



Examining the Diurnal Temperature Range (DTR) in Iran using the AgERA5 dataset

Seydeh Fatemeh Akhlaghi-Hosseiny^a, Azar Zarrin^{b*}, Abbasali Dadashi-Roudbari^c

^a MSc in Climatology, Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

^b Associate Professor in Climatology, Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

^c Postdoctoral Research Associate in Climatology, Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 5 September 2021

Revised: 7 December 2021

Accepted: 17 December 2021

Abstract

This research was conducted with the aim of investigating the day and night temperatures in Iran. For this purpose, the minimum and maximum temperatures during 40 years (1981-2020) were examined using the AgERA5 dataset. Then, the diurnal temperature range (DTR) was calculated. In order to evaluate the performance of the AgERA5 dataset, the data from 56 meteorological stations and RMSE and R² metrics were used, and the Theil-Sen test was used to analyze the average trend. The results of the evaluation of the minimum and maximum temperatures showed that the AgERA5 dataset has high accuracy for temperature estimation. The trend showed that the monthly trend of minimum and maximum temperatures in Iran is increasing. The increasing trend of temperature over time is not constant and its rate varies in different months. However, the increasing trend of temperature during different months of the year is consistent for the two variables of minimum temperature and maximum temperature. In all months, the maximum temperature increase is observed in winter and March. The DTR index in Iran is a minimum of 0.48 and a maximum of 16.6 °C, which occurs in December and July, respectively. The maximum DTR occurs in the interior dry regions and the minimum occurs in northern and northwestern Iran. The maximum increasing trend of minimum and maximum temperatures is in March, which increases by 0.8 °C/decade and 1.2 °C/decade, respectively. In contrast to the maximum temperature, there is a decreasing trend of the minimum and maximum minimum temperature in November, which decreases by -0.1 °C/decade and -0.2 °C/decade, respectively.

Keywords: Temperature Trends, AgERA5, Diurnal Temperature Range (DTR), Iran

* Corresponding author: Azar Zarrin

E-mail: zarrin@um.ac.ir

Tel: + 9805138805287

How to cite this Article: Akhlaghi-Hosseiny, F., Zarrin, A., & Dadashi-Roudbari, A. (2022). Examining the Diurnal Temperature Range (DTR) in Iran using the AgERA5 dataset. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 189-208.

DOI:10.22067/geoeh.2021.72332.1104



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).





Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards


Volume 12, Issue 1 - Number 45, Spring 2023

<https://geoeh.um.ac.ir>

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.72332.1104> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و پنجم، بهار ۱۴۰۲، صص ۲۰۸-۱۸۹
مقاله پژوهشی

بررسی دامنه شبانه‌روزی دما در ایران با استفاده از مجموعه داده AgERA5

سیده فاطمه اخلاقی حسینی - کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
 آذر زرین^۱ - دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
عباسعلی داداشی رودباری - پژوهشگر پس‌ادکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۱۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۹/۱۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۹/۲۶

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی دمای شبانه‌روزی در ایران انجام شده است. برای این منظور کمینه و بیشینه دما طی دوره آماری ۴۰ ساله (۲۰۲۰-۱۹۸۱) با استفاده از برون‌داد مجموعه داده AgERA5 بررسی و سپس دامنه شبانه‌روزی دما (DTR) محاسبه گردید. جهت درستی‌سنجی مجموعه داده AgERA5 از داده‌های ۵۶ ایستگاه هواشناسی هم‌دید و سنجه‌های آماری RMSE و R^2 و برای بررسی متوسط روند از آزمون Theil-Sen استفاده گردید. نتایج درستی‌سنجی دمای کمینه و بیشینه نشان داد که مجموعه داده AgERA5 از دقت بالایی برای برآورد دما برخوردار است و روند ماهانه دمای کمینه و بیشینه در ایران افزایشی است. روند افزایش دما در طول زمان ثابت نبوده و در ماه‌های مختلف متفاوت است. باین‌حال روند افزایشی دما طی ماه‌های مختلف سال برای دو متغیر دمای کمینه و دمای بیشینه هماهنگ است. در تمامی ماه‌ها، بیشینه روند افزایشی دما در فصل زمستان و ماه مارس مشاهده می‌شود. شاخص DTR در ایران حداقل ۰/۴۸ و حداکثر ۱/۶۶ درجه سلسیوس است که به ترتیب در ماه‌های دسامبر و ژوئیه اتفاق می‌افتد. بیشینه شاخص DTR در مناطق خشک داخلی و کمینه آن در مناطق شمالی و شمال‌غربی کشور رخ می‌دهد. بیشینه روند افزایشی دمای کمینه و بیشینه در ماه مارس است که به ترتیب ۰/۸ و ۱/۲ به ازای

Email: zarrin@um.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۵۱۳۸۸۰۵۲۸۷

نحوه ارجاع به این مقاله:

اخلاقی حسینی، سیده فاطمه؛ زرین، آذر؛ داداشی رودباری، عباسعلی؛ ۱۴۰۲. بررسی دامنه شبانه‌روزی دما در ایران با استفاده از مجموعه داده AgERA5. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۱). صص ۲۰۸-۱۸۹

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.72332.1104>

هر دهه افزایش می‌یابد. در مقابل بیشینه روند کاهشی دمای کمینه و بیشینه در ماه نوامبر است که به ترتیب با ۰/۱- و ۰/۲- به ازای هر دهه کاهش می‌یابد.

کلیدواژه‌ها: روند دما، AgERA5، دامنه شبانه‌روزی دما (DTR)، ایران.

۱- مقدمه

دما یک متغیر مهم اقلیمی است که در بیش‌تر مطالعات به دلیل در دسترس بودن داده‌های بلندمدت و پیوسته در تمامی مناطق جغرافیایی جهان مورد توجه قرار گرفته است. همچنین دما با سایر متغیرهای مهم اقلیمی مانند رطوبت هوا، تابش خورشید، سرعت باد، بارش و تبخیر و تعرق رابطه مستقیم یا غیرمستقیم دارد (احمدی و همکاران، ۲۰۱۸)؛ به‌طوری‌که وردایی دما می‌تواند نقش کلیدی در وردایی سایر عناصر اقلیمی داشته باشد.

روند افزایشی دما به‌عنوان یک نمود آشکار از گرمایش جهانی است که در سال‌های اخیر مورد بحث و بررسی بسیار بوده است. گرمایش جهانی یک پدیده پیچیده است که در آن عوامل جهانی و محلی به‌گونه‌ای با یکدیگر درهم‌تنیده‌اند که تحلیل آن چندان ساده نیست (گونزالس هیدالگو و همکاران، ۲۰۲۱). در خصوص وردایی دما، روند افزایشی آن در پژوهش‌های مختلفی در سطح جهانی (رامس‌تورف و همکاران، ۲۰۱۷) و ایران (زرین و داداشی‌رودباری، ۱۴۰۰) مورد بررسی قرار گرفته است. باین‌حال وردایی دمای سالانه حاصل برهمکنش پیچیده‌ای از فرآیندهای فیزیکی است که در مقیاس‌های زمانی مختلف برای دمای بیشینه و دمای کمینه متفاوت عمل می‌کنند. بررسی کلی از مطالعات انجام شده (گلیکسنر و همکاران، ۲۰۲۰؛ نوئل و همکاران، ۲۰۲۱) نشان می‌دهد که تحلیل داده‌های میانگین فصلی یا سالانه برای درک وردایی زمانی-مکانی روندهای دما کافی نیست. در مقابل حتی وقتی که تحلیل‌های دمای کمینه و بیشینه که در مقیاس ماهانه و به‌طور جداگانه در نظر گرفته می‌شوند، کماکان الگوی مناسبی از وردایی منطقه‌ای دما را ارائه نخواهند داد. در نتیجه، مطالعه‌ای که دامنه شبانه‌روزی دما و دمای کمینه و بیشینه را به‌طور همزمان و با مجموعه داده‌هایی با تفکیک بالا به جهت زمانی-مکانی مطالعه نماید از اهمیت بالایی برای درک الگوهای منطقه‌ای دما و روند آن برخوردار است.

تحقیقات اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای و محلی نیاز به داده‌هایی با تفکیک افقی بالا دارد. باوجوداین، مجموعه داده‌های اقلیمی اغلب با مشکلات مربوط به کیفیت و همگنی سری مشاهدات و تراکم مکانی کم روبرو هستند (جنیس و همکاران، ۲۰۰۴). راتو و همکاران^۱ (۲۰۱۸) نشان دادند که تفاوت‌های اساسی بین مجموعه داده‌های

1 González Hidalgo et al

2 Rahmstorf et al

3 Gleixner et al

4 Noël et al

5 Janis et al

6 Rao et al

جهانی وجود دارد که می‌تولند مربوط به تفاوت در تراکم مکانی داده‌های مشاهداتی و روش‌های درون‌یابی باشد (بگوریا و هوث^۱، ۲۰۰۸). در هر صورت، به‌عنوان یک قاعده کلی، برونداد مجموعه داده‌های بازتحلیل در مقیاس‌های منطقه‌ای و محلی متفاوت است (رائو و همکاران^۲، ۲۰۱۸). مجموعه داده‌های بازتحلیل نقایص شبکه‌های ایستگاه‌های زمینی را عمدتاً به این دلیل که آن‌ها کل سطح زمین پوشش می‌دهند و همچنین از سایر محصولات مانند داده‌های ماهواره‌ای، رادار، لیدار و بویه و جو بالا استفاده می‌کنند، بهبود می‌بخشند. اگرچه هنوز برای درستی سنجی این مجموعه داده‌ها به ایستگاه‌های زمینی نیاز است.

مجموعه داده‌های بازتحلیل و بخصوص ERA5 نقش مهمی در مطالعات اقلیمی دارند که بر همین اساس پژوهش‌های بسیاری از مجموعه داده‌های بازتحلیل استفاده می‌کنند. کارایی مجموعه داده بازتحلیل ERA5 در مطالعات بسیاری در سطح جهانی مورد بررسی قرار گرفته است. پژوهش‌های بسیاری (آلبرگل و همکاران^۳، ۲۰۱۸؛ جانسون و همکاران^۴، ۲۰۱۹؛ گلیکسنر و همکاران^۵، ۲۰۲۰) دقت بالاتر داده‌های ERA5 را برای متغیرهای دمای (دمای میانگین، کمینه و بیشینه) نسبت به مجموعه داده بازتحلیل نسخه پیشین (ERA-Interim) مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو (ECMWF) گزارش دادند. همچنین درستی مجموعه داده ERA5 برای دما در سطح جهانی مورد بررسی و دقت آن در کشورهای اسپانیا (رویه و همکاران^۶، ۲۰۲۰)، ایالات متحده آمریکا (دوترا و همکاران^۷، ۲۰۲۱) و قاره آمریکای شمالی (تانگ و همکاران^۸، ۲۰۲۰) مورد تأیید گرفته است.

در مطالعات اخیر روند افزایشی دما بسیار مورد توجه بوده است. روند افزایشی دما در سطح جهانی با استفاده از داده‌های ERA-Interim در دشت‌های کانادا (بتس و همکاران^۹، ۲۰۱۷) و با استفاده از داده‌های ERA5 در مناطق شمال و شمال شرقی برزیل (کورئا و همکاران^{۱۰}، ۲۰۲۰)، چین (بائس^{۱۱}، ۲۰۲۰) و در سطح جهان (کوزوبک و همکاران^{۱۲}، ۲۰۲۰؛ نوئل و همکاران^{۱۳}، ۲۰۲۱) گزارش شده است.

وردایی زمانی-مکانی دما و روند آن در ایران نیز موضوع تحقیقاتی گسترده‌ای بوده است که در پژوهش‌های بسیاری مورد توجه قرار گرفته است. وردایی دمای ایران با استفاده از داده‌های مختلفی همچون مجموعه داده اسفزاری

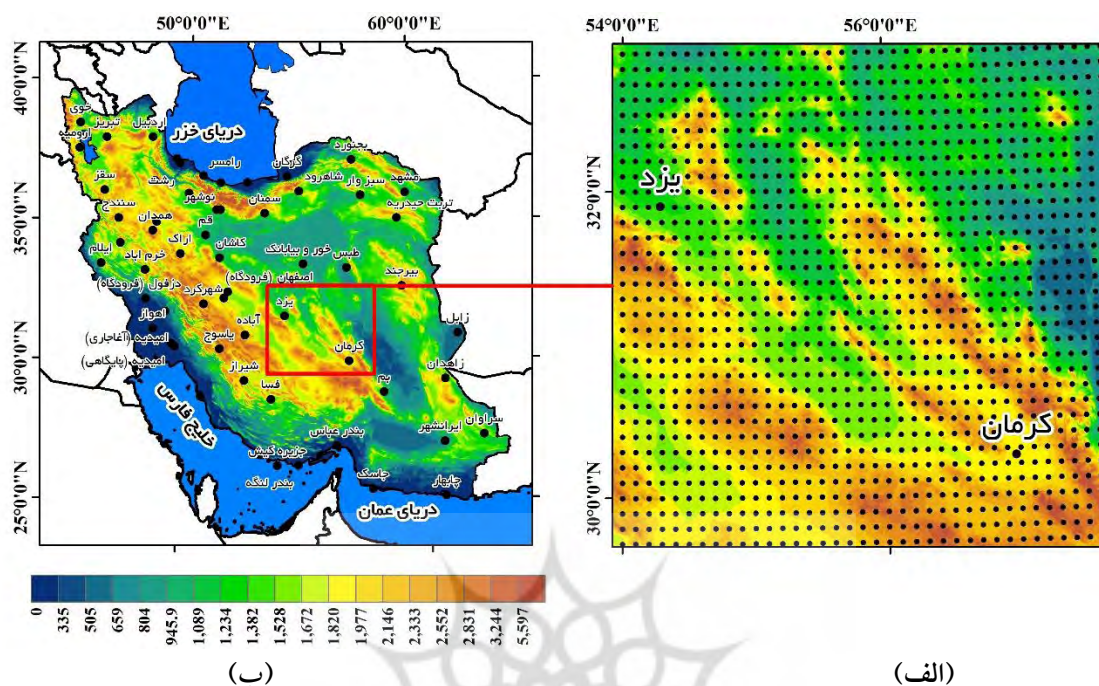
- 1 Beranová & Huth
- 2 Rao et al
- 3 Albergel et al
- 4 Johannsen et al
- 5 Gleixner et al
- 6 Royé et al
- 7 Dutra et al
- 8 Tang et al
- 9 Betts & Beljaars
- 10 Correa et al
- 11 Byass
- 12 Kozubek et al
- 13 Noël et al

(مسعودیان، ۱۳۸۷؛ منتظری، ۱۳۹۳)، ایستگاه‌های هواشناسی همدید (نظری پور و همکاران، ۱۳۹۴) و نسخه ERA Interim مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو (ECMWF) (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷) انجام شده است. در تمامی این مطالعات بسته به داده مورد استفاده الگوهای دمایی در ایران با تغییرات عرض جغرافیایی و ارتفاع تغییر می‌کنند. در این مطالعات بیشینه دما در مناطق جنوبی و کمینه دما در مناطق کوهستانی و شمال‌غربی ایران گزارش شده‌اند. به همین ترتیب روند دما نیز در پژوهش‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. برای نمونه، مسعودیان (۱۳۸۳) نشان داد که در نیم سده گذشته دمای شبانه، روزانه و شبانه‌روزی ایران به ترتیب با آهنگ حدود ۳، ۱ و ۲ درجه در هر صدسال افزایش داشته است. سبزی‌پرور و همکاران (۱۳۹۳) نیز با مطالعه دما در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور نشان دادند که روند افزایشی دما به‌خصوص برای میانگین‌های ماهانه دمای حداقل شبانه مشهودتر بوده است. احمدی و داداشی رودباری (۱۳۹۸) با بررسی روند دمای نسخه ERA Interim از مجموعه داده ECMWF نشان دادند که بیشینه متوسط روند افزایشی دمای کشور مربوط به فصل زمستان و کمینه آن متعلق به فصل پاییز بوده است. جمع‌بندی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد به‌رغم آنکه دما و روند وردایی آن در ایران موضوع پژوهشی ویژه‌ای بوده است؛ اما در بیشتر این مطالعات تنها دمای میانگین مورد بررسی قرار گرفته است. هرچند که دمای میانگین در مقیاس‌های ماهانه تا سالانه اطلاعات ارزشمندی را ارائه می‌دهد، اما نگرش صحیحی را از وردایی دمای شبانه‌روزی ارائه نخواهد داد. از سوی دیگر بخش‌های قابل توجهی از کشور فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری بخصوص در مناطق کوهستانی و کویرهای داخلی است که لزوم به‌کارگیری داده‌های شبکه‌ای بیش‌ازپیش احساس می‌شود. این پژوهش با هدف بررسی درستی متغیر دمای کمینه و بیشینه مجموعه داده AgERA5 و تحلیل دامنه شبانه‌روزی دما (DTR) در ایران انجام شده است. بر این اساس، در گام نخست داده‌های دمای کمینه و بیشینه مجموعه داده AgERA5 درستی سنجی شدند. سپس پراکنش زمانی-مکانی دمای کمینه، بیشینه و دامنه شبانه‌روزی دما در ایران بررسی گردید.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این پژوهش کشور ایران در جنوب غربی آسیا است (شکل ۱). اقلیم غالب کشور ایران خشک و نیمه‌خشک است؛ اما به جهت گسترش زیاد آن در عرض جغرافیایی و قرارگیری در عرض‌های جنب‌حاره از یکسو، وجود ارتفاعات پهناوری همچون البرز و زاگرس و مجاورت با پهنه‌های آبی همچون دریای خزر، دریای عمان و خلیج‌فارس از سوی دیگر دارای خرد اقلیم‌های متنوع است. ارتفاعات نقش مهمی در وردایی دمای ایران دارند؛ به‌طوری‌که دو رشته‌کوه البرز و زاگرس به ترتیب در شمال و غرب ایران نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش دما و انباشت برف کشور در دوره سرد سال دارند.



شکل ۱- الف) نقطه شبکه‌های مجموعه داده AgERA5؛ ب) موقعیت جغرافیایی ۵۶ ایستگاه همدید و مدل رقومی ارتفاعی ایران

۲-۲- ایستگاه‌های همدید ایران

برای درستی سنجی برونداد دمای مجموعه داده AgERA5 از داده‌های ۵۶ ایستگاه همدید طی دوره آماری بلندمدت ۴۰ ساله (۱۹۸۱-۲۰۲۰) استفاده شد (موقعیت این ۵۶ ایستگاه در شکل ۱ نشان داده شده است). مبنای انتخاب ایستگاه‌ها کل ایستگاه‌های همدید موجود در کشور برای دوره مذکور بوده است. در این میان چند ایستگاه که غالباً مجموعه داده‌های نظامی نیروی هوایی می‌باشند (همانند دزفول و امیدیه-پایگاه) به جهت داشتن داده مفقود طولانی‌مدت از کل سری زمانی مورد مطالعه حذف گردیدند. چنانکه در شکل (۱) مشاهده می‌شود با وجود انتخاب حداکثر ایستگاه‌های در دسترس، کماکان بیش‌تر مناطق کشور شامل کویرهای داخلی و مناطق مرتفع کوهستانی فاقد ایستگاه اندازه‌گیری می‌باشند. مرتفع‌ترین ایستگاه موجود شهرکرد با ۲۰۴۸/۹ متر از سطح دریا است و مناطق بالاتر از آن در دوره آماری یاد شده فاقد ایستگاه اندازه‌گیری می‌باشند. لذا بررسی تغییرات شبانه‌روزی دمای ایران با این تعداد از ایستگاه‌ها به جهت جغرافیایی نمی‌تواند درک درستی از وضعیت دمای کشور ارائه دهد. بر این اساس از داده‌های ۵۶ ایستگاه همدید فقط برای درستی سنجی داده‌های AgERA5 استفاده گردید.

۲-۳- مجموعه داده مدل جوی عملیاتی با تفکیک افقی بالا (ECMWF-AgERA5)

مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو (ECMWF) در نسخه ERA5 پیشرفت‌های زیادی داشته است که بر این اساس جامعه علمی را با چالش «داده بزرگ Big Data» روبرو کرده است. فضای ذخیره‌سازی داده‌های ERA5 در مقایسه با ERA-INTRIM، افزایش تقریباً ۸۰ برابری را نشان می‌دهد (هوفمن و همکاران^۱، ۲۰۱۹). با توجه به افزایش چشمگیر منابع مورد نیاز برای کار با مجموعه داده‌های جدید ERA5، بررسی درستی آن برای برآورد متغیرهای اقلیمی بسیار مهم است.

در این پژوهش نسخه AgERA5 از مدل جوی عملیاتی ECMWF با تفکیک افقی بالا (HRES) برای بررسی وردایی شبانه‌روزی دمای ایران استفاده شده است. به‌غیر از دو متغیر دمای کمینه و دمای بیشینه که برونداد مستقیم این مجموعه داده هستند، شاخص دامنه شبانه‌روزی دما (DTR) نیز محاسبه و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت. این مجموعه داده، داده‌های روزانه هواشناسی سطح زمین را از ۱۹۷۹ تاکنون به‌عنوان یک ورودی مورد اطمینان برای مطالعات کشاورزی و آگرواکولوژی ارائه می‌دهد. این مجموعه داده بر اساس داده‌های ساعتی ECMWF-ERA5 (هرسباخ و همکاران^۲، ۲۰۲۰) برای متغیرهای سطح زمین توسعه داده شده است و به‌عنوان AgERA5 نامیده می‌شود. از آنجایی که پیش‌پردازش داده‌های اصلی ERA5 یک کار پیچیده و تخصصی است با ارائه مجموعه داده AgERA5، کاربران می‌توانند مستقیماً از داده‌های قابل اعتماد برای تجزیه و تحلیل‌های مکانی و مدل‌سازی‌ها استفاده کنند. داده‌های AgERA5 با گام زمانی روزانه و با تفکیک افقی ۰/۱ درجه قوسی (۹ کیلومتر بر اساس سیستم تصویر بکار گرفته شده) با یک توپوگرافی دقیق تصحیح شده‌اند. تصحیح داده‌ها برای هر یک از نقطه شبکه‌ها بر اساس معادلات رگرسیونی مجموعه داده مبنای ERA5 انجام شده است. این معادلات بر روی مدل جوی عملیاتی ECMWF با تفکیک افقی بالا (HRES)، با تفکیک افقی ۰/۱ درجه قوسی آموزش داده شده‌اند (ایهارد و همکاران^۳، ۲۰۱۸). به‌این ترتیب داده‌های AgERA5 با توپوگرافی، کاربری اراضی و خط ساحلی دقیق‌تر برای مدل ECMWF-HRES تنظیم شدند که نسبت به داده‌های اولیه ERA5 که دارای تفکیک افقی ۰/۲۵ درجه قوسی هستند، از دقت بالاتری برخوردارند (یو و همکاران^۴، ۲۰۲۱).

۲-۴- سنج‌های آماری مورد استفاده جهت درستی سنجی

برای درستی سنجی برونداد دمای کمینه و بیشینه مجموعه داده AgERA5 از دو سنج آماری $RMSE$ و R^2 استفاده شد (جدول ۱).

1 Hoffmann et al
2 Hersbach et al
3 Ehard et al
4 Yu et al

جدول ۱- سنج‌های آماری مورد استفاده در این پژوهش

سنج آماری	نحوه محاسبه آماره
مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)	$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (z^*(X_i) - Z(X_i))^2}$
ضریب تعیین (R^2)	$R^2 = \frac{(\sum (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum (P_i - \bar{P})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2}$

در رابطه، RMSE، $z^*(X_i)$ مقدار برآورد شده متغیر در X_i ، مقدار مشاهده‌ای متغیر در X_i ، n تعداد کل داده‌های مشاهده‌ای است. در رابطه (R^2) مقدار شبیه‌سازی شده (مجموعه داده AgERA5) و O_i مقدار مشاهداتی (ایستگاه‌های همدید) است.

۲-۵- آزمون شیب روند

شیب روند سری زمانی دمای کمینه و بیشینه ایران با استفاده از برآوردگر شیب خط ناپارامتری Theil-Sen محاسبه شد (رابطه ۱).

$$\beta = \text{median} \left(\frac{X_i - X_j}{i - j} \right), \forall j < i \quad (1)$$

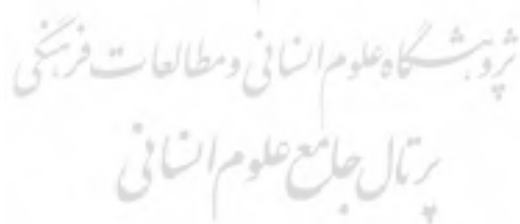
در رابطه فوق، $1 < j < i < n$ برآورد کننده شیب خط است و β میانه برای کل مجموعه داده است.

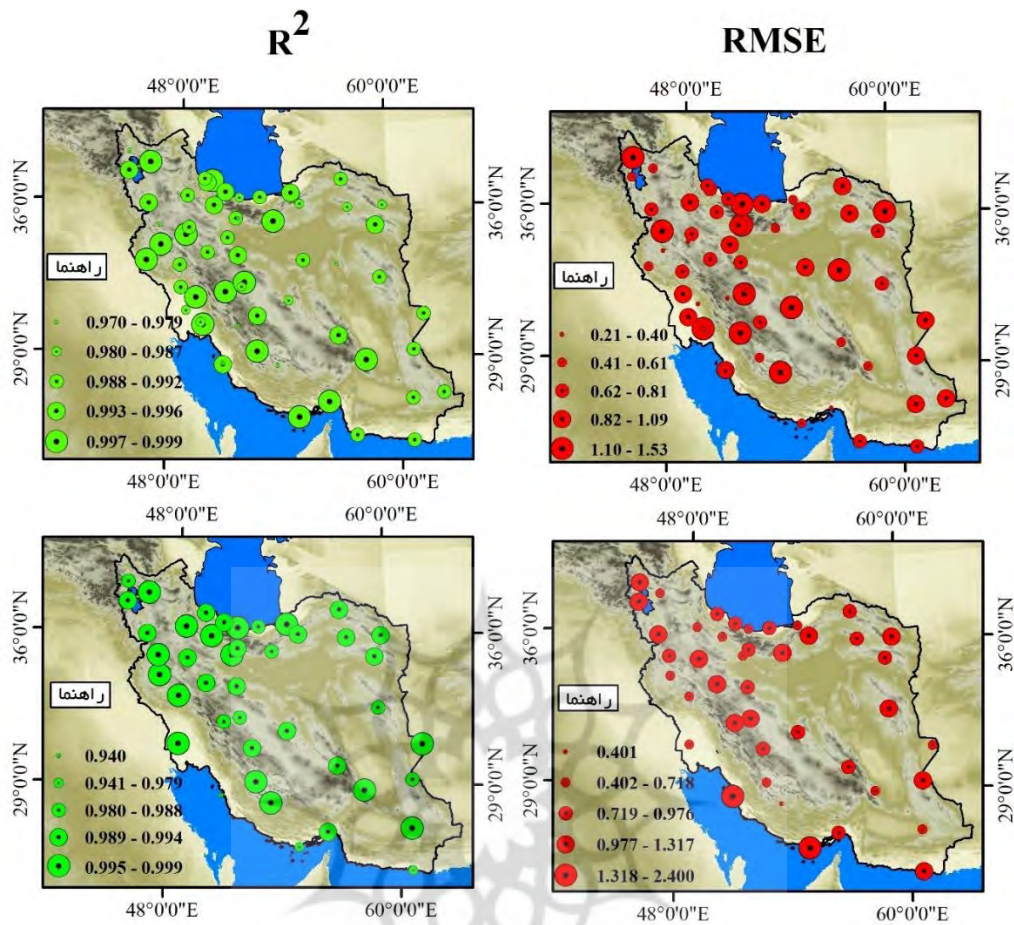
۳- نتایج و بحث

۳-۱- درستی سنجی دمای کمینه و بیشینه مجموعه داده AgERA5 در ایران

برای درستی سنجی برون‌داد مجموعه داده AgERA5 از ۵۶ ایستگاه همدید کشور طی دوره آماری بلندمدت ۱۹۸۱ الی ۲۰۲۰ با استفاده از دو سنجی آماری مجموع مربعات خطا (RMSE) و ضریب تعیین (R^2) استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده برون‌داد دمای کمینه و بیشینه پایگاه AgERA5 برای دمای ایران برآورد مناسبی دارد (شکل ۲). مطابق با شکل (۲)، ضریب تعیین برای تمامی ایستگاه‌ها بیش از ۰/۹۸ است. این امر نشان می‌دهد که برون‌داد دمای کمینه و بیشینه مجموعه داده AgERA5 می‌تواند بیش از ۹۸ درصد از وردایی شبانه‌روزی دمای مشاهداتی را تبیین نماید. مقدار سنج RMSE در بین ایستگاه‌ها از ۰/۲۱ در بندرانزلی تا ۱/۵۳ در ایستگاه شهرکرد متغیر است. بررسی سنج RMSE نشان می‌دهد که AgERA5 در برآورد دمای کمینه ایستگاه‌های مناطق کوهستانی و مرتفع (نظیر شهرکرد) از دقت کمتری برخوردار است که سه عامل مهم در آن نقش دارند: ۱- چنانکه در بخش داده و روش به آن اشاره شد مرتفع‌ترین ایستگاه هواشناسی مورد استفاده در این پژوهش ایستگاه شهرکرد با ۲۰۴۸/۹ متر ارتفاع از

سطح دریا است و بالاتر از این ارتفاع برای دوره زمانی نامبرده ایستگاهی در دسترس نیست. ۲- توپوگرافی پیچیده و ۳- فاصله ایستگاه‌ها تا نزدیک‌ترین نقطه شبکه مجموعه داده AgERA5. بدیهی است موقعیت جغرافیایی نقطه شبکه در ارتفاع بالاتر/پایین‌تر نسبت به ایستگاه قرار دارد و از این رو اختلاف دمای بین ایستگاه و نقطه شبکه داده‌های بازتحلیل باعث افزایش خطا به شکل غیرواقعی می‌شود؛ اما در مقابل مجموعه داده AgERA5 در برآورد دمای بیشینه در مناطق خشک داخلی مانند سمنان و مناطق ساحلی شمال ایران مانند بندر انزلی از دقت بالاتری برخوردار است. در یک نگاه کلی مجموعه داده AgERA5 در برآورد دمای بیشینه ۲۰ درصد نسبت به دمای کمینه از دقت بالاتری برخوردار است. دقت کمتر دمای کمینه به‌ویژه در محدوده‌های شهری بزرگ مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر تهران، مشهد، یزد، اصفهان، بوشهر و شاهرود را می‌توان با نتایج برومیچ و همکاران^۱ (۲۰۱۲) مبنی بر وجود اشکالاتی در پارامترسازی ابرها، تابش موج بلند و لایه آمیخته متلاطم در مدل ECMWF توجیه کرد. نتایج بررسی سنج RMSE نشان می‌دهد که دمای کمینه و بیشینه مجموعه داده AgERA5 به ترتیب در ۷/۵۸ و ۹/۲۷ درصد از ایستگاه‌ها خطایی کمتر از ۱ درجه سلسیوس دارد. لذا روی هم‌رفته می‌توان نتیجه گرفت که نسخه AgERA5 از مدل جوی عملیاتی ECMWF با تفکیک افقی بالا (HRES) دقت لازم را در برآورد دمای کمینه و بیشینه در ایران دارد.





شکل ۲- سنج‌های آماری درستی سنجی دمای کمینه و بیشینه در ایران بر اساس برونداد مجموعه داده AgERA5

۳-۲- میانگین دمای ماهانه و روند آن در ایران

همان‌طور که در جدول (۲) نشان داده شده است، میانگین دمای کمینه ایران بر اساس داده‌های AgERA5 از ۰/۲۱ درجه سلسیوس در ارتفاعات شمال‌غرب در ماه ژانویه تا ۲۳/۴۱ درجه سلسیوس در کویرهای داخلی و جنوب‌غربی ایران در ماه ژوئیه در نوسان است. میانگین دمای بیشینه ایران نیز بین ۶/۲۱ درجه سلسیوس در ماه ژانویه تا ۳۲/۹۳ درجه سلسیوس در ماه ژوئیه در مناطق مذکور در نوسان است. بر این اساس ژانویه سردترین و ژوئیه گرم‌ترین ماه ایران است. برای آشکارسازی تغییرات روند دمای ماهانه به ازای هر دهه در ایران، متوسط پهنه‌ای شیب روند دما محاسبه گردید. نتایج نشان داد که بیشینه و کمینه شیب روند برای دمای بیشینه به ترتیب در ماه‌های مارس و نوامبر به دست آمده است. این نتیجه نشان می‌دهد در سال‌های اخیر اقلیم ایران بخصوص در ماه‌های سرد سال در فصل زمستان گرم‌تر شده و از این‌رو بر طول دوره گرم افزوده شده است (جدول ۲).

متوسط دمای بیشینه ایران در ماه مارس به ازای هر دهه، $۱/۲۲$ درجه سلسیوس افزایش داشته و متوسط دمای کمینه ایران نیز در همین ماه $۰/۸۲$ درجه سلسیوس به ازای هر دهه افزایش داشته است که بالاترین میزان افزایش دمای ماهانه را در ۴۰ سال گذشته نشان می‌دهد. نوامبر تنها ماهی در ایران است که دمای بیشینه و کمینه آن برای متوسط پهنه کشور روند کاهشی دارد. به طوری که شیب روند برای دمای بیشینه $-۰/۲۱$ و برای دمای کمینه $-۰/۱۵$ درجه سلسیوس است؛ لذا می‌توان نتیجه گرفت بیشینه افزایش دما و تغییرات آن به ازای هر دهه در طی ۴۰ سال گذشته، در فصل زمستان رخ داده است.

جدول ۲- میانگین ماهانه دمای کمینه و بیشینه برای متوسط کشور به همراه شیب روند

ماه	دمای کمینه		دمای بیشینه	
	شیب روند	میانگین	شیب روند	میانگین
ژانویه	۰/۲۰	۶/۲۱	۰/۴۶	۰/۶۸
فوریه	۱/۵۱	۸/۴۴	۰/۷۲	۰/۹۱
مارس	۵/۶۴	۱۳/۵۵	۰/۸۲	۱/۲۲
آوریل	۱۱/۶۸	۲۰/۱۸	۰/۳۹	۰/۴۲
مه	۱۷/۵۷	۲۶/۲۲	۰/۴۷	۰/۴۲
ژوئن	۲۱/۷۲	۳۱/۲۱	۰/۳۸	۰/۳۳
ژوئیه	۲۳/۴۱	۳۲/۹۳	۰/۳۱	۰/۳۲
اوت	۲۱/۹۴	۳۱/۶۵	۰/۱۶	۰/۲۶
سپتامبر	۱۷/۸۹	۲۷/۵۴	۰/۳۳	۰/۳۵
اکتبر	۱۲/۶۷	۲۱/۰۹	۰/۵۲	۰/۵۵
نوامبر	۶/۷۳	۱۳/۵۱	-۰/۱۵	-۰/۲۱
دسامبر	۲/۲۴	۸/۰۹	۰/۲۶	۰/۴۹

۳-۳- پراکنش ماهانه دمای کمینه در ایران مبتنی بر برونداد مجموعه داده AgERA5

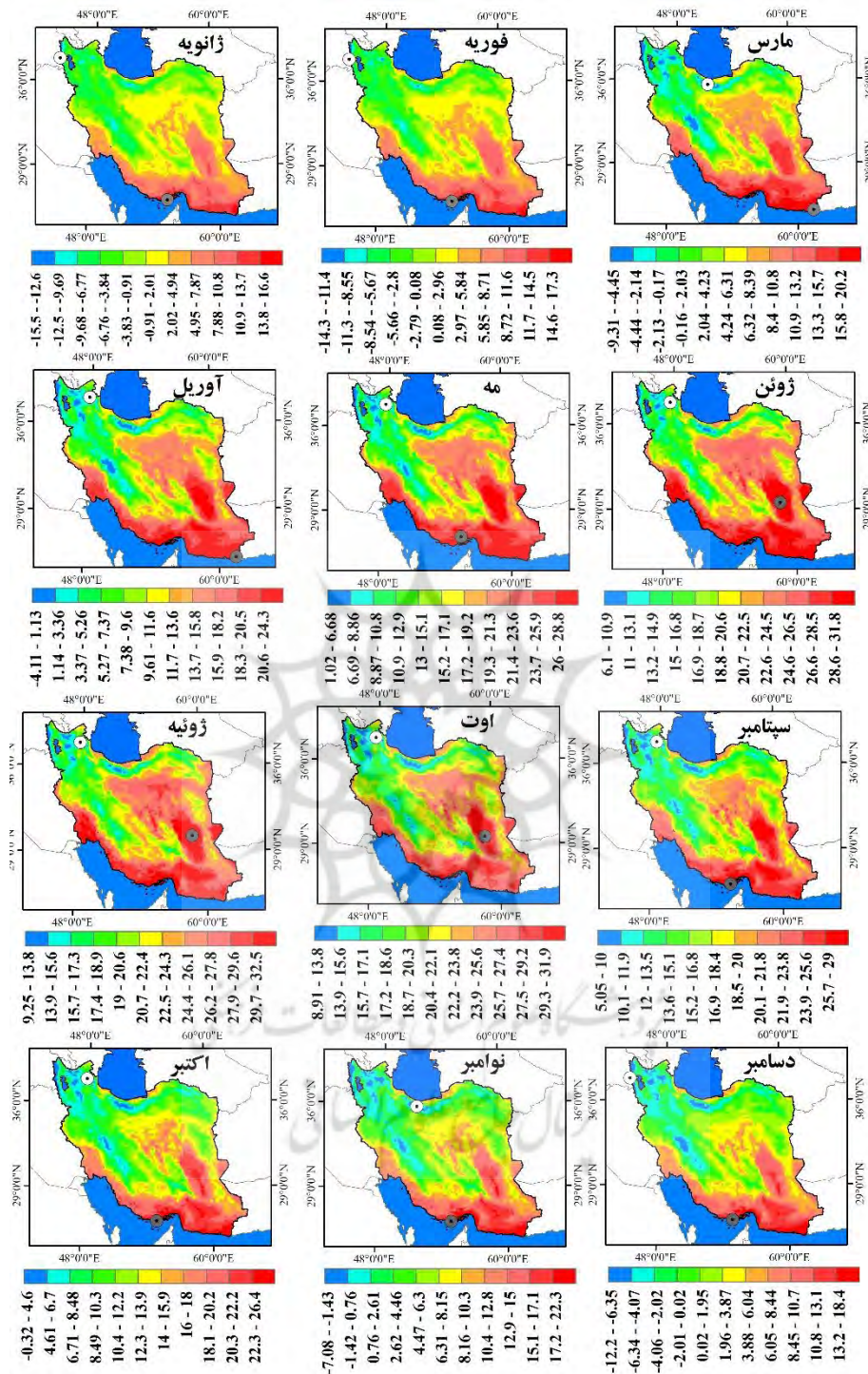
توزیع فضایی دمای کمینه ایران در ماه ژانویه در شکل (۳) نشان داده شده است. در این ماه، بخش‌های قابل توجهی از کوهستان‌های شمال و شمال غرب کشور دمای کمتر از صفر درجه سلسیوس را تجربه می‌کنند. کمینه دما با $۱۵/۵$ درجه سلسیوس در ارتفاعات البرز مشاهده می‌شود. دمای کمتر از صفر درجه سلسیوس در دیگر ماه‌های فصل زمستان در ماه فوریه و مارس به ترتیب با حداقل دماهای $۱۴/۳$ و $۹/۳۱$ درجه سلسیوس در ارتفاعات البرز، زاگرس و شمال غرب ایران دیده می‌شود. مناطق ذکر شده همگی در عرض جغرافیایی بالاتر از مدار ۳۰ درجه شمالی قرار گرفته‌اند و از ماکو تا مشهد را در بر می‌گیرند. در مقابل مناطق پایین‌تر از مدار ۳۰ درجه شمالی

دارای دمای کمینه بالاتر از ۱۰ درجه سلسیوس هستند. بیشینه دمای کمینه در ماه‌های فصل زمستان در مارس با مقدار ۲۰/۲ درجه سلسیوس در سواحل مکران و چابهار دیده می‌شود (شکل ۳).

با شروع فصل بهار کمینه دما همچنان در مناطق کوهستانی و در عرض‌های جغرافیایی بالا دیده می‌شود؛ به طوری که در ماه آوریل کمینه دما با ۴/۱- درجه سلسیوس در ارتفاعات مازندران و آذربایجان غربی دیده می‌شود. بیشترین مقدار دمای کمینه در پهنه ایران در ماه‌های آوریل، مه و ژوئن روند افزایشی دارد؛ به طوری که بیشینه دما از ۲۴/۳ درجه سلسیوس در ماه آوریل به ۳۱/۸ درجه سلسیوس در ماه ژوئن رسیده است که در برگیرنده کل مناطق جنوبی ایران به همراه مناطق خشک ایران مرکزی است. در ماه مه دمای کمینه بین حداقل ۱/۰۲ تا حداکثر ۲۸/۸ درجه سلسیوس در ایران در تغییر است. با توجه به شکل (۳) کمینه دما علاوه بر مناطق شمال و شمال غرب کشور، ارتفاعات کرمان و خراسان جنوبی را هم تحت سیطره قرار داده است.

پایین‌ترین مقادیر دمای کمینه در فصل تابستان در هیچ منطقه‌ای از ایران به بالاتر از ۱۰ درجه سلسیوس نمی‌رسد. به طوری که حداقل دمای کمینه در ایران ۹/۲۵، ۸/۹۱ و ۵/۰۵ درجه سلسیوس است که به ترتیب در ماه‌های ژوئیه، اوت و سپتامبر دیده می‌شود. به همین ترتیب بیشینه دمای کمینه در ایران برای ماه‌های فصل تابستان ۲۴/۳، ۳۱/۹ و ۲۹ درجه سلسیوس به دست آمده است. با شروع فصل پاییز حداقل دمای کمینه در تمام مناطق کشور منفی می‌شود. حداقل دمای کمینه از ۰/۳۲- درجه سلسیوس در ماه اکتبر به ۱۲/۲- درجه سلسیوس در ماه دسامبر می‌رسد. کمینه دما عمدتاً در ارتفاعات البرز و زاگرس قابل مشاهده است.

بررسی نقطه شبکه‌هایی با بیشینه مطلق دمای کمینه نشان می‌دهد که ۹ ماه از ۱۲ ماه سال بیشینه دمای کمینه در سواحل جنوبی ایران قرار دارد و تنها در سه ماه ژوئن، ژوئیه و اوت بیشینه دمای کمینه ایران در دشت لوت قرار دارد (شکل ۳). به همین ترتیب نقطه شبکه‌هایی با کمترین دمای کمینه نیز در ۱۰ ماه از سال در شمال غرب ایران دیده می‌شوند که در سه ماه دسامبر، ژانویه و فوریه در منطقه مرزی ایران با ترکیه و در دیگر ماه‌ها در منطقه بین سهند و سبلان قرار دارند. مقایسه نتایج به دست آمده برای دمای بیشینه نشان می‌دهد که بیشینه مطلق دمای بیشینه در ۷ ماه از ۱۲ ماه سال در دشت لوت قرار دارد و در پنج ماه دیگر سال در سواحل جنوبی و جنوب شرقی کشور دیده می‌شود (شکل ۴). کمینه دمای بیشینه نیز در ۱۱ ماه از سال در البرز مرکزی و اطراف قله دماوند قرار گرفته است که با توجه به ارتفاع زیاد این منطقه در ایران دور انتظار نبوده است. تنها در ماه مه این کانون به شمال غربی ایران در منطقه اردبیل تغییر مکان داده است. لذا دشت لوت را می‌توان گرم‌ترین نقطه ایران در طول روز و سواحل جنوبی و جنوب شرقی را نیز گرم‌ترین منطقه ایران در طول شب دانست. درست در نقطه مقابل، سردترین منطقه ایران در طول سال در شب، شمال غرب و در روز، البرز مرکزی است.



شکل ۳- توزیع فضایی دمای کمینه ایران بر اساس برونداد مجموعه داده AgERA5 (دایره سفید موقعیت کمینه دما و دایره خاکستری موقعیت بیشینه دما است)

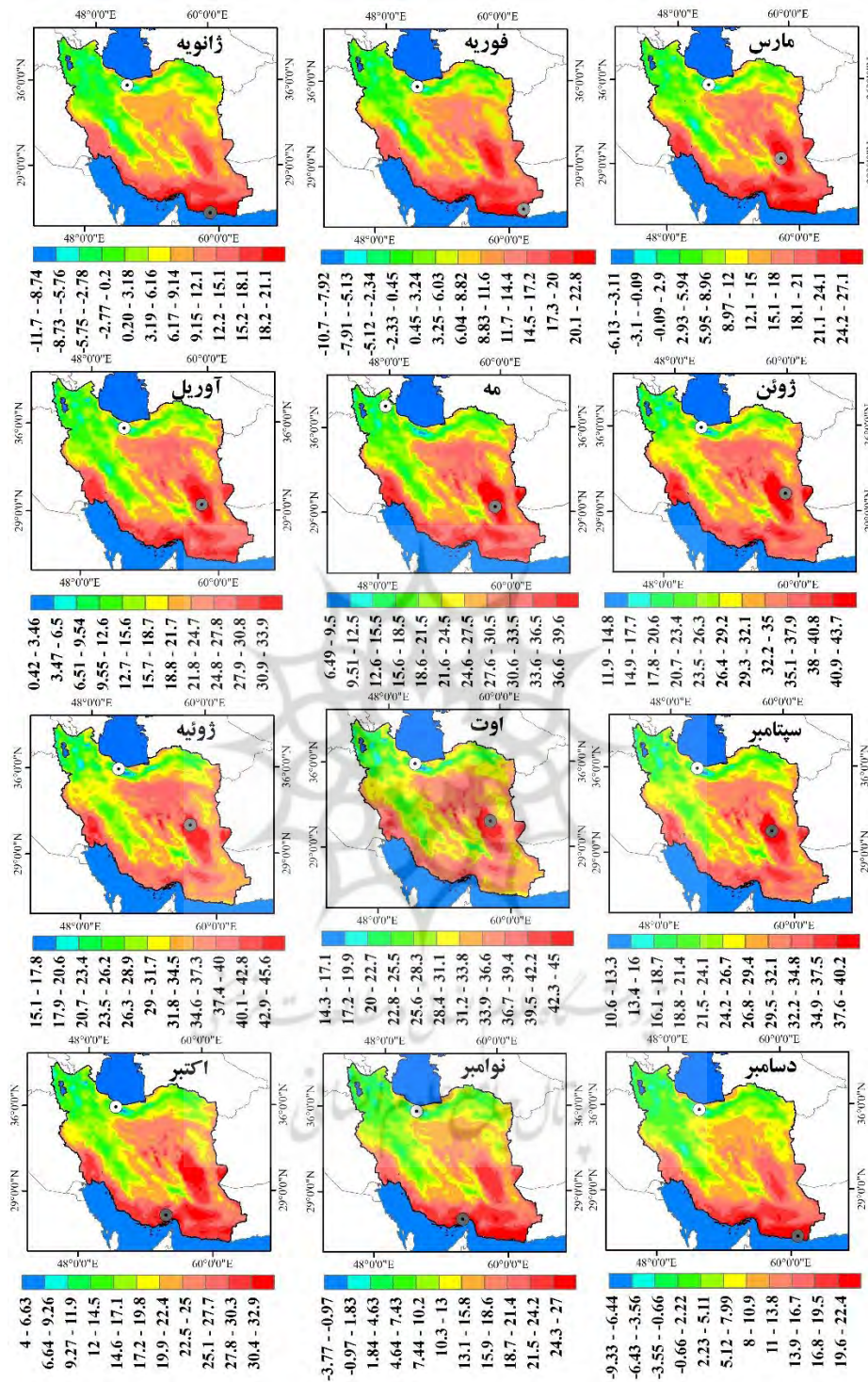
۳-۴- پراکنش ماهانه دمای بیشینه در ایران مبتنی بر برونداد مجموعه داده AgERA5

بررسی توزیع فضایی دمای بیشینه در ایران در ماه ژانویه نشان می‌دهد که بخش‌های بزرگی از مناطق کوهستانی شمال، شمال‌غرب و غرب کشور دمای زیر صفر را تجربه می‌کنند (شکل ۴). کمترین دمای بیشینه ۱۱/۷- درجه سلسیوس در ماه ژانویه در ارتفاعات البرز مشاهده می‌شود. همچنین در ماه‌های فوریه و مارس پایین‌ترین دمای بیشینه به ترتیب با ۱۰/۷- و ۶۳- درجه سلسیوس در ارتفاعات البرز دیده می‌شود. رشته‌کوه‌های زاگرس مرتفع به همراه سهند و سبلان در شمال‌غرب ایران نیز دمای کمتر از صفر را برای دمای بیشینه نشان می‌دهند. مناطق پایین‌تر از مدار ۳۰ درجه شمالی از خوزستان تا سواحل مکران و کرمان بیشینه دما را تجربه می‌کنند که بالاترین دما در فصل زمستان با ۲۷/۱ درجه سلسیوس در ماه مارس و در سواحل مکران دیده می‌شود.

دمای بیشینه در ماه‌های آوریل، مه و ژوئن نسبت به فصل زمستان روند افزایشی نشان می‌دهد. به طوری که بالاترین دمای بیشینه در ماه ژوئن به ۴۳ درجه سلسیوس رسیده است. به جهت توزیع فضایی دماهای مطلق بیشینه در مناطق جنوب غربی و شرقی بیش از سایر مناطق دیده می‌شوند. در این مناطق بیشینه دما در ماه‌های ژوئیه و اوت به بیش از ۴۵ درجه سلسیوس می‌رسد (شکل ۴).

به‌غیر از عوامل محلی و مؤلفه‌های بیوفیزیکی سطح زمین سامانه‌های همدیدی نیز به‌عنوان عوامل بیرونی مهم، سهم انکارناپذیری در وردایی دمای شبانه‌روزی ایران دارند. در دوره سرد سال که ایران تحت تأثیر بادهای غربی است وردایی شبانه‌روزی دما عمدتاً تابعی از آرایش سامانه‌های همدید منطقه‌ای است. طی دوره سرد سال، گذشته از نفوذ پرفشار سیبری، عبور سامانه‌های کم‌فشاری که همراه با بادهای غربی وارد کشور می‌شوند دمای هوا را به‌شدت کاهش می‌دهد. از جمله سامانه‌های اثرگذار بر افزایش دما در دوره گرم سال، پرفشار جنب حاره است. این پرفشار سامانه‌ای پویایی بزرگی است که محل فرونشینی هوا بوده و به دلیل گرمایش بی‌دررو و ایجاد پایداری، با هوای گرم، آفتابی و خشک همراه است.

همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است، در فصل پاییز بخش‌های بزرگی از مناطق مرکزی، سواحل جنوبی، غرب و جنوب غرب کشور دماهای بالاتر از ۳۰ درجه سلسیوس را تجربه می‌کنند. بیشینه دما در ماه اکتبر با ۳۲/۹ درجه سلسیوس در دشت لوت دیده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که بیشینه دما طی ۴۰ سال گذشته، به ازای هر دهه، ۰/۵ درجه سلسیوس افزایش یافته است. ادامه این روند می‌تواند منجر به خشکسالی‌های فراگیر در سطح کشور طی سال‌های آینده شود. در همین راستا احمدی و داداشی رودباری (۱۳۹۸) نشان دادند که در تمامی ماه‌های سال مناطقی از کشور که بین مدارهای ۳۰ تا ۳۵ درجه شمالی قرار دارند روند معنی‌دار افزایشی دما را تجربه می‌کنند.

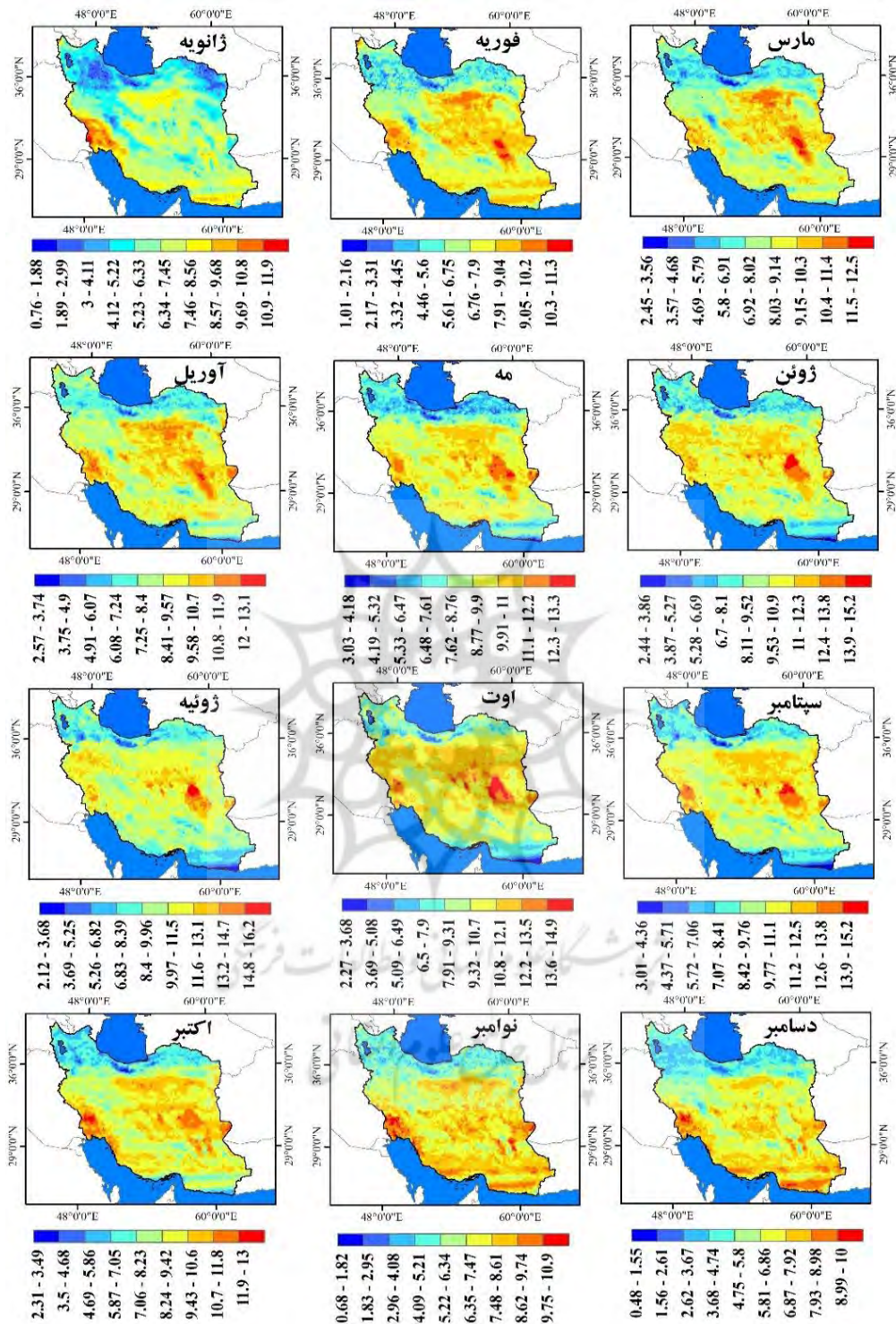


شکل ۴- توزیع فضایی دمای بیشینه ایران بر اساس برونداد مجموعه داده AgERA5 (دایره سفید موقعیت کمینه دما و دایره خاکستری موقعیت بیشینه دما است)

۳-۵- پراکنش ماهانه دامنه شبانه‌روزی دما (DTR) در ایران

دامنه شبانه‌روزی دما (DTR) به دلیل نقش مهمی که در مدیریت انرژی و نیاز گرمایش و سرمایش دارد مورد توجه ویژه‌ای است. لذا همان‌طور که پراکنش ماهانه دمای کمینه و بیشینه ایران با داده‌های AgERA5 مورد بررسی قرار گرفت شاخص DTR محاسبه و در شکل (۵) ارائه شد. نتایج شاخص DTR نشان می‌دهد که این شاخص حداقل ۰/۴۶ درجه سلسیوس در ماه دسامبر و حداکثر ۱۶۲ درجه سلسیوس در ماه ژوئیه در تغییر است. همان‌طور که نقشه‌های ماهانه دما نشان می‌دهند، شاخص DTR تقریباً در تمامی ماه‌های سال در بالاتر از مدار ۳۶ درجه شمالی کمتر از ۱۰ درجه سلسیوس است؛ اما برعکس، در مناطق خشک و بیابانی داخلی ایران این شاخص مقادیر قابل توجه بالاتر از ۱۰ درجه سلسیوس و حتی مقدار حداکثری ۱۶۲ درجه سلسیوس را در ماه ژوئیه تجربه نموده است. علت این افزایش قابل توجه در شاخص DTR به این دلیل است که دمای کمینه معمولاً در شب اتفاق می‌افتد و دمای شبانه تابعی از تابش طول موج بلند خروجی (OLR) است و تابش‌های طول موج کوتاه که در طی روز در وردایی دما نقش دارند در طول شب حذف می‌شوند. از طرف دیگر همان‌طور که می‌دانیم بخش‌های قابل توجهی از ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است. این مناطق را عمدتاً زمین‌های خشک و بدون پوشش گیاهی و با ابرناکی پایین در بر گرفته است. این مناطق در طول شب به سرعت دمای خود را از دست داده و دمای پایینی را به نسبت به روز تجربه می‌کنند که باعث افزایش قابل توجه شاخص DTR در این مناطق می‌شود.

بررسی شاخص DTR در ایران بخصوص در ماه‌های گرم سال از آوریل تا سپتامبر و حتی ماه اکتبر نشان می‌دهد که سواحل دریای عمان و بخش‌های از سواحل خلیج فارس در هرمزگان کمترین دامنه شبانه‌روزی دما (کمتر از ۵ درجه سلسیوس) را دارند. علت پایین بودن این شاخص به دلیل بالا بودن رطوبت نسبی و اثر گلخانه‌ای بخار آب موجود در جو این مناطق است. فرآیند جذب تابش طول موج بلند خروجی نقشی گرمایشی را ایفا می‌کند و باعث می‌شود دمای شبانه در این مناطق کاهش زیادی نسبت به دمای روزانه نداشته باشد و همین امر نقش تعیین‌کننده‌ای را در کاهش شاخص DTR دارد. کانون اصلی بیشینه این شاخص دشت لوت و سپس دشت کویر است. به طوری که در هیچ‌یک از ماه‌های سال شاخص DTR در دشت لوت یا بخش‌هایی از آن کمتر از ۱۰ درجه سلسیوس نمی‌شود. کمینه این شاخص نیز در مناطق کوهستانی شمال و شمال‌غرب ایران دیده می‌شود. البرز مرکزی را می‌توان نقطه مقابل دشت لوت برای این شاخص در نظر گرفت به طوری که شاخص DTR در تمامی ماه‌های سال حداکثر ۳/۶ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد که علت این امر ارتفاع زیاد و پوشش برف و یخ در این مناطق است. پوشش برف و یخ با سپیدایی بالای خود مانع از جذب تابش طول موج کوتاه ورودی شده و در نتیجه باعث می‌شود که اختلاف دمای بیشینه و کمینه قابل توجه نبوده و همین امر نقش تعیین‌کننده‌ای را در DTR پایین در این مناطق دارد.



شکل ۵- توزیع فضایی شاخص دامنه شبانه‌روزی دما (DTR) ایران بر اساس برونداد مجموعه داده AgERA5

۴- نتیجه‌گیری

تحقیقات اقلیمی در ایران اغلب به دلیل نبود داده‌های مشاهداتی همگن به جهت زمانی و مکانی با چالش مواجه است. اطلاعات درستی از شرایط اقلیمی کویرهای داخلی و مناطق کوهستانی مرتفع ایران، که فاقد ایستگاه اندازه‌گیری هواشناسی هستند، در دسترس نیست. برای غلبه بر این محدودیت، مجموعه داده‌های دمای کمینه و بیشینه نسخه AgERA5 از مدل جوی عملیاتی ECMWF با تفکیک افقی بالا (HRES) برای ایران (۲۰۲۰-۱۹۸۱، ۴۰ سال) مورد استفاده قرار گرفت و شاخص دامنه شبانه‌روزی دما (DTR) نیز محاسبه گردید.

نتایج نشان داد دمای کمینه و بیشینه AgERA5 انطباق خوبی با متغیرهایی همچون ارتفاع و عرض جغرافیایی دارد. همچنین برونداد این مجموعه داده نسبت به نسخه‌های پیشین ECMWF (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷) از دقت بالاتری برخوردار است. بررسی کارایی این مجموعه داده که با سنج‌های RMSE و R^2 انجام شد، نشان داد که داده‌های دمای کمینه و بیشینه مجموعه داده AgERA5 در ایران از دقت نسبتاً بالایی برخوردار هستند. باین حال در مقایسه با مشاهدات، همچنان دارای اریبی بیش‌تر از یک درجه سلسیوس در مناطق ساحلی و کوهستانی است. از طرف دیگر اگرچه AgERA5 دارای تفکیک افقی بالاتر و گام زمانی کوتاه‌تری نسبت به نسخه‌های پیشین همچون ERA-INTRIM است و از داده‌های مشاهداتی و ماهواره‌ای بیشتری استفاده می‌کند، اما همچنان دارای خطاهایی در مناطق کوهستانی و ساحلی کشور است. برهمکنش هوا، دریا و خشکی در نزدیکی ساحل برآورد دما را برای مدل دشوار کرده است. همچنین ذوب شدن یخ و پوشش برف بخصوص در آغاز دوره گرم سال به دلیل تفاوت سپیدایی از دیگر عواملی است که AgERA5 در برآورد صحیح دما دچار خطا می‌شود (ژو و همکاران، ۲۰۲۱).

در این پژوهش نشان داده شد که مجذور مربعات میانگین خطا برای دمای کمینه در ۷۷/۵۸ درصد از ایستگاه‌ها و برای دمای بیشینه در ۹۷/۲۷ درصد از ایستگاه‌ها کمتر از یک درجه سلسیوس است. این افزایش معنی‌دار در برآورد صحیح‌تر دمای شبانه‌روزی توسط هوفمن و همکاران^۱ (۲۰۱۹) نیز مورد تأیید قرار گرفته است. این امر به‌روشنی نشان‌دهنده سازگاری بهتر مدل پیش‌بینی ECMWF با مشاهدات از یکسو و داده‌گواری بهتر برای AgERA5 از سوی دیگر است. تحلیل دمای شبانه‌روزی کشور که بر اساس برونداد این مجموعه داده انجام شد، به‌خوبی ناهمگونی‌های مکانی و زمانی و روندهای بلندمدت دمای شبانه‌روزی را برجسته کرده است. پراکنش مکانی دما به‌طور کلی نسبت به سایر مطالعات انجام شده روی دمای ایران که با داده‌های شبکه‌ای انجام شده است (منتظری، ۱۳۹۳؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۷) بهبود یافته است. نتایج نشان داد که شاخص DTR در ایران حداقل ۰/۴۸ درجه سلسیوس و حداکثر ۱۶۲ درجه سلسیوس است. مناطق خشک و بیابانی داخلی و شرقی ایران در کل ماه‌های سال بیشینه شاخص DTR را به دلیل سپیدایی بالا و ابرناکی پایین دارا می‌باشند. کمینه شاخص DTR نیز در مناطق شمالی و شمال‌غربی

1 Zhu et al

2 Hoffmann et al

ایران به دلیل زبری سطح بالا و سپیدایی پایین دیده می‌شود. همچنین سواحل جنوبی ایران بخصوص در سواحل دریای عمان و بخش‌هایی از خلیج فارس در استان هرمزگان به دلیل جذب تابش طول موج بلند خروجی توسط بخار آب موجود در جو دلیلی است که باعث کاهش اختلاف دمای شبانه‌روزی در این مناطق می‌گردد.

بررسی روند تغییرات دمای ایران در طی ۴۰ سال گذشته نشان می‌دهد که دما متوسط کل کشور در توافق با چندین مطالعه قبلی (مسعودیان، ۱۳۸۳، سیزی‌پرور و همکاران، ۱۳۹۲؛ احمدی و داداشی رودباری، ۱۳۹۸) به‌غیر از ماه نوامبر روند افزایشی دارد. تحلیل ماهانه دمای کمینه و بیشینه نشان داد که به‌ویژه در مناطق کوهستانی دمای هوا در طی ماه‌های مختلف سال یکنواخت نبوده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشینه شیب روند دما در طی ماه‌های سرد سال اتفاق می‌افتد. این نتایج بر اساس داده‌های میانگین سالانه و فصلی نتایج قبلی را تأیید می‌کند (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۰). همچنین دمای روز افزایش بیش‌تری نسبت به دمای شب در تمامی ماه‌ها به غیر از ماه ژوئن دارد.

کتابنامه

احمدی، محمود؛ داداشی رودباری، عباسعلی؛ ۱۳۹۸. پایش روند دمای ماهیانه ایران مبتنی بر برونداد پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA Interim. *جغرافیا*. دوره ۱۷. شماره ۶۰. صص

<https://rimag.ricest.ac.ir/fa/Article/8873>. ۱۰۳-۸۶

احمدی، محمود؛ داداشی رودباری، عباسعلی؛ احمدی، حمزه؛ علی‌بخشی، زهرا؛ ۱۳۹۷. واکاوی ساختار دمای ایران مبتنی بر برون‌داد پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA Interim. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. دوره ۵۰، شماره ۲. صص ۳۵۳-۳۷۲.

<https://doi.org/10.22059/jphgr.2018.238512.1007092>.

زرین، آذر؛ داداشی رودباری، عباسعلی؛ ۱۴۰۰. پایش‌نگری دمای ایران در آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۲۱) بر اساس رویکرد همادی چند مدلی CMIP6. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. دوره ۵۳، شماره ۱. صص ۷۵-۹۰.

<https://doi.org/10.22059/jphgr.2021.308361.1007551>.

سیزی‌پرور، علی‌اکبر؛ سیف، زهرا؛ فرشته، قیامی؛ ۱۳۹۲. تحلیل روند دما در برخی از ایستگاه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور. *جغرافیا و توسعه*. دوره ۱۱، شماره ۳۰. صص ۱۱۷-۱۳۷.

https://gdij.usb.ac.ir/article_247.html.

مسعودیان، سیدابوالفضل؛ ۱۳۸۳. بررسی روند دمای ایران در نیم سده گذشته. *جغرافیا و توسعه*. دوره ۲، شماره ۳. صص ۱۰۶-۸۹

<https://doi.org/10.22111/gdij.2004.3831>

مسعودیان، سیدابوالفضل؛ زینالی، حمید؛ حجتی‌زاده، رحیم؛ ۱۳۸۷. نواحی دمایی ایران. *تحقیقات جغرافیایی*. دوره ۲۳، شماره ۲. صص ۱۸-۳

<https://www.sid.ir/paper/30060/fa>

منتظری، مجید؛ ۱۳۹۳. واکاوی زمانی مکانی دماهای سالانه ایران طی دوره ۲۰۰۸-۱۹۶۱. فصلنامه جغرافیا و توسعه.

دوره ۱۲. شماره ۳۶. صص ۲۰۹-۲۲۸. <https://doi.org/10.22111/gdij.2014.1719>

نظری‌پور، حمید؛ دوستکامیان، مهدی؛ علیزاده، سارا؛ ۱۳۹۴. بررسی الگوهای توزیع فضایی دما، بارش و رطوبت با استفاده از تحلیل اکتشافی زمین‌آمار (بررسی موردی: نواحی مرکزی ایران). فیزیک زمین و فضا. دوره ۴۱. شماره

۱. صص ۹۹-۱۱۷. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2015.53438>

- Ahmadi, F., Nazeri Tahroudi, M., Mirabbasi, R., Khalili, K., & Jhajharia, D., 2018. Spatiotemporal trend and abrupt change analysis of temperature in Iran. *Meteorological Applications*, 25(2): 314-321. <https://doi.org/10.1002/met.1694>.
- Albergel, C., Dutra, E., Munier, S., Calvet, J. C., Munoz-Sabater, J., Rosnay, P. D., & Balsamo, G., 2018. ERA-5 and ERA-Interim driven ISBA land surface model simulations: which one performs better?. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(6): 3515-3532. <https://doi.org/10.5194/hess-22-3515-2018>.
- Beranová, R., & Huth, R., 2008. Time variations of the effects of circulation variability modes on European temperature and precipitation in winter. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 28(2): 139-158. <https://doi.org/10.1002/joc.1516>.
- Betts, A. K., & Beljaars, A. C., 2017. Analysis of near surface biases in ERA Interim over the Canadian Prairies. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 9(5): 2158-2173. <https://doi.org/10.1002/2017MS001025>.
- Bromwich, D. H., Nicolas, J. P., Hines, K. M., Kay, J. E., Key, E. L., Lazzara, M. A., ... & Van Lipzig, N. P., 2012. Tropospheric clouds in Antarctica. *Reviews of Geophysics*, 50(1). <https://doi.org/10.1029/2011RG000363>.
- Byass, P., 2020. Eco-epidemiological assessment of the COVID-19 epidemic in China, January–February 2020. *Global health action*, 13(1): 1760490. <https://doi.org/10.1080%2F16549716.2020.1760490>.
- Correa, C. S., Guedes, R. L., Rocha, A. M. M. D., & Corrêa, K. A. B., 2020. Multidecadal Cycles of the Climatic Index Atlantic Meridional Mode: Sunspots that Affect North and Northeast of Brazil. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 12. <https://doi.org/10.5028/jatm.v12.1101>.
- Dutra, E., Johannsen, F., & Magnusson, L., 2021. Late Spring and Summer Subseasonal forecasts in the Northern Hemisphere midlatitudes: biases and skill in the ECMWF model. *Monthly Weather Review*. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-20-0342.1>.
- Ehard, B., Malardel, S., Dörnbrack, A., Kaifler, B., Kaifler, N., & Wedi, N., 2018. Comparing ECMWF high resolution analyses with lidar temperature measurements in the middle atmosphere. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 144(712): 633-640. <https://doi.org/10.1002/qj.3206>.
- Gleixner, S., Demissie, T., & Diro, G. T., 2020. Did ERA5 improve temperature and precipitation reanalysis over East Africa?. *Atmosphere*, 11(9): 996. <https://doi.org/10.3390/atmos11090996>.
- González Hidalgo, J. C., Beguería, S., Peña Angulo, D., & Sandonis, L., 2022. Variability of maximum and minimum monthly mean air temperatures over mainland Spain and their relationship with low variability atmospheric patterns for period 1916–2015. *International Journal of Climatology*, 42(3): 1723-1741. <https://doi.org/10.1002/joc.7331>.

- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., ... & Thépaut, J. N., 2020. The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730): 1999-2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.
- Hoffmann, L., Günther, G., Li, D., Stein, O., Wu, X., Griessbach, S., ... & Wright, J. S., 2019. From ERA-Interim to ERA5: the considerable impact of ECMWF's next-generation reanalysis on Lagrangian transport simulations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(5): 3097-3124. <https://doi.org/10.5194/acp-19-3097-2019>.
- Janis, M. J., Hubbard, K. G., & Redmond, K. T., 2004. Station density strategy for monitoring long-term climatic change in the contiguous United States. *Journal of climate*, 17(1): 151-162. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017%3C0151:SDSFML%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017%3C0151:SDSFML%3E2.0.CO;2).
- Johannsen, F., Ermida, S., Martins, J., Trigo, I. F., Nogueira, M., & Dutra, E., 2019. Cold Bias of ERA5 summertime daily maximum land surface temperature over Iberian Peninsula. *Remote Sensing*, 11(21): 2570. <https://doi.org/10.3390/rs11212570>.
- Kozubek, M., Krizan, P., & Lastovicka, J., 2020. Homogeneity of the Temperature Data Series from ERA5 and MERRA2 and Temperature Trends. *Atmosphere*, 11(3): 235. <https://doi.org/10.3390/atmos11030235>.
- Noël, T., Loukos, H., Defrance, D., Vrac, M., & Levavasseur, G., 2021. A high-resolution downscaled CMIP5 projections dataset of essential surface climate variables over the globe coherent with the ERA5 reanalysis for climate change impact assessments. *Data in Brief*, 35, 106900. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.106900>.
- Rahmstorf, S., Foster, G., & Cahill, N., 2017. Global temperature evolution: recent trends and some pitfalls. *Environmental Research Letters*, 12(5): 054001. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa6825>.
- Rao, Y., Liang, S., & Yu, Y., 2018. Land Surface Air Temperature Data Are Considerably Different Among BEST AND, CRU TEM4v, NASA GISS, and NOAA NCEI. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(11): 5881-5900. <https://doi.org/10.1029/2018JD028355>.
- Royé, D., Íñiguez, C., & Tobías, A., 2020. Comparison of temperature–mortality associations using observed weather station and reanalysis data in 52 Spanish cities. *Environmental research*, 183, 109237. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109237>.
- Tang, G., Clark, M. P., Newman, A. J., Wood, A. W., Papalexiou, S. M., Vionnet, V., & Whitfield, P. H., 2020. SCDNA: a serially complete precipitation and temperature dataset for North America from 1979 to 2018. *Earth System Science Data*, 12(4): 2381-2409. <https://doi.org/10.5194/essd-12-2381-2020>.
- Yu, C., Li, Z., & Blewitt, G., 2021. Global comparisons of ERA5 and the operational HRES tropospheric delay and water vapor products with GPS and MODIS. *Earth and Space Science*, 8(5): e2020EA001417. <https://doi.org/10.1029/2020EA001417>.
- Zhu, J., Xie, A., Qin, X., Wang, Y., Xu, B., & Wang, Y., 2021. An Assessment of ERA5 Reanalysis for Antarctic Near-Surface Air Temperature. *Atmosphere*, 12(2): 217. <https://doi.org/10.3390/atmos12020217>.