

Analysis of Inversion in Boundary layer in Shiraz

Omid Reza Kefayat Motlagh  1 

1. Ph.D. Student of Climatology, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

Article Info:

Article type:

Research Article

history:

Received:2022/6/5

Received:2022/7/14

Accepted: 2022/9/3

Published:2022/10/7

Keywords:

Inversion
Boundary layer
Lapse Rate
Thickness
Shiraz

Abstract: The purpose of this study was to Analysis of inversion in Boundary layer in Shiraz. In this regard, radiosond data was provided at 3.5 local time in the 1380-1394. Then, the height of Shiraz's station (1491 m above sea level) considered as the base of the inertia of the boundary layer up to the surface of the geopotential of 700 hp (an average of 1.5 km above theground). The results showed that the number of inerstion days was higher in October and November and low frequent in July. On this basis, the autumn, winter, spring and summer seasons experienced the most days associated inversion, respectively. After determining the inversion days frequency, thickness, gradient, adiabatic and inversion intensity were calculated in each day. The results showed that October and November are the highest and the lowest of the days of inversion in July. Accordingly, the maximum days associated with inversion were autumn, winter, spring and summer, respectively. The highest inversion gradient occured in September and the lowest in January. The highest lapse rate was in March and the lowest was in July. This feature was due to the fact that cold weather is more intense than warm weather. Finaly, months were classified according to the inversion intensity. The results showed that the strongest inversions occurred in the January and the lowest in the July.

Cite this article: Kefayat Motlagh, O. R. (2022). Analysis of Inversion in Boundary layer in Shiraz. *Climat Chenge and Climat Disasters*, 1(2), 47-64.

© The Author(s).

Homepage: cccd.znu.ac.ir

Publisher: University of Zanjan





واکاوی نمایه‌های وارونگی دمای لایه مرزی هوای شهر شیراز

امیدرضا کفایت مطلق  

۱. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

چکیده: هدف این پژوهش، بررسی نمایه‌های وارونگی دما در هوای لایه مرزی شهر شیراز است. در این راستا، داده‌های رادیوسوند ساعت ۳/۵ محلی در بازه ۱۳۸۰-۱۳۹۴ خورشیدی (۵۴۷۸ روز) فراهم شد. سپس ارتفاع ایستگاه هواشناسی شیراز (۱۴۹۱ متر از سطح دریا)، بعنوان سطح پایه وارونگی لایه مرزی هوا تعیین شد و رأس لایه وارونگی نیز تا سطح ژئوپتانسیل متر ۷۰۰ هکتوپاسکال (به طور میانگین حدود ۱/۵ کیلومتر از لایه زیرین هوای فراز سطح محل) به عنوان فضای مورد مطالعه انتخاب شد. پس از تعیین روزهای وارونگی فراوانی، ستبرای، گرادیان، افت آهنگ و شدت وارونگی در هر یک از روزها محاسبه گردید. یافته‌ها نشان داد که مهر و آبان بیشترین و تیر کمترین فراوانی روزهای وارونگی را دارند. بر این پایه، فصول پاییز، زمستان، بهار و تابستان به ترتیب بیشترین روزهای وارونگی را داشتند. همچنین میانگین بلندمدت سالانه نشان داد که ۷۳ درصد از سال (۲۶۷ روز) شیراز با پدیده وارونگی روبروست و بیشترین ستبرای وارونگی در آذر و دی و کمترین آن در فروردین رخ می‌دهد. بیشترین گرادیان وارونگی در شهریور و کمترین آن در دی ماه رخ می‌دهد. بیشترین افت‌آهنگ در اسفند و کمترین آن در تیرماه می‌باشد. این ویژگی هماهنگ با این واقعیت است که افت‌آهنگ در هوای سرد شدیدتر از هوای گرم است. در پایان ماه‌ها بر اساس شدت وارونگی طبقه‌بندی شدند. یافته‌ها نشان داد که شدیدترین وارونگی‌ها در دی و کمترین آن در تیر رخ می‌دهد.

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۱/۳/۱۵

بازنگری: ۱۴۰۱/۴/۲۳

پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۱۲

انتشار: ۱۴۰۱/۷/۱۵

واژگان کلیدی:

شدت وارونگی

ستبرای وارونگی

گرادیان دما

لایه مرزی

استناد: کفایت مطلق، امید رضا. (۱۴۰۱). واکاوی نمایه‌های وارونگی دمای لایه مرزی هوای شهر شیراز. دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی،

۱(۲)، ۴۷-۶۴.

© نویسنندگان .

ناشر: دانشگاه زنجان

Homepage: cccd.znu.ac.ir



مقدمه

آلودگی هوا بعنوان یک معضل زیست محیطی مهم بیشتر کلان شهرهای دنیا را تحت تأثیر خود قرار داده است. از آنجایی که منابع آلاینده در شهرها در کوتاه مدت تغییر چشمگیری را نشان نمی‌دهند عوامل دیگری از جمله پدیده وارونگی^۱ می‌تواند این پدیده را تشدید کند. از این رو با توجه به ترکیب جو در لایه‌های مختلف و فعل و انفعالات درون آن، گرادیان قائم دما در تمام لایه‌های جو یکسان نیست، در وردسپهر^۲ پایینی که نزدیکترین لایه به سطح زمین است در حالت طبیعی دما از سطح زمین با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد، میانگین این کاهش ۶ درجه سلسیوس در هر کیلومتر مربع است اگر به هر دلیلی این روند طبیعی بهم خورده و دما با افزایش ارتفاع کاهش نیافته یا افزایش یابد، به این حالت جو وارونگی دمایی گویند. در این شرایط هوای مجاور سطح زمین سردتر از سطوح بالایی جو بوده و در نتیجه در این حالت حرکات عمودی جو متوقف و هوای سطح زمین به حالت پایدار می‌رسد و با توجه به تزریق دائم

آلاینده‌ها به لایه مرزی، در شرایط پایداری غلظت آلاینده‌ها به شدت افزایش می‌یابد و هر چه مدت زمان پایداری افزایش یابد و ارتفاع پایداری کمتر باشد مانع اختلاط این سطح با سطوح بالاتر جو شده و در نتیجه آلودگی هوا تشدید می‌شود. مهم‌ترین عامل اقلیمی موثر در آلودگی هوای شیراز وارونگی‌های دمایی می‌باشد. در بررسی نقش دما در مطالعات آلودگی هوا، بررسی روند ماهانه، فصلی و سالانه به ما دید روشنی از این پدیده می‌دهد. از جمله پژوهش‌های انجام شده در این زمینه بدین شرح می‌باشد:

کاهل^۳ (۱۹۹۰، ۵۴۵) در پژوهشی به بررسی وارونگی‌های مجاور سطح زمین مربوط به دو ایستگاه واقع در سواحل شمال آلاسکا نشان داد که ستمبر^۴ و توسعه وارونگی‌های سطح پایین آلاسکا به واکنش‌های پیچیده بین نیروی تابشی، فعالیت سینوپتیکی و دینامیکی یخ و دریا مربوط می‌شود. همچنین کانکانالا^۵ (۲۰۰۷، ۳۴) و بورن^۶ (۲۰۰۸) با مطالعه وارونگی‌های سطح پایین

5. Kankanala
6. Bourne

1. Inversion
2. Troposphere
3. Kahl
4. Thickness

لی و شو^۹ (۲۰۱۲، ۱۰۵) به بررسی وارونگی دمایی چین مرکزی پرداختند آنها در این مطالعه از داده‌های رادیوسوند هفت ایستگاه طی دوره زمانی ۲۰ ساله ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ به منظور بررسی آماری و همچنین توزیع فصلی وارونگی دمایی استفاده کردند. در این مطالعه دو لایه وارونگی در وردسپهر پایینی و میانی و دو لایه در وردسپهر بالایی تشخیص داده شد و نتیجه گرفتند که بیشترین فراوانی^{۱۰} وارونگی در وردسپهر پایینی در فصل پاییز و بهار در اثر گرمایش سطح زمین اتفاق می افتد در صورتی که وارونگی در وردسپهر میانی در فصل زمستان رخ می‌دهد و این بیشتر به موقعیت جغرافیایی و سیستم‌های سینوپتیک جبهه‌ای سرد وابسته است. بی‌آی و همکاران^{۱۱} (۲۰۱۶) تأثیر شرایط سینوپتیک بر آلودگی هوا در فصل زمستان را در حوضه گوانزونگ^{۱۲} چین با استفاده از شش مدل برای شش روز از سال ۲۰۱۳ بررسی کردند و تغییرات ذرات معلق کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون را به وارونگی

آلاسکا نشان دادند که پوشش ابری بر روی ساختار وارونگی‌ها تأثیر می‌گذارد بطوری که گسترش پوشش ابری باعث برگشت امواج بلند زمینی به سطح زمین شده و در نتیجه با گرمایش زمین وارونگی‌ها ضعیف و با کاهش و یا عدم وجود ابر وارونگی‌ها تشدید می‌شود. در پژوهشی دیگر بورن و همکاران^۷ (۲۰۱۰، ۳۵۳) به مطالعه وارونگی دمایی منطقه آلاسکا از منظر اقلیمی پرداختند آن‌ها در این مطالعه با آنالیز آماری داده‌های رادیوسوند^۸ هفت ایستگاه منطقه آلاسکا در طی دوره ۵۵ ساله از ۱۹۵۷ تا ۲۰۰۸ به بررسی تغییرپذیری وارونگی‌ها و ارتباط آن‌ها با سامانه‌های اقلیمی بزرگ مقیاس پرداختند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که پارامترهای وارونگی از جمله عمق وارونگی و اختلاف دما دارای روند کاهشی بلندمدت هستند. هر چند این روند به صورت خطی نمی‌باشد اما دارای تغییرپذیری دهه‌ایست که این تغییرپذیری دهه‌ای ناشی از تغییر در نوسانات دهه‌ای اقیانوس آرام می‌باشد.

2. Bei etal
3. Guanzhong

al 7. Bourne et
8- Radio sonde
9. Li and Sui
1. Frequency

۱۳۸۴؛ مومنی، ۱۳۹۱؛ درویش-محمدی، ۱۳۹۱) و اهواز (عظیمی، ۱۳۸۷؛ وقار، ۱۳۹۳) صورت گرفته است اما مطالعه این پدیده بر روی کلان شهر شیراز محدود بوده که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

در پژوهشی امیدوار و همکاران (۱۳۹۲، ۴۹) به تحلیل الگوهای همدید روزهای فرین آلوده به ذرات معلق^{۱۶} طی یک بازه زمانی ۷ ساله از ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱ میلادی در شهر شیراز پرداختند. با بررسی شاخص کیفیت هوا^{۱۷}، بیشترین تعداد روزهای آلوده خطرناک در سال ۲۰۰۵ و در ماه‌های می، ژوئیه، جولای و آگوست رخ داده است. همچنین نتایج حاصل از بررسی الگوهای همدیدی وجود ناوه ضعیف در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، سامانه کم فشار قوی در سطح زمین، پراکنش دما همراه با هسته گرم با منحنی هم دمای ۳۷/۵ درجه سلسیوس و نحوه توزیع وزش دمایی بر روی منطقه در روزهای سوم و چهارم جولای مثبت بوده، که نشان فرارفت هوای گرم بر روی منطقه می‌باشد. در پژوهشی دیگر فخاری‌زاده شیرازی و

دما، سطح پایین سرعت باد افقی، سرعت باد عمودی و همگرایی و وقوع شرایط نامطلوب سینوپتیکی در طول فصل زمستان مربوط دانستند. زینگ و ژانگ^{۱۳} (۲۰۱۷، ۲) با مطالعه تاثیر عناصر هواشناسی بر تداوم آلودگی‌های سنگین هوا در منطقه چنگدو^{۱۴} چین در جشن بهار سال ۲۰۱۴ میلادی نشان داد که نه تنها فاکتورهای سطحی هواشناسی، بلکه ساختار لایه مرزی^{۱۵} و وجود وارونگی‌های دمایی نقش مهمی در انتشار عمودی آلاینده ایفا می‌کند.

در ایران مطالعات زیادی بر روی وارونگی و آلودگی کلان شهرها از جمله تهران (انصافی مقدم، ۱۳۷۲؛ هدایت، ۱۳۸۱؛ لشکری و هدایت، ۱۳۸۵؛ یآوری و نجار سلیقه، ۱۳۹۰؛ کریمپور و همکاران، ۱۳۹۵؛ یآوری و همکاران، ۱۳۹۵؛ طاوسی و حسین‌آبادی، ۱۳۹۶)، تبریز (روشنی، ۱۳۹۰؛ روشنی و جهانبخش‌اصل، ۱۳۹۳؛ پناهی، ۱۳۹۵)، مشهد (علیجانی و نجفی‌نیک، ۱۳۸۸؛ الهیاری و همکاران، ۱۳۹۳؛ اسماعیلی، ۱۳۹۷)، اصفهان (کریمی و درخشان،

7. Particulate Matter (PM)
8. Air Quality Index(AQI)

4. Zeng and Zhang
5. Chengdu
6. Boundary layer

همکاران (۱۳۹۴، ۷۶) به ارزیابی نیمرخ قائم دمای جو شهر شیراز با استفاده از داده‌های رادیوسوند در بازه ۲۰۱۰-۲۰۰۵ میلادی پرداختند. یافته‌های ایشان نشان داد که در هنگام پرتاب بالن (۳/۵) بامداد ایران برابر با نیمه شب گرینویچ) پدیده وارونگی هوا در همه روزهای سال رخ می‌دهد. ستبرای این لایه بیشتر میان ۱۰۰ تا ۲۸۰ متر در نوسان است. از ارتفاع بالاتر از ۱۷۶۰-۱۵۸۰ متر از سطح دریا (۲۸۰-۱۰۰ متری سطح زمین)، تا پایان وردسپهر اندازه افتاهنگ^{۱۸} دما میان ۶-۴ درجه سلسیوس بر کیلومتر در نوسان بود. بلندی وردیست^{۱۹} در ایستگاه شیراز میان ۱۶۴۹۴ تا ۱۹۰۰۶ متری از سطح دریا در نوسان بود. بیشترین ارتفاع وردایست در فصل زمستان و کمترین آن در فصل پاییز دیده شد که اندازه آن به ترتیب ۱۸۱۳۸ و ۱۷۱۵۸ متر از سطح دریاست. همچنین یافته‌ها نشان داد که افزایش ارتفاع وردیست می‌تواند نشانه‌هایی از افزایش بارش در ماه‌های سرد سال باشد.

دمای هوای محیط در وردسپهر با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد (به ازای

هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع، دما بین ۵ الی ۶ درجه سلسیوس کاهش می‌یابد) ولی گاهی با افزایش ارتفاع، دمای هوا نیز افزایش می‌یابد که به این وضعیت وارونگی دمایی می‌گویند (پانکاجاکشن و همکاران، ۱۹۹۹). معیار تشخیص این پدیده، دو فاکتور ارتفاع و تغییرات دماست که در حالت وقوع پدیده وارونگی دمایی با یکدیگر ارتباط مستقیم دارند (نُدز و همکاران، ۲۰۰۶). افتاهنگ عمودی دمای ایران در عرض‌های جغرافیایی مختلف متفاوت است. در نواحی گرم و مرطوب جنوبی و در کمربند مرطوب شمال بسیار کوچک (۳-۴ درجه سلسیوس در کیلومتر) است در حالی که در بخش‌های خشک میانه کشور بسیار بیشتر بوده (۸-۶ درجه سلسیوس در کیلومتر) بطوری که در مدار ۳۵ درجه به ۸ درجه سلسیوس به ازای هر هزار متر هم می‌رسد (مسعودیان، ۱۳۹۰). یافته‌ها گویای آن است که افتاهنگ عمودی دمای شیراز ۵ درجه سلسیوس در کیلومتر است.

۱- داده‌ها و روش‌ها

۱-۱- منطقه مورد مطالعه

این پژوهش بر پایه داده‌های گردآوری شده در ایستگاه جو بالای شیراز (عرض $29/53$ درجه شمالی و طول $52/58$ درجه شرقی) در ارتفاع 1490 متری از سطح دریا به انجام رسیده است. شهر شیراز در بخش مرکزی استان فارس و در پهنه کوهستانی زاگرس بین دورشته کوه نسبتاً بلند از شمال و جنوب قرار گرفته است. میانگین بارش و دمای سالانه شیراز به ترتیب 337 میلی‌متر و 18 درجه سلسیوس است و جهت غالب بادهای آن از سمت جنوب و جنوب غرب بسوی شمال و شمال‌شرقی می‌باشد. با توجه به موقعیت جغرافیایی و مسدود بودن جریان هوا شیراز یکی از ۸ شهر آلوده کشور است.

۱-۲- داده‌ها

در این پژوهش نخست داده‌های رادیوسوند جو بالای ایستگاه شیراز در ساعت 00 گرینویچ ($3/5$ محلی) در یک بازه 15 ساله از $2001/03/21$ تا $2016/03/20$ میلادی ($1380/1/1$) - $1394/12/29$ خورشیدی) در مقیاس

روزانه از تارنمای دانشگاه وایومینگ^{۲۰} برداشت شد. پارامترهای مورد استفاده در این پژوهش شامل (ارتفاع پایه لایه وارونگی به متر (Zbase)، ارتفاع رأس لایه وارونگی به متر (Ztop)، مقدار دما در پایه لایه وارونگی به درجه سلسیوس (Tbase)، مقدار دما در رأس لایه وارونگی به درجه سلسیوس (Tbase)، مقدار فشار در پایه لایه وارونگی به هکتوپاسکال (Pbase)، مقدار فشار در رأس لایه وارونگی به هکتوپاسکال (Ptop)، مقدار دمای پتانسیل در رأس لایه وارونگی به درجه کلوین (θ_{top})، مقدار دمای پتانسیل در پایه لایه وارونگی به درجه کلوین (θ_{base})، اختلاف دمای پتانسیل به درجه کلوین ($\Delta\theta$)، گرادیان دما در لایه وارونگی به درجه سلسیوس (DTinv)، ستبرای لایه وارونگی به متر (DZinv) بودند که با استفاده از داده‌های لایه وارونگی موجود در سطوح عمودی جو به دست آمدند (شکل ۱). پس از برداشت داده‌ها و تبدیل تقویم از میلادی به خورشیدی، روزهایی که دارای وارونگی دما از سطح زمین تا سطح ژئوپتانسل 700

1.

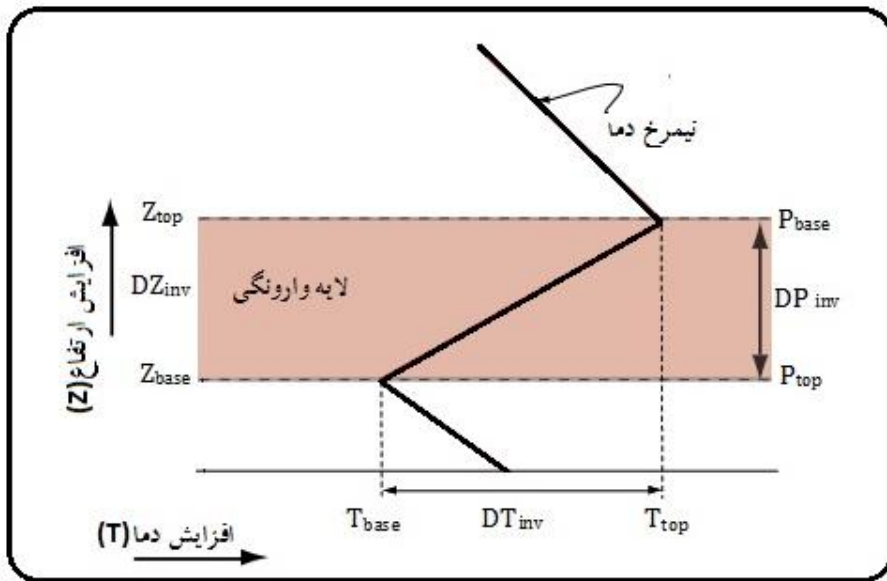
<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

محاسبه گردید. از آنجایی که اختلاف دمای لایه وارونگی در صبحگاه نسبت بعد از ظهرها چشمگیرتر است، بجای داده های ۱۲ گرینویچ (۳/۵ بعد از ظهر) از داده های ۰۰ گرینویچ (۳/۵ بامداد) بهره گرفتیم.

هکتوپاسکالی رخ داده بود، استخراج شد.

۱-۳- روش ها

نمایه های ستبر، گرادیان، افت آهنگ و شدت وارونگی در هر یک از روزها



شکل ۱- نیمرخ وارونگی دمای هوا^{۳۱}

در پایان با استفاده از رابطه (۴) میانگین بلندمدت شدت لایه وارونگی بدست آمد.

$$I = \frac{\Delta\theta^2}{3 + Z(DZ_{inv})} \quad (4)$$

I شدت لایه وارونگی

نمایه های ستبر، گرادیان و افت آهنگ لایه وارونگی به ترتیب با استفاده از روابط (۱، ۲، ۳) محاسبه گردید.

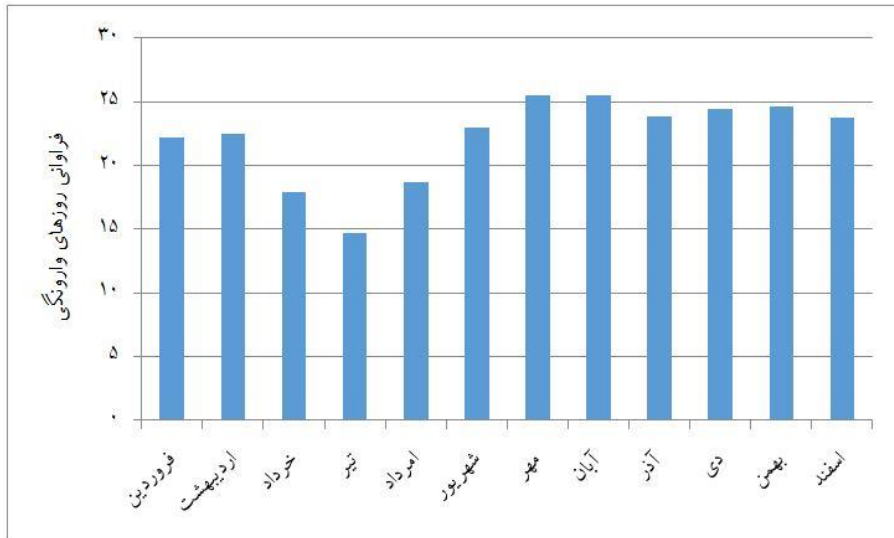
$$DZ_{inv} = Z_{top} - Z_{base} \quad (1)$$

$$DT_{inv} = T_{top} - T_{base} \quad (2)$$

$$Lapse\ Rate = \frac{DT_{inv}}{DZ_{inv}} \quad (3)$$

شکل (۲) میانگین بلندمدت^{۲۲} فراوانی روزهای وارونگی در هر یک از ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. بیشترین روزهای وارونگی در مهر و آبان (۲۶ روز) و کمترین آن در تیر ماه (۱۵ روز) قرار دارد.

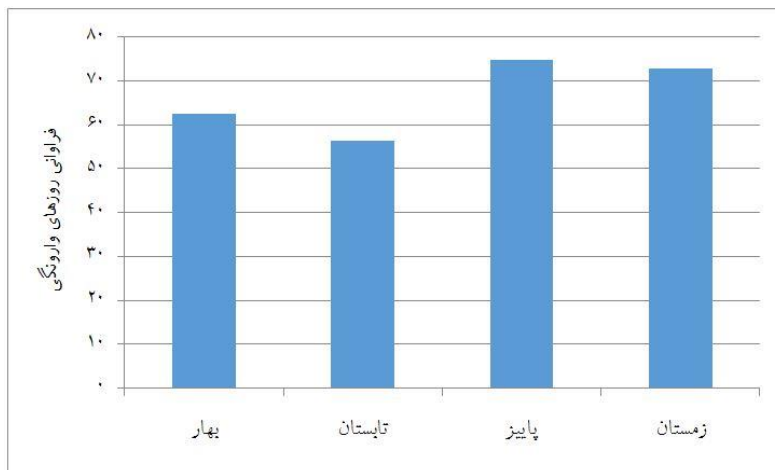
$\Delta\theta$ اختلاف دمای پتانسیل به درجه کلوین
 DZinv ستبرای لایه وارونگی به متر
 Z ارتفاع ایستگاه به هکتومتر
۲- یافته‌ها و نتایج



شکل ۲- میانگین بلندمدت فراوانی روزهای وارونگی در ماه‌های مختلف سال

شکل (۳) میانگین بلندمدت فراوانی روزهای وارونگی در فصول مختلف سال را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد بیشترین روزهای وارونگی به ترتیب در فصول پاییز (۷۵)، زمستان

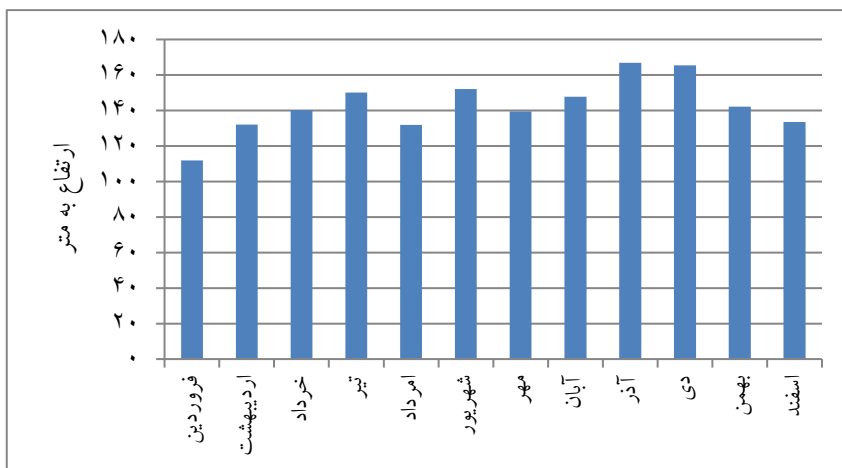
(۷۳)، بهار (۶۲) و تابستان (۵۶) قرار دارد و به عبارتی در شیراز ۷۳ درصد سال پدیده وارونگی دیده می‌شود و تنها ۲۷ درصد سال روزهای بدون وارونگی را تجربه می‌کند.



شکل ۳- میانگین بلندمدت فراوانی روزهای وارونگی در فصول مختلف سال

است. در طول دوره مورد مطالعه، بالاترین ستبرای لایه وارونگی در آبان ماه ۱۳۸۰ به مقدار ۱۶۹۲ متر رخ داده است.

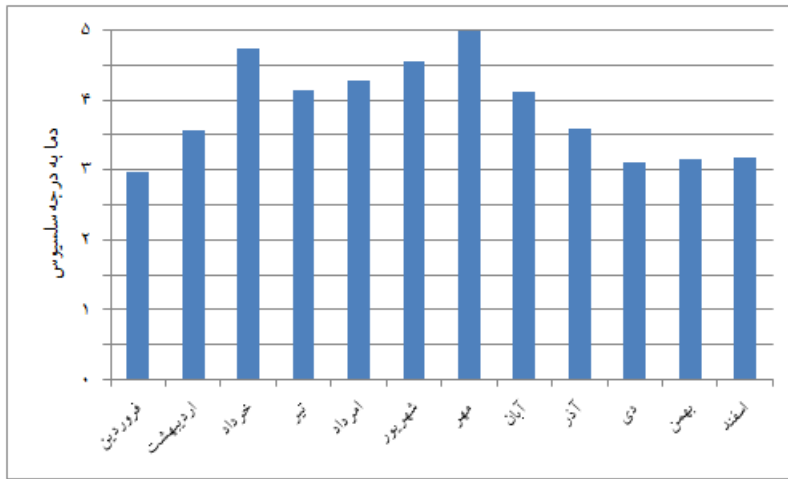
شکل (۴) میانگین بلندمدت ستبرای لایه وارونگی در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. آذر و دی (۱۶۵ متر) بیشترین و فروردین ماه (۱۱۱ متر) کمترین ستبرای وارونگی را داشته



شکل ۴- میانگین بلندمدت ستبرای لایه وارونگی در ماه‌های مختلف سال

شکل (۵) میانگین بلندمدت گرادیان لایه وارونگی در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. بیشینه گرادیان در مهر ماه (۵ درجه سلسیوس) و کمینه آن در فروردین ماه (۳ درجه سلسیوس) می‌باشد. در طول دوره مورد مطالعه، بالاترین گرادیان لایه وارونگی در خرداد ماه ۱۳۹۴ به مقدار ۴۶ درجه سلسیوس رخ داده است.

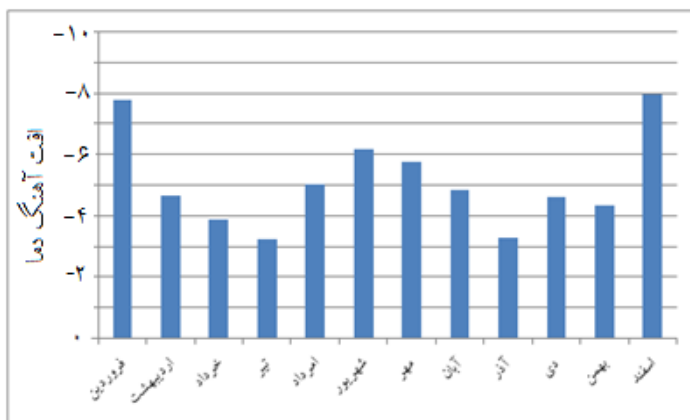
شکل (۵) میانگین بلندمدت گرادیان لایه وارونگی در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. بیشینه گرادیان در مهر ماه (۵ درجه سلسیوس) و کمینه آن در فروردین ماه (۳ درجه سلسیوس) می‌باشد. در طول دوره مورد مطالعه، بالاترین گرادیان لایه وارونگی در خرداد ماه ۱۳۹۴ به مقدار ۴۶ درجه سلسیوس رخ داده است.



شکل ۵- میانگین بلندمدت گرادیان لایه وارونگی در ماه‌های مختلف سال

شکل (۶) میانگین بلندمدت افت‌آهنگ لایه وارونگی در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. بیشترین افت‌آهنگ دما در اسفند ماه و کمترین آن در تیر ماه می‌باشد. این ویژگی هماهنگ با این واقعیت است که از یکسو افت‌آهنگ در هوای سرد از هوای گرم شدیدتر است. و از سوی دیگر در دوره سرد سال

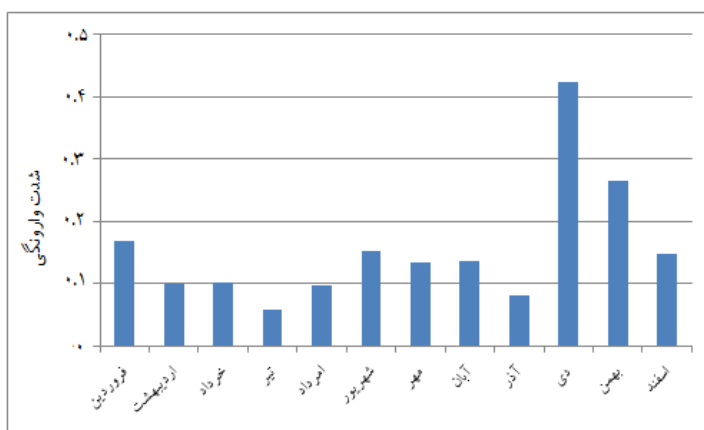
ضخامت وردسپهر کاهش می‌یابد به همین سبب افت‌آهنگ عمودی دما افزایش می‌یابد (مسعودیان، ۸۴). در طول دوره مورد مطالعه، بالاترین گرادیان لایه وارونگی در خرداد ماه ۱۳۹۴ به مقدار ۴۶ درجه سلسیوس رخ داده است.



شکل ۶- میانگین بلندمدت افت آهنگ لایه وارونگی در ماه‌های مختلف سال

در طول دوره مورد مطالعه، بیشینه شدت لایه وارونگی در دی ماه ۱۳۸۶ رخ داده است.

شکل (۷) بیشینه بلندمدت شدت لایه وارونگی در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. بیشینه شدت وارونگی در مهر ماه و کمینه آن در تیر ماه می‌باشد.

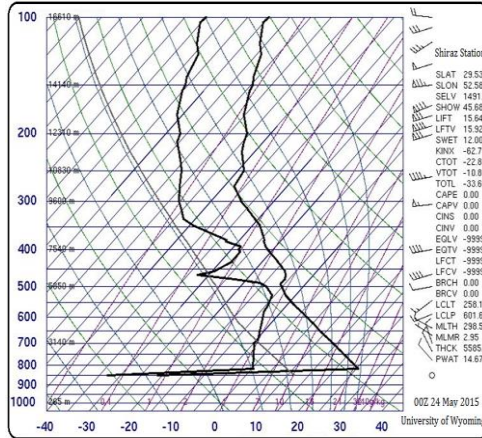


شکل ۷- بیشینه بلندمدت شدت لایه وارونگی در ماه‌های مختلف سال

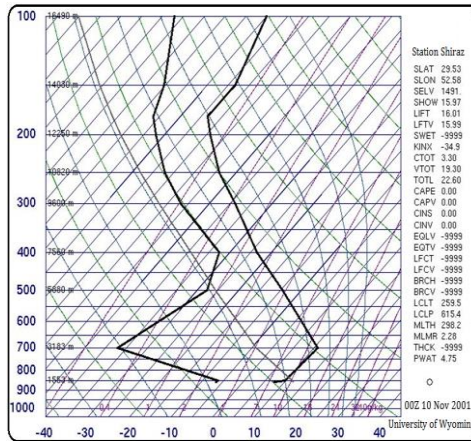
با ۱۶۹۲ متر و بیشترین گرادیان دما در ۳ خرداد ۱۳۹۴ با ۴۶/۳ درجه سلسیوس رخ داده است که نمودار

در طول دوره مورد مطالعه بیشترین ستبرای وارونگی در روز ۱۹ آبان ۱۳۸۰

اسکیوتی آن در شکل ۸ نمایش داده شده است. همچنین شدیدترین وارونگی در ۲ دی ماه ۱۳۸۶ به مقدار ۴/۹۶ درجه می‌باشد.



(الف)



(ب)

شکل ۸- نمودار اسکیوتی ساعت ۳/۵ بامداد روز ۱۹ آبان ۱۳۸۰ (الف) و روز ۳ خرداد ۱۳۹۴ (ب)

بررسی‌های انجام شده بر روی داده‌های رادیوسوند ایستگاه شیراز طی ۱۳۹۴-

نتیجه‌گیری

و از سوی دیگر در دوره سرد سال ضخامت وردسپهر کاهش می‌یابد به همین سبب افتاهنگ عمودی دما افزایش می‌یابد.

۱۳۸۰ خورشیدی نشان داد که در ساعت ۳/۵ بامداد به وقت محلی، میانگین سالانه بلند مدت پدیده وارونگی دمایی، در ۷۳ درصد روزهای سال (حدود ۲۶۷ روز) رخ می‌دهد. بیشترین ستبرای وارونگی در روز ۱۹ آبان ۱۳۸۰ با ۱۶۹۲ متر، بیشترین گرادیان دما در ۳ خرداد ۱۳۹۴ با ۴۶/۳ درجه سلسیوس و شدیدترین وارونگی در ۲ دی ماه ۱۳۸۶ به مقدار ۴/۹۶ رخ داده است. یافته‌ها نشان داد که مهر و آبان بیشترین و تیر ماه کمترین فراوانی روزهای وارونگی را دارند. در دوره سرد سال، به دلیل تراز منفی انرژی گرمایی پوشش سطح زمین (خاک) و نیز شب-های بلند و در نتیجه تشدید سرمایش تابشی شبانه سطح زمین، پدیده وارونگی دمای هوای لایه مرزی محسوس‌تر است. بر این پایه، فصول پاییز، زمستان، بهار و تابستان به ترتیب بیشترین روزهای وارونگی را داشتند. همچنین یافته‌ها نشان داد که در طول دوره مورد مطالعه، بیشترین افت‌آهنگ دما در اسفند ماه و کمترین آن در تیر ماه می‌باشد. این ویژگی هماهنگ با این واقعیت است که از یکسو افتاهنگ در هوای سرد از هوای گرم شدیدتر است.

- منابع**
- اسماعیلی، رضا (۱۳۹۷)، نواحی همگن آلودگی هوای شهر مشهد، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۶: ۲۴۰-۲۲۷.
 - الهیاری، سمیه؛ اسعدی، سیده نگار؛ اسماعیلی، حبیب اله (۱۳۹۳)، بررسی وضعیت و مقایسه آلودگی هوا در مناطق مختلف شهر مشهد در زمستان سال ۱۳۸۹، مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، سال ششم، شماره ۱: ۱۶-۷.
 - انصافی مقدم، طاهره (۱۳۷۲)، بررسی آلودگی هوای تهران در رابطه با پایداری و وارونگی دمای جو (اینورژن)، پایان-نامه کارشناسی ارشد با راهنمایی هوشنگ قائمی و ذات‌الله محسنی، رشته جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.
 - امیدوار، کمال؛ نارنگی فرد، مهدی؛ حقیقت ضیابری، سیده مرضیه (۱۳۹۲)، تحلیل الگوهای همدید روزهای فرین آلوده به ذرات معلق در شیراز، جغرافیا و مطالعات محیطی، سال دوم، شماره ۵: ۶۲-۴۹.
 - پناهی، علی (۱۳۹۵)، بررسی الگوهای هم‌دید بر اساس دوره‌های بحرانی
 - آلودگی هوا در وارونگی دمایی شدید شهر تبریز، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال چهل و هشتم، شماره ۴: ۶۲۵-۶۰۷.
 - درویش‌محمدی، مرضیه (۱۳۹۱)، توپوکلیم و پدیده وارونگی (مطالعه موردی: شهر اصفهان-۱۳۸۹)، پایان-نامه کارشناسی ارشد با راهنمایی محمد حسین رامشت، رشته جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان.
 - جهانبخش اصل، سعید و روشنی، رقیه (۱۳۹۳)، بررسی شرایط الگوی سینوپتیکی حاکم بر وضعیت های وارونگی دمای بسیار شدید شهر تبریز، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، سال هجدهم، شماره ۴۸: ۹۶-۸۱.
 - روشنی، رقیه (۱۳۹۰)، بررسی تاثیر پرفشارها در وقوع اینورژن های بسیار شدید و تداوم آلودگی‌های شهر تبریز در سال ۲۰۰۸، همایش ملی تغییر اقلیم و تاثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست، ارومیه، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی.
 - طالب‌زاده، مسعود (۱۳۹۳)، نقش اینورژن بر آلودگی هوا در اهواز، اولین کنفرانس ملی شهرسازی، مدیریت

- شهری و توسعه پایدار، تهران، موسسه ایرانیان، انجمن معماری ایران.
- طاوسی، تقی و حسین آبادی، نسرین (۱۳۹۶)، ارزیابی شاخص‌های وارونگی دمای لایه‌مرزی هوای شهر تهران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال سی و دوم، شماره ۲: ۱۳۲-۱۲۰.
- عظیمی، فریده (۱۳۸۷)، ارزیابی تأثیر وارونگی دما بر روند آلودگی هوای شهر اهواز، جغرافیایی سرزمین، سال پنجم، شماره ۱۹: ۱۱۲-۱۰۵.
- علیجانی، بهلول و نجفی‌نیک، زهرا (۱۳۸۸)، بررسی الگوهای سینوپتیکی اینورژن در مشهد با استفاده از تحلیل عاملی، جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، سال هشتم، شماره ۱۲: ۱۱-۱.
- فخاری‌زاده شیرازی، الهام؛ ناظم السادات، سید محمد جعفر؛ حقیقت، مسعود؛ کامگار حقیقی، علی اکبر (۱۳۹۴)، ارزیابی نیمرخ قائم دمای جو شهر شیراز با استفاده از داده‌های رادیوسوند: پیوند دما و بارش، مجله نیوار، سال سی و نهم، شماره ۹۱: ۷۶-۶۳.
- کرم‌پور، مصطفی؛ سلیقه، محمد؛ طولابی‌نژاد، میثم؛ زارعی چغابلیکی، زهرا (۱۳۹۵)، بررسی آلودگی هوای شهر تهران به روش وارونگی بحرانی هافتر، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال سوم، شماره ۱: ۶۴-۵۱.
- کریمی، محسن و درخشان، حسین (۱۳۸۴)، بررسی وارونگی دمایی (اینورژن) در شهر اصفهان، دوازدهمین کنفرانس ژئوفیزیک، تهران، سازمان زمین‌شناسی.
- لشکری، حسن و هدایت، پریسا (۱۳۸۵)، تحلیل الگوی سینوپتیکی اینورژن‌های شدید شهر تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۶: ۸۲-۶۵.
- مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۹۰)، آب و هوای ایران، چاپ اول، مشهد: انتشارات شریعه توس.
- مومنی، مهدی (۱۳۹۱)، نقش شرایط جغرافیایی در آلودگی کلان شهر اصفهان، پنجمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان اسلام، تبریز، دانشگاه تبریز.
- هدایت، پریسا (۱۳۸۱)، بررسی سینوپتیکی اینورژن‌های شهر تهران و نقش آن بر روی آلودگی هوا و بیماران قلبی و ریوی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد با راهنمایی حسن لشکری، رشته

- University of Alaska Fairbanks).
- Bourne, S. M.; Bhatt, U. S.; Zhang, J. and Thoman, R. (2010), Surface-based temperature inversions in Alaska from a climate perspective. *Atmospheric Research*, 95(2): 353-366.
 - http://weather.uwyo.edu/up_perair/sounding.html.
 - Iacobellis, S. F.; Norris, J. R.; Kanamitsu, M.; Tyree, M. and Cayan, D. R. (2009), Climate variability and California low-level temperature inversions. *California Climate Change Center*, 48.
 - Kahl, J. D. (1990), Characteristics of the low-level temperature inversion along the Alaskan Arctic coast. *International Journal of Climatology*, 10(5): 537-548.
 - Kankanala, P. K. R. (2007), Doppler Sodar observations of the winds and structure in the lower atmosphere over Fairbanks, Alaska (Doctoral dissertation, University of Alaska Fairbanks).
 - Li, Y.; Yan, J. and Sui, X. (2012), Tropospheric جغرافیای طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی.
 - یاراحمدی، داریوش؛ حلیمی، منصور؛ زارعی چغابلکی، زهرا (۱۳۹۵)، بررسی تغییرات ماهانه‌ی ارتفاع لایه مرزی در شرایط وارونگی‌های بحرانی. مطالعه موردی: ایستگاه مهرآباد تهران، *آمایش جغرافیایی فضا، سال ششم، شماره ۲۱*: ۱۱۵-۱۲۴.
 - یاورى، حسین و نجارسلیقه، محمد (۱۳۹۰)، سطوح وارونگی در آلودگی‌های شهر تهران، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)، دوره ۱۷، شماره ۲۰: ۸۹-۱۰۵.
 - Bei, N.; Li, G.; Huang, R. J.; Cao, J.; Meng, N.; Feng, T.; ... and Molina, L. T. (2016). Typical synoptic situations and their impacts on the wintertime air pollution in the Guanzhong basin, China. *Atmos. Chem. Phys*, 16(7373): e7387.
 - Bourne, S. M. (2008), A climate perspective of observed and modeled surface-based temperature inversions in Alaska (Doctoral dissertation,

- Ratnakaran, L. (1999), A quality-control procedure for surface temperature and surface layer inversion in the XBT data archive from the Indian Ocean.
- Zeng, S. and 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): 71.
 - temperature inversion over central China. *Atmospheric research*, 116: 105-115.
 - Nodzu, M. I.; Ogino, S. Y.; Tachibana, Y. and Yamanaka, M. D. (2006), Climatological description of seasonal variations in lower-tropospheric temperature inversion layers over the Indochina Peninsula. *Journal of climate*, 19(13): 3307-3319.
 - Pankajakshan, T.; Ghosh, A. K.; Pattanaik, J. and