| GES | Journal of Geography and Environmental Studies, 14 (53), Spring 2025<br>https://sanad.iau.ir/journal/ges<br>ISSN: 2008-7845<br>Doi: 10.71740/ges.2025.1192387 |
|---|---|

Research Paper
Received: 03 December 2024
Revised: 14 January 2025
Acceped: 18 February 2025

# Tourism Climate of Ardabil Province Under Climate Change Scenario

**Tohied Ahmadzadeh[1], Parviz Rezaei[2], Youssef Zeinolabedin Amuqin[3]**
1. Ph.D in Climatology, Department of Geography, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.
2. Associate Processor of Climatology, Department of Geography, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran (Corresponding Author)
Email: rezaei@iaurasht.ac.ir
3. Associate Processor of Political Geography, Department of Geography, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.

## Abstract
The weather directly affects human activities, including tourism, and tourism, as a major part of the global economy, is affected by weather and climate. The purpose of this research is to investigate the climate and tourism of Ardabil province under climate change scenarios. In this research, using the physiological equivalent temperature (PET), the climate conditions of tourism in Ardabil Province were investigated in the reference period and under the climate change scenario. The required data were received from the Iranian Meteorological Organization for 8 synoptic stations for 30 years (1991 to 2020). The obtained results showed that out of the 9 climate categories of the PET index, only 5 very cold, cold, relatively cool, cool and comfortable categories exist in this region, and 4 relatively warm, warm, hot and very hot categories do not exist in this province. In this regard, it was found that very cold conditions prevailed over the entire area of this province in the 5 months of the cold season of the year, namely January, February, March, November and December, and the spatial distribution of these conditions is completely uniform. This matter is relatively heterogeneous in the summer season, and the variety of climate conditions of this area also greater in the hot season of the year. In general, in the months of June, July and August, ideal conditions prevailed in parts of this province. In addition to this, the conditions the PET index under the RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios for the period 2020 to 2050 showed that this index will show Strong change in both spatial and temporal dimensions in different months of the year, so that in addition to the five very cold conditions, "cold", "cool", "relatively cool" and "comfort" in the in the reference period of four "relatively warm", "warm", "hot" and "very hot" will appear in the warm months of the year, which is on indicates of drastic in conditions tourism climate of the Ardabil province in the future.

**Keywords**: Tourism climate, Physiological equivalent temperature (PET), Climate change scenario, Ardabil province.

**Citation**: Ahmadzadeh, T.; Rezaei, P.; Zeinolabedin Amuqin, Y. (2025), Tourism Climate of Ardabil Province under Climate Change Scenario, Journal of Geography and Environmental Studies, 14 (53), 56-75. Doi: 10.71740/ges.2025.1192387

**Copyrights:**
Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granded to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – acsses article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. **Publisher: Islamic Azad Univesity of Najafabad.**

Doi: 10.71740/ges.2025.1192387

مقاله پژوهشی

# اقلیم گردشگری استان اردبیل تحت سناریوی تغییر اقلیم

**توحید احمدزاده[۱]، پرویز رضایی[۲]، یوسف زین‌العابدین عموقین[۳]**

۱. دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

۲. دانشیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

**۳.** دانشیار جغرافیای سیاسی، گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

## چکیده

آب و هوا بطور مستقیم بر فعالیت‌های انسانی از جمله گردشگری تاثیر گذاشته و گردشگری بعنوان بخش اصلی اقتصاد جهانی از هوا و اقلیم تاثیر می‌گیرد. هدف از این تحقیق بررسی اقلیم و گردشگری استان اردبیل تحت سناریوهای تغیر اقلیم است. در این پژوهش با استفاده از دمای معادل فیزیولوژیک (PET) شرایط اقلیم گردشگری استان اردبیل در دوره مرجع و تحت سناریوی تغییر اقلیم بررسی شد. داده‌های مورد نیاز از سازمان هواشناسی کشور برای ۸ ایستگاه همدید به مدت ۳۰ سال (۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰) دریافت گردید. نتایج بدست آمده نشان داد که از ۹ طبقه اقلیمی شاخص PET، فقط ۵ طبقه خیلی سرد، سرد، نسبتا خنک، خنک و آسایش در این ناحیه وجود داشته و ۴ طبقه نسبتا گرم، گرم، داغ و خیلی داغ در این استان وجود ندارد. در همین راستا مشخص شد که شرایط خیلی سرد بر کل مساحت این استان در ۵ ماه فصل سرد سال یعنی ژانویه، فوریه، مارس، نوامبر و دسامبر حکمفرما بوده و توزیع مکانی این شرایط کاملا یکنواخت است. این مهم در فصل تابستان نسبتا ناهمگن بوده و تنوع شرایط اقلیمی این ناحیه در فصل گرم سال نیز بیشتر است. بطور کلی در ماه‌های ژوئن، ژولای و آگوست شرایط ایده‌آل در بخش‌هایی از این استان حاکم بوده است. علاوه بر این، شرایط شاخص PET تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ نشان داد که این شاخص تغییرات شدیدی را از دو بعد مکانی و زمانی در ماه‌های مختلف سال نشان خواهد داد، بطوریکه علاوه بر پنج حالت "خیلی سرد"، "سرد"، "خنک"، "نسبتا خنک" و "آسایش" در دوره مرجع، چهار حالت "نسبتا گرم"، "گرم"، "داغ" و "خیلی داغ" در ماه‌های گرم سال پدیدار خواهد شد که این خود نشان از تغییر ات شدید در شرایط اقلیم گردشگری استان اردبیل در آینده دارد.

**کلمات کلیدی**: اقلیم گردشگری، دمای معادل فیزیولوژیک (PET)، سناریوی تغییر اقلیم، استان اردبیل.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۰۹/۱۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۳۰

**نویسنده مسئول:** پرویز رضایی، دانشیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.rezaei@iaurasht.ac.ir

**نحوه ارجاع به مقاله:**

احمدزاده، توحید؛ رضایی، پرویز؛ زین‌العابدین عموقین، یوسف (۱۴۰۴)، اقلیم گردشگری استان اردبیل تحت سناریوی تغییر اقلیم، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۴ (۵۳)، ۷۵-۵۶. Doi: 10.71740/ges.2025.1192387

**Copyrights:**

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granded to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – acsses article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. **Publisher: Islamic Azad Univesity of Najafabad.**

**مقدمه**

تغییر اقلیم که در مقیاس‌های زمانی مختلف و بر روی پارامترهای آن (مانند بارش و دما) ظاهر می‌شود، ممکن است تحت تأثیر آشکار فرآیندهای ناشی از طبیعت باشد، فرآیندهایی که هنوز به درستی ارزیابی نشده‌اند (کونتی[1]، ۲۰۰۵). با این حال از انقلاب صنعتی تاکنون، افزایش قابل توجهی در استفاده از کربن (زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی) وجود داشته است، که در هنگام سوختن، دی‌اکسید کربن ($CO_2$) را در جو آزاد کرده و اثر آن در افزایش دما کاملا مشهود می‌باشد. این سوختن کربن نشان‌دهنده بیش از ۵۰ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی است (مارنگو[2]، مندونسا[3]، ۲۰۰۷؛ توافقنامه بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۱۴). صنعت گردشگری متاثر از تغییرات آب‌وهوایی است، همچنین سهم قابل توجهی در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد، به ویژه به دلیل حمل‌ونقل (حمل و نقل مسافر) و زیرساخت‌ها (اسکان). بعبارتی گردشگری هم بر تغییر اقلیم تاثیر گذاشته و هم از آن متاثر می‌شود. اطلاعات منتشر شده توسط سازمان جهانی هواشناسی (۲۰۰۸)، انتشار $CO_2$ را در سه بخش گردشگری یعنی حمل‌ونقل، اقامت و فعالیت‌های گردشگری تفریحی نشان می‌دهد. این سازمان تخمین می‌زند که انتشار گازهای گلخانه‌ای از منابع ملی و بین‌المللی تولید شده توسط گردشگری در این سه بخش از زنجیره تولید، حدود ۴/۹ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی را در بر می‌گیرد.

کشور ایران می‌تواند سالانه میلیون‌ها جهانگرد و گردشگر را جذب نماید، ولی از نظر میزان پذیرش گردشگر خارجی جزء ۷۰ کشور جهان محسوب می‌شود. کشور ما می‌تواند با بسط و توسعه امکانات و تسهیلات و برنامه‌ریزی مناسب جهت توریسم، به کسب درآمد هنگفتی نایل گردد. به همین دلیل است که دولت به منظور ارایه الگوهای صحیح و همچنین کسب درآمد ارزی و شناسایی و ترویج فرهنگ اسلامی و ملی و همچنین معرفی جاذبه‌های طبیعی و فرهنگی کشورمان چند سالی است که توجه خود را به ایجاد امکانات و آمایش جاذبه‌های جهانگردی معطوف داشته است، لذا بدین منظور یکی از مسائلی که باید مد نظر قرار گیرد، مبحث اقلیم آسایش و تغییرات آن در طول زمان تحت تاثیر گرمایش جهانی و در نتیجه یک برنامه‌ریزی مناسب برای اقلیم گردشگری و توریسم در راستای این روند است.

مطالعات داخلی در زمینه شاخص‌های اقلیم گردشگری و سناریوهای تغییر اقلیم بسیار اندک بوده و در ادامه به برخی از آنها پرداخته می‌شود. بررسی اقلیم گردشگری استان لرستان با بکارگیری شاخص TCI تحت سناریوی تغییر اقلیم گواه آن است که ایستگاه بروجرد و خرم‌آباد به ترتیب در ۷ و ۸ ماه سال تغییرات کیفی در سطح شاخص TCI نسبت به دوره پایه خواهند داشت و در دوره‌های آتی شاهد کاهش کیفی اقلیم گردشگری در ایستگاهای الیگودرز، افزایش کیفی در ایستگاه بروجرد و تضاد افت و بهبود TCI در هر دو سناریوی RCP2.6 و RCP2.8 در ایستگاه بروجرد خواهیم بود (مرادجانی، ۱۴۰۱). ولی‌زاده و خورانی (۲۰۲۲) با بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شرایط اقلیم گردشگری استان هرمزگان با شاخص اقلیم گردشگری در فضای باز (OTCI) و همچنین ۲ مدل جهانی آب و هوا (GCMs) تحت RCP2.6 و RCP8.5 نتیجه گرفتند که ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس به عنوان ماه‌های بهینه برای فعالیت‌های گردشگری در فضای باز براساس OTCI محسوب می‌شوند. با این وجود، برای ماه‌های مربوطه، دامنه امتیاز OTCI در قرن بیست‌ویکم از ۲ به ۱۲- در رابطه با دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) تغییر می‌کند. پیش‌بینی می‌شود که عمدتاً تغییرات در امتیاز OTCI در ماه‌های مارس، آوریل، مه، اکتبر و نوامبر رخ دهد، در حالی که ژوئن کمترین میزان را ثبت خواهد کرد. شجاع و حمیدیان‌پور (۱۴۰۱) با پیش‌نمایی پیامدهای تغییر اقلیم در توسعه گردشگری سواحل جنوب (جزیره کیش)

1. Conti
2. Marengo,
3. Mendonça

نشان دادند که پارامترهای موثر در برآورد شاخص TCI تغییرات چشمگیری در آینده خواهد داشت، بطوری که میانگین دما در دوره پایه از ۲۵/۲۷ به ۲۹/۶۳ و ۳۰/۳۳ درجه سلسیوس به ترتیب تحت سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در چشم‌انداز ۲۰۵۰ تا ۲۰۶۹ خواهد رسید. همچنین شرایط "کمی نامطلوب" ماه‌های ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر در دوره پایه به مرور در آینده هشت ماه سال را در بر خواهد گرفت. مرادجانی (۱۴۰۱) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر گردشگری آینده استان لرستان با استفاده از شاخص TCI و سناریوهای واداشت تابشی نشان داد که در دوره آتی در ایستگاه خرم‌آباد در ۷ ماه و در ایستگاه بروجرد در ۸ ماه از سال تغییرات کیفی در سطح شاخص TCI نسبت به دوره پایه حادث خواهد شد. در دوره آتی تحت هر دو سناریو (RCP2.6 و RCP8.5)، به طور کلی شاهد کاهش کیفی اقلیم گردشگری در ایستگاه الیگودرز، افزایش کیفی در ایستگاه بروجرد و تضاد افت و بهبود TCI در هر دو سناریو در ایستگاه بروجرد خواهیم بود. رحیمی و همکاران (۱۴۰۲) با ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر گردشگری استان خوزستان نتیجه گرفتند که شرایط "عالی" شاخص اقلیم گردشگری (TCI) از ژانویه، فوریه و مارس در دوره پایه به نوامبر و دسامبر در دوره آینده منتقل خواهد شد. همچنین در آینده طبقات مناسب آسایش اقلیمی آبادان، خرمشهر، بندر ماهشهر و هندیجان (مناطق جنوبی) مبتنی بر داده‌های پایه به شهرستان‌های شمالی واقع در شمال استان مانند ایذه، مسجد سلیمان، لالی و دزفول جابه‌جا خواهد شد. همیلتون[1] و همکاران (۲۰۰۵) با پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر گردشگری بین‌المللی نشان دادند که نرخ رشد گردشگری بین‌المللی طی دهه‌های آینده افزایش یافته و احتمالا در اواخر قرن کاهش می‌یابد، زیرا تقاضا برای سفر اشباع می‌شود. با تغییر آب‌وهوا، مقاصد ترجیحی به عرض‌ها و ارتفاعات بالاتر تغییر می‌کنند. گردشگران ساکن در آب‌وهوای معتدل، بیشتر تعطیلات خود را در کشورشان می‌گذرانند. با توجه به اینکه گردشگران مورد نظر بر بازار حال حاضر گردشگری بین‌المللی تسلط دارند، تغییرات آب‌وهوایی باعث کاهش گردشگری در سراسر جهان می‌شود. اسکات[2] و همکاران (۲۰۱۲) معتقدند که مقصدهای گردشگری باید با خطرات و فرصت‌های ناشی از تغییرات آب‌وهوا و سیاست‌های آب‌وهوایی سازگار شوند. زیرا با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در دهه گذشته، هنوز درک گردشگران و اپراتورهای گردشگری از خطرات تغییرات آب‌وهوا و ظرفیت سازگاری بیانگر عدم آمادگی بخش گردشگری در برابر چالش‌های آب‌وهوایی است. ورستر[3] و همکاران (۲۰۱۳) در مقاله "سناریوهای ۲۰۵۰ برای گردشگری طولانی‌مدت در رژیم در حال تحول اقلیم جهانی" نشان دادند که مقاصد گردشگری طولانی‌مدت باید به سیگنال‌های هشدار اولیه در روایت‌های سناریو توجه کنند و در تحقق آینده مطلوب سهیم باشند. در صورت تحقق سناریوهای خطرناک، آن‌ها باید با تطبیق، تغییر موقعیت اولیه پس از خواندن تابلوهای راهنما، محافظت در برابر خطرات و استفاده از فرصت‌های جدید را مد نظر داشته باشند. گریلاکیس[4] و همکاران (۲۰۱۶) پیامدهای ۲ درجه سانتی‌گراد گرمایش جهانی در شاخص TCIی تابستانه اروپا را بررسی و نتیجه گرفتند که تغییر اقلیم بر اروپای مرکزی و شمالی تأثیر مثبت خواهد گذاشت و در این راستا پتانسیل‌های توسعه اقتصادی بیشتر افزایش می‌یابد. احتمالا کشورهای مدیترانه‌ای در طول ماه‌های گرم تابستان وضعیت مطلوب خود را از دست داده و در اوایل و اواخر فصل تابستان شرایط‌شان مطلوب‌تر می‌شود. تصور ۲ درجه دما در سال‌های ۲۰۳۱ و ۲۰۶۰ و جابجایی برآورد شده در شرایط مطلوب آب‌وهوایی کشورهای مدیترانه نشان‌دهنده ضرورت نیاز به استراتژهای اولیه سازگاری است. گریم[5] و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که گردشگری به انتشار گازهای گلخانه‌ای که یکی از عوامل گرمایش جهانی است، کمک می‌کند. از اینرو برای کاهش اثرات منفی، مفهوم توسعه گردشگری پایدار با محوریت تغییرات آب‌وهوایی باید مد نظر قرار گیرد. بنابراین باید با لحاظ کردن سناریوهای مختلف، اثرات و پیامدهای احتمالی تغییر اقلیم را بر سیستم

1. Hamilton
2. Scott
3. Vorster
4. Grillakis
5. Grimm

گردشگری بین‌المللی نشان داد. جاکوب[1] و همکاران (۲۰۱۸)، اثرات اقلیم تحت گرمایش جهانی ۱/۵+ درجه سانتی‌گراد در اروپا را بررسی و نشان دادند که جهان احتمالاً در دهه‌های آینده از آستانه ۱/۵+ درجه سانتی‌گراد عبور خواهد کرد. همچنین ابعاد بین بخشی اثرات گرمایش جهانی که به موازات هم عمل می‌کنند در مناطق مختلف متفاوت هستند. علاوه بر اثرات منفی برای بخش‌ها و مناطق خاص، اثرات مثبتی برای آن پیش‌بینی می‌شود. بعبارت دیگر، گردشگری تابستانی در بخش‌هایی از اروپای غربی ممکن است به دلیل تغییرات آب‌وهوایی مورد علاقه و جاذب گردشگران باشد. اسپاندر[2] و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی گردشگری زمستانی تحت تغییرات آب‌وهوایی در پیرنه و آلپ فرانسه تحت سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نشان دادند که ارتفاع قابل اطمینان برف‌سازی برای ورزش اسکی در حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر در کوه‌های آلپ و ۴۰۰ تا ۶۰۰ متر در پیرنه‌ها در آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۳۰) در مقایسه با دوره مرجع برای همه سناریوهای اقلیمی افزایش می‌یابد. همچنین تحت RCP8.5، پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که دیگر هیچ استراحتگاه اسکی قابل اعتماد براساس شرایط طبیعی برف در کوه‌های آلپ و پیرنه فرانسه (فرانسه، اسپانیا و آندورا) در پایان قرن (۲۰۸۰-۲۱۰۰) وجود نخواهد داشت. ناستوس و ماتزاراکیس[3] (۲۰۱۹) با مطالعه آب‌وهوای حال و آینده در راستای گردشگری در جزیره میلوس[4] یونان نشان دادند که برای آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۱) تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 انتظار می‌رود تنش گرمایی در جولای و آگوست افزایش یابد، که با افزایش جزئی در طول آن همراه است. به نظر می‌رسد شرایط پذیرش حرارتی از ماه می تا مارس و از اکتبر تا نوامبر تغییر می‌کند. علاوه بر این، آسایش ماه‌های نوامبر تا مارس بیشتر می‌شود، در حالی که برای تابستان، انتظار شرایط حرارتی قابل قبولی وجود ندارد. انتظار می‌رود تغییرات آشکاری در پارامترهای فوق تا پایان قرن ۲۱ تحت هر دو سناریو مشاهده شود. فریدریش[5] و همکاران (۲۰۲۰) معتقدند که تغییر آب‌وهوا برای مقاصد گردشگری ساحلی در آفریقای جنوبی و همچنین پایداری اقتصاد گردشگری در سطح جهان تهدید محسوب می‌شود. این امر به ویژه در مورد گردشگری ساحلی مصداق داشته و به میانگین آب‌وهوا، آب‌وهوای روزانه و محیط طبیعی یک مقصد برای جذب و جلب رضایت گردشگران شدیدا وابسته است. آنها نشان دادند که کاهش میانگین بارندگی و افزایش دما تحت سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در آفریقای جنوبی کاملا محتمل بوده و اثرات مستقیم مثبت و نه منفی بر مقاصد گردشگری ساحلی آن دارد. زیرا آنچه که گردشگران به عنوان شرایط راحتی می‌شناسند در حال افزایش است. با این وجود، نباید از اثرات غیرمستقیم و القایی یک آب‌وهوای در حال تغییر در ارزیابی آسیب‌پذیری غافل بود. لیو[6] و همکاران (۲۰۲۰) براساس گزارش پنجم توافقنامه بین‌الدول تغییر اقلیم[7] (IPCC)، اثر تغییر اقلیم بر تعداد بازدیدکنندگان از پارک جنگلی ملی در تایوان را تحت سناریوی RCP مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که تاثیر متغیرهای جوی بر تعداد بازدیدکنندگان در فصل اوج و فصول دیگر یکسان است. بطوریکه تاثیر دما و رطوبت نسبی بر تعداد آنها معنی‌دار و اثر بارش بی‌معنی بوده است. در فصل اوج دوم، فقط دما اثرات معنی‌داری بر تعداد بازدیدکنندگان داشته و رطوبت نسبی و بارش تاثیر معنی‌داری بر بازدیدکنندگان نداشتند. از اینرو دما مهم‌ترین فاکتور موثر در سه فصل این منطقه بوده و بیشترین تاثیر آن در فصل اوج اول و بدنبال آن فصل میانی و سپس فصل اوج دوم است. بعلاوه، تعداد بازدیدکنندگان از پارک جنگلی هویسون[8] براساس سناریوهای مختلف تغییر اقلیم (RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و

1. Jacob
2. Spandre
3. Nastos & Matzarakis
4. Milos
5. Friedrich
6. Liu
7. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
8. Huisun Forest Park

RCP8.5) در حال افزایش است. اولفس[1] و همکاران (۲۰۲۱) با بررسی تغییرات گذشته و آینده آب‌وهوای اتریش در راستای گردشگری نشان دادند که از اواخر قرن نوزدهم، دمای هوای اتریش در ارتفاعات به میزان ۱/۸ درجه سانتی‌گراد (٪۲۰+ در مقایسه با خشکی‌های کره زمین) افزایش یافته است. بسته به سناریو، افزایش ۲ تا ۴ درجه سانتی‌گراد (بدترین سناریو RCP8.5) تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی می‌شود. یعنی اینکه تعداد روزهای گرم در سطح فعلی تثبیت یا سال‌های فرین فعلی در پایان قرن به حالت عادی جدید تبدیل خواهند شد. از اینرو مدت پوشش برف و عمق آن به ویژه در غرب و جنوب اتریش که به عنوان نیاز اساسی برای گردشگری زمستانی محسوب می‌شود، کاهش می‌یابد. بسته به ارتفاع، کاهش ۱۰ تا ۴۰ درصد در بهترین حالت و ۵۰ تا ۹۰ درصد در بدترین سناریو تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی می‌شود. رایس[2] و همکاران (۲۰۲۱) با تحلیل پیامدهای تغییر آب‌وهوا بر فعالیت‌های اسکی در ۲۳ منطقه اسکی آلپاین سوئد برای اوایل، اواسط و اواخر قرن بیست‌ویکم نتیجه گرفتند که مناطق شمالی سوئد، کاهش بسیار کمتری در طول فصل در مقایسه با مرکز و جنوب سوئد تحت سناریوهای انتشار بالا در اواسط (٪۱۳ در مقابل ٪۵۸ و ٪۸۱) و اواخر قرن (٪۲۷ در مقابل ٪۷۲ و ٪۹۹) نشان می‌دهند. از اینرو برای کاهش تلفات فصلی ناشی از این سناریوها، افزایش تولید برف بیش از ۲۵۰ درصد در همه مناطق مورد نیاز است. همچنین با افزایش اثرات پیش‌بینی‌شده، ممکن است شمال سوئد آخرین راه‌حل برای صنعت اسکی اروپا تحت سناریوهای انتشار بالاتر تا اواسط یا اواخر قرن بیست‌ویکم باشد. کاتاووتاس[3] و همکاران (۲۰۲۱) در مقاله "تغییرات آب‌وهوایی و آسایش حرارتی در مقاصد برتر گردشگری سانتورینی[4] (یونان)" براساس شاخص UTCI و سنایوی RCP4.5 و RCP8.5 نشان دادند که فراوانی شرایط تنش سرما در نیمه روز در طول ماه‌های زمستان و اوایل بهار تا ۱۹/۸ درصد (ژانویه) در دوره اخیر نسبت به دوره پایه کاهش یافته است، این در حالی است که شرایط تنش گرمایی در تابستان تا ۲۲/۴ درصد (مرداد) افزایش می‌یابد. پیش‌بینی‌ها تغییر تدریجی UTCI به سمت مقادیر بالاتر در آینده و افزایش زمان قرار گرفتن در معرض استرس گرمایی را با توجه به RCM و سناریوی اتخاذ شده نشان می‌دهد. د لا وارا[5] و همکاران (۲۰۲۲)، اثرات میان‌مدت تغییر آب‌وهوا بر بخش گردشگری سواحل مدیترانه‌ای اسپانیا را بررسی و نشان دادند که شرایط آب‌وهوایی در این منطقه به ویژه در تابستان گرم‌تر و خشک‌تر و موج گرما و بارش‌های شدید بیشتر خواهد شد. عدم آسایش حرارتی در تابستان افزایش و شرایط تابستان به سمت بهار و پاییز گسترش می‌یابد. یو[6] و همکاران (۲۰۲۳) با پیش‌بینی مزایای تفریحات جنگلی تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم نتیجه گرفتند که بین تعداد گردشگران و افزایش دما در پارک‌های جنگلی ملی تایوان همبستگی مثبت وجود دارد و بدلیل کاهش زمان تفریح در اثر تغییرات آب‌وهوایی، ارزش مالی گردشگری در آینده افت خواهد کرد. سیلوجیانی[7] و همکاران (۲۰۲۳) با ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم بر گردشگری اسکی در یونان (پیست اسکی پارناسوس[8]) نشان دادند که روند کاهشی برای مدت و تعداد روزهای برفی با توجه به سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 کاملا محرز بوده و اقدامات سازگارانه در برابر تغییرات آب‌وهوایی از قبیل تولید برف مصنوعی به منظور حفظ بقای بخش گردشگری اسکی در یونان پیشنهاد گردید.

در گزارش IPCC افزایش حوادث اقلیمی و هواشناسی فرین مثل خشکسالی، سیل، سیکلون و امواج گرما و سرما پیش‌بینی شده است که اثرات شدیدی بر سیستم‌های طبیعی و انسانی در سرتاسر جهان دارد (IPCC, 2014). وجود این شرایط در کشوری مانند ایران که دارای حساسیت اکولوژیکی می‌باشد، تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر وضعیت منابع آب، کشاورزی، انرژی، گردشگری و شرایط

1. Olefs
2. Rice
3. Katavoutas
4. Santorini
5. de la Vara
6. Yu
7. Tsilogianni
8. Parnassos

زیست اقلیمی می‌گذارد و لزوم مطالعه در این زمینه را بوجود می‌آورد. بنابراین مطالعه در زمینه آینده اقلیم گردشگری مناطق تحت سناریوهای تغییر اقلیم از ضروریات مطالعات اقلیم‌شناسان محسوب می‌شود تا با شناخت درست از وضعیت آینده اقلیم مناطق، راهکارهای درست جهت کاهش اثرات آن بر بخش‌های مختلف از جمله توریسم ارائه شود. در پژوهش حاضر اقلیم گردشگری استان اردبیل تحت سناریوهای تغییر اقلیم مورد بررسی قرار می‌گیرد. زیرا تغییر اقلیم با اثرات مستقیم خود، نه تنها باعث نابودی تنوع زیستی و افزایش مخاطرات طبیعی می‌شود، بلکه با اثرات اجتماعی مرتبط بوده و رشد اقتصادی و ثبات سیاسی کشورها را تهدید می‌کند. در نتیجه بعلت رابطه مستقیم اقلیم گردشگری با شرایط اقلیمی هر مکان، اطلاع از وضع آینده اقلیم آن مکان می‌تواند شرایط آتی گردشگری را در ابعاد مختلف آن تضمین نماید و به مدیران، دست‌اندرکاران و مدیران اجرایی مرتبط با این بخش در جهت تدوین برنامه‌های اصولی در راستای درآمد اقتصادی از پتانسیل‌های گردشگری استان کمک بنماید.

## داده‌ها و روش

داده های مورد استفاده در تحقیق شامل داده‌های ماهانه مربوط به ۸ ایستگاه همدید واقع در محدود استان اردبیل و استان‌های مجاور به مدت ۳۰ سال (۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰) است، که از سازمان هواشناسی کشور و اداره کل هواشناسی استان تهیه شده است (جدول ۱ و شکل ۱).

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در محدوده مورد مطالعه (استان اردبیل)

| ردیف | نام ایستگاه | ارتفاع | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | سال تاسیس | استان |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | پارس آباد مغان | ۳۱/۹ | ۴۷/۹۲ | ۳۹/۶۵ | ۱۹۸۴ | اردبیل |
| ۲ | اهر | ۱۳۹۰/۵ | ۴۷/۰۷ | ۳۸/۴۳ | ۱۹۸۶ | آذربایجان شرقی |
| ۳ | مشکین شهر | ۱۵۶۸/۵ | ۴۷/۶۷ | ۳۸/۳۸ | ۱۹۹۵ | اردبیل |
| ۴ | اردبیل | ۱۳۳۲ | ۴۸/۲۸ | ۳۸/۲۵ | ۱۹۷۶ | اردبیل |
| ۵ | سراب | ۱۶۸۲ | ۴۷/۵۳ | ۳۷/۹۳ | ۱۹۸۲ | آذربایجان شرقی |
| ۶ | میانه | ۱۱۱۰ | ۴۷/۷ | ۳۷/۴۵ | ۱۹۸۷ | آذربایجان شرقی |
| ۷ | خلخال | ۱۷۹۶ | ۴۸/۵۲ | ۳۷/۶۳ | ۱۹۸۷ | اردبیل |
| ۸ | زنجان | ۱۶۶۳ | ۴۸/۴۸ | ۳۶/۶۸ | ۱۹۵۵ | زنجان |

به منظور بررسی شرایط اقلیم گردشگری استان اردبیل در دوره مرجع و آینده از دمای معادل فیزیولوژیک (PET) استفاده شده است. شاخص PET دمایی است که طی آن در یک محیط مرجع توازن حرارتی بین دمای پوست و دمای مرکزی بدن با محیط بیرون در تعادل باشد. محیط مرجع محیطی است که فشار بخار آب ۱۲ هکتوپاسکال (۵۰ درصد رطوبت نسبی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد)، سرعت باد ۰/۱ متر بر ثانیه، سوخت و ساز فعالیت ۸۰ وات، مقاومت حرارتی لباس ۰/۹ کلو (CLO) و دمای تابشی متوسط با دمای هوا برابر باشد. تأثیر رطوبت بر PET به شار گرمای نهان از طریق تنفس و انتشار از پوست محدود شده است (ماتزاراکیس و همکاران، ۱۹۹۹). مزیت مهم شاخص PET واحد درجه‌بندی آن است که برحسب درجه سانتی‌گراد است. در نتیجه فهم آن برای گردشگران، برنامه‌ریزان و سرمایه‌گذاران گردشگری آسان بوده و می‌تواند به عنوان یک شاخص آسایش حرارتی کاربردی محسوب گردد (لین[1] و ماتزاراکیس، ۲۰۰۸). داده‌های هواشناسی مورد نیاز این شاخص، دمای هوا، رطوبت

1. Lin

نسبی، سرعت باد و جریانات تابش امواج کوتاه و بلند بوده و برای محاسبه آن از نرم‌افزار RayMan استفاده می‌گردد (ماتزاراکیس و همکاران، ۲۰۰۷). در جدول ۲ وضعیت آسایش انسان براساس شاخص PET ارائه شده است.

جدول (۲): آستانه‌های تعیین کننده در شاخص PET و شرایط آسایش. (منبع: ماتزاراکیس و همکاران، ۱۹۹۹)

| PET | <۴ | ۴ -۸ | ۸ -۱۳ | ۱۳ -۱۸ | ۱۸ -۲۳ | ۲۳ -۲۹ | ۲۹-۳۵ | ۳۵ - ۴۱ | ۴۱ < |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| درجه آسایش | خیلی سرد | سرد | خنک | نسبتا خنک | آسایش | نسبتا گرم | گرم | داغ | خیلی داغ |

همچنین در این پژوهش از سه سناریوی RCP یعنی RCP2.6، RCP4.5، و RCP8.5 برای برآورد متغیرهای اقلیم‌شناسی مورد نیاز برای محاسبه دمای معادل فیزیولوژیک در آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰) استفاده شده است. هر کدام از سناریوهای فوق بیانگر مسیرهای مختلف آب‌وهوایی آینده هستند، که همه آنها بسته به حجم گازهای گلخانه‌ای (GHG) منتشر شده در سال‌های آینده در نظر گرفته می‌شوند. در RCPهای جدید مسیرهای اصلی با مسیرهای اجتماعی-اقتصادی مشترک در نظر گرفته می‌شوند. خصوصیات هر کدام از مدل‌های RCP به شرح ذیل هستند.

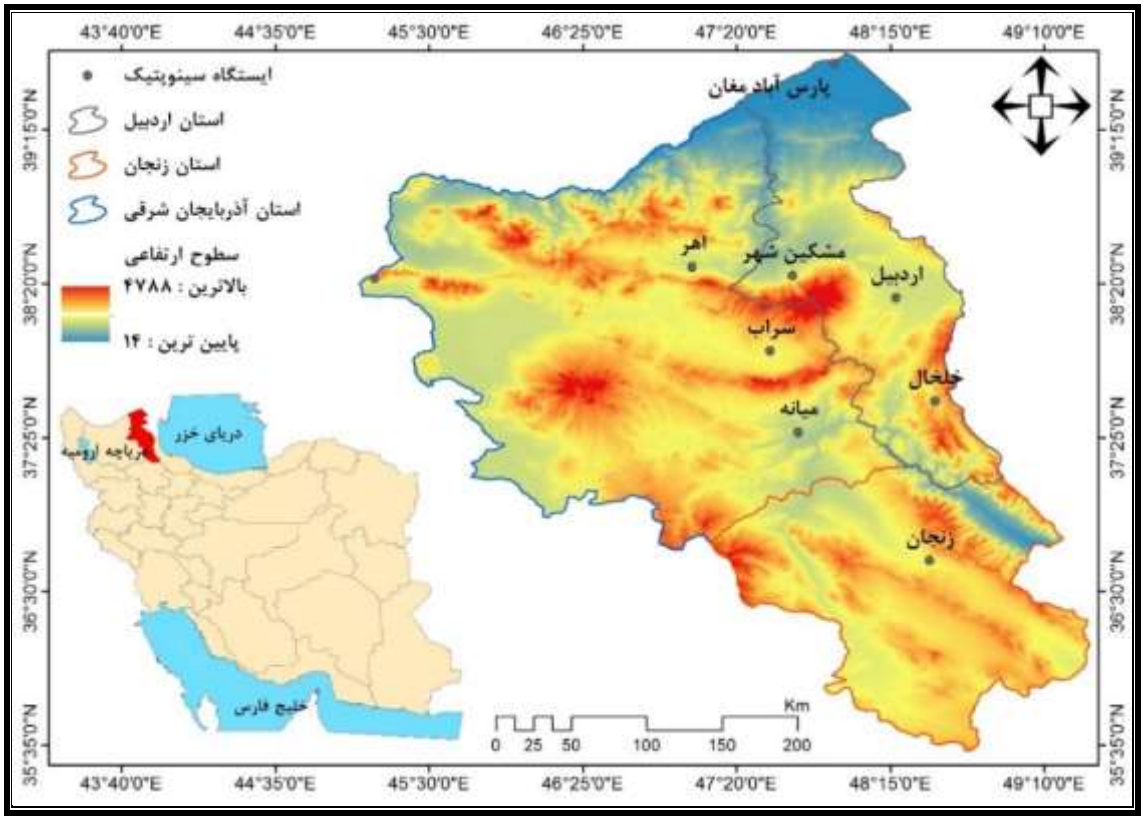
- **RCP2.6**: RCP2.6 یک مسیر "بسیار دقیق" است. طبق گزارش IPCC، RCP2.6 مستلزم آن است که انتشار دی‌اکسید کربن ($CO_2$) تا سال ۲۰۲۰ شروع به کاهش کرده و تا سال ۲۱۰۰ به صفر برسد. همچنین این مدل مستلزم آن است که انتشار متان ($CH_4$) به تقریباً نصف سطح $CH_4$ در سال ۲۰۲۰ برسد و انتشار دی‌اکسید گوگرد ($SO_2$) به تقریباً ۱۰٪ از میزان انتشارات ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ کاهش یابد. مانند همه RCPها، RCP2.6 نیز به انتشار $CO_2$ منفی (مانند جذب $CO_2$ توسط درختان) نیاز دارد. در مدل RCP2.6، انتشار منفی به طور متوسط ۲ گیگاتن $CO_2$ در سال ($GtCO_2/yr$) خواهد بود. RCP2.6 احتمالاً تا سال ۲۱۰۰ افزایش دمای جهانی را زیر ۲ درجه سانتی‌گراد نگه می‌دارد.
- **RCP4.6**: RCP4.5 توسط IPCC به عنوان یک سناریوی میانی توصیف شده است. انتشار در RCP4.5 در حدود سال ۲۰۴۰ به اوج خود می‌رسد، سپس کاهش می‌یابد. طبق گزارش IPCC، RCP4.5 مستلزم آن است که انتشار دی‌اکسیدکربن ($CO_2$) تقریباً تا سال ۲۰۴۵ شروع به کاهش کرده و تا سال ۲۱۰۰ تقریباً به نیمی از سطوح سال ۲۰۵۰ برسد. همچنین این سناریو مستلزم آن است که افزایش انتشار متان ($CH_4$) تا سال ۲۰۵۰ متوقف شده و به میزان ۷۵٪ از سطح $CH_4$ در سال ۲۰۴۰ کاهش یابد. و همچنین کاهش انتشار دی‌اکسید گوگرد ($SO_2$) به ۲۰٪ میزان انتشار ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ این گاز برسد. مانند تمام RCPها، RCP4.5 به انتشار $CO_2$ منفی (مانند جذب $CO_2$ توسط درختان) نیاز دارد. در مدل RCP4.5، انتشار منفی ۲ گیگاتن $CO_2$ در سال ($GtCO_2/yr$) خواهد بود. مدل RCP4.5 به احتمال زیاد منجر به افزایش دمای جهانی بین ۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد شده و میانگین افزایش سطح دریا در این مدل در حدود ۳۵٪ بیشتر از مدل RCP2.6 تا سال ۲۱۰۰ خواهد بود.
- **RCP8.5**: در RCP8.5 انتشار در طول قرن ۲۱ همچنان رو به افزایش است. از زمان AR5 این بسیار بعید به نظر می‌رسد، اما همچنان ممکن است زیرا بازخوردها به خوبی درک نشده‌اند. مدل RCP8.5، که عموماً به عنوان مبنایی برای بدترین سناریوهای تغییرات آب‌وهوایی در نظر گرفته می‌شود، بخاطر آن است که تولید زغال سنگ پیش‌بینی شده را بیش از حد برآورد کرده است (شوالم[1]، ۲۰۲۰).

## محدوده پژوهش

استان اردبیل یکی از استان‌های ایران به مرکزیت شهر اردبیل است که در منطقه آذربایجان قرار دارد. مساحت این استان ۱۷۹۵۳ کیلومتر مربع است. این استان از شمال به جمهوری آذربایجان، از سمت غرب به استان آذربایجان شرقی، از سمت شرق به استان

1. Schwalm

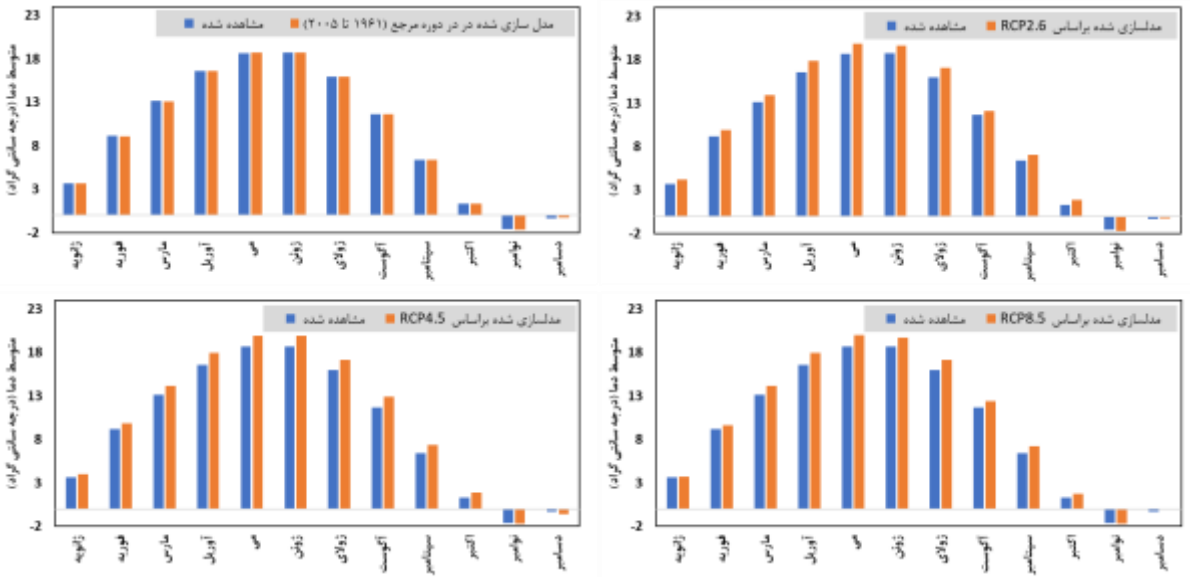
گیلان و از سمت جنوب به استان زنجان محدود شده است. چهره عمومی شهرستان اردبیل متأثر از ارتفاعات کوهستان‌های سبلان، طالش و بزغوش است که این عوامل طبیعی سبب محصور شدن آن شده‌اند. بیشتر زمین‌های این بخش از استان ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارند. شمال غربی آن بین ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ متر بلندی دارد و رشته کوه سبلان با ۴۸۱۱ متر ارتفاع، در این قسمت واقع است. وجود کوهستان سبلان در غرب این شهرستان، در اعتدال هوای آن نقش عمده‌ای دارد و آب‌های جاری شده از این کوهستان سبب آبادی منطقه شده است. آثار فرعی آتشفشان سبلان به صورت چشمه‌های معدنی آب گرم سرعین و سردابه ظاهر شده است که سبب جذب انبوه مسافران می شود و یکی از زیباترین مناطق جهانگردی استان است (شکل ۱).



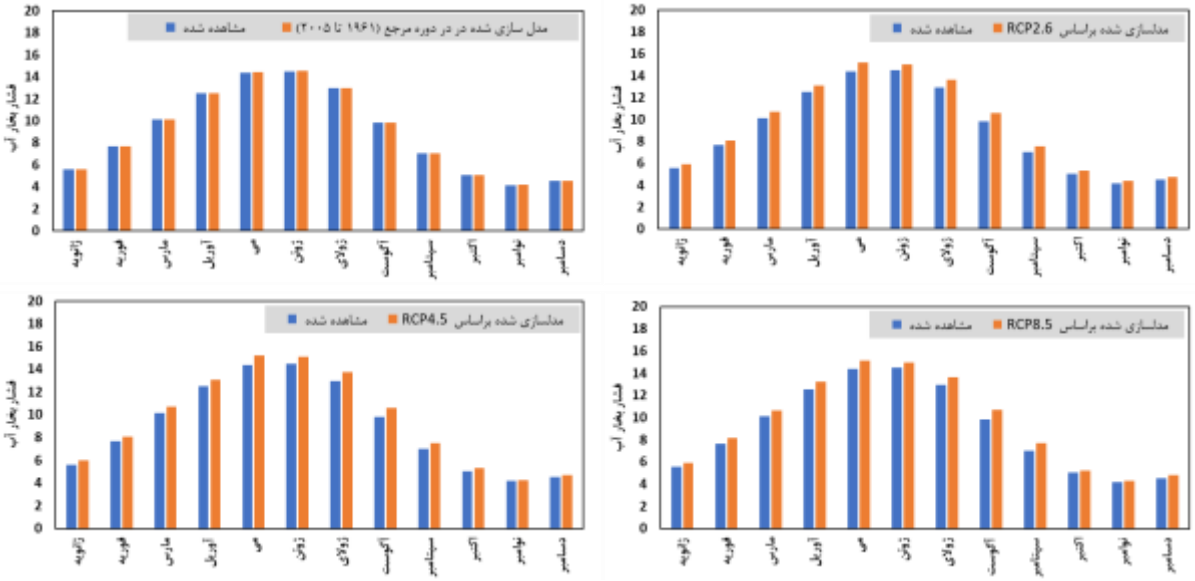

شکل (۱): محدوده مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در استان اردبیل و استان‌های مجاور. (منبع: نویسندگان)

## یافته‌ها

برای مدل‌سازی تحت سناریوهای آب‌وهوایی، در ابتدا داده‌های دوره مرجع برای محاسبه شاخص دمای معادل فیزیولوژیک (PET)، براساس مدل مناسب مورد ارزیابی قرار گرفت، سپس مقادیر ۵ متغیر متوسط دما، رطوبت نسبی، ابرناکی، فشار بخار آب و سرعت باد براساس مدل اولیه شناسایی شده برای دوره مرجع، تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰) پیش‌بینی گردید. در شکل ۲ تا ۳ مقادیر مشاهده‌شده دو متغیر میانگین دما و فشار بخار آب در دوره مرجع و تحت سه سناریوی RCPs نشان داده شده است.




شکل (۲): میانگین دمای ایستگاه اردبیل در دوره مرجع و مدل‌سازی شده تحت سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5. (منبع: نویسندگان)




شکل (۳): فشار بخار آب ایستگاه اردبیل در دوره مرجع و مدل‌سازی شده تحت سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 (منبع: نویسندگان)

در جدول ۳ و ۴ مقادیر دمای معادل فیزیولوژیک (PET) برای دوره مرجع (۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵) و دوره آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰) تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به تکفیک هر ایستگاه آورده شده است. چنانچه از این جدول پیداست مقدار PET در تمامی ایستگاه‌ها در سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره مرجع تغییر نشان می‌دهد.

جدول (۳): شاخص دمای معادل فیزیولوژیک (PET) در دوره مرجع و تحت سناریوی تغییر اقلیم، ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰. (منبع: نویسندگان)

| ایستگاه | سناریو | ژانویه | فوریه | مارس | آوریل | می | ژوئن | ژولای | آگوست | سپتامبر | اکتبر | نوامبر | دسامبر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| پارس‌آباد مغان | مشاهده شده | -۳/۵ | -۲/۷ | ۱/۲ | ۷/۶ | ۱۳/۴ | ۱۸/۹ | ۲۲/۴ | ۲۱/۸ | ۱۶/۵ | ۹/۹ | ۳/۲ | -۱/۹ |
| | RCP2.6 | ۱/۱ | ۳/۵ | ۸/۸ | ۱۶/۹ | ۲۴/۱ | ۳۳/۲ | ۳۶/۳ | ۳۵/۶ | ۲۸/۲ | ۱۸/۷ | ۹/۵ | ۲/۶ |
| | RCP4.5 | ۱/۶ | ۳/۸ | ۹/۷ | ۱۶/۸ | ۲۴/۴ | ۳۳/۲ | ۳۶/۶ | ۳۵/۸ | ۲۸ | ۱۸/۴ | ۹/۳ | ۲/۸ |
| | RCP8.5 | ۱/۵ | ۳/۸ | ۸/۹ | ۱۶/۴ | ۲۳/۸ | ۳۳/۱ | ۳۶/۲ | ۳۵/۵ | ۲۸/۱ | ۱۸/۱ | ۹/۵ | ۲/۷ |
| اردبیل | مشاهده شده | -۱۰/۹ | -۹/۴ | -۴/۵ | ۲/۶ | ۶/۱ | ۹/۹ | ۱۲/۴ | ۱۲/۴ | ۸/۸ | ۳/۸ | -۲/۲ | -۷/۹ |
| | RCP2.6 | -۰/۵ | ۷/۱ | ۱۳ | ۱۸/۳ | ۲۰/۱ | ۲۰/۶ | ۱۸/۳ | ۱۲/۶ | ۵/۹ | -۱/۳ | -۷ | -۵/۸ |
| | RCP4.5 | -۰/۸ | ۶/۸ | ۱۳/۴ | ۱۹ | ۲۰/۲ | ۲۰/۹ | ۱۸/۴ | ۱۳/۵ | ۶/۵ | -۱/۳ | -۷ | -۶/۱ |
| | RCP8.5 | -۱/۲ | ۶/۷ | ۱۳/۳ | ۱۸/۴ | ۲۰/۴ | ۲۰/۷ | ۱۸/۷ | ۱۳/۲ | ۶/۱ | -۱/۳ | -۷ | -۵/۵ |
| مشکین شهر | مشاهده شده | -۸/۳ | -۷/۹ | -۷/۷ | ۲/۵ | ۷/۴ | ۱۵/۲ | ۱۵/۱ | ۱۵/۷ | ۱۱ | ۵/۹ | -۱/۳ | -۵/۷ |
| | RCP2.6 | -۱/۶ | ۰/۲ | ۵/۶ | ۱۰/۶ | ۱۷/۳ | ۲۳/۹ | ۲۵/۴ | ۲۵/۳ | ۲۰/۱ | ۱۲/۱ | ۴/۴ | ۰/۸ |
| | RCP4.5 | -۱/۵ | ۰/۶ | ۵/۲ | ۱۱/۷ | ۱۷/۵ | ۲۳/۵ | ۲۵/۲ | ۲۵/۵ | ۲۰/۶ | ۱۲/۴ | ۵/۲ | ۰/۴ |
| | RCP8.5 | -۱/۱ | ۰/۹ | ۵/۳ | ۱۱/۴ | ۱۷/۴ | ۲۴/۱ | ۲۵/۶ | ۲۵/۱ | ۲۰ | ۱۲/۵ | ۵/۱ | ۰/۹ |
| خلخال | مشاهده شده | -۱۰/۴ | -۱۰/۴ | -۵/۱ | ۱/۶ | ۶/۵ | ۱۱/۱ | ۱۳/۵ | ۱۳/۸ | ۹/۶ | ۳/۴ | -۳/۲ | -۸/۱ |
| | RCP2.6 | -۶/۴ | -۴ | ۲/۶ | ۱۰/۱ | ۱۶/۵ | ۲۱/۱ | ۲۲/۶ | ۲۳/۶ | ۱۹/۳ | ۱۰/۸ | ۱/۶ | -۳/۸ |
| | RCP4.5 | -۷ | -۴/۳ | ۲/۹ | ۱۰/۲ | ۱۶/۴ | ۲۰/۶ | ۲۳ | ۲۳/۳ | ۱۸/۷ | ۱۰/۷ | ۱/۸ | -۴/۱ |
| | RCP8.5 | -۶/۹ | -۴/۱ | ۲/۹ | ۹/۷ | ۱۶/۶ | ۲۰/۹ | ۲۲/۷ | ۲۴/۵ | ۱۹/۵ | ۱۰/۹ | ۲ | -۳/۳ |
| اهر | مشاهده شده | -۹/۱ | -۳/۸ | -۳/۸ | ۳/۲ | ۷/۸ | ۱۲/۸ | ۱۵/۸ | ۱۵/۷ | ۱۱/۴ | ۵/۵ | -۱/۳ | -۶/۶ |
| | RCP2.6 | -۵/۵ | -۳/۳ | ۳/۳ | ۱۱ | ۱۷/۶ | ۲۳/۷ | ۲۷/۴ | ۲۶/۶ | ۲۰/۹ | ۱۲/۳ | ۲/۱ | -۳/۲ |
| | RCP4.5 | -۵/۷ | -۳/۲ | ۲/۹ | ۱۱/۲ | ۱۷/۵ | ۲۴/۳ | ۲۷/۱ | ۲۶/۶ | ۲۰/۸ | ۱۲/۳ | ۲/۹ | -۳/۳ |
| | RCP8.5 | -۶/۲ | -۳/۳ | ۳/۵ | ۱۱/۱ | ۱۷/۶ | ۲۴/۱ | ۲۷/۲ | ۲۶/۹ | ۲۰/۸ | ۴/۹ | ۲/۷ | -۳/۳ |
| سراب | مشاهده شده | -۱۲/۶ | -۱۱ | -۵/۱ | ۱/۶ | ۶/۵ | ۱۱/۳ | ۱۳/۹ | ۱۳/۹ | ۹/۷ | ۳/۴ | -۳/۶ | -۹ |
| | RCP2.6 | -۷/۵ | -۳/۵ | ۳ | ۱۰/۲ | ۱۶/۵ | ۲۱/۴ | ۲۳/۳ | ۲۳/۲ | ۱۸ | ۱۰/۱ | ۰/۵ | -۵/۶ |
| | RCP4.5 | -۷/۵ | -۳/۴ | ۲/۳ | ۱۰/۳ | ۱۶/۳ | ۲۱/۹ | ۲۳/۴ | ۲۳/۲ | ۱۸/۲ | ۹/۶ | ۰/۵ | -۶/۱ |
| | RCP8.5 | -۷/۳ | -۴/۲ | ۲/۴ | ۱۰/۶ | ۱۶/۷ | ۲۱/۸ | ۲۳/۴ | ۲۳/۵ | ۱۸/۹ | ۱۰ | ۰/۶ | -۶/۱ |
| میانه | مشاهده شده | -۸ | -۶/۲ | ۰/۴ | ۷/۷ | ۱۲/۸ | ۱۹ | ۲۲/۲ | ۲۲/۲ | ۱۷/۲ | ۹/۹ | ۱/۸ | -۳/۸ |
| | RCP2.6 | -۲/۵ | ۲/۱ | ۸/۹ | ۱۶/۵ | ۲۳/۷ | ۳۱ | ۳۴/۶ | ۳۴/۴ | ۲۸/۷ | ۱۸/۴ | ۸/۳ | ۱/۲ |
| | RCP4.5 | -۱/۷ | ۱/۳ | ۸/۸ | ۱۷ | ۲۳/۳ | ۳۱/۳ | ۳۴/۶ | ۳۴/۴ | ۲۸/۶ | ۱۸/۶ | ۸/۶ | ۱/۵ |
| | RCP8.5 | -۱/۸ | ۱/۹ | ۸/۷ | ۱۷ | ۲۳/۹ | ۳۱/۵ | ۳۴/۳ | ۳۴/۷ | ۲۸/۶ | ۱۷/۹ | ۸/۴ | ۱/۷ |
| زنجان | مشاهده شده | -۱۱/۴ | -۹/۵ | -۴/۴ | ۲/۳ | ۶/۸ | ۱۲/۲ | ۱۵/۸ | ۱۶/۱ | ۱۱/۳ | ۵/۲ | -۲ | -۷/۵ |
| | RCP2.6 | ۳/۷ | ۹/۴ | ۱۵/۷ | ۲۱/۶ | ۲۳/۱ | ۱۹/۷ | ۱۲/۹ | ۵/۹ | -۱/۳ | -۲/۳ | -۹/۴ | -۴/۶ |
| | RCP4.5 | ۳/۹ | ۹/۷ | ۱۵/۹ | ۲۱/۲ | ۲۳/۳ | ۱۹/۷ | ۱۳/۲ | ۵/۸ | -۱/۴ | -۷/۵ | -۹/۶ | -۴/۵ |
| | RCP8.5 | ۳/۲ | ۹/۴ | ۱۵/۷ | ۲۱/۱ | ۲۳/۲ | ۱۹/۷ | ۱۳/۲ | ۵/۷ | -۱/۶ | -۸ | -۹/۷ | -۴/۴ |

برای اینکه معنی‌داری تغییر در سه سناریوی RCPs به اثبات برسد از آزمون آماری جفتی t استیودنت استفاده شده است. با توجه به نتایج آزمون جفتی t استیودنت که در جدول ۵ درج شده است می‌توان گفت که بین مقدار مشاهده شده دمای معادل فیزیولوژیک (PET) در دوره مرجع با مقدار PET آینده‌نگری شده تحت سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ در تمامی ایستگاه‌ها (به استثنای ایستگاه زنجان) تفاوت معنی‌داری وجود دارد. بعبارت دیگر با مقایسه انجام شده بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر حاصل از سناریوها برای دمای معادل فیزیولوژیک (PET) می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت معنی‌دار بین مقادیر مشاهده شده و آینده‌نگری شده وجود دارد. از اینرو در آینده شاهد تغییر معنی‌دار در متغیرهای دما، رطوبت، ابرناکی، فشار بخار آب و سرعت باد خواهیم بود و در ازای تغییر متغیرهای فوق، مقدار دمای فیزیولوژیک (PET) نیز تغییر خواهد کرد. همچنین در جدول ۵ شاهد اضافه شدن سه حالت شاخص دمای فیزیولوژیک (PET) یعنی شرایط "نسبتا گرم"، "گرم" و "داغ" تحت سناریوی تغییر اقلیم در استان اردبیل هستیم. علاوه بر این جابجایی زمانی در حالت "آسایش" نسبت به دوره مرجع در هر سه سناریوی RCPs قابل مشاهده است. بعبارت دیگر، جابجایی زمانی حالت "آسایش" به سمت انتهای فصل تابستان

(سپتامبر) و اوایل بهار (آوریل و می) اتفاق خواهد افتاد. علاوه بر این، شرایط "خیلی سرد" در دوره آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰) برای ماه‌های سرد سال به سمت حالت "نسبتا خنک"، "خنک" و "سرد" تغییر حالت نشان خواهد داد.

جدول (۴): حالت دمای معادل فیزیولوژیک (PET) در دوره مرجع و تحت سناریوی تغییر اقلیم، ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰. (منبع: نویسندگان)

| ایستگاه | سناریو | ژانویه | فوریه | مارس | آوریل | می | ژوئن | ژولای | آگوست | سپتامبر | اکتبر | نوامبر | دسامبر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| پارس‌آباد مغان | مشاهده شده | خ س | خ س | خ س | س | ن خ | آ | آ | آ | ن خ | خ | خ س | خ س |
| | RCP2.6 | خ س | خ س | خ | ن خ | ن گ | گ | د | د | ن گ | آ | خ | خ س |
| | RCP4.5 | خ س | خ س | خ | ن خ | ن گ | گ | د | د | ن گ | آ | خ | خ س |
| | RCP8.5 | خ س | خ س | خ | ن خ | ن گ | گ | د | د | ن گ | آ | خ | خ س |
| اردبیل | مشاهده شده | خ س | خ س | خ س | خ س | س | خ | خ | خ | خ | خ س | خ س | خ س |
| | RCP2.6 | خ س | س | خ | آ | آ | آ | آ | خ | س | خ س | خ س | خ س |
| | RCP4.5 | خ س | س | ن خ | آ | آ | آ | آ | ن خ | س | خ س | خ س | خ س |
| | RCP8.5 | خ س | س | ن خ | آ | آ | آ | آ | ن خ | س | خ س | خ س | خ س |
| مشکین شهر | مشاهده شده | خ س | خ س | خ س | خ س | س | ن خ | ن خ | ن خ | خ | س | خ س | خ س |
| | RCP2.6 | خ س | خ س | س | خ | ن خ | ن گ | ن گ | ن گ | آ | خ | س | خ س |
| | RCP4.5 | خ س | خ س | س | خ | ن خ | ن گ | ن گ | ن گ | آ | خ | س | خ س |
| | RCP8.5 | خ س | خ س | س | خ | ن خ | ن گ | ن گ | ن گ | آ | خ | س | خ س |
| خلخال | مشاهده شده | خ س | خ س | خ س | خ س | س | خ | ن خ | ن خ | خ | خ س | خ س | خ س |
| | RCP2.6 | خ س | خ س | خ س | خ | ن خ | آ | آ | ن گ | آ | خ | خ س | خ س |
| | RCP4.5 | خ س | خ س | خ س | خ | ن خ | آ | آ | ن گ | آ | خ | خ س | خ س |
| | RCP8.5 | خ س | خ س | خ س | خ | ن خ | آ | آ | ن گ | آ | خ | خ س | خ س |
| اهر | مشاهده شده | خ س | خ س | خ س | خ س | س | خ | ن خ | ن خ | خ | س | خ س | خ س |
| | RCP2.6 | خ س | خ س | خ س | خ | ن خ | ن گ | ن گ | ن گ | آ | خ | خ س | خ س |
| | RCP4.5 | خ س | خ س | خ س | خ | ن خ | ن گ | ن گ | ن گ | آ | خ | خ س | خ س |
| | RCP8.5 | خ س | خ س | خ س | خ | ن خ | ن گ | ن گ | ن گ | آ | س | خ س | خ س |
| سراب | مشاهده شده | خ س | خ س | خ س | خ س | س | خ | ن خ | ن خ | خ | خ س | خ س | خ س |
| | RCP2.6 | خ س | خ س | خ س | خ | ن خ | آ | ن گ | ن گ | ن خ | خ | خ س | خ س |
| | RCP4.5 | خ س | خ س | خ س | خ | ن خ | آ | ن گ | ن گ | آ | خ | خ س | خ س |
| | RCP8.5 | خ س | خ س | خ س | خ | ن خ | آ | ن گ | ن گ | آ | خ | خ س | خ س |
| میانه | مشاهده شده | خ س | خ س | خ س | س | خ | آ | آ | آ | ن خ | خ | خ س | خ س |
| | RCP2.6 | خ س | خ س | خ | ن خ | ن گ | گ | گ | گ | ن گ | آ | خ | خ س |
| | RCP4.5 | خ س | خ س | خ | ن خ | ن گ | گ | گ | گ | ن گ | آ | خ | خ س |
| | RCP8.5 | خ س | خ س | خ | ن خ | ن گ | گ | گ | گ | ن گ | ن خ | خ | خ س |
| زنجان | مشاهده شده | خ س | خ س | خ س | خ س | س | خ | ن خ | ن خ | خ | س | خ س | خ س |
| | RCP2.6 | خ س | خ | ن خ | آ | ن گ | آ | خ | س | خ س | خ س | خ س | خ س |
| | RCP4.5 | خ س | خ | ن خ | آ | ن گ | آ | ن خ | س | خ س | خ س | خ س | خ س |
| | RCP8.5 | خ س | خ | ن خ | آ | ن گ | آ | ن خ | س | خ س | خ س | خ س | خ س |
| **درجه آسایش** | | خیلی داغ | | داغ | گرم | نسبتا گرم | آسایش | | نسبتا خنک | خنک | سرد | خیلی سرد | |

جدول (۵): آزمون جفتی t استیودنت مقادیر مشاهده شده PET در دوره مرجع و تحت سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5. (منبع: نویسندگان)

| ایستگاه | متغیرها | آزمون | درجه | سطح | ایستگاه | متغیرها | آزمون | درجه | سطح |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| پارس‌آباد مغان | مشاهده شده با | -۹/۰۰۶ | ۱۱ | ۰/۰۰۰ | اهر | مشاهده شده با | -۶/۷۶۰ | ۱۱ | ۰/۰۰۰ |
| | مشاهده شده با | -۹/۳۰۴ | ۱۱ | ۰/۰۰۰ | | مشاهده شده با | -۶/۸۶۲ | ۱۱ | ۰/۰۰۰ |
| | مشاهده شده با | -۹/۲۵۱ | ۱۱ | ۰/۰۰۰ | | مشاهده شده با | -۵/۲۱۹ | ۱۱ | ۰/۰۰۰ |
| اردبیل | مشاهده شده با | -۲/۷۰۷ | ۱۱ | ۰/۰۲ | سراب | مشاهده شده با | -۱۱/۵۰۹ | ۱۱ | ۰/۰۰۰ |
| | مشاهده شده با | -۲/۷۸۵ | ۱۱ | ۰/۰۱۸ | | مشاهده شده با | -۱۰/۶۷۲ | ۱۱ | ۰/۰۰۰ |
| | مشاهده شده با | -۲/۷۷۱ | ۱۱ | ۰/۰۱۸ | | مشاهده شده با | -۱۰/۶۰۹ | ۱۱ | ۰/۰۰۰ |
| مشکین شهر | مشاهده شده با | -۱۳/۷۶۴ | ۱۱ | ۰/۰۰۰ | میانه | مشاهده شده با | -۱۲/۱۰۶ | ۱۱ | ۰/۰۰۰ |
| | مشاهده شده با | -۱۵/۰۵۵ | ۱۱ | ۰/۰۰۰ | | مشاهده شده با | -۱۲/۸۵۱ | ۱۱ | ۰/۰۰۰ |
| | مشاهده شده با | -۱۵/۸۶۵ | ۱۱ | ۰/۰۰۰ | | مشاهده شده با | -۱۲/۶۴۲ | ۱۱ | ۰/۰۰۰ |
| خلخال | مشاهده شده با | -۱۱/۶۳۰ | ۱۱ | ۰/۰۰۰ | زنجان | مشاهده شده با | -۱/۳۵۱ | ۱۱ | ۰/۲۰۴ |
| | مشاهده شده با | -۱۱/۱۹۷ | ۱۱ | ۰/۰۰۰ | | مشاهده شده با | -۱/۱۸۷ | ۱۱ | ۰/۲۶ |
| | مشاهده شده با | -۱۱/۴۳۴ | ۱۱ | ۰/۰۰۰ | | مشاهده شده با | -۱/۱۴۱ | ۱۱ | ۰/۲۷۸ |

در شاخص دمای معادل فیزیولوژیک (PET)، نه تنها از بعد زمانی، بلکه از بعد مکانی هم جابجایی در پهنه و نوع حالت شاخص مورد نظر اتفاق خواهد افتاد. در اشکال ۴ تا ۷ نقشه پهنه‌بندی شاخص PET براساس حالت‌های مفروض در این روش نشان داده شده است. با توجه به آینده‌نگری انجام شده توسط سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و مقایسه آن با مقدار دمای معادل فیزیولوژیک (PET) در دوره مرجع، تغییرات مکانی معنی‌داری در وسعت و پهنه حالت‌های مختلف این شاخص رخ خواهد داد. علاوه بر افزایش دمای معادل فیزیولوژیک در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰، چهار حالت از شاخص PET یعنی شرایط "نسبتا گرم"، "گرم"، "داغ" و "خیلی داغ" که در دوره مرجع در این ناحیه از کشور قابل مشاهده نبود، ظاهر خواهد شد. این مهم بویژه در ماه‌های فصول گرم بیشتر نمود پیدا خواهد کرد. با برقراری شرایط جدید اقلیمی در آینده، دوره آسایش در این ناحیه نیز جابجایی مکانی شدیدی را نشان می‌دهد. با توجه به اشکال ۴ تا ۷، مقدار دمای فیزیولوژیک (PET) استان اردبیل در دوره مرجع و دوره آینده بصورت زیر قابل تشریح است.

**ژانویه:** در ماه ژانویه شرایط "خیلی سرد" در دوره مرجع و همچنین در دوره آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰) تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 بر این ناحیه نیز تسلط دارد.

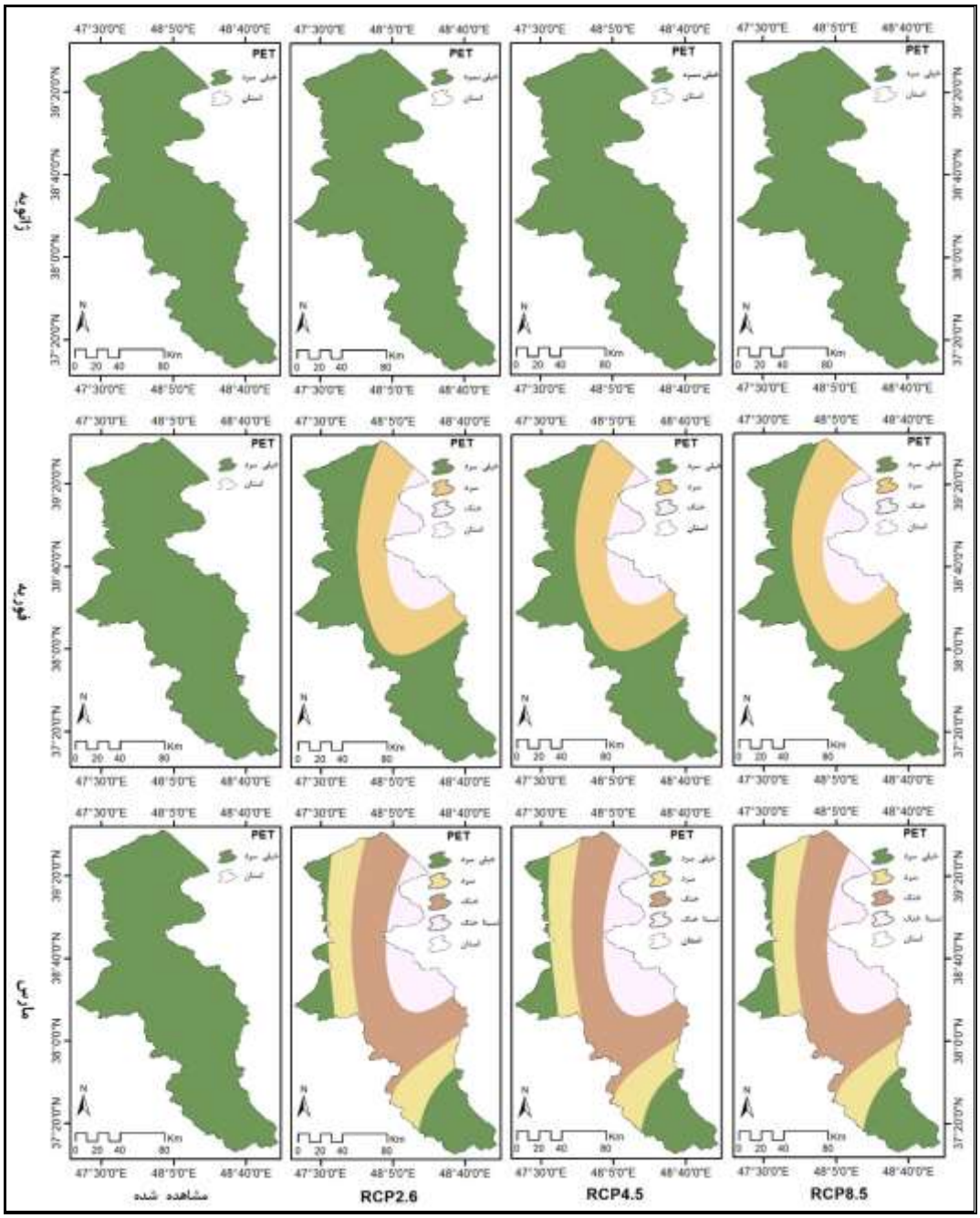
**فوریه:** در ماه فوریه کل ناحیه مورد مطالعه در دوره مرجع از شرایط "خیلی سرد" برخوردار بوده است. اما تحت سه سناریوی مورد بررسی در دوره آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰)، بخش اعظمی از ناحیه مرکزی تا شمال و شمال شرق این استان تحت تسلط شرایط "سرد" و "خنک" قرار خواهد گرفت و سایر نواحی استان از همان شرایط دوره مرجع یا "خیلی سرد" برخوردار خواهد بود.

**مارس:** در ماه مارس شرایط در دوره مرجع از نوع "خیلی سرد" است. اما تحت سه سناریوی RCPs برای دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰، شاهد تغییر حالت شدید نسبت به دوره مرجع در این ناحیه خواهیم بود. بطوریکه علاوه بر شرایط "خیلی سرد"، سه حالت "سرد"، "خنک" و "نسبتا خنک" در این ناحیه پدیدار خواهد شد که قسمت اعظم مساحت این استان را در بر می‌گیرد. بعبارت دیگر شرایط اقلیمی نسبت به دوره مرجع رو به گرمی گذاشته و از سرمای خیلی شدید ماه فوریه نسبت به دوره مرجع کاسته خواهد شد.

**آوریل:** دو حالت "خیلی سرد" و "سرد" در ماه آوریل در دوره مرجع در استان اردبیل مشاهده شد. اما در آینده بر تعداد حالت‌های شاخص PET در این ماه افزوده می‌شود. بعبارتی علاوه بر دو حالت گفته شده که مساحت کمی از پهنه این استان در

جنوب و غرب آن را شامل می‌شوند، بقیه مساحت استان تحت تسلط شرایط "خنک"، "نسبتا خنک" و "آسایش" قرار خواهد گرفت.

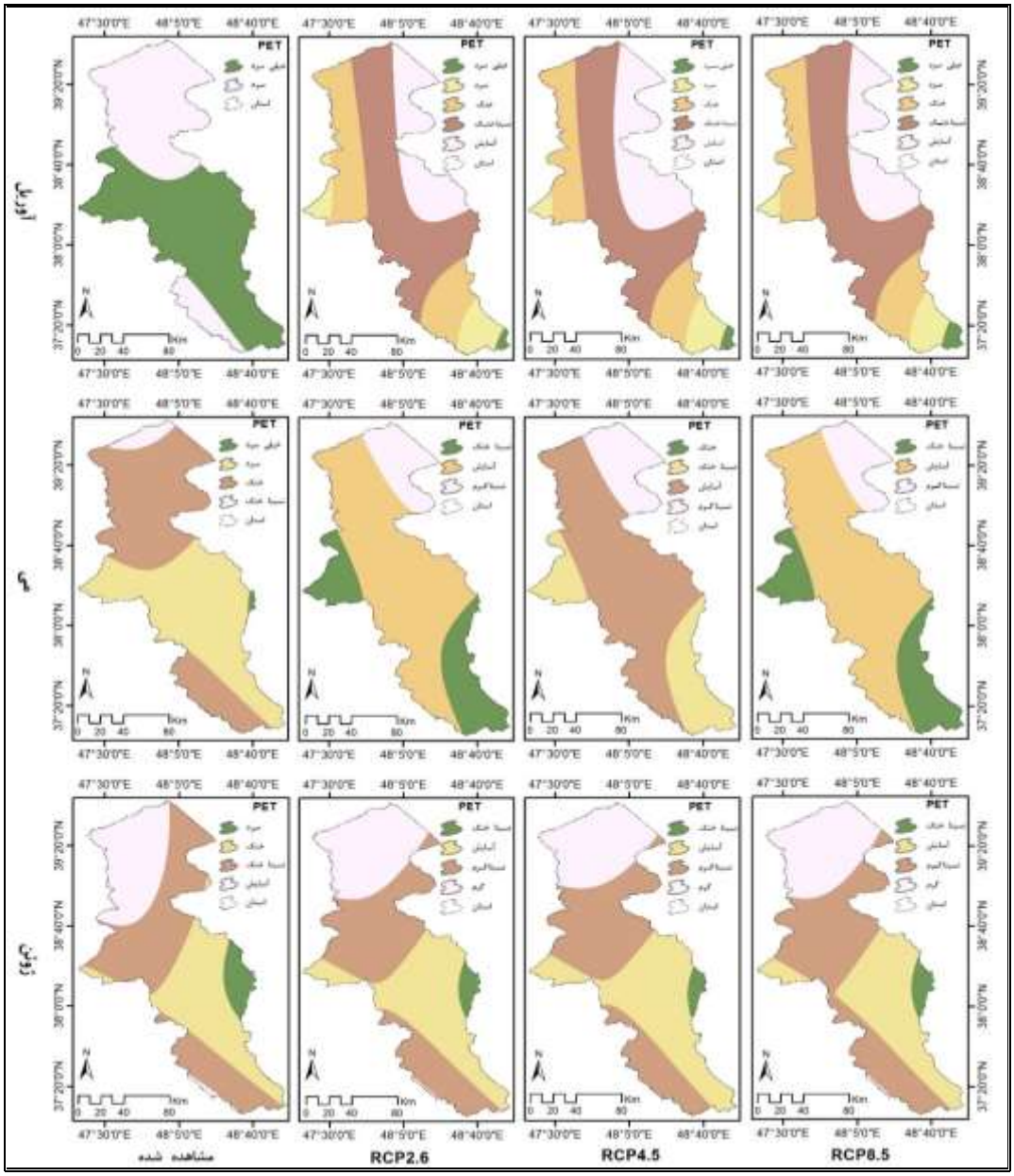
**می:** دمای معادل فیزیولوژیک (PET) دوره مرجع در ماه می بیانگر برقراری شرایط "خیلی سرد"، "سرد"، خنک" و "نسبتا خنک" در این ناحیه است. اما در آینده‌نگری صورت گرفته برای دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ از طریق سناریوهای RCPs، باید گفت شرایط "خیلی سرد" که محدوده به ناحیه کوچکی در شرق استان اردبیل است، حذف خواهد شد و بجای آن شرایط "نسبتا گرم" در بخش شمالی و شمال شرقی این ناحیه حکمفرما خواهد شد.




شکل (۴): دمای معادل فیزیولوژیک (PET) ماه‌های زمستان در دوره مرجع و سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5. (منبع: نویسندگان)

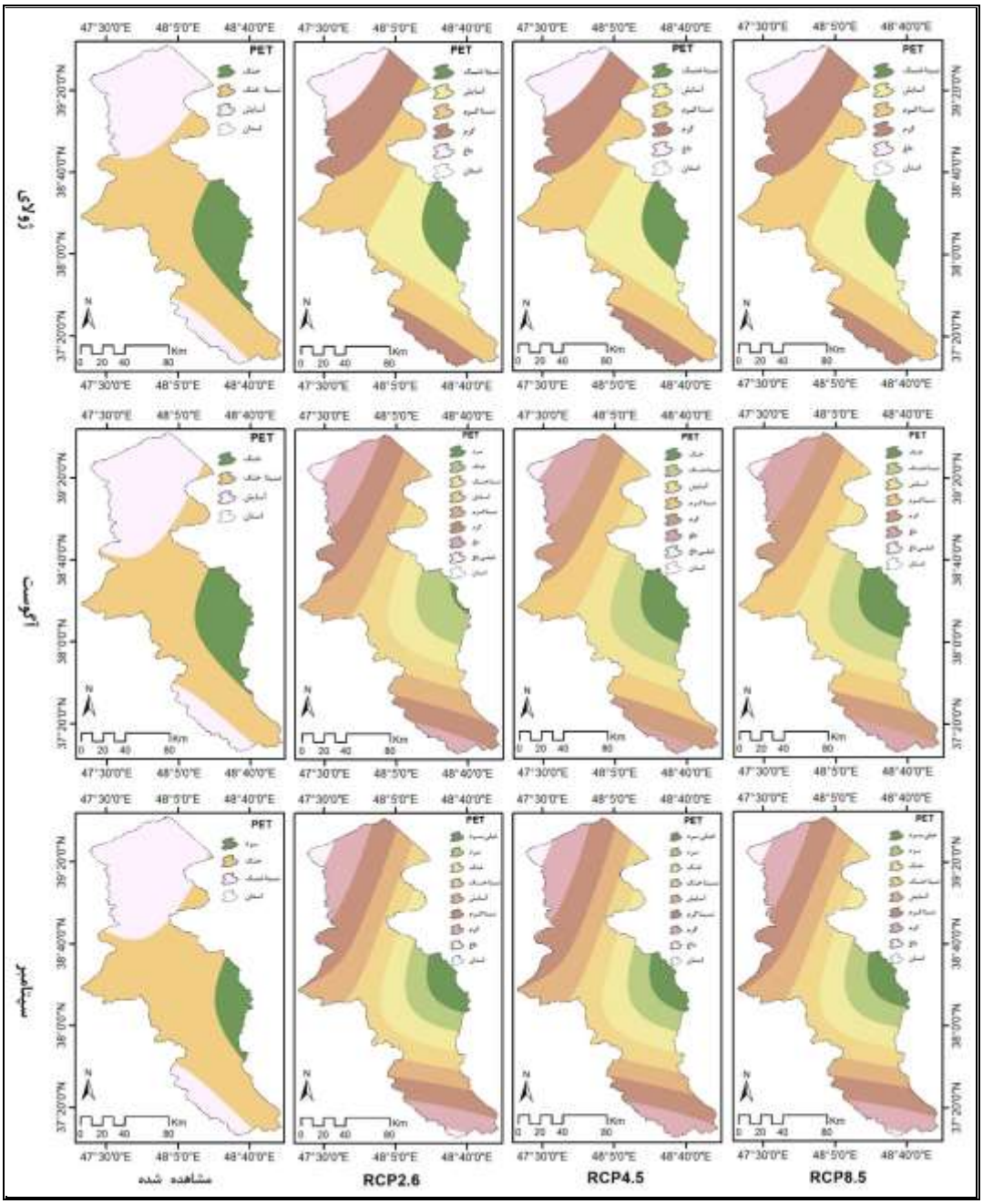
**ژوئن:** در ماه ژوئن شرایط "آسایش" در بخش شمال غربی استان اردبیل در دوره مرجع مشاهده گردید. اما این ناحیه تحت سه سناریوی تغییر اقلیم به شرایط "گرم" در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰، تغییر حالت نشان خواهد داد. علاوه بر این، شرایط "آسایش" تحت

سناریوی تغییر اقلیم از لحاظ عرض جغرافیایی به سمت نواحی مرکزی و جنوبی استان کشیده خواهد شد. بعبارت دیگر شرایط آسایش در آینده در راستای عرض جغرافیایی و همچنین ارتفاع تغییر می‌کند. همچنین دو حالت "نسبتا گرم" و "گرم" شاخص PET در آینده‌نگری انجام شده توسط سناریوها نسبت به دوره مرجع در این ناحیه پدیدار خواهد گشت. از طرف دیگر اثری از شرایط "سرد" و "خنک" دوره مرجع در آینده وجود ندارد، بلکه شرایط جدید یعنی حالت "نسبتا گرم" و "گرم" بر این ناحیه مسلط می‌گردد.



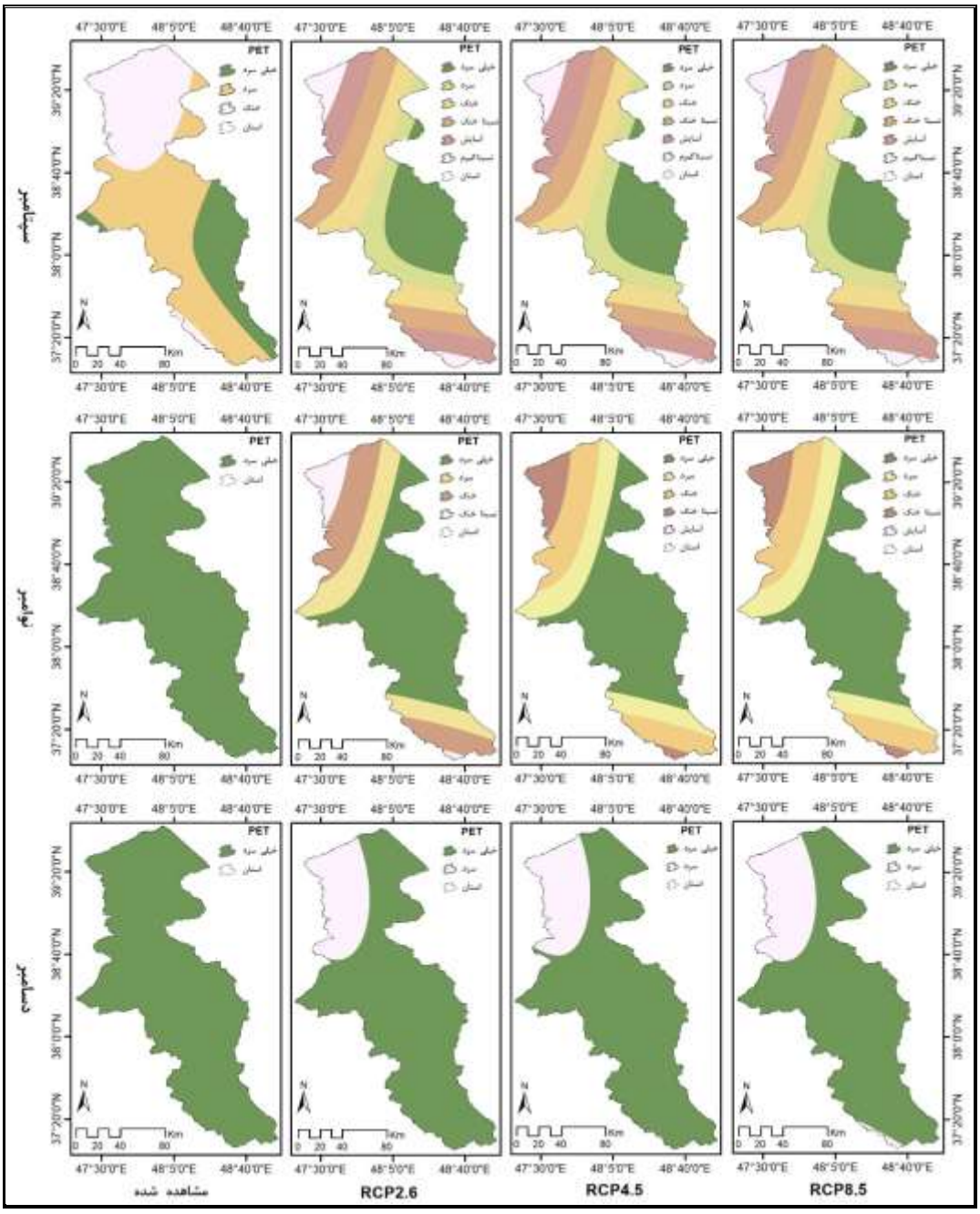

شکل (۵): دمای معادل فیزیولوژیک (PET) ماه‌های بهار در دوره مرجع و سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5

**ژولای:** شرایط شاخص PET در دوره مرجع شامل سه حالت "خنک"، "نسبتا خنک" و "آسایش" است که در ماه ژولای شرایط "آسایش" در ناحیه شمالی آن مشاهده می‌شود. اما در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰، شرایط این استان تغییر خواهد کرد بطوریکه سه حالت "نسبتا گرم"، "گرم" و "داغ" در این ناحیه ظاهر خواهد شد. شرایط آسایش تحت هر سه سناریوی مورد بررسی از شمال استان به سمت مرکز و شرق آن جابه‌جا می‌گردد.




شکل (۶): دمای معادل فیزیولوژیک (PET) ماه‌های تابستان در دوره مرجع و سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5

**آگوست:** شرایط شاخص PET در ماه آگوست نسبت به دوره مرجع تغییرات فاحشی را نشان می‌دهد بطوریکه تعداد حالت‌های این شاخص از سه حالت "خنک"، "نسبتا خنک" و "آسایش" به هفت حالت "خنک"، "نسبتا خنک"، "آسایش"، "نسبتا گرم"، "گرم"، "داغ" و "خیلی داغ" تغییر خواهد کرد. در این ماه تغییرات شدید حالت‌های شاخص PET که نشان‌دهنده افزایش دمای شدید تحت سه سناریوی مورد بررسی است اتفاق خواهد افتاد. علاوه بر این، حالت "آسایش" در آینده نسبت به دوره مرجع از ناحیه شمالی و شمال غربی به ناحیه مرکزی استان که از ارتفاع بیشتری برخوردار است تغییر مکان خواهد داد. در نتیجه جابجایی مکانی در شرایط آسایش در راستای عرض جغرافیایی و ارتفاع در آینده صورت خواهد پذیرفت.




شکل (۷): دمای معادل فیزیولوژیک (PET) ماه دسامبر در دوره مرجع و سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5

**سپتامبر:** در ماه سپتامبر هم مانند ماه آگوست، سه حالت شاخص PET یعنی حالت "سرد"، "خنک" و "نسبتا خنک" در دوره مرجع به هشت حالت "خیلی سرد"، "سرد"، "خنک"، "نسبتا خنک"، "آسایش"، "نسبتا گرم"، "گرم" و "داغ" تحت سه سناریوی مورد بررسی در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ تغییر خواهد یافت. بعبارت دیگر شاهد تغییر شدید شرایط اقلیمی این ناحیه از کشور هستیم که شرایط موجود را با محدودیت مواجه ساخته و شرایط جدید را بر این ناحیه مستولی خواهد کرد. شرایط آسایش نیز در آینده پیش‌بینی شده توسط سناریوها، محدود به باریکه‌ای است که از شمال شرقی استان تا غرب آن بصورت نواری در راستای شمال شرقی-جنوب غربی امتداد می‌یابد.

**اکتبر:** در ماه اکتبر، سه حالت از شاخص PET یعنی حالت"خیلی سرد"، "سرد" و "خنک" بر استان اردبیل حاکم است و کل پهنه استان توسط این سه حالت در دوره مرجع پوشش داده شده است. اما در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰، بر تعداد حالت‌های PET افزوده

خواهد شد. بعبارت دیگر، علاوه بر سه حالت دوره مرجع، سه حالت دیگر یعنی حالت "نسبتا خنک"، "آسایش" و "نسبتا گرم" در این ناحیه تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 پدیدار خواهد شد. در این ماه، شرایط آسایش در دوره آینده برقرار خواهد شد بطوریکه بصورت دو پهنه کاملا مشخص در شمال غربی و جنوب استان قابل مشاهده است. در این ماه هم جابجایی مکانی شدید در حالت‌های PET در راستای عرض جغرافیایی و ارتفاع اتفاق خواهد افتاد.

**نوامبر:** شرایط اقلیمی استان اردبیل در دوره مرجع به روش دمای معادل فیزیولوژیک (PET) نیز از نوع "خیلی سرد" بوده، و کل پهنه استان در ماه نوامبر تحت سیطره این شرایط قرار دارد. اما تحت سه سناریوی RCPs کاملا مشخص است که حالت "خیلی سرد" دوره مرجع به ۴ حالت تحت RCP2.6 و ۵ حالت تحت RCP4.5 و RCP8.5 تغییر پیدا خواهد کرد. بعبارت دیگر در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰، در قسمت‌های شمال، شمال غرب، غرب و جنوبی استان اردبیل شرایط "سرد"، "خنک"، "نسبتا خنک" و "آسایش" برقرار خواهد شد و شرایط "خیلی سرد" مناطق مرکزی، شرقی و شمال شرقی استان را در بر خواهد گرفت.

**دسامبر:** در ماه دسامبر، کل پهنه استان اردبیل در دوره مرجع تحت سیطره شرایط "خیلی سرد" شاخص PET قرار دارد. اما تحت سناریوی RCPs، شرایط از حالت "خیلی سرد" به دو حالت "خیلی سرد" و "سرد" تغییر خواهد یافت. بطوریکه حالت "سرد" ناحیه شمال غربی استان را در هر سه سناریو در بر می‌گیرد.

بطور کلی باید گفت که تغییر شرایط در دمای معادل فیزیولوژیک (PET) در استان اردبیل در دوره آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰) نسبت به دوره مرجع در ازای سه سناریوی مورد بررسی بسیار شدید خواهد بود. این مهم نه تنها از بعد زمانی قابل توجه است بلکه از لحاظ مکانی، تغییرات چشمگیری در حالت‌های مختلف این شاخص اتفاق خواهد افتاد. علاوه بر این، اضافه شدن حالت‌های جدید نسبت به دوره مرجع یعنی شرایط "نسبتا گرم"، "گرم"، "داغ" و "خیلی داغ" تحت هر سه سناریوی مورد بررسی برای آینده نه چندان دور قابل پیش‌بینی است.

## بحث و نتیجه‌گیری

بررسی شرایط اقلیم گردشگری در دوره‌های آینده یکی از ضروریات صنعت گردشگری بوده و می‌تواند کمک بسزایی به برنامه-ریزان و سیاستگذاران این حوزه بنماید. در این پژوهش، شاخص دمای فیزیولوژیک (PET) استان اردبیل در طی دوره آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰) مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج بدست آمد از مدل‌سازی انجام شده تحت سه سناریوی RCPs یعنی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نشان داد که تغییرات در متوسط دما، رطوبت نسبی، ابرناکی، فشار بخار آب و سرعت باد اتفاق خواهد افتاد. در نتیجه مقدار PET ایستگاه‌ها و سپس پهنه مورد بررسی (استان اردبیل) نسبت به دوره مرجع (مشاهده شده) دچار تغییر خواهد شد. این تغییرات از بعد مکانی و زمانی به اثبات رسید و مشخص شد که جابجایی مکانی و زمانی در شرایط "آسایش" شاخص PET در آینده رخ خواهد داد. با توجه به آینده‌نگری انجام شده مشخص شد که شرایط شاخص PET در دوره مرجع که ۵ حالت "خیلی سرد"، "سرد"، "خنک"، "نسبتا خنک" و "آسایش" را در بر می‌گرفت، به حالت‌های "خیلی سرد"، "سرد"، "خنک"، " نسبتا خنک"، "آسایش"، "نسبتا گرم"، "گرم"، "داغ" و خیلی داغ" تغییر خواهد کرد. تغییر حالت‌های PET به سمت دماهای بالا خواهد بود و در ازای آن شاخص فوق بسمت حالت‌های گرمتر حرکت می‌کند. همچنین جابجایی مکانی در شاخص PET در راستای طولی، عرضی و ارتفاع در دوره آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰) رخ خواهد داد. در نهایت باید گفت نتایج بدست آمده از این پژوهش می‌تواند برای تصمیم‌سازان در سطوح مختلف از جمله بخش سلامت، گردشگری و برنامه‌ریزی منطقه‌ای بسیار مفید و مثمر ثمر باشد. همچنین آگاهی از شرایط آینده اقلیم گردشگری تحت سناریوهای تغییر اقلیم از جمله ضروریات مطالعاتی بود که در این پژوهش به آن پرداخته شد. با در نظر گرفتن واقعیت در حال تحول اقلیمی، مسئولین باید استراتژی‌های توسعه گردشگری را متناسب با تغییرات مکانی و زمانی آب و هوا اتخاذ کنند تا از این طریق مدیریت بهتر این حوزه فعالیت و افزایش دوام آن محقق گردد.

## منابع


۱. مرادجانی، شیرین (۱۴۰۱). بررسی اثر تغییر اقلیم بر گردشگری آینده استان لرستان با استفاده از شاخص TCI و سناریوهای واداشت تابشی. *فصلنامه اکولوژی انسانی*. ۱ (۱)، ۴۱-۲۹.

۲. شجاع، فائزه؛ حمیدیان‌پور، محسن (۱۴۰۲). پیش‌نمایی پیامدهای تغییر اقلیم در توسعه گردشگری سواحل جنوب (جزیره کیش). *گردشگری و توسعه*. ۱۲ (۴)، ۲۵۵-۲۳۷.

۳. رحیمی، داریوش و دیگران (۱۴۰۲). ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر گردشگری استان خوزستان. *مهندسی اکوسیستم بیابان*. ۱۲ (۴۰)، ۷۳-۸۶

4. Conti, J. B. (2005). Considerações sobre as Mudanças Climáticas Globais. Revista do Departamento de Geografia. São Paulo. *USP*. 16 (1), 70-75.

5. De la Vara, A. et al (2022). Climate change impacts on the tourism sector of the Spanish Mediterranean coast: Medium-term projections for a climate services tool. *Climate Services*. 34, 100466. https://doi.org/10.1016/j.cliser.2024.100466.

6. Friedrich. J. et al (2020). Exploring climate change threats to beach tourism destinations: Application of the hazard–activity Pairs methodology to South Africa. *Weather, Climate, and Society*. 12 (3), 529–544, DOI: https://doi.org/10.1175/WCAS-D-19-0133.1.

7. Grillakis. M. G. et al (2016). Implications of 2 °C global warming in European summer tourism. *Climate Services*. 1, 30-38. https://doi.org/10.1016/j.cliser.2016.01.002.

8. Grimm. I. J.; Alcântara. L. C. S. & Sampaio. C. A. C. (2018). Tourism under climate change scenarios: impacts, possibilities, and challenges. *Brazilian Journal of Tourism Research*. 12 (3), 1-22, DOI: http://dx.doi.org/10.7784/rbtur.v12i3.1354.

9. Hamilton, J. M.; Maddison, D. J. & Tol, R. S. J. (2005). Effects of climate change on international tourism. *Climate Research*. 29, 245–254.

10. IPCC. (2014). *Climate Change. Synthesis Report Summary for Policymakers*. Disponível em: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf. Acessoem junho de 2016.

11. Jacob. D. et al (2018). Climate impacts in Europe under +1.5°C global warming. *Earth's Future*. 6 (2), 264-285. https://doi.org/10.1002/2017EF000710.

12. Katavoutas G. et al (2021). Climate change and thermal comfort in top tourist destinations—the case of Santorini (Greece). *Sustainability*. 13, 1-19. https://doi.org/10.3390/su13169107.

12. Lin, T. P. & Matzarakis, A. (2008). Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. *Int J Biometeorol*. 52, 281-290.

13. Liu. W. Y.; Huang. Y.H. & Hsieh. C. M. (2020). The impacts of different climate change Scenarios on visits toward the National Forest Park in Taiwan. *Forests*. 11 (11), 1-25. https://doi.org/10.3390/f11111203.

14. Marengo, J. A. (2007). Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil. *Fundação Brasileira para o Desenvolvimento sustentável – FBDS*. 76p.

15. Matzarakis, A.; Mayer, H. & Iziomon, M. G. (1999), Applications of a universal thermal index: Physiological equivalent temperature. *Int J Biometeorol*. 43, 76–84.

16. Matzarakis, A.; Rutz, F. & Mayer, H. (2007). Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments – application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*. 51, 323–334.

17. Mendonça, F. (2007). Aquecimento global e suas manifestações regionais e locais. *Revista Brasi-leira de Climatologia*. 2, 71 - 86.

18. Nastos, P. T. & Matzarakis, A. (2019). Present and future climate—tourism conditions in Milos Island, Greece. *Atmosphere*. 10, 145. doi:10.3390/atmos10030145.

19. Olefs. M. et al (2021). Past and future changes of the Austrian climate – Importance for tourism. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*. 34, 1-13, https://doi.org/10.1016/j.jort.2021.100395.

20. Rice. H. et al (2021). Climate change risk in the Swedish ski industry. *Current Issues in Tourism*. Published online, https://doi.org/10.1080/13683500.2021.1995338.

21. Schwalm, C. R.; Glendon, S. & Duffy, P. B. (2020). RCP8.5 tracks cumulative $CO_2$ emissions. *PNAS*. 117 (33), 19656-19657. https://doi.org/10.1073/pnas.2007117117.

22. Scott. D.; Gössling. S. C. & Hall. M., (2012). International tourism and climate change. *WIREs Climate Change*. 3 (3), 213-295. https://doi.org/10.1002/wcc.165.

23. Spandre, P. et al (2019). Winter tourism under climate change in the Pyrenees and the French Alps: relevance of snowmaking as a technical adaptation. *The Cryosphere*. 13, 1325–1347. https://doi.org/10.5194/tc-13-1325-2019.

24. Tsilogianni, D.; Cartalis, C. & Philippopoulos, K. (2023). Climate change impact assessment on Ski tourism in Greece: Case study of the Parnassos Ski resort. *Climate*. 11 (7), 140. https://doi.org/10.3390/cli11070140

25. Valizadeh, M. & Khoorani, A. (2022). The impact of climate change on the outdoor tourism with a focus on the outdoor tourism climate index (OTCI) in Hormozgan province, Iran. *Theoretical and Applied Climatology*. 150,1605–1612. https://doi.org/10.1007/s00704-022-04248-5.

26. Vorster. S.; Ungerer. M. & Volschenk. J., (2013). 2050 Scenarios for long-haul tourism in the evolving global climate change regime. *Sustainability*. 5, 1-51. doi:10.3390/su5010001.

27. World Meteorological Organization. (2008). *Climate Change and Tourism – Responding to Global Challenges*. Madrid: World Tourism Organization and the United Nations Environment Programme.

28. Yu, H-W.; Lin, C-C. & Liu, W-Y. (2023). Predicting forest recreation benefits changes under different climate change scenarios. *Trees, Forests and People*. 12, 100390. https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100390.