

ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر درجه-روزهای گرمایشی و سرمایشی ایران

حسن ذوالفقاری* - دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
حمید رحیمی - دانشجوی دکتری مخاطرات آب‌وهوایی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
روح‌اله اوجی - استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۰۲

وصول: ۱۳۹۵/۰۸/۰۳

چکیده

انرژی به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های زیست‌محیطی و اقتصادی توسعه پایدار، از شرایط تغییر اقلیم تأثیر می‌پذیرد؛ افزون بر این، تغییرات درجه-روزهای سرمایشی و گرمایشی، از عوامل اصلی افزایش یا کاهش مصرف سوخت و انرژی به حساب می‌آید. به منظور ارزیابی پتانسیل تغییرات درجه-روزهای گرمایشی و سرمایشی کشور تحت تأثیر تغییر اقلیم، ابتدا داده‌های دمای روزانه ۴۴ ایستگاه سینوپتیک کشور طی دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۷۶ استخراج شد؛ همچنین، داده‌های روزانه ریزگردانی دینامیک پروژه کوردکس با دقت مکانی $0/44 \times 0/44$ درجه برای خروجی سه مدل منطقه‌ای سی.ان.آر.ام، ای.سی.آر.ث و جی.اف.دی.ال، تحت دو خط سیر ۴/۵ و ۸/۵ واداشت تابشی استخراج شد. برونداد مدل‌ها، افزایش نیاز سرمایشی در افق‌های ۲۰۲۰-۲۰۳۰ و ۲۰۴۰-۲۰۵۰ را شبیه‌سازی می‌کنند. بیشترین افزایش در مناطق پست سواحل جنوبی و به‌ویژه جنوب شرقی کشور و مناطق مرکزی و به صورت خفیف‌تر در سواحل شمال قابل انتظار است و در مقابل وضعیت ثبات و کاهش اندک نیاز سرمایشی در ارتفاعات البرز و زاگرس و کاهش نیاز گرمایشی برای کشور در افق‌های یادشده پیش‌بینی می‌شود. بیشترین کاهش در مناطق کوهستانی البرز، زاگرس و آذربایجان قابل انتظار است و در مقابل، وضعیت ثبات و افزایش خفیف نیاز گرمایشی در مناطق پست و ساحلی جنوب و به صورت موضعی در مرکز و سواحل شمال قابل پیش‌بینی است. در مجموع، نتایج بیانگر افزایش نیاز سرمایشی (حداقل ۲۳ و حداکثر ۴۷ درصدی) و کاهش نیاز گرمایشی (حداکثر ۹ و حداکثر ۱۷ درصدی) کشور در دو افق ۲۰۲۰-۲۰۳۰ و ۲۰۴۰-۲۰۵۰ در هر دو خط سیر ۴/۵ و ۸/۵ است.

واژگان کلیدی: درجه-روزهای گرمایشی و سرمایشی، تغییر اقلیم، کوردکس، خط سیر انتشار، ایران.

مقدمه

در قرن ۱۹ میلادی، عقیده بر این بود که متوسط بلندمدت، بیانگر شرایط اقلیمی است؛ در نتیجه، طول دوره بلندتر مطالعات، سخنی مستحکم‌تر در باب اقلیم بود؛ اما زمین‌شناسان و تعداد کمی از هواشناسان عقیده داشتند که در گذشته بسیار دور، شرایط اقلیمی این‌گونه نبوده و حتی بسیار متفاوت‌تر از شرایط کنونی بوده است. در سال ۱۹۷۰، مسئله گازه‌های گلخانه‌ای که ناشی از افزایش غلظت گاز دی‌اکسید کربن بود، یکباره مورد توجه قرار گرفت. در خلال قرن بیستم، دما به شکل معنی‌داری ۰/۵ درجه گرم‌تر از میانگین بلندمدت شده بود. سری‌های زمانی بارش، روند کاهشی معنی‌داری را نشان می‌دادند. همه اینها بیانگر تغییرات عظیم آب‌وهوایی بودند که اکنون از آن به عنوان تغییر اقلیم با منشأ انسانی^۱ یاد می‌شود (بری و چورلی^۲، ۲۰۰۳: ۳۸۶-۳۶۰). تمام دنیا تغییرات آب‌وهوایی را به عنوان جزء جدایی‌ناپذیر اقلیم و چالش بزرگ زیستی قلمداد می‌کنند، به نحوی که بخش‌های مختلف زندگی مانند کشاورزی، منابع طبیعی، انرژی، اقتصاد و... را درگیر عوارض خود نموده است.

ایران هم از این بحران مستثنی نبوده و نه تنها تولیدکننده عمده انرژی، بلکه مصرف‌کننده بزرگ آن نیز محسوب می‌شود. جمعیت بالا، مساحت کشور و برنامه‌های صنعتی و توسعه شهری، همگی عوامل مهم بازار مصرف در کشور هستند و طبیعی است که کشور پهناوری مانند ایران، مصارف متنوعی برای انرژی داشته باشد. با این وجود سطح مصرف در ایران بسیار بالا است و به دلایل گوناگون بایستی از وضعیت کنونی نگران بود (ملکی، ۱۳۹۰: ۲۱۴). یکی از مهم‌ترین عوامل بالقوه افزایش مصرف انرژی در هر منطقه، دامنه نوسانات دمایی است؛ به عبارت صحیح‌تر، تغییرات درجه-روزهای سرمایشی و گرمایشی، از عوامل اصلی افزایش یا کاهش مصرف سوخت و انرژی هستند.

به طور کلی، میزان نیاز به گرمایش و سرمایش طبق تعریف، جمع اختلافات میانگین‌های روزانه دما از آستانه معین در دوره مشخصی از سال است و برحسب درجه-روز بیان می‌شود. دماهای آستانه، اعداد متفاوتی بوده و در شرایط مختلف ارقام فرق می‌کند، ولی به طور کلی برای حدود آسایش انسان اعداد ۱۹ تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد پیشنهاد شده است. با توجه به اهمیت ملموس و محسوس درجه-روز سرمایشی و گرمایشی به واسطه گره خوردن با مبحث انرژی، معادلات آینده‌نگرانه این شاخص اهمیت دوچندانی خواهد یافت. به طور خلاصه، اگر متوسط دمای هوا از مقدار آستانه ۲۱ درجه سانتی‌گراد تجاوز کند، در آن روز نیاز به خنک‌سازی محیط ایجاد خواهد شد. میزان نیاز سرمایش در دوره معین N روزه، به درجه-روز سرمایشی معروف است که حاصل رابطه ۱ است:

$$CDD = \sum_{T}^N (T - \theta), \quad \theta < T \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن، T میانگین دمای روزانه و θ دمای آستانه ۲۱ درجه است (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۸۸). اگر متوسط دمای هوا از مقدار آستانه ۱۸ درجه سانتی‌گراد کمتر شود، در آن روز نیاز به گرم‌سازی محیط ایجاد خواهد شد. میزان نیاز گرمایش در دوره معین N روزه، به درجه-روز گرمایشی معروف است که حاصل رابطه ۲ است:

$$HDD = \sum_{T}^N (T - \theta), \quad \theta > T \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن، T میانگین دمای روزانه و θ دمای آستانه ۱۸ درجه است (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۸۸). در زمینه مطالعات معمول درجه-روز سرمایشی و گرمایشی در سطح دنیا و ایران می‌توان به مطالعات تام^۱ (۱۹۵۴)، اربز^۲ و همکاران (۱۹۸۳)، بویوکالکا^۳ و همکاران (۲۰۰۱)، ماتزاراکیس و بالافوتیس^۴ (۲۰۰۴)، جیاناکوپولوس و پوسیلوگلو^۵ (۲۰۰۶)، پوسیلوگلو و همکاران (۲۰۰۹)، چنگ ون و یاو^۶ (۲۰۱۰)، پریا^۷ و همکاران (۲۰۱۱)، براون^۸ و همکاران (۲۰۱۴)، آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا^۹ (۲۰۱۴)، بورا^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۵)، لندلوف^{۱۱} (۲۰۱۶)، آتیلگان^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۶) وی^{۱۳} و همکاران (۲۰۱۷)، حقیقت‌جو (۱۳۸۱)، ذوالفقاری و همکاران (۱۳۸۸)، حیدری بنی و پارسا (۱۳۸۹)، مسعودیان و همکاران (۱۳۹۰)، مسعودیان و همکاران (۱۳۹۱)، انتظار و همکاران (۱۳۹۳)، میرموسوی و همکاران (۱۳۹۳)، مسعودیان و همکاران (۱۳۹۳)، رضانی و کاظم‌نژاد (۱۳۹۳) و احمدی و همکاران (۱۳۹۶) اشاره کرد.

در زمینه مبحث آینده‌نگری شاخص درجه-روز سرمایشی و گرمایشی کارهای اندک و پراکنده‌ای در سطح بین‌المللی انجام شده است: هدلی^{۱۴} و همکاران (۲۰۰۶)، با بهره‌گیری از داده‌های مدل آب‌وهوایی موازی-شبه‌ساز یکپارچه بیوسفر^{۱۵}؛ پتری و کالدیرا^{۱۶} (۲۰۱۵)، تحت خط سیر بدبینانه در ایالت‌های آمریکا و ماتزاراکیس و توماسن^{۱۷} (۲۰۰۹) با استفاده از مدل منطقه‌ای^{۱۸} از طریق دو سناریوی A1B و B1 برای شهر فرایبورگ، هرکدام به نحوی در پی ترسیم چالش تغییرات آینده شاخص درجه-روز سرمایشی و گرمایشی بوده‌اند. جاگلم^{۱۹} و همکاران (۲۰۱۴)، در آمریکا، هاملت^{۲۰} و همکاران (۲۰۱۰)، در ایالت واشینگتن با ترکیب پیش‌بینی آینده تغییر اقلیم و شاخص جمعیتی، اهمیت شاخص‌های یادشده در مسئله انرژی نیز به اشکال مختلف آشکارتر می‌سازند. در مجموع، عمده مطالعات مانند پژوهش کریستنسون^{۲۱} و همکاران (۲۰۰۶)، در سوئیس و گزارشات آژانس آمایش مادرشهر شیکاگو^{۲۲} (۲۰۱۳)، در مناطق مرکزی آمریکا، کاهش نیاز گرمایشی و افزایش نیاز سرمایشی را گزارش می‌دهند. در مورد پیش‌بینی نیاز گرمایشی و سرمایشی در کشور، تنها می‌توان به پژوهش‌های امیدوار و همکاران (۱۳۹۴)، به صورت موضعی در مورد نیاز سرمایش استان فارس، راه‌چمنی (۱۳۹۴)، واکاوی اثرات تغییر اقلیم در

- 1- Thom
- 2- Erbs
- 3- Büyükalaca
- 4- Matzarakis & Balafoutis
- 5- Giannakopoulos & Psiloglou
- 6- Cheng-wen & Yao
- 7- Priya
- 8- Brown
- 9- Environment Protection Agency (EPA)
- 10- Borah
- 11- Lindelöf
- 12- Atilgan
- 13- Way
- 14- Hadley
- 15- Parallel Climate Model-Integrated Biosphere Simulator (PCM-IBIS)
- 16- Petri & Caldeira
- 17- Matzarakis & Thomsen
- 18- Regional Model (REMO)
- 19- Jagloma
- 20- Hamlet
- 21- Christensona
- 22- Chicago Metropolitan Agency for Planning (CMAP)

استان خراسان رضوی و در موردی جامع‌تر امیدوار و همکاران (۱۳۹۵) اشاره نمود که با استفاده از یک مدل منطقه‌ای مرکز فیزیک نظری عبدالسلام و تنها با یکی از سناریوهای قدیمی گزارش سوّم هیئت بین‌الدول بازه ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰، نیاز سرمایشی و گرمایشی پهنه کشور را مطالعه نمودند. ایشان ناحیه کوهستانی را کمترین و جلگه‌های ساحلی جنوب و بویژه خوزستان را نیازمند سرمایش و بالعکس جلگه‌های ساحلی جنوب را کمترین و ناحیه کوهستانی بیشتری در نیاز گرمایشی آینده معرفی نمودند؛ اما تفکیک مکانی نامناسب داده‌های مدل‌های تغییر اقلیم، نبود مطالعات آینده تغییرات درجه-روزهای گرمایشی و سرمایشی و عدم مقایسه خروجی مدل‌ها و خط سیرهای جدید و متفاوت در رابطه با درجه-روزهای گرمایشی و سرمایشی نکاتی هستند که یا به آن کمتر توجه شده و یا در مورد ایران نبوده است؛ لذا پژوهش حاضر با استفاده داده‌های ریزگردانی شده فرین‌های دمای سه مدل گردش عمومی جو، مدل مرکز ملی اقلیم‌شناسی فرانسه (سی.ان.آر.ام)¹، مرکز اروپایی تحقیقات زمین (ای.سی.اِرت)² و آزمایشگاه ژئوفیزیک دینامیک سیالات سازمان نوآ (جی.اف.دی.ال)³ با تفکیک مکانی 0.44×0.44 درجه پروژة کوردکس (تجربه هماهنگ ریزگردانی منطقه‌ای)⁴ به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر درجه-روز سرمایشی و گرمایشی می‌پردازد.

لازم به ذکر است که در انجام این پژوهش تلاش شده که استانداردهای بین‌المللی پژوهش رعایت شود. به نحوی که توصیه‌های گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم اعم از استفاده از داده‌های کنترل کیفی شده، استفاده از خروجی مدل‌های گزارش پنجم کارگروه هماهنگ‌کننده مدل‌های جفت‌شده اقلیمی⁵ و در نتیجه جدیدترین سناریوهای تغییر اقلیم بر مبنای خط سیر انتشار گازهای گلخانه‌ای⁶، پس‌پردازش خروجی داده‌های ریزگردانی شده و... نویسندگان بر این بوده‌اند که تا حد امکان از عدم قطعیت حاکم بر این گونه مطالعات بکاهند تا پژوهشی درخور، به جامعه علمی کشور ارائه نمایند. برای این منظور، اثر تغییر اقلیم بر درجه-روزهای گرمایشی و سرمایشی در دو افق دهه‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ تا ۲۰۵۰ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. لذا به ارائه تصویری از تغییرات احتمالی درجه-روزهای سرمایشی و گرمایشی ایران در دوره‌های آتی می‌پردازد. همچنان‌که پیش‌تر نیز اشاره شد، در این پژوهش، خط سیرهای ۴/۵ و ۸/۵ انتشار گازهای گلخانه‌ای، به عنوان نماینده‌های خط سیرهای خوش‌بینانه و بدبینانه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش دو نوع داده مورد بررسی قرار گرفته است که عبارتند از داده‌های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی شده (گذشته و آینده). داده‌های مشاهداتی با توجه طول دوره داده‌های گذشته پایگاه داده کوردکس از ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ در نظر گرفته شده است. دلیل انتخاب طول دوره ۳۰ ساله نیز تبعیت از اصول پارامتری بودن داده‌ها، بضاعت دوره داده‌های گذشته پایگاه کوردکس بوده است. به منظور اثبات کفایت داده‌ها، از دو روش استفاده شد: در روش اول، مدل دوبعدی توزیع نقاط^۷ تحت آزمون نزدیک‌ترین همسایگان^۸ در سطح معنی‌داری ۰.۹۵٪ مورد

1- Centre National Regarding Model (CNRM)

2- European Centre-Earth (EC-Earth)

3- Geophysical Fluid Dynamics Laboratory

4- COordinated Regional Climate Downscaling EXperiment (CORDEX)

5- Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5)

6- Representative Concentration Pathways (RCPs)

7- Point Pattern Analyses 2D

8- Nearest Neighbours

استفاده قرار گرفت. روش دیگری که در این قسمت از آن استفاده شد، آنالیز طبقه‌بندی مکانی فواصل چندگانه^۱ تحت الگوریتم ک-ریپلیز^۲ است. اجرای این آزمون بر ایستگاه‌های مشاهداتی مورد مطالعه، بیانگر الگوی پراکنده این نقاط است. با توجه به حساسیت مسئله تغییر اقلیم که منطبق آن بر داده‌های مشاهداتی سالم مبتنی است، کنترل کیفی داده‌ها با دقت بالایی صورت پذیرفت. در این بخش، داده‌ها با آزمون نمودارهای کنترل متغیرها^۳ تحت دو الگوریتم نمودار مجزا^۴ و میانگین متحرک^۵ و با لحاظ نقش کنترلی^۶ +۳ و -۳ به ترتیب به عنوان خط کنترل بالا و پایین، کنترل کیفی شدند؛ سپس برای تعیین درجه قابل بازسازی شدن داده‌های گمشده ایستگاه‌های مشاهداتی، آزمون کنترل کیفی تعداد داده‌های گمشده ایستگاه‌های یادشده به روش نمودار مجزا^۷ و با لحاظ کردن نقش کنترلی^۳ +۳ و -۳ به ترتیب به عنوان خط کنترل بالا و پایین انجام شد. پس از طی این مراحل، تعداد ۴۴ ایستگاه سینوپتیک تأییدشده به عنوان ایستگاه‌های مشاهداتی نهایی تعیین گردید. به منظور بازسازی داده‌های گمشده، پنج عامل طبقه ارتفاعی، فاصله مکانی، همبستگی داده‌ها (همبستگی پیرسون)، تقریب داده‌ها (ماتریس عدم شباهت فاصله جیبش)^۸ و کثرت داده‌های واقعی، برای تعریف شباهت ایستگاه‌ها معرفی شد. با توجه به پنج اصل یادشده، ایستگاه‌های برآوردکننده و برآوردشونده به منظور بازسازی مشخص شدند. در این مرحله، با استفاده از عملگر تحلیل داده‌های گمشده^۹، از روش برآورد واپازی، داده‌های گمشده تمامی ایستگاه‌ها بازسازی شدند (جدول ۱).

به منظور تعیین معنی‌داری و نوع روند سری‌های زمانی روزانه از آزمون من کندال استفاده شد. در مورد تعیین زمان تغییر و تحول نیز، از آزمون پتیت^{۱۰} مورد استفاده قرار گرفت. این روش، زمان وقوع تغییر معنی‌دار در میانگین سری‌های زمانی را مشخص می‌کند. در گام بعدی، به منظور بررسی میزان اعتبار مدل و تعیین خطا، دو نوع ارزیابی نقطه‌ای و رستری مورد استفاده قرار گرفت. در ارزیابی نقطه‌ای (ایستگاهی) و رستری (سلول‌های با ابعاد ۰/۴۴ درجه) میزان همبستگی پیرسون و مقدار مجذور مربعات خطای استاندارد^{۱۱} بین داده‌های مشاهداتی و شبکه‌ای در مورد متغیرهای درجه-روز سرمایشی و گرمایشی مطالعه شد. با توجه به اینکه ایستگاه‌های مشاهداتی در مناطق کوهستانی تراکم و توزیع نامناسبی داشتند و در مقابل، داده‌های شبکه کوردکس پوشش کاملی به لحاظ ارتفاعی دارا بودند؛ لذا بر اساس لایه رقومی خطای واقعی درجه-روز سرمایشی و گرمایشی لایه رقومی داده شبکه‌ای متغیرهای یادشده اصلاح می‌گردد. اثبات این ادعا که توزیع ایستگاه‌های انتخابی برحسب موقعیت توپوگرافی چه وضعیتی دارد، با استفاده از شاخص خودهمبستگی موران^{۱۱} تعیین گردید. شاخص موران بیانگر توزیع پخش^{۱۲}، توزیع اتفاقی^{۱۳} و توزیع مرتب^{۱۴} معنی‌دار^{۱۵} است.

- 1- Multi-Distance Spatial Cluster Analysis
- 2- Ripley's K Function
- 3- Variables Control Charts
- 4- Individual (X)
- 5- Moving Range (MR)
- 6- Role Violation
- 7- Chebychev Distance Dissimilarity Matrix
- 8- Missing Value Analysis
- 9- Pettitt test
- 10- Root Mean Square Error (RMSE)
- 11- Spatial Autocorrelation (Morans I)
- 12- Dispersed
- 13- Random
- 14- Clustered
- 15- Significant

جدول ۱. متوسط کنترل کیفی داده‌های دمای حداقل و حداکثر روزانه ایستگاه‌های مشاهداتی کشور

ایستگاه	تعداد خارج از محدوده کنترل کیفی				درصد خارج از محدوده کنترل کیفی				داده گمشده		
	دمای حداکثر		دمای حداقل		دمای حداکثر		دمای حداقل		دمای حداقل		
	میانگین متحرک	نمودار مجزا	میانگین متحرک	نمودار مجزا	میانگین متحرک	نمودار مجزا	میانگین متحرک	نمودار مجزا	تعداد	درصد	
پیش از اصلاح	۳۴۲	۷۸۲۳	۲۹۷	۶۶۷۴	۳	۷۱	۳	۶۱	۲۶۵	۲	۲۶۵
پس از اصلاح	۱۰	۳۵۴	۷	۲۹۵	۰/۱	۳	۰/۲	۳	۰	۰	۰

نتایج بیانگر این موضوع بودند که داده‌های مشاهداتی، به لحاظ ارتفاع توزیعی اتفاقی دارند. پس از بررسی همبستگی و درصد قابلیت مدل‌سازی وایازی بین داده‌های درجه-روز سرمایشی و گرمایشی با ارتفاع، با استفاده از روش کوکریجینگ و لحاظ کردن لایه ارتفاعی، این نقیصه تعدیل گردید. در قدم پایانی، نتیجه اصلاح شده با بهترین مدل زمین‌آماری که با یکی از زیرمجموعه‌های روش معادله شعاعی پایه^۱ الگوریتم مارپیچ تحت فشار^۲ (به خاطر پایین بودن مقدار مجذور مربعات خطای استاندارد) طراحی گردید، مقایسه شد (جدول ۲).

در نهایت، در راستای تعدیل خطای مدل‌ها از عملیات پس‌پردازش استفاده شد. به طور کلی مکانیسم عمل مدل منطقه‌ای با استفاده از روش عامل تغییر^۳ به این صورت است که تفاوت یا نسبت ماهانه شبیه‌سازی‌های مدل منطقه‌ای در آینده با دوره گذشته برای درجه-روز سرمایشی و گرمایشی محاسبه می‌شود و به داده‌های دوره گذشته ایستگاه‌های مشاهداتی اضافه می‌شود. در نهایت، این مقدار پس‌پردازش در مدل‌های یادشده اعمال شد (رابطه ۳).

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{RCM}^{fut} - F_{RCM}^{base}) \quad \text{رابطه ۳}$$

نتایج

نتایج بررسی درجه-روز سرمایشی بیانگر این است که در مجموع در ۶۵/۹٪ از ایستگاه‌های مشاهداتی روند افزایشی معنی‌دار (در سطح ۰/۹۵)، در ۲۹/۶٪ شرایط، بدون روند معنی‌دار و ۴/۶٪ نیز روند کاهشی دیده می‌شود. شروع این تغییرات نیز در کشور با توجه به مطالعات آزمون همسانی تحت آزمون پتیت در سال ۱۹۹۶ مشاهده می‌شود. بر این اساس، نقاط مرتفع شمال غرب کشور، توده البرز و زاگرس، ارتفاعات اطراف کرمان و سایر کوهستان‌های محلی دارای کمترین مقادیر درجه-روز سرمایشی هستند و در مقابل، مناطق پست در عرض‌های پایین و نقاط مرکزی ایران، بیشینه این موضوع را دارند. حداقل درجه-روز سرمایشی ۳۹ و حداکثر نیز ۲۹۴۳، متوسط این کمیت نیز ۱۰۶۶ با انحراف معیار ۶۷۳ درجه-روز است. در مورد درجه-روز گرمایشی در مجموع در ۵۶/۸٪ از ایستگاه‌های مشاهداتی، روند کاهشی و در ۴۳/۲٪ شرایط بدون روند معنی‌دار دیده می‌شود.

جدول ۲. سنجش ارتباط بین پارامتر ارتفاع و درجه-روزهای سرمایشی و گرمایشی

آزمون	درجه-روز سرمایشی	درجه-روز گرمایشی
همبستگی پیرسون	۰/۴۵۷**	۰/۴۳۴**
درصد افزایش دقت	۱۶	۱۵
مقدار مجذور مربعات خطای استاندارد روش کوکریجینگ	۳۸۵/۴۸	۳۹۵/۹۱
مقدار مجذور مربعات خطای استاندارد روش مارپیچ تحت فشار	۴۵۸/۱۷	۴۶۶/۱۰

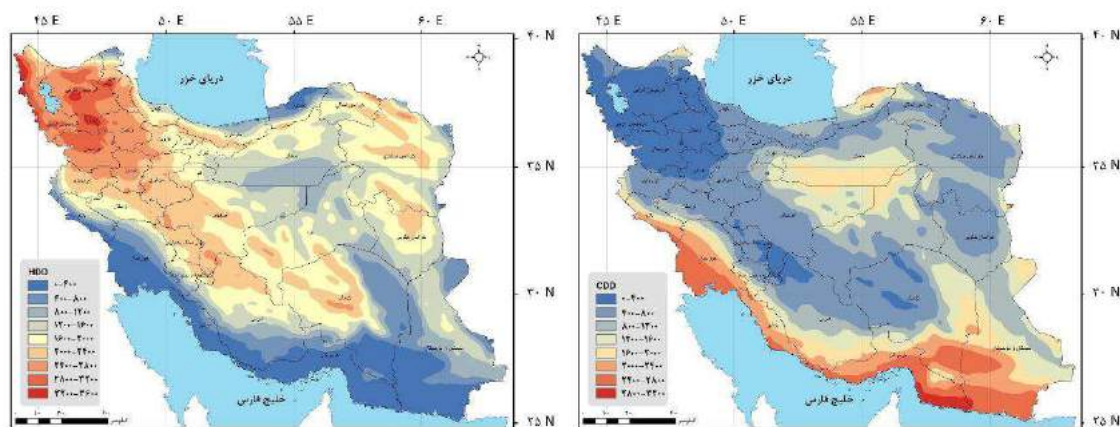
** معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

- 1- Radial Basis Functions (RBF)
- 2- Spline with Tension
- 3- Change Factor

به صورت متوسط نیز روند کاهشی با مقدار شیب سنز $7/5\%$ در کل کشور محاسبه شده است. شروع این تغییرات نیز در کشور با توجه به مطالعات آزمون همسانی تحت آزمون پتیت در سال ۱۹۹۷ مشاهده می‌شود. بر این اساس، نقاط مرتفع شمال غرب کشور، توده البرز و زاگرس، ارتفاعات اطراف کرمان و سایر کوهستان‌های محلی، دارای بیشترین مقادیر درجه-روز گرمایشی هستند و در مقابل، مناطق پست در عرض‌های پایین و نقاط مرکزی ایران کمینه این موضوع را دارند. حداقل درجه-روز گرمایشی ۱۰ و حداکثر نیز ۳۵۶۵، متوسط این کمیت نیز ۱۵۱۳ با انحراف معیار ۷۷۴ درجه-روز است (شکل ۱).

در مرحله بعد، ارزیابی نقطه‌ای (تمامی ایستگاه‌ها به صورت روزانه) و رستری (لایه رقومی حاصل از متوسط دوره ۲۰۰۵-۱۹۷۶ مربوط به ۴۴ ایستگاه مشاهداتی در مقابل لایه رقومی حاصل از داده‌های مدل دینامیکی در همان دوره با آنالیز پیکسلی) انجام پذیرفت که نتایج بیانگر شباهت بسیار بالای مطالعات رستری و متوسط نقطه‌ای است (جدول ۳).

در مورد درجه-روز سرمایشی، در مجموع خط سیر خوش‌بینانه در مقایسه با شرایط کنونی (دوره گذشته: ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵) به نسبت خط سیر بدبینانه تفاوت و تغییرات کمتری نشان می‌دهد. افزون بر این، بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰ نیز در مقایسه با شرایط کنونی به نسبت دوره ۲۰۴۰ تا ۲۰۵۰ اختلاف کمتری را برای پهنه کشور نمایش می‌دهد. در بین سه مدل یادشده در شرایط کنونی، مدل جی.اف.دی.ال در هر دو سناریو و بازه زمانی به نسبت سایر مدل‌ها تغییرات نسبی کمتری را پیش‌بینی می‌نماید.



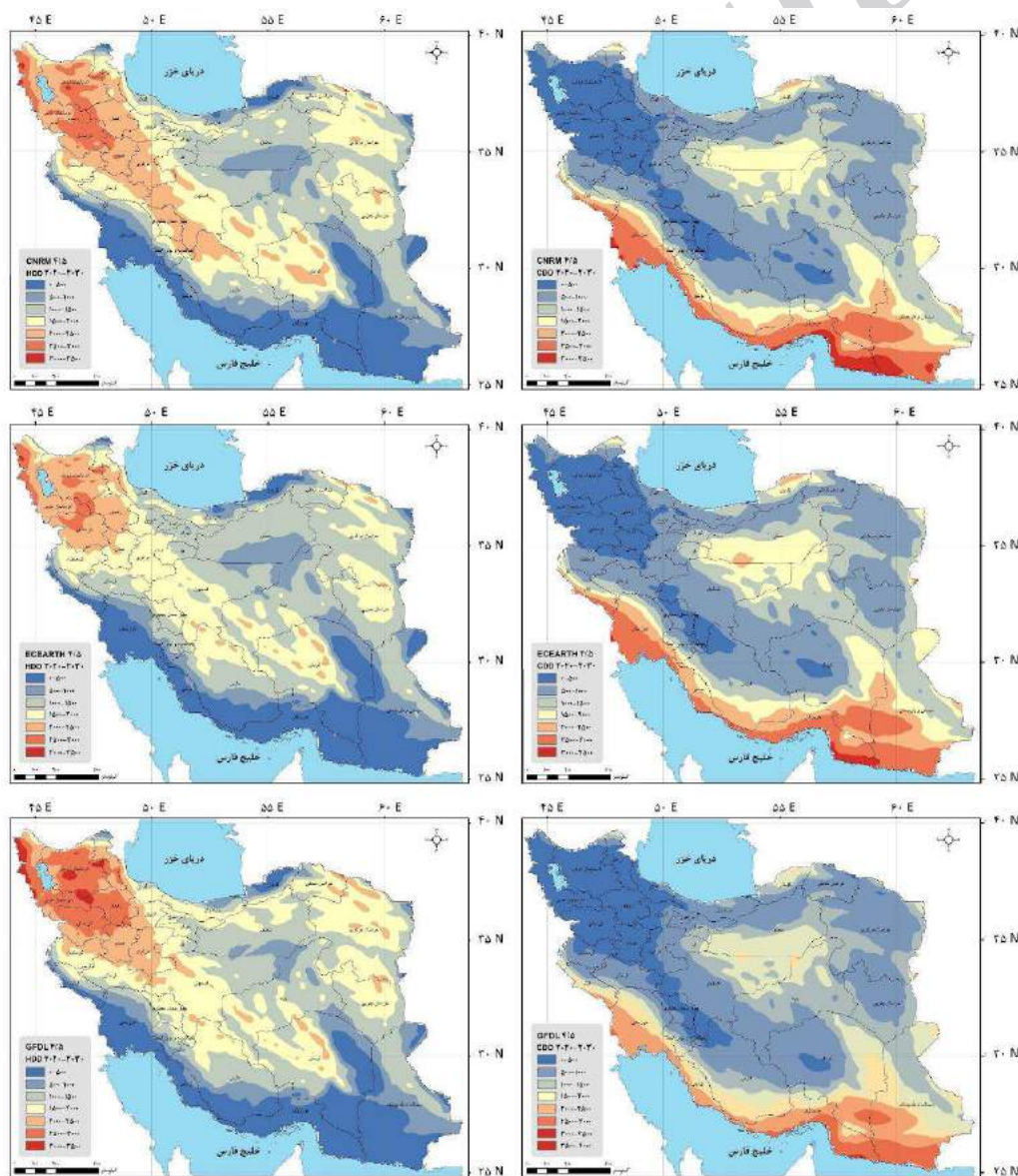
شکل ۱. (سمت راست) متوسط درجه-روز سرمایشی و (سمت چپ) گرمایشی بر اساس داده‌های مشاهداتی (۱۹۷۶-۲۰۰۵)

جدول ۳. مقایسه مطالعات داده‌های مشاهداتی و مدل دینامیکی

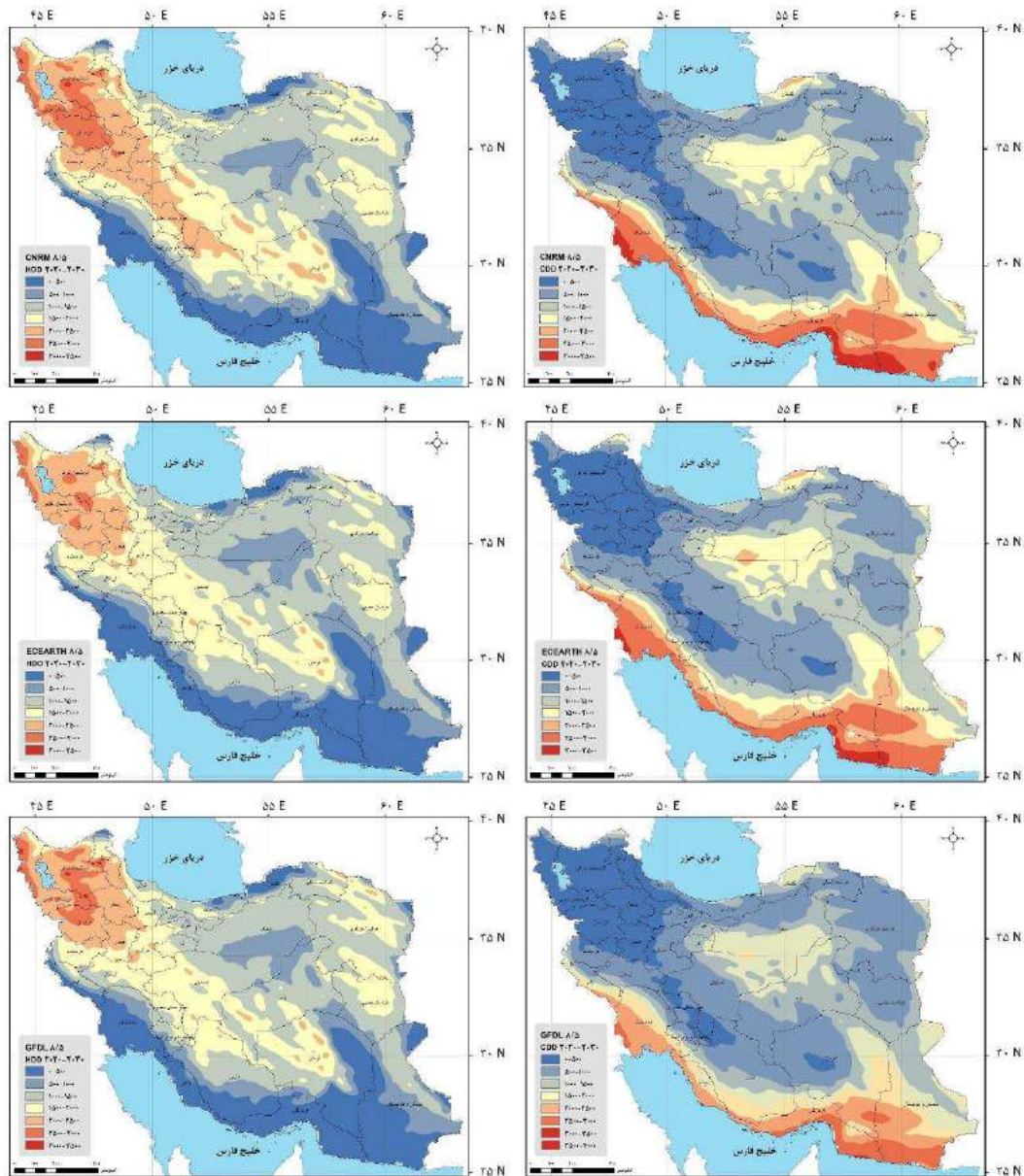
مقدار مجذور مربعات خطای استاندارد	همبستگی		آرایه	نوع مطالعه
	درجه-روز گرمایشی ایستگاهی	درجه-روز سرمایشی ایستگاهی		
—	۲/۶۲	—	۰/۶۹**	درجه-روز سرمایشی مدل منطقه‌ای
۵/۲۹	—	۰/۷۶**	—	درجه-روز گرمایشی مدل منطقه‌ای
—	۳/۵۷	—	۰/۸۵۱**	درجه-روز سرمایشی مدل منطقه‌ای
۶/۴۲	—	۰/۸۶۲**	—	درجه-روز گرمایشی مدل منطقه‌ای

** معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

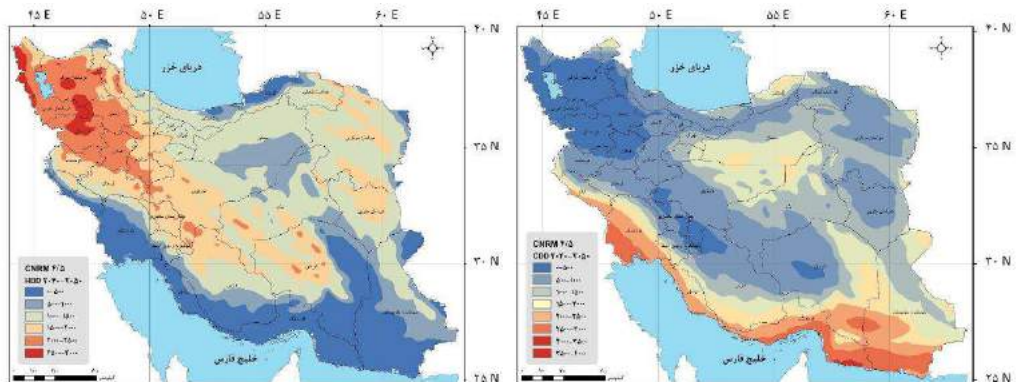
در مرحله بعد، مدل سی.ان.آر.ام شرایطی میانه و مدل ای.سی.اِرت نیز بیشترین اختلاف را برای گستره کشور به تصویر کشیده است. به طور کلی نیز با گرایش به سمت سناریو بدبینانه و گرایش به بازه زمانی ۲۰۴۰ تا ۲۰۵۰، سوای ماهیت و نوع مدل تغییر اقلیم، افزایش نیاز سرمایه‌ی برای کشور قابل پیش‌بینی خواهد بود. در باب درجه-روز گرمایشی نیز در مجموع، خط سیر خوش‌بینانه در مقایسه با شرایط کنونی (دوره گذشته: ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵) به نسبت خط سیر بدبینانه تفاوت و تغییرات کمتری نشان می‌دهد. به‌علاوه، بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰ نیز در مقایسه با شرایط کنونی به نسبت دوره ۲۰۴۰ تا ۲۰۵۰ اختلاف کمتری را برای کشور نمایش می‌دهد. در میان سه مدل یادشده، در شرایط کنونی، مدل ای.سی.اِرت به صورت متوسط به نسبت سایر مدل‌ها تغییرات نسبی کمتری را پیش‌بینی می‌نماید. در مرحله بعد، مدل سی.ان.آر.ام شرایطی میانه و مدل جی.اِف.دی.ال نیز بیشترین اختلاف را برای کشور به تصویر کشیده است. به طور کلی، نتایج این بازه و این خط سیر به شکل محسوسی افراطی‌تر از نتایج پیشین مشاهده می‌شود (شکل ۲ تا ۵).



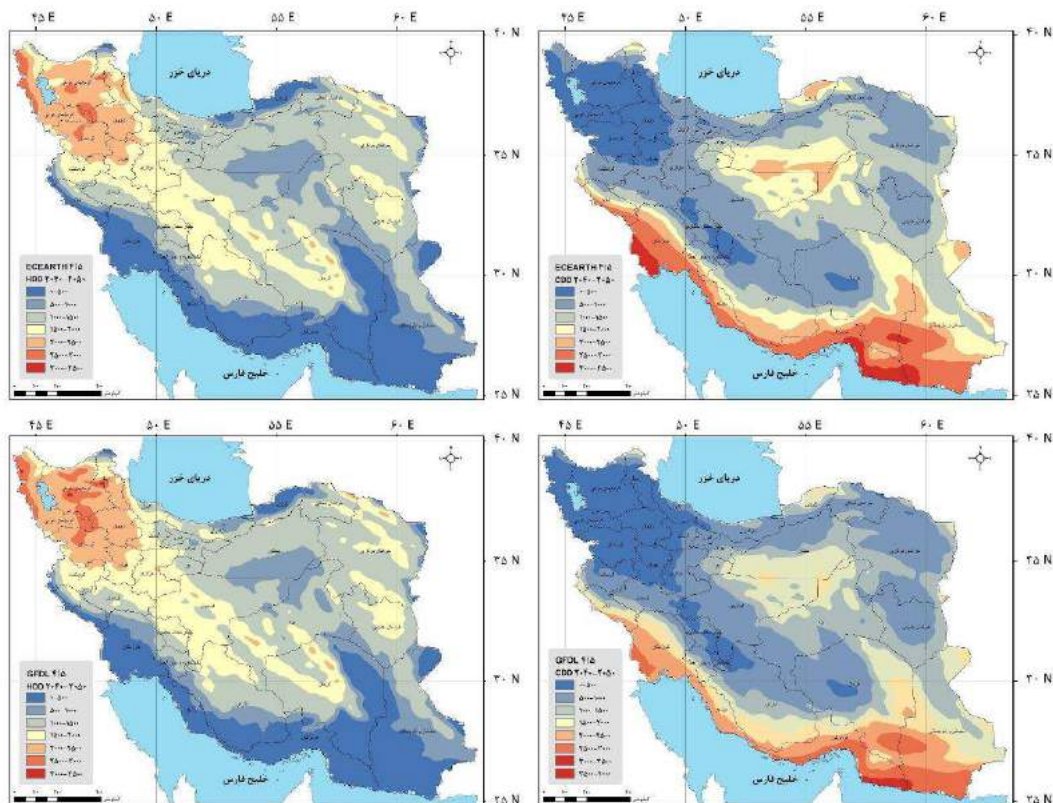
شکل ۲. نیاز سرمایه‌ی (سمت راست) و گرمایشی (سمت چپ) کشور تحت خط سیر خوش‌بینانه در افق ۲۰۲۰-۲۰۳۰ میلادی به ترتیب از بالا به پایین بر اساس مدل‌های سی.ان.آر.ام، ای.سی.اِرت و جی.اِف.دی.ال



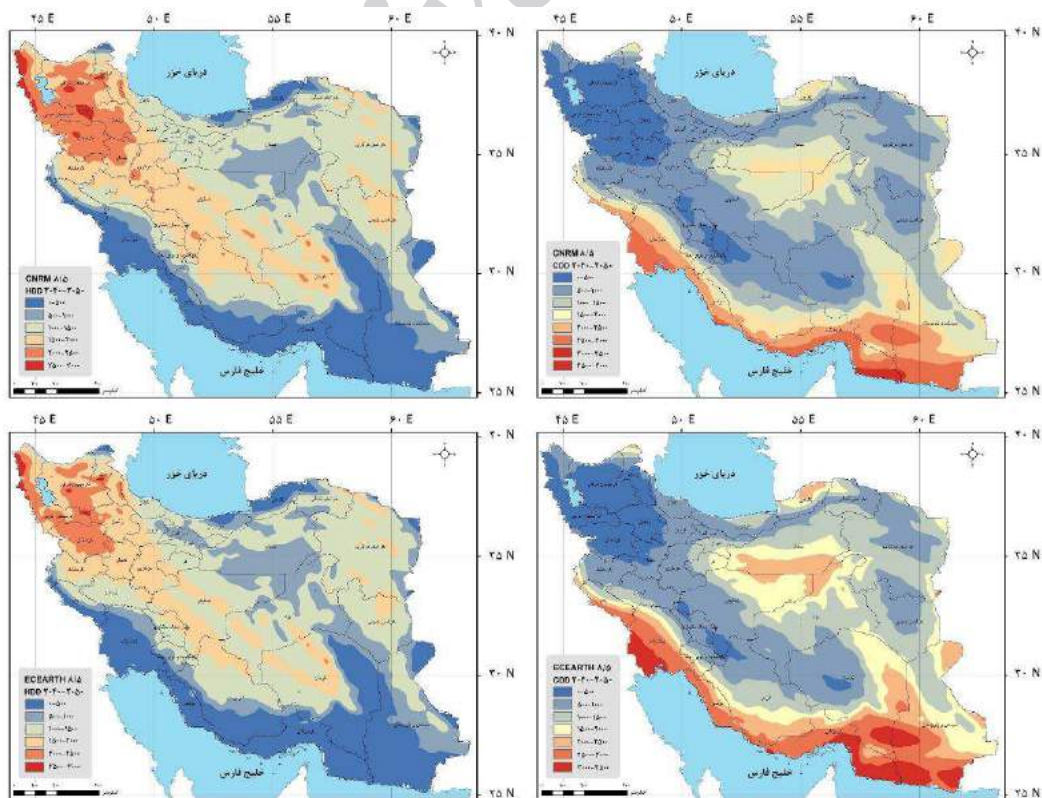
شکل ۳. نیاز سرمایشی (سمت راست) و گرمایشی (سمت چپ) کشور تحت خط سیر بدبینانه در افق ۲۰۲۰-۲۰۳۰ میلادی به ترتیب از بالا به پایین بر اساس مدل‌های سی.ان.آر.ام، ای.سی.آر.ث و جی.اف.دی.ال



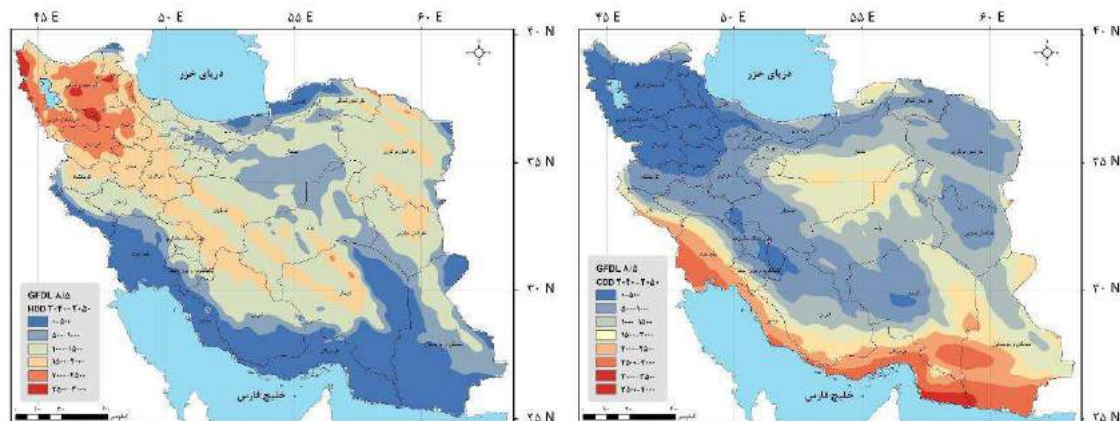
شکل ۴. نیاز سرمایشی (سمت راست) و گرمایشی (سمت چپ) کشور تحت خط سیر خوش‌بینانه در افق ۲۰۴۰-۲۰۵۰ میلادی به ترتیب از بالا به پایین بر اساس مدل‌های سی.ان.آر.ام، ای.سی.آر.ث و جی.اف.دی.ال



شکل ۴. نیاز سرمایشی (سمت راست) و گرمایشی (سمت چپ) کشور تحت خط سیر خوش بینانه در افق ۲۰۴۰-۲۰۵۰ میلادی به ترتیب از بالا به پایین بر اساس مدل های سی.ان.آر.ام، ای.سی.آر.ث و جی.اف.دی.ال



شکل ۵. نیاز سرمایشی (سمت راست) و گرمایشی (سمت چپ) کشور تحت سیر بدبینانه در افق ۲۰۴۰-۲۰۵۰ میلادی به ترتیب از بالا به پایین بر اساس مدل های سی.ان.آر.ام، ای.سی.آر.ث و جی.اف.دی.ال



ادامه شکل ۵. نیاز سرمایشی (سمت راست) و گرمایشی (سمت چپ) کشور تحت خط سیر بدبینانه در افق ۲۰۴۰-۲۰۵۰ میلادی به ترتیب از بالا به پایین بر اساس مدل‌های سی.ان.آر.ام، ای.سی.ارث و جی.اف.دی.ال

با لحاظ آستانه درجه-روز سرمایشی ۱۰۶۶، در شرایط کنونی ۶۴٪ از پهنه کشور بالاتر از سطح متوسط قرار دارند. خروجی مدل ای.سی.ارث در این خصوص، در بازه ۲۰۴۰ تا ۲۰۵۰ و تحت خط سیر خوش‌بینانه و بدبینانه افزایش بیشتری را نسبت به سایر مدل‌ها به نمایش می‌گذارد. همچنین، خروجی مدل سی.ان.آر.ام تحت خط سیر بدبینانه میزان ۷۱٪ از مساحت کشور را بالاتر از متوسط آستانه پیش‌بینی می‌نماید. برنوداد مدل جی.اف.دی.ال نیز در بهترین حالت در بازه ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰ و تحت خط سیر خوش‌بینانه میزان ۶۶٪ از مساحت کشور را بالاتر از متوسط آستانه پیش‌بینی می‌نماید. در مجموع، در حالت افراطی در افق ۲۰۴۰ تا ۲۰۵۰ حدود ۷٪ از مساحت کشور (در حدود ۲۲ هزار کیلومتر مربع) از خط متوسط خواهد گذشت. با لحاظ آستانه درجه-روز گرمایشی ۱۵۱۳، در شرایط کنونی ۴۲٪ از پهنه کشور بالاتر از سطح متوسط قرار دارد. مدل جی.اف.دی.ال در حالت فرین در بازه ۲۰۴۰ تا ۲۰۵۰ و تحت خط سیر بدبینانه میزان ۵۵٪ از مساحت کشور را بالاتر از متوسط آستانه پیش‌بینی می‌نماید. مدل ای.سی.ارث نیز در حالت کمینه در بازه ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰ و تحت خط سیر خوش‌بینانه میزان ۴۴٪ از مساحت کشور را بالاتر از متوسط آستانه پیش‌بینی می‌نماید. در مجموع، در حالت افراطی افق ۲۰۴۰ تا ۲۰۵۰ حدود ۱۳٪ از مساحت کشور (در حدود ۲۹۷ هزار کیلومتر مربع) از خط متوسط خواهد گذشت. این مطلب، بیانگر آن است که پویایی کاهش نیاز گرمایشی بیش از افزایش نیاز سرمایشی خواهد بود. در مجموع، عمده تغییرات در مورد وضعیت دمایی کشور، در فصول سرد رخ خواهد داد (جدول ۴).

تحلیل نتایج در قالب تقسیمات کشوری نشان می‌دهد که بیشترین نیاز سرمایشی با توجه به داده‌های دوره گذشته در استان‌های هرمزگان، بوشهر و خوزستان و کمترین نیاز نیز در استان‌های زنجان، آذربایجان شرقی و

جدول ۴. درصد مساحت بیش از آستانه تعیین‌شده برای متوسط درجه-روزهای سرمایشی و گرمایشی

مدل	درجه-روز سرمایشی					درجه-روز گرمایشی				
	خط سیر انتشار					خط سیر انتشار				
	گذشته	۴/۵	۸/۵	۴/۵	۸/۵	گذشته	۴/۵	۸/۵	۴/۵	۸/۵
سی.ان.آر.ام		۶۹	۶۹	۷۰	۷۱		۴۸	۴۸	۵۱	۵۲
ای.سی.ارث		۷۰	۷۰	۷۱	۷۱		۴۴	۴۸	۴۹	۵۴
جی.اف.دی.ال		۶۶	۶۷	۶۸	۶۹		۴۹	۴۹	۵۰	۵۵
گذشته	۶۴					۴۲				
	گذشته	۲۰۳۰	۲۰۳۰	۲۰۵۰	۲۰۵۰	گذشته	۲۰۳۰	۲۰۳۰	۲۰۵۰	۲۰۵۰
		زمان								

کردستان مشاهده می‌گردد؛ اما با توجه به مدل‌ها، بازه‌ها و خط سیرهای اثرگذار در مسئله تغییر اقلیم، به صورت متوسط بیشترین تغییرات نیاز درجه-روزهای سرمایشی در استان‌های هرمزگان، بوشهر و سیستان و بلوچستان و کمترین تغییرات نیز در استان‌های البرز، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی قابل انتظار است (جدول ۵).

بیشترین نیاز گرمایشی با توجه به داده‌های دوره گذشته در استان‌های آذربایجان غربی، کردستان و آذربایجان شرقی و کمترین نیاز نیز در استان‌های هرمزگان، بوشهر و خوزستان دیده می‌شود. به صورت متوسط نیز بیشینه تغییرات نیاز گرمایشی که همگی در راستای کاهش هستند، در استان‌های البرز، مازندران و قزوین و کمینه تغییرات نیز در استان‌های بوشهر، هرمزگان و خوزستان قابل انتظار خواهد بود (جدول ۶).

جدول ۵. نتایج استانی متوسط درجه-روزهای سرمایشی تحت شرایط تغییر اقلیم

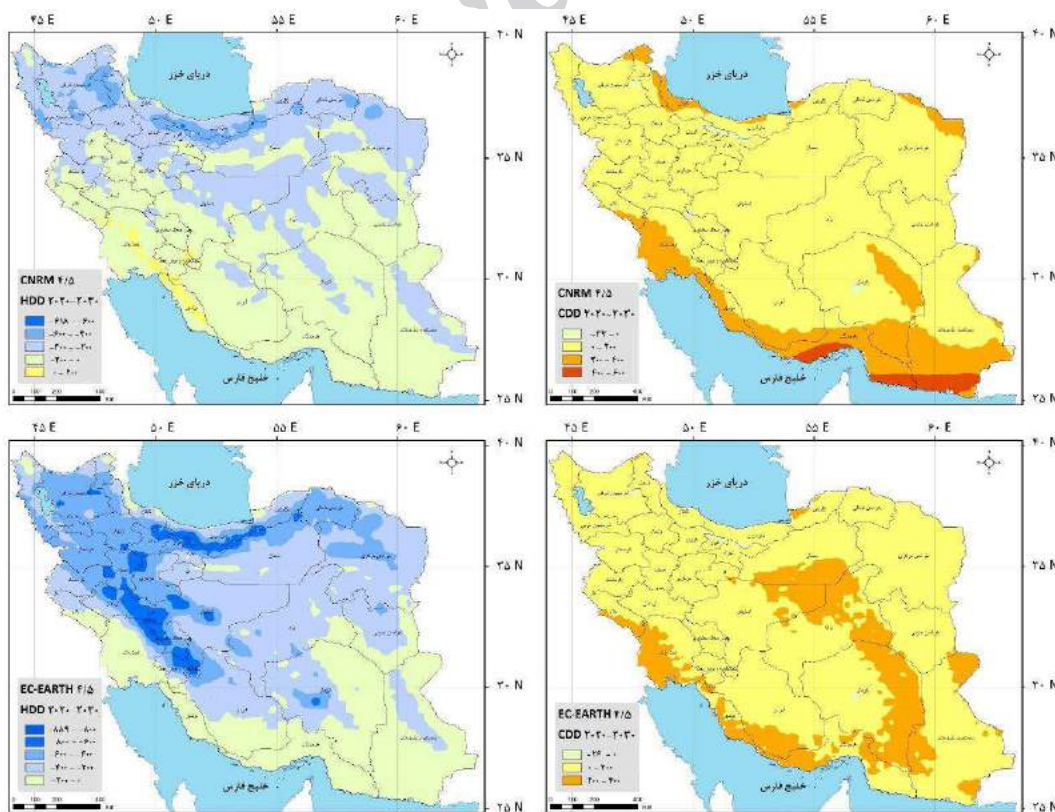
متوسط تغییرات	۲۰۵۰-۲۰۴۰						۲۰۳۰-۲۰۲۰						دوره گذشته	استان
	خط سیر بدبینانه			خط سیر خوش بینانه			خط سیر بدبینانه			خط سیر خوش بینانه				
	سی.ان.آرام	ای.سی.آرت	بی.ا.دی.آل	سی.ان.آرام	ای.سی.آرت	بی.ا.دی.آل	سی.ان.آرام	ای.سی.آرت	بی.ا.دی.آل	سی.ان.آرام	ای.سی.آرت	بی.ا.دی.آل		
۹۹	۴۹۸	۶۳۲	۷۱۱	۴۷۶	۵۵۰	۶۷۱	۴۵۹	۶۱۴	۶۳۵	۴۴۱	۵۹۴	۶۳۹	۴۷۷	اردبیل
۱۹۳	۱۱۹۰	۱۲۳۴	۱۱۷۱	۱۰۸۵	۱۰۶۵	۱۱۲۰	۱۱۱۳	۱۱۴۱	۱۰۱۸	۱۰۷۰	۱۰۶۱	۹۹۲	۹۱۲	اصفهان
۳۷	۶۸۳	۷۳۱	۶۹۸	۶۵۹	۶۷۸	۶۸۷	۶۵۴	۷۱۱	۶۵۴	۶۴۶	۶۸۴	۶۵۶	۶۴۲	البرز
۲۰۷	۱۸۷۲	۱۹۴۹	۱۹۱۱	۱۷۲۲	۱۸۲۱	۱۸۸۶	۱۷۴۷	۱۸۶۸	۱۷۸۴	۱۶۶۸	۱۷۸۷	۱۷۵۸	۱۶۰۷	ایلام
۴۶	۲۸۸	۳۶۲	۳۶۲	۲۶۵	۳۱۸	۳۴۱	۲۵۲	۳۴۷	۳۱۹	۲۴۸	۳۲۲	۳۳۰	۲۶۷	آذربایجان شرقی
۵۵	۳۲۱	۴۱۳	۴۰۰	۳۷۶	۳۷۲	۳۸۳	۲۶۵	۳۹۱	۳۴۴	۲۵۳	۳۵۸	۳۵۷	۲۸۹	آذربایجان غربی
۳۴۲	۲۶۳۲	۲۵۶۷	۲۵۹۹	۲۴۵۴	۲۳۷۳	۲۵۲۲	۲۴۹۷	۲۴۵۹	۲۴۲۰	۲۴۴۴	۲۳۳۴	۲۳۸۳	۲۱۳۱	بوشهر
۹۳	۱۰۴۴	۱۱۵۰	۱۰۸۳	۹۸۷	۱۰۲۹	۱۰۵۸	۹۸۰	۱۱۰۱	۹۸۳	۹۶۷	۱۰۴۰	۹۸۴	۹۴۱	تهران
۶۳	۵۶۲	۵۸۰	۵۳۲	۵۰۹	۵۰۲	۵۲۵	۵۱۴	۵۳۴	۴۷۷	۴۸۵	۵۰۰	۴۷۹	۴۵۴	چهارمحال بختیاری
۲۰۱	۱۰۶۳	۱۱۲۷	۱۰۸۰	۹۲۵	۹۵۱	۱۰۱۰	۹۷۵	۱۰۴۴	۸۹۰	۹۴۹	۹۳۶	۸۷۶	۷۸۴	خراسان جنوبی
۱۱۶	۹۷۲	۱۰۵۷	۱۰۲۹	۸۹۱	۹۲۲	۹۸۱	۸۸۲	۱۰۱۳	۹۰۸	۸۷۹	۹۴۸	۹۱۰	۸۳۳	خراسان شمالی
۱۷۹	۱۰۵۱	۱۱۱۶	۱۱۱۵	۹۲۵	۹۶۶	۱۰۳۸	۹۵۴	۱۰۴۷	۹۴۶	۹۴۰	۹۵۵	۹۳۳	۸۲۰	خراسان مرکزی
۲۷۲	۲۴۱۳	۲۴۲۵	۲۴۲۵	۲۳۳۷	۲۳۶۹	۲۳۸۷	۲۳۷۳	۲۳۳۹	۲۳۸۲	۲۱۹۵	۲۲۲۹	۲۲۵۱	۲۰۲۸	خوزستان
۶۹	۲۸۰	۳۶۲	۳۶۷	۲۴۶	۲۹۲	۳۴۶	۲۲۹	۳۳۶	۳۰۴	۲۲۴	۳۱۲	۳۱۵	۲۳۲	زنجان
۱۸۶	۱۴۷۱	۱۵۹۸	۱۵۴۶	۱۳۶۶	۱۴۲۳	۱۴۸۱	۱۳۸۵	۱۵۲۲	۱۳۶۴	۱۳۶۲	۱۴۲۹	۱۳۴۷	۱۲۵۵	سمنان
۳۴۰	۲۳۶۴	۲۱۸۲	۲۳۳۴	۳۱۰۴	۱۹۶۵	۲۱۲۷	۲۲۱۰	۲۰۷۱	۲۰۰۰	۲۱۳۹	۱۹۴۰	۱۹۸۹	۱۷۶۳	سیستان و بلوچستان
۲۲۱	۱۴۱۰	۱۳۹۷	۱۳۶۲	۱۲۹۴	۱۲۳۷	۱۳۰۷	۱۳۳۱	۱۳۰۱	۱۲۱۶	۱۲۸۹	۱۲۲۰	۱۱۹۳	۱۰۷۶	فارس
۷۰	۴۹۶	۵۹۳	۵۶۲	۴۵۲	۴۹۸	۵۴۰	۴۳۵	۵۶۰	۴۸۵	۴۲۸	۵۱۸	۴۸۸	۴۳۵	قزوین
۲۰۴	۱۲۵۸	۱۳۶۱	۱۲۸۷	۱۱۳۵	۱۱۷۲	۱۲۳۳	۱۱۵۳	۱۲۷۶	۱۱۱۱	۱۱۰۲	۱۱۶۷	۱۰۹۲	۹۹۲	قم
۵۶	۳۳۱	۴۰۵	۳۷۹	۲۸۷	۳۵۵	۳۷۴	۲۸۱	۳۷۸	۳۳۶	۲۶۶	۳۴۹	۳۳۵	۲۸۳	کردستان
۲۶۸	۱۵۱۴	۱۴۹۰	۱۴۷۶	۱۳۶۸	۱۳۰۱	۱۳۹۶	۱۴۵۰	۱۳۸۳	۱۲۷۷	۱۳۹۸	۱۲۷۸	۱۲۵۶	۱۱۱۴	کرمان
۹۶	۷۳۸	۸۴۴	۷۹۳	۶۵۹	۷۵۹	۷۸۹	۶۶۰	۷۸۷	۷۱۹	۶۲۱	۷۴۵	۷۱۱	۶۴۰	کرمانشاه
۱۴۳	۱۱۱۴	۱۱۶۷	۱۱۰۳	۱۰۲۸	۱۰۳۹	۱۰۷۸	۱۰۳۸	۱۰۹۸	۱۰۰۱	۹۹۲	۱۰۲۸	۹۹۵	۹۱۳	کهگیلویه و بویر احمد
۱۴۵	۱۳۷۶	۱۵۳۵	۱۵۴۸	۱۳۰۰	۱۳۸۷	۱۴۸۷	۱۲۹۴	۱۵۰۵	۱۴۰۷	۱۲۷۵	۱۴۳۶	۱۳۹۴	۱۲۶۷	گلستان
۱۳۴	۴۸۰	۶۱۷	۷۵۳	۴۳۴	۵۲۶	۶۹۶	۴۲۱	۶۰۳	۶۴۸	۴۰۰	۵۷۰	۶۴۸	۴۳۳	گیلان
۹۸	۸۲۲	۹۰۲	۸۴۷	۷۵۰	۸۰۷	۸۳۵	۷۵۴	۸۴۸	۷۶۶	۷۱۱	۷۹۹	۷۶۶	۷۰۳	لرستان
۹۴	۸۰۰	۸۹۵	۹۲۴	۷۵۸	۸۰۲	۸۹۱	۷۴۳	۸۶۹	۸۴۶	۷۳۸	۸۳۷	۸۴۲	۷۳۵	مازندران
۱۱۴	۶۸۶	۷۷۹	۷۰۳	۶۱۰	۶۴۰	۶۷۹	۶۰۲	۷۱۵	۵۹۳	۵۶۷	۶۴۴	۵۹۰	۵۳۷	مرکزی
۴۱۳	۲۹۱۵	۲۷۶۸	۲۸۷۸	۲۷۴۶	۲۵۶۱	۲۷۸۶	۲۸۳۶	۲۶۴۴	۲۶۶۷	۲۷۵۹	۲۵۰۵	۲۶۵۱	۲۳۱۳	هرمزگان
۶۸	۴۳۲	۵۲۲	۴۵۹	۳۷۸	۴۳۳	۴۵۲	۳۶۵	۴۷۵	۳۸۹	۳۴۵	۴۳۴	۳۹۵	۳۵۶	همدان
۲۴۱	۱۳۲۷	۱۳۴۴	۱۲۸۸	۱۱۹۰	۱۱۵۴	۱۲۱۷	۱۲۴۸	۱۲۴۳	۱۰۹۹	۱۲۱۱	۱۱۴۷	۱۰۶۷	۹۷۰	یزد

جدول ۶. نتایج استانی متوسط درجه-روزهای گرمایشی تحت شرایط تغییر اقلیم

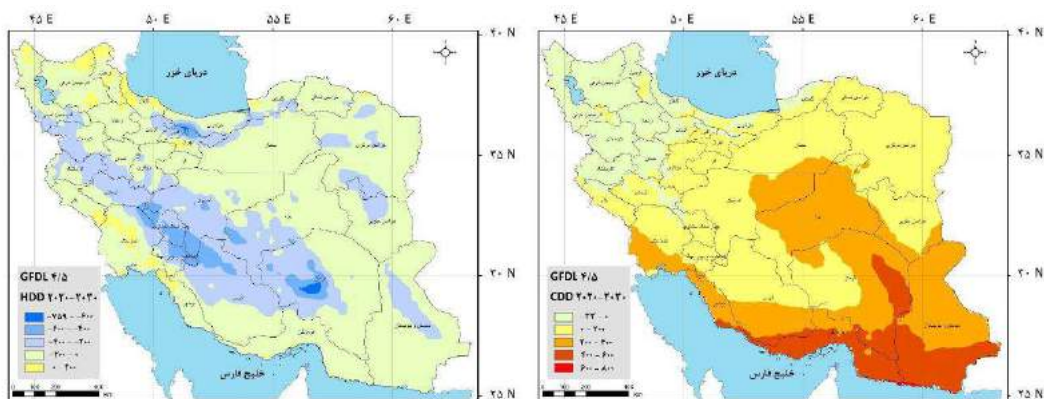
متوسط تغییرات	۲۰۵-۲۰۴۰						۲۰۳۰-۲۰۲۰						دوره گذشته	استان
	خط سیر بدبینانه			خط سیر خوش بینانه			خط سیر بدبینانه			خط سیر خوش بینانه				
	بی‌اف‌دی‌آل	آی‌سی‌آرت	سی‌ان‌آرام	بی‌اف‌دی‌آل	آی‌سی‌آرت	سی‌ان‌آرام	بی‌اف‌دی‌آل	آی‌سی‌آرت	سی‌ان‌آرام	بی‌اف‌دی‌آل	آی‌سی‌آرت	سی‌ان‌آرام		
-۴۱۷	۱۶۷۰	۱۵۷۶	۱۵۹۸	۱۸۸۲	۱۷۲۸	۱۶۶۲	۱۸۷۷	۱۷۱۵	۱۷۳۹	۲۱۶۳	۱۸۰۳	۱۸۲۱	۲۱۸۷	اردبیل
-۳۵۶	۱۳۴۶	۱۲۲۴	۱۴۵۷	۱۴۷۶	۱۴۲۶	۱۵۰۹	۱۵۰۳	۱۴۸۴	۱۶۳۵	۱۶۱۷	۱۴۷۳	۱۶۵۲	۱۸۴۹	اصفهان
-۶۱۸	۱۰۵۷	۹۷۰	۱۲۵۶	۱۲۹۵	۱۱۴۱	۱۳۰۷	۱۳۲۷	۱۲۴۰	۱۵۳۸	۱۵۹۱	۱۳۱۲	۱۵۵۹	۱۹۱۸	البرز
-۱۸۵	۶۷۴	۶۷۴	۸۷۰	۸۵۲	۷۶۳	۸۶۵	۸۳۸	۸۰۰	۹۹۷	۹۵۲	۸۲۴	۹۴۸	۱۰۳۳	ایلام
-۴۸۴	۲۰۸۹	۱۹۵۰	۲۰۶۴	۲۲۴۴	۲۱۶۹	۲۲۲۲	۲۳۸۲	۲۱۹۰	۲۳۴۱	۲۶۷۸	۲۲۵۶	۲۳۷۰	۲۷۳۹	آذربایجان شرقی
-۴۲۸	۲۱۳۳	۲۰۷۸	۲۲۳۰	۲۳۷۱	۲۲۸۵	۲۳۳۱	۲۴۱۷	۲۳۴۳	۲۴۸۱	۲۶۶۰	۲۳۹۴	۲۴۵۴	۲۷۷۶	آذربایجان غربی
-۹۳	۸۵	۶۶	۱۷۵	۱۸۷	۹۵	۱۷۵	۱۵۹	۱۳۹	۲۵۶	۲۳۰	۱۳۸	۲۵۲	۲۵۶	بوشهر
-۴۷۲	۱۰۹۵	۱۰۹۰	۱۲۳۲	۱۲۸۴	۱۲۱۰	۱۲۸۸	۱۳۱۹	۱۲۱۵	۱۴۲۹	۱۵۶۱	۱۲۸۷	۱۴۷۹	۱۷۶۳	تهران
-۴۷۸	۱۳۶۲	۱۲۵۶	۱۷۰۲	۱۵۸۲	۱۵۵۱	۱۷۹۲	۱۶۶۶	۱۶۷۹	۲۰۰۵	۱۷۳۸	۱۵۷۴	۲۰۵۸	۲۱۵۰	چهارمحال بختیاری
-۲۸۰	۱۲۶۰	۱۱۹۲	۱۳۰۴	۱۳۳۷	۱۲۸۹	۱۳۴۴	۱۴۰۳	۱۳۴۵	۱۴۱۶	۱۴۹۸	۱۴۰۳	۱۴۸۰	۱۶۲۵	خراسان جنوبی
-۴۷۲	۱۱۶۲	۱۰۸۱	۱۱۰۱	۱۳۰۰	۱۱۹۰	۱۲۶۸	۱۳۱۶	۱۱۸۹	۱۳۰۳	۱۶۱۸	۱۲۹۵	۱۴۱۷	۱۷۲۲	خراسان شمالی
-۳۷۷	۱۲۹۸	۱۲۰۵	۱۲۵۵	۱۳۷۴	۱۳۳۶	۱۳۶۰	۱۴۳۵	۱۳۳۷	۱۴۱۱	۱۶۱۴	۱۴۳۲	۱۵۰۷	۱۷۵۶	خراسان مرکزی
-۱۶۹	۲۸۴	۲۸۲	۴۳۳	۴۳۴	۳۵۲	۴۴۲	۴۳۱	۳۹۹	۵۵۷	۴۹۶	۳۸۲	۵۳۳	۵۸۸	خوزستان
-۴۵۰	۲۰۲۰	۱۹۱۸	۲۰۳۵	۲۲۳۲	۲۱۲۴	۲۱۵۴	۲۲۹۴	۲۰۵۵	۲۲۵۴	۲۵۶۷	۲۱۲۲	۲۳۲۶	۲۶۲۵	زنجان
-۳۳۸	۹۷۷	۹۶۳	۱۰۰۶	۱۱۰۹	۱۰۴۹	۱۰۷۸	۱۱۱۹	۱۰۵۳	۱۱۴۹	۱۳۰۴	۱۱۱۰	۱۱۸۸	۱۴۳۰	سمنان
-۱۹۳	۴۵۸	۴۴۱	۵۰۰	۴۹۱	۴۹۴	۴۹۷	۵۵۴	۵۳۹	۵۵۲	۵۹۰	۵۷۱	۵۸۳	۷۱۵	سیستان و بلوچستان
-۲۷۱	۸۵۰	۸۵۵	۱۰۳۷	۹۸۴	۹۴۹	۱۰۲۷	۱۰۱۲	۱۰۱۳	۱۱۷۲	۱۰۵۷	۱۰۳۴	۱۱۷۲	۱۲۸۴	فارس
-۴۹۴	۱۵۰۳	۱۳۳۹	۱۵۶۰	۱۶۹۱	۱۶۱۴	۱۶۵۸	۱۷۵۰	۱۵۹۰	۱۷۷۵	۲۰۲۰	۱۵۹۰	۱۸۴۳	۲۱۶۳	قزوین
-۲۹۱	۱۴۰۶	۱۳۸۷	۱۴۵۶	۱۵۳۲	۱۴۷۲	۱۴۹۹	۱۵۳۶	۱۴۸۳	۱۶۰۳	۱۶۹۳	۱۵۲۳	۱۵۹۶	۱۸۰۶	قم
-۴۳۵	۲۰۵۴	۲۰۵۸	۲۲۴۶	۲۲۸۷	۲۲۵۷	۲۳۹۸	۲۴۰۸	۲۳۰۷	۲۵۷۴	۲۵۶۹	۲۳۰۶	۲۵۲۴	۲۷۶۷	کردستان
-۲۷۰	۸۶۰	۸۵۵	۹۶۲	۹۳۳	۹۴۲	۹۷۰	۹۹۰	۹۹۸	۱۰۶۰	۱۰۳۳	۱۰۳۳	۱۱۰۶	۱۲۴۹	کرمان
-۳۷۳	۱۳۷۷	۱۴۵۹	۱۶۳۴	۱۶۳۰	۱۵۸۳	۱۷۷۹	۱۶۸۷	۱۷۱۲	۱۹۷۲	۱۸۵۲	۱۶۴۵	۱۸۵۹	۲۰۵۶	کرمانشاه
-۳۶۸	۸۹۰	۹۱۳	۱۱۷۰	۱۰۸۹	۱۰۴۵	۱۲۴۱	۱۱۴۳	۱۱۲۲	۱۴۵۴	۱۲۱۴	۱۰۸۸	۱۴۷۵	۱۵۲۱	کهگیلویه و بویر احمد
-۳۹۳	۴۱۰	۳۹۰	۴۰۲	۵۶۵	۴۶۵	۴۹۹	۵۲۵	۴۷۲	۵۴۰	۷۷۱	۵۳۵	۶۰۵	۹۰۸	گلستان
-۳۲۱	۱۴۵۱	۱۲۸۱	۱۴۰۵	۱۶۳۴	۱۵۰۸	۱۴۶۰	۱۶۱۰	۱۴۶۵	۱۵۱۳	۱۸۴۸	۱۵۵۵	۱۵۷۹	۱۸۵۵	گیلان
-۳۹۹	۱۲۳۰	۱۲۳۴	۱۵۸۴	۱۵۰۶	۱۴۶۷	۱۶۷۴	۱۶۰۰	۱۶۰۰	۱۹۰۸	۱۷۱۴	۱۴۶۰	۱۸۳۹	۱۹۷۵	لرستان
-۵۱۳	۹۵۹	۹۳۵	۹۷۱	۱۲۰۴	۱۰۵۳	۱۰۵۱	۱۱۹۱	۱۰۷۸	۱۱۸۱	۱۴۵۹	۱۱۴۵	۱۲۳۷	۱۶۴۴	مازندران
-۳۹۰	۱۶۳۰	۱۶۲۴	۱۸۰۳	۱۷۹۷	۱۷۶۳	۱۸۷۴	۱۸۵۰	۱۷۹۱	۲۰۵۰	۲۰۵۴	۱۷۳۵	۲۰۳۸	۲۲۲۳	مرکزی
-۹۶	۸۰	۸۲	۱۲۰	۱۱۹	۹۶	۱۲۳	۱۲۷	۱۲۱	۱۵۸	۱۵۲	۱۲۳	۱۷۲	۲۱۹	هرمزگان
-۴۳۱	۱۷۵۶	۱۷۹۵	۲۰۰۰	۱۹۵۸	۱۹۷۸	۲۱۵۵	۲۰۷۹	۲۰۳۶	۲۳۴۲	۲۳۰۸	۱۸۹۲	۲۳۱۹	۲۴۸۲	همدان
-۳۰۰	۱۱۷۸	۱۱۴۳	۱۲۲۶	۱۲۷۱	۱۲۴۵	۱۲۶۲	۱۳۰۱	۱۲۷۷	۱۳۵۳	۱۳۸۵	۱۳۱۶	۱۳۹۵	۱۵۷۹	یزد

با مطالعه مکانی - زمانی تفاوت بازه شرایط گذشته با نتایج مدل‌های سه‌گانه یادشده، تحت دو خط سیر انتشار بدبینانه و خوش بینانه در هر دو بازه ۲۰۳۰-۲۰۲۰ و ۲۰۵۰-۲۰۴۰، نتایج قابل تأملی حاصل گردید. در مجموع، نیاز سرمایشی کشور در مقایسه شرایط گذشته با افق ۲۰۳۰-۲۰۲۰ تحت خط سیر خوش بینانه ۲۳٪ و بدبینانه ۲۵٪ افزایش خواهد یافت و این در حالی است که در افق ۲۰۴۰-۲۰۵۰ در شرایط خط سیر خوش بینانه و بدبینانه این نیاز به ترتیب به ۳۶ و ۴۷٪ افزایش خواهد یافت. از دیگر سو نیاز گرمایشی کشور در مقایسه وضعیت گذشته با افق ۲۰۳۰-۲۰۲۰ تحت خط سیر خوش بینانه ۹٪ و بدبینانه ۱۱٪ کاهش می‌یابد و در مقابل، در افق ۲۰۴۰-۲۰۵۰ در شرایط خط سیر خوش بینانه و بدبینانه این نیاز به ترتیب به ۱۴ و ۱۷٪ افزایش خواهد یافت. نتیجه مدل

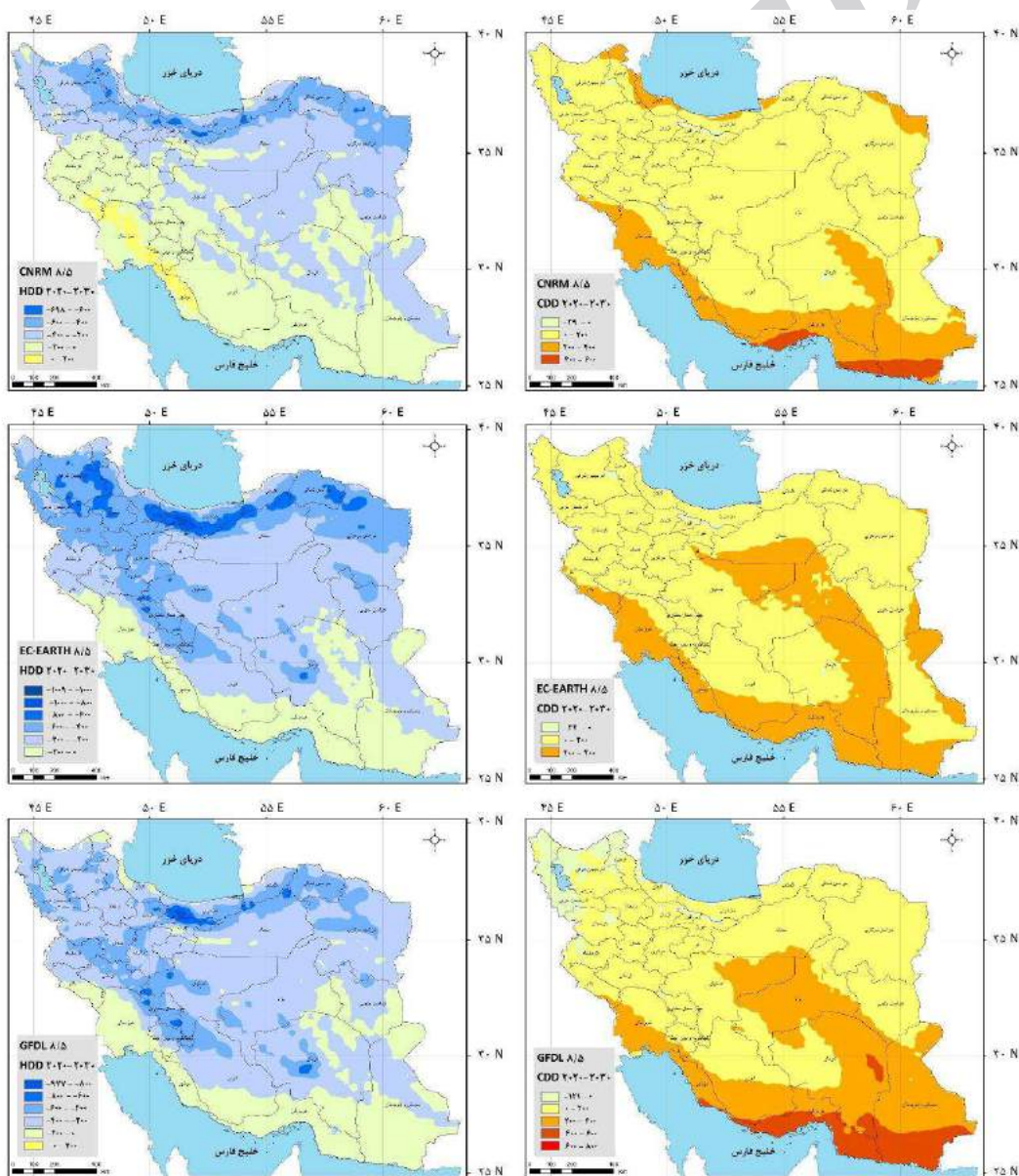
سی.ان.آر.ام در هر دو بازه مطالعاتی تحت دو خط سیر خوش‌بینانه و بدبینانه در مقایسه با شرایط گذشته در مورد نیاز سرمایشی کشور بیانگر افزایش کلی این کمیّت است. این مطلب، در مورد سواحل جنوبی و تا حدودی شمالی و حتی مناطق مرکزی کشور بیشتر مشاهده می‌شود. تنها در ارتفاعات البرز و زاگرس به صورت جزئی روند ثابت و یا کاهشی قابل انتظار خواهد بود. نتیجه این مدل در مورد نیاز گرمایشی، بیانگر کاهش آن در تمامی پهنه کشور به‌ویژه در نواحی کوهستانی و مرتفع البرز و آذربایجان خواهد بود و به صورت جزئی در بخش‌های پست جنوب غرب کشور روند ثابت و افزایشی نیاز گرمایشی قابل انتظار خواهد بود. نتیجه مدل ای.سی.آر.ام نیز در مورد نیاز سرمایشی کشور بیانگر افزایش کلی این کمیّت (با شدت بیشتر به نسبت دو مدل دیگر) است. این مطلب، در مورد سواحل جنوبی کشور و مناطق مرکزی بیشتر مشاهده می‌شود. قطب افزایش نیاز سرمایشی در جنوب غرب کشور واقع خواهد شد. تنها در ارتفاعات به صورت جزئی روند ثابت و حتی کاهشی قابل انتظار است. نتیجه این مدل در مورد نیاز گرمایشی، بیانگر کاهش این کمیّت در تمامی گستره کشور به‌ویژه در نواحی کوهستانی و مرتفع (اندکی با شدت بیشتر نسبت به دو مدل دیگر) خواهد بود. نتیجه مدل جی.اف.دی.ال در مورد نیاز سرمایشی کشور، بیانگر افزایش کلی این کمیّت (به شکل ناهنجارتری نسبت به دو مدل دیگر) است. این مطلب در مورد سواحل جنوبی و به‌ویژه جنوب شرقی کشور و مناطق مرکزی بیشتر به چشم می‌آید؛ اما در ارتفاعات شمال، شمال غرب و غرب، روند ثابت و حتی کاهشی قابل انتظار خواهد بود. البته این روند کاهشی، به نسبت سناریوی خوش‌بینانه بسیار تعدیل‌یافته‌تر به نظر می‌آید. نتیجه این مدل در مورد نیاز گرمایشی بیانگر این کمیّت در سراسر کشور به‌ویژه در نواحی کوهستانی و مرتفع مرکزی و شمالی خواهد بود. روند این کاهش نیاز گرمایشی در این سناریو به نسبت سناریوی خوش‌بینانه افراطی‌تر مشاهده می‌گردد (شکل ۶ تا ۹).



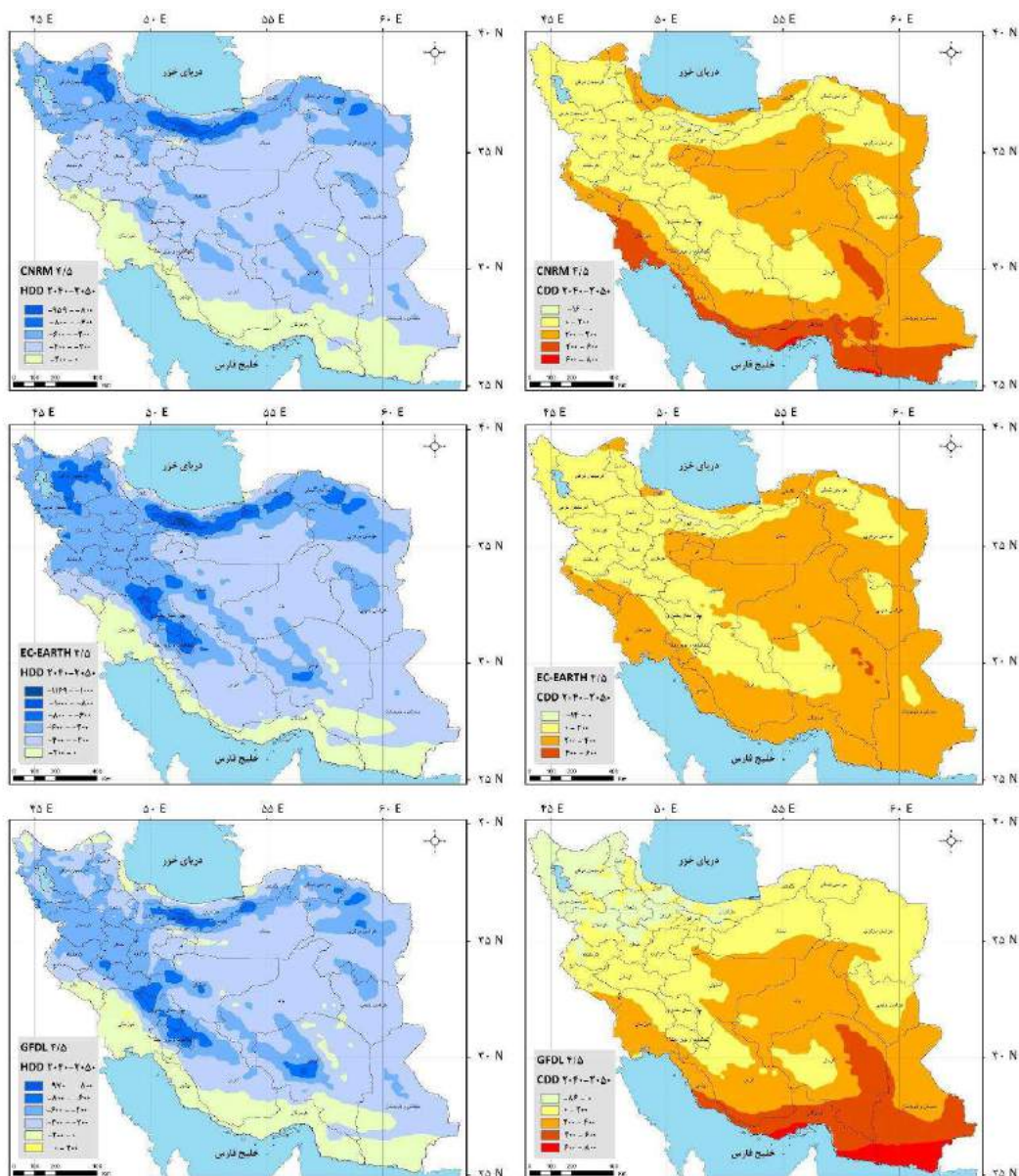
شکل ۶. تغییرات نیاز سرمایشی (سمت راست) و گرمایشی (سمت چپ) کشور تحت خط سیر خوش‌بینانه در افق ۲۰۲۰-۲۰۳۰ به ترتیب از بالا به پایین بر اساس مدل‌های سی.ان.آر.ام، ای.سی.آر.ام و جی.اف.دی.ال



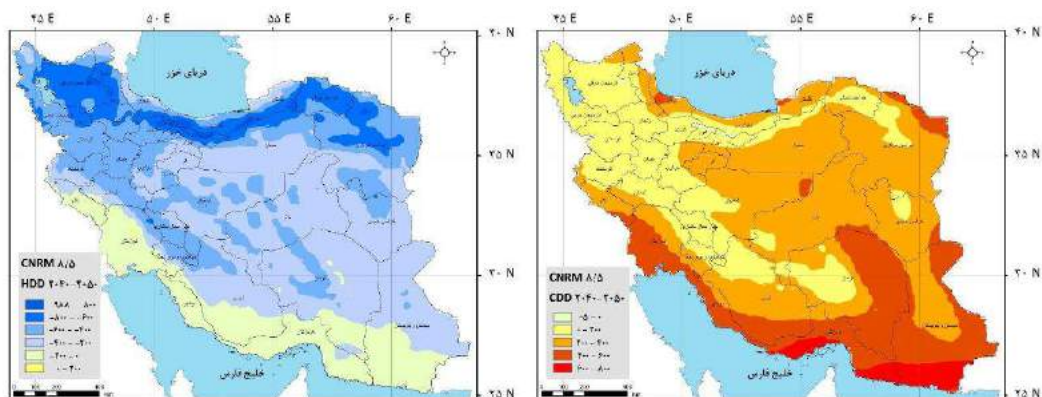
شکل ۶. تغییرات نیاز سرمایشی (سمت راست) و گرمایشی (سمت چپ) کشور تحت خط سیر خوش‌بینانه در افق ۲۰۲۰-۲۰۳۰ به ترتیب از بالا به پایین بر اساس مدل‌های سی.ان.آر.ام، ای.سی.اِرت و جی.اف.دی.اِیل



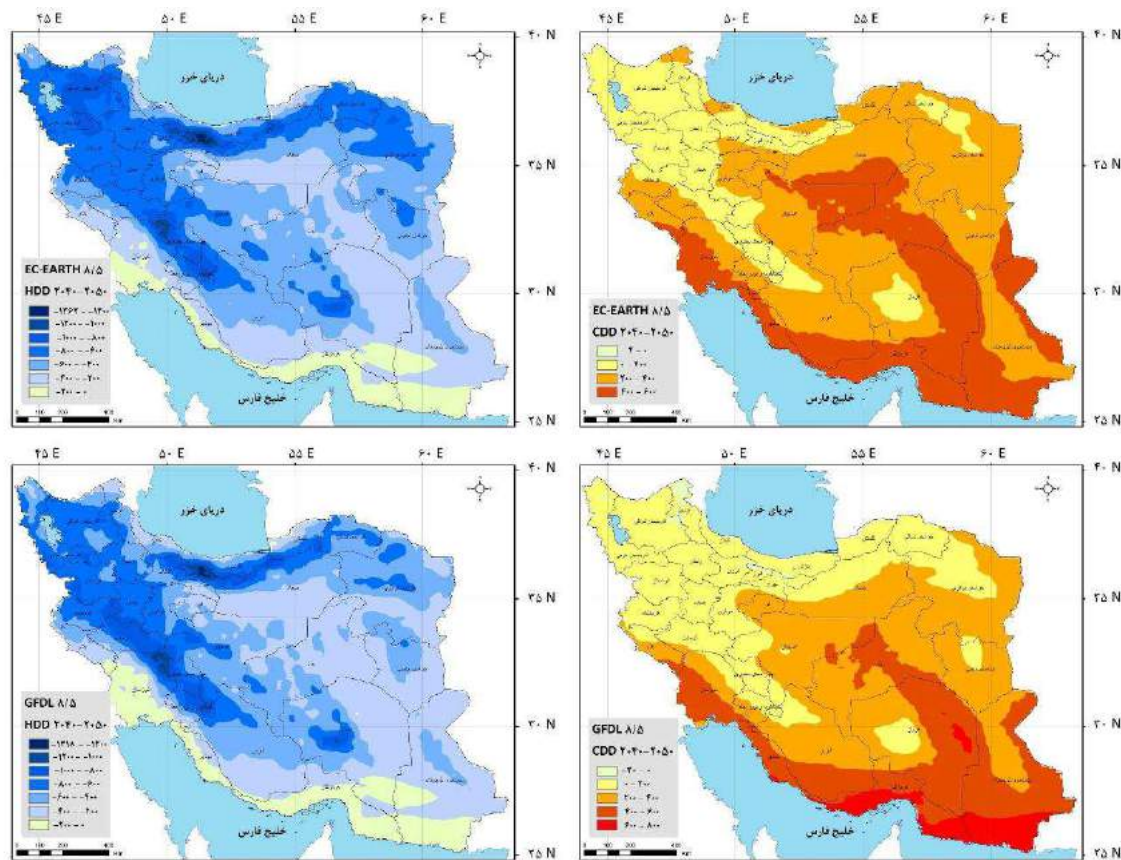
شکل ۷. تغییرات نیاز سرمایشی (سمت راست) و گرمایشی (سمت چپ) کشور تحت خط سیر بدبینانه در افق ۲۰۲۰-۲۰۳۰ به ترتیب از بالا به پایین بر اساس مدل‌های سی.ان.آر.ام، ای.سی.اِرت و جی.اف.دی.اِیل



شکل ۸. تغییرات نیاز سرمایشی (سمت راست) و گرمایشی (سمت چپ) کشور تحت خط سیر خوش‌بینانه در افق ۲۰۴۰-۲۰۵۰ به ترتیب از بالا به پایین بر اساس مدل‌های سی.ان.آر.ام، ای.سی.آر.ث و جی.اف.دی.ال



شکل ۹. تغییرات نیاز سرمایشی (سمت راست) و گرمایشی (سمت چپ) کشور تحت سیر بدبینانه در افق ۲۰۴۰-۲۰۵۰ به ترتیب از بالا به پایین بر اساس مدل‌های سی.ان.آر.ام، ای.سی.آر.ث و جی.اف.دی.ال



ادامه شکل ۹. تغییرات نیاز سرمایشی (سمت راست) و گرمایشی (سمت چپ) کشور تحت خط سیر بدبینانه در افق ۲۰۴۰-۲۰۵۰ به ترتیب از بالا به پایین بر اساس مدل‌های سی.ان.آر.ام، ای.سی.اِرت و جی.اف.دی.ال

بحث

نکته قابل توجه در پژوهش‌های پیشین، عدم مقایسه شرایط آینده با گذشته است. افزون بر این مطالعات تک‌مدلی، تک‌سناریویی (که عمدتاً نیز بر سناریوهای قدیمی استوار بوده است)، عدم فرآیند پس‌پردازش، لحاظ نکردن کنترل‌های کیفی با توجه به حساسیت برونداد داده‌های مدل‌های منطقه‌ای و گردش عمومی و... باعث افزایش عدم قطعیت در نتیجه‌گیری در باب مسئله نیاز گرمایشی و سرمایشی کشور شده است؛ لذا در پژوهش حاضر، ضمن رفع نواقص یادشده، سعی بر آن قرار گرفت که میزان عدم قطعیت‌های ممکن تقلیل یافته و نتایج به نسبت منطقی‌تری از مسئله اثر تغییرات آب‌وهوایی بر درجه-روزهای گرمایشی و سرمایشی ارائه گردد؛ بنابراین، تحلیل روند اطلاعات کنترل کیفی شده ۴۴ ایستگاه سینوپتیک کشور، بیانگر وجود روند معنی‌دار در سطح ۹۵٪ مثبت در دماهای حداکثر و بالعکس در دماهای شبانه است؛ همچنین، بررسی خروجی مقادیر شبیه‌سازی شده فرین‌های دما نشان داد که تغییرات درجه-روزهای سرمایشی و گرمایشی کشور تحت تأثیر تغییر اقلیم، با اطمینان در سطح ۹۵٪ در دوره‌های آتی محتمل است. مقادیر ریزگردانی شده برونداد مدل‌های مورد بررسی از سری مدل‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم تحت نماینده‌های خط سیرهای جدید انتشار گازهای گلخانه‌ای که قبلاً مورد بحث قرار گرفت، مؤید این مطلب است. به طور خلاصه متوسط هر سه مدل در هر دو بازه ۲۰۲۰-۲۰۳۰ و ۲۰۴۰-۲۰۵۰ و تحت دو خط سیر خوش‌بینانه و بدبینانه در مورد نیاز سرمایشی، افزایش کلی این کمیّت را شبیه‌سازی می‌کند. در مجموع، بیشترین افزایش در مناطق پست سواحل جنوبی و به‌ویژه جنوب شرقی کشور و مناطق مرکزی و به صورت خفیف‌تر در سواحل شمال قابل انتظار است و در مقابل، وضعیت ثابت و کاهش اندک نیاز سرمایشی در ارتفاعات

البرز و زاگرس قابل پیش‌بینی خواهد بود. در مقابل، میانگین هر سه مدل در هر دو بازه ۲۰۳۰-۲۰۲۰ و ۲۰۵۰-۲۰۴۰ و تحت دو خط سیر خوش‌بینانه و بدبینانه در مورد نیاز گرمایشی، کاهش کلی را شبیه‌سازی می‌کند. در مجموع، بیشترین کاهش در مناطق کوهستانی البرز، زاگرس و آذربایجان قابل انتظار است و در مقابل، وضعیت ثبات و افزایش خفیف نیاز گرمایشی در مناطق پست و ساحلی جنوب و به صورت موضعی در مرکز و سواحل شمال قابل پیش‌بینی خواهد بود. این در حالی است که مطالعات داخلی پیشین مانند امیدوار و همکاران (۱۳۹۵) و روشن و گراب (۲۰۱۲) بر افزایش نیاز گرمایشی و سرمایه‌سازی تأکید دارند و تنها بر افزایش تقریباً ۱/۲۵ برابری نیاز سرمایه‌سازی به نسبت گرمایشی اشاره نموده‌اند. نکته مشترک پژوهش حاضر با دیگر مطالعات داخلی نیز می‌تواند در افزایش نیاز سرمایه‌سازی نسبت به گرمایشی باشد؛ البته این مسئله که در مجموع نیاز سرمایه‌سازی رو به افزایش و نیاز گرمایشی رو به کاهش دارد نمی‌تواند در ادبیات علمی تغییرات آب‌وهوایی نوین و ناآشنا نامید؛ زیرا در مطالعاتی که در سوئیس و آمریکا که به ترتیب توسط کریستنسون و همکاران (۲۰۰۶) و آژانس آمایش مادرشهر شیکاگو (۲۰۱۳) صورت پذیرفته، چنین نتایجی نیز برای شرایط آبی این دو کشور متصور گردیده است.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با تکیه بر آنالیز اطلاعات مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده مقادیر حدی دما نشان داد که درجه-روزهای گرمایشی و سرمایه‌سازی کشور در حال تغییر است. به طوری که درجه-روزهای گرمایشی و نیاز گرمایشی در حال کاهش و درجه-روزهای سرمایه‌سازی و نیاز سرمایه‌سازی نیز در حال افزایش است؛ البته میزان تغییرات در نیاز گرمایشی در افق‌های ۲۰۳۰-۲۰۲۰ و ۲۰۵۰-۲۰۴۰ بیش از تغییرات نیاز سرمایه‌سازی خواهد بود. افزون بر این، میزان تفاوت و تغییر افزایش نیاز سرمایه‌سازی بیش از دو برابر کاهش نیاز سرمایه‌سازی خواهد بود. با توجه به پیش‌بینی افزایش نیاز سرمایه‌سازی و کاهش نیاز گرمایشی در سال‌های آتی، اتخاذ تدابیری مناسب برای مواجهه با چنین شرایطی می‌تواند به نحو مناسبی در زمینه صرفه‌جویی در منابع ملی کارآمد باشد. وضعیت پیش رو، محدودیت‌ها و فرصت‌هایی را ایجاد می‌کند که می‌توان به کاهش نیاز به سوخت‌های فسیلی در فصل سرد و افزایش نیاز به نیروی الکتریکی اشاره نمود. این مباحث با توجه به این امتیازات و چالش‌ها، توجه جدی‌تر مسئولین را در این رابطه می‌طلبد که از هم‌اکنون تغییرات اقلیمی را به منزله یک تهدید و یا فرصت جدی در قلمرو انرژی در نظر داشته و تمهیدات منعطفی را برای افق‌های طولانی‌مدت در نظر گیرند.

منابع

- احمدی، محمود؛ داداشی رودباری، عباسعلی؛ ابراهیمی، رضا (۱۳۹۶) مدل‌سازی درجه-روز گرمایش و سرمایه‌سازی در ایران، پژوهش‌های دانش زمین، ۸ (۳۰)، صص. ۱۴۰-۱۲۷.
- امیدوار، کمال؛ ابراهیمی، رضا؛ مزیدی، احمد (۱۳۹۵) واکاوی اثر گرمایش جهانی بر درجه-ساعت‌های گرمایش و سرمایه‌سازی ماهانه ایران، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۲۰ (۲)، صص. ۴۱-۶۲.
- امیدوار، کمال؛ ابراهیمی، رضا؛ نارنگی‌فرد، مهدی (۱۳۹۴) پیش‌بینی نیاز سرمایه‌سازی استان فارس با کاربست داده‌های EH50M، مخاطرات محیط طبیعی، ۴ (۶)، صص. ۷۵-۵۷.
- انتظاری، علیرضا؛ احمدی، حمزه؛ کرمی، مختار؛ احمدی، طالب (۱۳۹۳) تحلیلی بر شرایط زیست اقلیمی و درجه‌روزهای نیاز گرمایشی و سرمایه‌سازی شهر اسلام‌آباد غرب، جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۱ (۵۹)، صص. ۱-۲۱.
- حقیقت‌جو، پرویز (۱۳۸۱)، کاربرد درجه‌روز گرمایشی و سرمایه‌سازی در تعیین مقدار انرژی و سوخت مورد نیاز و قابلیت‌سنجی پذیری مناطق مختلف کشور، دومین همایش بین‌المللی بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان،

تهران، سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور.

حیدری بنی، مهران؛ پارسا، شاهرخ (۱۳۸۹) تحلیلی بر درجه-روز نیاز گرمایشی استان چهارمحال و بختیاری، **اولین همایش ملی برف، یخ و بهمن و دومین همایش شناخت معضلات آبخیزداری و ارائه راه حل های مناسب در حوضه های آبخیز کارون و زاینده رود**، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری.

ذوالفقاری، حسن؛ هاشمی، رضا؛ رادمهر، پروش (۱۳۸۸) تحلیلی بر نیازهای سرمایشی و گرمایشی در شمال غرب ایران، **پژوهش های جغرافیای طبیعی**، ۴۱ (۷۰)، صص. ۳۴-۲۱.

راه چمنی، مهدی (۱۳۹۴) **تأثیر تغییر اقلیم بر نیازهای سرمایش و گرمایش در استان خراسان رضوی**، پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: محمد باعقیده، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار.

رمضانی، بهمن؛ کاظم نژاد، زهرا (۱۳۹۳) واکاوی و اقلیم بندی مجموع میانگین نیاز گرمایش و سرمایش در قلمرو گیلان با تأکید بر مصرف گاز طبیعی خانوار، **چشم انداز جغرافیایی در مطالعات انسانی**، ۹ (۲۶)، صص. ۱۶-۱.

مسعودیان، سید ابوالفضل، ابراهیمی، رضا؛ محمدی، منیره (۱۳۹۳) پهنه بندی مکانی - زمانی نیاز گرمایش و سرمایش فصلی و سالانه ایران، **سیستم اطلاعات جغرافیایی (سپهر)**، ۲۳ (۹۰)، صص. ۹۰-۸۳.

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ابراهیمی، رضا؛ علیجانی، بهلول (۱۳۹۱) تحلیل فضایی تغییرات زمانی مکانی درجه روز سرمایشی ماهانه ایران، **پژوهش های اقلیم شناسی**، ۳ (۱۲)، صص. ۱۲-۱.

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ علیجانی، بهلول؛ ابراهیمی، رضا (۱۳۹۰) واکاوی میانگین مجموع درجه/روز مورد نیاز (گرمایش و سرمایش) در قلمرو ایران، **پژوهش نامه جغرافیایی**، ۱ (۱)، صص. ۳۶-۲۳.

ملکی، عباس (۱۳۹۰) **سیاست گذاری انرژی**، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

میرموسوی، سید حسین؛ شفیعی، شهاب؛ تقی زاده، زهرا (۱۳۹۳) ارزیابی و برآورد درجه روز و شاخص سازگاری دمایی جهت طراحی مسکن همساز با اقلیم (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک مهرآباد تهران)، **سیستم اطلاعات جغرافیایی (سپهر)**، ۲۳ (۸۹)، صص. ۸۷-۸۱.

- Atilgan, A. Yücel, A., Öz, H., Saltuk, B. (2016) Determination of Heating and Cooling Degree Days for Broiler Breeding In the Tigris Basin, *Scientific Papers. Series D., Animal Science*, Vol. LIX.
- Barry, R. G., Chorley, R. J. (2003) *Atmosphere, Weather and Climate*, **Routledge**.
- Borah, P., Singh, M. K., Mahapatra, S. (2015) Estimation of Degree-Days for Different Climatic Zones of North-East India, **Sustainable Cities and Society**, 14, pp. 70-81.
- Brown, M. A., Cox, M., Staver, B., Baer, P. (2014) Climate Change and Energy Demand in Buildings, **ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings**, pp. 3-38.
- Büyükalaca, O., Bulut, H., Yılmaz, T. (2001) Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey, **Applied Energy**, 69 (4), pp. 269-283.
- Cheng-wen, Y., Yao, J. (2010) Application of ANN for the prediction of building energy Consumption at Different Climate Zones with HDD and CDD, **Future Computer and Communication (ICFCC), 2010 2nd International Conference on 3 (21-24)**, Wuhan, V3-286-V3-289.
- Christenson, M., Manza, H., Gyalistras, D. (2006) Climate warming impact on degree-days and Building Energy Demand in Switzerland, **Energy Conversion and Management**, 47 (6), pp. 671-686.
- CMAP Report. (2013) Appendix A: Primary Impacts of Climate Change in the Chicago Region, **Chicago Metropolitan Agency for Planning**, pp. 1-29.
- Environment Protection Agency (EPA). (2014) **Climate Change Indicators in the United States: Heating and Cooling Degree Days**, www.epa.gov/climatechange/indicators, 5 p.
- Erbs, D. G., Klein, S. A., Beckman, W. A. (1983) Estimation of Degree-Days and Ambient Temperature Bin Data from Monthly-Average Temperatures, **ASHRAE Journal**, Volume:

pp. 60-65

- ESRI. (2013) **help of Arc GIS 10.2**, New York Street, Redlands, CA 92373-8100, USA.
- Giannakopoulos, C., Psiloglou, B. E. (2006) Trends in Energy Load Demand for Athens, Greece: Weather and Non-Weather Related Factors, **Climate Research Clim Res**, 31, pp. 97-108.
- Hadley, S. W., Erickson, D. J., Hernandez, J. L. (2006) Modeling U.S. Energy Use Changes with Global Climate Change, **Oak Ridge National Laboratory U.S. Department of Energy (DOE)**.
- Hamlet, A. F., Lee, S-Y., Mickelson, K. E. B., Elsner, M. M. (2010) Effects of Projected Climate Change on Energy Supply and Demand in the Pacific Northwest and Washington State, Chapter 4, **Energy**, pp. 165-190.
- Jagloma, W. S., McFarland, J. R., Colley, M. F., Mack, Ch. B., Venkatesh, B., Miller, Rawlings, L., Juanita, H., Schultz, P. A., Perkins, B., Casola, J. H., Martinich, J. A., Cross, P., Kolian, M. J., Kayin, S. (2014) Assessment of Projected Temperature Impacts from Climate Change on the U.S. Electric Power Sector Using the Integrated Planning Model, **Energy Policy** 73, pp. 524-539.
- Lindelöf, D. (2016) Bayesian estimation of a building's base temperature for heating degree-days, **Energy and Buildings**, DOI:10.13140/RG.2.1.3516.7122.
- Matzarakis, A., Balafoutis, C. (2004) Heating degree-days over Greece as an index of energy consumption, **International Journal of Climatology**, 24 (14), pp. 1817-1828.
- Matzarakis, A., Thomsen, F. (2009) Heating and Cooling Degree Days as an Indicator of Climate Change in Freiburg, **University of Freiburg, Germany**, pp. 339-344.
- Petri, Y., Caldeira, K. (2015) Impacts of Global Warming on Residential Heating and Cooling Degree-Days in the United States, **Sci. Rep.** 5, 12427; doi: 10.1038/srep12427.
- Priya, S., Shanmuga, Premalatha, M., Rajkumar, S. R., Thirunavukkarasu, I. (2011) Analysis Of Cooling Degree Days For Tiruchirappalli – A District In India, **IJRRAS**, 8 (1), pp. 44-56.
- Psiloglou, B. E. Giannakopoulou, C., Majithiab, S., Petrakisa, M. (2009) Factors Affecting Electricity Demand in Athens, Greece and London, UK: A Comparative Assessment, **Energy**, 34 (11), pp. 1855-1863.
- Roshan, Gh. R., Grab, S. W. (2012) Regional Climate Change Scenarios and Their Impacts on Water Requirements for Wheat Production in Iran, **International Journal of Plant Production**, 6 (2), pp. 239-265.
- Thom, H. C. S. (1954) Normal Degree Days below Any Base, **Monthly Weather Review**, 82 (5), pp. 111-115.
- Way, R. G., Lewkowicz, A. G., Bonnaventure, P. P. (2017) Development of Moderate-Resolution Gridded Monthly Air Temperature and Degree-Day Maps for the Labrador-Ungava Region of Northern Canada, **International Journal of Climatology**, 37 (1), pp. 493-508.