



کتایون مظلوم^۱
حسن ذوالفقاری^۲
روح اله اوجی^۳
آندریاس ماتزاراکیس^۴

تأثیر گرمایش جهانی بر اقلیم گردشگری ایران^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۶

چکیده

با هدف ارزیابی تغییرات آسایش حرارتی و اقلیم گردشگری ایران، داده‌های روزانه بیشینه و کمینه دما، سرعت باد و رطوبت نسبی ۹۱ ایستگاه سینوپتیک طی دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۷-۲۰۱۷) از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. پس از اعتبارسنجی مدل، مقیاس کاهی آماری با استفاده از روش تبدیل تابع توزیع تجمعی^۶ و با بکارگیری داده‌های روزانه پایگاه ERA5^۷ و برون‌داد شبیه‌سازی شده روزانه مدل‌های GFDL-ESM2G و CanESM2 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 انجام و سپس آسایش حرارتی توسط شاخص PET^۸ در افق‌های (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و (۲۰۴۱-۲۰۶۰) محاسبه و در مقیاس زمانی ده روزه طبقه‌بندی شد. چشم‌انداز آتی حاکی از افزایش ۰/۸۳ درصدی ایستگاه‌های با مطلوبیت آسایشی نسبت به دوره مشاهداتی است. بیشترین درصد ایستگاه‌ها با آستانه مطلوبیت آسایشی در دهه‌های ۲۴ و ۲۵ام و کمترین آنها در دهه‌های یکم تا پنجم و ۳۴ تا ۳۶ام سال بوده و در شمال‌شرق ایران بیشترین کاهش PET و در شمال‌غرب بیشترین افزایش پیش‌نگری می‌شود. نتایج تحقیق بیانگر افزایش PET (حداقل ۰/۰۶ و حداکثر ۱/۵۶ درصدی) ایستگاه‌های کشور است و این نتایج بیشتر تحت تأثیر افزایش دمای میانگین در دوره‌های آتی قرار دارد.

(۲۰۴۰) و (۲۰۴۱-۲۰۶۰) محاسبه و در مقیاس زمانی ده روزه طبقه‌بندی شد. چشم‌انداز آتی حاکی از افزایش ۰/۸۳ درصدی ایستگاه‌های با مطلوبیت آسایشی نسبت به دوره مشاهداتی است. بیشترین درصد ایستگاه‌ها با آستانه مطلوبیت آسایشی در دهه‌های ۲۴ و ۲۵ام و کمترین آنها در دهه‌های یکم تا پنجم و ۳۴ تا ۳۶ام سال بوده و در

۱ - دانشجوی مقطع دکتری تخصصی مخاطرات آب و هوایی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

E-mail: h.zolfaghari@razi.ac.ir

*۲ - گروه جغرافیا، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. (نویسنده مسئول)

۳ - گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

4 - Andreas Matzarakis, Extraordinary Professor of Human Biometeorology, University of Freiburg, Germany

۵ - مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری دانشگاه رازی، کرمانشاه با عنوان " آثار تغییر اقلیم و گرمایش جهانی بر اقلیم گردشگری در ایران " است.

۶ . Cumulative Distribution Functions- transform (CDFt)

۷ . The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ERA-5 Reanalysis

۸ . Physiological Equivalent Temperature (PET)

شمال‌شرق ایران بیشترین کاهش PET و در شمال‌غرب بیشترین افزایش پیش‌نگری می‌شود. نتایج تحقیق بیانگر افزایش PET (حداقل ۰/۰۶ و حداکثر ۱/۵۶ درصدی) ایستگاه‌های کشور است و این نتایج بیشتر تحت تاثیر افزایش دمای میانگین در دوره‌های آبی قرار دارد.

کلید واژه‌ها: اقلیم گردشگری، گرمایش جهانی، شاخص PET، مدل CDFt، GCMs، ایران

مقدمه

صنعت گردشگری مکانیزی مؤثر بر اقتصاد کشورهاست که از طریق ایجاد زیرساخت‌ها و جاذبه‌های گردشگری جدید (Liasidou, 2012: 2) سبب رونق سفرهای بین‌المللی و جهانگردی شده و بخش عمده‌ای از اقتصاد جهانی را می‌سازد. به گونه‌ای که این مهم، بزرگترین بخش خدمات تجارت بین‌المللی در جهان است (Lew, 2011: 150). هوا و اقلیم به عنوان مؤلفه‌های اصلی گردشگری، عوامل مهمی در هزینه‌های گردشگری و رضایتمندی از تعطیلات هستند (Scott et al., 2008: 61). از آنجا که صنعت گردشگری بسیار وابسته به اقلیم است، در دهه‌های اخیر اندیشمندان به بررسی گردشگری و آب و هوا علاقه‌مند شدند (Weir, 2017: 108). تغییر اقلیم به عنوان یک چالش جهان شمول؛ در درجه اول، اقلیم و به تبع آن گردشگری را تحت تاثیر قرار می‌دهد. ایران در صد سال گذشته افزایش دمای شبانه روزی ۲ درجه سانتیگراد را تجربه کرده و میانگین دمای کمینه در یک دهه برای تهران با افزایش ۰/۶۸ درجه سانتیگراد مواجه بوده است (Karimi et al., 2018: 2). طبق تحقیقات انجام شده در چهار سده گذشته مناطق نیمه خشک ایران نیز به سمت خشکی پیش رفته‌اند (Gholami et al., 2017: 1836). بنابراین شناسایی تغییر اقلیم هر منطقه گردشگری در تدوین و بکارگیری سیاست‌های کاهش و سازشی در برنامه‌ریزی اقلیم و گردشگری چاره ساز خواهد بود. با توجه به شرایط کلی ایران از نظر تغییر آب و هوایی و روند افزایشی دمای ایران در مقایسه با میانگین جهانی (Masoudian, 2017: 131) گردشگری نیز به عنوان یک صنعت وابسته به اقلیم تحت تاثیر قرار خواهد گرفت. بنابراین بررسی تغییر اقلیم در ایران برای هرگونه سیاست‌گذاری در آینده اقلیم گردشگری ضروری به نظر می‌رسد. در راستای دستیابی به رونق گردشگری، آسایش حرارتی گردشگران در مقاصد مربوطه عامل تعیین کننده به شمار می‌رود. مفهوم آسایش حرارتی، با احساس رضایت و خشنودی از دمای اطراف بیان می‌شود و عوامل اقلیمی مانند دمای هوا و سرعت باد و رطوبت هوا، پارامترهای مهم در مطلوب بودن حرارت برای بشر هستند از طرفی میزان فعالیت بدنی و لباس، بر این شرایط اثر می‌گذارند. احساس شدید گرما و سرما در اکثر افراد مفهوم عدم آسایش را آشکار می‌کند (Hejazizadeh, et al., 2015: 21).

لذا محققان به سبب اهمیت این مقوله اقدام به تدوین و استفاده از شاخص‌های متعددی برای کمی‌سازی آسایش حرارتی گردشگران در مقاصد گردشگری مختلف کرده‌اند. از این میان استفاده از برخی شاخص‌ها به سبب تحت پوشش قرار دادن مؤلفه‌ها و متغیرهای بیشتر و دقت بهتر، مرسوم‌تر بوده و مطالعات متعددی در نقاط مختلف جهان با این شاخص‌ها انجام شده است. از جمله این شاخص‌های معتبر، شاخص PET است که در مطالعات آسایش حرارتی و بررسی امواج گرمایی و سرمایی و اثر آن بر محیط زیست شهری و گردشگری بسیار متداول است که

مبانی نظری این شاخص مبتنی بر منابع بیوکلیمایی مرتبط با آسایش انسان بوده و علاوه بر متغیرهای اقلیمی، مؤلفه‌هایی چون فعالیت بیولوژیک و پوشش لباس را نیز دخالت می‌دهد. از جمله مطالعات عمده‌ای که در سطح جهانی انجام شده است به (Hoppe, 1999:71; Matzarakis, 2001:171; Matzarakis & Amelung, 2008: 161; Deb & Alur, 2010: 2825; Fröhlich et al., 2019:1; Basarin et al., 2020: 1276; Chen et al., 2020: 694. Sensoy et al., 2020: 124, etc.) می‌توان اشاره کرد. در ایران با بکارگیری شاخص‌های آسایشی متعدد تحقیقات وسیعی صورت پذیرفته است و شاخص PET نیز از جمله کاربردی‌ترین شاخص‌هایی بوده که توسط محققان استفاده شده است. از جمله این کارها می‌توان به تقویم زمانی مناسب برای گردشگری در تبریز با استفاده از شاخص‌های دمای معادل فیزیولوژیک (PET) و متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده (PMV)^۹ توسط (Zolfaghari, 2008: 129) اشاره کرد. پژوهش‌های متعددی مانند: Farajzadeh & Matzarakis (2009: 545); Zolfaghari (2012: 19); Ismaili & Montazeri (2013: 228); Arvin & Shojaeizadeh (2015: 98); Sanagar Darbani et al (2018: 38); Manouchehri & Parvin (2018: 138. Etc).

با همین شاخص برای ارزیابی زمان حال و وضع موجود به ثبت رسیده است.

اما آثار و پیامدهای مستقیم و غیر مستقیم تغییر اقلیم بر انواع گردشگری و مقاصد مربوطه در چشم انداز آتی ضرورت پیش‌نگری‌های اقلیمی برای استفاده در برنامه‌ریزی‌های کلان راه، به منظور توسعه گردشگری در همه مناطق جهان به خصوص کشورهای که بخش عمده‌ای از درآمدها و اقتصاد آنان به گردشگری وابسته است بدیهی می‌نماید. لذا استفاده از مدل‌های گردش کلی به عنوان یکی از بهترین و متداولترین راهکارها در پیش‌نگری وضع آتی و نیز بکارگیری روش‌های مقیاس گاهی معتبر راهکاری در این راستاست. انتخاب روش مناسب شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی و کاهش عدم قطعیت آنها، گام مهمی در مطالعات تغییر اقلیم و گردشگری به شمار می‌آید. روش‌های زیادی بر اساس رویکردهای متفاوت در زمینه مقیاس گاهی آماری توسعه یافته است. مقیاس گاهی آماری با ایجاد روابط تجربی بین متغیرهای بزرگ مقیاس، با متغیرهای محلی ارتباط ایجاد می‌کند و شرایط جوی بزرگ مقیاس آینده که توسط مدل‌های گردش کلی ایجاد شده است را برای پیش‌نگری آب و هوای محلی آینده به کار می‌گیرد (Ghorbani et al., 2016: 21). روش‌های مقیاس گاهی آماری متعددی در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است که در این خصوص می‌توان از :

(Wilby & Wigley, 1997: 530; Zorita & Storch, 1999: 2474; Benestad, 2008:12; Benestad, 2009:1; Trzaska & Schnarr, 2014:2; Gooré Bi et al., 2017: 685; Vallam & Qin, 2018: 669; Etc).

نام برد. در ایران نیز مطالعات متعددی توسط محققانی چون (Delavar et al., 2014: 53. Sobhani et al., 2015: 499. Sobhani et al., 2017: 301. Goodarzi et al., 2019: 41. Oji, 2018: 397. zarrin, & Dadashi-Roudbari, 2021: 75. etc.) انجام شده است. هر یک مدل‌های مقیاس گاهی مختلفی را به منظور مطالعات تغییر اقلیم به کار گرفته‌اند. علی‌رغم اهمیت موضوع و مطالعات کثیری که در این زمینه در سطح جهانی انجام شده و در ذیل به برخی از آنها اشاره خواهیم کرد، در ایران مطالعات بسیار اندکی در زمینه تغییر اقلیم و اثر آن بر گردشگری صورت گرفته و اکثر مطالعات به ثبت رسیده در زمینه اقلیم گردشگری در توصیف وضع موجود بوده است. از جمله پروژه‌ها و

^۹. Predicted Mean Vote

کارهایی که در سطح جهانی در زمینه تغییر اقلیم و گردشگری انجام شده می‌توان به مواردی چون: (Nastos & Matzarakis, 2019: 145; Jurema Grimm et al., 2018:2; Olefs et al., 2021:2) اشاره کرد در ایران نیز از تحقیقاتی مانند: (Karimi et al, 2017:21) می‌توان نام برد که با مدل ریمن و طرح اطلاعاتی اقلیم گردشگری انجام شده ولی مدل‌های گردش کلی در این مطالعه به کارگیری نشده‌اند. (Yazdanpanah et al (2016:82) نیز پیامدهای تغییر اقلیم بر گردشگری را با بررسی آسایش اقلیمی توسط شاخص PET^{۱۰} در حوزه رودخانه زاینده رود، بررسی نموده و اقلیم آسایشی سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۳۹ را با استفاده از خروجی مدل HadCM3^{۱۱} بر اساس سناریوهای انتشار (A1B و B1)^{۱۲} شبیه‌سازی کردند. نتایج این بررسی بر اساس تجزیه و تحلیل‌های ایستگاهی PET در دوره زمانی آتی نشان داد که تعداد روزهای آسایش اقلیمی به واسطه روند صعودی دما، کاهش خواهد یافت. (Bakhtiari et al (2018: 291) در مطالعه دیگری اثر تغییر اقلیم بر آسایش اقلیمی گردشگران در ایران را با شاخص TCI میکزوفسکی مورد مطالعه قرار دادند. آنها از داده‌های مشاهداتی ۱۵۳ ایستگاه برای سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۵ و خروجی مدل HadCM3 بر مبنای سناریو A1B برای سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۴۵ را استفاده نمودند. آنها مقیاس کاهی پیش‌بینی کننده‌های بزرگ مقیاس جوی را با استفاده از نرم افزار LARS-WG^{۱۳} انجام دادند. مقایسه بین دوره پایه و آینده در این تحقیق نشان داد که آسایش اقلیمی گردشگران در آینده به سمت مطلوبیت و بهبود پیش خواهد رفت. (Alizadeh et al (2021:1)؛ نیز مطالعه تغییر اقلیم و اثر آن بر گردشگری را در استان مازندران به ثبت رسانده‌اند. با توجه به اینکه در مطالعاتی از این قبیل مبنای پیش‌نگری بر داده‌های ایستگاهی و مشاهداتی است، در اغلب موارد توجه دقیقی به کنترل کیفی داده‌های ایستگاهی نشده است که تمامی این موارد منشأ عدم قطعیت‌های زیادی در نتایج پیش‌نگری‌ها خواهد بود. بنابراین در این پژوهش با بکارگیری برونداد مدل‌های گردش کلی به روز از گزارش پنجم IPCC بر مبنای خط سیرهای جدید و متدهای مقیاس کاهی جدیدتر و مورد قبول مجامع علمی دنیا، همچنین توجه ویژه به کیفیت داده‌های ایستگاهی و به کارگیری متدهای نوین و بسته‌های نرم افزاری در محیط نرم افزار R سعی شده که عدم قطعیت‌های موجود به حداقل ممکن کاهش یابد و به نتایج واقعی‌تر برای پیش‌نگری آینده اقلیم گردشگری ایران نائل شویم.

مواد و روش‌ها

برای مقیاس کاهی آماری، از دو سری داده استفاده شد. (۱): داده‌های مشاهداتی روزانه بلند مدت مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (۲): داده‌های بزرگ مقیاس جوی حاصل از خروجی مدل‌های گردش کلی. ابتدا به منظور راستی آزمایی مدل مقیاس کاهی مورد نظر، مقادیر شبیه‌سازی شده متغیرهای مذکور با استفاده از مقیاس کاهی داده‌های روزانه باز تحلیل ERA5^{۱۴} حاصل شدند.

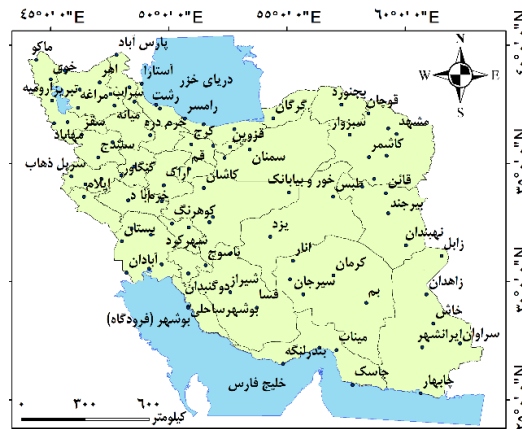
¹⁰ . Physiological Equivalent Temperature (PET)

¹¹ . Hadley Centre Coupled Model, version 3

¹² . The Special Report on Emissions Scenarios (SRES)

¹³ . Long Ashton Research Station-Weather Generator

2. The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ERA-5(Reanalysis: www.ecmwf.int/en/forecasts/era5)



شکل ۱: توزیع ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در نقشه ایران

Figure 1: Distribution of Synoptic stations on the map of Iran

محدوده پژوهش

منطقه مورد مطالعه (شکل ۱) در برگیرنده کل مساحت ایران، در محدوده عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۳۹ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۴ تا ۶۳ درجه شرقی واقع شده است. از بین ایستگاه‌های سینوپتیک آن، ۹۱ ایستگاهی که دارای طول دوره آماری سی ساله (۲۰۱۷-۱۹۸۷) و کمترین داده مفقوده بودند انتخاب شدند. این داده‌های روزانه از پایگاه داده‌های هواشناسی کشور^{۱۵} تهیه شد.

سری‌های زمانی داده‌های اقلیمی دارای تغییرات ناگهانی غیر طبیعی هستند که به دلایل متعدد از جمله تغییر و خطای دستگاه‌های اندازه‌گیری، تغییر مکان ایستگاه‌ها و ... رخ می‌دهند. بنابراین شناسایی نقاط تغییر ناگهانی داده‌های ایستگاهی در مطالعات اقلیمی اهمیت ویژه‌ای دارد. چون این تغییرات، روندهای اقلیمی را تحت تأثیر قرار می‌دهند و در سری‌های طولانی مدت، سبب ناهمگنی در سری داده‌ها می‌شوند. بنابراین بررسی همگنی و تصحیح داده‌ها در مطالعات اقلیمی امری ضروری است. چرا که برآورد روند خطی تنها وقتی قابل اطمینان است که سری‌ها همگن باشند. چون فراداده‌ها اغلب کامل نیستند، لذا ارزیابی صحت و همگنی داده‌های مشاهداتی، قبل و بعد از بازسازی داده‌ها با بسته نرم افزاری RhtestV4 (Wang & Feng, 2013:1) بر اساس حداکثر خطای آزمون‌های t و F^{16} که در یک الگوریتم آزمون برگشتی تعبیه شده است (Wang et al., 2007:916 Wang, 2008:368) انجام شد. این بسته نرم افزاری حاوی محاسباتی است که شامل تنظیمات نگاشت چندکی^{۱۷} و بر مبنای فراوانی تجربی داده‌های ورودی است. با این هدف که سری‌های زمانی را با توزیع‌های تجربی یکسان و بدون روند تنظیم کند. شکل توزیع آماری در این روش محدود به توزیع میانگین‌ها نیست و علاوه بر تعیین میانگین تغییرات، تنظیمات نگاشت چندکی قادر است فصلی بودن ناپیوستگی‌ها را نیز دخالت دهد. از این بسته نرم افزاری می‌توان برای شناسایی نقاط تغییر

¹⁵ . <http://www.irimo.ir>

¹⁶ . penalized maximal t test, (MPT) & penalized maximal F test (MPF)

¹⁷ . Quantile-Matching (QM)

چندگانه که می‌تواند در یک سری داده وجود داشته باشد استفاده کرد با کمک این بسته نرم افزاری در سری‌های ناهمگن امکان تشخیص نقاط تغییر وجود دارد. بازسازی داده‌های مفقوده با استفاده از روش انتساب نزدیکترین همسایگی متوالی K^{۱۸} (Kim & Yi, 2008: 160) انجام شد.

روش مقیاس‌کاهی مورد استفاده در این پژوهش، تبدیل تابع توزیع تجمعی (CDFt) است. این روش با فراهم کردن توابع توزیع تجمعی (CDFs)^{۱۹}، می‌تواند به عنوان الحاقیه‌ای از روش نگاشت چندکی (QM)^{۲۰} تصور شود. با این پیش فرض که روش تبدیل موجود در این رویکرد تابع توزیع تجمعی داده‌های شبکه‌بندی (ERA5) را به تابع توزیع تجمعی نماینده متغیر اقلیم محلی در ایستگاه مورد نظر تبدیل می‌کند. فرایند اصلی این روش برای مقیاس‌کاهی مقدار بزرگ مقیاس x_G ، انتخاب یک مقدار محلی x_S بر اساس فرض زیر است:

$$F_S(x_S) = F_G(x_G) \quad \text{رابطه ۱}$$

که برابر است با

$$x_S = F_S^{-1}(F_G(x_G)) \quad \text{رابطه ۲}$$

(Michelangeli et al, 2009: 3) به نحوی که F_S^{-1} از $[0, 1]$ تعریف شده و تابع عکس F_S است. در این مطالعه از بسته نرم‌افزاری CDFt (Vrac, & Michelangeli, 2015) که از طریق محیط نرم‌افزار R قابل فراخوانی و اجرا است، استفاده شده است. پس از همگن‌سازی و تصحیح خطاها با روش‌های فوق‌الذکر، فرآیند پژوهش به صورت زیر انجام گرفت:

به منظور محاسبه آسایش زیست اقلیمی بر اساس شاخص PET، مدل ریمن^{۲۱} به کار رفت که اولین بار توسط ماتزاراکیس ابداع شده است و سپس بر اساس دستورالعمل‌های انجمن مهندسان آلمان (VDI)^{۲۲} توسعه یافت (Matzarakis & Rutz, 2007:129) خروجی مدل ریمن شامل میانگین دمای تابشی محیط (T_{mit}) است که مهم‌ترین پارامتر هواشناسی مؤثر بر تعادل انرژی انسان در شرایط آب و هوایی آفتابی به حساب می‌آید. بنابراین این مدل قادر به محاسبه اثر شار تابش موج کوتاه و بلند بر روی بدن انسان می‌باشد که در مدل تعادل انرژی انسان مورد نیاز است. پارامترهای هواشناسی که در مقیاس روزانه برای محاسبه آسایش حرارتی با شاخص دمای معادل فیزیولوژیک در مدل ریمن در نظر گرفته شده است: دمای هوا، فشار بخار، سرعت باد و میانگین دمای تابشی محیط است. بنابراین ابتدا شبیه‌سازی متغیرهای دمای بیشینه و کمینه به منظور محاسبه میانگین دما، شبیه‌سازی متغیر رطوبت نسبی برای محاسبه فشار بخار و شبیه‌سازی سرعت باد با روش آماری تبدیل تابع توزیع تجمعی (CDFt)^{۲۳} انجام شد. پس از اجرای مدل مقیاس‌کاهی، فرآیند مقایسه داده‌های تولید شده برونداد داده‌های آنالیز مجدد پایگاه ERA5 و

¹⁸ . Sequential K-Nearest Neighbor Imputation Method

¹⁹ . Cumulative Distribution Functions (CDFs)

²⁰ . Quintile Mapping

²¹ . RayMan

²² . Verein Deutscher Ingenieure (VDI)

²³ . Cumulative Distribution Functions- transform (CDFt)

داده‌های دیدبانی، توسط آماره‌های ضریب همبستگی پیرسون، آزمون کولموگروف - اسمیرنوف^{۲۴} و خطای جزر میانگین مربعات انجام شد که از این طریق صحت سنجی مدل انجام شد.

پس از اطمینان از عملکرد مدل مقیاس کاهی مذکور، فرآیند شبیه‌سازی متغیرهای مورد نیاز برای محاسبه آسایش حرارتی، با استفاده از خروجی مدل‌های گردش کلی CanESM2 و GFDL-ESM2G پروژه CMIP5 در محیط نرم افزار R اجرا شد. سپس آسایش حرارتی با داده‌های دیدبانی شده سری زمانی مذکور و داده‌های مقیاس کاهی شده حاصل از مدل توسط شاخص PET محاسبه شد. محاسبه PET (Hoppe, 1999:71. Matzarakis et al., 1999:76) شامل مراحل زیر است:

- محاسبه شرایط حرارتی بدن بر اساس مدل تعادل انرژی مونیخ برای افراد (MEMI) با ترکیب پارامترهای هواشناسی.
- درج مقادیر محاسبه شده برای میانگین دمای پوست و دمای هسته در مدل MEMI و محاسبه سیستم معادله تعادل انرژی (Matzarakis et al, 2015:2). آستانه‌های تعریف شده (Basarin et.al, 2020: 8) و متغیرهای مورد نیاز در این مدل شامل:

- مختصات مسطحاتی و ارتفاعی (طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع محل)،
- متغیرهای هواشناسی (شامل دمای هوای خشک بر حسب درجه سانتیگراد، رطوبت نسبی (درصد)، سرعت باد (متر بر ثانیه) و (فشار بخار هوا (هکتو پاسکال) و میانگین دمای تابشی محیط (T_{mrt}) که دو مورد آخر، توسط نرم افزار ریمن محاسبه می‌شود)،
- در این پژوهش متغیرهای فردی به عنوان ویژگی‌های فیزیولوژیک: متوسط قد ۱/۷۵ متر، وزن ۷۵ کیلوگرم، سن ۳۵ سال و جنسیت مذکر در نظر گرفته شده است.

- نوع پوشش ۰/۹ (clo) و فعالیت متابولیک ۸۰ وات در نظر گرفته شده است. (Chen & Matzarakis, 2014:26)

جدول ۱- آستانه‌های شاخص دمای معادل فیزیولوژیک (Basarin et.al, 2020: 8)

Table -1 Physiological Equivalent Temperature Index thresholds (Basarin et.al, 2020: 8)

PET (°C)	حساسیت حرارتی	درجه تنش فیزیولوژیک
< ۴/۰	خیلی سرد	تنش سرمای بسیار شدید
۸/۰ - ۴/۱	سرد	تنش سرمای شدید
۱۳/۰ - ۸/۱	خنک	تنش سرمای متوسط
۱۸/۰ - ۱۳/۱	کمی خنک	تنش سرمای اندک
۲۳/۰ - ۱۸/۱	راحت	بدون تنش سرما
۲۹/۰ - ۲۳/۱	کمی گرم	تنش گرمای اندک
۳۵/۰ - ۲۹/۱	گرم	تنش گرمای متوسط
۴۱/۰ - ۳۵/۱	خیلی گرم	تنش گرمای شدید
>۴۱/۱	داغ	تنش گرمای بسیار شدید

²⁴ . Kolmogorov-Smirnov test

²⁵ . Munich Energy-balance Model for Individuals

با توجه به اینکه تهیه تقویم‌های گردشگری و توصیف شرایط مطلوب برای مقاصد توریستی در مقیاس ده روزه یا دهه‌ای مرسوم‌تر و کاربردی‌تر به نظر می‌رسد، لذا تحلیل‌ها و نتایج این پژوهش در مقیاس ده روزه دسته بندی و انجام شد. به منظور مطالعه دقیق‌تر و مقایسه بهتر نتایج، دوره‌های زمانی در سه گروه مورد مطالعه قرار گرفتند. دوره اول موسوم به دوره مشاهداتی (۱۹۸۷-۲۰۱۷) و دوره‌های پیش‌نگری مدل که شامل سناریوهای مدل‌های نامبرده می‌شود، به دو افق (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و (۲۰۴۱-۲۰۶۰) تقسیم شدند. هر ماه به سه دهه و در مجموع هر سال به ۳۶ دهه تقسیم شد که به منظور سهولت در ارائه تحلیل‌ها و تخریص و تجمیع نام‌ها، از دهه اول ژانویه به نام (دهه یکم) تا دهه سوم دسامبر تحت عنوان (دهه ۳۶ ام) از یک تا ۳۶ نامگذاری گردید و از این پس در این پژوهش، نام هر دهه با ذکر شماره مربوطه قابل شناسایی است.

نتایج و بحث

اعتبار سنجی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل CDFt

راستی آزمایی مدل CDFt (معادله: ۱ و ۲) در باز تولید متغیرهای اقلیمی، از طریق مقایسه داده‌های دیدبانی شده و داده‌های تولید شده توسط مدل، با استفاده از آزمون‌های آماری و نقشه‌ها و نمودارهای مقایسه‌ای انجام شد. لازم به یادآوری است که دقت مدل مقیاس کاهی مذکور با برون‌داد داده‌های آنالیز مجدد پایگاه ERA5 با قدرت تفکیک 0.25×0.25 سنجیده شد.

جدول ۲- بازه مقادیر آزمون‌های آماری مربوط به راستی آزمایی مدل CDFt توسط برون‌داد داده‌های آنالیز مجدد پایگاه ERA5

Table 2- The range values of statistical tests related to the verification of the CDFt Model by the reanalysis data output of the ERA5 database

متغیر	آزمون همبستگی R	آزمون کولموگروف-اسمیرنوف	RMSE
دمای حداکثر	۰/۸۵** تا ۰/۹۸	۰/۰۲** تا ۰/۳۷	۰/۱۶ تا ۰/۸
دمای حداقل	۰/۱۸** تا ۰/۹۸	۰/۰۲** تا ۰/۱۳	۰/۴۵ تا ۰/۸۳
رطوبت نسبی	۰/۰۳** تا ۰/۹۳	۰/۰۴** تا ۰/۸۶	۰/۵۸ تا ۲/۶۲
سرعت باد	۰/۱** تا ۰/۹۱	۰/۰۵** تا ۰/۶۸	۰/۵۳ تا ۶/۵
آسایش حرارتی	۰/۰۶** تا ۰/۹۸	۰/۴۳** تا ۱/۹	۶/۷ تا ۲/۰۵

** معنادار در سطح ۰.۰۱

نتایج کلی اعتبار سنجی داده‌های حاصل از مدل CDFt در همه ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه در جدول (۲) آمده است. به منظور شفاف سازی و بررسی بیشتر توانمندی روش کار برای راستی آزمایی مدل CDFt، همبستگی و RMSE مدل های CMIP5 قبل و بعد از مقیاس کاهی محاسبه گردید و نتایج در جدول (۳) تهیه و تنظیم گردید. نتایج حاکی از آن است که عملکرد مدل مذکور در شبیه سازی متغیرهای مدل‌های گردش کلی قابل قبول است.

جدول ۳- مقایسه مقادیر آزمون‌های آماری مربوط به راستی آزمایشی مدل CDF_t

Table 3- Compare the values of statistical tests related to the verification of the CDF_t model

بعد از مقیاس کاهی				قبل از مقیاس کاهی				متغیر
RMSE		R ^{**} آزمون همبستگی		RMSE		R ^{**} آزمون همبستگی		
GFDL_ESM2	Can_ESM2	GFDL_ESM2	Can_ESM2	GFDL_ESM2	Can_ESM2	GFDL_ESM2	Can_ESM2	
۳/۷۶	۰/۷۰	۰/۶۵	۰/۹۶	۷/۶۶	۸/۳۵	۰/۰۰	۰/۰۰	دمای حداکثر
۴/۰۲	۳/۶۹	۰/۶۳	۰/۹۵	۵/۳۴	۷/۹۱	۰/۰۰	۰/۰۰	دمای حداقل
۸/۷۸	۶/۰۱	۰/۵۲	۰/۷۵	۲۱/۷۳	۲۳/۷۷	۰/۰۰	۰/۰۰	رطوبت نسبی
۰/۲۷	۱/۲۳	۰/۶۸	۰/۶۴	۱/۸۴	۳/۸۴	۰/۲۰	۰/۰۶	سرعت باد

** معنادار در سطح ۰.۰۱

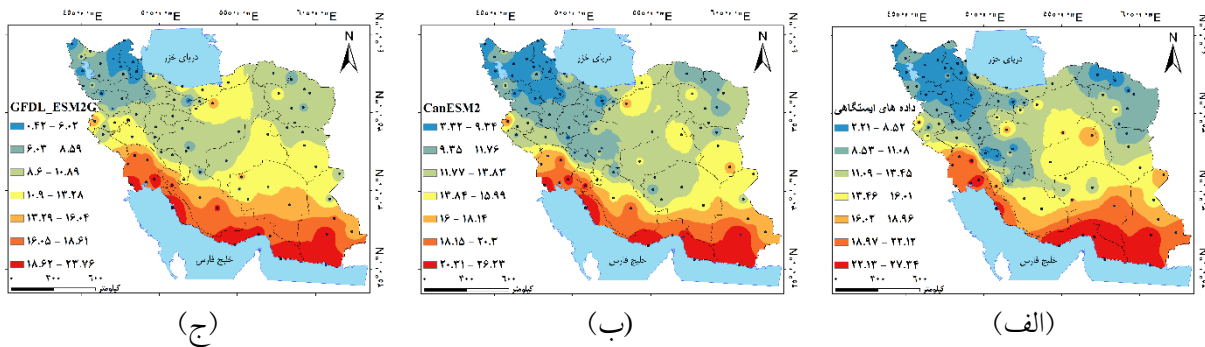
بین آسایش حرارتی محاسبه شده با داده‌های ایستگاهی و داده‌های مقیاس کاهی شده، همبستگی مثبت و همسو وجود دارد. مقادیر خطای معیار (RMSE) با توجه به آستانه‌های تعریف شده برای شاخص دمای فیزیولوژیک در جدول (۱)، مورد قبول است و تغییری در آستانه‌های آسایشی ایجاد نمی‌کند و نشان می‌دهد PET حاصل از مدل CDFt، نسبت به PET داده‌های واقعی انحراف و خطای قابل قبولی دارد. مقایسه نتایج آزمون‌های آماری نشان داد این مدل برای مقیاس کاهی آماری و محاسبه آسایش حرارتی دوره آبی پهنه وسیعی از کشور قابل اطمینان می‌باشد. برای ارزیابی عملکرد مدل مقیاس کاهی CDFt در شبیه سازی آسایش حرارتی برون داد مدل‌های گردش کلی در دوره مشاهداتی ۱۹۸۷-۲۰۱۷ نیز از ضریب همبستگی پیرسون R، RMSE و آزمون آماری کولموگروف-اسمیرنوف دو نمونه‌ای استفاده شد. مقادیر همبستگی بین دمای معادل فیزیولوژیک مستخرج از داده‌های ایستگاهی و مدل‌های گردش کلی بین ۰/۰۴ تا ۰/۹۱ است. کمترین و بیشترین مقادیر RMSE به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های بندرلنگه و طبس است و اعداد به دست آمده بین ۴/۴ و ۸/۵ می‌باشد. در سطح ۰/۰۱ درصد، مقادیر p-value حاصل از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف دو نمونه‌ای نشان بر این مدعاست که به طور متوسط تمامی ایستگاه‌ها از توزیع آماری یکسان تبعیت می‌کنند (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج آزمون‌های مقایسه میانگین PET داده‌های مشاهداتی و مدل‌های دینامیکی

Table 3- The comparison tests results of the observational data and dynamic models mean PET

داده‌ها	آزمون همبستگی R	آزمون کولموگروف-اسمیرنوف	RMSE
دوره تاریخی مدل CanESM2	۰/۸۴ ^{**}	۰/۴۷ ^{**}	۷/۵۸
دوره تاریخی مدل GFDL_ESM2G	۰/۸۳ ^{**}	۰/۵۶ ^{**}	۷/۹۲

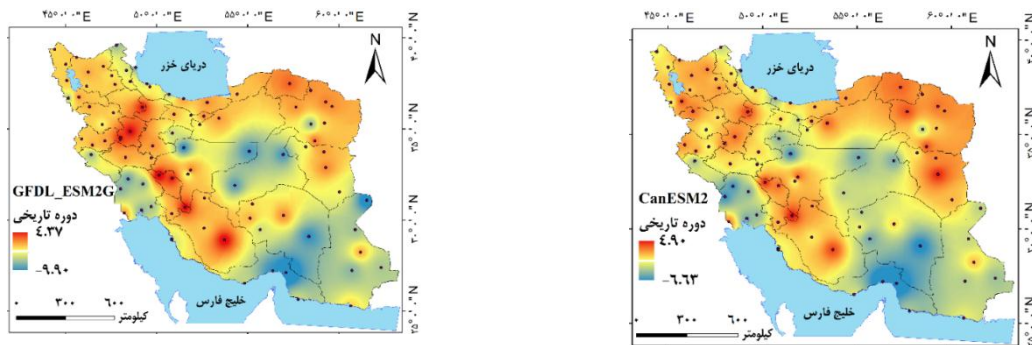
با توجه به جدول (۳) میانگین خطای معیار دوره تاریخی مدل GFDL_ESM2G اندکی بیش از مدل دیگر است. شکل (۲) نشان می‌دهد دامنه تغییرات PET داده‌های ایستگاهی ۲۴/۳۱ است و این مقدار برای مدل CanESM2 معادل ۲۲/۸۷ و برای دیگر مدل این پژوهش مساوی ۲۳/۴ است. دامنه تغییرات هر دو مدل نسبت به دوره مشاهداتی کاهش یافته و این کاهش در مدل CanESM2 بیشتر از مدل GFDL-ESM2G است. کمینه دمای معادل فیزیولوژیک در مدل CanESM2 افزایش و در مدل دوم کاهش نشان می‌دهد. به طور کلی مقادیر کمینه و بیشینه این مدل نسبت به داده‌های مشاهداتی اختلاف کمتری را نشان می‌دهد.



شکل ۲: متوسط PET بر اساس (الف) داده‌های مشاهداتی، (ب) دوره تاریخی مدل CanESM2، (ج) دوره تاریخی مدل GFDL_ESM2G

Figure 2: The mean PET based on (a) observational data, (b) historical CanESM2 model data, (c) historical GFDL_ESM2G model data

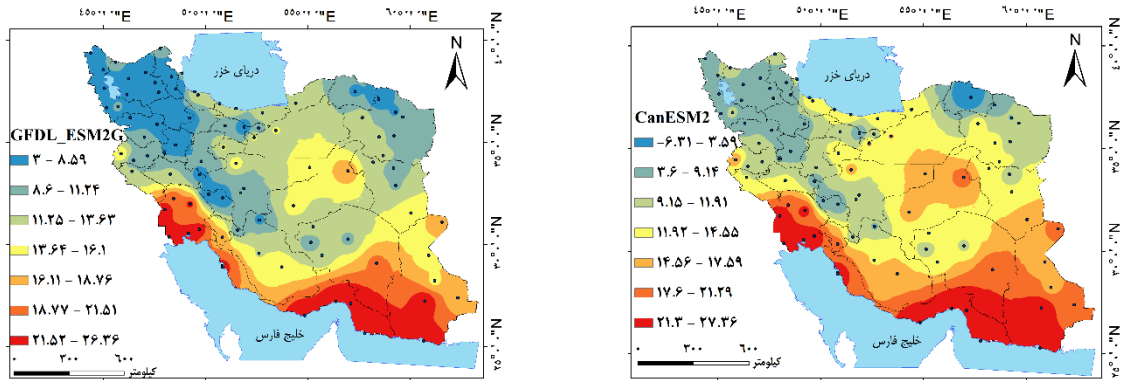
همچنین با توجه به شکل (۳) دامنه تغییرات مدل GFDL_ESM2G از مدل دیگر بیشتر است و نیز مقادیر بیشینه تغییرات در این مدل بزرگتر است. با تفاسیر فوق در مجموع به نظر می‌رسد مدل CanESM2 با اختلاف جزئی، عملکرد بهتری نسبت به مدل دیگر داشته است. در هر دو مدل تغییرات افزایشی دمای معادل فیزیولوژیک در عرض‌های بالاتر و ارتفاعات البرز و زاگرس و تغییرات کاهش‌ی در عرض‌های پایین کشور و بخش‌های مرکزی رخ داده است. بررسی نتایج دهه‌ای نیز حاکی از افزایش کلی دمای معادل فیزیولوژیک نسبت به دوره مشاهداتی است و در نتیجه افزایش PET در نقاط سردتر و کاهش آن در نقاط گرمتر، انتظار می‌رود در دوره‌های آتی مساحت بیشتری از منطقه مورد مطالعه در آستانه مطلوب آسایش حرارتی قرار بگیرد.



شکل ۳: متوسط تغییرات PET دوره تاریخی مدل‌های تغییر اقلیم نسبت به داده‌های ایستگاهی

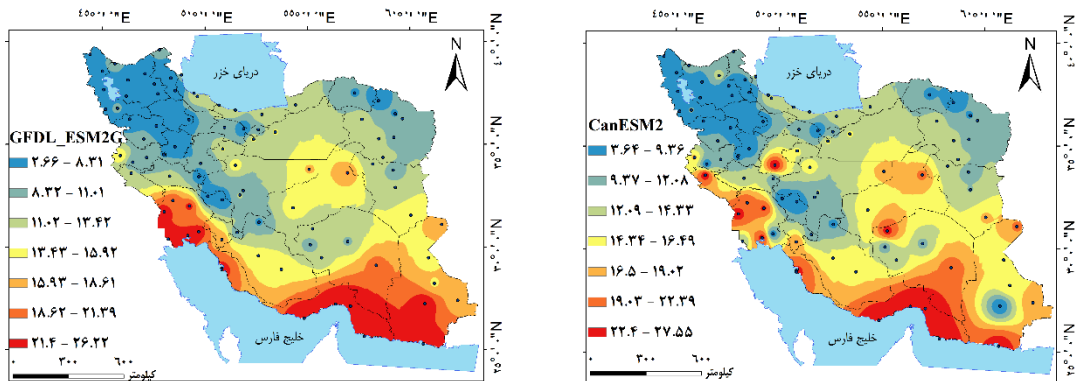
Figure 3: PET mean variation of historical Climate Change Models compared to data stations

به طور کلی با گرایش به سمت سناریو حد وسط و بدینانه و بازه زمانی ۲۰۴۱ تا ۲۰۶۰ صرف نظر از نوع مدل، شرایط به سمت افزایش مقادیر دمای معادل فیزیولوژیک پیش می‌رود. خط سیر خوش‌بینانه نسبت به شرایط فعلی تغییرات کمتری نسبت به دو سناریو دیگر دارد.



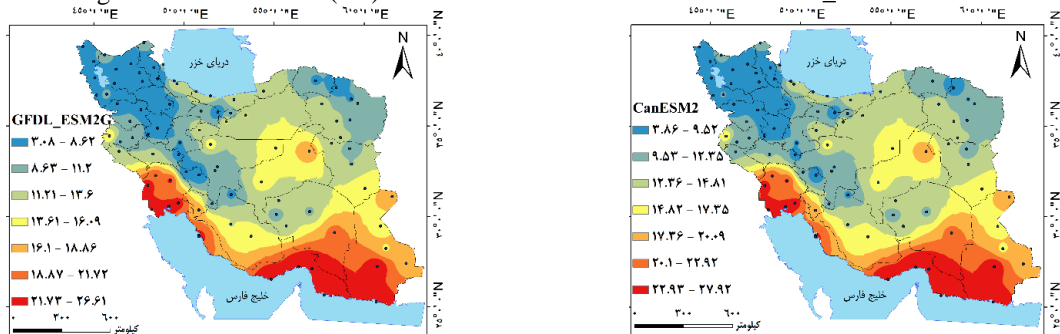
شکل ۴: PET تحت خط سیر خوش‌بینانه در افق ۲۰۲۱-۲۰۴۰ الف: مدل CanESM2 ب: مدل GFDL_ESM2G

Figure 4: PET of RCPs (2.6) 2021-2040 a: CanESM2 model b: GFDL_ESM2G model



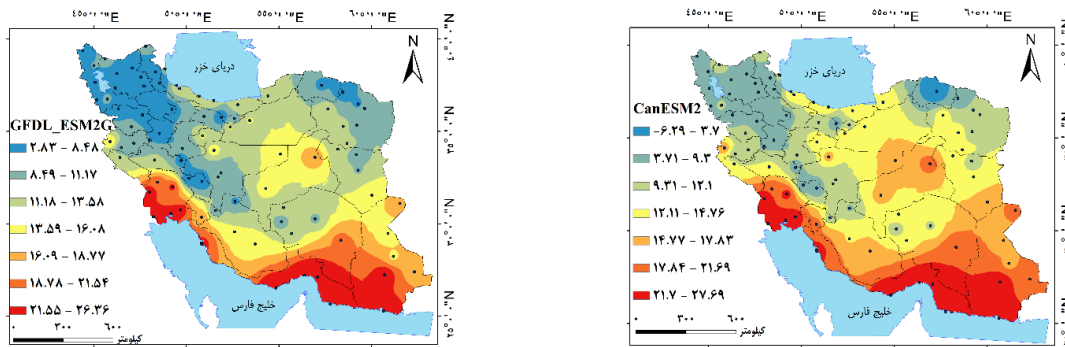
شکل ۵: PET تحت خط سیر حدواسط در افق ۲۰۲۱-۲۰۴۰ الف: مدل CanESM2 ب: مدل GFDL_ESM2G

Figure 5: PET of RCPs (4.5) 2021-2040 a: CanESM2 model b: GFDL_ESM2G model



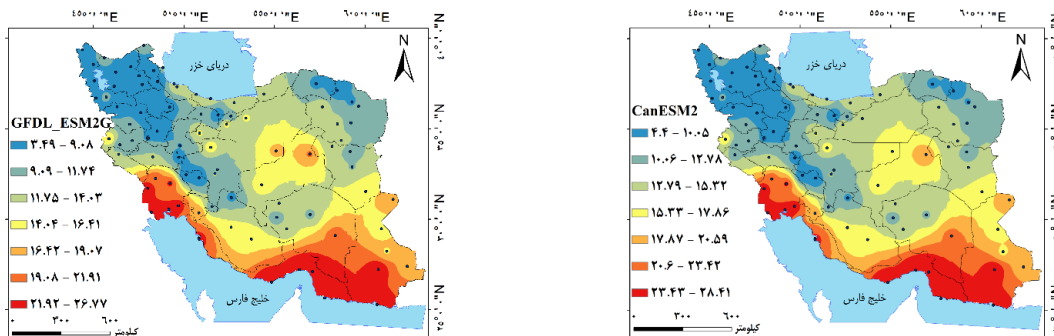
شکل ۶: PET تحت خط سیر بدبینانه در افق ۲۰۲۱-۲۰۴۰ الف: مدل CanESM2 ب: مدل GFDL_ESM2G

Figure 6: PET of RCPs (8.5) 2021-2040 a: CanESM2 model b: GFDL_ESM2G model



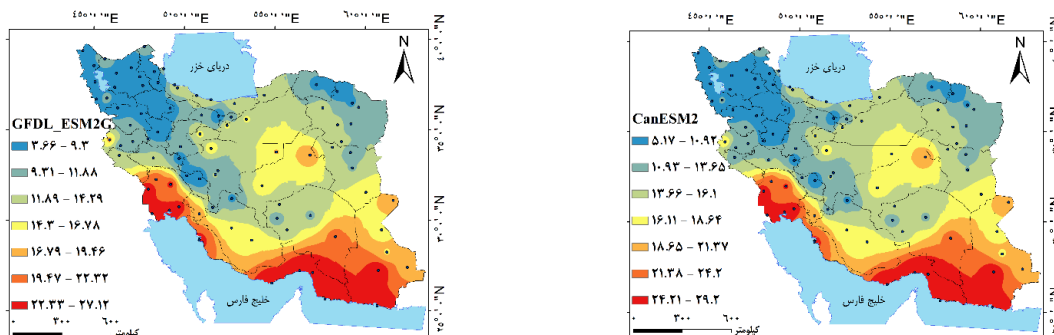
شکل ۷: PET تحت خط سیر خوش بینانه در افق ۲۰۴۱-۲۰۶۰ الف: مدل CanESM2 ب: مدل GFDL_ESM2G

Figure 7: PET of RCPs (2.6) 2041-2060 a: CanESM2 model b: GFDL_ESM2G model



شکل ۸: PET تحت خط سیر حد واسط در افق ۲۰۴۱-۲۰۶۰ الف: مدل CanESM2 ب: مدل GFDL_ESM2G

Figure 8: PET of RCPs (4.5) 2041-2060 a: CanESM2 model b: GFDL_ESM2G model



شکل ۹: PET تحت خط سیر بدبینانه در افق ۲۰۴۱-۲۰۶۰ الف: مدل CanESM2 ب: مدل GFDL_ESM2G

Figure 9: PET of RCPs (8.5) 2041-2060 a: CanESM2 model b: GFDL_ESM2G model

از طرفی مقادیر PET به دست آمده در بازه زمانی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ در مقایسه با شرایط کنونی به نسبت دوره ۲۰۴۱ تا ۲۰۶۰ اختلاف کمتری را نشان می‌دهد (شکل‌های ۴ تا ۹). از بین دو مدل یاد شده به طور متوسط، مدل CanESM2 تغییرات نسبی کمتری را با شرایط کنونی شبیه‌سازی نموده است. با لحاظ آستانه دمای معادل فیزیولوژیک در حال حاضر به طور متوسط ۱۳/۸۹ درصد از پهنه کشور شرایط مطلوب آسایشی، ۲۵/۱۵ درصد ایستگاه‌ها در آستانه تنش گرمایی اندک تا بسیار شدید و ۶۰/۹۶ درصد از ایستگاه‌های منطقه، در شرایط تنش سرمایی اندک تا شدید هستند. خروجی مدل GFDL_ESM2G در بازه ۲۰۴۱-۲۰۶۰، تحت خط سیر بدبینانه افزایش دمای معادل فیزیولوژیک بیشتری را نسبت به مدل دیگر نشان می‌دهد.

جدول ۴ - درصد مساحت میانگین حاصل از آستانه‌های تعیین شده برای دمای معادل فیزیولوژیک
Table ۴ - The mean area percentage obtained from the determined thresholds
of the Physiological Equivalent Temperature

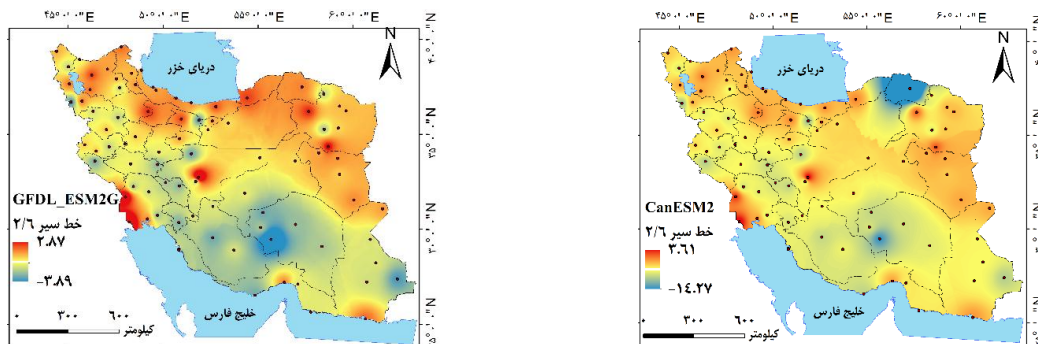
دمای معادل فیزیولوژیک								
دوره مشاهداتی (ایستگاهی)			مدل GFDL_ESM2G			مدل CanESM2		
تنش گرمایی	آستانه مطلوب آسایشی	تنش سرمایی	تنش گرمایی	آستانه مطلوب آسایشی	تنش سرمایی	تنش گرمایی	آستانه مطلوب آسایشی	تنش سرمایی
25.15	13.89	60.96						
دوره تاریخی			۱۹.۶۰	۱۲.۶۷	۶۷.۷۴	۲۹.۲۷	۹.۹۲	۶۰.۸۱
خط سیر انتشار	بخش بینانه	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۲۱.۶۷	۱۴.۷۴	۶۳.۵۸	۲۳.۹۹	۱۳.۹۵	۶۰.۹۶
		۲۰۶۰-۲۰۴۱	۲۱.۱۵	۱۴.۸۰	۶۴.۰۴	۲۴.۳۹	۱۴.۱۳	۶۱.۴۸
	حد وسط	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۲۱.۴۳	۱۵.۴۲	۶۳.۱۶	۲۳.۵۷	۱۴.۸۴	۶۱.۶۰
		۲۰۶۰-۲۰۴۱	۲۳.۲۳	۱۴.۲۲	۶۲.۵۵	۲۳.۴۴	۱۴.۸۴	۶۱.۷۲
	بدبینانه	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۲۱.۰۶	۱۵.۱۷	۶۳.۷۷	۲۴.۱۱	۱۴.۸۷	۶۱.۰۲
		۲۰۶۰-۲۰۴۱	۲۳.۴۷	۱۵.۴۵	۶۱.۰۸	۲۸.۳۹	۱۴.۲۲	۵۷.۳۹

سناریو بدبینانه مدل CanESM2 در افق ۲۰۶۰-۲۰۴۱ بیشترین میزان PET در آستانه تنش گرمایی اندک تا شدید را پیش‌نگری می‌نماید (شکل ۹). طبق تعریف آستانه‌های مطلوب آسایشی (جدول ۱) به طوری کلی بخش اعظم کشور، تحت شرایط کنونی شرایطی تنش سرمایی اندک تا شدید را تجربه می‌کند (جدول ۴). همچنین با تمام خط سیرهای مدل‌های گردش کلی نیز همین وضعیت دیده می‌شود و به طور افراطی خط سیر خوش بینانه مدل GFDL_ESM2G در بیست سال آخر افق مذکور (شکل ۷ ب)، ۶۴/۰۴ درصد از منطقه مورد مطالعه تنش سرمایی اندک تا شدید را تجربه خواهند کرد (جدول ۴). نقاط مرتفع شمال غرب کشور، توده البرز و زاگرس و ارتفاعات محلی، کمترین مقادیر دمای معادل فیزیولوژیک و در مقابل، مناطق پست سواحل جنوبی کشور به سبب قرار گرفتن در عرض‌های جغرافیایی پایین و مناطق مرکزی ایران بیشترین مقادیر PET را دارند. حداقل دمای معادل فیزیولوژیک ۶/۲۸- و حداکثر آن ۲۹/۱۱ و میانگین آن ۱۳/۳۸ است (اشکال ۴ الی ۹).

به طور کلی درصد ایستگاه‌های با مطلوبیت آسایشی در کل دوره مشاهداتی ۱۳/۸۹ و در دوره پیش‌نگری با سناریو خوش‌بینانه به طور میانگین ۱۴/۴۱ درصد می‌باشد. تحلیل نتایج در قالب دهه‌های سال نشان می‌دهد که بیشترین مطلوبیت آسایشی کشور در دهه‌های ۲۴ و ۲۵ ام سال است و در قالب تقسیمات کشوری بیشترین مقادیر دمای معادل فیزیولوژیک در سواحل جنوبی مربوط به میناب، بندرلنگه و بندرعباس و آبادان و کمترین مقادیر در شمال-غرب کشور مربوط به ایستگاه‌های خلخال، اردبیل و سراب است. در شمال کشور ایستگاه اَبعلی و در شمال‌شرق کشور ایستگاه بجنورد در اجرای سناریوهای هر دو مدل علاوه بر ایستگاه‌های فوق جزء مقادیر پایین دمای معادل فیزیولوژیک هستند که عامل ارتفاع در این مقوله اثر خود را نشان داده است. به طور کلی طبق سناریوهای مدل‌های مذکور به طور متوسط، به ترتیب دهه‌های یکم تا ۴م و پس از آن دهه ۳۵ ام و ۳۶ ام سال، کمترین مساحت منطقه دارای شرایط مطلوب آسایشی است و بالعکس به ترتیب اولویت، دهه اول سپتامبر، دهه سوم آگوست و دهه اول ماه جون حدود ۴۰ درصد از ایستگاه‌ها شرایط مطلوب آسایشی دارند و این زمانی است که بیشترین مساحت منطقه تحت بهترین شرایط آسایشی هستند. در شرایط کنونی نیز دهه‌های یکم تا هفتم و ۳۳ ام تا ۳۶ ام سال کمترین مساحت منطقه تحت شرایط آسایشی است برای ایرانگردی توصیه می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد طول دهه‌های آسایشی نیز در دوره‌های آتی رو به افزایش است.

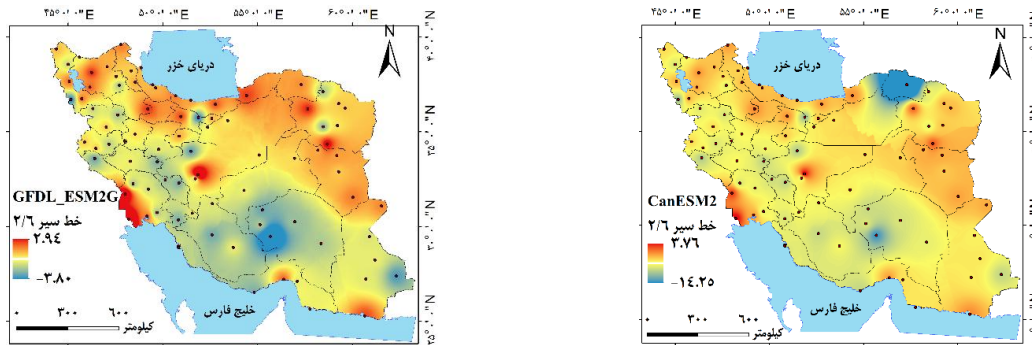
چشم انداز تغییرات دمای معادل فیزیولوژیک در ایران

به طور کلی در ۴۲/۰۴ درصد از ایستگاه‌ها، روند خطی افزایشی معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد با شیب ۰/۲ دیده می‌شود و ۵۶/۸۱ درصد از ایستگاه‌ها روند خطی افزایشی با شیب ملایم ۰/۱ و در مابقی ایستگاه‌ها روند کاهشی با شیب ۰/۰۲- روند فعلی مقادیر دمای معادل فیزیولوژیک را تشکیل می‌دهند. با بررسی شکل (۱۰) نتیجه می‌گیریم که روند تغییرات هر دو مدل در افق (۲۰۲۱-۲۰۴۰) با سناریو خوش‌بینانه و حدواسط در اکثر موارد (حدود ۸۰ درصد) از ایستگاه‌ها نسبت به دوره تاریخی در سری‌های آسایشی یکسان است. ۶/۸۱ درصد ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه (بندر انزلی، جلفا، رامسر، رشت، سبزوار و کاشمر) روند افزایشی و ۳/۴۰ درصد ایستگاه‌ها (بجنورد، سراوان، نهندان) به صورت کاهشی تغییر روند داشتند.



شکل ۱۰: تغییرات آسایش حرارتی کشور تحت خط سیر خوش‌بینانه افق ۲۰۲۱-۲۰۴۰

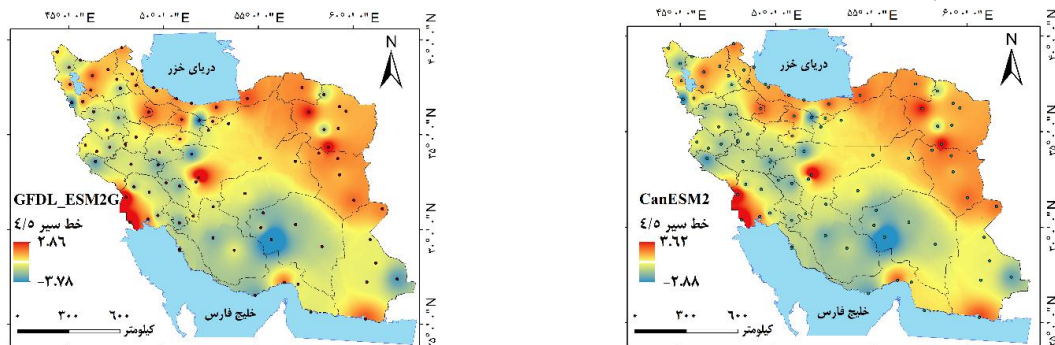
Figure 10: Variation of Iran's thermal comfort in RCP (2.6) - (2021-2040) period



شکل ۱۱: تغییرات آسایش حرارتی کشور تحت خط سیر خوش بینانه افق ۲۰۶۰-۲۰۴۱

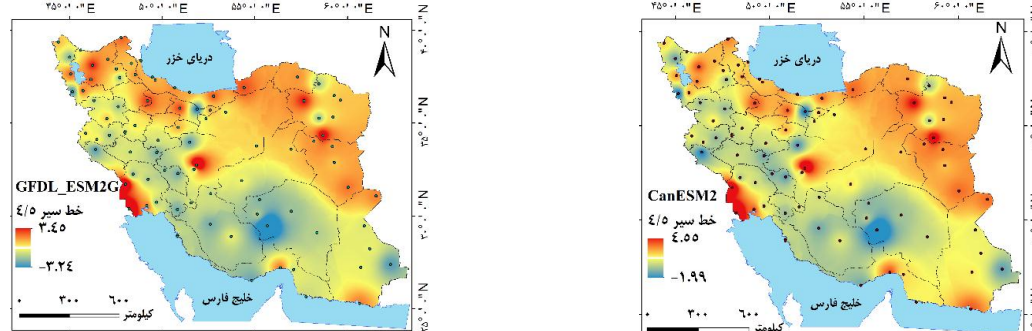
Figure 11: Variation of Iran's thermal comfort in RCP (2.6) - (2021-2040) period

همانطور که در شکل‌های (۱۰ و ۱۱) نیز دیده می‌شود روند تغییرات مدل در افق زمانی اول و دوم تقریباً یکسان است و تغییرات کاهشی و افزایشی در مدل CanESM2 در افق اول شدیدتر از مدل دیگر است. پیش‌نگری این مدل نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات کاهشی در شمال‌شرق ایران (ایستگاه بجنورد) و به طور خفیف‌تر نقاط محدودی از نواحی مرکزی کشور را در برمی‌گیرد در صورتیکه در مدل GFDL_ESM2G بیشترین تغییرات کاهشی در بخش‌های مرکزی و جنوب‌شرقی ایران نمایان است. میانگین درصد ایستگاه‌های دارای شرایط مطلوب آسایشی در دوره آماری ۲۰۲۱-۲۰۴۰ با اختلاف ۱/۱۴ درصد نسبت به دوره مشاهداتی افزایش نشان داده‌اند. دهه ۲۷ ام سال بیشترین کاهش (۶/۸۲-) و دهه ۲۴ ام با (۱۳/۶۴) درصد بیشترین تغییرات افزایشی را نسبت به دوره ماقبل خود نشان داده است.



شکل ۱۲: تغییرات آسایش حرارتی کشور تحت خط سیر حدواسط افق ۲۰۲۱-۲۰۴۰

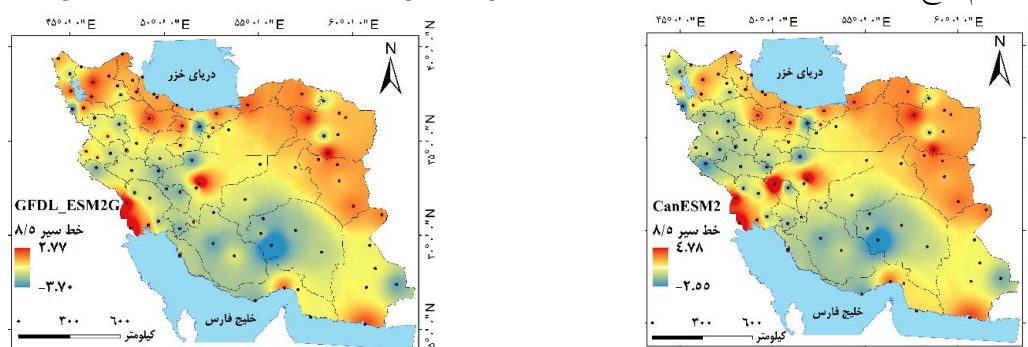
Figure 12: Variation of Iran's thermal comfort in RCP (4.5) - (2021-2040) period



شکل ۱۳: تغییرات آسایش حرارتی کشور تحت خط سیر حدواسط افق ۲۰۴۱-۲۰۶۰

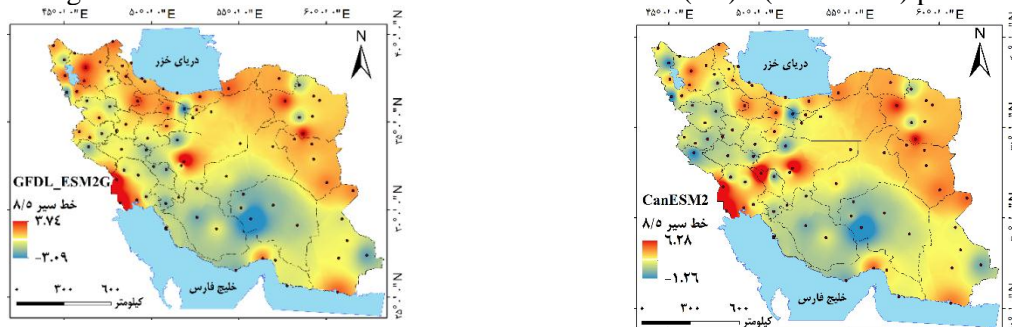
Figure 13: Variation of Iran's thermal comfort in RCP (4.5) - (2041-2060) period

متوسط تغییرات کاهشی و افزایشی حاصل از سناریو حد واسط عملکردی مشابه با خط سیر خوش‌بینانه مدل GFDL_ESM2G دارد (اشکال ۱۲ و ۱۳). مقایسه دو مدل نشان می‌دهد که در این خط سیر هر دو مدل در دو افق مذکور با اختلاف ناچیزی نتایجی یکسان از تغییرات آسایشی نشان می‌دهند. در مدل CanESM2 میزان تغییرات افزایشی تقریباً مشابه با سناریو خوش‌بینانه است اما تغییرات کاهشی در این سناریو به شدت نسبت به خط سیر خوش‌بینانه تعدیل نشان می‌دهد. صرف نظر از نوع مدل و افق مطالعاتی با این خط سیر بیشترین تغییرات کاهشی در بخش‌های مرکزی و جنوب شرقی ایران دیده می‌شود. تعداد ایستگاه‌های قرار گرفته در شرایط آسایشی نسبت به دوره آماری ماقبل مدل نامبرده تحت شرایط سناریو حدواسط میزان ۰/۳۲ درصد کاهش داشته است. بیشترین کاهش مربوط به دهه ۱۶م و بیشترین افزایش دهه ۲۱م رخ داده است. تغییرات نسبت به دوره مشاهداتی افزایشی بوده و این افزایش حدود ۰/۸۲ می‌باشد.



شکل ۱۴: تغییرات آسایش حرارتی کشور تحت خط سیر بدبینانه افق ۲۰۲۱-۲۰۴۰

Figure 14: Variation of Iran's thermal comfort in RCP (8.5) - (2021-2040) period



شکل ۱۵: تغییرات آسایش حرارتی کشور تحت خط سیر بدبینانه افق ۲۰۴۱-۲۰۶۰

Figure 15: Variation of Iran's thermal comfort in RCP (8.5) - (2041-2060) period

در سناریو بدبینانه مدل CanESM2 در افق دوم نسبت به دوره مشاهداتی شمال‌شرق کشور، ایستگاه (سبزوار، فردوس و کاشمر) بیشترین روند افزایشی و جنوب‌غرب ایران در ایستگاه‌هایی چون صفی‌آباد و مسجدسلیمان بیشترین روند کاهشی را داشتند. در مقایسه روندهای دوره آماری دوم و سوم مشخص شد که به جز ایستگاه‌های مذکور، مابقی ایستگاه‌ها روند یکسانی را نسبت به دوره آماری ماقبل خود نشان دادند. لازم به ذکر است دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ هیچگونه تغییر روند محسوسی در آسایش حرارتی نسبت به دوره تاریخی ندارد و هر دو دوره از یک روند تبعیت می‌کنند. مقایسه روند تغییرات دمای معادل فیزیولوژیک در مدل GFDL_ESM2G در افق اول همه سناریوهای مذکور با اختلاف بسیار جزئی در برخی ایستگاه‌ها مشابه با مدل CanESM2 هستند. ولی پیش‌نگری

سناریو خوش‌بینانه در افق دوم در کلیه ایستگاه‌ها و پیش‌نگری سناریو حدواسط و بدبینانه در برخی ایستگاه‌های همان دوره آماری، نسبت به مدل قبلی روند کاهشی نشان دادند.

کمترین اختلاف نسبت به شرایط کنونی مربوط به سناریو خوش‌بینانه مدل CanESM2 در دوره آماری ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و سناریو حدواسط مدل GFDL_ESM2G در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ است. در مجموع خط سیر خوش‌بینانه در هر دو مدل تفاوت و تغییرات کمتری نسبت به شرایط فعلی از دو سناریو دیگر نشان می‌دهند. تمام خط سیرهای مدل CanESM2 نسبت به دوره مشاهداتی افزایش و در مدل دیگر به غیر از سناریو خوش‌بینانه دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ در سایر موارد کاهش نشان می‌دهد. در نتایج مدل CanESM2 بازه زمانی ۲۰۴۱ تا ۲۰۶۰ نسبت به شرایط کنونی، اختلاف بیشتری را نسبت به دوره ماقبل مشاهده می‌کنیم. اما این وضعیت در مورد خط سیر حدواسط و بدبینانه مدل GFDL_ESM2G صدق نمی‌کند. افق دوم پیش‌نگری در تمامی موارد نسبت به دوره آماری ماقبل، دمای معادل فیزیولوژیک بالاتری را نشان داده است. به طور کلی مدل GFDL_ESM2G نسبت به مدل CanESM2 در همه سناریوها و هر دو بازه زمانی مذکور تغییرات کمتری را پیش‌نگری می‌کند.

به طور کلی عمده تغییرات مدل‌های نامبرده نسبت به شرایط فعلی، در محدوده تنش گرمایی اندک تا شدید در فصول گرم سال بوده است. بر طبق سناریو بدبینانه مدل CanESM2 درصد میانگین مناطق دارای شرایط آسایشی نسبت به دوره مشاهداتی ۱/۰۱ درصد افزایش نشان می‌دهد. ایستگاه‌های واقع شده در موقعیت مطلوب آسایش حرارتی این سناریو نسبت به دوره مشاهداتی در دهه ۲۷ ام سال از سایر زمان‌های دیگر این محدوده آماری کاهش بیشتری را پیش‌بینی می‌کند (۷/۹۵- درصد). در درجه دوم، دهه ۳۱ ام با کاهش ۲/۲۷- درصدی در تعداد ایستگاه‌های دارای موقعیت مطلوب آسایشی قرار دارند. دهه اول ماه می با افزایش ۹/۰۹ درصدی تعداد ایستگاه‌ها، بیشترین میزان تغییرات افزایشی در مطلوبیت آسایشی را نشان می‌دهد. دهه ۱۱۴ ام و ۲۴ ام با افزایش ۷/۹۵ درصدی، دو دهه با افزایش شرایط مطلوب آسایشی در منطقه مورد مطالعه هستند. طبق سناریو بدبینانه این مدل در دوره آماری مذکور، دهه دوم سپتامبر، بهترین زمان برای ایرانگردی محسوب می‌شود زیرا بیشترین تعداد ایستگاه‌ها (۴۸/۸۶ درصد)، در این زمان دارای شرایط آسایشی مطلوب هستند. در بیست سال آخر دوره آماری منطقه مورد مطالعه نسبت به دوره ماقبل، مناطق دارای شرایط آسایشی، ۰/۵۷- کاهش داشته و نسبت به دوره مشاهداتی ۰/۴۴ درصد افزایش دارند. در مقایسه با هر دو دوره ماقبل، اواسط ماه جون بیشترین تغییرات کاهشی و اواسط آوریل بیشترین تغییرات افزایشی را نسبت به دوره آماری ماقبل دارند. بیشترین دامنه تغییرات از نظر درصد ایستگاه‌های دارای شرایط مطلوب نسبت به دوره مشاهداتی در دهه ۱۱۳ ام دیده می‌شود. طبق این سناریو در دوره آماری ۲۰۴۱-۲۰۶۰ بهترین زمان برای ایرانگردی دهه دوم و سوم سپتامبر است که بیشترین تعداد ایستگاه‌ها شرایط مطلوب آسایشی دارند (۴۳/۱۸-۴۴/۳۲ درصد). ماه ژانویه، فوریه و جولای و نوامبر و دسامبر همچنین دهه اول آگوست کمتر از ۱۰ درصد از ایستگاه‌های منطقه شرایط مطلوب آسایشی دارند.

از بررسی اشکال (۱۰ الی ۱۵) چنین نتیجه می‌شود که بیشترین میزان متوسط تغییرات کاهشی نسبت به دوره مشاهداتی، در شمال‌شرق و ارتفاعات زاگرس (ایستگاه‌های بجنورد، بیرجند، سقز، شهرکرد، فسا، کوه‌رنگ و یاسوج) و تغییرات متوسط افزایشی، در جنوب (ایستگاه‌های بستان، بندرماهشهر، بندرعباس، میناب) دیده می‌شود. تحلیل روند دمای معادل فیزیولوژیک مستخرج از اطلاعات کنترل کیفی شده ۹۱ ایستگاه سینوپتیک کشور بیانگر روند خطی افزایشی معنی دار در سطح ۹۵ درصد است. به طور متوسط هر دو مدل با سه خط سیر و در دو بازه زمانی مختلف افزایش کلی کمیت مذکور را (حداقل ۰/۰۶ و حداکثر ۱/۵۶ درصد) شبیه‌سازی می‌کنند. در مجموع بیشترین تغییرات افزایشی در مناطق شمال شرق و بیشترین تغییرات کاهشی PET در مناطق مرکزی و جنوب و جنوب‌شرقی پیش‌بینی می‌شود. در مناطق غرب و جنوب‌غرب وضعیت ثبات و افزایش یا کاهش خفیف قابل انتظار است.

نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه ارزیابی و پیش‌نگری اقلیم آسایشی ایران به منظور اتخاذ سیاست‌های مناسب و همسو با تغییر اقلیم و فراهم ساختن زیرساخت‌ها و تمهید مقدمات برای گردشگری در دوره‌های آتی است. با تکیه بر داده‌های مشاهداتی ثابت شد که آسایش حرارتی در کشور در حال تغییر است. در حال حاضر بخش اعظم مناطق کشور در محدوده تنش سرمایی اندک تا شدید قرار دارد. با سناریوهای تغییر اقلیم و بر اثر تغییرات افزایشی دما در دوره‌های آتی پیش‌بینی می‌شود مساحت بیشتری از منطقه در زمان‌های مختلف سال تحت شرایط مطلوب آسایشی قرار بگیرد. همچنین تعداد دهه‌های مطلوب آسایشی صرف نظر از نوع مدل و نوع خط سیر آنها در افق‌های مورد نظر نسبت به دوره مشاهداتی رو به افزایش است و دلیل مهم دستیابی به این نتایج را می‌توان به افزایش میانگین دما نسبت داد. چرا که از مهمترین فاکتورها در ارزیابی آسایش اقلیمی دمای محیط است که تأثیر به‌سزایی در نتایج آسایش حرارتی دارد و نقطه قوت شاخص PET این است که بازتاب این نتیجه را بر حسب درجه سانتیگراد به خوبی نشان می‌دهد. لازم به ذکر است از آنجا که مبنای مقیاس کاهی آماری داده‌های ایستگاهی می‌باشد، لذا در این پژوهش، توجه ویژه‌ای به شرایط گذشته شده است و در این راستا با استفاده از راهکارهای نرم‌افزاری نوین، دقت و اهتمام جدی در کنترل کیفی (توزیع، همگنی و بازسازی داده‌ها) و توجه ویژه به فراداده‌ها در دوره مشاهداتی به منظور دستیابی به داده‌های قابل اطمینان‌تر به عمل آمده است. بنابراین به نظر می‌رسد که موارد ذکر شده به خوبی نتایج را تحت تأثیر خود قرار دهد. از محدودیت‌های چنین مطالعاتی عدم دستیابی به فراداده‌ها در اغلب ایستگاه‌ها است و به دلیل تعداد زیاد داده‌های مفقوده و یا کم بودن طول دوره آماری سری‌های زمانی ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور، محققین مجبور به حذف تعداد زیادی از ایستگاه‌ها در منطقه مورد مطالعه می‌شوند. نکته حائز توجه دیگر این است که به کارگیری متد جدید مقیاس کاهی و نیز استفاده از داده‌های نوین مدل‌های گردش کلی (پروژه CMIP5) طبق خط سیرهای گزارش پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم از نقاط قوت این مطالعه به حساب می‌آید. مدل مقیاس کاهی آماری CDFt در مطالعات معدودی (Oji, 2018:397) به کار برده شده و با توجه به توانمندی بالای مدل در شبیه‌سازی متغیرهای این پژوهش، به خصوص در شبیه‌سازی دماهای حداقل و حداکثر، این مدل می‌تواند در زمینه سایر کارهای اقلیمی مانند مطالعه اثر تغییر اقلیم بر کشاورزی و منابع طبیعی و پوشش گیاهی نیز جوابگو باشد. البته عملکرد مدل‌ها به مکان ایستگاه‌های

مربوطه نیز وابستگی دارند و با توجه به این محدودیت‌ها و اینکه توزیع آماری داده‌های اقلیمی و کیفیت و طول دوره آماری ایستگاه‌ها بر روی شبیه‌سازی اثرگذار است، این مدل توانمندی خود را در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی نشان داده و بر مبنای آن می‌توان سناریوهای آینده و پیش‌نگری‌های اقلیمی ایران را در زمینه آسایش حرارتی گردشگران اجرا کرد. در این پژوهش سعی شده با برطرف کردن ضعف مطالعات تک مدلی و تک سناریویی پیشین، با استفاده از مدل‌های اقلیمی به روز و مورد مقبول مجامع علمی و بین‌المللی و بکارگیری روش‌های مقیاس کاهی نوین، مقایسه دقیقی بین شرایط گذشته و آینده صورت گیرد. از طرفی در مقایسه با معدود مطالعاتی که در گذشته در این زمینه انجام شده مانند: (Yazdanpanah et al., 2016. Bakhtiari et al., 2018. Alizadeh et al., 2021) جامعیت و گستردگی زمانی و مکانی این پژوهش از نقاط قوت این پژوهش به شمار می‌رود. از مقایسه نتایج به دست آمده از این تحقیق در زمینه آسایش اقلیمی گردشگران با مطالعات پیشین همخوانی نتایج در خروجی نهایی نیز دیده می‌شود. مثلاً (Alizadeh et al (2021: 1) نشان دادند که تابستان کشور بیش از حد گرم و در پاییز و زمستان به یک مقصد دلپذیرتر تبدیل خواهد شد. همچنین نتایج کار Bakhtiari et al (2018: 291) نشان داد که وقوع تغییر اقلیم منجر به بهبود آسایش آب و هوایی ایران خواهد شد. با توجه به نتایج به دست آمده دو راهکار در زمینه استفاده بهینه از پتانسیل‌های اقلیم گردشگری در دوره‌های آتی پیشنهاد می‌شود که برای کارگزاران ملی صنعت گردشگری می‌تواند مفید فایده باشد. اول اینکه با توجه به همراهی مطلوب شرایط اقلیم گردشگری در افق‌های آتی کشور، زیرساخت‌های لازم برای ارتقاء کیفیت این صنعت پربازده در دهه‌های مطلوب، برای فعالیت‌های مناسب ایجاد گردد. دوم اینکه نتایج مطالعه اقلیم آسایشی نشان داد که در بیش از نیمی از مساحت کشور در دهه‌های مختلف سال، شرایطی تنش سرمایی اندک تا شدید پیش‌بینی می‌شود و در آینده فرصت‌ها و محدودیت‌هایی را ایجاد خواهد کرد. بنابراین برنامه‌ریزان باید به مبحث تأمین انرژی و راهکارهای مختلف جهت اجرای سیاست‌های سازشی در بحث مدیریت انرژی بها داده و برای ایجاد زیرساخت‌های مناسب در جهت کاهش مصرف انرژی آمادگی‌های لازم را داشته باشند و همزمان به پتانسیل‌های انواع گردشگری ورزشی و طبیعت گردی و گردشگری فرهنگی توجه لازم را مبذول دارند و برای سرمایه‌گذاری در این بخش چاره‌اندیشی کنند. به عبارتی نیاز است که مسئولان با نگاه ژرف‌تر به چشم‌انداز بلند مدت پتانسیل‌های اقلیم گردشگری تحت تأثیر تغییر اقلیم، محدودیت‌ها را به فرصتی برای ارتقاء اقتصادی_ فرهنگی جامعه تبدیل نموده و از اثرات مخرب این چالش جهان شمول بکاهند.

References

- Aaker, D. A. (1991). **"Managing brand equity"**. New York, NY: The Free Press.
- Abbaszadeh, M., Mohammad Moradi, A., & Soltanahmadi, E. (2015). The role of architectural and urban heritage values in cultural tourism development: case study: the historical fabric of Urmia. **Motaleate Shahri**, 14, 77-90. [In Persian].
- Almusaed, A., (2011). **"Biophilic and bioclimatic architecture: Analytical therapy for next generation of passive architecture"**. Springer: London.
- Bach, K. (2005). **The emperor's new 'knows'. Contextualism in philosophy: Knowledge, meaning, and truth**, Springer: London.
- Beatley, T. (2011). **Biophilic cities: integrating nature into urban design and planning**. Island Press.
- Boo, S., Busser, J., & Baloglu, S. (2009). A model of customer-based brand equity and its application to multiple destinations. **Tourism management**, 30(2), 219-231. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2008.06.003>
- Chanrithy, S. (2007). Measuring international tourists' satisfaction and destination loyalty: a case of Angkor tourism sites. Graduation Thesis of the Master's Program, Institute of International Business Management, Cheng Kung University, 1-85.
- Chen, C. F. (2011). "Exploring relationships between destination brand equity, satisfaction, and destination loyalty: A case study of Mongolia. **Journal of Tourism, Hospitality & Culinary Arts**, 3(2), 81-94 .
- Chen, J., & Gursoy, D. (2001). "An investigation of tourists' destination loyalty and preferences". **International Journal of Contemporary Hospitality Management**, 13(2), 79-85.
- Çizgen, G. (2012). Rethinking the role of context and contextualism in architecture and design". MS thesis, Eastern Mediterranean University, Gazimağusa, North Cyprus.
- Chermatony., & McDonald, M., (2003). **"Creating powerful brands in consumer, service and industrial markets"**. Elsevier :london
- Fu, Y., Liu, X., Wang, Y., & Chao, R. F. (2018). "How experiential consumption moderates the effects of souvenir authenticity on behavioral intention through perceived value". **Tourism Management**, 69, 356-367.
- Gartner, W. C., & Ruzzier, M. K. (2011). "Tourism destination brand equity dimensions: Renewal versus repeat market". **Journal of Travel Research**, 50(5), 471-481.
- Giddens, A., (2003). **"Runaway world: How globalization reshaping our lives"**. Routledge : New Yourk NY: USA.
- Habibi, M. (2011). **"Thought trends of urbanism and arhitecture in Iran"**. Tehran: Cultural Research Center.
- Helmy, M. (2008). Urban branding and emerging arab cityscape: The image of the gulf city". PhD dissertation, University of Stuttgart, Retrieved from https://elib.unistuttgart.de/bitstream/11682/78/1/Urban_Branding_Strategies.pdf.
- Herrero, Á., San Martin, H., & Collado, J. (2017). Examining the hierarchy of destination brands and the chain of effects between brand equity dimensions. **Journal of destination marketing & management**, 6(4), 353-362.
- chain of effects between brand equity dimensions". **Journal of Destination Marketing & Management**, 6(4), 353-362.

- Hosany, S., Ekinici, Y., Uysal, M. (2006). "Destination image and destination personality: an application brand theories to tourism places". *Journal of Business Research*, 59, 638-642.
- Hubbard, P. (2006). "City". Routledge New York .
- Hui, E.C.M., Zhang, P. and Zheng, X. (2013), "**Facilities management service and customer satisfaction in shopping mall sector**", *Facilities*, Vol. 31 No. 5/6, pp. 194-207. London :springer Pub .<https://doi.org/10.1108/02632771311307070>
- Jang, S., Namkung, Y. (2009). "Perceived quality, emotions, and behavioral intentions: Application of an extended Mehrabian–Russell model to restaurants". *Journal of Business Research*, 62(4),451-460.
- Keller, K. L. (1993). "Conceptualizing, measuring and managing customer-based brand equity". *Journal of Marketing*, 57(1), 1-22.
- Kim, W., Lee, F., Suh, Y., (2015). "Satisfaction and loyalty from shopping mall experience and brand personality". *Services Marketing Quarterly*, 36,(1), 62-76.
- Kim, M., & Thapa, B. (2018). "Perceived value and flow experience:Application in a nature-based tourism context". *Journal of Destination Marketing & Management*, 8, 373–384.
- Konecnik, M., & Gartner, W., (2007). "Customer-based brand equity for a destination". *Annals of Tourism Research*, 34(2), 400-421.
- Long, J., (2017). Is a shopping center's brand important? Retrieved from (<https://www.foundationrecruitment.com/importance-shopping-centre-brand/>)
- Luo, J., Dey, B. L., Yalkin, C., Sivarajah, U., Punjaisri, K., Huang, Y., & Yen, D. A., (2018)." Millennial Chinese consumers' perceived destination brand value". *Journal of Business Research*, 287, 47-60 <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.06.015>.
- Ludlow, P. (2005). **Contextualism and the new linguistic turn in epistemology. Contextualism in philosophy: Knowledge, meaning, and truth**, 11-50 pp. New York :Elsiver
- Mahdavinezhad, M. Bemanian, M., & Molaie, M., (2011). "Contextualist design process – architecture experience of 2009-10". *Naghshe Jahan*, 1: 21-34. [In Persian].
- Mahmoodi Pachal, Z., Zarei, G., & Bashokouh Ajirlou, M., (2016). "Designing the costomer-based brand equity of Sarein destination". *Tourism and Development*, 6(3), 116-138. [In Persian].
- Mattila, A., Wirtz, J., (2001). "The role of store environmental stimulation and social factors on impulse purchasing". *Journal of Services Marketing*, 22(7),562-567.
- Merrilees, B., Miller. D., & Shao, W. (2016),"Mall brand meaning: an experiential branding perspective", *Journal of Product Brand Management*,. 25 (3), 1-38- .
- Mohammadifar, Y., Rousta, A., Gharehche, M., & Hamidizadeh. M. (2018). "The necessities and consequences of city branding and emphasizing the economy of urban tourism" *Urban Economics and Management*, 61, 55-69. [In Persian].
- Mohammadpour", A. (2010). "**Hypermethode: Practical and Philosophical foundation of mixed method in social and behavioral science**". Tehran: Jameshenasan pub . [In Persian].
- Oppermann, M. (2000). "Tourism destination loyalty" *Journal of Travel Research*, 39(1),78-84.

- Pike, S., & Bianchi, C., (2016). "Destination brand equity for Australia: Testing a model of CBBE in short haul and long haul markets", *Journal of Hospitality and Tourism Research*, 40(1), 114–134.
- Relph, E. (2011). "**Place and placeness**". Translated by Jalal Tabrizi, Tehran: Payam.
- Rennie Short, J., & Kim, Y. (2005). "**Globalization and the city**". Translated by Pantea Lotfi Kazemi, Tehran: Pardazesh va Barnamerizi Shahri Pub.
- Sanoubar, N., Khatami, M. (2011). "**Brand management in financial institutes**". Tabriz: Mola Ali.
- Shafranskaya, I., Potapov, D. (2014). "An empirical study of consumer based city from signaling theory perspective". *Place Branding and Public Diplomacy*, 10(2): 117-131.
- Sobhanifard, Y., Akhavan Khazarraziyan, M., (2012). "**Factor analysis, structural equation and multilevel modelling**". Tehran: University of Imam Sadeq Press.
- Tavalayi, N., (2001). "Contextualism in urban planning". *Honarhaye Ziba*, 10, 34-43.
- Turley, L., & Millimian, R. (2000). "Atmospheric effects on shopping behavior: A review of the experimental evidence". *Journal of Business Research* 49(2), 193-211.
- Rapaport, A., (1977). "**Human aspects of urban form: Towards a man-environment approach to urban form and design**". Pergamon pub.
- Zarei, G., & Mahmoudi Pamchal, Z., (2019). "Examining the effect of brand equity dimensions on domestic tourists' length of stay in Sareyn: the mediating role of brand equity". *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 24,(5:), 404-421.

The Impacts of Global Warming on Tourism Climate in Iran

Katayoon Mazloom, PhD student in Climatic Hazards, Razi University, Kermanshah
Hassan Zolfaghari, Associate Professor, Department of Geography, Razi University, Kermanshah*
Ruhollah Oji, Assistant Professor in Climatology, University of Guilan, Rasht
Andreas Matzarakis, Extraordinary Professor of Human Biometeorology, University of Freiburg,
Germany

Introduction

The impact of climate change on tourism has been the subject of many research studies. It is for this reason that tourism researchers have continued to explore the relationship between tourism and climate change and further explored response strategies among tourism stakeholders. The aim of this research is the evaluation of climate change and its impacts on thermal comfort and tourism climate of Iran. For this purpose daily maximum and minimum temperature, wind speed and relative humidity data of 91 synoptic stations during a period of 30 years (2017-2017) were used. In this research the (CDFt)²⁶ model is used to downscaling the GCMs data. ERA5 data was used to evaluate the performance of the downscaling model. The CanESM2 and GFDL_ESM2G daily data were used to draw future landscape changes of thermal comfort (based on the 2.6, 4.5, 8.5 RCPs). Then the thermal comfort for tourists was calculated using PET²⁷. The thermal comfort results compared between the present and future. Thermal comfort of Iran was predicted for 2 periods (2021-2040) & (2041-2060). The results are displayed in ten-day classes. The number of stations that have optimal thermal comfort conditions in observation period indicates 0.83% increase compared to the futures perspective. The best conditions of climate comfort is predicted in the 24s and 25s decades and the most undesirable conditions are in the first to fifth and 34 to 36 decades. The most PET decrease is predicted in the northeast of Iran and the least increase of PET are occurred in the northwest. The results indicate an increasing on PET (between 0.06 to 1.56%) at future due to the increase in average temperature.

Materials and Methods

The daily variables of maximum and minimum temperature, wind speed and relative humidity of Synoptic stations as well as the ERA5 database in a 30-year period (1987-2017) and GCMs data were used to simulate the PET from 2021 to 2060. The CDFt model was validated using the Pearson correlation coefficient and the Kolmogorov-Smirnov tests along with a climatic RMSE. There are often abrupt changes in the climate time series. The homogeneity of observed data evaluated using the RhtestV4 software package based on the maximal penalized T and F (MPF, MPT) tests. Data imputation was performed using Sequential K-Nearest Neighbor Method.

Then, the research process was done as follows:

- A) The variables of maximum and minimum temperature, relative humidity and wind speed was simulated by CDFt statistical downscaling. The CDFt can be considered as an approach to the Quintile Mapping (QM) method by providing cumulative distribution functions (CDFs). Assuming that the ERA5 data are converted to the cumulative distribution function of the local climate variable as predictand at the desired station. In this study the CDFt software package has been used in R software. Validation of the simulated data was performed by Pearson correlation coefficient, Kolmogorov-Smirnov test and tidal error of the mean square squares.
- B) The RayMan model was used to calculate the thermal comfort based on PET index using both the observed and the GCMs downscaled data (CanESM2 & GFDL_ESM2G). This model is able to

²⁶ . Cumulative Distribution Function- transform

²⁷ . Physiological Equivalent Temperature

calculate the effect of short and long wave radiation flux on the human body, which is required in the human energy balance model.

Discussion of Results

After making sure that the CDFt, in general, showed a good performance in downscaling of the variable applied to calculation of climate comfort in the study area. Therefore, it is reliable to project the future thermal comfort of the region under the climate change conditions. Then the historical period of CanESM2 & GFDL_ESM2G Models were used to show a comparison between PET observations and PET simulations. The results of the thermal comfort verification calculated based on the historical period simulated values in comparison to the observed values are as follows:

There is a high correlation between the time series of the PET observed and PET simulated the historical period of GCM Models. However, a linear and positive relationship was observed for all-time series. According to the Kolmogorov-Smirnov test, the simulated values of all PET time series showed good fit with the observed data at the 0.01 significance level. The calculated value of RMSE test for PET indicates the high performance of the downscaling method in simulation of historical period of GCM Models. The results showed that the CanESM2 model with minor differences performed better than the GFDL_ESM2G model. Incremental changes of physiological equivalent temperature have occurred in higher latitudes and in the high places like Alborz and Zagros. Also the PET decreasing changes are in low latitudes and central parts of Iran.

Therefore, it is expected that more area of Iran will be at the desired threshold of thermal comfort at the future.

The results showed that in the rest of the year, the largest utilities are in the 24 and 25 th decades. Regardless of the model type towards the Rcp4.5 and Rcp8.5 and the 2041 to 2060 period increasing the values of the Physiological Equivalent Temperature will proceed. Also, the length of comfort decades is increasing in future periods.

Conclusion

This study was performed in order to provide infrastructure for tourism in future periods from 2021 to 2060. For this purpose, the climate comfort of Iran was predicted by GCMs data. Currently, most parts of the Iran are in the range of mild to severe cold stress. It is predicted that wider parts of study area will have optimal comfort conditions in future. Also, the number of optimal comfort decades is increasing compared to the observation period. The results of the climate comfort study showed that mild to severe cold stress conditions are predicted in More than half of this country at different decades of the year. So it will create opportunities and constraints in the future which requires long-term planning and strategies in this area.

Keywords: Tourism Climate, Global warming, PET, CDFt, GCMs, Iran.