیت هوا در این روز دارای کیفیت هوای نا سالم برای تمام افراد و و ضعیت هشدار (۱۷۱) می باشد. سپس با استفاده از داده های جو بالای ایستگاه مشهد، شرایط ترمودینامیکی حاکم در طی روزهای آلوده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و در نهایت نقشه سرعت قائم ترازهای مختلف جو تولید و مورد بررسی قرار گرفت.



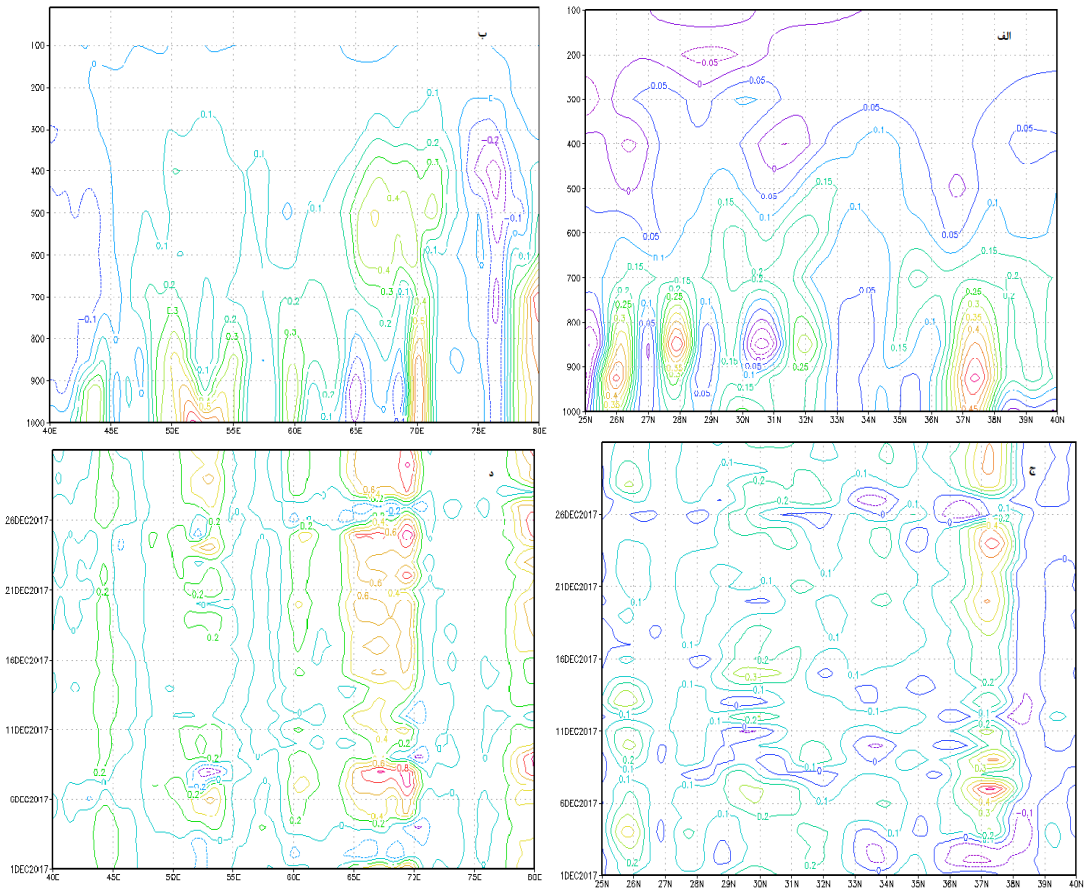
شکل۱- نمودار Skew_T ساعت ۰۰UTC روز ۷ دی ۱۳۹۶.

بررسی نمودار Skew-T ساعت 00 UTC روز ۷ دی ۱۳۹۶(۳/۵صبح به وقت محلی) شکل پیچیده ای از لایه های وارونگی را به نمایش می گذارد بطوری‌که از سطح زمین(۹۹۰متری) تا ارتفاع ۷۰۰ هکتوپاسکال ۴ وارونگی دمایی مشاهده می‌شود. بر خلاف معمول با افزایش ارتفاع از سطح زمین دما کاهش نمی‌یابد و از ۹۹۰ متری(ارتفاع ایستگاه مشهد) تا ارتفاع ۱۰۱۷ متری یک لایه وارونه دمایی به ضخامت ۲۶متر تشکیل شده دما در کف لایه ۰/۵- درجه سلسیوس و در سقف لایه وارونگی به ۱/۴ درجه سلسیوس می‌رسد و با توجه به رابطه شدت وارونگی (رابطه ۲)یک وارونگی بسیار شدید(<۰,۰۳۱) در سطح زمین ایجاد شده است، یک لایه وارونگی دیگر از نوع فرونشینی به ضخامت ۶۰۲ متر از ارتفاع ۱۰۶۲ متری بر روی لایه وارونگی اولیه مشاهده می شود (شکل۱). شکل گیری لایه وارونگی فرونشینی دیگر (وارونگی دینامیکی حاصل از نزول هوا) حدفاصل تراز ۸۵۰ تا ۸۰۰ هکتوپاسکال با ضخامت ۹۰۳ متر بوده است . یک وارونگی دیگر ایجاد شده در حدفاصل ترازهای ۸۰۰ تا ۷۰۰ به ضخامت ۱۸۸۷ متر، نیز یک نمونه برجسته از تیپ وارونگی سوبسیدانسی یا وارونگی حاصل ازفرونشینی(Subsidence Inversion) است که درهوای خشک، پایدار و بدون ابر ایجاد شده و از مشخصه های بارز آن، کاهش ناگهانی، همزمان و قابل ملاحظه رطوبت هوا در محدوده لایه وارونگی است (سرویس هواشناسی ملی، ۱۹۹۰). وجود این چهار لایه وارونگی تا ارتفاع ۷۰۰ هکتوپاسکال در این روز به شدت از بالاروی و تلاطم در لایه مرزی جلوگیری می‌کند.



شکل ۲- الگوی فشار تراز دریا ساعت ۰۰UTC روز ۷ دی ۱۳۹۶.

بررسی شرایط فشار در تراز دریا، حاکی از گسترش زبانه پرفشار سیبری و پایداری هوا و جو آرام دارد. با توجه به شکل، نزول گسترده هوا در منطقه شمال شرق ایران، به شدت از ناپایداری هوا جلوگیری نموده است (شکل ۲). زمانی که شرایط آسمان صاف و بدون ابر(استقرار سامانه پرفشار) 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 وارونگی دمایی می‌شود.



شکل ۳- نیمرخ ارتفاعی از مقادیر سرعت قائم (امگا) بر حسب Pa/S در ساعت UTC۰۰ روز ۷ دی ۱۳۹۶. (الف) در امتداد طول جغرافیایی و (ب) در امتداد عرض جغرافیایی. (ج) نمودار هاومولر امگا ۱۰ آذر تا ۱۰ دی ۱۳۹۶در امتداد طول جغرافیایی و (د) در امتداد عرض جغرافیایی.

شکل ۳ وضعیت متوسط صعود و نزول هوا را به ترتیب در امتداد مداری و نصف النهاری در زمان تسلط الگوی پرفشار سیبری نشان می دهد. نقشه سرعت صعود قائم هوا نشان دهنده اعداد مثبت(Pa/s 0.1-0.45) تا ترازهای بالای جو، به معنای فرونشینی هوا و پایداری است با توجه به شکل گسترش و تسلط همزمان زبانه های پرفشار سیبری در ترازهای زیرین وگسترش غرب سوی زبانه‌های پرفشار سیبری یک نزول بسیار شدید (مقادیر بالای امگای مثبت) را در ترازهای زیرین بر روی شمال شرق ایران ایجاد می نماید بیشینه نزول هوا در زیر تراز ۷۰۰ هکتوپا سکال و در حدفاصل طول° ۶۹ تا ۷۰ شرقی به وقوع می پیوندد با این وجود، شهر مشهد به جهت گسترش غرب سوی زبانه های پرفشار سیبری، نزول و پایداری هوا را در تمامی ترازهای جو تا تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال تجربه می‌نماید.

۴ - نتیجه گیری و جمع بندی

علل اصلی ایجاد آلودگی هوا در مراکز شهری بیشتر به عهده انسان و تحت تاثیر مستقیم فعالیتهای وی می‌باشد. ویژگی‌ها و شرایط جوی در تشدید یا ایجاد مخاطره آلودگی نقش بسزایی دارد. به دلیل وقوع وارونگی های شدید در دی ماه ۱۳۹۶و به دنبال آن وقوع آلودگی هوا در کلانشهرهای ایران بویژه شهر مشهد، به بررسی و تحلیل وارونگی‌های شدید دمایی منجر به این آلودگی‌ها پرداخته شد. در دوره مورد مطالعه روز ۷ دی ۱۳۹۶به دلیل داشتن وارونگی‌های دمایی بسیار شدید و همچنین بالا بودن عدد شاخصAQI (۱۷۱) که منجر به تعطیلی مدارس نیز گردید انتخاب و مورد تحلیل قرار گرفت، بررسی ها نشان داد که نزول گسترده هوا در منطقه شمال

شرق ایران، به شدت از ناپایداری هوا جلوگیری نمود و پرفشار سیبری در روز مورد مطالعه در بروز آلودگی حدی در مشهد نقش اساسی داشته است، به‌طوری‌که مقادیر مثبت امگا در نقشه های سرعت قائم هوا نشان دهنده نزول بسیار شدید هوا تا ترازهای بالای جو است. بررسی نمودار Skew -T مربوط به این روز شکل پیچیده ای از لایه های وارونگی را به نمایش می گذارد بطوری که یک وارونگی شدید با ضخامت کم(۲۶متر) از سطح زمین تا ارتفاع ۱۰۱۷ متری با اختلاف دمای ۳/۱ استقرار داشته است، تا ارتفاع ۲۰۰ هکتوپاسکال چهار لایه وارونگی دیگر که همگی از نوع فرونشینی (Subsidence Inversion) بوده نیز مشاهده می شود که موجب پایداری شدید هوا در این روز شده است. بر این اساس می‌توان چنین نتیجه گیری نمود که بروز آلودگی‌های حدی در شهر مشهد بیش از آن که حاصل عوامل محلی و جغرافیایی باشد حاصل بر هم کنش عوامل محلی با گردش جو در مقیاس منطقه‌ای است و گردش منطقه ای جو و استقرار سامانه های پرفشار از جمله سیبری شرایط را برای پایداری هوا و افزایش تمرکز آلاینده‌ها فراهم می‌کند. از آن جایی که پایداری جوی ناشی از وارونگی دمایی یکی از مهمترین علل افزایش پتانسیل آلودگی هوا بخصوص در کلان شهرها است و همهٔ انواع وارونگی‌ها در سطح زمین و یا ارتفاعات بالاتر، از اختلاط اتمسفری جلوگیری کرده و موجب تجمع آلاینده ها می‌شوند ، از طرف دیگر وارونگی دمایی را نمی‌توان به هیچ عنوان جابه‌جا کرد، باید بسامد بروز و شدت آن را شناخت تا بتوان با مدیریت هوشمندانه، خود را عملا از ضربه آن خارج کنیم، در غیر این‌صورت هر ساله در فصول سرد با بروز وارونگی های دمایی شدید ناشی از استقرار سامانه‌های پرفشار، شاهد آلودگی های شدید هوا در کلانشهرها و تعطیلی های پیاپی مدارس و سایر مضرات آن خواهیم بود.

۵- منابع

- بیدختی، ع، ا. و بنی هاشم، ت، ا. (۱۳۷۶):لایه آمیخته شهری و آلودگی هوا، محیط شناسی، ۲۰، ۵۱- ۶۱.
- پژوهشگاه هواشناسی و علوم جوی.(۱۳۸۲): مطالعهٔ بسامد پایداری در استان کردستان با هدف شناخت پتانسیل آلودگی هوا در شهرهای مختلف استان، گزارش پروژه، انتشارات سازمان هواشناسی کشور.
- جهانشیری، م.. (۱۳۸۹): بررسی آماری و سینوپتیکی آلودگی هوای مشهد، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی- اقلیم شناسی، به راهنمایی علیرضا انتظاری، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار.
- حلیبیان، ا، ح.. پورشهبازی فراشبندی، ج.(۱۳۹۵): واکاوی شرایط همدید - ترمودینامیک آلودگی هوای شهر اصفهان مطالعه موردی: ۱۵-۱۳ آذر ۱۳۹۱)، پژوهش‌های محیط زیست، (۱۴) ۷، ۲۵۹-۲۴۹.
- دلجو، امیر، ه.. (۱۳۷۹): مطالعه و بررسی وارونگی دما و ناپایداری بر روی آلودگی هوای شهر تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
- روشن ضمیر، س.، و ایکانی، م، ح.. (۱۳۸۰)، بررسی آلودگی هوای تهران، سومین همایش ملی انرژی در ایران، کمیته ملی انرژی جمهوری اسلامی ایران, معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو.
- سلطانی گردفرامرزی، ط ، مفیدی، ع، و گندمکار، ا.. (۱۳۹۴)، بررسی همدیدی روزهای بسیار آلوده در شهر مشهد مورد مطالعه روزهای ۱۳ و ۱۴ نوامبر۲۰۰۷، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۲(۴)، ۹۵-۱۱۲.
- شمسی پور، ع، ا.. نجیب زاده، ف ،.و حسین پور، ز،.(۱۳۹۱): شبیه سازی الگوی پراکنش آلودگی هوای کلانشهر تهران در شرایط وزش باد، جغرافیا و مخاطرات محیطی ،۱(۴)، ۱۹-۳۶.
- طاوسی، ت.. و حسین آبادی، ن.. (۱۳۹۶): ارزیابی شاخص‌های وارونگی دمای لایه مرزی هوای شهر تهران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۳۲(۲) ، ۱۲۰-۱۳۲.
- هدایت، پ، و لشکری ، ح.. (۱۳۸۵): تحلیل الگوی سینوپتیکی اینورژن‌های شدید شهر تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، ۱(۳۸)، ۶۵-۸۳.

- Air Weather Service. (1990). The Use of the Skew-T, log P Diagram in Analysis and Forecasting. Technical report, AWS/TR-79/006, Scott Air Force Base, Illinois 62225- 5008, 164.
- Iacobellis, S.F., Norris, J.R., Kanamitsu, M., Tyree, M., Cayan, D.C. (2009): Climate Variability and California Low-level Temperature Inversions, California Climate Change Center, 1- 47.
- Kober, A. U., (2013): the influence of temperature inversions on the air pollution in the city of Sibiu, Riscurui Catastrofe, 12, 36-45.
- Lin, J.; Michael B. M .(2010). Impacts of boundary layer mixing on pollutant vertical profiles in the lower

troposphere Implications to satellite remote sensing, Atmospheric Environment, 44: 1726–1739. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2010.02.009.

- 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, EPA-456/F-09-002.
- Yasmeen, Z., (2011): Inversion Layer and its Environmental Impact over Karachi, Pakistan Journal of Meteorology, 7, 53-62.
- Zeng, S., Zhang, Y. (2017): The Effect of Meteorological Elements on Continuing Heavy Air Pollution, A Case Study in the Chengdu Area during the 2014 Spring Festival, Atmosphere,. 8(4), 85-94.