Iran Occupational Health

Original Article
http://ioh.iums.ac.ir

Iran Occupational Health.2019 (Jun-Jul);16(2):33-47.

# Occupational heat stress in outdoor settings considering the regional climate change in the future decades in Iran

**Hamidreza Heidari**, Department of Occupational Health, Research Center for Environmental Pollutants, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran.
**Farideh Golbabaei**, (*Corresponding author) Department of Occupational Health, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. fgolbabaei@sina.tums.ac.ir
**Aliakbar Shamsipour**, Department of Physical Geography, School of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.
**Abbas Rahimi forushani,** Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

## Abstract

**Background and aims:** Nowadays, global warming and climate change have become one of the controversial topics that have an impact on the health of individuals and a threat to human life. In recent decades, particular attention has been paid to the issue of environmental change and its impact from different perspectives. Many studies have been conducted to study these effects (generally from a non-occupational perspective) around the world. But from a job standpoint, the probable effects of global warming on occupational health are under reached, although its trend is growing. Outdoor workers are one of the most vulnerable groups of people directly affected by global warming. Climate change and global warming can cause many health problems, one of the most important of which is the development of thermal stresses and related disorders in outdoor occupational exposures. Iran is a large country with very wide climatic diversity, with 35. 5% of it in complete arid, 29.2% of the arid, 20.1% of the semi-arid, 5% of the Mediterranean and 10% of the Wet climates in the country. Thus, more than 82% of the territory of the country is located in the arid and semi-arid region of the world. The average rainfall is 250 mm, less than one third world-wide (860 mm), and its dispersion degree is very high in the country. Increasing the average temperature can lead to warmer days and longer and more frequent heat waves. This, in turn, can increase the risk of heat-related diseases such as heat stroke, heat cramp, heat exhaustion, etc., and even in advanced cases, causes death. These effects are likely to be different in different regions, based on the sensitivity of the community, the amount and duration of exposure, as well as the ability of individuals to adapt to temperature variations. So, the main objective of this study was to investigate temperature changes in different climates of Iran in the coming decades in order to obtain an adequate understanding of the heat stress state in outdoor environments.
**Methods:** The environmental parameters required in this study were air temperature (ta), wet temperature (tw) and relative humidity (RH) which are determined by calibrated devices. At the same time, the WBGT temperature index was also measured and recorded using the calibrated WBGT meter, Casella model. All measurements were carried out at three times throughout the day, including 9 am, 12 noon and 3 pm, indicating the initial, mid, and final hours of shift work in the studied environments in the country, respectively. In order to cover this study throughout the country, and taking into account all the existing climates in the country, with the exception of areas with cold- dry and cold- humid climates, which often include the western and northwest parts of the country, 9 climatic zones in each country were selected in that country. A total of 495 measurement series of environmental parameters were carried out in nine climates (55 measurements per each climate). All measurements were done in outdoor settings such as open pit mines, asphalt and road workers, farmers, cement factories and shipbuilding industries. The selection of industries and locations was also performed randomly. Selected sites in this study, each representing different climates in the country, included cities of Ahwaz, Bandar Abbas, Rasht, Gorgan, Kerman, Yazd, Sari, Qom and Mashhad.
The Arc / GIS 8.0 software was used to generalize the data from a meteorological station to other weather stations in a similar climatic zone, and the environmental parameter values measured at each station were similar to the other meteorological stations in the same climate were linked. Thus, in the GIS information layers, different climate zones were determined using two parameters of air temperature and humidity. In this process, the gathered spot data was converted into regional data. In addition, the long-term data for each climate zone (between 1965 and 2010), including the minimum and maximum daily air temperature, rainfall and sunshine, were used to generalize the data to other similar climate zones. Finally, using the weather behavior of previous periods at the studied stations, the weather conditions between 2011 and 2100 using the LARS-WG model and a coupled atmosphere-ocean general circulation model (HadCM3) for each of the 9 weather stations, simulations were performed. Then, according to the goal of the study that emphasizes the stress on outdoor work space, this model evaluates climate change in different regions based on daily maximum and minimum temperatures up to 2100 at 25-year intervals.
**Results:** Based on the results, a temperature increase with different intensities is expected in the next

**Keywords**
Climate change,
Heat stress,
Outdoor Environments,
Occupational health

Received: 26/04/2018
Accepted: 13/11/2018



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-11 ]

decade. In addition, the pattern of variations was almost the same for all stations studied. On the other hand, slight changes in the average daily minimum and maximum air temperature are observed until 2025. These changes were not very different in the spring and summer. After that, by 2075, the temperature increase is observed with a gentle slope, and thereafter, until 2100, no significant changes are observed for most of the stations. However, there is a significant increase in the average daily minimum and maximum temperatures in summer compared to spring. According to the results of the model, the highest temperature rise in 2075 is expected in most parts of the country.

In general, the mean and standard deviation (M ± SD) of expected changes at minimum and maximum temperatures were 1.34±1.41 °C and 1.29±1.40 °C for spring and 2.38±2.44 °C and 2.34±2.48 °C for the summer, respectively. The respective values, regardless of the season (spring or summer) were1.86±2.05 °C and 1.82±2.07 °C for the minimum and maximum temperature changes, respectively. In general, it can be said that the average temperature of different climates of Iran will increase by about 2°C until 2100. The results of the thermal stresses in the nine areas studied, which were simultaneously with other environmental parameters of the study, showed that in the spring, except for climatic zones 5 and 6, which are related to the cities of Yazd and Bandar Abbas, at least at 12 noon, no significant stress was observed in any of the affected areas. However, over time and approaching the afternoon (until around 3:00 pm), many other climatic zones, including sites 2, 7 and 8 (cities such as Ahvaz, Sari and Gorgan), In addition to sites 5 and 6, will be in a stressed state even in the afternoon. In other words, in almost all parts of the country, especially in the middle and end of shift work, there is heat stress in the summer or even in many areas in the spring. The lowest WBGT index was 17.5±0.99 °C for the early hours of the morning (in the spring and in the northern regions of the country) and the maximum is 35.10±0.55 °C for noon and evening hours (in the summer and in the southern regions of the country). In general, the analysis of temperature differences and heat stress in different parts of the country also shows that parts of the country that have the greatest impact on climate change are the central and southern regions of the country. These findings clearly show that many workers, especially those working in outdoor environments, are currently in an environmentally unfavorable condition (regardless of any possible increase in temperature as a result of climate change) and they suffer from the dangers and complications of thermal stress. Considering the objectives of the study as well as the obtaining results about climate change during the current century (about 2 °C), it can be expected that the trend of changes in thermal stress in the country will also change in most parts of the country similar to the trend of temperature changes in the country in the coming decades.

**Conclusion:** Climate change caused by global warming and increased heat stress, especially for outdoor workers, are very important issues with relatively similar effects in different parts of the world. Based on the obtained results, an increase of about 2 degrees Celsius to the average temperature of the air, regardless of the changes in other parameters affecting heat stress such as relative humidity, air velocity and radiant temperature, can put several parts of the country under thermal stress conditions. In other words, the different areas and external environments that are currently in terms of acceptable thermal stress status will suffer from heat stress due to climate change and rising temperatures in the coming decades. For example, it is expected that the northwest, west, and northern and central parts of the country will be exposed to heat stress. In addition, most of the southern and central parts of the country, which are currently in heat stress, will be in a worse situation. Therefore, preventive interventions such as open outdoor environments design, shading in industrial areas, designing cool rest areas to reduce exposure to heat, developing work and rest programs, attention to acclimatization to the environment and observing public health programs, can play an important role in reducing the adverse health effects of climate change and the increase in temperature on exposed outdoor workers.

**Conflicts of interest:** None
**Funding:** Enviromental Research Institute of Tehran University of Medical Sciences

## How to cite this article:

Heidari H, Golbabaei F, Shamsipour A, Rahimi forushani A. Occupational heat stress in outdoor settings considering the regional climate change in the future decades in Iran. Iran Occupational Health. 2019 (Jun-Jul);16(2):33-47.

This work is published under CC BY-NC-SA 3.0 licence

[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-11 ]

مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

سلامت کار ایران

دوره ۱۶، شماره ۲، خرداد و تیر ۱۳۹۸

# بررسی روند تغییرات دمایی در دهه‌های آتی با تأکید بر استرس‌های گرمایی در محیط‌های روباز کشور

**حمیدرضا حیدری:** استادیار، گروه بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات آلاینده‌های محیطی، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران.

**فریده گلبابایی:** استاد، گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران (*نویسنده مسئول). fgolbabaei@ sina.tums.ac.ir

**علی اکبر شمسی پور:** دانشیار، گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

**عباس رحیمی فروشانی:** استاد، گروه اپیدمیولوژی و آمار حیاتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

## چکیده

**زمینه و هدف:** تغییر اقلیم و گرمایش جهانی زمین می‌تواند مشکلات بهداشتی عدیده‌ای را ایجاد کند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها ایجاد استرس‌های گرمایی و اختلالات و عوارض مربوطه در مواجهات شغلی در محیط‌های گرم روباز می‌باشد. هدف اصلی این مطالعه بررسی تغییرات دمایی در اقلیم‌های مختلف کشور ایران در دهه‌های آتی به‌منظور دستیابی به درک مناسب از وضعیت استرس گرمایی محیط‌های روباز می‌باشد.

**روش بررسی:** به‌منظور پوشش گستره وسیع تنوع اقلیمی در کشور، ۹ اقلیم جوی متفاوت در کشور انتخاب گردید به‌طوری‌که اغلب اقلیم‌های موجود در کشور را پوشش دهد. همچنین از مدل LARS-WG برای پیش‌گویی تغییرات دمایی در دهه‌های آتی مورداستفاده قرار گرفت. داده‌های هواشناسی طولانی مدت از هر ایستگاه (بین سال‌های ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۰) شامل حداقل و حداکثر دمای روزانه، میزان بارش و ساعات آفتابی برای ورودی‌های مدل استفاده گردید. استرس‌های گرمایی با استفاده از شاخص دمای ترگویسان (WBGT) و تغییرات دمایی تا سال ۲۱۰۰ در فواصل ۲۵ ساله مورد بررسی و آنالیز قرار گرفت.

**یافته‌ها:** به‌طورکلی، میانگین و انحراف استاندارد (M±SD) تغییرات مورد انتظار در دمای حداقل و حداکثر روزانه به ترتیب °C ۱/۳۴±۱/۴۱ و °C ۱/۲۹±۱/۴۰ برای بهار و °C ۲/۳۸±۲/۴۴ و °C ۲/۳۴±۲/۴۸ برای تابستان تعیین می‌شود. مقادیر مربوطه بدون در نظر گرفتن نوع فصل، به ترتیب برای تغییرات دمای حداقل و حداکثر روزانه °C ۱/۸۶±۲/۰۵ و °C ۲/۰۷ ±۱/۸۲ بود. به‌طورکلی می‌توان گفت میانگین دمای اقلیم‌های مختلف ایران با افزایش دمای حدود ۲ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰ مواجه خواهد بود. کمترین میزان شاخص WBGT برابر °C ۱۷/۵۰±۰/۹۹ مربوط به ساعات ابتدایی صبح (در فصل بهار و در نواحی شمالی کشور) و بیشترین آن برابر ۳۵/۱۰±۰/۵۵ مربوط به ساعات ظهر و عصر (در فصل تابستان و در نواحی جنوبی کشور) 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 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. تحلیل اختلافات دمایی و استرس‌های گرمایی در مناطق مختلف کشور نیز نشان می‌دهد بخش‌هایی از کشور که متحمل بیشترین تأثیرات تغییرات اقلیمی قرار می‌گیرند، نواحی مرکزی و جنوبی کشور هستند.

**نتیجه‌گیری:** به‌طورکلی بر اساس نتایج به دست آمده، افزایش حدود ۲ درجه سانتی‌گراد به میانگین دمای هوا می‌تواند چندین قسمت از کشور را در شرایط تنش گرمایی قرار دهد؛ به‌عبارت‌دیگر، مناطق مختلف و محیط‌های بیرونی که در حال حاضر در شرایط قابل قبول از لحاظ استرس گرمایی هستند، از استرس گرمایی ناشی از تغییرات اقلیمی و افزایش دما در دهه‌های آینده رنج خواهند برد؛ بنابراین، مداخلات پیشگیرانه می‌تواند نقش مهمی در کاهش اثرات نامطلوب سلامتی ناشی از تغییرات اقلیمی و افزایش درجه حرارت بر شاغلین محیط‌های روباز داشته باشد.

***تعارض منافع:*** *گزارش نشده است.*

***منبع حمایت کننده:*** *موسسه تحقیقات محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران*

**کلیدواژه‌ها**

تغییر اقلیم،
استرس گرمایی،
محیط‌های روباز ،
بهداشت شغلی

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۰۶
تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۸/۲۲

**شیوه استناد به این مقاله:**

Heidari H, Golbabaei F, Shamsipour A, Rahimi forushani A. Occupational heat stress in outdoor settings considering the regional climate change in the future decades in Iran. Iran Occupational Health. 2019 (Jun-Jul);16(2):33-47.

***انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC-SA 3.0 صورت گرفته است**



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-11 ]

## مقدمه

گرمایش جهانی و تغییر اقلیم این روزها به یکی از موضوعات بحث‌برانگیز تبدیل شده است که اثر بحرانی بر سلامت افراد داشته و زندگی بشر را تهدید می‌کند. در دهه‌های اخیر، توجه ویژه‌ای به موضوع تغییر اقلیم و اثرات آن از منظرهای مختلف شده است (۱). مطالعات بسیاری انجام شده‌اند که این اثرات را (عموماً از منظر غیر شغلی) در سراسر جهان مورد مطالعه قرار داده‌اند (۲-۶). تحقیقات انجام شده در کشور ایران نیز بیانگر افزایش دمای هوا در دهه‌های آتی می‌باشند (۷-۹)؛ اما از نقطه‌نظر شغلی، اثرات احتمالی گرمایش جهانی بر سلامت شاغلین کمتر مورد توجه واقع شده است اگرچه روند آن رو به رشد است (۱۰). کارگران مشاغل روباز یکی از بیشترین و مستعدترین گروه‌های افراد بوده که مستقیماً تحت تأثیر گرمایش جهانی قرار می‌گیرند. ازجمله این افراد می‌توان به کارگران ساختمانی، کشاورزان، کارگران راه‌آهن، کارگران آسفالت و جاده‌سازی و غیره اشاره نمود (۱۰ و ۱۱). تغییر اقلیم و افزایش دما می‌تواند مشکلات بهداشتی متعددی ازجمله استرس گرمایی و عوارض مربوط به آن را برای شاغلین به‌ویژه شاغلین محیط‌های روباز ایجاد نماید (۱۲). در یک مطالعه گسترده‌ای که در کشور توسط نویسندگان به انجام رسید وضعیت استرس‌های گرمایی در کشور در اقلیم‌های مختلف و در فصول گرم سال مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مطالعه که از شاخص استرس گرمایی استاندارد و رایج دمای تر گویسان ( WBGT: Wet bulb globe temperature) استفاده گردید مشخص شد که در فصل تابستان اکثر نواحی اقلیمی کشور بین ساعت ۱۲ تا ۱۵ در گستره غیر مجاز استرس گرمایی قرار دارند و این شرایط با حرکت از سمت شمال به مرکز و جنوب کشور بیشتر می‌شود (۱۱).

ایران کشور بزرگی است که از تنوع اقلیمی بسیار گسترده‌ای برخوردار است بطوریکه ۳۵/۵٪ ان در نواحی کاملاً بیابانی، ۲۹/۲٪ بیابانی، ۲۰/۱٪ نیمه بیابانی، ۵٪ مدیترانه‌ای و ۱۰٪ شامل اقلیم‌های مرطوب کشور می‌شوند؛ بنابراین بیش از ۸۲٪ قلمرو کشور در نواحی بیابانی و نیمه بیابانی جهان قرار گرفته است. متوسط بارش کشور ۲۵۰ mm بوده که کمتر از یک سوم متوسط جهانی (۸۶۰ mm) می‌باشد و درجه پراکندگی آن در کشور بسیار بالا می‌باشد (۱۳).

افزایش میانگین دمایی می‌تواند منجر به پیدایش روزهای گرم‌تر و موج‌های گرمایی طولانی‌تر و مکرر شود. این امر به نوبه خود می‌تواند باعث افزایش بیماری‌های مرتبط با گرما همچون گرمازدگی، کرامپ گرمایی، ضعف گرمایی و غیره و حتی در موارد پیشرفته باعث مرگ شود (۱۴). این اثرات احتمالاً در نواحی مختلف و بر اساس حساسیت پذیری افراد جامعه، مقدار و طول مدت مواجهه و همچنین توانایی افراد در برقراری سازش با تغییرات دمایی متفاوت خواهد بود. چنانچه افزایش دمایی همراه با افزایش رطوبت محیط برای چندین روز متوالی اتفاق بیفتد (موج گرمایی) و یا دمای شب هنگام کاهش محسوسی پیدا نکند، مواجهه با گرمای فوق‌العاده کشنده خواهد بود (۱۱). کار در محیط‌های مخاطره‌آمیز و مواجهه با عوامل زیان‌آور فیزیکی همچون تابش‌های UV و IR و نیز کار در محیط‌های گرم و مرطوب که اغلب همراه با فعالیت فیزیکی می‌باشد می‌تواند بر عملکرد و ایمنی و بهداشت شاغلین اثرگذار باشد (۱۷-۱۵). این تأثیرات می‌تواند ایجادکننده استرس‌هایی برای فرد باشد و تعادل هورمون‌های بدن را نیز بر هم بزند (۱۸-۱۹). همچنین گرما و استر س های مربوطه می‌تواند باعث افزایش سطح تلاش درک شده توسط فرد (۲۰) و کاهش ظرفیت کار فیزیکی گردد (۲۰-۲۲). همچنین افزایش دمای عمقی بدن در طول مواجهه با گرما می‌تواند باعث افزایش ریسک ابتلا به عوارض و بیماری‌های ناشی از گرما گردد (۲۳-۲۴).

با توجه به موضوع گرمایش جهانی و پیامدها و ریسک‌های آن بر سلامتی انسان و در نظر گرفتن مأموریت و رسالت متخصصین بهداشت حرفه‌ای کشور در پیش بینی و کنترل این خطرات در محیط‌های کار، ضروری است تا سیاست‌های پیشگیرانه و کنترلی در قبال تغییرات دمایی متأثر از گرمایش جهانی اتخاذ گردد.

امروزه، اقلیم شناسان و محققین در سطح جهان با استفاده از داده‌های طولانی مدت به پیش‌گویی تغییرات متغیرهای جوی می‌پردازند تا تغییرات موجود را دریابند و با اتخاذ اقدامات ضروری اثرات سوء ناشی از تغییر



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-11 ]

اقلیم را به حداقل برسانند. بر این اساس مدل‌های گردش عمومی (General circulation GCM: models) جو توسعه یافته‌اند تا پارامترهای جوی را با ریزمقیاس نمایی پیش بینی نمایند (۲۵). این مدل‌ها معتبرترین ابزار برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در سیستم‌های متفاوت بوده و قادرند پارامترهای جوی را برای دوره‌های زمانی طولانی مدت با استفاده از سناریوهای تأیید شده توسط هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC: Intergovernmental panel on climate change) مدل‌سازی نمایند (۲۶)؛ اما عمده‌ترین ضعف این مدل‌ها تفکیک فضایی پایین آن‌هاست که برای غلبه بر آن، ضروری است تا نتایج چنین مدل‌هایی قبل از استفاده در مطالعات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، ریزمقیاس گردد. برای این منظور دو راهکار وجود دارد: ریزمقیاس نمایی آماری و ریزمقیاس نمایی دینامیکی (۲۷). روش‌های آماری در مقایسه با روش‌های دینامیکی نیازمند پارامترهای کمتری بوده و بنابراین بیشتر در مطالعات اقلیم‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرند (۲۸).

یکی از مشهورترین مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری مدل LARS-WG است که در این مطالعه برای ارزیابی تغییر اقلیم در بخش‌های مختلف کشور استفاده شده است و در بخش روش کار توضیح آن آورده شده است.

بنابر آنچه ذکر گردید، مهم‌ترین هدف این مطالعه بررسی روند تغییرات دمایی در نواحی اقلیمی مختلف کشور به‌منظور دستیابی به درک مناسبی از وضعیت استرس گرمایی محیط‌های روباز در دهه‌های آتی می‌باشد.

## روش بررسی

سنجش پارامترهای محیطی و طبقه‌بندی اقلیمی: پارامترهای محیطی مورد نیاز در این مطالعه شامل دمای هوا ($t_a$) و رطوبت نسبی (RH) توسط وسیله سنجش دیجیتالی کالیبره شده مدل Lorton PHB ۳۱۸ ساخت کشور تایوان و رطوبت سنج چرخان جهت تعیین دمای تر ($t_w$) مورد استفاده قرار گرفت. وسیله اخیر، علاوه بر سنجش دمای تر، با ارائه دمای خشک و با استفاده از چارت یا خط کش مربوطه، به‌صورت غیرمستقیم رطوبت نسبی هوا را نیز تعیین می‌نمود. به‌طور هم‌زمان شاخص دمای تر گویسان (WBGT) نیز توسط دستگاه سنجش WBGT کالیبره شده مدل Microtherm Casella ساخت کشور انگلستان اندازه‌گیری و ثبت شد. کلیه اندازه‌گیری‌ها در سه زمان از طول روز شامل ساعات ۹ صبح، ۱۲ ظهر و ۳ عصر انجام شد که به ترتیب نمایانگر ساعات اولیه، میانی و پایانی شیفت کار در محیط‌های مورد بررسی در کشور بود. از سوی دیگر انتخاب این زمان‌ها، به دلیل هم‌زمانی تقریبی ثبت داده‌های هواشناسی در ایستگاه‌های هواشناسی با ساعات انتخابی در این پژوهش بود که این کار امکان مدل‌سازی و تولید داده‌های طولانی مدت را فراهم می‌نمود. همچنین داده‌های مورد اندازه‌گیری در طول فصول بهار و تابستان جمع‌آوری گردید.

به‌منظور پوشش این مطالعه در کل کشور و با در نظر گرفتن همه اقلیم‌های موجود در کشور به‌جز مناطقی با ویژگی‌های اقلیمی سرد و خشک و سرد و مرطوب که اغلب بخش‌های غربی و شمال غربی کشور را شامل می‌شوند، ۹ منطقه اقلیمی در کشور انتخاب شدند که در هر مورد، یک یا چند استان در آن اقلیم قرار می‌گرفتند (جدول ۱). در مجموع ۴۹۵ سری اندازه‌گیری از پارامترهای محیطی در ۹ اقلیم انجام شد (۵۵ اندازه‌گیری در هر اقلیم).

کلیه اندازه‌گیری‌ها در مشاغل روباز شامل معادن روباز، کارگران آسفالت و راه‌سازی، کشاورزان، دامداران، کارخانه‌های سیمان، انبارهای نفت و صنایع کشتی‌سازی انجام شد. انتخاب صنایع و محل‌های مورد اندازه‌گیری نیز به‌صورت تصادفی و با تهیه لیست آن‌ها از مرکز سلامت و محیط کار وزارت بهداشت و معاونت‌های بهداشتی هر استان انجام شد. شهرستان‌های انتخابی در این مطالعه که هرکدام نماینده اقلیم متفاوتی در کشور می‌باشند شامل شهرستان‌های اهواز، بندرعباس، رشت، گرگان، کرمان، یزد، ساری، قم و مشهد بودند (جدول ۱).

تبدیل اطلاعات نقطه‌ای به اطلاعات ناحیه‌ای: به‌منظور تعمیم داده‌های اخذ شده از یک ایستگاه هواشناسی به سایر ایستگاه‌های هواشناسی موجود در یک ناحیه اقلیمی مشابه، از نرم‌افزار Arc/GIS 8.0 استفاده گردید و مقادیر پارامترهای محیطی اندازه‌گیری شده در هر ایستگاه به سایر ایستگاه‌های هواشناسی



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-11 ]

**جدول ۱-** توصیف نواحی اقلیمی مورد مطالعه

| ناحیه اقلیمی | مشخصات آب و هوایی ناحیه اقلیمی | ایستگاههای سینوپتیکی |
|---|---|---|
| ۱ | بیابانی، نواحی خنک* و گرم تا خیلی گرم | تهران، سمنان، قزوین، اراک و قم |
| ۲ | نیمه بیابانی، نواحی متوسط و خیلی گرم | ایلام و اهواز |
| ۳ | نیمه بیابانی، نواحی خنک و گرم | بجنورد، زنجان، شیراز و مشهد |
| ۴ | بیابانی، نواحی خنک و گرم | بیرجند و کرمان |
| ۵ | بیابانی، نواحی خنک و خیلی گرم | اصفهان، زاهدان و یزد |
| ۶ | بیابانی، نواحی متوسط و خیلی گرم | بوشهر، چابهار و بندرعباس |
| ۷ | نواحی مرطوب، خنک و گرم | نوشهر، رامسر و ساری |
| ۸ | نواحی نیمه مرطوب، خنک و گرم | گرگان، یاسوج و قصر شیرین |
| ۹ | نواحی بسیار مرطوب، خنک و گرم | بندر انزلی و رشت |

*منظور از خنک در مشخصات آب و هوایی، یکی از ویژگی‌های شرایط آب و هوایی زمستانی است و نه شرایط آب و هوایی بهار و تابستان که در این مطالعه تاکید می‌شود.

مشابه در یک اقلیم ارتباط داده شدند. بدین ترتیب در لایه‌های اطلاعاتی GIS، مناطق اقلیمی مختلفی بر اساس طبقه‌بندی دمارتن اصلاح شده و با استفاده از دو پارامتر دمای هوا رطوبت مشخص شدند (۱۱). در این فرایند، اطلاعات جمع‌آوری شده نقطه‌ای به اطلاعات ناحیه‌ای تبدیل می‌شد. علاوه بر این، داده‌های طولانی مدت هر ناحیه آب و هوایی (بین سال‌های ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۰ میلادی) شامل حداقل و حداکثر دمای روزانه، میزان بارش و ساعات آفتابی برای تعمیم داده‌ها به سایر مناطق آب و هوایی مشابه مورد استفاده قرار گرفت.

معرفی مدل LARS-WG[1]: یکی از معروف‌ترین مدل‌های کمینه‌سازی آمار، مدل LARS-WG است که در این مطالعه برای بررسی تغییرات آب و هوایی در نقاط مختلف کشور مورد استفاده قرار گرفته است. LARS-WG یک تولیدکننده داده‌های تصادفی است که می‌تواند برای شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در یک سایت واحد در شرایط فعلی و آینده آب و هوایی مورد استفاده قرار گیرد (۳۱-۳۴). این داده‌ها در قالب یکسری داده‌های زمانی روزانه برای متغیرهای اقلیمی شامل بارش (میلی‌متر)، حداکثر و حداقل دما ($^{\circ}C$) و تابش خورشیدی ($MJm^{-2}day^{-1}$) هستند. اولین نسخه LARS-WG در سال ۱۹۹۰ در بوداپست به‌عنوان ابزاری برای روش آماری ریزمقیاس نمایی (Downscaling) در مجارستان طراحی شده است. این مدل بر اساس توزیع نیمه تجربی برای مدل‌سازی در دوره‌های خشک و مرطوب، بارش روزانه و سری تابش است. حداقل و حداکثر دمای روزانه به‌عنوان مؤلفه‌های تصادفی با میانگین و انحراف معیار روزانه که به وضعیت خشک و مرطوب روز بررسی شده بستگی دارند، مدل‌سازی می‌شوند. خروجی این مدل شامل حداقل دما، حداکثر دما، بارش و تابش است (۳۴). دقت و اعتبار این مدل در تولید داده‌های بلند مدت هواشناسی در چندین مطالعه مورد بررسی و تأیید قرار گرفته است (۲۷، ۳۶-۳۵).

پیش بینی تغییرات پارامترهای جوی با استفاده از مدل LARS-WG: در نهایت، با استفاده از رفتار آب و هوایی دوره‌های قبلی در ایستگاه‌های مورد مطالعه، وضعیت آب و هوایی در فاصله زمانی بین سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۱۰۰ با استفاده از مدل LARS-WG و مدل گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی HadCM3 برای هر یک از ۹ ایستگاه هواشناسی شبیه‌سازی انجام شد. سپس با توجه به هدف مطالعه که بر استرس گرمایی در فضای کاری روباز تأکید می‌کند این مدل، تغییرات آب و هوایی در مناطق مختلف را بر اساس پارامترهای حداکثر و حداقل دما مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

معرفی مدل گردش عمومی HadCM3: HadCM3 از نوع مدل‌های گردش عمومی است که مخفف Hadley Coupled Atmosphere-Ocean General Circulation Model بوده و در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی و توسعه یافته است. HadCM3 از دو مؤلفه جوی و اقیانوسی به نام‌های HadAM3 (مدل جوی) و HadOM3 (مدل اقیانوسی) تشکیل شده است.

1. Long Ashton Research Station-Weather Generator (LARS-WG)



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-11 ]

شبیه‌سازی‌های این مدل بر مبنای تقویم سال ۳۶۰ روزه و ماه‌های ۳۰ روزه انجام می‌شود. این ویژگی و نیز قدرت تفکیک بالای مؤلفه اقیانوسی و هماهنگی خوب بین مؤلفه‌های جوی و اقیانوسی که از مهم‌ترین مزایای این مدل هستند، دلیل انتخاب این مدل در مطالعه حاضر بوده است. مدل HadCM3 دارای میلیون‌ها نقطه شبکه‌ای با حجم زیادی از داده‌ها در لایه‌ای مختلف جوی و اقیانوسی می‌باشد که جهت ریزمقیاس نمایی استفاده می‌گردد (۳۴). مدل پیش بینی کننده مورد استفاده در این مطالعه، مدل Lars- WG بود که برای این منظور نخست با استفاده از داده‌های طولانی مدت ایستگاه‌های مورد مطالعه و مدل ریزگران لارس، پیش-بینی طولانی مدت انجام گردید. سپس بعد از اخذ مقادیر خروجی مدل‌گردش عمومی جو HadCM3، برای هر ایستگاه، تغییرات دمایی در دهه‌های آتی مورد بررسی قرار گرفت گردید.

بررسی تغییرات دمایی و استرس‌های گرمایی در دهه‌های آتی: در این بخش خروجی‌های مدل شامل متوسط دمای هوا، دمای حداقل و حداکثر روزانه برای ۹ اقلیم مورد بررسی و دو فصل بهار و تابستان مورد استفاده قرار گرفت تا روند تغییرات دمایی در دهه‌های آتی مورد بررسی قرار گیرد. روند تغییرات دمایی در بازه‌های ۲۵ ساله مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به اینکه اطلاعات هواشناسی سال ۲۰۱۱ در زمان پژوهش، آخرین داده‌های قابل اعتماد موجود بود، داده‌های این سال مبنای بررسی روند تغییرات در سال‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۰، ۲۰۷۵ و ۲۱۰۰ قرار گرفت. همچنین به‌منظور بررسی تأثیر تغییرات دمایی بدست آمده بر استرس‌های گرمایی، نتایج مطالعه با در نظر گرفتن وضعیت استرس‌های گرمایی فعلی کشور که بر اساس شاخص دمای تر گویسان (WBGT) تعیین گردید، مورد بحث واقع شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: پراکندگی داده‌های حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ و شاخص‌های آماری میانگین و انحراف معیار تعیین گردید. همچنین به‌منظور بررسی ارتباط پارامترهای اندازه‌گیری شده و پیش بینی شده توسط مدل، از ضرایب همبستگی پیرسون استفاده گردید.

## یافته‌ها

در وهله اول، به‌منظور بررسی دقت خروجی مدل، مقادیر متوسط دماهای اندازه‌گیری شده و پیش بینی شده مقایسه شدند. بر اساس ضرایب همبستگی محاسبه شده از r= ۰/۷۹۴ تا r=۰/۹۸۳، بین دو گروه داده برای حداقل و حداکثر دمای روزانه و نیز برای بهار و تابستان، همبستگی مناسب مشاهده شد (نمودارهای شکل ۱).

بر اساس آخرین اطلاعات هواشناسی موجود (سال ۲۰۱۱) و در دسترس بودن آن‌ها برای نویسندگان به‌عنوان مقادیر ورودی مدل، مقادیر پیش بینی شده حداکثر و حداقل دمای روزانه به دست آمده از مدل LARS-WG در دو فصل بهار و تابستان مقایسه شد. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، به‌طورکلی یک افزایش دمایی با شدت‌های مختلف در دهه آینده انتظار می‌رود. علاوه بر این، الگوی تغییرات تقریباً مشابهی برای همه ایستگاه‌های مورد مطالعه مشاهده گردید، هرچند برخی از تفاوت‌ها (مثلاً در مورد سایت ۲) به دست آمد. از سوی دیگر تغییرات ناچیزی در میانگین دمای روزانه حداقل و حداکثر هوا تا سال ۲۰۲۵ مشاهده می‌شود.

این تغییرات در بهار و تابستان خیلی متفاوت نبود. بعد از آن تا سال ۲۰۷۵، افزایش دمایی با شیب ملایم مشاهده می‌شود و از آن پس تا سال ۲۱۰۰ تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای برای اکثر ایستگاه‌ها مشاهده نمی‌شود. با این حال، افزایش قابل‌ملاحظه‌ای میانگین دمای روزانه حداقل و حداکثر در فصل تابستان در مقایسه با فصل بهار دیده می‌شود.

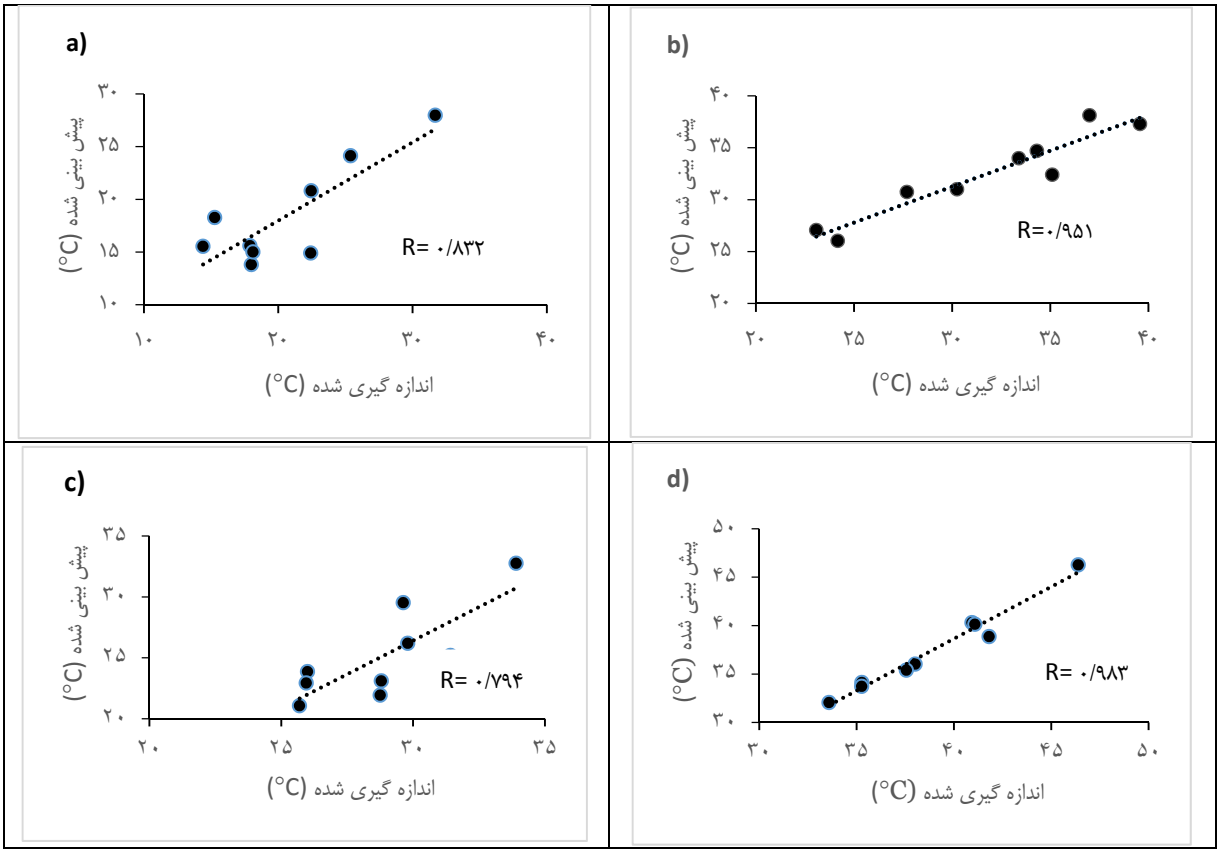
نتایج جدول ۲ انحرافات مشاهده شده در حداقل و حداکثر دمای روزانه در دهه‌های آینده، به‌طور جداگانه در سال‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۰، ۲۰۷۵ و ۲۱۰۰ را نشان می‌دهد. میانگین و انحراف معیار دمای روزانه تا سال ۲۰۲۵ کمتر از ۰/۲ درجه سانتی‌گراد است. این کاهش ناچیز که برای هر دو دمای حداقل و حداکثر روزانه و نیز هر دو بهار و تابستان مشاهده می‌شود، برای همه مناطق مورد مطالعه از الگوی کاملاً یکسانی برخوردار نبوده است.

بنابراین، همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، به‌طورکلی اکثر مناطق بدون انحراف





[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-11 ]




**شکل ۱**- ارتباط بین مقادیر دمای متوسط اندازه گیری شده و پیش بینی شده توسط مدل (a) همبستگی بین دماهای حداقل در فصل بهار؛ (b) همبستگی بین دماهای حداکثر در فصل بهار؛ (c) همبستگی بین دماهای حداقل در فصل تابستان؛ (d) همبستگی بین دماهای حداکثر در فصل تابستان)

قابل‌ملاحظه‌ای تا سال ۲۰۲۵ و با خط صاف در نمودار نشان داده شده است. از سوی دیگر، مشخص شد که پس از سال ۲۰۲۵، افزایش محسوسی در تغییرات دمای روزانه انتظار می‌رود. میانگین و انحراف استاندارد ($M \pm SD$) تغییرات مورد انتظار در دمای حداقل و حداکثر روزانه به ترتیب ذیل می‌باشد:

۱/۳۴±۱/۴۱°C و ۱/۲۹±۱/۴۰°C برای بهار و ۲/۳۸±۲/۴۴°C و ۲/۳۴±۲/۴۸ °C برای تابستان تعیین می‌شود. مقادیر مربوطه بدون در نظر گرفتن نوع فصل، به ترتیب برای تغییرات دمای حداقل و حداکثر روزانه ۱/۸۶±۲/۰۵ °C و ۱/۸۲/±۲/۰۷ °C بود.

به‌طورکلی می‌توان گفت که تحت تأثیر گرم شدن کره زمین، میانگین دمای اقلیم‌های مختلف ایران با افزایش دمای حدود ۲ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰ مواجه خواهد بود. تغییرات دقیق برای هر دهه در جدول ۲ ارائه شده است. علاوه بر این، نتایج جدول ۲ و شکل ۳ به‌طور مشابه نشان‌دهنده تغییرات مورد انتظار دمای حداقل و حداکثر روزانه در هر منطقه است.

نتایج ارزیابی استرس‌های گرمایی در مناطق ۹ گانه مورد بررسی در جدول ۳ ارائه شده است. این ارزیابی‌ها که به‌صورت هم‌زمان با سایر پارامترهای محیطی مطالعه انجام شده است نشان می‌دهد که در فصل بهار به‌جز نواحی اقلیمی ۵ و ۶ که مربوط به شهرهای یزد و بندرعباس می‌باشد، حداقل تا ساعت ۱۲ ظهر استرس گرمایی قابل توجهی در هیچ‌یک از مناطق اقلیمی مورد بررسی دیده نمی‌شود (بر اساس TLV= ۲۸°C برای کار متوسط) (۳۷). این وضعیت در تابستان تغییر قابل توجهی نموده و تعداد زیادی از مناطق اقلیمی دیگر ازجمله سایت‌های ۲، ۷ و ۸ (شهرهایی همچون اهواز، ساری و گرگان) علاوه بر سایت‌های ۵ و ۶ حتی در قبل از ظهر در وضعیت استرس گرمایی قرار خواهند گرفت. کمترین میزان شاخص WBGT برابر ۱۷/۵۰±۰/۹۹ مربوط به ساعات ابتدایی صبح (در فصل بهار و در نواحی شمالی کشور) و بیشترین آن برابر ۳۵/۱۰±۰/۵۵



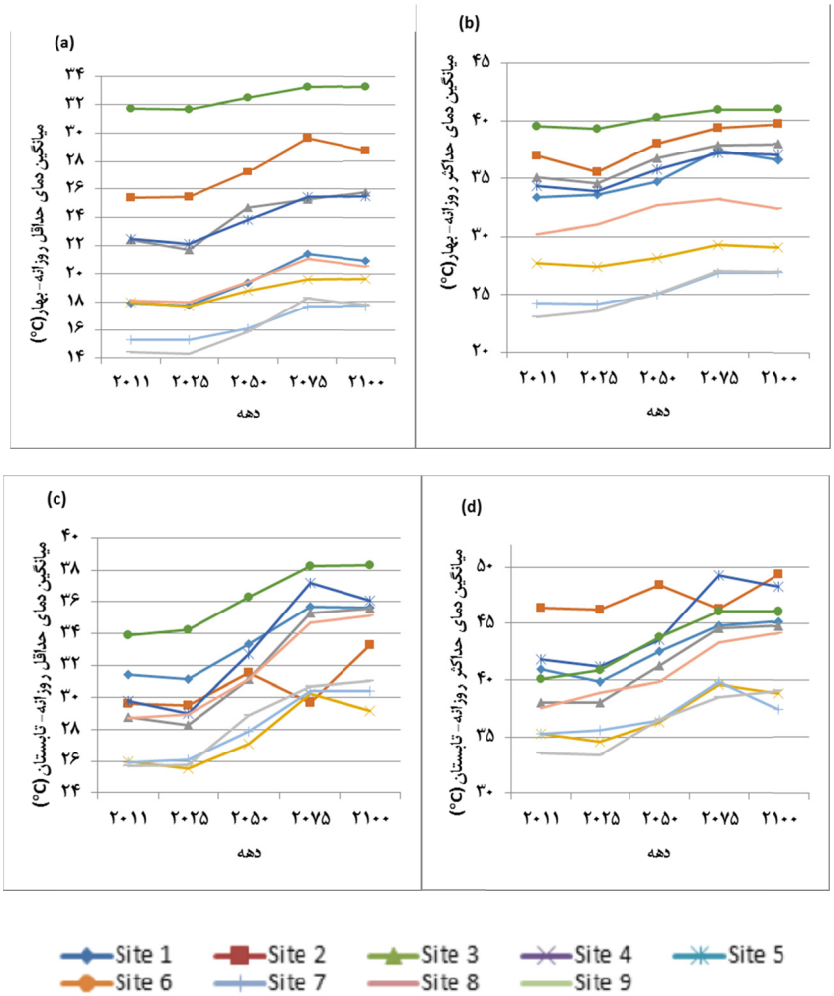
[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-11 ]

**جدول ۲**- تغییرات دمای حداقل و حداکثر روزانه در دهه‌های آتی بر اساس پیش بینی مدل

| فصل | دمای روزانه | تغییرات دمایی (°C) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ۲۰۲۵ | ۲۰۵۰ | ۲۰۷۵ | ۲۱۰۰ | کل** |
| | | *M±DS* | *M±DS* | *M±DS* | *M±DS* | *M±DS* |
| بهار | حداقل | -۰/۱۹±۰/۲۴ | ۱/۳۳±۰/۴۹ | ۲/۸۷±۰/۹۲ | ۲/۶۹±۰/۷۱ | ۱/۳۴±۱/۴۱ |
| | حداکثر | -۰/۱۷±۰/۶۵ | ۱/۳۴±۰/۶۳ | ۲/۷۵±۰/۸۹ | ۲/۵۶±۰/۸۰ | ۱/۲۹±۱/۴۰ |
| تابستان | حداقل | -۰/۱۶±۰/۳۷ | ۲/۲۲±۰/۶۱ | ۴/۹۱±۱/۵۴ | ۴/۹۵±۱/۲۸ | ۲/۳۸±۲/۴۴ |
| | حداکثر | -۰/۱۳±۰/۶۸ | ۲/۰۹±۰/۷۷ | ۴/۹۵±۱/۵۵ | ۴/۸۰±۱/۶۹ | ۲/۳۴±۲/۴۸ |
| کل* | حداقل | -۰/۱۷±۰/۳۰ | ۱/۷۸±۰/۷۰ | ۳/۸۹±۱/۶۲ | ۳/۸۲±۱/۵۳ | ۱/۸۶±۲/۰۵ |
| | حداکثر | -۰/۱۵±۰/۶۴ | ۱/۷۲±۰/۷۹ | ۳/۸۵±۱/۶۷ | ۳/۶۸±۱/۷۳ | ۱/۸۲±۲/۰۷ |

*تغییرات دمایی بین سال های ۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰

** تغییرات دمایی صرف نظر از نوع فصل




**شکل ۲**- تغییرات میانگین دمای حداقل و حداکثر روزانه در فصل بهار و تابستان در دهه های آتی بر اساس پیش بینی مدل" (a) روند تغییرات دمای حداقل روزانه در فصل بهار؛ (b) روند تغییرات دمای حداکثر روزانه در فصل بهار ؛ (c) روند تغییرات دمای حداقل روزانه در فصل تابستان؛ (d) روند تغییرات دمای حداکثر روزانه در فصل تابستان)

مربوط به ساعات ظهر و عصر (در فصل تابستان و در نواحی جنوبی کشور) بود.



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-11 ]

**جدول ۳-** مقادیر WBGT اندازه گیری شده در نواحی اقلیمی مختلف کشور

| ناحیه اقلیمی | زمان اندازه گیری | WBGT (M±SD) | |
|---|---|---|---|
| | | فصل بهار | فصل تابستان |
| ۱ | ۹ | ۱۸/۹۴ ± ۲/۹۸ | ۲۴/۳۰ ± ۰/۳۸ |
| | ۱۲ | ۲۱/۵۲ ± ۱/۵۰ | ۲۷/۲۰ ± ۰/۵۴ |
| | ۱۵ | ۲۲/۶۴ ± ۱/۱۸ | ۲۹ ± ۰/۵۱ |
| ۲ | ۹ | ۲۴/۰۱ ± ۰/۹۷ | ۲۷/۰۵ ± ۱/۱۲ |
| | ۱۲ | ۲۶/۲۰ ± ۲/۴۰ | ۳۱/۲۰ ± ۱/۳۵ |
| | ۱۵ | ۲۷/۱۷ ± ۲/۵۷ | ۳۲/۹۷ ± ۱/۹۸ |
| ۳ | ۹ | ۲۱/۷۲ ± ۲/۱۴ | ۲۵/۴۸ ± ۰/۶۳ |
| | ۱۲ | ۲۶/۰۳ ± ۱/۲۷ | ۲۷/۳۸ ± ۲/۴۶ |
| | ۱۵ | ۲۵/۴۴ ± ۱/۱۳ | ۲۹/۳۸ ± ۱/۱۸ |
| ۴ | ۹ | ۱۸/۶۰ ± ۱/۷۶ | ۲۳/۵۵ ± ۲/۲۶ |
| | ۱۲ | ۱۹/۹۱ ± ۱/۶۲ | ۲۵/۱۸ ± ۰/۲۹ |
| | ۱۵ | ۱۹/۸۴ ± ۱/۳۳ | ۲۵/۷۸ ± ۰/۹۹ |
| ۵ | ۹ | ۲۷/۱۲ ± ۰/۹۳ | ۲۴/۵۶ ± ۰/۴۸ |
| | ۱۲ | ۲۹/۸۵ ± ۰/۷۷ | ۲۸/۱۲ ± ۰/۹۳ |
| | ۱۵ | ۳۰/۶۸ ± ۲/۰۵ | ۳۲/۳۸ ± ۰/۶۶ |
| ۶ | ۹ | ۲۹/۴۰ ± ۰/۴۲ | ۳۲/۵۵ ± ۰/۳۷ |
| | ۱۲ | ۳۱/۱۲ ± ۰/۱۵ | ۳۴/۶۸ ± ۱ |
| | ۱۵ | ۳۳/۵۳ ± ۱/۱۸ | ۳۵/۱۰ ± ۰/۵۵ |
| ۷ | ۹ | ۱۷/۵۰ ± ۰/۹۹ | ۲۵/۳۵ ± ۰/۷۰ |
| | ۱۲ | ۱۷/۸۵ ± ۲/۳۷ | ۲۸/۸۶ ± ۰/۴۵ |
| | ۱۵ | ۱۸/۱۷ ± ۲/۴۵ | ۲۹/۷۷ ± ۰/۳۸ |
| ۸ | ۹ | ۲۲/۹۰ ± ۰/۶۷ | ۲۷/۷۹ ± ۱/۳۴ |
| | ۱۲ | ۲۳/۷۸ ± ۰/۲۳ | ۳۰/۸۴ ± ۱/۶۸ |
| | ۱۵ | ۲۳/۳۲ ± ۱/۱۸ | ۳۱/۵۹ ± ۰/۴۸ |
| ۹ | ۹ | ۲۲/۳۰ ± ۰/۵۰ | ۲۶/۰۶ ± ۱/۰۴ |
| | ۱۲ | ۲۵/۶۹ ± ۱/۲۰ | ۲۷/۶۰ ± ۲/۲۰ |
| | ۱۵ | ۲۵/۱۸ ± ۲/۲۹ | ۲۸/۱۶ ± ۱/۹۵ |

## بحث و نتیجه‌گیری

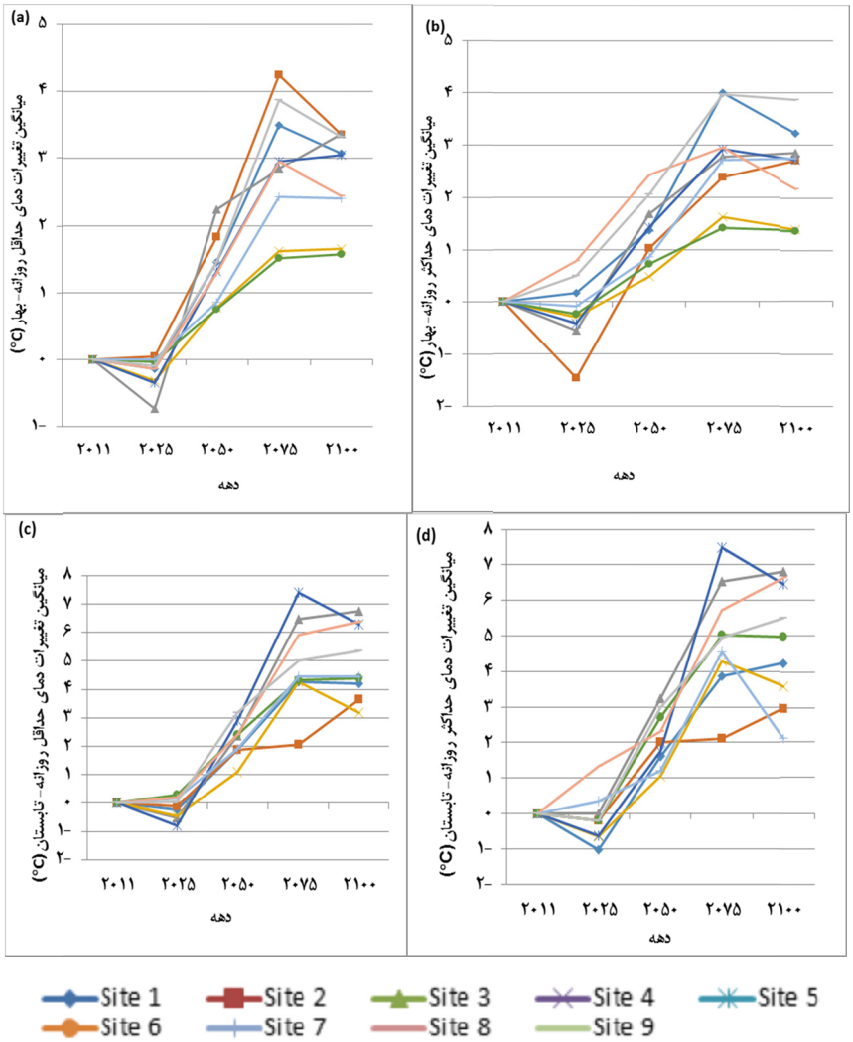
این تحقیق در بخش‌های مختلف ایران انجام شده و هدف از آن مشخص نمودن میزان تغییرات دمایی در دهه‌های آتی و نیاز به توجه به اهمیت استرس گرمایی در محیط‌های روباز در نتیجه تغییرات آب و هوایی و افزایش دما می‌باشد.

بر اساس حداقل و حداکثر دمای پیش بینی شده در شکل ۲ و افزایش دمایی که در سایت‌های ۱، ۲، ۳، ۵ و ۶ رخ دهد، انتظار می‌رود که شاهد بروز یا افزایش استرس‌های گرمایی باشیم؛ زیرا دمای هوا یکی از مؤلفه‌های اصلی محیطی در شاخص‌های استرس گرمایی بوده و تغییرات آن به‌صورت مستقیم و یا غیرمستقیم از طریق تأثیر بر سایر پارامترهای محیطی همچون رطوبت هوا، بر استرس‌های گرمایی مؤثر خواهد بود. سایت‌های مشخص شده مذکور که در نواحی مرکزی و جنوبی کشور قرار می‌گیرند در شرایط نامناسب آب و هوایی در هر دو فصل بهار و تابستان تعیین می‌شوند. از سوی دیگر، مشابه نتایج سایر مطالعات، مناطق شمالی کشور ازجمله سایت‌های ۷، ۸ و ۹ و همچنین سایت ۴ (منطقه بیابانی، خنک و گرم، همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است) با استرس گرمایی کمتری مواجه خواهند بود (۱۱، ۳۷-۳۸).

در مطالعه‌ای که با استفاده از شاخص اقلیم گردشگری (TCI) در ارزیابی محیط گردشگری ایران انجام شد، نتایج مشابهی یافت شد؛ بنابراین، مشخص



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-11 ]




**شکل ۳**- میانگین اختلاف حداقل و حداکثر روزانه در دهه های آتی در مقایسه با شرایط کنونی (بر اساس داده های هوا شناسی قابل استفاده سال ۲۰۱۱). (a) میانگین تغییرات دمای حداقل روزانه در مقایسه با شرایط کنونی در فصل بهار (b) میانگین تغییرات دمای حداکثر روزانه در مقایسه با شرایط کنونیدر فصل بهار (c) میانگین تغییرات دمای حداقل روزانه در مقایسه با شرایط کنونیدر فصل تابستان (d) میانگین تغییرات دمای حداکثر روزانه در مقایسه با شرایط کنونی درفصل تابستان)

شده است که به استثنای قسمت‌های شمال غربی و شمال شرقی ایران در ماه‌های گرم سال به‌ویژه تابستان، شرایط آب و هوایی نامطلوبی از لحاظ گرمایی در کشور وجود دارد (۳۷).

با توجه به نتایج به دست آمده در این مطالعه، صرف نظر از تغییرات ناچیز در حداقل و حداکثر دمای روزانه تا سال ۲۰۲۵، می‌توان یک افزایش دمای محسوسی را در دهه‌های آتی انتظار داشت که بیشترین اثر آن در فصل تابستان خواهد بود (جدول ۲ و شکل ۳).

به‌طورکلی، تغییرات پیش بینی شده از میانگین دمای حداقل و حداکثر روزانه تا سال ۲۱۰۰ (بدون در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی در هر منطقه) به ترتیب برابر افزایش ۱/۸۶±۲/۰۵°C و ۱/۸۲±۲/۰۷°C خواهد بود. علاوه بر این، میانگین و انحراف استاندارد ($M \pm SD$) تغییرات مورد انتظار در دمای حداقل و حداکثر روزانه به ترتیب ۱/۳۴±۱/۴۱°C و ۱/۲۹±۱/۴۰°Cبرای بهار و ۲/۳۸±۲/۴۴°C و ۲/۳۴±۲/۴۸°C برای تابستان، افزایش را نشان می‌دهد (جدول ۲).

بر اساس مدل‌سازی‌های انجام شده، دمای متوسط زمین در بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۱۰۰ به میزان ۱/۱ تا ۴/۶°C افزایش می‌یابد (۲۴، ۳۲). عباسی و همکاران (۱۳۹۰) تغییرات آب و هوایی آینده در ایران را با





[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-11 ]

استفاده از سناریوهای مختلف شامل $ECHAM_4$ و $HadCM_2$ مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که افزایش دمای متوسط بین ۰/۴ تا ۳ درجه سانتی‌گراد بر اساس مدل $HadCM_2$ و ۰/۵ تا ۴ درجه سانتی‌گراد بر اساس مدل $ECHAM_4$ در تمامی استان‌های کشور می‌تواند مورد انتظار باشد. همچنین آن‌ها نشان دادند که بیشترین تغییرات دمایی برابر ۴/۴ تا ۵/۳ درجه سانتی‌گراد است که در سال ۲۱۰۰ صورت می‌گیرد. مقادیر جهانی افزایش دما بین ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی‌گراد گزارش شده‌اند (۳۹).

بر اساس نتایج مطالعه حاضر پیش بینی می‌گردد که حداکثر افزایش دمایی (دمای حداقل روزانه یا دمای حداکثر روزانه و در هر دو فصل بهار و تابستان) در سال ۲۰۷۵ و تا حدودی در سال ۲۱۰۰ اتفاق می‌افتد. حداکثر مقدار افزایش دما برابر ۷/۴۸ درجه سانتی‌گراد، مربوط به حداکثر دمای روزانه سایت ۵ و در فصل تابستان بود (شکل ۳). سایت ۵ که شهرستان‌هایی همچون یزد، زاهدان و اصفهان را در برمی‌گیرد دارای اقلیم بیابانی، نواحی خنک و خیلی گرم می‌باشد و در منطقه مرکزی ایران واقع شده است. عباسی و همکاران (۱۳۹۰) نیز در مطالعه خود گزارش کرده‌اند که حداکثر افزایش دمای ناشی از تغییرات آب و هوایی بر اساس مدل $HadCM_2$ در استان‌هایی ازجمله یزد، خراسان جنوبی، چهارمحال و بختیاری، اصفهان و سمنان که تقریباً در مرکز ایران قرار دارند، انتظار می‌رود (۳۹).

در مطالعه‌ای جلستروم و همکاران در سال ۲۰۰۹ نشان داده شد که در دهه ۲۰۸۰، بیشترین کاهش بهره‌وری کار (در محدوده ۱۱ تا ۲۷ درصد) تحت سناریوی A2 (از سناریوهای تأیید شده توسط پانل بین دولتی تغییر اقلیم) در آسیای جنوب شرقی و آمریکای مرکزی مشاهده خواهد شد (۴۰). در واقع، این افزایش دما در دهه ۲۰۸۰ به وقوع می‌پیوندد که سازگار با یافته‌های مطالعه فعلی است.

این مناطق که در سایت‌های ۱ تا ۶ در این مطالعه و در مناطق مرکزی و جنوبی کشور قرار دارند (جدول ۱) افزایش بیشتری را در میانگین حداکثر و حداقل دمای روزانه در مقایسه با شمال کشور نشان می‌دهند. این در حالی است که بر اساس نتایج به دست آمده، نه تنها افزایش قابل توجهی در دمای متوسط روزانه تا سال ۲۰۲۵ مشاهده نمی‌شود، بلکه حتی در بعضی از ایستگاه‌ها کاهش درجه حرارت جزئی نیز تا سال ۲۰۲۵ دیده می‌شود.

محمدی و همکاران (۱۳۸۹) روند تغییرات دمایی را در دهه‌های آتی در ۳۰ منطقه مختلف ایران (که دربرگیرنده مناطق مورد بررسی در این مطالعه است) مورد بررسی قراردادند و نشان دادند که این روند، افزایشی است. آن‌ها همچنین دریافتند که افزایش دمای متوسط از سال ۲۰۲۵ به بعد بیشتر خواهد بود و در برخی مناطق ایران، ازجمله مناطق جنوبی و مرکزی ایران، افزایش دما بالاتر از مناطق شمالی خواهد بود (۸).

اکثر سناریوهایی که در تغییرات دمایی در نظر گرفته شده است بر اساس پیش بینی انتشار دی اکسید کربن و دی اکسید گوگرد است. با توجه به اهداف مطالعه، بحث بیشتر در مورد دلایل این روند تغییرات دمایی در دهه‌های آتی در اینجا ضروری نیست و بنابراین خوانندگان علاقه‌مند به تحقیقات متعددی که درباره مسائل مربوط به تغییرات اقلیمی در ایران وجود دارد ارجاع داده می‌شوند (۷-۸).

نتایج به دست آمده برای ارزیابی استرس حرارتی با استفاده از شاخص تنش گرمایی دمای تر گویسان (WBGT) نشان داد که به‌جز برخی از مناطق مرکزی و به‌ویژه جنوبی کشور، استرس گرمایی در فصل بهار در هیچ‌یک از مناطق کشور از صبح تا ساعت ۱۲:۰۰ ظهر مشاهده نمی‌شود. با این حال، با گذشت زمان و نزدیک شدن به ساعات بعد از ظهر (تا حدود ساعت ۴:۰۰ بعد از ظهر)، تعداد مناطقی که در ناحیه استرس گرمایی قرار می‌گیرند به تدریج افزایش می‌یابند. به‌طوری‌که در فصل تابستان استرس گرمایی بر اساس WBGT تقریباً در سراسر کشور دیده می‌شود، گرچه شرایط تنش گرمای شدید در مناطق مرکزی و جنوبی ایران بیشتر مشاهده می‌شد. به‌عبارتی‌دیگر، تقریباً در تمام بخش‌های کشور به‌ویژه در اواسط و پایان شیفت کار استرس گرمایی در تابستان و یا حتی در بسیاری از مناطق در فصل بهار نیز وجود دارد.

این یافته‌ها به‌وضوح نشان می‌دهد که بسیاری از کارگران، به‌ویژه کسانی که در محیط‌های روباز کار می‌کنند، در حال حاضر در شرایط نامساعد محیطی



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-11 ]

قرار دارند (صرف نظر از هرگونه احتمال افزایش دما در نتیجه تغییرات آب و هوایی) و از خطرات و عوارض ناشی از استرس حرارتی رنج می‌برند.

با توجه به اهداف مطالعه و نیز نتایج حاصله که تغییرات آب و هوایی در طول قرن حاضر تقریباً به میزان متوسط ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش دما را در اکثر نقاط کشور ایجاد می‌نماید، می‌توان انتظار داشت مشابه با روند تغییرات دمایی در کشور در سال‌های آتی، روند تغییرات استرس‌های گرمایی نیز تغییر کند.

استرس گرمایی شغلی تا به امروز به‌طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است. با این حال، در زمینه اثرات تغییرات آب و هوایی بر استرس‌های گرمایی، اطلاعات کافی در دسترس نمی‌باشد.

با در نظر گرفتن تقریباً ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش میانگین دمای موجود در این مطالعه و گستره تعیین شده میزان WBGT، انتظار می‌رود که بسیاری از نقاط کشور در دهه‌های آتی، استرس گرمای شدیدی را تجربه کنند. علاوه بر این، زمانی که حجم کار افراد شاغل در محیط‌های روباز افزایش می‌یابد، با افزایش میزان متابولیسم، میزان استرس گرمایی می‌تواند از مقادیر توصیه شده یا استاندارد (پذیرفته شده توسط ISO 7243، ۱۹۸۹) تجاوز کند (۴۱). این نتیجه در توافق با نتایج مطالعه انجام شده توسط لاندگرن و همکاران (۲۰۱۳) در مورد اثرات استرس گرمایی بر جمعیت کارکنان در مواجهه با تغییرات اقلیمی می‌باشد (۴۲).

لمکه و جلستروم توصیه می‌کنند که در فضای باز استفاده از پارامترهای جوی قابل دسترس در سازمان هواشناسی مانند دمای هوا، نقطه شبنم، سرعت باد و تابش خورشیدی می‌تواند بهترین نتایج را هنگامی که برآورد میزان WBGT از داده‌های هواشناسی مورد نیاز است، فراهم نماید. برای مثال می‌توانند هنگام برآورد اثرات تغییرات آب و هوایی بر استرس گرمایی شغلی در یک سطح جمعیت مفید باشد (۴۳).

بنابراین، با تلفیق افزایش دمای پیش بینی شده در بخش‌های مختلف کشور در این مطالعه و وضعیت شرایط استرس‌های گرمایی فعلی، می‌توان نتیجه گرفت که نه تنها اکثر مناطق کشور در حال حاضر در شرایط تنش گرما در ماه‌های گرم سال هستند، بلکه استرس گرمایی همچنان در بین سال‌های ۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ تشدید خواهد شد. این افزایش دما که پیش بینی می‌شود در سال ۲۰۷۵ به حداکثر مقدار خود برسد، بسیاری از مردم، به‌ویژه کسانی که در مشاغل روباز فعالیت می‌کنند را در معرض خطر بیماری های مرتبط با گرما قرار خواهد داد (۴۴-۴۵)؛ بنابراین، اگر چه در کل نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که استرس گرما در دهه‌های آینده افزایش می‌یابد، توصیه می‌شود مطالعات بیشتری برای تعیین مقدار دقیق استرس گرما با استفاده از داده‌های هواشناسی انجام شود. همچنین لازم است مطالعات بیشتری در جهت بررسی و مقایسه اقدامات مهندسی و مدیریتی مختلف جهت کاهش خطرات و اختلالات ناشی از گرما در افراد در معرض خطر انجام شود.

تغییرات اقلیمی ناشی از گرمایش جهانی و در نتیجه افزایش استرس گرما، به‌ویژه برای کارگران فضای باز، یک مسئله بسیار مهم است که اثرات نسبتا مشابهی در نقاط مختلف جهان دارد. بر اساس نتایج به دست آمده، افزایش حدود ۲ درجه سانتی‌گراد به میانگین دمای هوا بدون توجه به تغییرات سایر پارامترهای مؤثر بر استرس گرما مانند رطوبت نسبی، سرعت هوا و دمای تابشی و غیره می‌تواند چندین قسمت از کشور را در شرایط تنش گرما قرار دهد؛ به‌عبارت‌دیگر، مناطق مختلف و محیط‌های بیرونی که در حال حاضر در شرایط قابل قبول از لحاظ استرس گرمایی هستند، از استرس گرمایی ناشی از تغییرات اقلیمی و افزایش دما در دهه‌های آینده رنج خواهند برد. به‌عنوان مثال، پیش بینی می‌شود که مناطق شمال غربی، غرب و بخش‌های شمالی و مرکز کشور در شرایط تنش گرمایی قرار گیرند.

علاوه بر این، اکثر مناطق جنوبی و مرکزی کشور که در حال حاضر در استرس گرمایی هستند، دچار وضعیت وخیم تری خواهند شد؛ بنابراین، مداخلات پیشگیرانه مانند باز طراحی محیط‌های روباز، ایجاد سایه بان در مناطق صنعتی، طراحی محل‌های استراحت خنک برای کاهش قرار گیری در معرض گرما، توسعه برنامه های کار و استراحت، توجه به سازش با محیط و رعایت برنامه های بهداشت عمومی می‌تواند نقش مهمی در کاهش اثرات نامطلوب سلامتی ناشی از



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-11 ]

تغییرات اقلیمی و افـزایش درجـه حـرارت بـر شـاغلین محیط‌های روباز داشته باشد.

## تقدیر و تشکر

این تحقیق توسط موسسه تحقیقـات محـیط زیسـت دانشـگاه علـوم پزشـکی تهـران حمایـت شـده اسـت. نویسندگان بر خود لازم مـی داننـد از همکـاری ایشـان نهایت تقدیر و تشکر را داشته باشند.

## References

1. Alijani B, Mahmoudi P, Salighe M, Rigi chahi A, Investigation of the minimum and maximum annual temperature changes in Iran. J Geographic Res. 2011;26(3):101-23(In Persian).
2. White NJ, Church JA, Gregory JM. Coastal and global averaged sea level rise for 1950 to 2000. Geophysic Res Lett. 2005;32:L01601.
3. Rignot E, Rivera A ,Casassa G. Contribution of the Patagonia Icefields of South America to sea level rise. Science. 2003;302(5644):434-7.
4. Malhi Y, Phillips OL. Tropical forests and global atmospheric change: a synthesis. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biol Sci 2004;359(1443):549-55.
5. Domroes M, El-Tantawi A. Recent temporal and spatial temperature changes in Egypt. Int J Climatol. 2005;25(1):51-63.
6. Jiang T, Kundzewicz ZW, Su B. Changes in monthly precipitation and flood hazard in the Yangtze River Basin, China. Int J Climatol. 2008;28(11):1471-81.
7. Abbasi F, Asmari M, Forecasting and Assessment of Climate Change over Iran During Future Decades by Using MAGICC-SCENGEN Model. J Water Soil. 2011;25(1):70-83.
8. Mohammadi H, Moghbel M, Ranjbar F, Study of changes in precipitation and temperature using MAGICC- SCENGEN model. Geography. 2010; 8(25):125-42 (In Persian).
9. Masuodian S.A. Investigation of Iran temperature at past half- century. Geographic Res. 2005;54(3):29-45 (Persian).
10. Nilsson M, Kjellstrom T. Invited Editorial: Climate change impacts on working people: how to develop prevention policies. Global Health Act. 2010;3.
11. Heidari H, Golbabaei F, Shamsipour A, Forushani AR, Gaeini A. Outdoor occupational environments and heat stress in IRAN. J Environ Health Sci Engineer. 2015;13(1):1.
12. Crowe J, de Joode BvW, Wesseling C. A pilot field evaluation on heat stress in sugarcane workers in Costa Rica: What to do next? Global Health Act. 2009; 2.
13. Heidari H, Golbabaei F, Shamsipour A, et al. Consistency between sweat rate and wet bulb globe temperature for the assessment of heat stress of people working outdoor in arid and semi-arid regions. Int J Occup Environ Med. 2018;9:1-9.
14. Heidari H, Golbabaei F, Shamsipour A, Rahimi Forushani A, Gaeini A. The cut-off point for tympanic temperature as a heat strain index for evaluation of outdoor workers: a field study. Int J Occup Safe Ergonom. 2018;24(2):224-32.
15. Amiri M, Eslamian S. Investigation of climate change in Iran. J Environ Sci Technol. 2010;3(4):208-16.
16. Zamanian Z, Mortazavi SM, Asmand E, Nikeghbal K. Assessment of health consequences of steel industry welders' occupational exposure to ultraviolet radiation. Int J Prev Med. 2015;6: 123.
17. Zamanian Z, Gharepoor S, Dehghani M. Effects of electromagnetic fields on mental health of the staff employed in gas power plants, Shiraz, 2009. Pakistan J Biol Sci. 2010;13(19):956.
18. Dehghany M, Rezaeeyani MT, Mohammadi H, Zamanian Z. An investigation of shift work disorders in security personnel of 3 hospitals of Shiraz University of Medical Sciences, 2009. Iran Occup Health. 2012;9(1):52-7.
19. Zamanian Z, Dehghani M, Hashemi H. Outline of changes in cortisol and melatonin circadian rhythms in the security guards of Shiraz University of Medical Sciences. Int J Prev Medi. 2013;4(7):825.
20. Grambsch A, Hemming BL, Weaver CP. Assessment of the impacts of global change on regional US air quality: A synthesis of climate change impacts on ground-level ozone. 2009.
21. Peiffer J, Abbiss C. Thermal stress in North Western Australian iron ore mining staff. Ann Occup Hyg. 2013;57(4):519-27
22. Tucker R, Rauch L, Harley Y, Noakes T. Impaired exercise performance in the heat is associated with an anticipatory reduction in skeletal muscle recruitment. Pflugers Arch. 2004;448(4):422-30.
23. Abbiss CR, Laursen PB. Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. Sports Med. 2005;35(10):865-98.
24. Peiffer J, Abbiss C, Watson G, Nosaka K, Laursen P. Effect of a 5-min cold-water immersion recovery on exercise performance in the heat. Br J Sports Med. 2010;44(6):461-5.
25. Brake DJ, Bates GP. Limiting metabolic rate (thermal work limit) as an index of thermal stress. Appl Occup Environ Hyg. 2002;17(3):176-86.

[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-11 ]

[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-11 ]

26. Casa D, Roberts W. Considerations for the medical staff: Preventing, identifying, and treating exertional heat illnesses. Exertional Heat Illnesses Champaign, IL: Human Kinetics. 2003; 169196.

27. Khalili aqdam N, Mosaedi A, Soltani A, Kamkar B, Evaluation of ability of LARS-WG model for simulating some weather parameters in Sanandaj. J Water Soil Conserv. 2013;19(4): 85-122. Pachauri RK, Reisinger A. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change "Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". Core Writing Team. IPCC, Geneva, Switzerland: IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change; 2007.

28. Abbasi F, Malbosi Sh, Babaian I, Asmari M, Borhani R. Prediction of climate chang in southern khorasan in 2010-2039 using downscaling data GCM (ECHO-G). Geograph Dev J. 2010;24:218-233. (Persian)

29. Alizade A, Sayyari N, Hesami Kermani MR, Banayan Avval M, Farid Hosseini E. Assessment of effects of climate change on water resources and agriculture water using. Water Soil J. 2010;24:815-835. (Persian).

30. Pacsko P, Szeidl L, Semenov M. A serial approach to local stochastic weather models. Ecologic Model. 1991;57:27-41.

31. Semenov M.A., and Brooks, R.J. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. Climate Res. 1998;10:95-107.

32. Semenov MA, Barrow EM. LARS-WG A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies, User Manual, Version 3.0, 2002;28.

33. Shamsipour AA. Climate Modeling-theory and method, University of Tehran press, 2nd edition. 2014:162-166. (Persian)

34. Mavromatis, Th., and Hansen, J.W. Inter annual variability characteristics and simulated crop response of four stochastic weather generators. Agricultur Forest Meteorol. 2001;109:283-296.

35. Babaeian E, Najafi Nick Z, ZabolAbbasi F, Habibi Nokhandan M, Adab H, Malbosi Sh. Investigation of climate change in Iran during 2010-2039 by downscaling of global atmospheric circulation ECHO-G. Geograph Develop. 2009;16: 135-152. (Persian)

36. Farajzadeh M, Ahmadabadi A. Tourism Climate Assessment and Zoning of Iran according to T Tourism Climate Index (TCI). Physic Geographic Res. 2009;71:31-42. (Persian).

37. Heidari H, Golbabaei F, Shamsipour A, Forushani AR, Gaeini A. Evaluation of Heat Stress Among Farmers Using Environmental and Biological Monitoring: A study in North of Iran. Int J Occup Hyg. 2015;7(1):1-9.

38. Abbasi F, Babaeian I, Nokhandan Habibi M, Mokhtari L, Malbosi S. Assessment of the impact of climate change on temperature and precipitation in Iran in the coming decade suing MAGICC-SCENGEN model. Physic Geographic Res. 2009; 72:91-110.

39. Kjellstrom T, Lemke B. The direct impact of climate change on regional labour productivity, Arch Environ Occup Health. 2009;64:217-27.

40. International Organization for Standardization (ISO). Hot environments—Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature) (Standard No. ISO 7243:1989). Geneva: ISO; 1989.

41. Lundgren K, Kuklane K, Gao C, Holmér I. Effects of heat stress on working populations when facing climate change. Ind Health. 2013;51(1):3-15.

42. Lemke B, Kjellstrom T. Calculating Workplace WBGT from Meteorological Data: A Tool for Climate Change Assessment. Indust Health. 2012;50:267–278.

43. Molaei Far H, Rajabi F, Zamanian Z, Honarbakhsh M, Ebrahimi A, Farhadi P. Identifying and ranking the strategies of control exposure to heat stress in the rubber industry using a Delphi method and combination of Fuzzy AHP and TOPSIS approach. Iran Occup Health. 2018;15(4):21-33.

44. Nassiri P, Monazzam MR, Golbabaei F, Abbasinia M, Chavoshi M, Taheri F, et al . Exposure to heat stress in the workplace: a systematic review study. Iran Occup Health. 2018;15(2):118-128.

[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-11 ]