پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دورهٔ ۵۱، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۸
ص ۳۰۰- ۲۸۳

پیش‌نگری اثرات تغییر اقلیم بر درجهٔ روزهای نیاز سرمایشی و گرمایشی در ایستگاه‌های منتخب استان ایلام

محمد احمدی- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران
قاسم عزیزی*- دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران
پرویز کردوانی- استاد جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۶/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۵

چکیده

در مطالعهٔ حاضر به پیش‌نگری اثرهای تغییرات آب و هوایی بر درجهٔ روزهای نیاز سرمایشی و گرمایشی ایستگاه‌های منتخب ایلام و دهلران از طریق دادهٔ مشاهده‌ای و دادهٔ شبیه‌سازی‌شدهٔ دورهٔ آینده براساس برون‌داد مدل‌های CMIP5 پرداخته شد. بررسی دادهٔ واقعی دورهٔ پایه نشان داد که روند افزایشی و کاهشی به‌ترتیب برای نیاز سرمایشی و گرمایشی در ایستگاه‌های ایلام و دهلران وجود دارد. در دورهٔ آینده نیاز گرمایشی در هر دو سناریوی RCP8.5 و RCP4.5 نسبت به دورهٔ پایه کاهش خواهد یافت؛ به‌طوری‌که تا افق ۲۰۹۰ در سناریوی بدبینانه در ایستگاه ایلام به‌طور متوسط ۲۰ درجهٔ روز و در ایستگاه دهلران ۱۰ درجهٔ روز نسبت به دورهٔ پایه کاهش رخ خواهد داد. همچنین، در دورهٔ آینده نیاز سرمایشی نسبت به دورهٔ پایه افزایش خواهد یافت. در ایستگاه‌های ایلام و دهلران در دورهٔ آیندهٔ میانی و دور به‌طور متوسط به‌ترتیب ۹، ۱۴، ۱۰، و ۲۰ درجهٔ روز بر مقدار نیاز سرمایشی افزوده خواهد شد. تحت شرایط تغییر اقلیم دورهٔ آینده، تعداد روزهای همراه با نیاز سرمایشی در این ایستگاه‌ها به جلو خواهد افتاد و، از طرفی دیگر، بازهٔ زمانی همراه با نیاز سرمایشی مورد نیاز در طی سال گسترده‌تر خواهد شد.

واژگان کلیدی: استان ایلام، تغییر اقلیم، درجهٔ روز سرمایش و گرمایش، مدل‌های CMIP5.

مقدمه

میزان مصرف انرژی با روند کنونی آن به‌زودی در جهان به یکی از بزرگ‌ترین معضلات و تهدیدات جوامع انسانی منجر خواهد شد. عدم استفاده از ساخت و سازهای منطبق بر توان‌ها و پتانسیل‌های اقلیمی کشور موجب تحمیل هزینه‌های کلان بر ساختار مصرف انرژی کشور شده است (حلیمی و همکاران، ۱۳۹۲: ۷۴). تمام دنیا تغییرات آب و هوایی را جزء جدایی‌ناپذیر اقلیم و چالش بزرگ زیستی قلمداد می‌کنند؛ به‌نحوی‌که بخش‌های مختلف زندگی مانند کشاورزی، منابع طبیعی، انرژی، و اقتصاد را درگیر عوارض خود کرده است (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۶: ۲). مناطق شهری و سکونتگاه‌های انسانی یکی از مهم‌ترین بخش‌های آسیب‌پذیر در مقابل تغییرات آب و هوایی است. گرم‌شدن کرهٔ زمین به‌موجب افزایش گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان بزرگ‌ترین معضل عصر مدرن شناخته شده است؛ به‌گونه‌ای‌که در گذر چند سال اخیر همواره یکی از محورهای اصلی سران کشورهای جهان مسئلهٔ تغییر اقلیم بوده است. اینکه پدیدهٔ گرمایش جهانی بر اثر پدیده‌های طبیعی یا انسانی یا هر دو ایجاد می‌شود امروزه به یکی از موضوعات چالش‌برانگیز در علوم جوی

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۲۳۱۳۱۳۱ Email: ghazizi@ut.ac.ir

تبدیل شده است (ابراهیمی و مهدوی‌نژاد، ۱۳۹۶: ۸۰). در سال‌های اخیر تغییرات آب و هوایی اغلب مناطق جهان را در بحران‌های جوی و اقلیمی درگیر کرده است. انرژی یکی از حوزه‌های حساس به تغییر اقلیم است که میزان مصرف و چشم‌انداز آن در دهه‌های آتی از شاخص‌های مهم در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های کلان کشوری به‌شمار می‌رود (بابائیان و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۳۲). گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی اثرهای بسیار شدیدی در نیاز انرژی به‌صورت گرمایشی و سرمایشی خواهد داشت (لی و همکاران، ۲۰۱۵). هر گونه تغییر در شرایط اقلیمی وضعیت شهرها را با تنش مواجه می‌کند. انرژی یکی از نهاده‌های تولیدی مهم است که در بیشتر فعالیت‌های اقتصادی استفاده می‌شود؛ به‌طوری‌که امروزه امنیت ملی کشورها را نیز تحت تأثیر خود قرار داده است. در این راستا، آیندهٔ تولید و مصرف انرژی موضوعی است که بیش از پیش باید مورد توجه قرار گیرد. یافتن راهکاری برای کاهش مصرف انرژی یا در نقطهٔ مقابل کاهش شدت مصرف انرژی باید در اولویت برنامه‌های مرتبط با انرژی و مدیریت آن قرار گیرد. میزان مصرف انرژی ایران در حال افزایش است؛ در سال ۱۳۹۲ با ۴٫۳درصد افزایش نسبت به سال قبل، مصرف نهایی انرژی به میزان ۱۲۲۹٫۷ میلیون بشکه معادل نفت خام بوده است (احمدی و همکاران الف، ۱۳۹۶: ۲۸). درجهٔ روز یک اندازه‌ای از میانگین دمای هواست که بیان‌کنندهٔ آسایش بشر است (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۳: ۸۴). انحراف میانگین درجهٔ حرارت روزانه از درجهٔ حرارت آسایشی انسان (دمای آستانه) درجهٔ روز نامیده می‌شود (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۱). درجهٔ روزهای سرمایشی و گرمایشی از جنبه‌های مختلف شاخصی مهم و مؤثر قلمداد می‌شود. معیار درجهٔ روزهای گرمایشی و سرمایشی می‌تواند، ضمن ارائهٔ تصویری روشن و دقیق از میزان حرارتی ساختمان، شهر، و منطقه، در تأمین آسایش حرارتی و اصلاح الگوی مصرف انرژی نیز نقش مثبتی ایفا کند (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۳). بررسی نیاز سرمایشی و گرمایشی براساس آمار درجهٔ حرارت موجب صرفه‌جویی در مصرف سوخت مورد نیاز برای کنترل شرایط محیطی بناها می‌شود (احمدی و شائمی، ۱۳۹۱: ۷۵). درجهٔ حرارت روزانه یک فراسنج کلیدی در کنترل تهویهٔ هوای ساختمان‌ها (سرمایش و گرمایش) است. درحالی‌که دیگر پارامترهای هواشناسی نقش کمتری نسبت به دما دارند. تنظیم شرایط دمایی محیط و استفادهٔ منطقی از انرژی، همراه مدیریت بهینهٔ مسائل زیست‌محیطی مرتبط با آن می‌تواند به کاهش هزینه‌های جاری و استفادهٔ حداکثری منافع جامعه منجر شود (احمدی و همکاران ب، ۱۳۹۶: ۱۲۸). شناسایی عوامل اقلیمی تأثیرگذار در مصرف انرژی از مهم‌ترین بسترسازی‌ها برای بهینه‌سازی و اصلاح الگوی مصرف انرژی است. نیازهای گرمایشی و سرمایشی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های اقلیمی در تعیین پتانسیل‌های آب و هوایی مصرف انرژی هر منطقه به‌شمار می‌آید (حلیمی و همکاران، ۱۳۹۲: ۷۴).

مطالعات در زمینهٔ تغییرات نیاز سرمایشی و گرمایشی در سکونتگاه‌های شهری و تغییرات آن تحت شرایط تغییر اقلیم همواره کانون مطالعات مختلف بوده است. مطالعات پاپاکوستاس و همکاران (۲۰۰۹)، فرانک (۲۰۰۵)، وانگ و همکاران (۲۰۱۴)، اینویدیا و گیسی (۲۰۱۶)، و اسپنگوس و لینگ (۲۰۱۷) نشان داد که براساس برون‌داد مدل‌های شبیه‌سازی‌کنندهٔ تغییر اقلیم دورهٔ آینده، نیاز سرمایشی و گرمایشی دورهٔ آینده در اثر افزایش دمای هوا تغییر خواهد کرد و در این میان نیاز سرمایشی سیر افزایشی و نیاز گرمایشی سیر کاهشی به همراه خواهد داشت. مطالعات روزا و همکاران (۲۰۱۵) بیانگر این است که براساس بررسی بلندمدت آمار دمای هوا، روند افزایشی در نیاز سرمایشی و روند کاهشی در نیاز گرمایشی وجود دارد. جیلا و همکاران (۲۰۱۵) و لی و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر مصرف انرژی در ساختمان‌های مختلف مشخص کردند که تغییرات اقلیمی موجب افزایش نیاز سرمایشی در بیشتر ماه‌های سال در ساختمان‌ها می‌شود.

یزدان‌پناه و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعات خود اذعان کردند که، با توجه به برون‌داد مدل‌های گردش کلی جو در دورهٔ آینده، تعداد روزهای دارایِ آسایش اقلیمی کاهش می‌یابد.

مطالعات مسعودیان و همکاران (۱۳۹۰) و انتظاری و همکاران (۱۳۹۶) نشان داد که براساس داده‌های واقعی میزان نیاز سرمایشی افزایش یافته است. براساس مطالعات بابائیان و همکاران (۱۳۹۳)، با توجه به برون‌داد مدل‌های گردش کلی جو تحت سناریوهای انتشار مختلف در آینده، شرایط آسایش اقلیمی به سمت شرایط نامساعد بیشتر گرایش نشان خواهد داد. بابائیان و همکاران (۱۳۹۵)، براساس برون‌داد مدل‌های گردش عمومی جو، مشخص کردند که، با توجه به افزایش میانگین دمای کشور در آینده، میزان تقاضای انرژی برق در کشور تا ۱۱۷ مگاوات نسبت به دورهٔ ۱۳۸۶–۱۳۹۰ افزایش می‌یابد. احمدی و همکاران الف (۱۳۹۶) اذعان کردند که تغییرات فضایی نیاز گرمایشی مبتنی بر ارتفاع است و افزایش نیاز گرمایشی رابطهٔ مستقیمی با توپوگرافی پیچیدهٔ محلی دارد. ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۶) مشخص کردند که در افق‌های ۲۰۲۰–۲۰۳۰ و ۲۰۴۰–۲۰۵۰ بیشترین افزایش نیاز سرمایشی در مناطق پست سواحل جنوبی و به‌ویژه جنوب شرقی کشور و مناطق مرکزی و به‌صورت خفیف‌تر در سواحل شمال قابل انتظار است. در مجموع، نتایج بیانگر افزایش نیاز سرمایشی و کاهش نیاز گرمایشی برای آینده در ایران است. مطالعات ایمانی‌پور و همکاران (۱۳۹۷) نشان داد که مرز پهنه‌بندی نیاز گرمایشی در دورهٔ آینده دچار تغییر خواهد شد و در بعضی ماه‌ها در اثر گرمایش هوا نیازمند استفادهٔ کمتر از وسایل گرمازا در آینده است.

بررسی منابع نشان داد که مسئلهٔ تغییر اقلیم یکی از چالش‌های مهمِ زیست‌محیطی محسوب می‌شود. افزایش دمای هوا پیامدهای قابل توجهی بر وضعیت انرژی و تأمین نیاز سرمایشی و گرمایشی در مناطق سکونتگاه‌های بشری به‌خصوص شهرها به جای خواهد گذاشت. مطالعات، با بررسی دادهٔ واقعی دورهٔ گذشته، روند افزایشی و کاهشی به‌ترتیب برای نیاز سرمایشی و گرمایشی را نشان داده‌اند. همچنین، برون‌داد مدل‌های گردش کلی جو برای دورهٔ آینده تحت سناریوهای مختلف نشان داده که تغییرات نیاز سرمایشی بیشتر از نیاز گرمایشی خواهد بود. با توجه به اهمیت پدیدهٔ تغییر اقلیم و همچنین افزایش جمعیت و بالارفتن تقاضا برای انرژی، ضرورت اجرای چنین مطالعه‌ای در زمینهٔ پیش‌نگری و ارائهٔ تصویری از اثرهای تغییرات اقلیمی بر نیاز سرمایشی و گرمایشی این استان براساس ایستگاه‌های منتخب را بیشتر می‌کند.

بر اثر گرمایش جهانی، شاهد افزایش میانگین دمای کشور در دهه‌های آتی نسبت به گذشته خواهیم بود. در نتیجه، کشور در دهه‌های آینده با بحران افزایش مصرف انرژی برای سرمایش یا خنک‌کردن محیط به‌خصوص در فصل گرم مواجه خواهد بود. توجه به شرایط اقلیمی در معماری سکونتگاه‌ها و تعیین نیاز سرمایشی و گرمایشی حائز اهمیت است. سکونتگاه‌های شهری در استان ایلام از تغییرات احتمالی دورهٔ آینده مستثنا نیست. بنابراین، نگارندگان در تحقیق حاضر سعی دارند وضعیت نیاز گرمایشی و سرمایشی تحت شرایط تغییر اقلیم در سطح ایستگاه‌های منتخب استان ایلام را براساس سناریوهای واداشت تابشی و سری مدل‌های پایگاه دادهٔ تغییر اقلیم CMIP5 به‌منظور بررسی پتانسیل و مدیریت مصرف انرژی در منطقه بررسی کنند.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

استان ایلام، با ۲۰۰۷۷ کیلومترمربع مساحت، حدود ۱٫۴درصد کل مساحت کل کشور را دربر می‌گیرد. این استان بین محدودهٔ ۳۱ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۵ دقیقهٔ عرض شمالی از خط استوا و ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۰

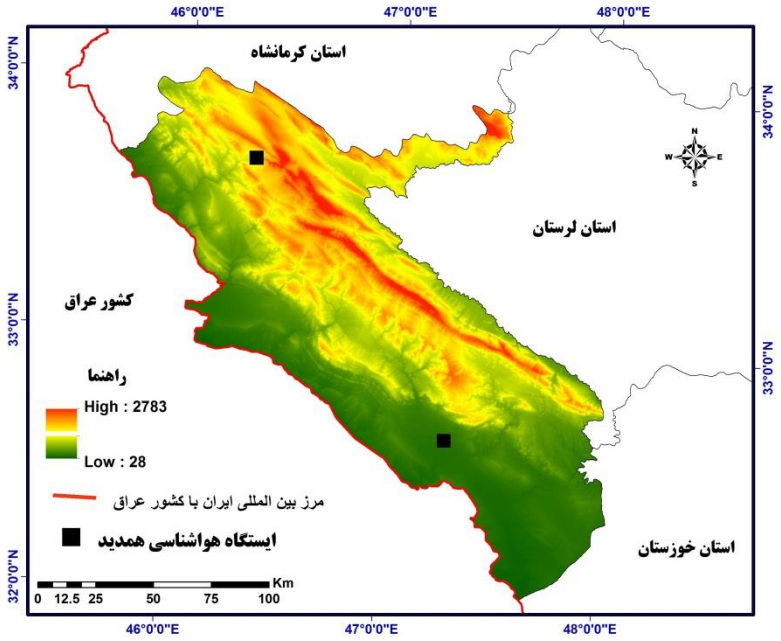
دقیقهٔ طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ در گوشهٔ جنوب غربی کشور واقع شده است. این استان از سمت جنوب با استان خوزستان، از شرق با استان لرستان، و از شمال با استان کرمانشاه همسایه است. از طرف غرب و جنوب غربی بیش از ۴۲۵ کیلومتر مرز مشترک با کشور عراق دارد (احمدی و شائمی، ۱۳۹۱: ۷۶). شکل ۱ موقعیت استان ایلام را نشان می‌دهد.

داده‌های تحقیق

در مطالعهٔ حاضر آمار و اطلاعات دورهٔ گذشته به‌عنوان دادهٔ مشاهده‌ای برای ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه (ایلام و دهلران) از سازمان هواشناسی کشور برای دورهٔ ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ تهیه و استخراج شد. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ مشخص شده است. شکل ۱ نیز موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. این دو ایستگاه به‌عنوان نمایندهٔ سکونتگاه‌های مناطق معتدل و سردسیر و مناطق گرم و خشک مشخص شده است.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی همدید مورد مطالعه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی E	عرض جغرافیایی N	ارتفاع از سطح دریا m	وضعیت اقلیمی ایستگاه‌ها
ایلام	۴۶ ۳۹	۳۳ ۵۸	۱۳۳۷	معتدل کوهستانی
دهلران	۴۷ ۲۸	۳۲ ۶۸	۲۳۲	گرم و خشک



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه و ایستگاه‌های هواشناسی منتخب مورد مطالعه

نخست، براساس آمار واقعی، وضعیت و روند تغییرات نیاز سرمایشی و گرمایشی برای ایستگاه‌های مورد مطالعه مشخص شد. برای دست‌یابی به دادهٔ دورهٔ آینده از برون‌داد مدل‌های پایگاه داده‌های تغییر اقلیم CMIP5 استفاده شد. مشخصات مدل‌ها در جدول ۲ مشخص شده است. داده‌های دورهٔ آیندهٔ این مدل‌ها تحت سناریوهای تغییر اقلیم از پایگاه دادهٔ ریزمقیاس‌شدهٔ جهانی MarkSIMGCM استخراج شد. این پایگاه به‌عنوان یک پایگاه تحت وب دادهٔ شبیه‌سازی‌شدهٔ دورهٔ آینده را براساس ۱۷ مدل CMIP5 در چهار خط سیر سناریوهای واداشت تابشی از سال ۲۰۲۰ تا

۲۰۹۵ ارائه می‌کند. پایگاه یادشده به‌عنوان یک ابزار مبتنی بر وب، با استفاده از مدل تصادفی مرتبهٔ سوم مارکوف، داده‌های دمای کمینه و بیشینه، بارش، و تابش آفتاب به روزانه را ریزگردانی می‌کند (جونز و تورنتون، ۲۰۱۳؛ نوری و همکاران، ۲۰۱۷؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۸).

برای ارزیابی عملکرد مدل‌های شبیه‌سازی‌کنندهٔ دمای هوا در دورهٔ آینده در مقایسه با دورهٔ پایه از شاخص‌های آماری اعتبارسنجی انجام شده است. این شاخص‌ها R، RMSE، MBE، و MAE را شامل می‌شوند. در این معیارها، که جزو متداول‌ترین معیارها برای خطاسنجی محسوب می‌شوند، دادهٔ برون‌داد مدل برای دورهٔ آینده برای مؤلفهٔ دمای هوا با دادهٔ دورهٔ پایه (۱۹۸۵–۲۰۱۰) مقایسه و انطباق داده شد. این معیارها از طریق معادله‌های ۱ تا ۴ (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۸) محاسبه می‌شوند.

جدول ۲. مشخصات مدل‌های CMIP5 استفاده‌شده در تحقیق

نام مدل	تفکیک فضایی	نام مؤسسه یا آژانس تهیه‌کننده	کشور تهیه‌کنندهٔ مدل
Bcc-csm1-1	2.8 deg x 2.8 deg	مرکز اقلیم‌شناسی بیجینگ، ادارهٔ هواشناسی چین	چین
HadGEM2-ES	1.88 deg x 1.25 deg	مرکز مطالعات هواشناسی هدلی، بریتانیا	بریتانیا
GFDL-ESM2G	2.5 deg x 2.0 deg	آزمایشگاه حرکات و سیالات ژئوفیزیکی (نووا)، ایالات متحدهٔ امریکا	ایالات متحدهٔ امریکا

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \quad (۱)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i}^{n}|P_i - O_i|}{n} \quad (۲)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i}^{n}(P_i - O_i)}{n} \quad (۳)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum(P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})\right)^2}{\sum(P_i - \bar{P})^2 \sum(O_i - \bar{O})^2} \quad (۴)$$

در رابطه‌های فوق، P_I مقدار برآوردشده، O_i مقدار اندازه‌گیری‌شده، $\bar{P}$ میانگین مقادیر برآوردشده، $\bar{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری‌شده، و n برابر تعداد مقایسه‌هاست. مقدار آماره RMSE همواره مثبت است و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقدار R^2 از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهندهٔ برازش بهتر داده‌هاست.

محاسبهٔ نیاز گرمایشی HDD و نیاز سرمایشی CDD

برای محاسبهٔ درجهٔ روزهای گرمایش از آستانه‌های دمایی متفاوتی بسته به اهداف و ویژگی‌های اقلیمی منطقه استفاده می‌شود. به‌طور کلی، برای حدود آسایش انسان ارقام ۱۹ تا ۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد پیشنهاد شده است. در شرایط اقلیمی ایران نیز محققان ارقام مختلفی پیشنهاد کرده‌اند که اعداد ۲۰ و ۲۴٫۵ درجهٔ سانتی‌گراد اعداد مطلوبی است (فرجی و همکاران، ۱۳۸۷؛ انتظاری و همکاران، ۱۳۹۶). برای محاسبهٔ نیاز گرمایشی از آستانهٔ دمایی ۱۸٫۳ درجهٔ سانتی‌گراد (رابطهٔ ۵) و برای نیاز سرمایشی از آستانهٔ دمایی ۲۳٫۹ درجهٔ سانتی‌گراد (رابطهٔ ۶) طبق تعریف انجمن استاندارد امریکا (انجمن استاندارد علوم ایالات متحدهٔ امریکا) استفاده شد (احمدی و همکاران الف، ۱۳۹۶؛ ابراهیمی و مهدوی‌نژاد، ۱۳۹۶).

$$CDD = \sum (T_{Mean} - T_b) \qquad T_b = 23/9 \tag{۵}$$

$$T_b = 18.3 \; HDD = \sum (T_b - T_{Mean}) \tag{۶}$$

در رابطه‌های بالا T_{Mean} میانگین دمای روزانه، T_b به‌ترتیب برابر با ۲۳٫۹ و ۱۸٫۳درجهٔ سانتی‌گراد مشخص شده است. در ادامه نیاز سرمایشی و گرمایشی بر روی سری داده‌های دورهٔ پایه و آینده اعمال شد و نتایج به‌صورت نمودار و جدول مقایسه و تحلیل شد.

یافته‌های پژوهش

نتایج اعتبارسنجی مدل‌های شبیه‌سازی‌کننده برای مؤلفهٔ دمای هوا براساس معیارهای ارزیابی

نتایج ارزیابی عملکرد و مقایسهٔ مدل‌های پیشنهادشدهٔ گردش کلی جو برای مؤلفهٔ دمای هوا در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ مشاهده‌ای (۱۹۸۵–۲۰۱۰) براساس معیارهای ارزیابی در جدول ۳ مشخص شده است. نتایج نشان داد که مدل‌های پیشنهادشده از انطباق نسبتاً زیادی با دادهٔ مشاهده‌ای برخوردار است، اما مدل HadGEM2-ES از انطباق بیشتری برخوردار است. نتایج مطالعات (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۸) نیز توانایی مدل یادشده برای شبیه‌سازی دمای دورهٔ آینده را حائز اهمیت دانستند. مدل HadGEM2.ES مؤلفه‌های عمده‌ای چون جو، اقیانوس، و یخ– دریا با و بدون بُعد عمودی در مدل جو تا استراتوسفر و مؤلفه‌های سامانهٔ زمینی شامل چرخهٔ کربن خشکی و اقیانوسی و شیمی جو را دربر می‌گیرد (مارتین و همکاران، ۲۰۱۱).

جدول ۳. نتایج معیارهای ارزیابی از برون‌داد مدل‌ها نسبت به دورهٔ مشاهده‌ای (۱۹۸۵–۲۰۱۰) برای مؤلفهٔ دمای هوا

مدل‌های	معیارهای ارزیابی			
CMIP5	R	MAE	MBE	RMSE
BCC-CSM1.1	۰٫۹۴	۴٫۷۱	۱۱٫۰۵	۱٫۹۹
HadGEM2-ES	۰٫۹۶	۲٫۴۰	۱۰٫۴۹	۱٫۷۱
GFDL-ESM2G	۰٫۹۳	۳٫۵۱	۱۲٫۷۲	۲٫۱۲

وضعیت و برآورد نیاز سرمایشی و نیاز گرمایشی در دورهٔ پایه

نتایج برآورد نیاز سرمایشی و گرمایشی شهر ایلام در دورهٔ پایه در جدول ۴ مشخص شده است. نتایج نشان داد که در ایستگاه ایلام از نظر نیاز سرمایشی، براساس آمار دمای بیشینهٔ روزانه، اولین رخداد ۲۳٫۹ درجهٔ سانتی‌گراد در اوایل تیرماه و آخرین رخداد این آستانه در ۱۵ شهریورماه رخ می‌دهد. بنابراین، از زمان اولین تا آخرین رخداد این آستانهٔ دمایی برای یک

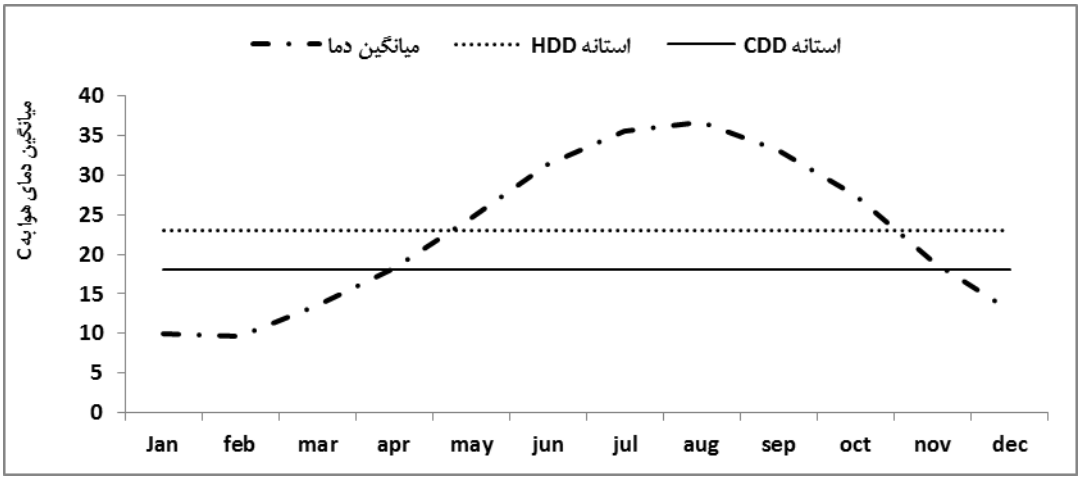
بازهٔ زمانی ۷۵روزه، مجموع درجهٔ روز فعال تجمعی روزانه به میزان ۲۷۰ درجهٔ روز می‌رسد. در این ایستگاه بیشترین نیاز سرمایشی برای تعدیل دمای محیط در ماه‌های تیر و مرداد به‌ترتیب ۶۶ و ۷۰ درجهٔ روز فعال رخ می‌دهد. در طول سال، با توجه به شرایط دمایی منطقه، در ماه‌های خرداد تا شهریور در شبانه‌روز نیاز سرمایشی برای تعدیل دمای محیط ضروری است و در مهرماه فقط در روز نیاز سرمایشی لازم است. در دیگر ماه‌های سال نیاز سرمایشی ضرورت ندارد. در ایستگاه ایلام از نظر نیاز گرمایشی، اولین رخداد آستانه ۱۸٫۳ درجهٔ سانتی‌گراد در منطقهٔ مورد مطالعه در ۲۰ مهرماه رخ می‌دهد. از زمان اولین تا آخرین رخداد آستانهٔ مورد نظر مقدار درجهٔ روز فعال به ۱۹۴۴ درجهٔ روز می‌رسد (جدول ۳). بنابراین، در این ایستگاه به‌صورت تجمعی ۱۹۴۴ درجهٔ روز نیاز گرمایشی برای محیط لازم است. این شرایط دمایی مشخص می‌کند که در منطقهٔ مورد مطالعه نیاز گرمایشی بیشتر از نیاز سرمایشی در اولویت است. براساس شرایط دمایی در طول سال، کمترین مقدار نیاز گرمایشی با ۳ درجهٔ روز در مهرماه و بیشترین مقدار با ۵۰۵ درجهٔ روز در دی‌ماه رخ می‌دهد.

در ایستگاه ایلام در هشت ماه سال نیاز گرمایشی متناسب با شرایط دمایی منطقه ضروری است. ماه‌های اردیبهشت و مهر به‌علت قرارگیری در مرز جابه‌جایی فصول با سرمای شبانه و گرمای روزانه موجب شده که میزان نیاز گرمایشی در این ماه‌های سال نیز تا اندازه‌ای مورد نیاز باشد. بنابراین، با توجه به شرایط اقلیمی در دورهٔ پایه، در شهر ایلام بیشتر نیاز گرمایی اولویت دارد تا نیاز سرمایشی؛ زیرا در هشت ماه سال نیاز گرمایشی برای کاهش سختی محیط و افت دمای هوا در نیمه‌سرد سال لازم است.

جدول ۴. برآورد نیاز گرمایشی و سرمایشی براساس آمار درجهٔ حرارت و زمان رخداد آستانه‌های دمایی در ایستگاه ایلام

	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	مجموع
نیاز سرمایشی	–	–	۳۷	۶۶	۷۰	۲۶	–	–	–	–	–	–	۲۰۷
نیاز گرمایشی	۲۲۲	۷۷	–	–	–	–	۳	۲۲۳	۳۸۹	۵۰۵	۴۶۵	۳۸۹	۱۹۴۴
نوع انرژی	گرمایش در شب	گرمایش در شب	سرمایش	سرمایش	سرمایش	سرمایش	سرمایش در روز	گرمایش	گرمایش	گرمایش	گرمایش	گرمایش	

به‌منظور شناخت بیشتر، با استفاده از میانگین دمای هوای ایستگاه‌های مورد مطالعه در دورهٔ پایه، آستانه‌های دمایی تعیین نیاز سرمایشی و گرمایشی بر روی منحنی دمای میانگین هوای ماهانه اعمال شد که براین اساس وضعیت نیاز سرمایشی و گرمایشی در ماه‌های مختلف مشخص شود. در این راستا، نخست وضعیت نیاز سرمایشی و گرمایشی ماهانه بر مبنای میانگین دمای ماهانه برای ایستگاه ایلام به‌عنوان نمایندهٔ مناطق سردسیر و کوهستانی در شکل ۲ مشخص شده است. نتایج نشان می‌دهد که، براساس آستانهٔ نیاز سرمایشی CDD، وضعیت میانگین دمای ماهانهٔ منطقهٔ مورد مطالعه از خرداد تا شهریورماه بالاتر از آستانهٔ مورد نظر قرار گرفته است. بنابراین، برای این بازهٔ زمانی نیاز سرمایشی لازم است. براساس آستانهٔ نیاز گرمایشی HDD، میانگین دمای ماهانه در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، مهر، آبان، آذر، دی، بهمن، و اسفند کمتر از آستانهٔ مورد نظر است. بنابراین، برای این ماه‌های سال نیاز گرمایی ضروری است.



شکل ۲. شرایط حرارتی ماهانه همراه با آستانه‌های حرارتی نیاز گرمایشی و سرمایشی ایستگاه ایلام

در ایستگاه دهلران براساس بیشینهٔ دمای روزانه اولین رخداد ۲۳/۹ درجهٔ سانتی‌گراد در ماه اسفند و آخرین رخداد این آستانه در آبان‌ماه رخ می‌دهد. بنابراین، از اولین تا آخرین زمان رخداد این آستانهٔ دمایی برای یک بازهٔ زمانی نُه‌ماهه برابر با ۲۷۰ درجهٔ روز تجمعی مجموع نیاز سرمایشی برابر با ۸۰۸ درجهٔ روز است (جدول ۵). نتایج نشان داد که شهر دهلران به‌دلیل موقعیت جغرافیایی و همچنین شرایط اقلیمی یکی از شهرهای گرمسیری ایران محسوب می‌شود که نیاز سرمایشی در این منطقه از اهمیت حیاتی برخوردار است. شرایط دمایی این منطقه طوری است که از فروردین تا آبان‌ماه نیاز سرمایشی برای تعدیل دمای محیط ضروری است. درواقع، پتانسیل و انباشت گرمایی منطقه بالاتر از آستانهٔ تحمل انسان است. بنابراین، برای تعدیل و خروج از این شرایط نامساعد بیوکلیمایی، بایستی در محیط و سکونتگاه نیاز سرمایشی شکل بگیرد.

از نظر نیاز گرمایشی، منطقهٔ دهلران شرایط متفاوتی نشان می‌دهد؛ به‌طوری‌که فقط در ماه‌های دی و بهمن نیاز گرمایشی به‌ترتیب ۱۰۰ و ۵۶ درجهٔ روز ضروری است. در ماه‌های آذر و دی، شرایط بینابین وجود دارد و شرایط متعادل در محیط وجود دارد و احتیاجی به نیاز گرمایشی نیست و از طرفی دیگر نیاز سرمایشی نیز به‌دلیل خنکایی محیط لازم نیست. بنابراین، به‌طور کلی، ۱۵۶ درجهٔ روز نیاز گرمایشی برای شهر دهلران در ایام سرد سال لازم است. پتانسیل گرمایی این شهر گرمسیری بهینه‌سازی مصرف انرژی برق صرفه‌جویی و برنامه‌ریزی‌های لازم در این زمینه را حائز اهمیت می‌سازد.

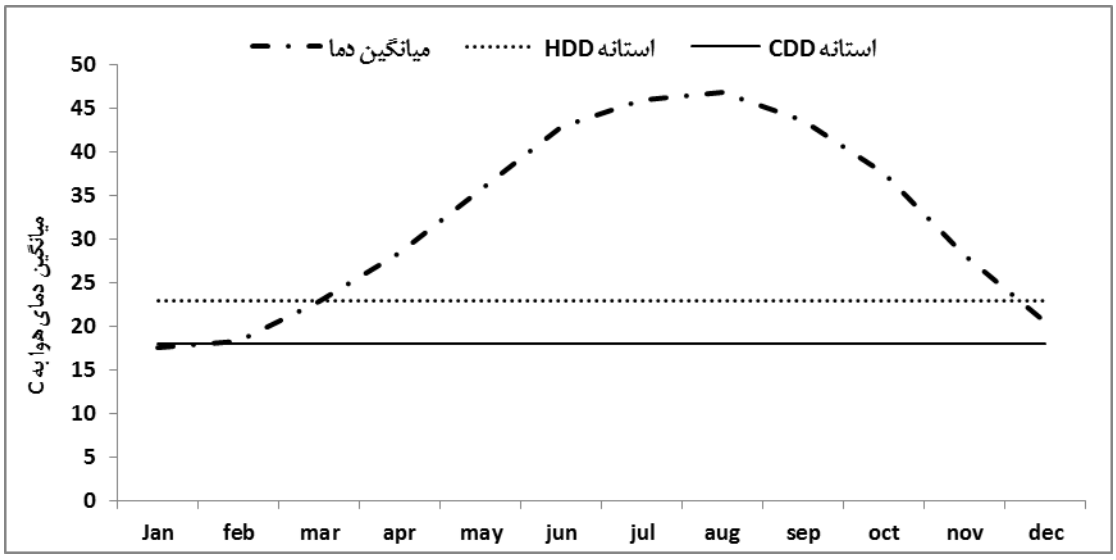
به‌طور کلی، یافته‌های این بخش نشان داد که شرایط دمایی نقش مؤثری در وضعیت و تعیین مقدار نیاز سرمایشی و گرمایشی سکونتگاه‌های بشری ایفا می‌کند. توجه به ملاحظات اقلیمی و فراسنج دمای روزانه، برای طراحی همساز با اقلیم و همچنین بهینه‌سازی مصرف انرژی حائز اهمیت است. توجه به امر انرژی در مناطق مختلف از طریق بررسی توان و انباشت گرمایی محیط براساس آمار دمای هوای روزانه در بلندمدت حائز اهمیت است.

در ادامه وضعیت پتانسیل و نیاز گرمایی ماهانهٔ شهر دهلران از طریق آمار میانگین دمای ماهانهٔ ایستگاه هواشناسی دهلران در شکل ۳ مشخص شده است. نتایج نشان داد که براساس میانگین دمای هوا و آستانه‌های نیاز سرمایشی و گرمایشی در این منطقه شرایط متفاوتی در وضعیت نیازهای گرمایشی و سرمایشی وجود دارد. برای آستانهٔ نیاز گرمایشی، میانگین دمای هوا بالاتر از مقدار آستانه وجود دارد و در ماه‌های بسیار سرد تقریباً برابر است. منحنی نیاز گرمایشی و

سرمایشی شهر دهلران به‌صورت گنبدی‌شکل است که نشان‌دهندهٔ گرمای بسیار زیاد محیط و شرایط دمایی نامساعد و زیاد برای انسان است. برخلاف ایستگاه ایلام، در این ایستگاه، منحنی میانگین دمای هوا به پایین‌تر از آستانهٔ گرمایی نزول نکرده و فقط در آستانهٔ نیاز سرمایشی است که به‌شدت اوج منحنی مشاهده می‌شود (شکل ۳). درواقع، نیاز سرمایشی منطقه بسیار حیاتی و ضروری است.

جدول ۵. برآورد نیاز گرمایشی و سرمایشی براساس آمار درجهٔ حرارت و زمان رخداد آستانه‌های دمایی در ایستگاه دهلران

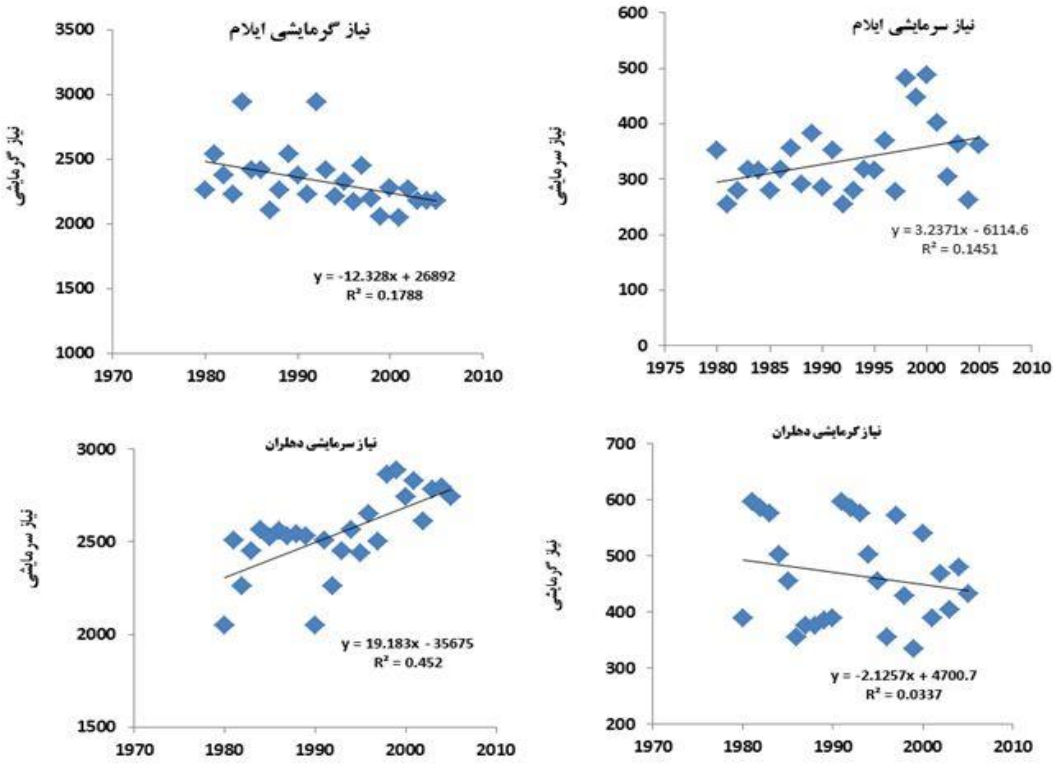
	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	مجموع
CDD نیاز سرمایی	۴۶	۵۶	۱۱۰	۱۵۰	۲۱۰	۱۰۰	۸۰	۵۶	–	–	–	–	۸۰۸
HDD نیاز گرمایی	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۰۰	۵۶	–	۱۵۶
نوع انرژی	سرمایش در روز	سرمایش در روز	سرمایش شبانه‌روز	سرمایش شبانه‌روز	سرمایش شبانه‌روز	سرمایش شبانه‌روز	سرمایش شبانه‌روز	سرمایش در روز	گرمایش در شب	گرمایش در شب	گرمایش در شب	بدون نیاز	



شکل ۳. شرایط حرارتی ماهانه همراه با آستانه‌های حرارتی نیاز گرمایشی و سرمایشی ایستگاه دهلران

تغییرات نیاز گرمایشی در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه

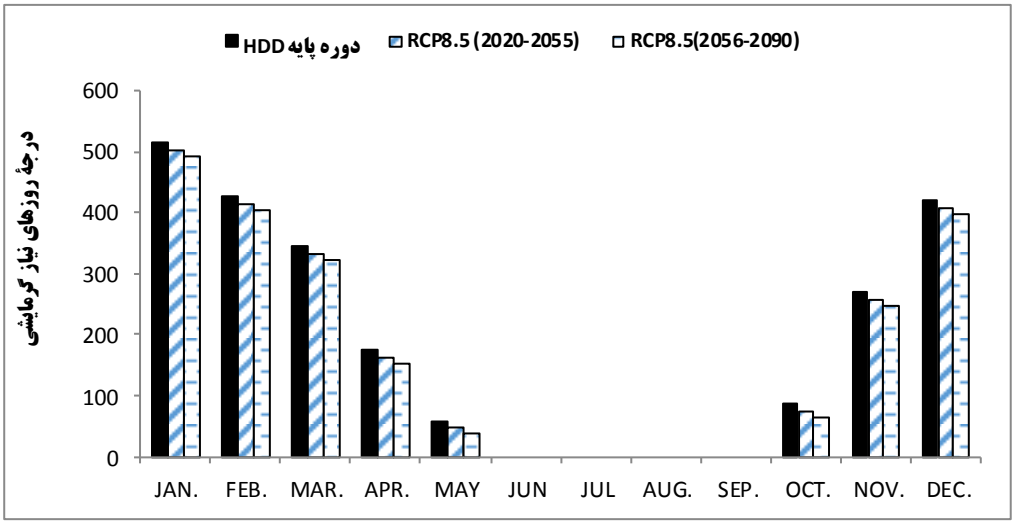
با توجه به عدم قطعیت حاکم بر دورهٔ آینده، برای ارتباط بیشتر با این شرایط، در این راستا، نخست به بررسی تغییرات نیاز سرمایشی و گرمایشی در دورهٔ پایه براساس آمار واقعی اقدام شد. این شرایط براساس آمار واقعی دورهٔ مشاهده‌شده برای ایستگاه‌های ایلام و دهلران در شکل ۴ مشخص شده است. همان‌طورکه در هر دو ایستگاه مشخص شده، در سری بلندمدت نیاز سرمایشی هر دو ایستگاه روند افزایشی مشاهده می‌شود. در سری نیاز گرمایشی هر دو ایستگاه مورد مطالعه نیز روند کاهشی مشاهده می‌شود. شیب قابل توجهی در سری بلندمدت نیاز سرمایشی و گرمایشی مشاهده می‌شود. بنابراین، بررسی آمار واقعی دورهٔ گذشته نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر سیطرهٔ دماهای گرم‌تر در ایام سرد و گرم سال بیشتر وجود داشته که برون‌داد آن برای انسان به‌صورت افزایش نیاز سرمایشی و کاهش نیاز گرمایشی بوده است.



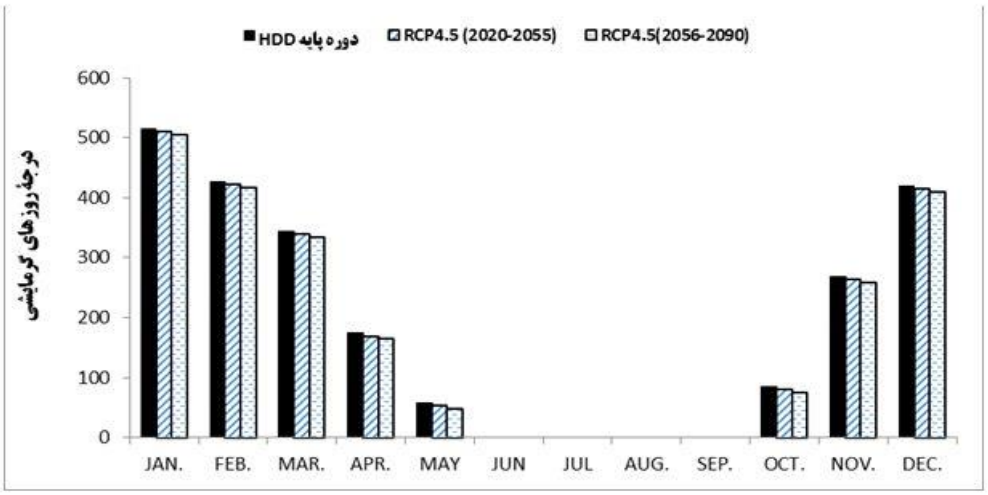
شکل ۴. تغییرات نیاز سرمایشی و گرمایشی ایستگاه‌های ایلام و دهلران در دورهٔ گذشته براساس دادهٔ واقعی

نتایج تغییرات نیاز گرمایشی دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه برای ایستگاه ایلام در شکل‌های ۵ و ۶ مشخص شده است. نتایج نشان داد که در سناریوی RCP8.5 یا بدبینانه مقدار نیاز گرمایشی در بیشتر ماه‌های سال در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه کاهش خواهد یافت. بیشترین نیاز گرمایشی در ایستگاه ایلام در ماه ژانویه و فوریه رخ می‌دهد. دورهٔ نیاز گرمایشی در منطقه از اکتبر آغاز می‌شود و تا می ادامه می‌یابد. دورهٔ آیندهٔ میانی تا ۱۰ درجهٔ روز و در آیندهٔ دور تا ۲۰ درجهٔ روز در میزان نیاز گرمایشی کاهش رخ خواهد داد. بنابراین، در خط سیر واداشتی بدبینانه مقدار نیاز گرمایشی به‌صورت ناچیزی کاهش خواهد یافت. براساس سناریوی حد وسط مقدار RCP4.5 مقدار نیاز گرمایشی کاهشی ناچیز و جزئی نشان خواهد داد. بنابراین، در وضعیت دورهٔ آینده مقدار نیاز گرمایشی برای ایستگاه ایلام کاهش خواهد یافت.

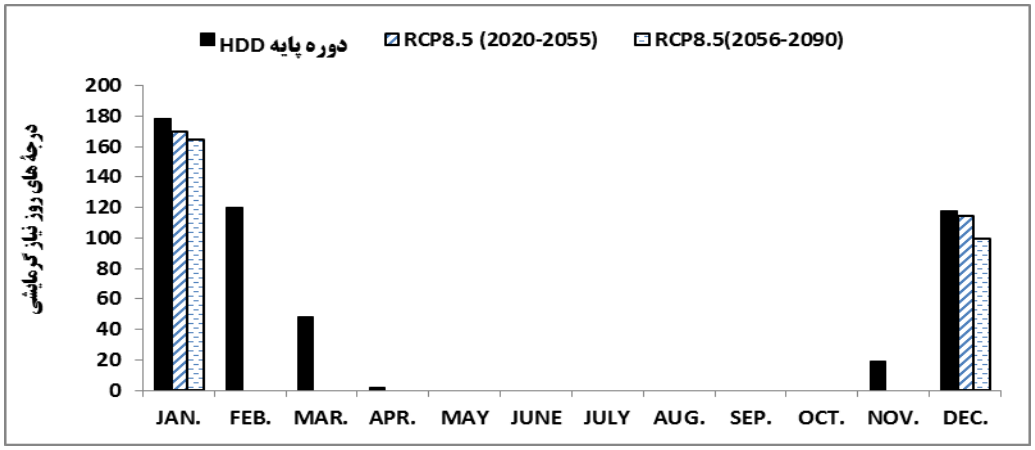
نتایج تغییرات نیاز گرمایشی ایستگاه دهلران در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه خط سیر واداشتی RCP8.5 در شکل ۷ مشخص شده است. نتایج نشان داد که در ایستگاه دهلران در این سناریو مقدار نیاز گرمایشی در ماه‌های سرد سال در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه کاهش خواهد یافت. در ایستگاه دهلران، به‌دلیل افزایش دماها و انباشت گرمایی بیشتر در این منطقه، میزان نیاز گرمایشی کاهش قابل توجهی خواهد داشت. درواقع، با مقایسهٔ درجهٔ روزهای دورهٔ آینده با دورهٔ پایه، مشاهده شد که درجهٔ روزهای فعال بالاتر از آستانهٔ نیاز گرمایشی بیشتر رخ خواهد داد. در نتیجه، نیاز گرمایشی در این منطقه کاهش خواهد یافت. بنابراین، نیاز گرمایشی مناطق گرمسیر کاهش می‌یابد و در مناطق سردسیر نیز بازهٔ زمانیِ نیازمند به درجهٔ روزهایِ گرمایشی علاوه‌براینکه کاهش خواهد یافت، بازهٔ زمانی آن نیز کوتاه‌تر خواهد شد. نتایج تغییرات نیاز گرمایشی دورهٔ آینده در سناریوی حد وسط RCP4.5 در شکل ۸ مشخص شده است. در سناریوی حد وسط نیز مقدار نیاز گرمایشی دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ گذشته یا پایه در ایستگاه دهلران کاهش خواهد یافت.



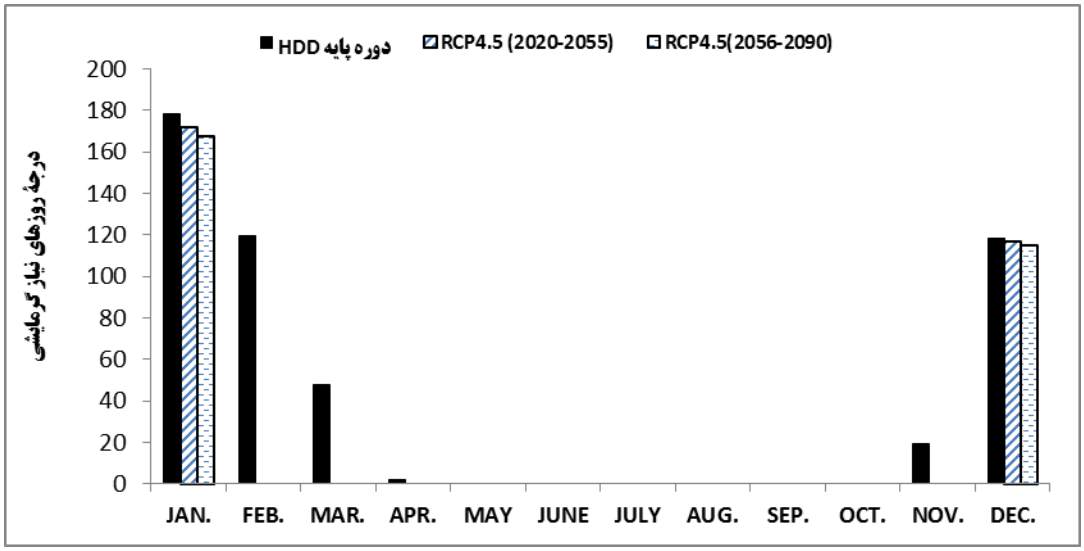
شکل ۵. تغییرات درجهٔ روزهای نیاز گرمایشی ایستگاه ایلام در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه براساس سناریوی RCP8.5



شکل ۶. تغییرات درجهٔ روزهای نیاز گرمایشی ایستگاه ایلام در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه براساس سناریوی RCP4.5



شکل ۷. تغییرات درجهٔ روزهای نیاز گرمایشی ایستگاه دهلران در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه براساس سناریوی RCP8.5



شکل ۸. تغییرات درجهٔ روزهای نیاز گرمایشی ایستگاه دهلران در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه براساس سناریوی RCP4.5

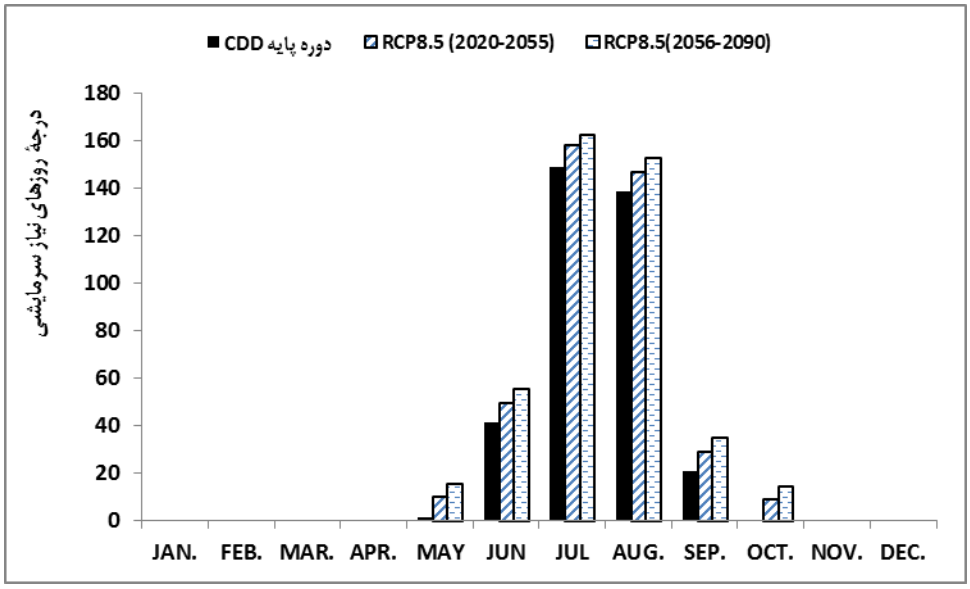
به‌طور کلی، در ایستگاه ایلام در سناریوی بدبینانه در دورهٔ آیندهٔ میانی به‌طور متوسط ۱۰ درجه و در دورهٔ آیندهٔ دور ۲۰ درجهٔ روز مقدار نیاز گرمایشی در ماه‌های سرد کاهش خواهد داشت. در ایستگاه دهلران در هر دو سناریوی بدبینانه و حد وسط مقدار نیاز گرمایشی تا ۱۰ درجهٔ روز به‌طور متوسط در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه کاهش نشان خواهد داد. درواقع، نیاز گرمایشی در دورهٔ آینده در ایستگاه‌های مورد مطالعه نسبت به دورهٔ پایه کاهش خواهد یافت.

تغییرات نیاز سرمایشی در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه

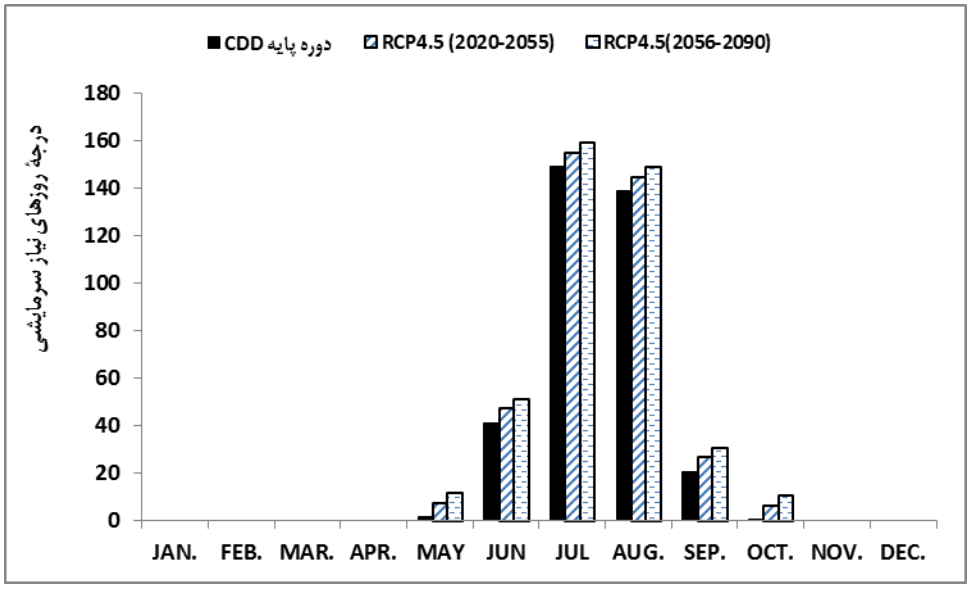
نتایج تغییرات نیاز سرمایشی در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه برای ایستگاه ایلام در خط سیر واداشتی RCP8.5 در شکل ۹ مشخص شده است. نتایج نشان داد که در دورهٔ آیندهٔ میانی و آیندهٔ دور مقدار نیاز سرمایشی به‌دلیل افزایش دمای هوا افزایش خواهد یافت. همان‌طورکه مشخص شده، نیاز سرمایشی در این ایستگاه در بازهٔ زمانی می تا سپتامبر مشخص شده است. در این بازه تا چند روز میزان نیاز سرمایشی جلوتر خواهد افتاد و همچنین اوج تقاضای نیاز سرمایشی در ماه جولای رخ خواهد داد؛ به‌طوری‌که در دورهٔ آیندهٔ میانی در ماه جولای میزان نیاز سرمایشی به ۱۵۸ درجهٔ روز و در آیندهٔ دور به ۱۶۲ درجهٔ روز افزایش خواهد یافت. در دیگر ماه‌های گرم سال نیز نیاز سرمایشی افزایش خواهد یافت.

نتایج تغییرات نیاز سرمایشی ایستگاه ایلام در خط سیر واداشتی RCP4.5 در شکل ۱۰ مشخص شده است. نتایج نشان داد که در این خط سیر واداشتی نیز مقدار نیاز سرمایشی نسبت به دورهٔ پایه افزایش خواهد داشت. به‌طور نمونه، در ماه جولای که نیاز سرمایشی ۱۴۸ درجهٔ روز بوده در دورهٔ آیندهٔ میانی و دور به‌تدریج به ۱۵۴ و ۱۵۸ درجهٔ روز افزایش خواهد یافت.

بنابراین، در ایستگاه ایلام افزایش دمای هوا موجب افزایش نیاز سرمایشی در این منطقهٔ کوهستانی و با شرایط اقلیمی معتدل و مرطوب خواهد شد. این منطقه به‌دلیل شرایط مکانی و موقعیت جغرافیایی در شرایط حال حاضر از نیاز سرمایشی کمتری برای تعدیل دمای محیط برخوردار است. اما در دورهٔ آینده به‌دلیل افزایش دمای هوا، میزان تقاضا، و بازهٔ زمانی نیاز به انرژی برای سرمایش محیط افزایش خواهد یافت. این شرایط به‌خوبی از طریق مقایسهٔ نرمال داده‌های اقلیمی در دورهٔ آینده و مقایسهٔ آن با نرمال دورهٔ گذشته مشاهده شد.



شکل ۹. تغییرات درجهٔ روزهای نیاز سرمایشی ایستگاه ایلام در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه براساس سناریوی RCP8.5

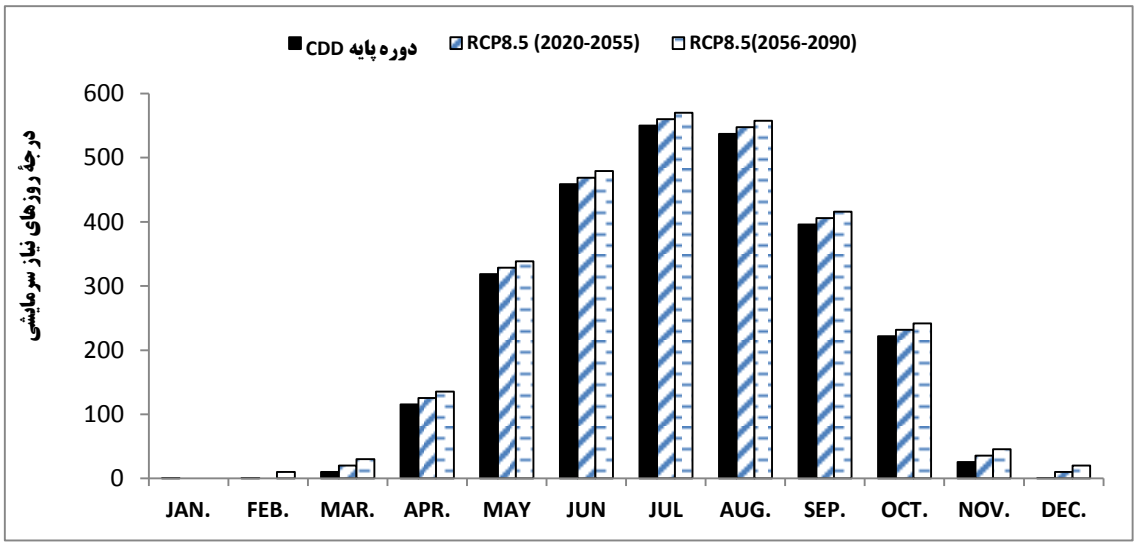


شکل ۱۰. تغییرات درجهٔ روزهای نیاز سرمایشی ایستگاه ایلام در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه براساس سناریوی RCP4.5

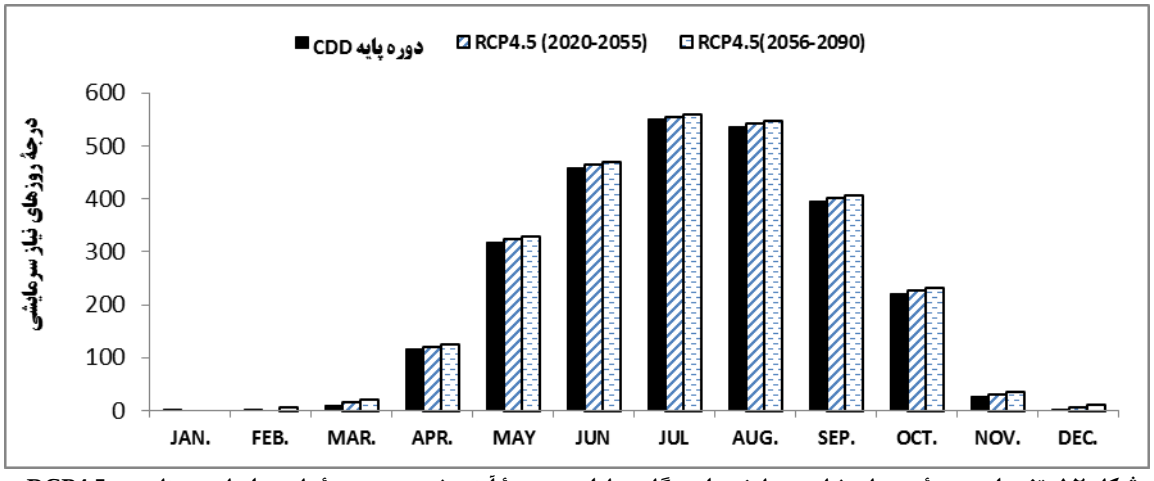
نتایج تغییرات نیاز سرمایشی دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه در خط سیر واداشتی RCP8.5 برای ایستگاه دهلران در شکل ۱۱ مشخص شده است. نتایج نشان داد که در ایستگاه دهلران وضعیت نیاز سرمایشی متفاوت‌تر از ایستگاه ایلام خواهد بود. در این ایستگاه، منطقهٔ گرمسیری مقدار نیاز سرمایشی در دورهٔ آیندهٔ میانی (۲۰۲۰– ۲۰۵۵) و آیندهٔ دور (۲۰۵۶–۲۰۹۰) نسبت به دورهٔ پایه افزایش خواهد یافت. در ایستگاه دهلران بازهٔ زمانی با نیاز سرمایشی از آوریل تا دسامبر طول خواهد کشید. تحت شرایط تغییر اقلیم دورهٔ آینده تعداد روزهای با نیاز سرمایشی به جلو خواهد افتاد و از طرفی دیگر بازهٔ زمانی با نیاز سرمایشی مورد نیاز گسترده‌تر خواهد شد. بیشترین نیاز سرمایشی در ماه‌های خرداد تا مرداد رخ خواهد داد. در ماه جولای، که مقدار نیاز سرمایشی ۵۴۹ درجهٔ روز بوده، در دورهٔ آیندهٔ میانی به ۵۵۹ و در دورهٔ آیندهٔ

دور به ۵۶۹ درجهٔ روز سرمایشی افزایش خواهد یافت. درواقع، به ازای هر دورهٔ ۱۰ تا ۱۲ درجهٔ روز بر میزان نیاز سرمایشی افزوده شده است.

نتایج تغییرات نیاز سرمایشی دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه در شکل ۱۲ مشخص شده است. نتایج نشان داد که در این خط سیر واداشتی RCP4.5 نیز مقدار نیاز سرمایشی در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه افزایش خواهد یافت. بنابراین، مقدار نیاز سرمایشی با توجه به افزایش دمای هوا در ایستگاه دهلران بسیار حیاتی‌تر از ایستگاه ایلام خواهد بود. در هر دو خط سیر واداشت تابشی مورد مطالعه هر گونه تغییر در الگوی دمای هوا میزان نیاز سرمایشی مناطق مختلف و شهرها را افزایش خواهد داد. در منطقهٔ ایلام و دهلران، به تناسب شرایط اقلیمی منطقه، مقدار نیاز سرمایشی، علاوه‌براینکه از نظر تعداد درجهٔ روز افزایش خواهد یافت، بر گسترهٔ بازهٔ زمانی نیاز به درجهٔ روز سرمایشی افزوده خواهد شد. همچنین، دورهٔ نیاز به درجهٔ روز سرمایشی زودتر آغاز خواهد شد و به اواسط زمستان در دهلران و به اوایل بهار در شهر ایلام کشیده خواهد شد.



شکل ۱۱. تغییرات درجهٔ روزهای نیاز سرمایشی ایستگاه دهلران در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه براساس سناریوی RCP8.5



شکل ۱۲. تغییرات درجهٔ روزهای نیاز سرمایشی ایستگاه دهلران در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ پایه براساس سناریوی RCP4.5

به‌طور کلی، در سناریوی بدبینانه در ایستگاه ایلام در دورهٔ آیندهٔ میانی و دور به‌طور متوسط به‌ترتیب ۹ و ۱۴ درجهٔ روز افزایش در نیاز سرمایشی رخ خواهد داد. در سناریوی حد وسط در دورهٔ آیندهٔ میانی و دور به‌ترتیب ۶ و ۱۰ درجهٔ روز افزایش در نیاز سرمایشی رخ خواهد داد. در ایستگاه دهلران، در الگوی سناریو در دورهٔ آیندهٔ میانی و دور به‌ترتیب ۱۰ و ۲۰ درجهٔ روز و در الگوی حد وسط در آیندهٔ میانی ۵ و در آیندهٔ دور ۱۰ درجهٔ روز نیاز سرمایشی افزایش خواهد یافت.

نتیجه‌گیری

در مطالعهٔ حاضر اثرهای تغییرات آب و هوایی بر نیاز سرمایشی و گرمایشی ایستگاه‌های منتخب استان ایلام بررسی شد. بررسی دادهٔ واقعی نشان داد که روند افزایشی و کاهشی به‌ترتیب در نیاز سرمایشی و گرمایشی در ایستگاه‌های ایلام و دهلران وجود دارد. تحت شرایط تغییر اقلیم دورهٔ آینده نیاز گرمایشی نسبت به دورهٔ پایه کاهش خواهد یافت. نتایج نشان داد که تغییر اقلیم هم مقدار هم توزیع زمانی نیاز گرمایشی و سرمایشی در طول سال را تغییر خواهد داد. بررسی برون‌داد مدل‌های شبیه‌سازی‌کنندهٔ تغییر اقلیم آینده در دو خط سیر واداشتی بدبینانه و حد وسط نشان داد که در دورهٔ آیندهٔ میانی و دور مقدار نیاز سرمایشی افزایش خواهد یافت. در مقابل مقدار نیاز گرمایشی کاهش خواهد داشت. در ایستگاه دهلران در دورهٔ آینده بازهٔ زمانی نیاز به سرمایش به ماه‌های آوریل تا دسامبر جابه‌جا خواهد شد. درواقع، تحت شرایط تغییر اقلیم دورهٔ آینده، تعداد روزهای همراه با نیاز سرمایشی به جلو خواهد افتاد و از طرفی دیگر بازهٔ زمانی نیاز سرمایشی گسترده‌تر خواهد شد. بیشترین نیاز سرمایشی در ماه‌های خرداد تا مرداد رخ خواهد داد. بنابراین، مقدار نیاز سرمایشی، با توجه به افزایش دمای هوا در مناطق گرمسیر، مانند منطقهٔ دهلران، بسیار بیشتر از مناطق مرتفع و کوهستانی مانند ایستگاه ایلام خواهد شد. در هر دو الگوی واداشت تابشی، هر گونه تغییر در الگوی دمای هوا میزان نیاز سرمایشی مناطق مختلف و سکونتگاه‌های شهری را افزایش خواهد داد. با توجه به این نتایج، تغییرات افزایشی در نیاز سرمایشی و کاهش در نیاز گرمایشی نشانهٔ بارزی از گرمایش جهانی و پیامدهای تغییر اقلیم در زمینهٔ انرژی محسوب می‌شود. بنابراین، براساس دستاوردهای مطالعهٔ حاضر، تمهیدات لازم در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی و بالابردن تاب‌آوری در مناطق گرمسیری حائز اهمیت است.

نتایج مطالعهٔ حاضر از نظر افزایش نیاز سرمایشی تحت شرایط تغییر اقلیم در تأیید مطالعات امیدوار و همکاران (۱۳۹۵) است و از نظر افزایش نیاز سرمایشی و کاهش نیاز گرمایشی در دورهٔ آینده نسبت به دورهٔ گذشته با مطالعات ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۶) همخوانی دارد. همچنین، همسو با مطالعات اسپنگوس و لینگ (۲۰۱۷) و تاروجا و همکاران (۲۰۱۸)، تغییرات نیاز سرمایشی یکی از اثرهای عمدهٔ اثرِ تغییرات آب و هوایی در سکونتگاه‌های شهری محسوب می‌شود.

منابع

ابراهیمی، ر، و مهدوی‌نژاد، ا. (۱۳۹۶). مدل‌سازی دورنمای رابطهٔ میانگین دما و درجهٔ روز سرمایش و گرمایش سالانهٔ ایران، اندیشهٔ جغرافیایی، ۹(۱۷): ۷۹–۹۸.

احمدی، ح. و شائمی، ا. (۱۳۹۱). آسایش اقلیمی شهر براساس شاخص‌های زیست‌اقلیمی (مطالعهٔ موردی: شهر ایلام)، فصل‌نامهٔ برنامه‌ریزی کالبدی– فضایی، ۱: ۷۵–۸۸.

احمدی، ح.؛ فلاح قالهری، غ.؛ باعقیده، م. و امیری، م.ا. (۱۳۹۷). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر الگوی انباشت گرمایی مناطق کشت درخت سیب در ایران در دورهٔ آینده، نشریهٔ تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۵(۲): ۳۵–۵۴.

احمدی، م. داداشی رودباری، ع. و ابراهیمی، ر. (۱۳۹۶ الف). مدل‌سازی روابط فضایی اثر توپوگرافی بر دورنمای نیاز گرمایشی ایران با استفاده از مدل میان‌مقیاس منطقه‌ای RegCM4، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۲۱(۳): ۲۷–۵۳.

احمدی، م.؛ داداشی رودباری، ع. و ابراهیمی، ر. (۱۳۹۶ ب). مدل‌سازی درجهٔ روز گرمایش و سرمایش در ایران، پژوهش‌های دانش زمین، ۸(۳۰): ۱۲۷–۱۴۰.

امیدوار، ک.؛ ابراهیمی، ر. و مزیدی، ا. (۱۳۹۵). واکاوی اثر گرمایش جهانی بر درجهٔ ساعت‌های گرمایش و سرمایش ماهانهٔ ایران، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۲۰(۲): ۴۲–۶۲.

انتظاری، ع.؛ احمدی، ح.؛ کرمی، م. و احمدی، س. (۱۳۹۶). تحلیلی بر شرایط زیست‌اقلیمی و درجهٔ روزهای نیاز گرمایشی و سرمایشی شهر اسلام‌آباد غرب، فصل‌نامهٔ جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه تبریز، ۲۶: ۱–۲۱.

ایمانی‌پور، ح.؛ کاشکی، ع.ا. و کرمی، م. (۱۳۹۷). واکاوی تغییرات نیازهای درجهٔ روز گرمایشی تحت شرایط تغییر اقلیم در استان خراسان جنوبی، نشریهٔ تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸(۵۱): ۱۹۹–۲۱۶.

بابائیان، ا.؛ رضایی‌پور، آ. و آهنگرزاده، ز. (۱۳۹۳). شبیه سازی نمایه آسایش اقلیمی در استان خراسان رضوی تحت سناریوهای تغییر اقلیم. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۵(۱۸): ۱۱۲–۹۵.

بابائیان، ا.؛ عرفانی، ع.؛ انتظاری، ع. و باعقیده، م. (۱۳۹۵). چشم‌انداز مصرف برق کشور در دورهٔ ۲۱۰۰ – ۲۰۱۱ تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی برون‌داد مدل‌های گردش عمومی جو، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۶۴(۴): ۱۳۳–۱۴۴.

ذوالفقاری، ح.؛ رحیمی، ح. و اوجی، ر. (۱۳۹۶). ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر درجهٔ روزهای گرمایشی و سرمایشی ایران، جغرافیا و پایداری محیط، ۲۲: ۱–۲۰.

ذوالفقاری، ح.؛ هاشمی، ر. و رادمهر، پ. (۱۳۸۸). تحلیلی بر نیازهای سرمایشی و گرمایشی در شمال غرب ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۰: ۲۱–۳۴.

حلیمی، م.؛ اشرف تخت، ا.؛ و رستمی، ش. (۱۳۹۲). ارزیابی و دقت‌سنجی روش‌های درون‌یابی مکانی در برآورد نیازهای گرمایشی و سرمایشی ایران، نشریه *پژوهش های اقلیم شناسی*، ۴(۱۳ و ۱۴): ۸۴–۷۳.

کاویانی، م. (۱۳۷۱). ارزیابی اقالیم حیاتی و آستانه‌های تحریک آن در سواحل دریای خزر و دامنه‌های شمالی البرز میانی، پژوهش‌های جغرافیایی، ۲۹: ۴۹–۷۲.

مسعودیان، س. ا.؛ ابراهیمی، ر. و محمدی، م. (۱۳۹۳). پهنه‌بندی مکانی– زمانی نیاز گرمایشی و سرمایشی فصلی ایران، فصل‌نامهٔ علمی– پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۳(۹۰): ۸۳–۹۰.

مسعودیان، س.ا.؛ علیجانی، ب. و ابراهیمی، ر. (۱۳۹۰). واکاوی میانگین مجموع درجهٔ روز مورد نیاز (گرمایش و سرمایش) در قلمرو ایران، پژوهش‌نامهٔ جغرافیایی، ۱: ۲۳-۳۶.

Ahmadi, H. and Shamei, A. (2013). Climatic Comfort of the City Based on Bioclimatic Indices (Case Study: Ilam City), Physical Planning Quarterly, 1: 75-88.

Ahmadi, M. Dadashi Roodbari, A, Ebrahimi, R. (2017). Spatial Relationship Modeling of Topography Effect on Iran's Heating Needs Perspective Using RegCM4 Regional Scale Model. Planning and space alignment, 21 (3): 27-53.

Ahmadi, M.; Davadhi Roudbari, A. and Ebrahimi, R. (2017). Modeling the heating and cooling day in Iran, Earth Sciences Research, 8(30): 127-140.

Babaian, A.; Mystical, A.; Waiting, A. and Say, M. (2016). Perspective of the country's electricity consumption during the period of 2011-2100 under climate change conditions using the magnitude of the output of general atmospheric circulation, Geography and environmental planning models, 64(4): 133-144.

Babaeian, A.; Rezaeipour, A.; Ahangarzadeh, Z. (2015). Simulation of climate comfort index in Khorasan Razavi province under climate change scenarios. *Geographical Studies of Dry Areas*, 5 (18): 112-95.

Ebrahimi, R. and Mahdavi Nejad, A. (2017). Modeling the perspective of the relationship between Iran's annual average annual temperature and cooling and annual heating and cooling, Geographic Thought, 9(17): 79-98.

Entezari, A.; Ahmadi, H.; Karami, M. and Ahmadi, S. (2017). Analyzing the climate and climate of the days of heating and cooling in the city of Islamabad West, Journal of Geography and Planning Tabriz University, 26: 21-1.

Frank, T. (2005). Climate Change Impacts on Building Heating and Cooling Energy Demand in Switzerland, Energy and Buildings, 37: 1175-1185.

Halimi, M.; Ashraf Takht, A.; Rostami, Sh. (2014). Evaluation and accuracy of spatial interpolation Methods in estimating heating and cooling requirement of Iran, *Journal of Climatological Research*, 4 (13 & 14): 84-73.

Imanipour, H.; Kashkee, A. and Karami, M. (2018). Evalution of Changes in the Heating degree day requirements under climate change conditions in South -Khorasan Province, Journal of Applied Geographic Sciences Researches, 18(51): 199-216.

Jylha, K.; Jokisalo, J.; Ruosteenoja, K.; Pill shhvola, K.; Kalamees, T.; Seitola, T.; Makela, H.; Hyvonen, R.; Laapas, M. and Drebs, A. (2015). Energy demand for the heating and cooling of residential houses in Finland in a changing climate, Energy and Buildings, 99(1): 104-116.

Jones, P. Thornton, P. 2013. Generating downscaled weather data from a suite of climate models for agricultural modelling applications, *Agricultural Systems* 114: 1–5.

Kaviani, M; (1990). Assessment of critical elements and thresholds for its stimulation on the shores of the Caspian Sea and the northern slopes of the Middle Alborz, Geographical Research, 29: 49-72.

Li, M.; Shi, J.; Guo, J.; Cao, J.; Niu, J. and Xiong, M. (2015). Climate Impacts on Extreme Energy Consumption of Different Types of Buildings, PloS ONE, 10(4): e0124413.

Nouri, M.; Homaee, M.; Bannayan, M.; Hoogenboom, G. (2017). Towards shifting planting date as an adaptation practice for rainfed wheat response to climate change, *Agricultural Water Management* 186: 108–119.

Martin, GM.; Bellouin, N.; Collins WJ.; Culverwell, ID.; Halloran, PR.; Hardiman, SC.; Hinton TJ et al. (2011). The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations, *Geoscientific*

Model Development, 4: 723–757Massoudian, Q.; Ah Alijani, B. and Ebrahimi, R. (1390). Analysis of the average amount of required day (heating and cooling) in the territory of Iran, Geographical Research, 1: 23-36.

Massoudian, Q.; Ebrahimi, R. and Mohammadi, M. (2014). Spatial zoning - when seasonal heating and cooling needs of Iran, Journal of Geographic Information Research (Sepehr), 23(90): 90-83.

Omidvar, K.; Ebrahimi, R. and Mazidi, A. (2016). Examining the effect of global warming on Iran's monthly heating and cooling watches, Planning and Space Approach, 20(2): 42-62.

Papakostas, K.T.; Michopoulos, A.K. and Kyriakis, N.A. (2009). Equivalent Full-load Hours for Estimating Heating and Cooling Energy Requirements in Buildings Greece, Case Study, Energy, 34: 1807-1812.

Rosa, M.D.; Bianco, V.; Scarpa, F. and Tagliafico, L.A. (2015). Historical trends and current state of heating and cooling degree days in Italy, Energy Conversion and Management, 90(15): 323-335.

Roshan, G.; Farrokhzad, M. and Attia, S. (2017). Defining thermal comfort boundaries for heating and cooling demand estimation in Iran's urban settlements, Building and Environment.

Spandagos, C. and Ling, T. (2017). Equivalent full-load hours for assessing climate change impact on building cooling and heating energy consumption in large Asian cities, Applied Energy, 189(1): 352-368.

Tarroja, B.; Chiang, F.; Aghakouchak, A.; Samuelsen, S.; Raghavan, S.; Wei, M. and Hong, T. (2018). Translating climate change and heating system electrification impacts on building energy use to future greenhouse gas emissions and electric grid capacity requirements in California, Applied Energy, 225(1): 522-534.

Invidiata, A.; Ghisi, E. (2016). Impact of climate change on heating and cooling energy demand in houses in Brazil. *Energy and Buildings*, 130: 20-32.

Wang, H. and Qingyan, C. (2014). Impact of Climate Change Heating and Cooling Energy Use in Buildings in the United States, Energy and Buildings, 82: 428-436.

Xu, P.; Huang, Y.J.; Miller, N.; Schlegel, N. and Shen, P. (2012). Impacts of climate change on building heating and cooling energy patterns in California, Energy, 44(1): 792-804.

Yazdanpanah, H.; Barghi, H. and Esmaili, A. (2016). Effect of climate change impact on tourism: A study on climate comfort of Zayandehroud River route from 2014 to 2039, Tourism Management Perspectives, 17: 82-89.

Zolfaghari, H, Rahimi, H, Ojie, R. (2017). Assessment of the effect of climate change on the degree of heating and cooling days in Iran, Geography and Environmental Sustainability, 22: 1-20.

Zolfaghari, H.; Hashemi, R. and Radmehr, P. (2010). Analysis of the heating and cooling requirements in North-west of Iran, Natural Geography Researches, 70: 21-34.