



Research Article

## Prediction of Changes in Temperature-Humidity Index in the Coming Decades According to the Climate Change Phenomenon based on Radiative Forcing Scenarios in a Dry Climate

Mehdi Asghari <sup>1</sup> , Gholamabbas Fallah Ghalhari <sup>2</sup> , Marzieh Abbasinia <sup>3</sup> , Farbod Ebadifard Azar <sup>4</sup> , Fahimeh Shakeri <sup>5</sup> , Mohammad Javad Ghanadzadeh <sup>6</sup> , Gholam Heidar Teimori <sup>7</sup> , Sanaz Karpasand <sup>8</sup> , Hossein Safari <sup>9,\*</sup>

<sup>1</sup> Associate Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran

<sup>2</sup> Professor of Climatology, Department of Geography and Tourism, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

<sup>3</sup> PhD of Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

<sup>4</sup> Department of Health Economics, School of Health Management and Information Sciences, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>5</sup> PhD of Urban Climatology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Khorasan-Razavi, Iran

<sup>6</sup> Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran

<sup>7</sup> School of Health, Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences, Torbat Heydariyeh, Iran

<sup>8</sup> Department of Industrial Engineering, Islamic Azad University West Tehran Branch, Tehran, Iran

<sup>9</sup> Assistant Professor of Health Policy Health Promotion Research Center, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

\* **Corresponding author:** Hossein Safari, Health Policy Health Promotion Research Center, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. E-mail: [hossein\\_comely1367@yahoo.com](mailto:hossein_comely1367@yahoo.com)

DOI: [10.61186/jams.26.3.51](https://doi.org/10.61186/jams.26.3.51)

### How to Cite this Article:

Asghari M, Fallah Ghalhari G, Abbasinia M, Ebadifard Azar F, Shakeri F, Ghanadzadeh MJ, et al. Prediction of Changes in Temperature-Humidity Index in the Coming Decades According to the Climate Change Phenomenon based on Radiative Forcing Scenarios in a Dry Climate. *J Arak Uni Med Sci.* 2023;**26**(3):51-61. DOI: [10.61186/jams.26.3.51](https://doi.org/10.61186/jams.26.3.51)

Received: 03 Oct 2023

Accepted: 21 Feb 2024

### Keywords:

Climate Change  
Global Warming Phenomenon  
Thermal Comfort  
Temperature  
Humidity

© 2023 Arak University of Medical Sciences

### Abstract

**Introduction:** One of the biggest environmental challenges of the 21st century is the phenomenon of climate change and global warming, which can cause numerous health problems. One significant health issue associated with climate change is the increase in the prevalence of heat stress, particularly in occupational encounters in hot outdoor environments. So this study aimed to predict and model temperature and humidity indices in the coming decades in a dry climate.

**Methods:** This study obtained daily atmospheric parameters, including minimum temperature, maximum temperature, and relative humidity of Kerman station, representing a dry climate, for a period of 30 years (1965 to 2005) from the meteorological organization. Modeling of these parameters and calculation of the Temperature and Humidity Index (THI) were performed using the atmospheric general circulation model HadGEM2-ES and the CORDEX dynamic microscaler model. Three different radiative forcing scenarios, including optimistic (RCP 2.6), intermediate (RCP 4.5), and pessimistic (RCP 8.5), were considered for the coming decades (three 30-year periods from 2011 to 2099). The Ethics Committee of Iran University of Medical Sciences (IUMS) approved the present study (Code: IR.IUMS.REC.1400.020).

**Results:** The results of the study showed an increasing trend for minimum and maximum temperature parameters in all three time periods using the three scenarios considered. Moreover, the increase in temperature in the decades of 2099-2071 was more pronounced compared to the previous decades. The results also demonstrated an increasing trend in the THI index based on all three scenarios. The average results obtained using these scenarios showed an increase of 2.11, 2.53, and 3.3 degrees Celsius, respectively, in this index until the end of the last century compared to the base decades.

**Conclusions:** Overall, the increase in temperature and the investigated THI index in the studied station, based on all three scenarios, will lead to changes in thermal comfort. Higher levels of thermal discomfort will not only occur in hot months and seasons but also in other seasons. Therefore, proper planning should be implemented to address the adverse effects of climate change on people's health.

## پیشنگری تغییرات شاخص دما و رطوبت در دهه‌های آتی با توجه به پدیده تغییر اقلیم بر اساس سناریوهای واداشت تابشی در یک اقلیم خشک

مهدی اصغری<sup>۱</sup>، عباس فلاح قالهری<sup>۲</sup>، مرضیه عباسی‌نیا<sup>۳</sup>، فرید عبادی فردآذر<sup>۴</sup>، فهیمه شاکری<sup>۵</sup>، محمدجواد قنادزاده<sup>۶</sup>، غلام حیدر تیموری<sup>۷</sup>، ساناز کارپسند<sup>۸</sup>، حسین صفری<sup>۹\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار مهندسی بهداشت حرفه‌ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران

<sup>۲</sup> استاد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا و گردشگری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

<sup>۳</sup> گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

<sup>۴</sup> استاد مدیریت خدمات بهداشتی درمانی، گروه آموزش بهداشت و ارتقاء سلامت، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران

<sup>۵</sup> دکتری اقلیم‌شناسی شهری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، خراسان رضوی، ایران

<sup>۶</sup> استادیار مهندسی بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران

<sup>۷</sup> کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران

<sup>۸</sup> گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران غرب، تهران، ایران

<sup>۹</sup> استادیار سیاستگذاری سلامت، مرکز تحقیقات ارتقاء سلامت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

\* نویسنده مسئول: حسین صفری، دانشگاه علوم پزشکی ایران، مرکز تحقیقات ارتقاء سلامت، تهران، ایران. ایمیل:

[hossein\\_comely1367@yahoo.com](mailto:hossein_comely1367@yahoo.com)

DOI: 10.61186/jams.26.3.51

<b>چکیده</b>	تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۱
<b>مقدمه:</b> از بزرگترین چالش‌های زیست‌محیطی قرن ۲۱ پدیده تغییر اقلیم است که می‌تواند سبب بروز مشکلات بهداشتی زیادی گشته که از مهم‌ترین آن‌ها افزایش شیوع استرس‌های گرمایی و اختلالات مربوطه در محیط‌های گرم روباز است. لذا این مطالعه با هدف پیش‌بینی و مدل‌سازی شاخص دما و رطوبت در دهه‌های آتی در یک اقلیم خشک انجام شده است.	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۲
<b>روش کار:</b> پارامترهای جوی شامل دمای حداقل، دمای حداکثر و رطوبت نسبی ایستگاه کرمان بعنوان نماینده اقلیم خشک طی ۳۰ سال (۱۹۶۵ الی ۲۰۰۵) بطور روزانه از سازمان هواشناسی اخذ گردید. مدل‌سازی پارامترهای مذکور و محاسبه شاخص دما و رطوبت (THI) با استفاده از مدل گردش عمومی جو HadGM2-ES و مدل ریزمقیاس‌کننده دینامیکی CORDEX و با در نظر گرفتن سه سناریوی مختلف واداشت تابشی شامل خوش‌بینانه، بینابینی و بدبینانه برای دهه‌های آتی (سه دوره ۳۰ ساله از ۲۰۱۱ تا ۲۰۹۹) انجام گردید. این مطالعه با کد اخلاقی IR.IUMS.REC.1400.020 در کمیته اخلاق پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ایران به ثبت رسیده است.	<b>واژگان کلیدی:</b> تغییر اقلیم پدیده گرمایش جهانی آسایش حرارتی دما رطوبت
<b>یافته‌ها:</b> نتایج مطالعه روند افزایشی برای پارامترهای دمای حداقل و حداکثر در سه دوره زمانی با استفاده از سه سناریوی استفاده شده نشان داد که این افزایش میزان دما در دهه‌های ۲۰۷۱-۲۰۹۹ نسبت به دهه‌های گذشته محسوس‌تر است. همچنین نتایج بیانگر روند افزایشی شاخص THI نسبت به دوره پایه براساس هر سه سناریو است بطوریکه میانگین نتایج بدست‌آمده با استفاده از این سناریوها به ترتیب، افزایش ۲/۵۳/۱۱ و ۳/۳ و درجه سانتی‌گرادی را در میزان این شاخص تا پایان قرن اخیر نسبت به دهه‌های پایه نشان داد.	تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی اراک محفوظ است.
<b>نتیجه‌گیری:</b> بطور کلی افزایش دما و شاخص موردبررسی در ایستگاه مورد مطالعه براساس هر سه سناریو باعث تغییراتی در آسایش حرارتی خواهد شد، بطوریکه ناراحتی حرارتی نه تنها در ماه‌ها و فصول گرم، بلکه در سایر فصول نیز افزایش خواهد یافت. لذا با توجه به اثرات نامطلوب پدیده تغییر اقلیم بر سلامتی افراد، باید در این زمینه برنامه‌ریزی‌های مناسبی در نظر گرفته شود.	

### مقدمه

بشر را تهدید می‌کند. گزارشات سناریوهای مختلف اقلیمی حاکی از گرم شدن تدریجی سیاره زمین است (۱). امروزه افزایش گازهای

گرمایش جهانی و تغییر اقلیم این روزها به یکی از موضوعات بحث برانگیز تبدیل شده است که اثر بحرانی بر سلامت افراد داشته و زندگی

گرما می‌تواند با تأثیر بر ظرفیت فیزیکی افراد، عملکرد ذهنی و شناختی، به طور مستقیم سبب ایجاد حوادث و کاهش تولید و بهره‌وری گردد. لذا پیش‌بینی و ارزیابی استرس حرارتی ضروری است (۱۲). مطالعه حاضر با هدف انجام مدل‌سازی روند تغییرات مواجهه با استرس گرمایی در محیط‌های روباز در دهه‌های آتی با توجه به مبحث تغییر اقلیم و پدیده جهانی گرمایش جهانی کره زمین با استفاده از شاخص دما-رطوبت (THI)، مدل گردش عمومی جو HadGM2-ES و مدل‌های ریزمقیاس‌کننده اقلیمی Cordex در یک اقلیم خشک انجام شده است. از نتایج این مطالعه می‌توان برای برنامه‌ریزی‌های آینده، راهبردهای پیشگیرانه و اقدامات کنترلی به منظور حفظ سلامت افراد در برنامه‌ریزی‌های محیط زیستی و شهری استفاده نمود.

## روش کار

### منطقه مورد مطالعه

ایستگاه کرمان در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی واقع شده است. ارتفاع این ایستگاه از سطح دریا ۱۷۵۴ متر است. شهرستان کرمان با ۶۷۷۶۵۰ نفر جمعیت پرجمعیت‌ترین و با مساحت ۴۴۱۹۲/۸۳ کیلومتر مربع، وسیع‌ترین شهرستان این استان و نیز مرکز استان می‌باشد (۱۳). فاکتورهای ارتفاعات و وجود کویر لوت نقش عمده‌ای بر اقلیم شهر کرمان دارند. اقلیم کرمان با توجه به روش دومارتن در گروه خشک، با توجه به روش اقلیمی آمبرژه محدوده اقلیم خشک سرد و با در نظر گرفتن طبقه بندی اقلیمی کوپن، در ناحیه اقلیمی خشک قرار می‌گیرد (۱۴). موقعیت ایستگاه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

### جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات

داده‌های مورد نیاز برای این مطالعه از سازمان هواشناسی کشور کسب شد. این داده‌ها شامل داده‌های هواشناسی ثبت شده در ایستگاه هواشناسی ایستگاه کرمان نماینده اقلیم خشک در طول دوره آماری از سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۵ حاوی مقادیر ساعتی و روزانه پارامترهای محیطی مانند دمای حداقل، دمای حداکثر، رطوبت نسبی بود.

### مدل گردش عمومی جو E-HadGM2

مدل‌های سری HadGEM یکی از مشهورترین مدل‌های گردش عمومی جو تأیید شده جهانی می‌باشند. مدل‌های خانواده HadGEM2 شامل طیف وسیعی از پیکربندی‌های مدل‌های خاص با درجات مختلف پیچیدگی ولی با چهارچوبی مشترک می‌باشند. این مدل‌ها در بردارنده وضعیت جفت شده هوا سپهری-اقیانوسی هستند که با گسترش قائم یا بدون آن در هوا سپهر، شامل ارزیابی خوب پوش سپهر و موقعیت سامانه زمین است که شامل پوشش گیاهی، زیست اقیانوسی و شیمی هوا سپهر است. اجزای مختلف خانواده HadGEM2 در پنجمین گزارش IPCC مورداستفاده قرار گرفتند (۱۵). مؤلفه هوا سپهری مدل E-HadGM2 دارای ۳۸ لایه که تا ارتفاع ۴۰ کیلومتری امتداد می‌یابد و تفکیک افقی آن از ۱/۲۵ درجه عرض جغرافیایی و ۱/۸۷۵ درجه طول جغرافیایی است (یاخته‌های شبکه‌ای آن در شبکه جهانی ۱۴۵×۱۹۲ است). تفکیک مکانی مدل با حدود ۲۰۸ کیلومتر در ۱۳۹ کیلومتر در استوا است که در عرض‌های بالاتر این مقدار کاهش یافته و

گلخانه‌ای و افزایش دمای ناشی از آن باعث برهم خوردن تعادل سیستم اقلیمی کره زمین شده و تغییرات اقلیمی گسترده‌ای را در اغلب نواحی کره زمین موجب شده است که بر بخش‌های مختلف زندگی از قبیل سلامت، کشاورزی، منابع هیدرولوژیکی، محیط زیست تأثیر دراد که در این میان بحث این تأثیرات بر سلامت انسان از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (۲). هر نوع تغییر دراز مدت در متغیرهای اتمسفری ناشی از هر گونه پدیده‌ای طبیعی یا غیر طبیعی که بازه زمانی آن بین چندین دهه تا میلیون‌ها سال طول بکشد، تغییر اقلیم نامیده می‌شود (۳). گرمایش جهانی کره زمین باعث شده است موج‌های گرمایی به ویژه در فصول گرم سال افراد بسیاری را در معرض خطر گرمادگی و سایر عوارض ناشی از گرما و مرگ و میر قرار دهد (۴، ۵). به طور کلی همه افراد جامعه به ویژه سالمندان و کودکان جزء افراد آسیب پذیر اجتماع در برابر گرما می‌باشند (۶). در دهه‌های اخیر امواج گرمایی پیامدهای بهداشتی ناگواری در جهان در پی داشته است. برای مثال موج گرمای آتن در سؤال ۱۹۸۷ با حدود ۲۰۰۰ مرگ و میر (۷)، موج گرمای شیگاکو با ۷۰۰ (۷)، سال ۲۰۰۳ اروپا با ۷۰۰۰۰ (۸)، روسیه در سال ۲۰۱۰ در حدود ۵۵۰۰۰ (۹) و نمونه‌هایی از تأثیر موج گرما بر سلامت انسان‌ها است. در هر سال در ایالات متحده آمریکا بطور متوسط ۴۰۰ مرگ علی‌الخصوص در بین افراد بالای ۶۵ سال بطور مستقیم ناشی از گرما است (۱۰).

با توجه به اینکه تغییر اقلیم در آینده یکی از مهمترین چالش‌های زیست محیطی محسوب می‌شود، لذا پیش‌نگری بلند مدت متغیرهای اقلیمی برای اطلاع از میزان تغییرات و در نتیجه در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای کاهش اثرات سوء ناشی از تغییر اقلیم باید مورد توجه متخصصان قرار گیرد. در این راستا متخصصین علوم بهداشتی در راستای رسالت خود (علم پیشگیری) در پی یافتن و سازماندهی نمودن راهبردهایی برای کاهش این اثرات بر روی سلامت افراد جامعه و شاغلین می‌باشند. انجام پژوهش‌های مرتبط با تغییر اقلیم برای آمادگی هر چه بیشتر جهت سازگاری با این پدیده و نیز کاهش هزینه‌های خسارت بار ناشی از این تغییرات بسیار ضروری است. مطالعات نشان داد که تغییرات اقلیم در آینده به صورت افزایش دمای هوا آشکار می‌شود (۱۱). عمدتاً مطالعات انجام شده در زمینه تغییر اقلیم بر روی پارامترهای اقلیمی مانند دما و میزان بارش تمرکز کرده‌اند، در حالی که برای ارزیابی میزان استرس گرمایی در محیط‌های شغلی نمی‌توان به یک پارامتر محیطی یا هواشناسی اکتفا نمود و لازم است که از شاخص‌های گرمایی استفاده شود. لذا پژوهش حاضر در نظر دارد، چشم انداز تغییرات شاخص دما-رطوبت دوره آینده را در ایستگاه کرمان، بر اساس سناریوهای واداشت تابشی مورد بررسی قرار دهد. همچنین لازم بذکر است که بررسی روند تغییرات دمایی و شاخص‌های حرارتی مورد استفاده در طی سال‌های متفاوت می‌تواند به عنوان یک راهنما و راهکار مدیریتی بهداشتی و زیست محیطی به کار گرفته شود، زیرا مطالعات مختلف نشان داده‌اند که تغییرات دمایی شدید در طول سال منجر به بیماری‌های مختلف و حتی مرگ افراد می‌شود.

بدیهی است بی‌توجهی به فضاهای روباز و شرایط جوی آن می‌تواند پیامدهای مختلفی از جمله ایجاد و افزایش شیوع استرس‌های حرارتی، بیماری‌ها و عوارض ناشی از گرما مانند گرمادگی، ضعف گرمایی، شوک گرمایی و اختلالات پوستی ناشی از گرما را در پی داشته‌باشد. همچنین

در عرض جغرافیایی ۵۵ به ۱۲۰ کیلومتر در ۱۳۹ کیلومتر می‌رسد. مؤلفه اقیانوسی از شبکه عرضی و طولی با تفکیک طولی یک درجه و تفکیک مکانی عرضی که از ۱ درجه بین قطبین و ۳۰ درجه شمالی و جنوبی که به طور یکنواخت یک سوم درجه در استوا است؛ استفاده می‌کند. ساختار این مدل، پایدار بوده که حالت و وضعیتی واقعی را از شرایط زیستی آب و هوا، پوشش گیاهی و اقیانوس بدون نیاز به اصلاحات فرضی و ساختگی ارائه دهد. این مدل تعامل چرخه کربن را بین اقیانوس، زمین و پوشش گیاهی پویا نشان می‌دهد (۱۶).

### روش ریزگردانی دینامیکی CORDE

ضعف‌های عمده مدل‌های گردش عمومی جو در قدرت تفکیک مکانی کم آنها است که برای فائق آمدن بر این مشکل، لازم است خروجی این مدل‌ها قبل از استفاده در مطالعات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، ریز مقیاس نمایی شوند. برای فائق آمدن بر نقیصه تفکیک فضایی کم در مدل‌های شبیه سازی گردش عمومی جو، دو راه کار وجود دارد که یکی از آنها ریزمقیاس نمایی دینامیکی و دیگری ریز مقیاس نمایی آماری است. مدل‌های دینامیکی منطقه‌ای دارای دقت فضایی مناسبی برای ارزیابی‌های اقلیمی بوده و همچنین فرآیندهای ریز مقیاس جوی و اقلیمی تا حد ممکن لحاظ می‌شوند. در این روش ریزمقیاس نمایی، معادلات حاکم بر بسته هوا در شبکه‌های ریزتری از شبکه مدل گردش عمومی جو با استفاده از روشهای آنالیز عددی و بر اساس قوانین فیزیکی لایه‌های گوناگون جو حل می‌شوند و با این فرایند دقت خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی افزایش می‌یابد که می‌توان به مدل CORDEX اشاره کرد (۱۷).

طی سالهای اخیر پژوهشگران آب و هواشناسی از مدل‌های آب و هوایی منطقه‌ای مختلف به منظور تولید مجموعه چندگانه از داده‌های ریزگردانی شده فاز پنجم پروژه درون مقیاس‌های مدل‌های جفت شده توسط WCRP استفاده کردند. در اقدامی هماهنگ با انجمن بین المللی ریزگردانی منطقه‌ای (CORDEX) باهدف پیش بینی تغییرات آب و هوایی به عنوان ورودی مطالعات دگرگونی آب و هوا و راهکارهای سازگاری با آن پروژه CORDEX ایجاد شد (۱۸). هدف اصلی این پروژه بین المللی درک بهتر پدیده‌های محلی و منطقه‌ای اقلیم‌های مختلف و بهبود کارایی مدل‌ها و روش‌های ریزمقیاس نمایی است. مجموعه مدلهای CORDEX در یک شبکه استاندارد، دامنه‌های ثابت و فرمت‌های گوناگون در اختیار پژوهشگران قرار گرفته است که امکان مقایسه مستقیم نتایج خروجی‌های مختلف را فراهم می‌آورد. در این تحقیق از داده‌های محدوده CORDEX-WAS با قدرت تفکیک مکانی ۰/۴۴ درجه قوسی که ایران را نیز پوشش می‌دهد، استفاده شد. این پایگاه، داده‌های شبکه بندی شده مربوط به متغیرهای مختلف هواشناسی را در بازه زمانی ۲۰۰۶-۲۰۹۹ در اختیار کاربر قرار می‌دهد (۱۷، ۱۹).

### سناریوهای مورد استفاده در مطالعه

در این مطالعه از سه سناریوی سناریوی خوشبینانه RCP (2.6)، سناریوی بینابینی RCP (4.5) و بدبینانه RCP (8.5) استفاده شد. سناریوهای مذکور تفاوت بین انرژی تابشی دریافتی از خورشید و انرژی بازگشتی به جو توسط زمین می‌باشد. واداشت مثبت (ورودی بیشتر انرژی تابشی خورشید) سبب افزایش و واداشت منفی (برون رفت بیشتر

### شاخص دما-رطوبت

شاخص دما-رطوبت (THI) شاخص مناسبی جهت برآورد اثرات توام دما و رطوبت در ارتباط با سطح استرس حرارتی است و تأثیر ترکیبی دمای هوا و رطوبت نسبی بر سلامت انسان و همچنین حرکت هوا در منطقه را بیان می‌کند، در سال ۱۹۵۹ از سوی سرویس ملی هواشناسی ایالات متحده ارائه شد. بر حسب شاخص THI، طبقه بندی شرایط آب و هوایی، برای هوای گرم و هوای سرد وجود دارد (جدول ۱). این شاخص، شرایطی را نشان می‌دهد که در آن مقادیر خاصی از رطوبت اتمسفر بر مکانیسم‌های تنظیم حرارت انسان تأثیر می‌گذارد، بنابراین وضعیت ناراحتی زیست‌اقلیمی به دلیل گرمای بیش از حد یا شرایط بیش از حد خنک‌کننده را تشدید می‌کند. هدف این شاخص بررسی تأثیرات مستقیم سطوح متفاوت بر آسایش حرارتی انسان می‌باشد. این شاخص به عنوان شاخص آب و هوایی کارآمدی برای کاهش اثرات زیان آور استرس حرارتی مطرح گردیده است (۱۴). این شاخص از دمای هوا و رطوبت نسبی با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود که در آن ta میانگین دمای روزانه (درجه سانتی گراد) و RH میانگین رطوبت نسبی (%) است. مطابق فرمول، مقدار این شاخص با افزایش دما و رطوبت نسبی افزایش می‌یابد (۲۲).

(رابطه ۱)  $THI (^\circ C) = T - (0.55 - 0.0055RH) \times (T - 14.5)$   
این شاخص، دمای واقعی محیط را که به طور مؤثر توسط ارگانیسم انسان درک می‌شود، در شرایط مشخصی از رطوبت و دمای هوا، که از طریق معادله ۱ محاسبه شده است، بیان می‌کند (۲۳). برای آنالیز داده‌ها از نرم افزار SPSS 25 و Excel ۲۰۱۹ استفاده گردید.

### یافته‌ها

مقادیر دوره پایه از سال ۱۹۷۶ تا سال ۲۰۰۵ در پارامترهای مورد بررسی در جدول ۲ آمده است.

مدل سازی پارامتر دمای حداقل، دمای حداکثر و رطوبت نسبی در طی دهه‌های آتی (2041-2070, 2011-2040 و 2071-2099) تا سال ۲۰۹۹ با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو HadGM2-ES و مدل ریز مقیاس کننده CORDEX و سه سناریوی اشاره شده برای ایستگاه مورد مطالعه در جدول ۳ آمده است.

با توجه به نتایج جدول ۳ مشاهده می‌گردد که در کلیه ماه‌های سال در ایستگاه مورد بررسی دمای حداقل و حداکثر در طی دهه‌های آتی بر

سناریوی RCP8.5 نتایج نشان داد که در ماه‌های ژانویه (۰/۴/۳۵)، نوامبر (۰/۴/۷) و دسامبر (۰/۱۰/۳۶) رطوبت نسبی افزایش و در بقیه ماه‌های سال کاهش پیدا خواهد کرد که بیشترین کاهش متعلق به ماه‌های مارس (۰/۷/۸۵) و جولای (۰/۷/۲۵) خواهد بود.

میانگین شاخص THI در ایستگاه مورد بررسی در طی دهه‌های آتی با استفاده از سه سناریوی موجود در گزارش پنجم مورد آنالیز قرار گرفته است که نتایج آن در نمودارهای ۱ تا ۳ آمده است.

با توجه به نمودار مربوط به سناریوی سناریوی RCP2.6 میزان شاخص THI دارای روند صعودی تا سال ۲۰۹۹ می‌باشد این میزان افزایش در شاخص THI در ماه‌های اکتبر، آوریل، آگوست و مارس بیشتر قابل توجه است. میانگین نتایج بدست آمده با استفاده از این سناریو، افزایش ۲/۱۱ درجه سانتی گراد را در میزان این شاخص تا پایان قرن اخیر نسبت به دهه‌های پایه نشان داد. باید خاطر نشان کرد که این میزان افزایش شاخص بین ۰/۷ (ماه دسامبر) تا ۲/۸۳ درجه سانتی گراد (ماه اکتبر) متغیر بود.

با توجه به نمودار مربوط به سناریوی سناریوی RCP4.5 میزان شاخص THI دارای روند صعودی تا سال ۲۰۹۹ می‌باشد این میزان افزایش در شاخص THI در ماه‌های آگوست، اکتبر، آوریل و نوامبر بیشتر قابل توجه است. به طوری که میانگین نتایج بدست آمده با استفاده از این سناریو، افزایش ۲/۵۳ درجه سانتی گراد را در میزان این شاخص تا پایان قرن اخیر نسبت به دهه‌های پایه نشان داد. باید خاطر نشان کرد که این میزان افزایش شاخص بین ۱/۱۵ (ماه دسامبر) تا ۳/۳۱ درجه سانتی گراد (ماه آگوست) متغیر بود.

با توجه به نمودار مربوط به سناریوی سناریوی RCP8.5 میزان شاخص THI دارای روند صعودی تا سال ۲۰۹۹ می‌باشد این میزان افزایش در شاخص THI در ماه‌های اکتبر، آوریل، نوامبر و مارس بیشتر قابل توجه است. به طوری که میانگین نتایج بدست آمده با استفاده از این سناریو، افزایش ۳/۳ درجه سانتی گراد را در میزان این شاخص تا پایان قرن اخیر نسبت به دهه‌های پایه نشان داد. باید خاطر نشان کرد که این میزان افزایش شاخص بین ۲ (ماه دسامبر) تا ۳/۹ درجه سانتی گراد (ماه اکتبر) متغیر بود.

براساس اطلاعات جدول ۴، تعداد روزهای گرم سال در ۳۰ ساله اول و در سناریو خوشبینانه، بینابینی و بدبینانه نسبت به دوره پایه به ترتیب ۱۷/۶ درصد، ۱۷/۳ درصد و ۱۹/۱ درصد افزایش نشان داده‌اند. تعداد روزهای گرم سال در ۳۰ ساله دوم و در سناریو خوشبینانه، بینابینی و بدبینانه نسبت به دوره پایه به ترتیب ۲۰/۴ درصد، ۲۱/۹ درصد و ۲۴/۹ درصد افزایش نشان داده‌اند. تعداد روزهای گرم سال در ۳۰ ساله سوم و در سناریو خوشبینانه، بینابینی و بدبینانه نسبت به دوره پایه به ترتیب ۲۴/۸ درصد و ۳۰/۳ درصد افزایش نشان داده‌اند. تعداد روزهای بسیار گرم سال در ۳۰ ساله دوم و در سناریو خوشبینانه ۰/۳ درصد نسبت به دوره پایه افزایش نشان داد. همچنین تعداد روزهای بسیار گرم سال در ۳۰ ساله سوم و در سناریو خوشبینانه، بینابینی و بدبینانه به ترتیب ۰/۳ درصد و ۰/۴ درصد نسبت به دوره پایه افزایش نشان داد. تعداد روزهای بسیار گرم سال در ۳۰ ساله سوم و در سناریو خوشبینانه، بینابینی و بدبینانه به ترتیب ۰/۱ درصد، ۰/۸ و ۴/۹ درصد نسبت به دوره پایه افزایش نشان داد.

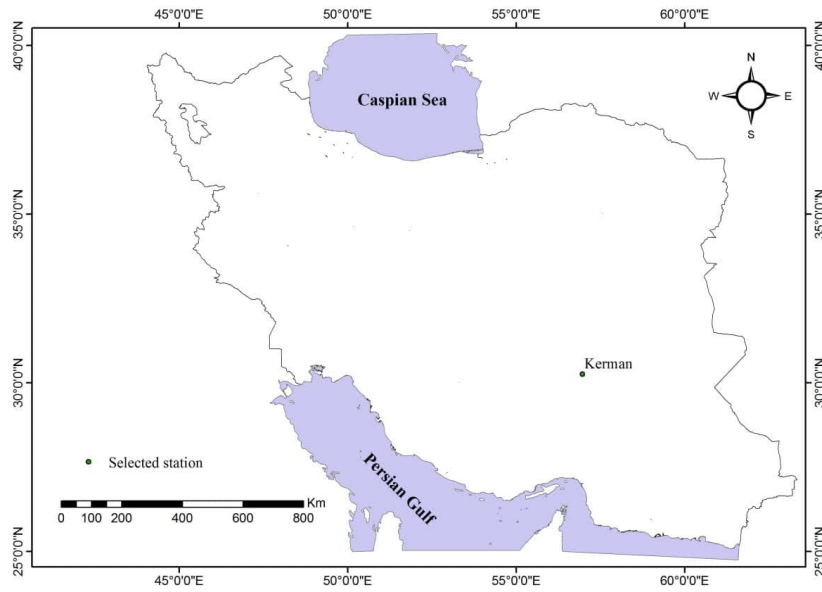
اساس سه سناریوی مورد استفاده افزایش یافته و همچنین بیشترین افزایش دما در دهه‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ بود.

نتایج مربوط به پارامتر دمای حداقل با استفاده از سناریوی RCP2.6 نشان داد که در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره پایه افزایش ۴/۶۳ در دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ افزایش ۵/۳۱ درجه سانتی گراد و در دهه‌های پایانی قرن ۲۱ نسبت به دوره پایه افزایش ۵/۱۳ درجه نشان داد. که این میزان افزایش دما بین ۲/۵۸ (ماه فوریه) تا ۷/۳۲ درجه سانتی گراد (ماه آگوست) متغیر بود.

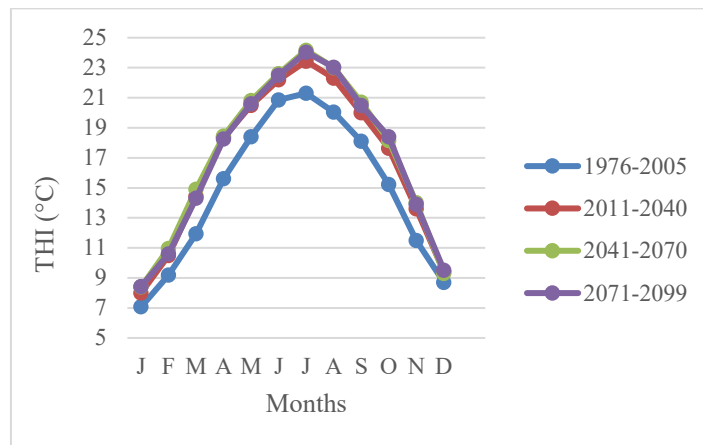
نتایج مربوط به پارامتر دمای حداقل با استفاده از سناریوی RCP4.5 نشان داد که در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره پایه افزایش ۴/۶ در دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ افزایش ۵/۸۲ درجه و در دهه‌های پایانی قرن ۲۱ نسبت به دوره پایه افزایش ۶/۵۴ درجه سانتی گراد نشان داد. در بین دهه‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۹۹ افزایش دمای ۳/۱۷ (ماه فوریه) تا ۸/۴۳ درجه (ماه آگوست) نسبت به دوره پایه مشاهده شد نتایج مربوط به پارامتر دمای حداقل با استفاده از سناریوی RCP8.5 نشان داد که در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره پایه افزایش ۶/۷ در دهه‌های پایانی قرن ۲۱ نسبت به دوره پایه افزایش ۹/۲۷ درجه سانتی گراد نشان داد. باید اشاره نمود که در بین دهه‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۹۹ نسبت به دوره پایه، افزایش دمای ۴/۳۴ (ماه فوریه) تا ۹/۶۶ درجه سانتی گراد (ماه آگوست) بدست آمد.

نتایج مربوط به پارامتر دمای حداکثر با استفاده از سناریوی RCP2.6 نشان داد که در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره پایه افزایش ۲/۳۷ در دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ افزایش ۳/۱ درجه و در دهه‌های پایانی قرن ۲۱ نسبت به دوره پایه افزایش ۲/۸۶ درجه سانتی گراد نشان داد. که این میزان افزایش دما بین ۰/۳۳ (ماه دسامبر) تا ۴/۹۷ درجه سانتی گراد (ماه جولای) متغیر بود. نتایج مربوط به پارامتر دمای حداکثر با استفاده از سناریوی RCP4.5 نشان داد که در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره پایه افزایش ۲/۲۸ در دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ افزایش ۳/۶۵ درجه سانتی گراد و در دهه‌های پایانی قرن ۲۱ نسبت به دوره پایه افزایش ۴/۵ درجه سانتی گراد نشان داد. بین دهه‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۹۹ نسبت به دوره پایه، افزایش دمای ۰/۶۶ (ماه دسامبر) تا ۵/۸۱ درجه سانتی گراد (ماه جولای) مشاهده شد. نتایج مربوط به پارامتر دمای حداکثر با استفاده از سناریوی RCP8.5 نشان داد که در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره پایه افزایش ۲/۵۵ در دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ افزایش ۴/۴۸ درجه و در دهه‌های پایانی قرن ۲۱ نسبت به دوره پایه افزایش ۷/۱ درجه سانتی گراد نشان داد. همچنین بین دهه‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۹۹ افزایش دمای ۱/۵۳ (ماه دسامبر) تا ۶/۷۷ درجه سانتی گراد (ماه‌های جولای و آگوست) نسبت به دوره پایه بدست آمد.

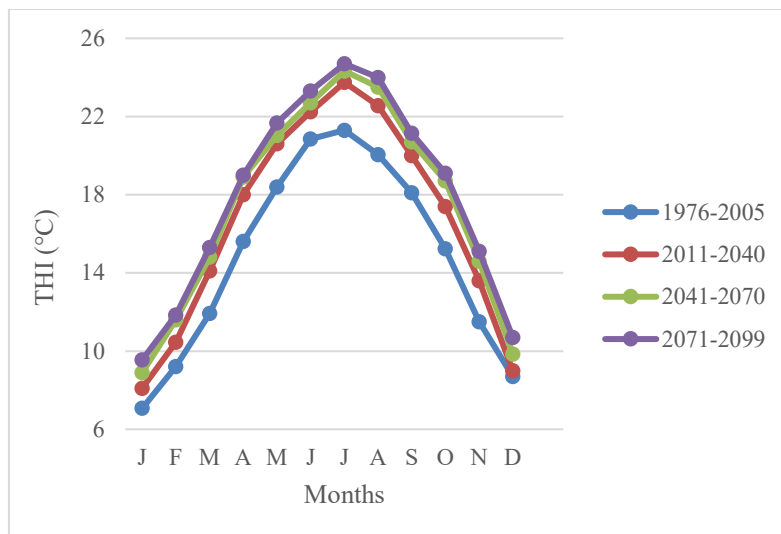
نتایج مربوط به پارامتر رطوبت نسبی با استفاده از سناریوی RCP2.6 نشان داد که در ماه‌های ژانویه (۰/۵/۳۸)، فوریه (۰/۲/۵۲)، نوامبر (۰/۵/۱۱) و دسامبر (۰/۱۱/۹۷) رطوبت نسبی افزایش و در بقیه ماه‌های سال کاهش پیدا خواهد کرد که بیشترین کاهش درصد رطوبت نسبی متعلق به ماه‌های مارس (۰/۷/۱) و آگوست (۰/۶/۵۶) خواهد بود. همچنین نتایج با استفاده از سناریوی RCP4.5 نشان داد که در ماه‌های ژانویه (۰/۲/۷۵)، نوامبر (۰/۵/۱۹) و دسامبر (۰/۱۱/۰۶) رطوبت نسبی افزایش و در بقیه ماه‌های سال کاهش پیدا خواهد کرد که بیشترین کاهش متعلق به ماه‌های مارس (۰/۱۰/۲۲) و آگوست (۰/۶/۸) خواهد بود. با استفاده از



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه مورد مطالعه

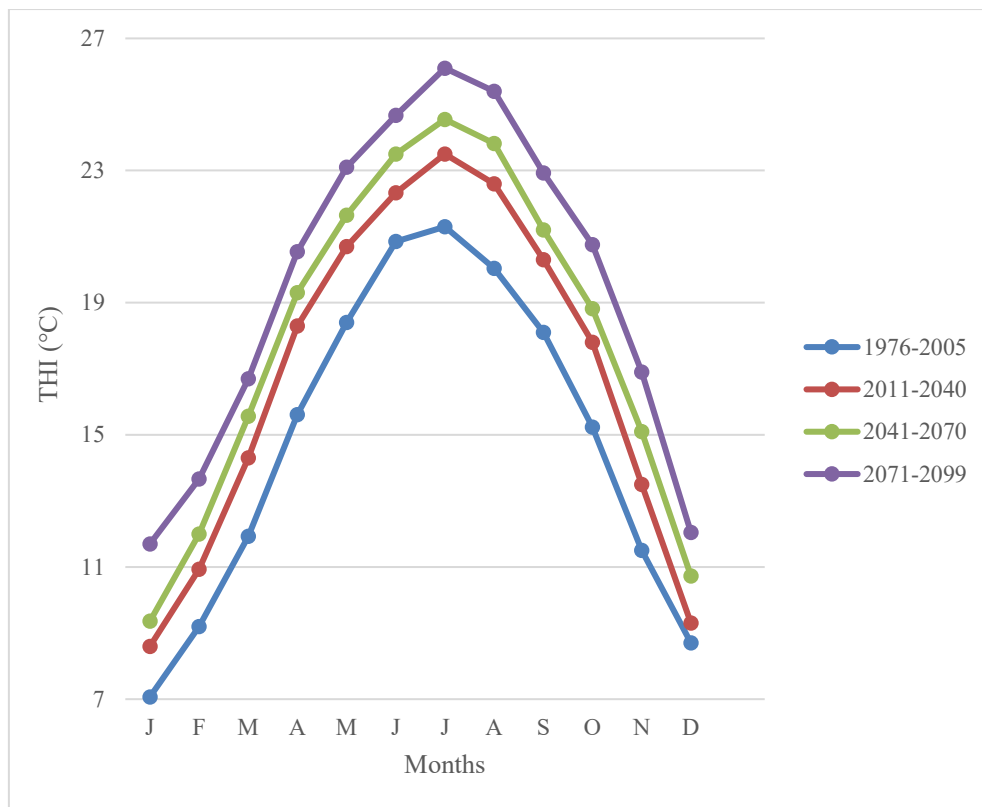


نمودار ۱. مقایسه میزان شاخص THI در دهه‌های پایه و دوره‌های پیش بینی شده تا سال ۲۰۹۹ به تفکیک ماه‌های مختلف سال با سناریوی RCP2.6



نمودار ۲. مقایسه میزان شاخص THI در دهه‌های پایه و دوره‌های پیش بینی شده تا سال ۲۰۹۹ به تفکیک ماه‌های مختلف سال با سناریوی RCP4.5





نمودار ۳. مقایسه میزان شاخص THI در دهه‌های پایه و دوره‌های پیش‌بینی شده تا سال ۲۰۹۹ به تفکیک ماه‌های مختلف سال با سناریوی (RCP8.5)

جدول ۱. مقادیر آستانه THI (°C) (۲۴)

مقدار THI	سطح عدم آسایش حرارتی	نوع آسایش / عدم آسایش زیست اقلیم
$-20 < \text{THI} \leq -10$	سرماى بیش از حد	عدم آسایش زیست اقلیم به دلیل خنک شدن بیش از حد
$-10 < \text{THI} \leq -1.8$	بسیار سرد	عدم آسایش زیست اقلیم به دلیل خنک شدن بیش از حد
$-1.8 < \text{THI} \leq +13$	سرد	عدم آسایش زیست اقلیم به دلیل خنک شدن بیش از حد
$+13 < \text{THI} \leq +15$	خنک	عدم آسایش زیست اقلیم به دلیل خنک شدن بیش از حد
$+15 < \text{THI} \leq +20$	راحت	آسایش زیست اقلیم
$+20 < \text{THI} \leq +26.5$	گرم	عدم آسایش زیست اقلیم به دلیل گرمایش
$+26.5 < \text{THI} \leq +30$	بسیار گرم	عدم آسایش زیست اقلیم به دلیل گرمایش
$\text{THI} > +30$	بسیار گرم و مرطوب	عدم آسایش زیست اقلیم به دلیل گرمایش

جدول ۲. مقادیر دوره پایه شامل دمای حداقل، دمای حداکثر و رطوبت نسبی

ماه‌های سال	دمای حداقل (درجه سانتی‌گراد)	دمای حداکثر (درجه سانتی‌گراد)	رطوبت نسبی (درصد)
ژانویه	-2/95±5/8	12/15±6/7	53/3±16/5
فوریه	-0/66±6/17	14/7±4/2	45/54±16/3
مارس	3/4±5/5	18/38±4/4	42/5±17/5
آوریل	8/15±5	24/8±4/11	33/36±15/4
می	12/22±3	30/2±3/3	25/5±11/1
ژوئن	16/1±3	35±2/55	19/1±7
جولای	17/63±3/53	35/7±2/53	19/86±6/6
آگوست	14/55±3/5	34/17±6/6	20/2±5/24
سپتامبر	10/3±5/2	31/3±5/1	21/4±6
اکتبر	5/65±4/77	25/85±5/2	28/93±9/9
نوامبر	3/7±6/3	19/6±5/5	37/8±14/3
دسامبر	-1/9±4/8	14/3±4/7	48±18/1

جدول ۳. نتایج حاصل از خروجی مدل برای پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر و رطوبت نسبی در طی دهه‌های آتی تا سال ۲۰۹۹ با استفاده از مدل‌های اقلیمی و سه سناریوی اشاره شده برای ایستگاه مورد مطالعه

ماه / سناریو	دمای حداقل			دمای حداکثر			رطوبت نسبی		
	۲۰۱۱-۲۰۲۴	۲۰۴۱-۲۰۷۰	۲۰۷۱-۲۰۹۹	۲۰۱۱-۲۰۲۴	۲۰۴۱-۲۰۷۰	۲۰۷۱-۲۰۹۹	۲۰۱۱-۲۰۲۴	۲۰۴۱-۲۰۷۰	۲۰۷۱-۲۰۹۹
<b>ژانویه</b>									
RCP2.6	۰/۳۳±۲/۳	۰/۱۸۴±۲/۳	۰/۳۶±۲/۲	۱۲/۰۲±۴/۹	۱۲/۶۵±۴/۹	۱۲/۹۱±۴/۵۶	۵۹/۰۵±۱۷/۷	۵۷/۸۵±۱۷	۵۹/۱۳±۱۵/۶
RCP4.5	۰±۲/۱۵	۰/۵۴±۲/۶	۱/۱۶±۲/۴	۱۲/۲۴±۴/۸	۱۳/۵۴±۴/۹	۱۴/۷±۴/۶	۵۷/۹۲±۱۵/۹	۵۵/۶۵±۱۶/۹	۵۴/۶±۱۶/۲
RCP8.5	۰/۴±۲/۲۶	۱/۳۴±۲/۷	۳/۷۶±۳/۴	۱۳/۱±۴/۷	۱۴/۳۲±۴/۸	۱۷/۸±۵/۱	۵۸/۱±۱۶/۷	۵۹/۴±۱۷/۶	۵۵/۴۶±۱۵/۹
<b>فوریه</b>									
RCP2.6	۱/۶۶±۲/۸	۲/۱±۳	۲±۳/۱۳	۱۶/۲۷±۵/۲۴	۱۷±۵/۲	۱۶/۳±۵/۴	۴۸/۶۴±۱۸/۷	۴۵/۳۴±۱۶/۷	۵۰/۲±۱۷/۵
RCP4.5	۱/۷۳±۳	۲/۸۲±۳/۱	۳±۳/۱۸	۱۶/۰۵±۵/۲	۱۷/۷±۵	۱۸/۳۴±۵/۱	۴۸/۴۷±۱۶/۶	۴۴/۹۵±۱۴/۷	۴۱/۶۶±۱۵/۴
RCP8.5	۲±۲/۶۳	۳/۵±۳/۳	۵/۵۴±۳/۶	۱۶/۸±۴/۵۷	۱۸/۶۵±۵/۱	۲۱/۲±۴/۹	۴۵/۳۶±۱۶	۴۷/۸±۱۷/۱	۴۴/۳±۱۵/۶
<b>مارس</b>									
RCP2.6	۶/۴۲±۴/۲۴	۷/۱±۴/۳	۶/۴۴±۳/۹	۲۲/۸±۵/۶۶	۲۳/۳±۵/۱	۲۲/۳±۵/۱	۳۳/۸۵±۱۵	۳۲/۴۴±۱۳/۱	۴۰±۱۷/۵
RCP4.5	۵/۷۵±۳/۸	۶/۸۷±۴/۱	۷/۶±۴/۲	۲۲/۲±۵/۱۳	۲۳/۱۴±۵/۱	۲۴/۳±۵/۳	۳۳/۲۶±۱۴/۸	۳۲/۹±۱۴/۳	۳۰/۶۸±۱۴/۴
RCP8.5	۶/۳±۴/۲	۸/۱۶±۴/۲	۱۰/۱±۴/۳	۲۲/۴±۵/۲۵	۲۴/۶±۵/۴	۲۶±۵/۱	۳۵/۷±۱۶/۶	۳۲/۴±۱۴/۶	۳۵/۸۳±۱۶/۸
<b>آوریل</b>									
RCP2.6	۱۲/۷۷±۲/۹	۱۳±۳/۸۶	۱۲/۵۷±۳/۹	۲۹/۴۳±۴/۲	۲۹/۴۳±۴/۲	۲۹/۱±۴/۵۳	۲۵/۴±۱۱/۵	۲۶/۸۶±۱۲/۵	۲۹/۷۶±۱۵
RCP4.5	۱۲/۲±۴	۱۳/۸±۴	۱۳/۸۷±۳/۸	۲۸/۵±۴/۵	۳۰/۲۲±۴/۳	۳۰/۳۵±۴	۲۷/۹۲±۱۳	۲۵/۸±۱۰/۴	۲۶/۶±۱۱/۸۷
RCP8.5	۱۲/۸±۴	۱۴/۴۵±۴	۱۶/۵±۴/۱	۲۸/۹۳±۴/۵	۳۰/۹±۴/۴	۳۲/۸۷±۴/۵	۳۰/۱۲±۱۵/۶	۲۶/۲±۱۳/۱	۲۸±۱۴/۱
<b>می</b>									
RCP2.6	۱۶/۹۵±۳	۱۷/۵۲±۳	۱۷/۱۷±۲/۸	۳۳/۴±۳/۳	۳۳/۸۲±۳/۲	۳۳/۳۸±۳/۲	۳۱/۲۲±۸/۹	۲۱/۹±۹/۱	۲۲/۱±۹/۸
RCP4.5	۱۷/۲۵±۲/۹	۱۷/۹±۲/۹	۱۹/۱±۲/۸	۳۳/۳۳±۳/۱	۳۴/۴±۳/۱	۳۵/۳۵±۳	۳۱/۹۴±۹/۹	۲۰/۴۴±۹	۲۱/۲۵±۹
RCP8.5	۱۷/۳±۳/۳	۱۹/۰۴±۲/۹	۲۱/۷۶±۲/۶	۳۳/۴±۳/۳	۳۵/۳±۳/۲	۳۸±۲/۷	۳۲/۱۶±۹/۵	۲۱/۲۳±۹/۶	۲۰/۱±۸/۶
<b>ژوئن</b>									
RCP2.6	۲۰/۶۲±۲/۳	۲۱/۳۶±۲/۲	۲۱/۰۵±۲/۳	۳۷/۱±۲/۶۶	۳۷/۹۵±۲/۴	۳۷/۶۷±۲/۷۵	۱۶/۵±۵/۷۵	۱۵/۵±۵/۷۵	۱۶/۱±۵/۶
RCP4.5	۲۰/۷±۲/۴	۲۱/۷±۲/۲	۲۲/۸±۲/۱	۳۷/۳±۲/۷	۳۸/۳±۲/۳	۳۹/۲±۲/۵	۱۵/۷±۵/۷	۱۴/۵۶±۴/۷	۱۵/۳±۵/۳
RCP8.5	۲۰/۹۲±۲/۲	۲۳/۲±۲/۵	۲۵/۴۴±۲/۱	۳۷/۱±۲/۴۳	۳۹/۷±۲/۷	۴۱/۸±۲/۵	۱۶/۴±۶/۱۱	۱۵/۲±۶/۲	۱۵/۲±۶/۱
<b>جولای</b>									
RCP2.6	۲۳/۲±۲/۲۵	۲۴/۵۲±۲/۲	۲۴/۳±۲/۱۵	۳۹/۹±۲/۱۵	۴۱/۲۷±۲/۱	۴۰/۸۵±۲/۱	۱۳/۵±۳/۸	۱۳/۷۲±۴/۱	۱۴/۲±۳/۸
RCP4.5	۲۳/۸۵±۲/۳	۲۵±۲/۳	۲۵/۷±۲/۴	۴۰/۳±۲/۳	۴۱/۸۲±۲/۲	۴۲/۴۲±۲/۳	۱۳/۹±۴	۱۲/۷۵±۳/۵	۱۳/۰۴±۳/۶
RCP8.5	۲۳/۴±۲/۳	۲۵/۶±۲/۳	۲۸/۶۳±۲/۳	۴۰±۲/۲۴	۴۲/۱۵±۲/۲	۴۵/۳±۲/۳	۱۳/۱۲±۳/۸۶	۱۲/۴۳±۳/۱	۱۲/۲۶±۳/۳
<b>آگوست</b>									
RCP2.6	۲۱/۰۲±۲/۷۴	۲۲/۴±۲/۵۳	۲۲/۲±۲/۸	۳۷/۷۵±۲/۸	۳۹/۱۳±۲/۳	۳۹/۱۲±۲/۵	۱۳/۴±۳/۹	۱۳/۵±۳/۵۳	۱۴±۴/۱
RCP4.5	۲۱/۴۴±۲/۵	۲۳/۳۲±۲/۵	۲۴/۲±۲/۴	۳۸/۳±۲/۶	۴۰±۲/۴۳	۴۱±۲/۵	۱۳/۵±۳/۵	۱۳/۴۴±۳/۶	۱۳/۳±۲/۶
RCP8.5	۲۱/۴۴±۲/۴۵	۲۴±۲/۴	۲۷/۲±۲/۳	۳۸/۴±۲/۶۶	۴۰/۸±۲/۴	۴۳/۶±۲/۴	۱۳/۲۲±۳/۵	۱۲/۸۶±۳/۲	۱۳±۲/۹
<b>سپتامبر</b>									
RCP2.6	۱۶/۲۳±۲/۷	۱۷/۵±۲/۶۶	۱۷±۲/۵۷	۳۳/۲۵±۳/۱	۳۴/۵±۳/۱	۳۴/۰۳±۲/۸	۱۶/۱۶±۴/۵	۱۶/۳۴±۴/۱	۱۶/۸±۴/۴
RCP4.5	۱۶/۲۳±۲/۷	۱۷/۶۲±۲/۸	۱۸/۴±۲/۵	۳۳/۲۵±۳	۳۴/۴±۳	۳۵/۳±۲/۷	۱۵/۸۵±۴/۷	۱۵/۷۷±۴/۵	۱۵/۹±۴/۴
RCP8.5	۱۶/۷۵±۲/۷	۱۸/۶۲±۳/۱	۲۱/۹±۲/۷	۳۳/۷۷±۳	۳۵/۴۵±۳/۳	۳۸/۷±۳/۲	۱۶/۳±۴/۵۵	۱۵/۷۴±۴/۱	۱۵/۳±۳/۵
<b>اکتبر</b>									
RCP2.6	۱۱/۹۳±۲/۸	۱۲/۷۵±۲/۸	۱۳/۱۷±۲/۳	۲۸±۳/۴	۲۸/۸۵±۳/۴	۲۹/۴±۲/۸۸	۲۴/۲±۹/۲۳	۲۳/۹±۹/۸	۲۴/۱±۸/۴
RCP4.5	۱۱/۵۳±۲/۹	۱۳/۸±۲/۶	۱۴/۴±۲/۹	۲۷/۶۵±۳/۶	۲۹/۷۳±۳/۱	۳۰/۳۷±۳/۵	۲۳±۷/۹۲	۲۴/۳۳±۸/۸	۲۳/۷±۸/۴
RCP8.5	۱۲/۱۲±۲/۸۵	۱۴/۱±۳/۱	۱۷/۵±۲/۸	۲۸/۴±۳/۴	۲۹/۹۴±۳/۶	۳۳/۴±۳/۵	۲۲/۸±۷/۸	۲۳/۲±۸/۹	۲۲/۸±۸/۱
<b>نوامبر</b>									
RCP2.6	۶/۱±۳/۶	۶/۵±۳/۴	۶/۵۵±۳/۵	۲۰/۴±۴/۳	۲۱/۱±۴/۲۵	۲۰/۹۲±۴/۳	۴۴±۱۵/۲	۴۲/۲۳±۱۵/۹	۴۲/۵±۱۵/۸
RCP4.5	۶/۱±۳/۳	۷/۶۲±۳/۷	۸/۳۵±۳/۵	۲۰/۵±۴/۱۲	۲۱/۸۲±۴/۵	۲۲/۷±۴/۳	۴۴/۷۳±۱۶/۵	۴۲/۳۴±۱۵/۹	۴۱/۹±۱۵/۳
RCP8.5	۶/۱±۳/۶	۸/۳۵±۳/۵	۱۱/۱۶±۴/۱	۲۰/۱۹±۴/۴	۲۲/۷±۴/۳	۲۵/۱±۴/۷	۴۴/۷±۱۷/۱	۴۱/۹±۱۵/۸	۴۰/۸۸±۱۷/۳
<b>دسامبر</b>									
RCP2.6	۱/۵±۲/۶۵	۱/۷±۲/۷	۱/۶۵±۲/۶	۱۴/۳۵±۴/۲۵	۱۴/۱۵±۴/۴	۱۴/۵±۴/۱۷	۵۹/۳۷±۱۶/۱	۶۰/۸±۱۷/۷	۵۹/۷۵±۱۴/۹
RCP4.5	۱/۲۵±۲/۴۵	۲/۱±۲/۹۵	۲/۸±۲/۹	۱۳/۹±۴/۱	۱۴/۷±۴/۶	۱۶/۲±۴/۳۵	۶۳±۱۵/۳۵	۵۸/۴±۱۶/۲	۵۵/۸±۱۴
RCP8.5	۱/۳۵±۲/۲	۲/۸۲±۳/۵	۴/۷±۳/۵	۱۴/۳۵±۴/۲	۱۵/۴±۵	۱۷/۷۶±۴/۷	۵۹/۹±۱۶/۷	۵۸/۴±۱۷/۱	۵۶/۸±۱۷/۱



جدول ۴. فراوانی و درصد احساس حرارتی بر اساس شاخص THI برای سناریوهای خوش بینانه (RCP 2.6، بینابینی (RCP 4.5) و بدبینانه (RCP 8.5) در دوره‌های زمانی مختلف برای ایستگاه مورد مطالعه

RCP8.5		RCP4.5		RCP2.6		دوره‌های زمانی / احساس حرارتی
درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	
<b>۲۰۰۵-۱۹۷۵</b>						
۳۶/۴	۳۹۷۷	۳۶/۴	۳۹۷۷	۳۶/۴	۳۹۷۷	سرد
۱۰/۳	۱۱۲۳	۱۰/۳	۱۱۲۳	۱۰/۳	۱۱۲۳	خنک
۳۴/۲	۳۷۴۷	۳۴/۲	۳۷۴۷	۳۴/۲	۳۷۴۷	راحت
۱۹/۱	۲۰۸۲	۱۹/۱	۲۰۸۲	۱۹/۱	۲۰۸۲	گرم
<b>۲۰۴۰-۲۰۱۱</b>						
۲۹/۱	۳۱۴۴	۲۹/۲	۳۱۵۰	۲۸/۸	۳۱۱۲	سرد
۷/۴	۸۰۲	۷/۹	۸۵۷	۶/۸	۷۳۰	خنک
۲۵/۳	۲۷۲۹	۲۶/۵	۲۸۵۹	۲۷/۷	۲۹۹۱	راحت
۳۸/۲	۴۱۲۵	۳۶/۴	۳۹۳۴	۳۶/۷	۳۹۶۷	گرم
<b>۲۰۷۰-۲۰۴۱</b>						
۲۲/۴	۲۴۱۸	۲۵/۵	۲۷۴۹	۲۷/۳	۲۹۴۶	سرد
۸/۳	۸۹۴	۷/۷	۸۲۸	۷/۵	۸۰۵	خنک
۲۴/۹	۲۶۹۰	۲۵/۵	۲۷۵۶	۲۵/۵	۲۷۵۰	راحت
۴۴	۴۷۵۰	۴۱	۴۴۳۰	۳۹/۵	۴۲۶۶	گرم
۰/۴	۴۸	۰/۳	۳۷	۰/۳	۳۳	بسیار گرم
<b>۲۰۹۹-۲۰۷۱</b>						
۱۵/۲	۱۵۹۰	۲۳/۱	۲۴۰۴	۲۶/۱	۲۹۳۱	سرد
۸/۵	۸۸۳	۸/۱	۸۴۰	۷	۷۳۲	خنک
۲۲	۲۲۹۳	۲۴/۲	۲۵۱۵	۲۶/۶	۲۷۸۲	راحت
۴۹/۴	۵۱۶۲	۴۳/۹	۴۵۷۰	۳۸/۱	۳۹۸۲	گرم
۴/۹	۵۱۲	۰/۸	۸۱	۰/۱	۱۳	بسیار گرم

## بحث

استفاده افزایش یافته و همچنین نتایج گویای افزایش بیشتر دما در ده‌های ۲۰۷۱-۲۰۹۹ نسبت به دهه‌های گذشته می‌باشد.

نتایج مربوط به پارامتر دمای حداقل نشان داد که در دهه‌های پایانی قرن ۲۱ نسبت به دوره پایه در هر سه سناریو بیشترین میزان افزایش را نشان داد، که این میزان افزایش دما در ماه آگوست بیشترین مقدار بود. همچنین نتایج مربوط به پارامتر دمای حداکثر با استفاده از سناریوی RCP2.6 نیز نشان داد که در ۳۰ ساله دوم بیشترین میزان افزایش را نسبت به دوره پایه نشان داد که بیشترین میزان ۴/۹۷ درجه سانتی‌گرادی در ماه جولای بود. همچنین در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در سه ساله سوم بیشترین میزان افزایش را نسبت به دوره پایه نشان داد که در ماه‌های جولای و آگوست بیشترین مقدار بود. مطالعه چوبین و همکاران (۱۳۹۵) نیز میانگین متغیرهای اقلیمی کرمان را در گذشته و آینده با استفاده از مدل گردش عمومی جو HadCM3 مورد مقایسه قرار دادند و نتایج آنها نشان داد دمای حداقل تا سال ۲۰۵۵ ۲/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و همچنین نتایج مدل لارس نیز نشان داد که تا سال ۲۰۶۵ دمای بیشینه سالانه هم ۲/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت (۲۵).

در مطالعه‌ای توسط حیدری و همکاران با عنوان بررسی روند تغییرات دمایی در دهه‌های آتی با تاکید بر استرس گرمایی در محیط‌های روباز با استفاده از مدل لارس در ۹ اقلیم جوی مختلف در کشور ایران، نتایج نشان داد که میانگین دمای اقلیم‌های مختلف ایران با افزایش دمای حدود ۲ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰ مواجه خواهد بود. پیش‌بینی‌های مدل بکار گرفته شده نشان داد تغییرات ناچیزی در میانگین دمای روزانه حداقل و حداکثر هوا تا سال ۲۰۲۵ مشاهده می‌شود، در حالی

طبق گزارش چهارم هیئت بین‌الدول تغییرات اقلیمی (IPCC) در صورتی که اگر کشورها نتوانند انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهند، میانگین دمای کره زمین تا سال ۲۱۰۰ براساس پیش‌بینی سناریوهای مختلف اقلیمی به میزان ۱/۱ تا ۴/۶ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. علاوه بر افزایش دما و امواج گرمایی، پدیده‌های حدی اقلیمی نظیر بارش شدید سیل، بادهای تند، طوفان، و... خسارات زیادی را برای جوامع در پی دارند. محققین بر این عقیده هستند که بررسی گرمایش جهانی از دو جنبه مورد اهمیت است. نخست اینکه این گرمایش جهانی اثرات منفی بر انسان و سایر موجودات داشته و دیگر افزایش وقوع، طول مدت و شدت این پدیده می‌باشد (۲۲). با توجه به پیامدهای بسیار گوناگون و وسیع تغییرات اقلیم، و همچنین توجه به جنبه‌های گوناگون این پدیده، تاکنون به این تغییرات از جنبه شغلی و نیز مشاغل محیط‌های روباز کمتر توجه شده است و بیشتر مطالعات در خصوص تأثیر گرمایش جهانی بر روی تغییرات دما و بارش تمرکز داشته‌اند. از همین رو این مطالعه با هدف مدل‌سازی روند استرس گرمایی بر اساس شاخص THI در دهه‌های آتی با استفاده از مدل گردش عمومی جو HadGM2-ES و مدل ریزمقیاس‌کننده CORDEX در ایستگاه کرمان با استفاده از سه سناریوی خوشبینانه (RCP 2.6)، سناریوی بینابینی (RCP 4.5) و بدبینانه (RCP 8.5) انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد در کلیه ماه‌های سال در ایستگاه مورد بررسی دمای حداقل و حداکثر در طی دهه‌های آتی بر اساس سه سناریوی مورد

دادند مقادیر THI در هر سه سناریو خوش بینانه (RCP 2.6)، متوسط (RCP 4.5) و بدبینانه (RCP 8.5) و در دهه‌های آینده بالاتر از مقادیر پایه بودند که این مقادیر در برخی از ماه‌ها از جمله ژانویه، فوریه، مه، سپتامبر، اکتبر و نوامبر افزایش بیشتری را نشان داد. آن‌ها همچنین نشان دادند که بر اساس مقادیر THI در سناریوی خوش بینانه، در دهه‌های آتی، احساس گرما تا سال ۲۰۴۰ روندی کاهشی جزئی داشته و سپس در دهه‌های مورد مطالعه بعدی با روندی اندکی افزایشی همراه بوده است الگوی مشابهی در سناریوهای میانی و بدبینانه مشاهده شد، با این تفاوت که درصد روزهایی که در طول سال شرایط گرم را تجربه می‌کنند، بسیار بیشتر از سناریوی خوش بینانه است (۲).

### نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده از این مطالعه می‌توان اظهار داشت که مواجهه با استرس گرمایی در ایستگاه مورد بررسی با استفاده از شاخص دما و رطوبت و بر اساس هر سه سناریوی مورد مطالعه در طول دوره‌های آماری مورد نظر در اثر تغییرات اقلیمی دارای روند افزایشی مطابق با پدیده گرمایش جهانی کره زمین می‌باشد. به طوری که عدم اسپایش حرارتی نه تنها در ماه‌ها و فصول گرم بلکه در دیگر فصول هم روند افزایشی را نشان می‌دهد. این تغییرات در آینده می‌تواند اثرات نامطلوبی بر سلامت افراد، به ویژه افراد آسیب پذیر مانند افراد مسن و کودکان و همچنین تأثیر بر سلامت، ایمنی و بهره‌وری شاغلینی که دارای فعالیت‌های فیزیکی سنگین در محیط‌های شغلی روباز می‌باشند، داشته باشد. لذا با توجه به اثرات نامطلوب بر سلامتی افراد ناشی از این پدیده، باید در این زمینه برنامه ریزی‌های مناسبی در نظر گرفته شود.

### ملاحظات اخلاقی

این مطالعه با کد اخلاقی IR.IUMS.REC.1400.020 در کمیته اخلاق پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ایران به ثبت رسیده است.

### حامی مالی

این مقاله نتیجه طرح تحقیقاتی مصوب در دانشگاه علوم پزشکی ایران است و با حمایت مالی معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی ایران انجام شده است.

### مشارکت نویسندگان

مفهوم سازی: مهدی اصغری، محمدجواد قنادزاده و حسین صفری، تحلیل داده‌ها: عباس فلاح قالهری، مهدی اصغری، مدلسازی: عباس فلاح قالهری، مهدی اصغری، محمدجواد قنادزاده، نگارش متن و بازبینی: مهدی اصغری، روش پژوهش: مرضیه عباسی نیا، فهیمه شاکری، فرید عبادی فرد آذر، ساناز کارپسند و غلام حیدر تیموری

### تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد

### تشکر و قدردانی

از سازمان هواشناسی جهت در اختیار قرار دادن داده‌های مورد نیاز این مطالعه، تشکر و قدردانی می‌شود.

که پس از آن افزایش دمای قابل توجهی تا سال ۲۱۰۰ پیش بینی می‌گردد. همچنین بر اساس نتایج مدل بیشترین افزایش دمایی در سال ۲۰۷۵ در اکثر نواحی کشور قابل انتظار است (۲۶).

نتایج بدست آمده در مطالعه حاضر نشان داد با استفاده از سناریوی RCP2.6 رطوبت نسبی بیشترین کاهش درصد رطوبت نسبی متعلق به ماه‌های مارس (۷/۱٪) و آگوست (۶/۵۶٪) خواهد بود. همچنین نتایج با استفاده از سناریوی RCP4.5 نشان داد که بیشترین کاهش درصد رطوبت نسبی متعلق به ماه‌های مارس (۱۰/۲۲٪) و آگوست (۶/۸٪) خواهد بود. نتایج سناریوی RCP8.5 نشان داد که بیشترین کاهش درصد رطوبت نسبی متعلق به ماه‌های مارس (۷/۸۵٪) و جولای (۷/۲۵٪) خواهد بود. رطوبت یکی از عناصر مهم اقلیمی است که آثار انکارناپذیری بر فعالیت‌های مختلف انسانی و فرایندهای طبیعی، به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک می‌گذارد. هوای خشک در طبیعت وجود ندارد و حتی در ظاهر هوای خشک بیابانی هم مقداری رطوبت وجود دارد. با توجه به اینکه رخداد بارش به عنوان یک عنصر کلیدی بسیار مهم، ارتباط مستقیمی با رطوبت موجود در جو یا سامانه بارش را دارد (۲۷). افزایش دما که همراه با افزایش ظرفیت رطوبتی هوا بوده رطوبت نسبی هوا را کاهش داده و حداقل فرایند رخداد بارش را در مقیاس ساعتی به تعویق می‌اندازد. اما با افزایش دما و بالا رفتن ظرفیت رطوبتی هوا، در صورت وجود منبع رطوبت، رطوبت ویژه هوا بالا رفته و موجب بالا رفتن بخار آب کلی جو می‌شود و بخار آب در نقش یک گاز گلخانه‌ای خود موجب تشدید گرمایش جهانی می‌گردد (۲).

نتایج مربوط به روند تغییرات شاخص THI در این مطالعه نشان داد در سناریو RCP2.6 میانگین افزایش ۲/۱۱ درجه سانتی گراد تا پایان قرن اخیر نسبت به دهه‌های پایه نشان داد. همچنین در سناریو RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب بصورت میانگین افزایش ۲/۵۳ درجه و ۳/۳ درجه سانتی گراد تا پایان قرن اخیر نسبت به دهه‌های پایه نشان داد. مطالعه Solymosi و همکاران نیز روند سالانه شاخص THI و تعداد روزهای عبور شاخص THI از حد آستانه ( $THI \leq 72$ ) در دوره اقلیمی پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و آتی (۲۰۵۰-۲۰۲۱) در کشور مجارستان را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند روند سالانه شاخص THI و تعداد روزهای توأم با تنش گرمایی در سراسر مجارستان افزایش خواهد یافت، ولی شدت افزایش با توجه به اقلیم هر منطقه متفاوت خواهد بود به طوری که در دوره اقلیمی مورد بررسی نسبت به دوره پایه، افزایشی بین ۱ تا ۲۷ روز در سال خواهد داشت (۲۸).

Dunn و همکاران در بررسی اثر تغییر اقلیم بر شاخص THI در انگلستان، روند تعداد روزهایی از سال که در آن میانگین روزانه شاخص THI از سطح آستانه خود ( $THI \leq 72$ ) بالاتر می‌گردد را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند روند تعداد روزهای تنش گرمایی در مقیاس سالانه در مناطق مورد مطالعه، افزایشی است، به طوری که در اواخر قرن بیست و یکم در بخش‌های شرقی انگلستان تعداد روزهای همراه با تنش گرمایی ( $THI \geq 72$ ) به بیش از ۲۰ روز در سال خواهد رسید (۲۹). اصغری و همکاران نیز در مطالعه خود در ایستگاه اراک با استفاده از مدل گردش عمومی جو CanESM2 و ریز مقیاس کننده Lars نشان

## References

1. Fallah Ghalhar G, Farhang Dehghan S, Asghari M. Trend analysis of Humidex as a heat discomfort index using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests. *Environ Health Engineer Manag J*. 2022;**9**(2):165-176. doi: 10.34172/EHEM.2022.18
2. Asghari M, Ghalhari GF, Ghanadzadeh M, Moradzadeh R, Tajik R, Samadi S. Modeling of thermal discomfort based representative concentration pathways (RCP) scenarios in coming decades using temperature-humidity index (THI) and effective temperature (ET): a case study in a semi-arid climate of Iran. *Air Qualit Atmosphere Health*. 2023;1-11. doi: 10.1007/s11869-023-01335-y
3. Nassiri P, Monazzam MR, Golbabaie F, Farhang Dehghan S, Shamsipour A, Ghanadzadeh MJ, et al. Modeling heat stress changes based on wet-bulb globe temperature in respect to global warming. *J Environ Health Sci Eng*. 2020;**18**(2):441-450. doi: 10.1007/s40201-020-00472-1 pmid: 33312573
4. Heidari H, Rahimifard H, Mohammadbeigi A, Golbabaie F, Sahranavard R, Shokri Z. Validation of air enthalpy in evaluation of heat stress using wet bulb globe temperature (WBGT) and body core temperature: A case study in a hot and dry climate. *Health Safe Work*. 2018;**8**(1):81-92.
5. Teimori G, Monazzam MR, Nassiri P, Golbabaie F, Dehghan SF, Ghanadzadeh MJ. Applicability of the model presented by Australian Bureau of Meteorology to determine WBGT in outdoor workplaces: A case study. *Urban Climate*. 2020;**32**:100609. doi: 10.1016/j.uclim.2020.100609
6. Peiffer JJ, Abbiss CR. Thermal stress in North Western Australian iron ore mining staff. *Annal Occupat Hygiene*. 2012;**57**(4):519-527.
7. Yazdanpanah HSO, Golshahi J. The Effect of Heat waves On Cardiovascular Patients (Case Study: Bandar Abbas). *Spatial Plann*. 2015;**5**(3):45-62.
8. Robine JM, Cheung SL, Le Roy S, Van Oyen H, Griffiths C, Michel JP, et al. Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *C R Biol*. 2008;**331**(2):171-178. doi: 10.1016/j.crvi.2007.12.001 pmid: 18241810
9. Barriopedro D, Fischer EM, Luterbacher J, Trigo RM, Garcia-Herrera R. The hot summer of 2010: redrawing the temperature record map of Europe. *Science*. 2011;**332**(6026):220-224. doi: 10.1126/science.1201224 pmid: 21415316
10. Asghari M, Ghalhari GF, Abbasinia M, Shakeri F, Tajik R, Ghanadzadeh MJ. Feasibility of relative strain index (RSI) for the assessment of heat stress in outdoor environments: Case study in three different climates of Iran. *Open Ecol J*. 2020;**13**(1). doi: 10.2174/1874213002013010011
11. Mohraz MH, Ghahri A, Karimi M, Golbabaie F. The Past and Future Trends of Heat Stress Based On Wet Bulb Globe Temperature Index in Outdoor Environment of Tehran City, Iran. *Iran J Pub Health*. 2016;**45**(6):787.
12. Ghalhari GF, Dehghan SF, Shakeri F, Abbasinia M, Asghari M. Thermal comfort and heat stress indices for outdoor occupations over 15 years: a case study from Iran. *Weather*. 2019;**74**:S40-S45. doi: 10.1002/wea.3454
13. Mazidi A, Enayatpour M, Hosseini SS. Climate determination of Kerman province using ambrothermic curve methods, Domarten drought coefficient, Amberjeh climate view. *Geograph Human Relation*. 2021;**4**(2):35-43.
14. Asghari M, Ghalhari GF, Pirposhteh EA, Dehghan SF. Spatio-Temporal Evolution of the Thermo-Hygrometric Index (THI) during Cold Seasons: A Trend Analysis Study in Iran. *Sustainabil*. 2022;**14**(24):16774. doi: 10.3390/su142416774
15. Collins W, Bellouin N, Doutriaux-Boucher M, Gedney N, Halloran P, Hinton T. Development and evaluation of an Earth-System model-HadGEM2. *Geosci Model Develop*. 2011;**4**(4):1051-1075. doi: 10.5194/gmd-4-1051-2011
16. Azareh A, Rafiei Sardooi E, Jafari Gadaneh M. Investigating the Effect of Climate Change on Future Temperature, Precipitation, and Droughts Using BNU-ESM and HadGEM2 Models. *Desert Ecosys Engineer*. 2022;**10**(31):95-110.
17. Kamyar A, Yazdanpanah H, Movahedi S. Accuracy Evaluation of the Outputs of Regional Climate Models in Iran. *Physic Geograph Res Quarter*. 2018;**50**(1):161-176.
18. Tang J, Xiao Y, Hui P, Lu Y, Yu K. Reanalysis-driven multi-RCM high-resolution simulation of precipitation within CORDEX East Asia Phase II. *Int J Climatol*. 2022;**42**(12):6332-6350. doi: 10.1002/joc.7592
19. Yu K, Hui P, Zhou W, Tang J. Evaluation of multi-RCM high-resolution hindcast over the CORDEX East Asia Phase II region: Mean, annual cycle and interannual variations. *Int J Climatol*. 2020;**40**(4):2134-2152. doi: 10.1002/joc.6323
20. Ouyang F, Zhu Y, Fu G, Lü H, A. Z, Yu Z. Impacts of climate change under CMIP5 RCP scenarios on streamflow in the Huangnizhuang catchment. *Stochastic Environ Res Risk Assess*. 2015;**29**:1781-1795. doi: 10.1007/s00477-014-1018-9
21. Monerie PA, Fontaine B, Roucou P. Expected future changes in the African monsoon between 2030 and 2070 using some CMIP3 and CMIP5 models under a medium-low RCP scenario. *J Geophys Res Atmospheres*. 2012;**117**(D16). doi: 10.1029/2012JD017510
22. Asghari M, Ghalhari GF, Ghanadzadeh M, Moradzadeh R, Tajik R, Samadi S, et al. Modeling of thermal discomfort based representative concentration pathways (RCP) scenarios in coming decades using temperature-humidity index (THI) and effective temperature (ET): a case study in a semi-arid climate of Iran. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2023;1-11.
23. Tseliou A, Tsiros IX, Lykoudis S, Nikolopoulou M. An evaluation of three biometeorological indices for human thermal comfort in urban outdoor areas under real climatic conditions. *Build Environ*. 2010;**45**(5):1346-1352. doi: 10.1016/j.buildenv.2009.11.009
24. Grigore E. INTERANNUAL VARIATION OF THE AVERAGE VALUES OF THERMO-HYGROMETER INDEX ON THE SOUTH DOBROGEA TERRITORY. *Present Environment & Sustainable Development*. 2013;**7**(2).
25. Grigore E. Interannual variation of the average values of thermo-hygrometer index on the south dobrogea territory. *Present Environ Sustainable Develop*. 2013;**7**(2).
26. Choubin B, Sajedi-Hosseini F, Azareh A, Soleimani-Sardoo F. Assessment of Climate Change at 2055 Horizon on Groundwater Resources in Kerman-Baghin Plain. *Desert Manage*. 2016;**4**(7):1-11.
27. Heidari H, Golbabaie F, Shamsipour A, Rahimi-Forushani A. Occupational heat stress in outdoor settings considering the regional climate change in the future decades in Iran. *Iran Occupation Health*. 2019;**16**(2).
28. Fallah Ghalhari G, Asadi M, Dadashi Roudbari AA. Spatial analysis of humidity propagation over Iran. *Physic Geograph Res Quarter*. 2015;**47**(4):637-650.
29. Solymosi N, Torma C, Kern A, Maróti-Agóts Á, Barcza Z, Könyves L. Changing climate in Hungary and trends in the annual number of heat stress days. *Int J Biomet*. 2010;**54**:423-431. doi: 10.1007/s00484-009-0293-5 pmid: 20058157