Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas 12 (2023) 1-18

Online ISSN: 2717-2325

Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas

journal homepage: http://www.gsma.lu.ac.ir

Lorestan University

Research Paper

Investigation of Temperature Inversion Trend in Boundary Layer in mountainous cities and Their Relation with ENSO, Case study: Shiraz

Taghi Tavousi[a]*,Omid Reza Kefayat Motlagh[b]

[a]Professor of Physical Geography Department, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

[b] Ph.D. student of PhysicalGeography Department, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:
Received: 22September 2021;
Accepted: 16November2021
Available online 21January 2023

Keywords:
Urban Climate,
Temperature gradient,
Metropolis,
Infrared,
Shiraz.

ABSTRACT

The present study aims to investigate the frequency distribution of monthly, seasonal and annual temperature in the boundary layer of Shiraz. For this purpose, radiosonde data downloaded at 3.5 local time during 1394-1380 (5478 days) from the University of Wyoming web site. Then, the height of the meteorological station of Shiraz (1491 m) was determined as the base level of the inversion of the boundary layer of air, and The Top of the Inversion layer was selected to the geopotential surface of 700 hp (an average of 1.5 km from the lower layer above the surface) as the study space. The results showed that October and November are the highest and July's low frequency of inversion days. On this basis, the autumn, winter, spring and summer seasons were the most days of inversion, respectively. Also, the results on the annual scale showed that the frequency of inversion days was increasing. As the average monthly increase in the frequency of inversion days, the air temperature in the first 5 years (1390-1394) compared to the first 5 years (1385-1389) was twice as high as 5 years in comparison with the first 5 years (1380-1384). The annual average annual average also showed that 73% of the year (267 days) of Shiraz was faced with inversion phenomenon. The most intense inversion of temperature in the air interface have occurred in January, this clearly demonstrates the role of night cooling in the intensification of inertia of the temperature of the boundary layer of the air.

1. Introduction

In the troposphere, under normal conditions, the air temperature decreases with increasing altitude, and with increasing distance from the land surface, the air temperature decreases (approximately 0.6 degrees Celsius per 100 meters). In a research, with the help of radiosonde data of seven stations in central China, during the 20-year period 1990-2010, temperature inversion was analyzed. In this study, two inversion layers were detected in the lower and middle troposphere and two layers in the upper troposphere, and they concluded that the highest frequency of inversion in the lower troposphere occurs in autumn and spring due to the warming of the earth's surface, while the inversion in the troposphere Middle occurs in the winter season, and this is more dependent on the geographical location and cold front synoptic systems (Li et al, 2012). In another study, Jing and Zhang (2017) by studying the impact of meteorological elements on the persistence of heavy air pollution in the Chengdu region of China in the spring of 2014 showed that not only the surface meteorological factors, but also the structure of the boundary layer and the presence of temperature inversions play an important role in spreading The pollutant plays a vertical role. In Iran, there are many studies on the

*Corresponding Author.
Email Adresses: t.tavousi@gep.usb.ac.ir (T. Tavousi), o.kefayatmotlagh@gmail.com (O. R. Kefayat Motla).

To cite this article:
Tavousi, T, Kefayat Motlagh, O. R, (2023), Investigation of Temperature Inversion Trend in Boundary Layer in mountainous cities and Their Relation with ENSO, Case study: Shiraz. Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas, 3(12), 1-18

Doi:10.52547/gsma.3.4.1

inversion of megacities, including Tehran (Abadi et al., 2019), Tabriz (Panahi, 2016), Mashhad (Allahyari et al., 2014), Isfahan (Momeni, 2012) and Ahvaz (Taleb-Zadeh, 2014) but the study of this phenomenon was limited to the metropolitan city of Shiraz, among which the following cases can be mentioned.

2. Methodology

In the present research, firstly, the data of the atmospheric radiosonde station above the city of Shiraz at 00:00 GMT (3.5 am local time) in the period of 15 years from 03/21/2001 to 03/20/2016 AD was taken daily from the website of the University of Wyoming. The parameters used in this research include Zbase, Ztop, Tbase, Tbase, Pbase, Ptop, θtop, θbase, Δθ, Dtinv, Dzinv; which were using data of inversion layer available in vertical surfaces. Atmosphere were obtained. After collecting the data and converting the calendar from Gregorian to solar, the days with temperature inversion from the land surface to the geopotential level of 700 Hp were extracted. Then, the abundance and monthly, seasonal trend and annual inversion days were calculated in the studied period. Since the temperature difference of the inversion layer is more significant in the morning than in the evening, instead of the data of 12 degrees Celsius (3.5 pm) from the data of 00 degrees Celsius (3.5 am) has been used.

3. Results

The study of the frequency of annual inversion days in the period of 2001-2015 shows that the year 2012 with the frequency of 348 days and the year 2004 with the frequency of 109 days, the highest and the lowest number of inversion days occurred, respectively. In other words, in 95% of the days of the solar year 2011, the phenomenon of inversion occurred and only 5% of the days were without inversion. In general, the data shows that during the studied period, the frequency of inversion days with an explanatory coefficient of 42. Has had an increasing trend. Examining the monthly trend of inversion days in the solar period 1380-1394 indicates that in the months of April 2013, May 2012, Aug 2010 and 2011, September 2015, October 2010, 2011 and 2015, Nov 2010 and 2015, December 2011, February 2014 and March 2016, inversion has occurred on all days of the month, that is, the continuation of the daily inversion of air temperature has lasted for at least a month. On the other hand, in the months of July 2001, 2004, 2005 and August 2004, no temperature inversion was seen in the boundary layer air. In general, during the studied period, the monthly trend of inversion days with a slope of 0.07 and an explanatory coefficient of 21. Has been increasing, and this upward trend is significant from two points of view. On the one hand, the number of inversion days in the first half of the year (spring and summer) compared to the second half of the year (autumn and winter) has increased significantly in the studied period, and on the other hand, the average number of inversion days in the third year (2011-2015) compared to The second 5 years (2006-2010) are twice the average inversion days of the second 5 years compared to the first 5 years (2001-2005) of the studied period. This upward trend can be indicative of the intensification of the heat island of Shiraz in recent years. Examining the Skew-T diagram of the studied period shows that the greatest inversion thickness occurred on November 19, 2010 with 1,692 meters and the greatest temperature gradient occurred on June 3, 2014 with 46.3 degrees Celsius. Also, the strongest inversion was calculated on January 2, 2016 with an index of 4.96.

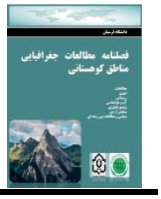
4. Discussion

The results showed that October and November have the highest and July the lowest frequency of inversion days. In the cold period of the year, due to the negative thermal energy balance of the land surface (soil) as well as the long nights and as a result of the intensification of the nocturnal radiative cooling of the land surface, the phenomenon of inversion of the air temperature of the boundary layer is more noticeable. Based on this, autumn, winter, spring and summer seasons had the most inversion days, respectively, which is consistent with the research of Fakharizadeh Shirazi et al. (2014). Also, the findings on an annual scale showed that during the studied period, the frequency of inversion days increased.

5. Conclusion

So that the increasing trend of the average inversion days of the third year (2011-2015) compared to the second 5 years (2006-2010) is twice the increasing trend of the average of the inversion days of the second year compared to the first 5 years (2001-2005) of the studied period. Be this upward trend can indicate the intensification of the heat island of Shiraz in recent years.

سال سوم، شماره چهارم (پیاپی 12)، زمستان 1401، 18-1.



شاپای الکترونیکی: 2325-2717

فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی

http://www.gsma.lu.ac.ir

دانشگاه لرستان

مقاله پژوهشی

تحلیل روند شرایط اینورژنی لایه مرزی هوا در شهرهای مناطق کوهستانی و ارتباط آن با پدیده انسو، مورد: شیراز

تقی طاوسی[1*]، امیدرضا کفایت مطلق[2]

[1*] استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

[2] دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

چکیده

هدف این پژوهش، بررسی توزیع فراوانی ماهانه، فصلی و سالانه وارونگی دما در لایهٔ مرزی هوای شهر شیراز است. در این راستا، داده‌های رادیوسوند ساعت 3/5 محلی در بازه 1394-1380 خورشیدی (5478 روز) از تارنمای دانشگاه وایومینگ برداشت شد. ارتفاع ایستگاه هواشناسی شیراز (1491 متر از سطح دریا)، به عنوان سطح پایه وارونگی لایه مرزی هوا تعیین شد و سقف لایه وارونگی نیز تا سطح ژئوپتانسیل متر 700 هکتوپاسکال (به طور میانگین حدود 1/5 کیلومتر از لایه زیرین هوای فراز سطح محل) به عنوان فضای مورد مطالعه انتخاب شد. یافته‌ها نشان داد که مهر و آبان بیشترین و تیرماه کمترین فراوانی روزهای وارونگی را دارند. بر این پایه، فصول پاییز، زمستان، بهار و تابستان به ترتیب بیشترین روزهای وارونگی داشتند. یافته‌ها در مقیاس سالانه بیانگر روند فراوانی روزهای وارونگی افزایشی بود. به طوری که افزایش میانگین ماهانه فراوانی روزهای وارونگی دمای هوا در 5 سال سوم (1394-1390) نسبت به 5 سال دوم (1389-1385)، حدود دو برابر مقدار 5 سال دوم نسبت به 5 سال نخست (1384-1380) بود. میانگین بلندمدت سالانه نیز نشان داد که در 73 درصد از روزهای سال (267 روز)، شهر شیراز با پدیده وارونگی روبرو بود. شدیدترین وارونگی‌های دما در لایه مرزی هوا در دی ماه رخ داده است، این موضوع به روشنی گویای نقش سرمایش شبانه در تشدید وارونگی دمای لایه مرزی هوا می‌باشد. بر پایه ریتم تغییرات شاخص (ONI)، نتایج نشان داد که بیشترین فراوانی روزهای همراه با وارونگی دما در شهر شیراز با فاز سرد انسو (لانینا) همسو است. به طور کلی، بیش از 59 درصد فراوانی روزهای همراه با وارونگی دما همزمان با فاز سرد (لانینا) رخ داده است.

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله:
1400/06/31

پذیرش نهایی:
1400/08/25

تاریخ انتشار:
1401/11/1

واژگان کلیدی:
اقلیم شهر،
گرادیان دما،
کلانشهر،
تابش فروسرخ،
شیراز.

1. مقدمه

پوشش گازی هواسپهر، با لگام ورود و خروج انرژی گرمایی سامانه زمین، نقش بارزی در پالایش انرژی-هایخورشیدی رسیده به سطح زمین و سرانجام تراز انرژی گرمایی کره زمین بازی می‌کند. لذا ویژگی‌های ساختاری و فیزیکوشیمیایی هواسپهر برای زندگی گیاهان، جانوران و انسان نقش سرنوشت سازی دارد (Tavousi, 2018: 1).مقایسه میزان نیازمندی انسان به سه بنیان مهم زندگی

* نویسنده مسئول

پست الکترونیک نویسندگان: t.tavousi@gep.usb.ac.ir (ت، طاوسی)؛ o.kefayatmotlagh@gmail.com (ا. ر، کفایت مطلق).

نحوه استنادهی به مقاله: طاوسی، تقی؛ کفایت مطلق، امیدرضا (1401). تحلیل روند شرایط اینورژنی لایه مرزی هوا در شهرهای مناطق کوهستانی و ارتباط آن با پدیده انسو (مورد مطالعه: شیراز).فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی، سال سوم، شماره 3 (12). صص 18-1.

Doi:10.52547/gsma.3.4.1

(آب، خوراک و هوا) نشان می‌دهد که نیاز انسان به هوا در مقایسه با نیاز وی به آب و خوراک نزدیک به 10 برابر بیشتر است (Omidvar, 2018: 1)،لذا ضرورت دارد تا مباحث مربوط به اقلیم شهری به صورت جدی مورد توجه قرار داد.

در تروپوسفر، در شرایط عادی دمای هوا با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد و با افزایش فاصله از سطح زمین، دمای هوا کمتر می‌شود (تقریباً 0/6 درجه سلسیوس به ازای هر 100 متر). اما بررسی‌های روزانه نشان می‌دهد که در بسیاری از موارد حالت عکس رخ می‌دهد که به این حالت وارونگی دما می‌گویند. پدیده وارونگی با پایداری شدید هوا همراه است. زیرا هوای سرد و سنگین در پایین و هوای گرم و سبک در بالا قرار می‌گیرد و شرایط آمیختگی و تهویه هوا تضعیف می‌شود. گرمایش روزهنگام ناشی از تابش پرتوهای خورشیدی و سرمایش شبانه ناشی از گسیل تابش فروسرخ سطح زمین،موجب پیدایش چرخه شبانه-روزی شرایط ناپایداری و پایداری لایه مرزی هوا می‌شود. در هنگام روز، تابش خورشید باعث گرم شدن سطح زمین می‌شود. در نتیجه هوای لایه مرزی سطحی در اثر تماس با زمین گرم و شناور شده و تمایل به صعود پیدا می‌کند. سرمایش شبانه سطح زمین نیز نسبت به هوا بسیار سریع‌تر است. در نتیجه هوای متراکم و سردی در نزدیکی سطح زمین انباشته شده که می‌تواند لایه‌مرزی بسیار پایداری بوجود آورد. در این شرایط، زایش جریان‌های تلاطمی و شارهای عمودی به شدت متوقف می‌شود و سطح زمین به صورت مکانیکی از هواسپهر آزاد جدا می‌شود(Tavousi, 2018: 137).

مدت و شدت تابش کوتاه موج خورشید (گرمایش روز)، مدت و شدت گسیل بلند موج زمینی (سرمایش شبانه)، ارتفاع محل، ضریب ناهمواری، کانون‌های فشار و سایر عواملگردش عمومی هوا در تشدید و تضعیف وارونگی دمای لایه مرزی نقش چند سویه بازی می‌کنند. شناخت نقش هر یک از این عوامل، ضرورت برنامه‌ریزی محیطی به ویژه در کلان شهرها است.

ضرورت بررسی و شناخت ویژگی‌های ساختاری و فیزیکوشیمیایی لایه مرزی هوای مناطق شهری از این جهت دارای اهمیت است که نقش کلانی در کیفیت هوای شهری دارد. وارونگی دما، بر تشدید غلظت آلاینده‌های شهرهای صنعتی تأثیر می‌گذارد (Ren et al, 2007: 86). با توجه به نقش بارز پایداری هوا در بروز مسائل هواشناختی، بررسی شدت و روند وارونگی دمای لایه مرزی هوا در کلان شهرها از اهمیت ویژه‌ای در برنامه‌ریزی محیطی مناطق شهری برخوردار است. هدف این پژوهش، بررسی ویژگی‌های ساختاری وارونگی دمای لایه مرزی هوا در شهر شیراز است. از آنجایی که شدت و فراوانی وارونگی دمای در فصول مختلف سال رابطه تنگاتنگی با شکل‌گیری الگوهای ویژه اتمسفری دارد. در این مقاله، نقش فازهای مختلف انسو (ONI)با پدیده وارنگی دمای لایه مرزی هوای شهر شیراز نیز کنکاش شده است.

لایه مرزی هوا، پایین‌ترین بخش تروپوسفر است که در آن باد، نمناکی و دمای هوا به شدت تحت تأثیر ویژگی‌های سطح زمین قرار دارد که در آن، اصطکاک نقش مهمی دارد. تقریباًیکیا دو کیلومتر از پایین‌ترین لایه تروپوسفر به عنوان لایه مرزی در نظر گرفته شده است. نقش کاهنده نیروی اصطکاک بر سرعت هوا با افزایش ارتفاع کاهش پیدا می‌کند و معمولاً در ارتفاع یک تا دو کیلومتری بالایسطح زمین دیگر هیچ نیروی اصطکاکیوجود ندارد. سرعت و جهت بادها تحت تأثیر اصطکاک ناشی از ناهمواری‌های سطح زمین هستند. ضخامت لایه مرزی به سرعت باد، نرخ افت‌آهنگدماوضریب ناهمواری سطح زمین بستگی دارد.

همچنین در این لایه، دمای هوا به شدت تحت تأثیر گرمایش ناشی از آفتابگیری روزانه و سرمایش ناشی از هرز انرژی شبانه قرار دارد (Tavousi, 2018: 70).

Li et al(2012)، به بررسی وارونگی دمایی چین مرکزی پرداختند آن‌ها در این مطالعه از داده‌های رادیوسوند هفت ایستگاه طی دوره زمانی 20 ساله 1990 تا 2010 به منظور بررسی آماری و همچنین توزیع فصلی وارونگی دمایی استفاده کردند. در این مطالعه دو لایه وارونگی در تروپوسفر پایینی و میانی و دو لایه در تروپوسفر بالایی تشخیص داده شد و نتیجه گرفتند که بیشترین فراوانی وارونگی در تروپوسفر پایینی در فصل پاییز و بهار در اثر گرمایش سطح زمین اتفاق می‌افتد. در صورتی که وارونگی در تروپوسفر میانی در فصل زمستان رخ می‌دهد و این بیشتر به موقعیت جغرافیایی و سیستم‌های سینوپتیک جبهه‌ای سرد وابسته است.Bei et al(2016)، تأثیر شرایط سینوپتیک بر آلودگی هوا در فصل زمستان را در حوضه گوانزونگ چین با استفاده از شش مدل برای شش روز از سال ۲013 بررسی کردند و تغییرات ذرات معلق کوچک‌تراز 2/5 میکرون را به وارونگی دما، سطح پایین سرعت باد افقی، سرعت باد عمودی و همگرایی و وقوع شرایط نامطلوب سینوپتیکی در طول فصل زمستان مربوط دانستند. Zeng and Zhang(2017)، با مطالعه تأثیر عناصر هواشناسی بر تداوم آلودگی‌های سنگین هوا در منطقه چنگدو چین در بهار 2014 میلادی نشان داد که نه تنها فاکتورهای سطحی هواشناسی، بلکه ساختار لایه مرزی و وجود وارونگی‌های دمایی نقش مهمی در انتشار عمودی آلاینده ایفا می‌کند.در ایران مطالعات زیادی بر روی وارونگی کلان شهرها از جمله تهران:(Ensafi Moghadam, 1993., Hedayat, 2002., Lashkari and Hedayat, 2006., Yavari and Najjar-Saligheh, 2011., Karampour et al, 2016., Tavousi and Hossein-Abadi, 2017.,Hossein-Abadi et al,2019)، تبریز:(Roshani, 2011., Roshani and Jahanbakhsh Asal, 2014., Panahi, 2016)، مشهد: (Alijani and Najafinik, 2009., Allahyari et al, 2014)، اصفهان:(Karimi and Derakhshan, 2005.,Momeni,2012) و اهواز:(Azimi, 2008., TalebZadeh,2014)، 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 Omidvar et al(2013)،به تحلیل الگوهای همدید روزهای فرین آلوده به ذرات معلق طیک بازه زمانی 7 ساله از 2005 تا 2011 میلادی در شهر شیراز پرداختند. با بررسی شاخص کیفیت هوا، بیشترین تعداد روزهای آلوده خطرناک در سال 2005 و در می، ژوئن، ژوئیه و آگوست رخ داده است. همچنین نتایج حاصل از بررسی الگوهای همدیدی وجود ناوه ضعیف در تراز 500 هکتوپاسکال، سامانه کم فشار قوی در سطح زمین، پراکنش دما همراه با هسته گرم با منحنی هم دمای 37/5 درجه سیلسیوس 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 Fakhari Zadeh Shirazi(2015)،به ارزیابی نیمرخ قائم دمای جو شهر شیراز با استفاده از داده-های رادیوسوند در بازه 2010-2005 میلادی پرداختند. یافته‌های ایشان نشان داد که در هنگام پرتاب بالن (3/5 بامداد ایران برابر با نیمه شب گرینویچ) پدیده وارونگی هوا در همه روزهای سال رخ می‌دهد. ضخامتی این لایه بیشتر میان 100 تا 280 متر در نوسان است. از ارتفاع بالاتر از 1760-1580 متر از سطح دریا (280-100 متری سطح زمین)، تا پایان وردسپهر اندازه افت‌آهنگدما میان 6-4 درجه سلسیوس بر کیلومتر در نوسان بود. ارتفاع تروپوپاوز در ایستگاه شیراز میان 16494 تا 19006 متری از سطح

دریادر نوسان بود. بیشترین ارتفاع وردایست در فصل زمستان و کمترین آن در فصل پاییز دیده شد که اندازه آن به ترتیب 18138 و 17158 متر از سطح دریاست. همچنینیافته‌ها نشان داد که افزایش ارتفاع تروپوپاوز می‌تواند نشانه‌هایی از افزایش بارش در ماه‌های سرد سال باشد. از این رو در این نوشتار به بررسی توزیع فراوانی وارونگی لایه مرزی هوای شیراز پرداخته شده است.

2. روش تحقیق

در پژوهش حاضر، نخست داده‌های ایستگاه رادیوسوند جو بالای شهر شیراز در ساعت 00 گرینویچ (3/5 بامداد به وقت محلی) در بازه زمانی 15 ساله از 2001/03/21 تا 2016/03/20 میلادی (1380/1/1-1394/12/29 خورشیدی) به صورت روزانه از تارنمای دانشگاه وایومینگ برداشت شد. پارامترهای مورد استفاده در این پژوهش شامل (ارتفاع پایه لایه وارونگی به متر (Zbase)، ارتفاع سقف لایه وارونگی به متر (Ztop)، مقدار دما در پایه لایه وارونگی به درجه سلسیوس(Tbase)، مقدار دما در سقف لایه وارونگی به درجه سلسیوس (Tbase)، مقدار فشار در پایه لایه وارونگی به هکتوپاسکال(Pbase)، مقدار فشار در سقف لایه وارونگی به هکتوپاسکال (Ptop)، مقدار دمای پتانسیل در بالای لایه وارونگی به درجه کلوین (θtop)، مقدار دمای پتانسیل در پایه لایه وارونگی به درجه کلوین(θbase)، اختلاف دمای پتانسیل به درجه کلوین(Δθ)، گرادیان دما در لایه وارونگی به درجه سلسیوس(DTinv)، ضخامتی لایه وارونگی به متر (DZinv) بودند که با استفاده از داده‌های لایه وارونگی موجود در سطوح عمودی جو به دست آمدند (شکل 1). پس از برداشت داده‌هاوتبدیل تقویم از میلادی به خورشیدی، روزهایی که دارای وارونگی دما از سطح زمین تا سطح ژئوپتانسل 700 هکتوپاسکالی رخ داده بود، استخراج شد. سپس فراوانی و روند ماهانه، فصلیو سالانه روزهای وارونگی در دوره مورد مطالعه محاسبه شد. از آنجایی که اختلاف دمای لایه وارونگی در بامداد نسبت به عصر چشمگیرتر است، به جای داده های 12 گرینویچ (3/5 بعد از ظهر) از داده‌های 00 گرینویچ (3/5 بامداد) بهره گرفته شده است.

با استفاده از رابطه (1)شدت وارونگیشامل سه پارامتر ضخامت، عمق و اختلاف دمای لایه وارونگیاست، محاسبه شد.

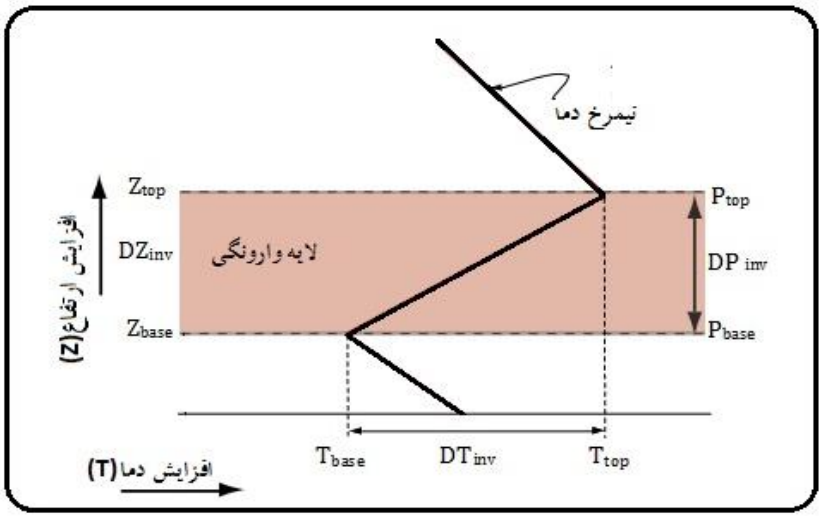
$$I = \frac{\Delta\theta^2}{3 + Z(\Delta z)}$$ رابطه(1)

Iشدت لایه وارونگی،Δθ اختلاف دمای پتانسیل رأس و پایه وارونگی به درجه کلوین،Δz ضخامتی لایه وارونگی به متر و Z ارتفاع محل به هکتومتر.رخداد وارونگی دما در لایه مرزی هوا در بسیاری از روزهای سال، از الگوهای ویژه گردش عمومی هوا تأثیر می‌پذیرد. شاخص انسو با فازهای مختلف گرم (النینو) و سرد (لانینا)، یکی از پدیده‌هایی است که چرخه برگشت سالانه دارد و در مقیاس جهانی تأثیرگذاراست (Kulkarni et al, 2013).لذا در این مقاله رابطه فازهای مختلف انسو (ONI) با فراوانی رخدا وارونگی دما در دوره آماری (2001-2016) بررسی شده است.

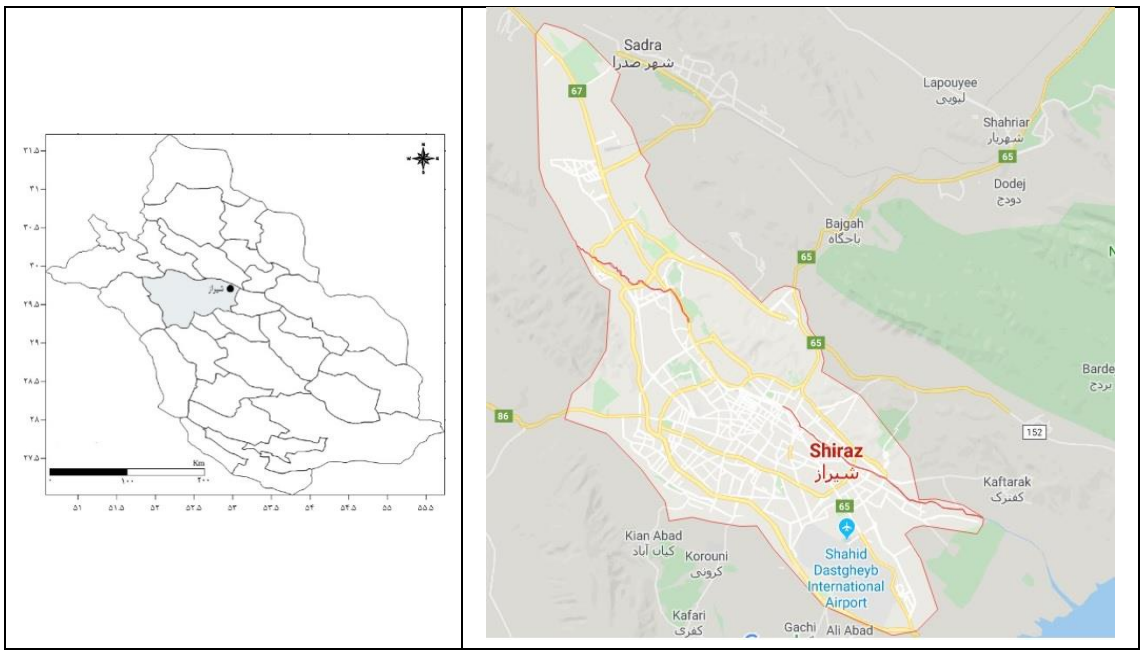
2. 1. محدوده مورد مطالعه

این پژوهش بر پایه داده‌های گردآوری شده در ایستگاه هواشناسی شهر شیراز با عرض جغرافیایی 29 درجه و 32 دقیقه شمالی و طول 52 درجه و 36 دقیقه شرقی با ارتفاع 1484 متر از سطح دریا به انجام رسیده است. شهر شیرازیکی از کلان‌شهرهای ایران و مرکز استان فارس است. شیرازدر بخش مرکزی استان فارس و در پهنه کوهستانی زاگرس بین دو رشته کوه نسبتاً بلند از شمال و جنوب قرار گرفته است(شکل 2). مساحت شهر شیراز ۱۷۸/۸۹۱ کیلومتر مربع است و طول آن حدود ۴۰ کیلومتر و عرض آن ۱۵ تا ۳۰ کیلومتر است. جمعیت شیراز در سال ۱۳۹۵ خورشیدی، بیش از

۱٬۵۶۵٬۵۷۲تنبود،این رقم با احتساب جمعیت ساکن در حومه شهر شیراز به ۱٬۸۶۹٬۰۰۱تنمی‌رسد. شیراز پنجمین شهر بزرگ و پر جمعیت کشور است(Statistical Center of Iran, 2016).



شکل 1. نیمرخ وارونگی دمای هوا، منبع: (Iacobellis et al, 2009)



شکل 2. موقعیت جغرافیایی شهر شیراز، منبع: نگارندگان، 1398

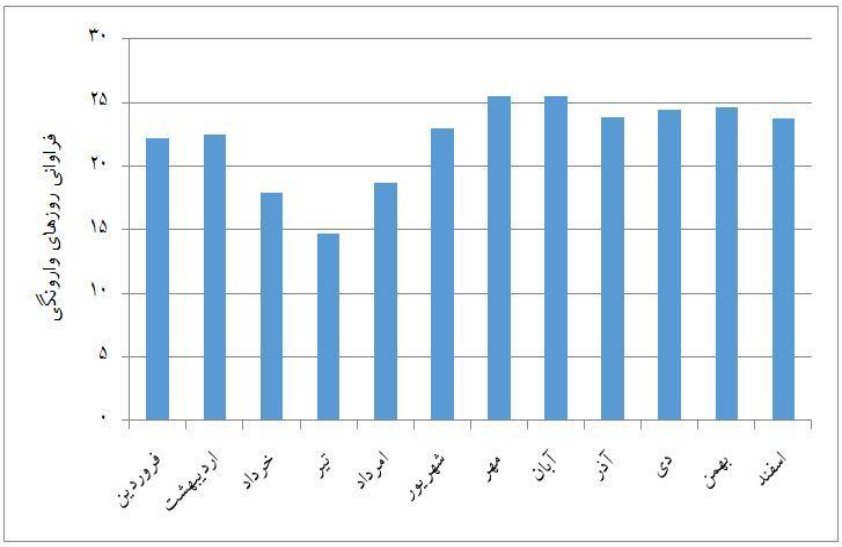
3. یافته‌های تحقیق

میانگین بلندمدت فراوانی روزهای وارونگی در هر یک از ماه‌های مختلف سال گویای بیشترین فراوانی روزهای رخداد وارونگی دمای هوا در مهر و آبان (26 روز) و کمترین آن در تیر ماه (15 روز) است(شکل 3).

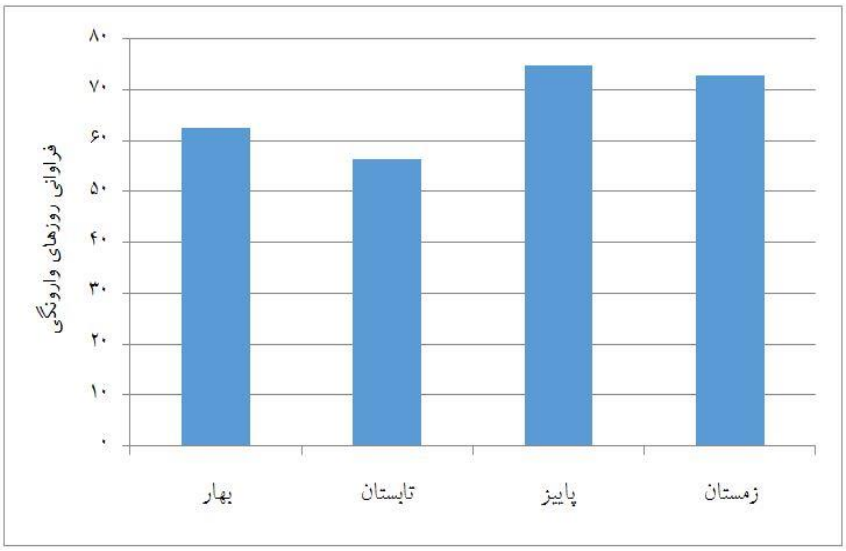
میانگین بلندمدت فراوانی روزهای وارونگی در فصول مختلف سال بیانگر آن است که بیشترین روزهای وارونگیبه ترتیب در فصول پاییز (75 روز)، زمستان (73 روز)، بهار (62 روز) و تابستان (56 روز) قرار دارد، یعنی در شیراز 73 درصد سال پدیده وارونگی دیده می‌شود و تنها 27 درصد روزهای سال، روزهای پاک و بدون وارونگی را تجربه می‌کند (شکل 4).

فراوانی روزهای وارونگی فصل بهار در بازه 1394-1380 گویای این است که بهار 1390 با 89 روز، بیشترین

و بهار 1380 با 19 روز، کمترین روزهای وارونگی را داشته است و در طول دوره مورد مطالعه با ضریب تبیین 34/. روند افزایشی وجود داشت (شکل 5).



شکل 3. میانگین بلندمدت فراوانی روزهای وارونگی در ماه‌های مختلف سال

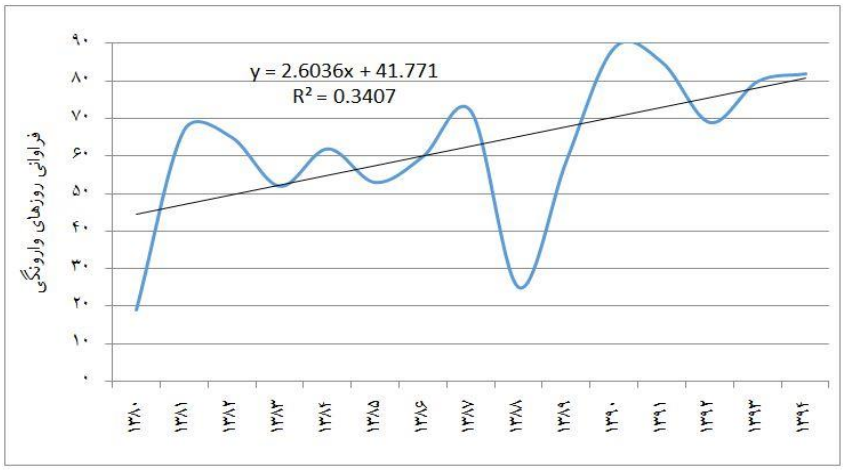


شکل 4. میانگین بلندمدت فراوانی روزهای وارونگی در فصول مختلف سال

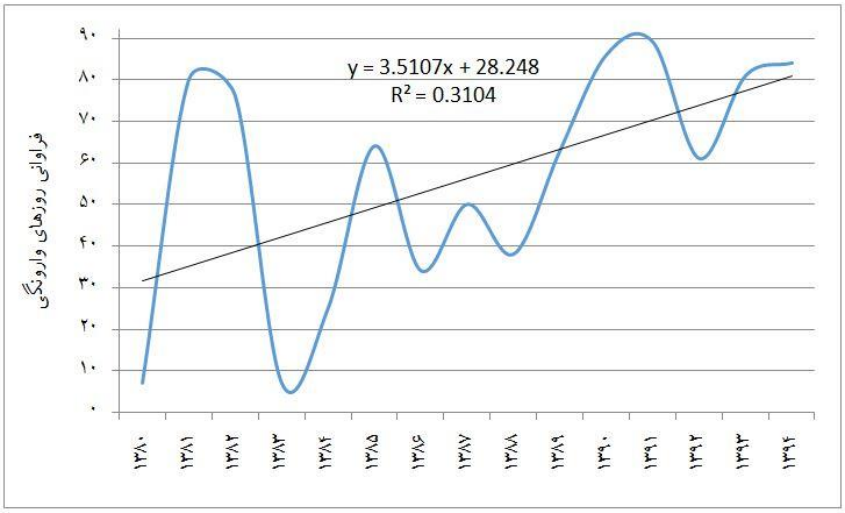
بررسی فراوانی روزهای وارونگی فصل تابستان در بازه 1394-1380 خورشیدی نشان می‌دهد که در تابستان 1391 با 89 روز، بیشترین و تابستان 1380 و 1383 با 7 روز، کمترین روزهای وارونگی رخ داده است و در طول دوره مورد مطالعه با ضریب تبیین 31/. روند افزایشی مشاهده شده است (شکل 6).

فراوانی روزهای وارونگی فصل پاییز در بازه 1394-1380 خورشیدیحاکی است که در پاییز 1394 با 88 روز، بیشترین و پاییز 1380 با 24 روز، کمترین روزهای وارونگی به ثبت رسیده است و در طول دوره مورد مطالعه با ضریب تبیین 33/. دارای روند افزایشی بوده است (شکل 7).

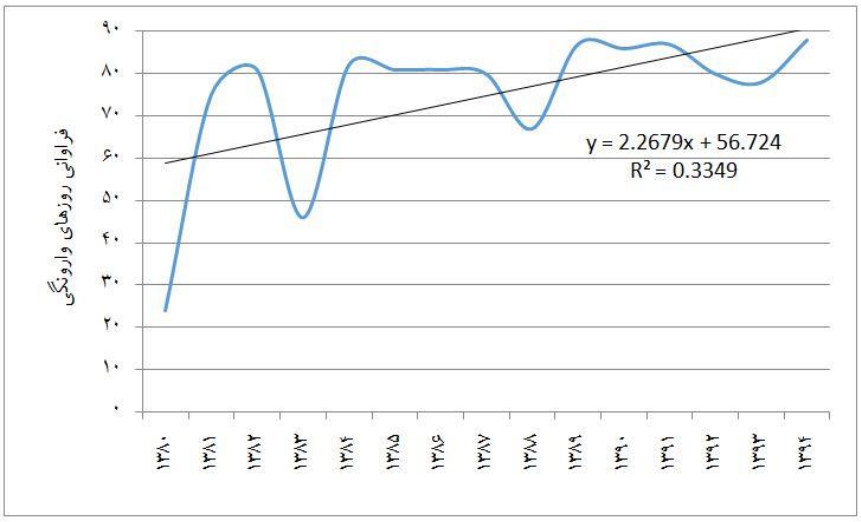
بررسی فراوانی روزهای وارونگی زمستان (1394-1380) گواه این است که زمستان 1391 با 87 روز، بیشترین و زمستان 1383 با 53 روز، کمترین روزهای وارونگی را داشته است و در طول دوره مورد مطالعه با ضریب تبیین 43/. روند افزایشی رخ داده است (شکل 8).



شکل 5. فراوانی روزهای وارونگی فصل بهار در بازه 1394-1380 خورشیدی



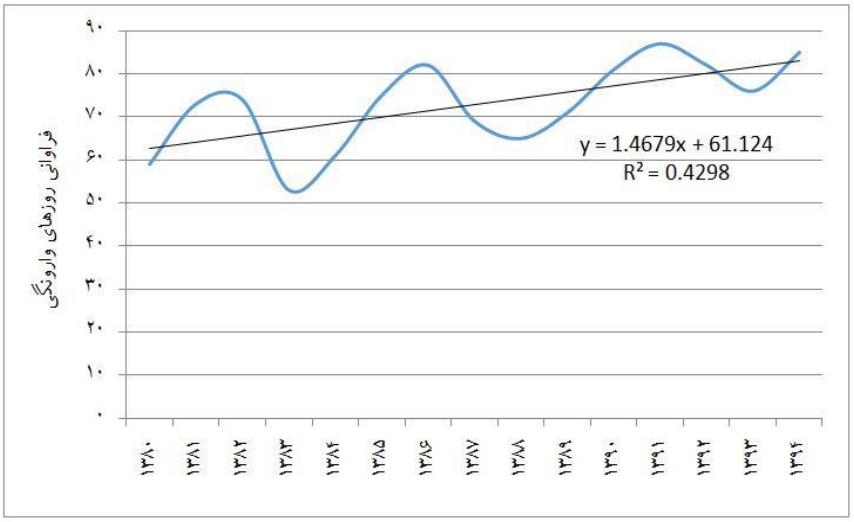
شکل 6. فراوانی روزهای وارونگی فصل تابستان در بازه 1394-1380 خورشیدی



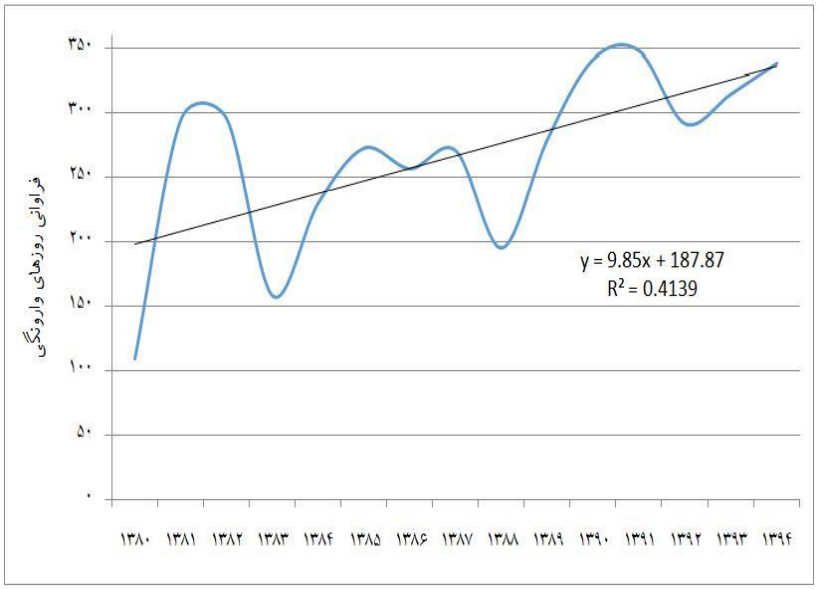
شکل 7. فراوانی روزهای وارونگی فصل پاییز در بازه 1394-1380 خورشیدی

مطالعه فراوانی روزهای وارونگی سالانه در بازه 1394-1380 خورشیدی نشان می‌دهدکه سال 1391 با فروانی 348 روز و سال 1383 با فراوانی 109 روز، به ترتیب، بیشترین و کمترین روزهای وارونگی رخ داده است. به عبارتی در 95 درصد از روزهای سال 1391 خورشیدی پدیده وارونگی رخ داده و تنها 5 درصد روزها بدون

وارونگی بوده است. به طور کلی داده‌هاگویای آن است که در طول دوره مورد مطالعه، فراوانی روزهای وارونگی با ضریب تبیین 42/. دارای روند افزایشی بوده است (شکل 9).



شکل 8. فراوانی روزهای وارونگی فصل زمستان در بازه 1394-1380 خورشیدی

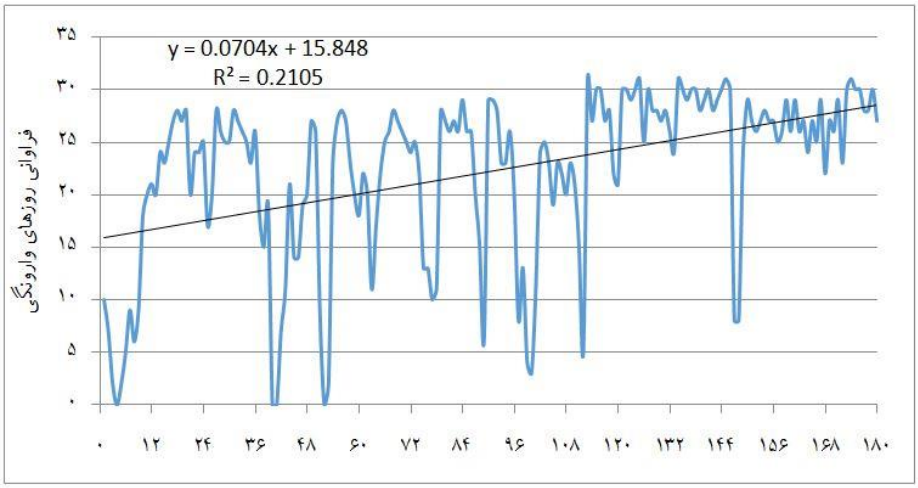


شکل 9. فراوانی روزهای وارونگی سالانه در بازه 1394-1380 خورشیدی

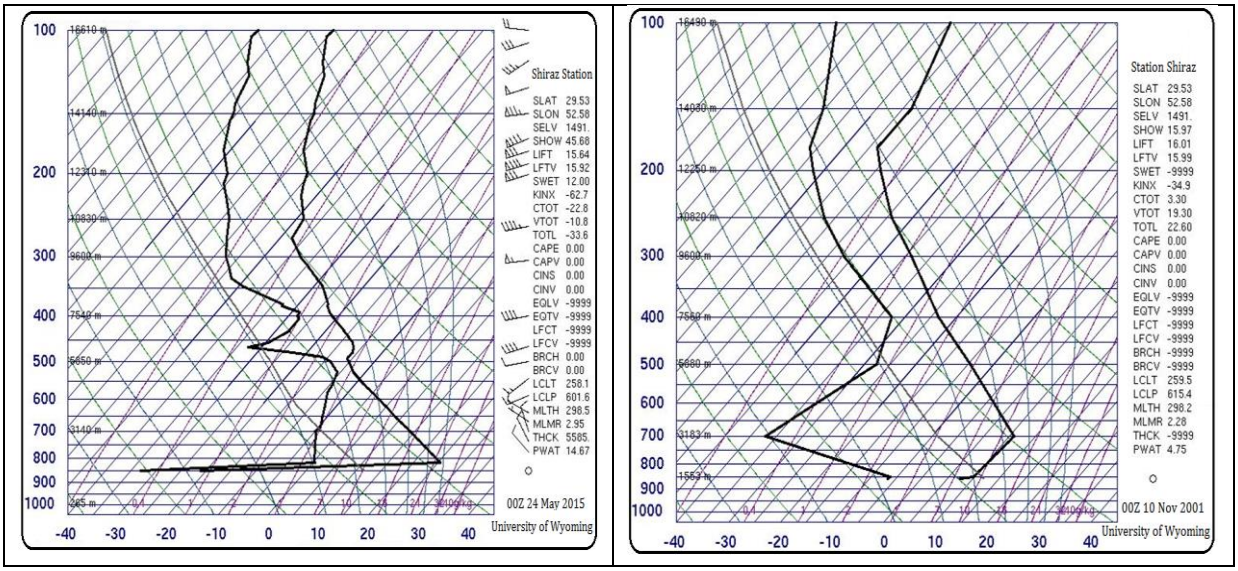
بررسی روند ماهانه روزهای وارونگی در بازه 1394-1380 خورشیدی (180 ماه) حاکی از این موضوع است که در ماه‌های فروردین 1392، اردیبهشت 1391، امرداد 1389 و 1390، شهریور 1394، مهر 1389، 1390 و 1394، آبان 1389 و 1394، آذر 1391، بهمن 1394 و اسفند 1386 در همه روزهای ماه وارونگی رخ داده است، یعنی تداوم رخداد وارونگی روزانه دمای هوا دست کم یک ماه طول کشیده است. در مقابل، ماه‌های تیر 1380، 1383، 1384 و مرداد 1383 هیچ روزی وارونگی دمایی در هوای لایه مرزی دیده نشده است. به طور کلی در طول دوره مورد مطالعه روند ماهانه روزهای وارونگی با شیب 0/07 و ضریب تبیین 21/. رو به افزایش بوده است که این روند صعودی از دو دیدگاه قابل توجه است. از یک‌سو روزهای وارونگی در نیمه اول سال (بهار و تابستان) نسبت به نیمه دوم سال (پاییز و زمستان) در دوره مورد مطالعه افزایش چشمگیرتری داشته است و از سوی دیگر میانگین روزهای

وارونگی 5 سال سوم (1394-1390) نسبت به 5 سال دوم (1389-1385) دو برابر میانگین روزهای وارونگی 5 سال دوم نسبت به 5 سال نخست (1384-1380) دوره مورد مطالعه می‌باشد. این روند صعودی می‌تواند گویای تشدید جزیره گرمایی شهر شیراز در سال‌های اخیر باشد (شکل 10).

بررسی نمودار اسکیوتی دوره مورد مطالعه گویای آن است که بیشترین ضخامتی وارونگی در روز 19 آبان 1380 با 1692 متر و بیشترین گرادیان دما در 3 خرداد 1394 با 46/3 درجه سلسیوس رخ داده است(شکل 11). همچنین شدیدترین وارونگی در 2 دی ماه 1386 با شاخص 4/96 محاسبه شده است.



شکل 10. روند ماهانه روزهای وارونگی در بازه 1394-1380 خورشیدی



شکل 11. نمودار اسکیوتی ساعت 3/5 بامداد روز 19 آبان 1380 (سمت راست) و روز 3 خرداد 1394 (سمت چپ)

ارتباط وارونگی دمای هوا با دمای سطح زمین

دمای سطح زمینیکی از پارامترهای کلیدی برای تحلیل و مدل‌سازی تراز انرژی گرمایی سطح زمین است (Wan et al, 2002). مطالعه دمای پوشش سطح زمین شهری به منظور بررسی تراز انرژی گرمایی و نقش آن در رخداد وارونگیدمای هوا و به طور کلی در طراحی شهری و اصلاح میکرواقلیم شهری از اهمیت بسزایی برخوردار است. بررسی دمای پوشش سطح زمین شهری که به شدت گوناگون و نامتجانس است می‌تواند در مطالعه وارونگی دمای هوای لایه مرزی بسیار سودمند باشد. از یک‌سو، گرمای ویژه و

نیزضریب هدایت گرمایی پوشش متفاوت سطح شهر مانند فضای سبز، آسفالت و سنگ‌فرشگذرگاه‌ها،مصالحساختمانی و ... با یکدیگر بسیار تفاوت دارد و از سوی دیگر، اختلاف گرمای ویژه مواد گوناگون پوشش سطوح شهری با گرمای ویژه هوای فراز شهر، فرآیندهای بسیار گوناگونی در داد و ستد انرژی گرمایی میان هوای لایه مرزی و سطح زمین شهری به وجود می‌آورد. هر فرآیند به نوبه خود در تراز انرژی گرمایی هوای لایه مرزی نقش منحصر به فردی ایفا می‌کند. مقدار دمای سطح زمین در هر زمان و محل مشخص، گویای شرایط گرماپویشی هوای آن محل است که به واسطه داد و ستد انرژی گرمایی میان هوای لایه مرزی و سطح زمین رخمی‌دهد(Schmugge et al, 2002).پیامد اقلیمی بیلان انرژی گرمایی لایه مرزی سطحی که لایه زیرین هواسپهر محسوب می‌شود و به شدت تحت تأثیر ویژگی‌های سطح زمین است در پیدایش شرایط وارونگی دما و در نتیجه شرایط پایداری لایه مرزی هوای شهری نقش بسیار بارزیدارد (Tavousi, 2018).

تغییرپذیری دمای سطح زمین نسبت به هوای لایه مرزی از شدت و سرعت بیشتری برخوردار است. تغییرپذیری دمای سطح زمین در گذر زمان و در چرخه‌های شبانه روزی و سالانه تحت تأثیر شدت و مدت تابش خورشیدی و شرایط فیزیکی هوا مانند ابرناکی، وارونگی دمای هوا و ... قرار می‌گیرد. تغییرپذیری دمای سطح زمین در بعد مکانی نیز توسط برخی ویژگی‌های سطح زمین مانند سپیدایی (آلبدو)، گسیلمندی، رطوبت، گرمای ویژه و شرایط ناهمواری مانند زاویه شیب و جهت شیب زمین کنترل می‌شود (Frey & Kuenzer, 2015).

با توجه به تصویر کاربری زمین شهری شیراز، بیشترین گستره فضای سبز شهری شیراز در بخش شمالی شهر از جمله فضای سبز مربوط به دانشگاه و باغ‌های قصردشت واقع شده است و بخش مرکزی دارای کمترین مساحت بوستان-هاوفضای سبز شهری است. گستره زمین‌های بایر که سرزمین‌های پیرامونی شهر شیراز را در برگرفته است و معمولاً دامنه‌های کوهستانی است که شهر شیراز را در آغوش خود جای داده است. بیشترین تمرکز ساختمان‌ها در جنوبغرب و مرکز شهر می‌باشد. بافت ساختمانی شهر دارای الگوهای ساختمانی متفاوتی است. بیشتر ساختمانها یک طبقه، دو طبقه و کم ارتفاعهستند (شکل 12).

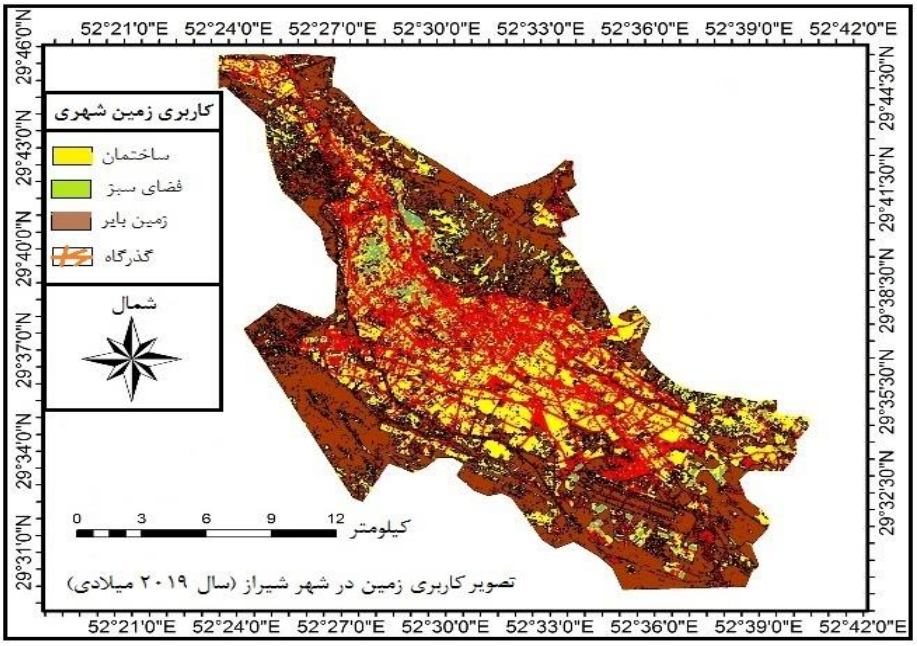
دمای سطح زمین تابعی از انرژی خالص در سطح زمین است که به مقدار انرژی رسیده به سطح زمین، گسیل‌مندی سطح، رطوبت و جریان باد در لایه مرزی هوا بستگی دارد. یکی از روش‌های مطالعه دمای سطح زمین، روش‌های مبتنی بر استفاده از فناوری سنجش از دور و بررسی تصاویر ماهواره‌ای است که با سنجش گسیل‌مندی تابش فروسرخ می‌توان دمای سطح زمین شهری را تخمین زد. به هر حال، داد و ستد انرژی گرمایی میان پوشش سطح زمین شهری و هوای لایه مرزی، نقش بارزی در شدت و مدت وارونگی دمای هوا ایفا می‌کند.

ارتباط وارونگی دمای هوا با النینو

رخداد جهان‌گسترانسودارای چرخه فازهای گرم (النینو) و سرد (لانینا) است که در مقیاس جهانی تأثیرگذار است. شکل 13 ریتم تغییرات شاخص (ONI) را در رابطه با فازهای انسو در سال‌های (1985-2016) نشان می‌دهد. شدت و فراوانی وارونگی دما نیز در فصول مختلف سال و در سال‌های مختلف دارای شدت و ضعف است. علت تغییرات شدت و شمار روزهای رخداد وارونگی دما علاوه بر عوامل وابسته به شرایط محلی و ویژگی‌های سطح زمین در کلانشهرشیراز به تغییرات الگوهای گردش عمومی هوا در طی فازهای مختلف انسو دارد. بیشترینفراوانی روزهای همراه با وارونگی دما در شهر شیراز در دوره مورد مطالعه (2001-2016) در سالهای

2016-2013-2011-2008-2001 مشاهده شده است که در بیشتر سال‌های مذکور شاخص انسو، گویای رخداد فاز سرد است. در فاز سرد انسو (لانینا) احتمال رخداد پایداری هوا بیشتر است و در نتیجه شمار روزهای رخداد وارونگی دما افزایشیافته است. در مقابل، در فاز گرم انسو (النینو) احتمال رخداد ناپایداری هوا بیشتر است. در نتیجه شمار روزهای رخداد وارونگی دما کاهش داشت.پیوند از دور میان درصد فراوانی روزهای همراه با پدیده وارونگی دمای هوای لایه مرزی شهر شیراز با شاخص الگوی انسو (ONI) در شکل 14 نشان داده شده است.

اعداد منفی محور افقی در سمت راست نمودار گویای فاز سرد (لانینا) است و ارقام مثبت در سمت چپ حاکی از فاز گرم انسو (النینو) است. بیش از 59 درصد فراوانی روزهای همراه با وارونگی دما همزمان با فاز سرد (لانینا) رخ داده است. در صورتی که در هنگام بروز فاز گرم انسو (النینو)، درصد فراوانی روزهای رخداد وارونگی دما در بازه سالانه حدود 41 درصد است. وجود پیوند از دور میان فازهایمثبت و منفی انسو با پدیده‌های اقلیمی در پژوهش‌های دیگرنیز اثبات شده است(Sátori et al, 2009., Kandalgaonkar et al, 2010.,Kulkarni et al, 2013).با توجه به شیب خط، می‌توان گفت به نسبت افزایش شدت شاخص (ONI)، فراوانی رخداد روزهای توأم با پدیده وارونگی دما کاهش پیدا می‌کند.



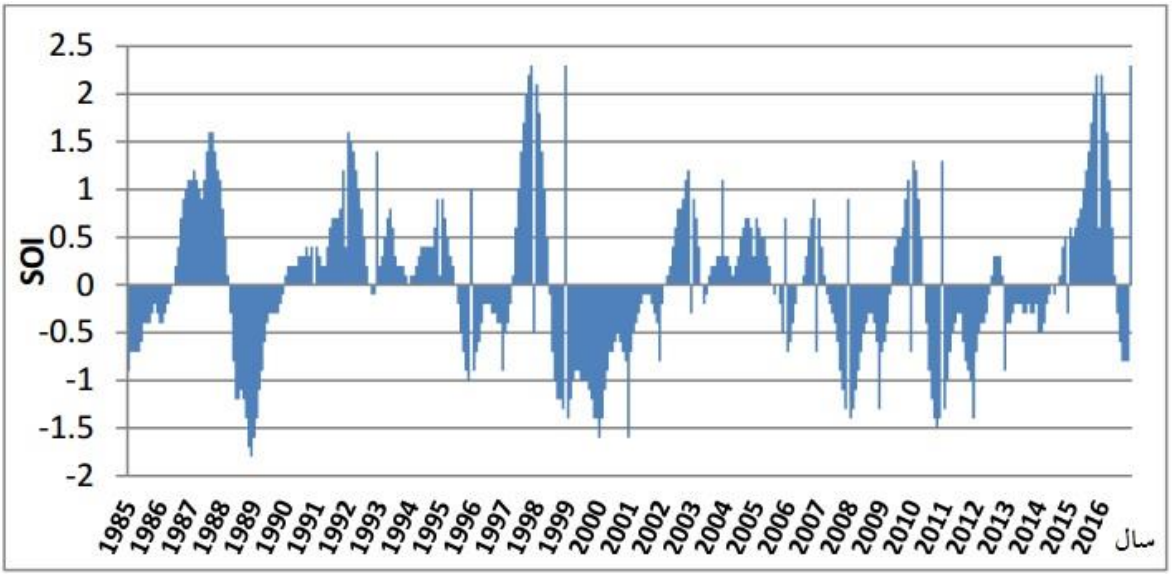
شکل 12. تصویر ماهواره‌ای کاربری زمین شهر شیراز، 2019

4. بحث و نتیجه‌گیری

بررسی‌های انجام شده بر روی داده‌های رادیوسوند ایستگاه شیراز طی 1394-1380 خورشیدی نشان داد که در ساعت 3/5 بامداد به وقت محلی، میانگین سالانه بلند مدت پدیده وارونگی دمایی، در 73 درصد روزهای سال (حدود 267 روز) رخ می‌دهد. بیشترین ضخامت وارونگی در روز 19 آبان 1380 با 1692 متر، بیشترین گرادیان دما در 3 خرداد 1394 با 46/3 درجه سلسیوس و شدیدترین وارونگی در 2 دی ماه 1386 با شاخص 4/96 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 محسوس-

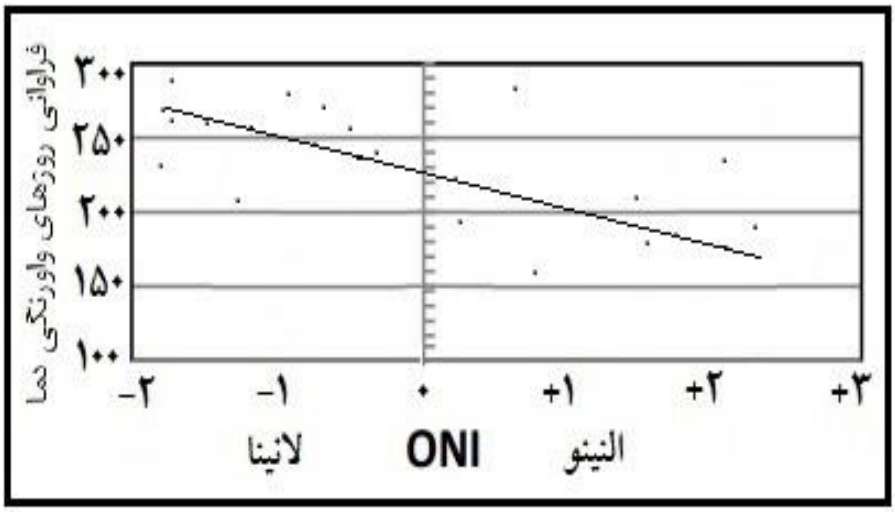
تراست. براین پایه، فصول پاییز، زمستان، بهار و تابستان به ترتیب بیشترین روزهای وارونگی را داشتند که هماهنگ با پژوهش Fakhari Zadeh Shirazi(2015)،می‌باشد. همچنینیافته‌ها در مقیاس سالانه نشان داد که در طول دوره مورد مطالعه، روند فراوانی روزهای وارونگی افزایشی بوده است. به طوری که روند افزایشی میانگین روزهای وارونگی 5 سال سوم (1394-1390) نسبت به 5 سال دوم (1389-1385) دو برابر روند افزایشی میانگین روزهای وارونگی 5 سال دوم نسبت به 5 سال نخست (1384-1380) دوره مورد مطالعه می‌باشد. این روند صعودی می‌تواند گویای تشدید جزیره گرمایی شهر شیراز در سال‌های اخیر باشد.

دمای سطح زمین تابعی از انرژی خالص در سطح زمین است که به مقدار انرژی رسیده به سطح زمین، گسیل‌مندی سطح، رطوبت و جریان باد در لایه مرزی هوا بستگی دارد. یکی از روش‌های مطالعه دمای سطح زمین، روش‌های مبتنی بر استفاده از فناوری سنجش از دور و بررسی تصاویر ماهواره‌ای است که با سنجش گسیل‌مندی تابش فروسرخ می‌توان دمای سطح زمین شهری را تخمین زد. به هر حال، داد و ستد انرژی گرمایی میان پوشش سطح زمین شهری و هوای لایه مرزی، نقش بارزی در شدت و مدت وارونگی دمای هوا ایفا می‌کند.



شکل 13. تغییرات سالانه فازهای انسو (ONI) در دوره (1985-2016)

نتایج تغییرات شاخص (ONI) نشان داد بیشترین فراوانی روزهای همراه با وارونگی دما در شهر شیراز در دوره مورد مطالعه (2016-2001)در سال‌های 2016-2013-2011-2008-2001 که فاز سرد انسو حاکم بوده رخ داده است. در فاز سرد انسو (لانینا) احتمال رخداد پایداری هوا بیشتر است و در نتیجه شمار روزهای رخداد وارونگی دما افزایشیافته است. به طور کلی، بیش از 59 درصد فراوانیروزهای همراه با وارونگی دما همزمان با فاز سرد (لانینا) رخ داده است. در صورتی که در هنگام بروز فاز گرم انسو (النینو)، درصد فراوانی روزهای رخداد وارونگی دما در بازه سالانه حدود 41 درصد است. به سخن دیگر، به نسبت افزایش شدت شاخص (ONI)، فراوانی رخداد روزهای توأم با پدیده وارونگی دما کاهش پیدا می‌کند.



شکل 14. نمودار پراکنش فراوانی سالانه روزهای رخداد وارونگی دما در شهر شیراز و شاخص (ONI)

5. فهرست منابع

Alijani, B., & Najafi Nik Z. (2009).Investigation of synoptic inverting patterns in Mashhad using factor analysis, *geography and regional development, 7(12)*, 1-12. (in persian).

Allahyari, S., Assadi, S., & Esmaily, H. (2014).Assessment of air pollution condition and comparison of different areas of Mashhad in winter 2011.*Journal of North Khorasan University of Medical Sciences*, *6*(1), 7-16. (in persian)

Azimi, F. (2008).Evaluation temperature inversion on the Ahvaz air pollution process.*Territory*, *5*(19), 105-112. (in persian)

Bei, N., Li, G., Huang, R. J., Cao, J., Meng, N., Feng, T., ...& Molina, L. T. (2016). Typical synoptic situations and their impacts on the wintertime air pollution in the Guanzhong basin, China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *16*(11), 7373-7387.

Ensafi Moghadam, T. (1993).Investigation of air pollution in Tehran in relation to the stability and inversion of atmospheric temperature (inversion), master's thesis, Tarbiat Modares University.(in persian)

Fakhari Zadeh Shirazi, E., Nazem Sadat, M. J., Haghighat, M., Kamgar Haghighi, A. A. (2015). Estimation of vertical profile of atmospheric temperature in Shiraz using radiowave data: temperature and precipitation correlation, *Nivar Magazine, 39(90-91)*, 63-76. (in persian)

Frey, C. M., & Kuenzer, C. (2015). Analysing a 13 years MODIS land surface temperature time series in the Mekong Basin. *Remote sensing time series: Revealing land surface dynamics*, 119-140.

Hedayat, P. (2002). Synoptic investigation of inversions of Tehran city and its role on air pollution and heart and lung patients, master's thesis, Shahid Beheshti University.(in persian)

Hossein Abadi, N., Tavousi, T., Mofidi, A., & Khosravi, M. (2019).A comparative study on the trend of temperature inversions in Iranian metropolises; Tehran, Mashhad and Tabriz.*Physical Geography Research Quarterly*, *51*(4), 693-713. (in persian)

http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html .https://www.amar.org.ir.

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*, *48*.

contaminated Fur days in suspended particles in Shiraz, *geography and environmental studies, 2(5)*, 49-62. (in persian)

Omidvar, K. (2018). Air Pollution and Atmospheric chemistry, YazdUniversity Publication. (in persian)

Panahi, A. (2016). A survey on the synoptic patterns based on critical periods of air pollution in severe inversions of Tabriz, Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, *48*(4), 607-625. (in persian)

Ren, W., Tian, H., Chen, G., Liu, M., Zhang, C., Chappelka, A. H., & Pan, S. (2007). Influence of ozone pollution and climate variability on net primary productivity and carbon storage in China's grassland ecosystems from 1961 to 2000. *Environmental Pollution*, *149*(3), 327-335.

Roshani, R. (2011). Investigation of the effect of high pressure on the occurrence of extremely intense inverters and the persistence of contaminations in Tabriz in 2008, National Conference on Climate Change and its Impact on Agriculture and Environment, Urmia, Agricultural and Natural Resources Research Center of West Azarbaijan Province. (in persian)

Sátori, G., Williams, E., & Lemperger, I. (2009).Variability of global lightning activity on the ENSO time scale.*Atmospheric Research*, *91*(2-4), 500-507.

Schmugge, T., French, A., Ritchie, J. C., Rango, A., & Pelgrum, H. (2002).Temperature and emissivity separation from multispectral thermal infrared observations.*Remote sensing of environment*, *79*(2-3), 189-198.

Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L. (2004).Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5.*Remote Sensing of environment*, *90*(4), 434-440.

Jahanbakhsh Asl, S., & Roshani, R. (2014). Investigating the synoptic patterns of very severe temperature inversion conditions in Tabriz, *Journal of Geography and planning, 18(48):* 81-96. (in persian)

Kandalgaonkar, S. S., Kulkarni, J. R., Tinmaker, M. I. R., & Kulkarni, M. K. (2010). Land-ocean contrasts in lightning activity over the Indian region. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, *30*(1), 137-145.

Karam-Pour, M., Saligheh, M., Tulabinejad, M., Zarei Choghabelki, Z. (2016)."Investigation of air pollution in Tehran using Hafter's critical inversion method", *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 3(1), 51-64.(in persian)

Karimi M.,& Derakhshan H. (2005). Investigation of temperature inversion (inverting) in Isfahan, *12th conference of geophysics*, Tehran, Geological Survey. (in Persian)

Kulkarni, M. K., Revadekar, J. V., & Varikoden, H. (2013).About the variability in thunderstorm and rainfall activity over India and its association with El Niño and La Niña.*Natural hazards*, *69*, 2005-2019.

Lashkari, H. & Hedayat, P. (2006)."Analysis of the synoptic pattern of severe inversions in Tehran", *Geographical Research*, 38(56), 65-82.(in persian)

Li, Y., Yan, J., & Sui, X. (2012).Tropospheric temperature inversion over central China.*Atmospheric research*, *116*, 105-115.

Momeni M. (2012). The role of geographical conditions in metropolitan area of Isfahan, Fifth International Congress of Islamic Geographers, Tabriz, Tabriz University. (in Persian)

Omidvar K., Mandangi M., Haghighat Zaybari S. M. (2013). Analysis of the patterns of

Talebzadeh, M. (2014). The role of inverting on air pollution in Ahvaz, the first national conference on urban planning, urban management and sustainable development, Tehran, Iranian Institute of Architecture, Iran. (in Persian)

Tavousi, T. (2018).Physical climatology, Sistan and Baluchestan University Publication. (in persian)

Tavousi T.,& Hossein Abadi N. (2017). Evaluation of inversion indices of the temperature of the air temperature of the Tehran city, *Journal of Geographical Research, 32 (2),* 120-132. (in persian)

Wan, Z., Zhang, Y., Zhang, Q., & Li, Z. L. (2002). Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data. *Remote sensing of Environment*, *83*(1-2), 163-180.

Yavari, H. &Saligheh, M. (2011)."Levels of inversion in the pollution of Tehran city", *Journal of Applied Research of Geographical Sciences*, No. 20, 89-105.(in persian)

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), 7