

## بررسی وضعیت و شدت وارونگی های سطح پایین شهر تبریز طی دوره ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸

### چکیده

در این تحقیق، به بررسی وارونگی دمای شهر تبریز با استفاده از اطلاعات رادیوسوند، طی دوره زمانی ۲۰۰۴-۲۰۰۸ در مقیاس روزانه، ماهانه و فصلی پرداخته شد. سپس به استخراج روزهایی که دارای وارونگی دما از سطح زمین تا ارتفاع ۷۰۰ هکتوپاسکالی بودند، اقدام گردید. پارامترهای مورد استفاده در این مقاله، شامل ارتفاع پایه و رأس لایه وارونگی، مقدار دما در پایه و رأس لایه وارونگی، اختلاف دما بین پایه و رأس لایه وارونگی، عمق لایه وارونگی، مقدار فشار در پایه و رأس لایه وارونگی می باشند. پس از بررسی داده‌ها روزهایی که دارای وارونگی تابشی و فرونشینی بودند، از هم تفکیک شد. با توجه به اهمیت آلودگی هوا در روزهای سرد سال، به بررسی روزهایی با شرایط وارونگی دمای ضعیف، متوسط، شدید و بسیار شدید در فصل پاییز و زمستان پرداخته شد. نتایج تحقیق نشان داد که میانگین تعداد روزهای توأم با پدیده وارونگی دما در تبریز ۱۹۱ روز می باشد که ۸۷ درصد آن مربوط به وارونگی دمای تابشی و ۱۳ درصد دیگر، مربوط به وارونگی دمای فرونشینی می باشد. در کل ۲۴ مورد وارونگی دمای شدید در این دوره، مشاهده شد که ۱۷ مورد آن در فصل زمستان به خصوص در ماه ژانویه با تعداد ۱۲ مورد و ۷ مورد دیگر آن در فصل پاییز اتفاق افتاده اند. اکثر وارونگی های بسیار شدیدی که در فصل زمستان اتفاق افتاده اند، از نوع تابشی می باشند. افزون بر آن، ۷۰ درصد وارونگی های دمای ۲ مرحله ای که نقش ویژه ای در تداوم وارونگی دارند، در فصل زمستان به-ویژه در ماه ژانویه رخ می دهد.

**واژه های کلیدی:** وارونگی دمای مجاور سطح زمین، وارونگی دو مرحله ای، شدت وارونگی، تبریز.

### مقدمه

امروزه در شهرهای بزرگ دنیا، آلودگی هوا یکی از معضلات مهم به شمار می رود. در ایران نیز که صنایع هر روز اطراف شهرها را اشغال می کنند، آلودگی هوا سلامتی شهروندان را به خطر انداخته و باعث آسیب پذیری محیط زیست می شود. شهر تبریز نیز به عنوان یکی از شهرهای آلوده ایران تحت تأثیر این معضل محیطی قرار دارد. عوامل و عناصر اقلیمی متعددی دست به دست هم می دهند و به تشدید آلودگی کمک می کنند. یکی از این عناصر اقلیمی، پدیده وارونگی دما می باشد. لذا مطالعه پدیده وارونگی دما جهت کاهش اثرات آلودگی و بهبود شرایط زندگی انسان، ضروری است. نمونه ای از مطالعاتی که تاکنون در خارج و داخل کشور صورت گرفته اند، به شرح زیر می باشند:

دونالد و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۶۹)، به بررسی فراوانی، زمان شروع، تداوم و شدت وارونگی‌های دما و تأثیر آن روی آلودگی کلانشهر پائول، در طی دوره زمانی ۸ ساله از (ماه ژوئن ۱۹۶۱ تا ماه ژوئیه ۱۹۶۸) پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که اکثر وارونگی‌های شدید در ماه اکتبر روی داده، به طوری که ۴۸ درصد از وارونگی‌های این ماه بیش از ۱۰ ساعت طول کشیده که میانگین آنها ۸ ساعت بوده است. همچنین در مقایسه با شاخص وارونگی، پایین‌ترین میزان آلودگی مربوط به ماه‌های آوریل، مارس و مه بوده است. آنان معتقدند که شدت و تعداد وارونگی دما به علت افزایش تأثیر شهری روی دمای منطقه در طی این سال‌ها کاهش یافته است. یونو و یاسودا<sup>۲</sup> (۲۰۰۵)، به بررسی وارونگی دما در منطقه مجاور قطبی شمال اقیانوس آرام پرداختند. نتایج نشان می‌دهند که پدیده وارونگی دمایی در اطراف عرض جغرافیایی ۵۰ درجه شمالی در منطقه شمال شرقی اقیانوس آرام به ندرت اتفاق می‌افتد، ولی این پدیده در قسمت شمال خلیج آلاسکا و قسمت جنوب شرقی شمال اقیانوس آرام عمومیت بیشتری دارد. وارونگی‌های دمایی شدید و بزرگ در طول سال در غرب و مرکز منطقه مجاور قطبی شمال آسیا به جز نزدیک جزایر کوریل و آلتین<sup>۳</sup>، اتفاق می‌افتد. جانهاال<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۶)، به بررسی افزایش هواویزهای شهر نوردیک در طول دوره‌های وقوع وارونگی دما در فصل زمستان پرداختند. آنها با بررسی اطلاعات به دست آمده از ابزار سنجش لیدار<sup>۵</sup>، به این نتیجه رسیدند که وارونگی‌های دما یکی از علت‌های اصلی تصویب قانون آستانه کیفیت هوا برای اکثر آلوده کننده‌های اصلی شهر است. در این تحقیق غلظت و تمرکز ذرات آلوده کننده در طول روزهای فصل زمستان همراه با وارونگی دما و بدون وارونگی مقایسه شده‌اند. آنها دریافتند که وارونگی دما در صبح زمستان، همراه با غلظت بالای ذرات آلوده کننده مربوط به ترافیک است. این ذرات ریز شامل CO، NO<sub>2</sub> و NO می‌باشند. کانکانالا<sup>۶</sup> (۲۰۰۷) و بورن<sup>۷</sup> (۲۰۰۸)، به مطالعه وارونگی‌های سطح پایین آلاسکا پرداختند. آنها عقیده دارند که پوشش ابر بر روی ساختار وارونگی‌ها تأثیر می‌گذارد. گسترش پوشش ابری باعث برگشت امواج بلند زمینی به سطح زمین شده، در نتیجه با گرمایش زمین، وارونگی‌های ضعیف و با کاهش و یا عدم وجود ابر، وارونگی‌های شدید تشکیل می‌شوند. بورن و همکاران (۲۰۰۹)، در مطالعه دیگری از وارونگی‌های دمای سطح پایین آلاسکا به این نتیجه رسیدند که پارامترهایی از قبیل ضخامت، اختلاف دما و فراوانی وارونگی دما دارای روند کاهشی بلند مدت می‌باشند. این روندها خطی نبوده و نوسان‌های چند دهه‌ای را نشان می‌دهند. علائم این نوسان‌ها در ایستگاه‌های داخلی بارزتر است. همچنین نتایج حاکی از این است که بین تغییرات علایم وارونگی دمای آلاسکا و نوسان‌های دهه‌ای اقیانوس آرام ارتباط وجود دارد که این ارتباط، هرباری که نوسان رخ داده، تغییر یافته و در سال‌های اخیر نسبت به سال‌های قبل از ۱۹۸۹ قوی‌تر شده است. دواستل و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۱۰)، فراوانی و شدت وارونگی‌های دمای سواحل اقیانوس شمالی را با استفاده از نیمرخ (AIRS)، مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مشاهدات، روندی کاهشی را در فراوانی وارونگی‌ها نشان می‌دهد. همچنین شدت وارونگی‌های فصل تابستان در سال ۲۰۰۷ نسبت به سال‌های ماقبل، افزایش چشمگیری داشتند که ناشی از افزایش دمای لایه تروپوسفر از ۱/۵ درجه کلونین به ۳ درجه کلونین بوده است.

<sup>1</sup> Donald et al

<sup>2</sup> Ueno and Yasuda

<sup>3</sup> Kuril & Aleutian

<sup>4</sup> Janhall

<sup>5</sup> Lidar

<sup>6</sup> Kankanala

<sup>7</sup> Bourne

<sup>8</sup> Devasthale et al

در ایران، پورا احمد (۱۳۷۷)، نقش عوامل اقلیمی چون باد، باران، مه و وارونگی دما را بر روی آلودگی هوای شهر تهران بررسی نموده و اشاره کرد که تعداد وقوع وارونگی دمای مجاور زمین در طی سال‌های (۱۹۷۱ تا ۱۹۶۷)، حداقل ۲۱۱ روز و حداکثر ۲۷۱ روز بوده است. در فصل زمستان فراوانی پدیده وارونگی مجاور سطح زمین زیاد است، زیرا به جز روزهای بارانی و ابری، که تعداد آن کمتر است، بقیه روزها هوا صاف و بدون ابر می‌باشد. در فصل تابستان تعداد وارونگی دمای مجاور سطح زمین به حداکثر می‌رسد، زیرا شب‌ها هوا صاف و بدون ابر بوده، ولی به علت گرم شدن سریع زمین به هنگام روز وارونگی به سرعت از بین رفته و از مقدار آلودگی هوا کاسته می‌شود. در فصول بهار و پاییز تعداد وارونگی به لحاظ ناپایداری کمتر است. دلجو (۱۳۷۸)، با مطالعه بر روی وارونگی دما و آلودگی هوای شهر تهران به این نتیجه رسید که حداقل ارتفاع وارونگی در اواخر فصل پاییز و اوایل فصل زمستان رخ می‌دهد و ارتفاع وارونگی با شدت آن ضریب همبستگی منفی دارد. غلظت گاز مونواکسید کربن ضریب همبستگی منفی را نسبت به سمت و سرعت باد نشان می‌دهد و غلظت این گاز با شدت وارونگی رابطه مستقیم دارد. گاز دی اکسید نیتروژن در برابر شدت وارونگی، افزایش کلی را نشان می‌دهد. ترابی و همکاران (۱۳۷۸)، در مقاله‌ای به بررسی تأثیرات عوامل اقلیمی، از جمله اثر لایه وارونگی دما بر روی هسته آلوده شرق شهر تبریز پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در طی فصل سرد سال، که هوای سرد و پایدار در منطقه حاکم است و همچنین زمانی که لایه وارونگی دما در ارتفاع نسبتاً پائینی (معمولاً بین ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ متر) قرار دارد، هسته آلوده شروع به رشد می‌کند و پائین بودن ارتفاع لایه وارونگی دما در شرق تبریز نسبت به غرب آن باعث تقویت و افزایش هسته آلوده می‌شود. کریمی و درخشان (۱۳۸۴)، به بررسی وارونگی دمای شهر اصفهان در طی دوره زمانی ۱۹۹۳-۱۹۹۱ پرداخته و به این نتیجه رسیدند که وارونگی دما در تمام فصول سال برقرار بوده که در دوره سه ساله مورد بررسی، ۸۰ درصد از روزهای سال، شرایط وارونگی دما حاکم بوده، اما ارتفاع لایه وارونگی با تغییر فصول تغییراتی دارد. کمترین قطر لایه وارونگی حدود ۴۰ متر در ماه مارس و بیشترین قطر آن در حدود ۱۲۱۲ متر در ماه نوامبر می‌باشد. به طور کلی، نتیجه مطالعات نشان می‌دهد که در منابع خارجی در دهه‌های اخیر، تحقیقات خوبی در این زمینه با برجسته شدن نقش تغییر اقلیم و تأثیر آن بر روی سلامتی انسان صورت گرفته است. در حالی که در کشور ما مطالعات پایه‌ای در این زمینه صورت نگرفته و اطلاعات اندک در این زمینه هم تنها با استناد به تجربیات حاصله بوده است. به همین علت در مقاله حاضر، سعی شده است با استناد به آمار و ارقام مربوط به رادیوسوند به تأثیرگذاری و تأثیرپذیری پدیده وارونگی دما و شدت و کثرت و تداوم آن از عوامل و عناصر آب و هوایی گوناگون به خصوص در فصول سرد سال که آلودگی شدت می‌یابد، پرداخته شود.

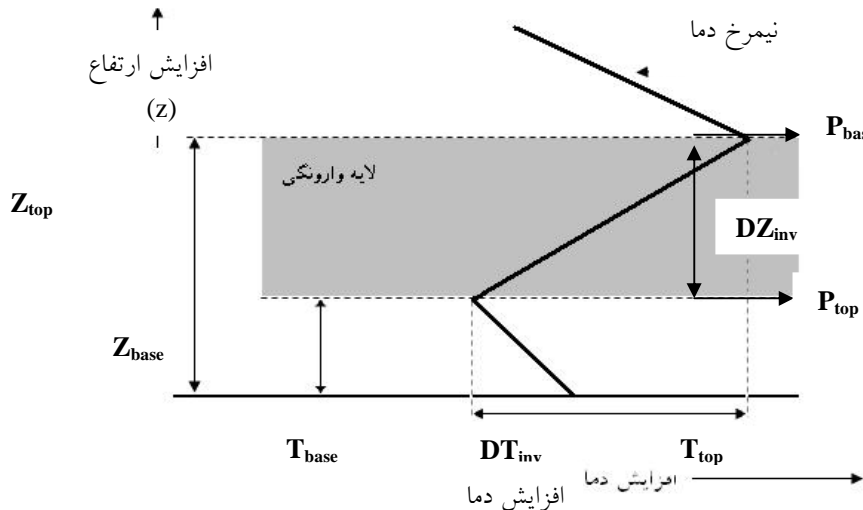
## داده‌ها و روش پژوهش

در این مقاله، به منظور بررسی ویژگی‌ها و پارامترهای مربوط به وارونگی‌های دمای سطح پایین شهر تبریز، از داده‌های رادیوسوند مربوط به ساعت ۰۰ گرینویچ (۳/۵ محلی) برای ۵ سال، طی دوره زمانی ۲۰۰۴ الی ۲۰۰۸ در مقیاس روزانه، ماهانه و فصلی استفاده شد<sup>۱</sup>.

داده‌هایی که با استفاده از اطلاعات مخابره شده از رادیوسوند به دست آمدند، شامل ارتفاع پایه لایه وارونگی از سطح زمین به متر، ( $Z_{top}$ ) ارتفاع رأس لایه وارونگی از سطح زمین به متر، ( $T_{base}$ ) مقدار دما در پایه لایه وارونگی به درجه سانتیگراد، ( $T_{top}$ ) مقدار دما در رأس لایه وارونگی به درجه سانتیگراد، ( $DT_{inv}$ ) اختلاف دما بین پایه و رأس لایه

<sup>1</sup> <http://weather.uwyo.edu/upperair/>

وارونگی به درجه سانتیگراد،  $(DZ_{inv})$  عمق لایه وارونگی به متر، مقدار فشار در پایه لایه وارونگی به هکتوپاسکال و  $(P_{top})$  مقدار فشار در رأس لایه وارونگی به هکتوپاسکال بودند که در شکل (۱) نشان داده شده است. داده‌های مربوط به روزهایی که وارونگی دما از سطح زمین تا ارتفاع ۷۰۰ هکتوپاسکالی بودند، انتخاب شد.



شکل (۱) مشخصات لایه وارونگی دما

مأخذ: (یاکوبلیس و همکاران، ۲۰۰۹)

روش کار به این صورت بوده که ابتدا برای مشخص کردن ویژگی‌های مربوط به وارونگی‌های دمایی شهر تبریز، محاسبات مربوط به آمار توصیفی و شاخص‌های مرکزی به انجام رسید. سپس بر حسب اهمیت وارونگی‌های مجاور سطح زمین در آلودگی هوا، وارونگی‌ها به دو نوع وارونگی تابشی و وارونگی فرونشینی تقسیم شدند. وارونگی‌هایی که از سطح زمین شروع شده و تا ارتفاع ۵۰ متری سطح زمین ادامه داشتند، به عنوان وارونگی تابشی و وارونگی‌هایی که پایه آنها از ارتفاع ۵۰ متری شروع می‌شدند، به عنوان وارونگی فرونشینی در نظر گرفته شد (یاکوبلیس و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹). سپس به بررسی وارونگی‌های دمایی دو مرحله‌ای پرداخته شد. وارونگی‌های دمایی دو مرحله‌ای به وارونگی‌هایی گفته می‌شوند که دو لایه وارونگی با فاصله‌ای بر روی هم ایجاد می‌شوند. وارونگی دمایی دو مرحله‌ای هنگامی ایجاد می‌شود که در بالای زمین در اثر وجود سیستم پرفشار وارونگی، فرونشینی ایجاد شود، سپس وارونگی تابشی در زیر وارونگی فرونشینی ایجاد شود (عرفان منش و افیونی، ۱۳۸۵). با توجه به اینکه اکثر وارونگی‌های بسیار شدید در فصول سرد سال رخ می‌دهند، وارونگی‌های دمایی فصل پاییز و زمستان برای مطالعه انتخاب شد. وارونگی‌ها بر حسب شدت در چهار گروه مجزا که شامل طبقه ضعیف (۰/۰۱۰ - ۰/۰۰۰)، متوسط (۰/۰۲۰ - ۰/۰۱۱)، شدید (۰/۰۳۰ - ۰/۰۲۱) و بسیار شدید (بالای ۰/۰۳۱) بودند، تقسیم‌بندی گردیدند. در منابع مختلف از پارامتر اختلاف دمایی لایه وارونگی، برای طبقه‌بندی شدت وارونگی دما استفاده شده است. در این مطالعه از رابطه ۱ (هدایت و لشکری، ۱۳۸۵، ۵۶) که هم ضخامت و عمق وارونگی و هم اختلاف دما را در نظر می‌گیرد، برای محاسبه شدت وارونگی دما، استفاده شده است.

$$I = \left( \quad \right)^2$$

<sup>1</sup> Iacobellis et al

$$\sqrt{3 + Z(z)}$$

رابطه (۱)

در رابطه فوق، I شدت وارونگی، اختلاف دمای پتانسیل رأس و پایه لایه وارونگی به درجه کلون، z ضخامت لایه وارونگی به متر و Z ارتفاع ایستگاه به هکتومتر است.

در این فرمول، برای محاسبه دمای پتانسیل از رابطه ۲ (رتالاک<sup>۱</sup>، ۱۹۷۳)، استفاده می‌شود:

$$\text{رابطه (۲)} = \left(\frac{1000}{P}\right)^{0.286}$$

در رابطه فوق، دمای پتانسیل به درجه کلون، T دما به درجه کلون و P فشار هوا به هکتوپاسکال می‌باشد.

### یافته‌های پژوهش

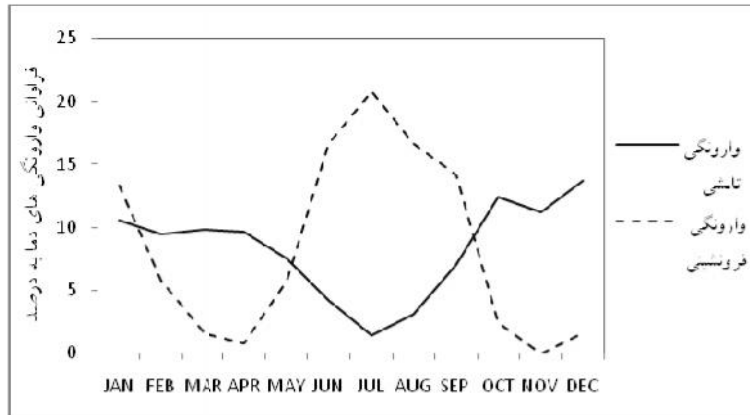
جدول (۱) تعداد وارونگی‌های دمای محاسبه شده از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، تعداد وارونگی‌های دما در هر سال متفاوت است. در سال ۲۰۰۶ با تعداد ۲۳۰ روز بیشترین میزان و در سال ۲۰۰۵ با ۱۵۴ روز کمترین میزان وارونگی دما رخ داده است. با توجه به این جدول، می‌توان گفت که میانگین پدیده وارونگی دمای سالانه شهر تبریز حدود ۱۹۱ روز می‌باشد و در این بین سهم وارونگی دمای تابشی بیشتر از وارونگی دمای فرونشینی است. با توجه به این جدول، بیشتر وارونگی‌ها به طور متوسط از ارتفاع ۱۴۵۶ متری زمین شروع می‌شوند و در ارتفاع ۱۶۱۶ متری پایان می‌پذیرند. میانگین ضخامت وارونگی‌ها حدود ۱۰۶ متر می‌باشد.

جدول (۱) مشخصات وارونگی‌های دمای رخ داده در شهر تبریز طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸

| سال     | مجموع سالانه | وارونگی تابشی | وارونگی فرونشینی | ارتفاع پایه وارونگی (متر) | ارتفاع رأس وارونگی (متر) | ضخامت (متر) |
|---------|--------------|---------------|------------------|---------------------------|--------------------------|-------------|
| ۲۰۰۴    | ۱۵۹          | ۱۴۰           | ۱۹               | ۱۴۲۱                      | ۱۵۷۹                     | ۱۵۸         |
| ۲۰۰۵    | ۱۵۴          | ۱۴۵           | ۹                | ۱۴۰۶                      | ۱۶۰۱                     | ۱۹۵         |
| ۲۰۰۶    | ۲۳۰          | ۱۹۵           | ۳۵               | ۱۴۸۷                      | ۱۶۴۹                     | ۱۶۲         |
| ۲۰۰۷    | ۲۰۱          | ۱۷۳           | ۲۸               | ۱۵۰۳                      | ۱۶۴۸                     | ۱۴۵         |
| ۲۰۰۸    | ۲۱۰          | ۱۸۱           | ۲۹               | ۱۴۶۴                      | ۱۶۰۵                     | ۱۴۱         |
| میانگین | ۱۹۱          | ۱۶۷           | ۲۴               | ۱۴۵۶                      | ۱۶۱۶                     | ۱۶۰         |

شکل (۲) فراوانی وارونگی‌های دمای تابشی و فرونشینی ماهانه طی سال‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار، ماه دسامبر با فراوانی ۱۳/۶۶ درصد و پس از آن ماه اکتبر با فراوانی ۱۲/۳۵ درصد، بیشترین میزان وارونگی دمای تابشی و ماه ژوئیه با فراوانی ۱/۴۳ درصد، کمترین میزان وارونگی دمای تابشی در ۵ سال را دارا هستند. وارونگی‌های فرونشینی برعکس وارونگی تابشی است. ماه ژوئیه با فراوانی ۲۰/۸۳ درصد، بیشترین میزان و ماه نوامبر هم در هیچ یک از این سال‌ها وارونگی فرونشینی نداشته است. میانگین وارونگی تابشی ۱۶۷ روز و وارونگی دمای فرونشینی ۲۴ روز می‌باشد. با توجه به این نمودار، در فصول گرم سال، وارونگی فرونشینی و در فصول سرد سال وارونگی تابشی بیشتر اتفاق می‌افتد.

<sup>1</sup> Retallac



شکل ۲) نمودار میانگین ماهانه بارونگی‌های دمای تابشی و فرونشینی طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸

همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، پدیده بارونگی دما در تمام فصول در شهر تبریز قابل مشاهده است. خصوصیات بارونگی‌ها در هر یک از فصول به شرح زیر می‌باشد: در فصل پاییز تعداد روزهایی که پدیده بارونگی دما رخ می‌دهد، زیاد بوده، ولی تعداد بارونگی فرونشینی نسبت به فصول دیگر کم و تعداد بارونگی تابشی نسبت به فصول دیگر زیاد است. در فصل تابستان تعداد روزهای بارونگی دما، کاهش یافته که از این تعداد سهم بارونگی فرونشینی بیش از فصول دیگر و سهم بارونگی تابشی کمتر از سایر فصول می‌باشد. همچنین ارتفاع رأس لایه بارونگی و ضخامت و عمق آن در فصل تابستان بیشتر از فصول دیگر می‌باشد. در فصل بهار، تعداد روزهای بارونگی مشابه فصل تابستان کمتر است و پایه لایه بارونگی در مقایسه با فصول دیگر به سطح زمین نزدیک می‌باشد. بیشترین تعداد روزهای دارای بارونگی دما بعد از فصل پاییز در فصل زمستان، مشاهده می‌شود که در این بین سهم بارونگی تابشی زیادتر است. در فصل زمستان پایه لایه بارونگی در ارتفاع بالاتری از سطح زمین قرار دارد و پس از فصل تابستان بیشترین ضخامت را دارد.

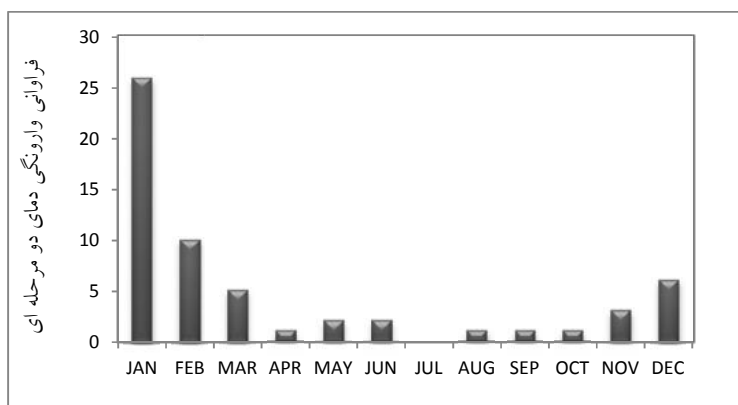
جدول ۲) مشخصات لایه بارونگی دما در ۴ فصل سال شهر تبریز طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸

| مشخصات                  | زمستان | پاییز | تابستان | بهار |
|-------------------------|--------|-------|---------|------|
| مجموع بارونگی           | ۲۷۴    | ۳۵۸   | ۱۵۹     | ۲۰۶  |
| بارونگی فرونشینی        | ۲۵     | ۵     | ۶۲      | ۲۸   |
| بارونگی تابشی           | ۲۴۹    | ۳۱۰   | ۹۷      | ۱۷۸  |
| متوسط ارتفاع پایه (متر) | ۱۸۷    | ۱۷۶   | ۱۴۸     | ۱۲۹  |
| متوسط ارتفاع رأس (متر)  | ۱۴۱۹   | ۱۳۶۸  | ۱۵۹۵    | ۱۴۴۴ |
| متوسط ضخامت (متر)       | ۱۶۰۶   | ۱۵۴۴  | ۱۷۴۳    | ۱۵۷۳ |

### بارونگی دمای دو مرحله‌ای

با تحلیلی که بر روی بارونگی‌های دمای دو مرحله‌ای برای شهر تبریز صورت گرفت، مشخص شد که در طی ۵ سال، ۵۸ مورد بارونگی دمای دو مرحله‌ای در این شهر رخ داده است که ۴۱ روز آن مربوط به فصل زمستان، ۱۰ روز مربوط به فصل پاییز، ۵ روز در فصل تابستان و ۲ روز مربوط به فصل بهار می‌باشد. با توجه به شکل (۳) بیشترین تعداد روزهای

وارونگی دما در ماه ژانویه ۲۶ روز و سپس ماه فوریه ۱۰ روز می‌باشد و پس از آن در فصل پاییز، ماه دسامبر با ۶ روز دارای کمترین میزان وقوع وارونگی دما است. در ماه ژوئیه در طی ۵ سال مورد بررسی، هیچ‌گونه وارونگی دمای دو مرحله‌ای اتفاق نیفتاده است. در کل می‌توان گفت که وارونگی‌های دمای دو مرحله‌ای شهر تبریز اکثراً در فصل زمستان به خصوص در ماه ژانویه رخ می‌دهند. این وارونگی‌ها به طور متوسط از ارتفاع ۷۰۰ متری شهر شروع شده و در ارتفاع ۱۰۲۰ متری تمام شده‌اند. با مد نظر قراردادن این نکته که موضوع مورد مطالعه وارونگی‌های دمای سطح پایین می‌باشند، از توضیح اضافی درباره وارونگی‌های دمای دو مرحله‌ای که در سطح بالا اتفاق می‌افتند، صرف نظر شده است.



شکل ۳) نمودار مجموع وارونگی‌های دمای دو مرحله‌ای ماهانه شهر تبریز در طی سال‌های مورد مطالعه

برای اینکه بتوان وارونگی دما را براساس شدت طبقه‌بندی کرد، ابتدا باید پارامتر دمای وارونگی و اختلاف آنها را بررسی نمود. بدین منظور میانگین دمای پایه و رأس لایه وارونگی و اختلاف آنها برای هر یک از ماه‌ها به طور جداگانه محاسبه شده‌اند (جدول ۳). همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، میانگین دمای پایه وارونگی در ماه اوت با  $21/5$  درجه سانتی‌گراد بیشترین و در ماه ژانویه با  $6/4-$  درجه سانتی‌گراد کمترین میزان را به خود اختصاص داده است. میانگین دمای رأس لایه وارونگی نیز به همین ترتیب در ماه اوت با  $22/8$  درجه سانتی‌گراد بیشترین و در ماه ژانویه با  $3/2-$  درجه سانتی‌گراد کمترین مقدار را داراست. میانگین اختلاف دمای پایه و رأس لایه وارونگی که به نوعی معرف شدت وارونگی دما است، در ماه ژانویه با  $3/28$  درجه و سپس در ماه دسامبر با  $3/15$  درجه سانتی‌گراد بیشترین و ماه اوت با  $1/3$  درجه سانتی‌گراد کمترین اختلاف را داراست. این عددها نشان می‌دهند که اختلاف دمای پایه و رأس لایه وارونگی در ماه‌های گرم سال بیش از ۱ درجه سانتی‌گراد و در ماه‌های سرد سال بیش از ۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که اختلاف بیشتر در ماه‌های سرد نشان‌دهنده شدت وارونگی دما در این ماه‌ها می‌باشد.

جدول ۳) میانگین دمای پایه و رأس لایه وارونگی و اختلاف آنها طی سال های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸

| متوسط دمای پایه لایه وارونگی به درجه سانتی گراد ( $T_{base}$ )              |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| سال   | JAN  | FEB  | MAR  | APR  | MAY  | JUN  | JUL  | AUG  | SEP  | OCT  | NOV  | DEC  |
| ۲۰۰۴  | -۱/۹ | ۰/۸  | ۷/۱  | ۷/۹  | ۱۳   | ۱۶/۷ | ۲۱/۶ | ۲۳   | ۱۸/۲ | ۱۲/۸ | ۶/۱  | -۵/۲ |
| ۲۰۰۵  | -۵/۸ | -۱/۶ | ۶/۷  | ۱۲/۹ | ۱۳/۲ | ۱۸/۲ | ۲۳   | ۲۰/۴ | ۱۸/۵ | ۱۰/۹ | ۳/۵  | ۲    |
| ۲۰۰۶  | -۶/۹ | -۰/۵ | ۴/۵  | ۱۰   | ۱۴   | ۲۰/۱ | ۱۸/۷ | ۲۱/۲ | ۱۶/۳ | ۱۱/۴ | ۱/۸  | -۵/۲ |
| ۲۰۰۷  | -۸/۱ | -۱/۷ | ۲/۳  | ۶/۷  | ۱۴   | ۱۵/۸ | ۱۴/۷ | ۲۰/۷ | ۱۸/۳ | ۱۱/۹ | ۳/۶  | -۲/۹ |
| ۲۰۰۸  | -۹/۵ | -۶/۲ | ۶/۳  | ۱۲/۰ | ۱۲/۳ | ۱۶/۷ | ۲۱/۳ | ۲۲/۱ | ۱۷/۶ | ۱۱/۵ | ۳/۵  | -۲/۷ |
| میانگین   | -۶/۴ | -۱/۸ | ۵/۴  | ۹/۹  | ۱۳/۳ | ۱۷/۵ | ۱۹/۹ | ۲۱/۵ | ۱۷/۸ | ۱۱/۷ | ۳/۷  | -۲/۸ |
| متوسط دمای رأس لایه وارونگی به درجه سانتی گراد ( $T_{top}$ )                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| ۲۰۰۴  | -۰/۳ | ۲/۵  | ۹/۹  | ۹/۲  | ۱۳/۹ | ۱۸   | ۲۳   | ۲۳/۷ | ۲۰/۵ | ۱۵   | ۷/۶  | -۲/۶ |
| ۲۰۰۵  | -۱/۶ | ۰/۱  | ۷/۷  | ۱۴/۶ | ۱۴/۵ | ۱۹/۶ | ۲۴/۳ | ۲۱/۵ | ۲۰/۸ | ۱۳/۲ | ۶/۲  | ۵    |
| ۲۰۰۶  | -۳/۷ | ۰/۹  | ۶/۴  | ۱۱/۹ | ۱۶/۲ | ۲۲/۳ | ۲۰/۵ | ۲۲/۹ | ۱۸/۵ | ۱۳/۸ | ۴/۳  | -۱/۶ |
| ۲۰۰۷  | -۳/۴ | ۰/۸  | ۴/۳  | ۸/۵  | ۱۶/۲ | ۱۷/۶ | ۱۶/۳ | ۲۱/۹ | ۲۰/۷ | ۱۴/۸ | ۶/۵  | ۰/۱  |
| ۲۰۰۸  | -۶/۸ | -۲/۷ | ۹/۵  | ۱۴/۶ | ۱۳/۹ | ۱۸/۲ | ۲۲/۹ | ۲۴   | ۱۸/۹ | ۱۳/۹ | ۵/۷  | ۰/۷  |
| میانگین   | -۳/۲ | ۰/۳  | ۷/۵  | ۱۱/۸ | ۱۴/۹ | ۱۹/۱ | ۲۱/۴ | ۲۲/۸ | ۱۹/۹ | ۱۴/۱ | ۶    | ۰/۳  |
| متوسط اختلاف دمای پایه و رأس لایه وارونگی به درجه سانتی گراد ( $DT_{inv}$ ) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| ۲۰۰۴  | ۱/۶۱ | ۱/۶۴ | ۲/۷۸ | ۱/۳۴ | ۰/۸۹ | ۱/۳۳ | ۱/۴۰ | ۰/۷۳ | ۲/۲۹ | ۲/۲۳ | ۱/۴۹ | ۲/۶۱ |
| ۲۰۰۵  | ۴/۲۵ | ۱/۷۵ | ۱    | ۱/۶۷ | ۱/۳۰ | ۱/۳۳ | ۱/۳۰ | ۱/۱۳ | ۲/۲۹ | ۲/۳۰ | ۲/۶۷ | ۳/۰۴ |
| ۲۰۰۶  | ۳/۱۳ | ۱/۴۰ | ۱/۸۶ | ۱/۸۷ | ۲/۱۹ | ۲/۲۰ | ۱/۷۴ | ۱/۶۲ | ۲/۲۷ | ۲/۴۵ | ۲/۵۱ | ۳/۱۵ |
| ۲۰۰۷  | ۴/۷۰ | ۲/۴۴ | ۱/۹۹ | ۱/۷۲ | ۲/۲۷ | ۱/۷۴ | ۱/۶۰ | ۱/۲۲ | ۲/۴۰ | ۲/۸۷ | ۲/۸۹ | ۳    |
| ۲۰۰۸  | ۲/۶۹ | ۳/۴۸ | ۳/۱۳ | ۲/۶۰ | ۱/۵۸ | ۱/۵۴ | ۱/۵۷ | ۱/۸۵ | ۱/۳۵ | ۲/۳۶ | ۲/۲۱ | ۳/۴۷ |
| میانگین   | ۳/۲۸ | ۲/۱۴ | ۲/۱۵ | ۱/۸۴ | ۱/۶۵ | ۱/۶۳ | ۱/۵۲ | ۱/۳۱ | ۲/۱۲ | ۲/۴۴ | ۲/۳۵ | ۳/۱۵ |

### طبقه بندی وارونگی دما بر اساس شدت

جدول (۴) فراوانی وقوع وارونگی های دما را از لحاظ شدت وارونگی ها و با در نظر گرفتن فصل وقوع نشان می دهد و در نهایت درصد وقوع فراوانی های مورد نظر را در هر طبقه مشخص می کند. ملاحظه می شود که در دوره مورد مطالعه، وارونگی های ضعیف بیشترین تعداد را به خود اختصاص داده اند. به عبارت دیگر، حدود ۵۵/۵۲ درصد وارونگی ها دارای شدت ضعیف، ۳۴/۴۷ درصد دارای شدت متوسط، حدود ۵/۹۴ درصد دارای شدت زیاد و فقط حدود ۴/۰۷ (۲۴) مورد دارای شدت خیلی زیاد می باشند. برای آگاهی به اینکه وارونگی های دمای شدید در کدام ماه اتفاق می افتد، جدول شماره (۵) تنظیم شده است که ملاحظه می شود، فراوانی وارونگی های دمای بسیار شدید در ماه ژانویه با ۵۰ درصد (۱۲) مورد) بیشتر از ماه های دیگر تشخیص داده می شود. در کل از تعداد ۲۴ مورد وارونگی دمای شدید، ۱۷ مورد آن در فصل زمستان به خصوص در ماه ژانویه و ۷ مورد دیگر آن در فصل پاییز اتفاق افتاده اند.

جدول ۴) فراوانی وارونگی های دمای دوره سرد سال شهر تبریز براساس شدت (طی سال های ۲۰۰۴ الی ۲۰۰۸)

| طبقه شدت   | شدت           | فراوانی |      |      |      |      | مجموع فراوانی | درصد  |
|------------|---------------|---------|------|------|------|------|---------------|-------|
|            |               | ۲۰۰۴    | ۲۰۰۵ | ۲۰۰۶ | ۲۰۰۷ | ۲۰۰۸ |               |       |
| ضعیف       | ۰/۰۰۰ - ۰/۰۱۰ | ۸۱      | ۵۸   | ۷۹   | ۵۵   | ۵۴   | ۳۲۷           | ۵۵/۵۲ |
| متوسط      | ۰/۰۱۱ - ۰/۰۲۰ | ۲۲      | ۳۷   | ۴۱   | ۴۸   | ۵۵   | ۲۰۳           | ۳۴/۴۷ |
| شدید       | ۰/۰۲۱ - ۰/۰۳۰ | ۳       | ۴    | ۱۰   | ۹    | ۹    | ۳۵            | ۵/۹۴  |
| بسیار شدید | بالای ۰/۰۳۱   | ۱       | ۲    | ۲    | ۱۱   | ۸    | ۲۴            | ۴/۰۷  |

جدول ۵) فراوانی و درصد وقوع وارونگی های دمای بسیار شدید شهر تبریز در دوره سرد سال (طی سال های ۲۰۰۴ الی ۲۰۰۸)

| مشخصات                   | فصل زمستان |       |        | فصل پاییز |        |       |
|--------------------------|------------|-------|--------|-----------|--------|-------|
|                          | مارس       | فوریه | ژانویه | دسامبر    | نوامبر | اکتبر |
| تعداد وارونگی بسیار شدید | ۳          | ۲     | ۱۲     | ۲         | ۲      | ۳     |
| درصد                     | ۱۲/۵       | ۸/۳۳  | ۵۰     | ۸/۳۳      | ۸/۳۳   | ۱۲/۵  |
| مجموع                    |            | ۱۷    |        |           | ۷      |       |

### نتیجه گیری

از جمله عوامل طبیعی مؤثر در آلودگی هوا، می توان به پدیده وارونگی دما به عنوان مهم ترین عامل تأثیرگذار در محیط های شهری نام برد. به دلیل اهمیت این موضوع در شهر تبریز، وارونگی های دمای این شهر از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ در مقیاس روزانه، ماهانه و فصلی مورد مطالعه قرار گرفت. با بررسی هایی که بر روی این داده ها صورت گرفت، مشخص شد که میانگین تعداد روزهای توأم با پدیده وارونگی دما در تبریز برابر ۱۹۱ روز می باشد که حدود ۸۷ درصد آن مربوط به وارونگی دمای تابشی و ۱۳ درصد دیگر مربوط به وارونگی دمای فرونشینی می باشد. به دلیل انعکاس نور خورشید از روی سطح برف و سرمایش سطح زمین، سهم وارونگی های تابشی در فصل زمستان بیشتر از فصول دیگر می باشد. همچنین شدت و تداوم این پدیده در اواخر فصل پاییز و زمستان به بیشترین حد خود می رسد. در حالی که وارونگی های فصل تابستان در ارتفاع بالاتری تشکیل می شوند و نیز به علت ناپایداری هوا وارونگی به سرعت از بین می رود و اثر آن روی آلودگی ناچیز است. با بررسی هایی که بر روی وارونگی های دمای دو مرحله ای صورت گرفت، نشان داد که ۷۰ درصد وارونگی های فصل زمستان به ویژه در ماه ژانویه از این نوع می باشند. اختلاف دمای پایه و رأس لایه وارونگی در ماه های گرم سال بیش از ۱ درجه و در ماه های سرد سال بیش از ۲ درجه سانتی گراد می باشد. همچنین اختلاف دمای زیاد به نوعی نشان دهنده وارونگی های دمای شدید می باشد. با توجه به اهمیت وقوع وارونگی های شدید در فصول سرد سال به ویژه فصل زمستان که عامل اصلی تشدید و تداوم آلودگی محسوب می شود، لزوم بررسی علل وقوع وارونگی که به نظر می رسد عاملی سینوپتیکی باشد، مشخص می شود که در مقاله دیگری به آن پرداخته خواهد شد.

## منابع:

- ۱) پور احمد، احمد (۱۳۷۷)، نقش اقلیم و ساختار جغرافیایی در آلودگی هوای شهر تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۳۴.
  - ۲) ترابی، سیما، حسن ذوالفقاری و مجید زاهدی (۱۳۷۸)، بررسی تأثیرات عوامل اقلیمی در تشکیل هسته آلوده شمال غرب تبریز، مجموعه مقالات دومین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم، ۱۳ و ۱۴ آبان، سازمان هواشناسی کشور، صفحه ۲۴۷-۲۴۲.
  - ۳) دلجو، امیر هوشنگ، مطالعه و بررسی وارونگی دما و ناپایداری بر روی آلودگی هوای شهر تهران (۱۳۷۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران.
  - ۴) عرفان منش، مجید و مجید افیونی (۱۳۸۵)، آلودگی محیط زیست (آب، خاک و هوا)، جلد (۱)، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.
  - ۵) کریمی، محسن و حسین درخشان (۱۳۸۴)، بررسی وارونگی دمایی (اینورژن) در شهر اصفهان، مجموعه مقالات دوازدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، صفحه ۶-۱.
  - ۶) هدایت، پرینا و حسن لشکری (۱۳۸۵)، تحلیل الگوی سینوپتیکی اینورژن های شدید شهر تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۶، صفحه ۶۵-۸۲.
- 7) Bourne, S. M., (2008), A climate perspective of observed and modeled surface based temperature inversions in Alaska, M.S. Thesis, Department of Atmospheric Sciences, University of Alaska Fairbanks, 106 pp. [available on-line at: [http://www.uaf.edu/asp/Students/theses/Bourne\\_SM.pdf](http://www.uaf.edu/asp/Students/theses/Bourne_SM.pdf)].
  - 8) Bourne, S.M., Bhatt, U.S., Zhang, J., and Thoman, R. (2009), Surface-based temperature inversions in Alaska from a climate perspective, *Atmospheric Research*, pp 353 – 366.
  - 9) Devasthale, A., Willen, U., Karlsson, K.G., Jones, C.G. (2010), Quantifying the clear-sky temperature inversion frequency and strength over the Arctic Ocean during summer and winter seasons from AIRS profiles. *the Journal Atmospheric Chemistry and Physics (ACP)*10, 2835-2858.
  - 10) Donald, G.Baker., John, W.Enz., and Harold, J.Paulus. (1969), Frequency, duration, commencement time and intensity of temperature inversions at st. Paul-minneapolis, *Journal of Applied Meteorology*, Vol 8, pp 747-753.
  - 11) Iacobellis, Sam. F., Norris, Joel. R., Kanamitsu, Masao., Tyree, Mary., and Cayan, Daniel C., (2009), Climate variability and california low-level temprature inversions, *California Climate Change Center*, pp 1- 47.
  - 12) Kankanala, P. (2007), Doppler Sodar observations of the winds and structure in the lower atmosphere over Fairbanks, Alaska, M.S. Thesis, Department of Atmospheric Sciences, University of Alaska Fairbanks, 74 pp available on-line at:[http://www.uaf.edu/asp/Students/theses/Pavan\\_thesis.pdf](http://www.uaf.edu/asp/Students/theses/Pavan_thesis.pdf)].
  - 13) Ueno, Hiromichi., and Yasuda, Ichiro. (2005), Temperature inversions in the subarctic north Pacific, *Journal of Physical Oceanography*, Vol 35, pp 2441-2456.
  - 14) Nied wied , Tadeusz. (2009), Temperature inversions in the karst canyon of the Ojców National Park (Southern Poland), University of Silesia.
  - 15) 15-Retallack, B.J. (1973), Compendium of meteorology, WMO, PART 2, Phisical Meteorology, Vol 1, No 364.
  - 16) Janhall, Sara., Olofson, K. Frans. G., Adersson, Patrik. U., Pettersson, Jan B.C., and Hallquis, Mattias. (2006), Evolution of urban aerosol during winter temperature episods, *Atmospheric Enviroment*, pp.5355-5366.