



Research Article

Investigating and analyzing of urban climate comfort in present and future conditions based on climate change scenarios and regression methods in a coastal area

Sedigheh Lotfi^{1*} , Sedigheh Bararkhanpour Ahmadi²

1-Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

2-Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Received: 16 Jun 2025 Accepted: 10 Aug 2025

Extended Abstract

Introduction

The increase in temperature caused by human activities and the type of structure of the urban environment has an effect on the heat island. Extreme weather changes the climatic comfort in the human habitat, which causes the period of climatic comfort to exist with different characteristics in different regions and affect human health and comfort as well as the pattern of tourism development. Considering the effect of global warming and changes in climatic parameters in today's urban development and the need to create ecological stability between nature and human artifacts, discussion and investigation on the effect of micro climate factors on environmental and thermal comfort in urban spaces have been proposed as one of the important factors in quality urban spaces. The northern regions of Iran have a vast territory and diverse topographical and climatic conditions. Meanwhile, the southern regions of the Caspian Sea are rich in natural landforms and various tourism resources. With the warming of the global climate, the study of the comfort of the tourism climate in these areas should be given more attention and become one of the important subjects of the study of the climate of human habitation as well as the study of the resources of the tourism climate. However, the current research on climate comfort in Iran, especially in the northern regions of Iran, is very little, and few studies have been conducted on the analysis of comfort conditions under severe weather in the present and future time period and the investigation of possible changes. Therefore, in this study, the conditions of climatic comfort and human comfort were studied with regard to global warming and climate change scenarios in the southern regions of the Caspian Sea.

Materials and Methods

The study area includes Babolsar city one of the coastal cities of Mazandaran province, northern Iran, which is located between the southern shores of the Caspian Sea and the Alborz Mountain at 52° 39' and 30' of longitude and 36° and 43' of latitude and has an area of about 248.6 km². Due to the low altitude of this area (-21 meters below sea level), the summers are hot and humid (often sultry), the winters are mild and humid, and frost is rare. The long-term average temperature and annual precipitation in this city are 17.8 °C and 939 mm, respectively. Due to its vicinity to the Caspian Sea, tourism services have been developed in this city and it is one of the best tourist destinations (about 6 million tourists per year) in Iran.

Citation: Lotfi, S. and Bararkhanpour Ahmadi, S., 2025. Investigating and analyzing of urban climate comfort in present and future conditions, *Res. Earth. Sci.* 16(3), (25-51) DOI: 10.48308/esrj.2025.240411.1281

* Corresponding author E-mail address: s.lotfi@umz.ac.ir



Climate change and global warming have increasingly caused extreme events and stresses, and when investigating the conditions and patterns of changes in climate and tourism data time series, in addition to examining the average data, the extreme values of the data time series that cause extreme discomfort and stress should also be considered. Therefore, The main purpose of this study is to investigate and identify the temporal patterns and trends of thermal discomfort based on different comfort-discomfort indices and affected by changes in climatic parameters in the historical period of 1987-2016 and based on future climate scenarios (SSP126, SSP245 and SSP585) from the GFDL-ESM4 climate model in two periods of 2020-2059 (near future) and 2060-2099 (far future) in the coastal and tourist-friendly city of Babolsar, located in the northern regions of Iran and the southern shores of the Caspian Sea. For this purpose, different values (especially extreme values) of daily temperature, relative humidity and wind speed were analyzed in different seasons. Then the comfort-discomfort indices including Effective Temperature Index (ET), Temperature and Humidity Index (THI), and Beiker Bioclimatic Index (Cp) were calculated for all the scenarios and time periods studied and the trend of changes was investigated on different values of these indices (especially limit tails of data) as well as the climate variables studied in the historical period and based on different future scenarios using the method quantile regression.

Results and Discussion

The study of the trends in climate parameters and climate comfort indices has shown that in the historical period, temperature and wind speed have increased in all seasons, but relative humidity has decreased. According to the optimistic scenario, various values of temperature and wind speed will increase in the near future period (2020-2059) (with a slope of 0.54°C per decade and 0.03 m/s); while for the distant future period, only a significant increase in winter (0.4°C per decade) will still exist. However, relative humidity will increase in the near future in spring and summer, but in the distant future, relative humidity values will decrease in spring and winter but increase in summer. However, no significant trends will be observed based on this scenario in the autumn. Therefore, it can be said if optimistic conditions are established for the future period, we can witness no change in high temperatures and an increase in days without heat stress, especially in summer (reduction of air humidity). Also, since the wind plays a role in cooling the environment, increasing the wind speed based on this scenario along with a small change in temperature can reduce thermal stress. According to the average scenario, the temperature will increase in both periods (0.5 , 0.44 , 0.5 and 0.3°C per decade, respectively), while the relative humidity in the spring and winter seasons will increase (1.6% and 2.2% per decade) but will decrease in summer and autumn in the near future (-1.4% and -0.3% per decade, respectively). However, a decreasing trend for wind speed in winter (-0.34 m/s per decade) and an increasing trend in spring and autumn (far future) (0.18 and 0.05 m/s per decade) will be observed. But according to the pessimistic scenario, temperature values will increase in all seasons (respectively 0.7 , 0.5 , 0.75 and 1°C per decade) while the relative humidity in winter will increase (1.8% per decade), but it decreases in other seasons (spring, summer and autumn, -0.7 , -2.5 and -0.6% per decade, respectively). However, a possible increase for wind speed will occur in summer, autumn and winter (0.1 , 0.07 and 0.3 m/s per decade, respectively) (mainly in the far future). Therefore, if the climatic conditions continue in the same way or move in the direction of more production of CO_2 and greenhouse gases, it is possible to witness an increase in the number of days with climatic discomfort in the near future. Climatic comfort indices (ET, THI and Cp) have increased in all seasons in the historical period. According to the optimistic scenario, ET and THI indices will increase in the near future only in spring, summer and winter, while there will be no change in autumn. But in the far future, a significant increase will occur in most seasons (except summer) for this index. The lack of increase (for ET and THI) and decrease (for Cp) changes in summer based on optimistic conditions indicates no increase in thermal discomfort conditions in this hot season of the year. However, based on the average and pessimistic scenario, the ET and THI indices will increase significantly, but the Cp index will decrease significantly (increase in hot and hot conditions). The intensity of changes will be greater for high values of ET and THI, which indicates a noticeable increase in the number of days with high stress and thermal stress, and towards the pessimistic scenario and the far future, the number of hot and warm days will increase. Based on two average and pessimistic scenarios, in the near future, the number of hot and warm days and uncomfortable conditions will increase in most cases, but in the far future, in


addition to increasing the number of days with heat discomfort, the number of days with cold conditions and comfortable conditions will also decrease and the days will tend to get warmer.

Conclusion

The results of the study have shown that the period of discomfort will occur based on and under the influence of changes in meteorological and climatological variables affecting each discomfort index, and awareness of the weather conditions associated with periods of high thermal discomfort levels will help to management and reduction heat stress through the development of early warning systems. The number of days with high heat stress conditions (hot and sultry conditions) will potentially increase towards pessimistic scenarios, and the possibility of human discomfort due to high heat (and sometimes high relative humidity) not only will increase in the warm months of the year, but also in cold months, while cold and cool conditions decrease. The results of the study on a seasonal scale have shown that discomfort periods will occur based on and influenced by changes in meteorological and climatological variables affecting each discomfort index, and knowledge of the weather conditions associated with periods of high thermal discomfort levels will help manage and reduce heat stress through the development of early warning systems. Therefore, the results of this study are very important due to the importance and direct impact of climatic parameters on human health, and city officials should design and create environmental strategies to reduce the effects of heat in the city. However, due to the lack of meteorological stations with a high concentration in the region, the analysis was inevitably carried out on one station but on different time scales, and this issue has limited the results. Therefore, in future studies, it is suggested to carry out investigations on a spatial-temporal scale and with several climate models.

Keywords: Heat Stress, Bayesian Quantile regression, Discomfort Index, Coastal Area, Thermal Discomfort.

بررسی و تحلیل آسایش اقلیمی شهری در شرایط حال و آینده مبتنی بر سناریوهای تغییر اقلیم و روش‌های رگرسیونی در یک منطقه ساحلی

صدیقه لطفی^{۱*} , صدیقه برارخانپور احمدی^۲

۱- گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

۲- گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۳/۲۶ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۴/۰۵/۱۹

چکیده گسترده

مقدمه

افزایش دما ناشی از فعالیت‌های انسانی و نوع ساختار محیط شهری بر جزیره گرمایی تأثیر می‌گذارد. آب و هوای شدید، آسایش اقلیمی را در زیستگاه انسان تغییر می‌دهد که باعث می‌شود دوره آسایش اقلیمی با ویژگی‌های متفاوت در مناطق مختلف وجود داشته باشد و بر سلامت و آسایش انسان و همچنین الگوی توسعه گردشگری تأثیر بگذارد. با توجه به تأثیر گرمایش جهانی و تغییرات پارامترهای اقلیمی در توسعه شهری امروزی و لزوم ایجاد پایداری اکولوژیکی بین طبیعت و مصنوعات انسانی، بحث و بررسی در مورد تأثیر عوامل خرد اقلیمی بر آسایش محیطی و حرارتی در فضاهای شهری به عنوان یکی از عوامل مهم در فضاهای شهری با کیفیت مطرح شده است. مناطق شمالی ایران دارای قلمرو وسیع و شرایط توپوگرافی و اقلیمی متنوع هستند. در همین حال، مناطق جنوبی دریای خزر سرشار از عوارض طبیعی و منابع مختلف گردشگری هستند. با گرم شدن آب و هوای جهانی، مطالعه آسایش اقلیم گردشگری در این مناطق باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد و به یکی از موضوعات مهم مطالعه اقلیم سکونتگاه‌های انسانی و همچنین مطالعه منابع اقلیم گردشگری تبدیل شود. با این حال، تحقیقات فعلی در مورد آسایش اقلیمی در ایران، به ویژه در مناطق شمالی ایران، بسیار اندک است و مطالعات کمی در مورد تحلیل شرایط آسایش تحت شرایط آب و هوایی سخت در دوره زمانی حال و آینده و بررسی تغییرات احتمالی انجام شده است. بنابراین، در این مطالعه، شرایط آسایش اقلیمی و آسایش انسانی با توجه به سناریوهای گرمایش جهانی و تغییر اقلیم در مناطق جنوبی دریای خزر مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شامل شهر بابلسر (شکل ۱)، یکی از شهرهای ساحلی استان مازندران در شمال ایران است که بین سواحل جنوبی دریای خزر و رشته کوه البرز در طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۹ دقیقه و ۳۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه واقع شده و مساحتی در حدود ۲۴۸/۶ کیلومتر مربع دارد. به دلیل کم ارتفاع بودن این منطقه (۲۱- متر پایین‌تر از سطح دریا)، فصل تابستان دارای آب و هوای گرم و مرطوب بوده (اغلب شرجی)، زمستان‌های معتدل و مرطوب را تجربه می‌کند و به ندرت دچار یخبندان می‌شود. مقدار میانگین درازمدت دما و بارش سالانه این شهر به ترتیب ۱۷/۸ درجه سانتی‌گراد و ۹۳۹ میلی‌متر است.

استناد: لطفی، ص. و برارخانپور احمدی، ص. ۱۴۰۴. بررسی و تحلیل آسایش اقلیمی شهری در شرایط حال و آینده، پژوهشهای دانش

زمین: ۱۶(۳)، (۵۱-۲۵)، DOI: 10.48308/esrj.2025.240411.1281

E-mail: s.lotfi@umz.ac.ir

* نویسنده مسئول:



به دلیل مجاورت با دریای خزر، خدمات گردشگری در این شهر توسعه یافته و یکی از بهترین مقاصد گردشگری (حدود ۶ میلیون گردشگر در سال) در ایران است. تغییر اقلیم و گرمایش جهانی بیشتر موجب وقوع رویدادها و استرس‌های شدید شده است و در بررسی شرایط و الگوی تغییرات در سری داده‌های اقلیمی و گردشگری می‌بایست علاوه بر بررسی میانگین داده‌ها، مقادیر شدید و حدی سری زمانی داده‌ها که موجب ناراحتی و استرس‌های شدید می‌شود نیز مورد توجه قرار گیرد. لذا هدف اصلی این مطالعه، بررسی و شناسایی الگوها و روندهای زمانی عدم آسایش حرارت بر اساس شاخص‌های مختلف آسایش- ناراحتی و متأثر از تغییر در پارامترهای اقلیمی در دوره تاریخی ۱۹۸۷-۲۰۱۶ و بر اساس سناریوهای اقلیمی آینده (SSP126، SSP245 و SSP585) از مدل اقلیمی GFDL-ESM4 در دو دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۹ (آینده‌ی نزدیک) و ۲۰۶۰-۲۰۹۹ (آینده‌ی دور) در شهر ساحلی و گردشگری بابل، واقع در مناطق شمالی ایران و سواحل جنوبی دریای خزر است. برای این منظور، مقادیر مختلف (به ویژه مقادیر حدی) دمای روزانه، رطوبت نسبی و سرعت باد در فصول مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سپس شاخص‌های آسایش - ناراحتی شامل شاخص دمای موثر (ET)، شاخص دما و رطوبت (THI) و شاخص زیست اقلیمی بیکر (Cp) برای تمام سناریوها و دوره‌های زمانی مورد مطالعه محاسبه و روند تغییرات بر روی مقادیر مختلف این شاخص‌ها (خصوصاً دنباله‌های حدی داده‌ها) و همچنین متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه در دوره تاریخی و بر اساس سناریوهای مختلف آینده با استفاده از روش رگرسیون چندک بررسی شد.

نتایج و بحث

بررسی روند پارامترهای اقلیمی و شاخص‌های آسایش اقلیمی نشان داده است که در دوره تاریخی، دما و سرعت باد در تمام فصول افزایش یافته، اما رطوبت نسبی کاهش یافته است. طبق سناریوی خوش‌بینانه، مقادیر مختلف دما و سرعت باد در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۵۹) (با شیب ۰/۵۴ درجه سانتی‌گراد در هر دهه و ۰/۰۳ متر بر ثانیه) افزایش خواهد یافت؛ در حالی که برای دوره آینده دور، تنها افزایش قابل توجه در زمستان (۰/۴ درجه سانتی‌گراد در هر دهه) همچنان وجود خواهد داشت. با این حال، رطوبت نسبی در آینده نزدیک در بهار و تابستان افزایش می‌یابد، اما در آینده دور، مقادیر رطوبت نسبی در بهار و زمستان کاهش اما در تابستان افزایش خواهد یافت. با این حال، هیچ روند قابل توجهی بر اساس این سناریو در پاییز مشاهده نخواهد شد. بنابراین، می‌توان گفت در صورت برقراری شرایط خوش‌بینانه برای دوره آینده، می‌توانیم شاهد عدم تغییر در دماهای بالا و افزایش روزهای بدون تنش گرمایی، به ویژه در تابستان (کاهش رطوبت هوا) باشیم. همچنین، از آنجایی که باد در خنک‌سازی محیط نقش دارد، افزایش سرعت باد بر اساس این سناریو به همراه تغییر اندک دما می‌تواند تنش گرمایی را کاهش دهد. طبق سناریوی میانگین، دما در هر دو دوره افزایش خواهد یافت (به ترتیب ۰/۵، ۰/۴۴، ۰/۵ و ۰/۳ درجه سانتی‌گراد در هر دهه)، در حالی که رطوبت نسبی در فصول بهار و زمستان افزایش خواهد یافت (۱/۶٪ و ۲/۲٪ در هر دهه) اما در آینده نزدیک در تابستان و پاییز کاهش خواهد یافت (به ترتیب ۱/۴٪ - و ۰/۳٪ در هر دهه). با این حال، روند کاهشی برای سرعت باد در زمستان (۰/۳۴ - متر بر ثانیه در هر دهه) و روند افزایشی در بهار و پاییز (آینده دور) (۰/۱۸ و ۰/۰۵ متر بر ثانیه در هر دهه) مشاهده خواهد شد. اما طبق سناریوی بدبینانه، مقادیر دما در تمام فصول افزایش خواهد یافت (به ترتیب ۰/۷، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درجه سانتی‌گراد در هر دهه) در حالی که رطوبت نسبی در زمستان افزایش خواهد یافت (۱/۸ درصد در هر دهه)، اما در سایر فصول (بهار، تابستان و پاییز، به ترتیب ۰/۷، ۰/۵، ۰/۶ - درصد در هر دهه) کاهش می‌یابد. با این حال، افزایش احتمالی سرعت باد در تابستان، پاییز و زمستان (به ترتیب ۰/۱، ۰/۰۷ و ۰/۳ متر بر ثانیه در هر دهه) (عمدتاً در آینده دور) رخ خواهد داد. بنابراین، اگر شرایط اقلیمی به همین منوال ادامه یابد یا در جهت تولید بیشتر CO₂ و گازهای گلخانه‌ای حرکت کند، می‌توان شاهد افزایش تعداد روزهای با عدم آسایش اقلیمی در آینده نزدیک بود. شاخص‌های آسایش اقلیمی (ET، THI و Cp) در تمام فصول در دوره تاریخی افزایش یافته‌اند. طبق سناریوی خوش‌بینانه، شاخص‌های ET و THI در آینده نزدیک فقط در بهار، تابستان و زمستان افزایش می‌یابند، در حالی که در پاییز تغییری ایجاد نمی‌شود. اما در آینده دور، افزایش قابل توجهی در اکثر فصول (به جز تابستان) برای این شاخص رخ خواهد داد. عدم افزایش تغییرات (برای ET و THI) و کاهش (برای Cp) در تابستان بر اساس شرایط خوش‌بینانه، نشان دهنده عدم افزایش شرایط عدم آسایش حرارتی در این فصل گرم سال است. با این

حال، بر اساس سناریوی میانگین و بدبینانه، شاخص‌های ET و THI به طور قابل توجهی افزایش می‌یابند، اما شاخص Cp به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (افزایش شرایط گرم و داغ). شدت تغییرات برای مقادیر بالای ET و THI بیشتر خواهد بود که نشان دهنده افزایش قابل توجه تعداد روزهای با استرس بالا و استرس حرارتی است و به سمت سناریوی بدبینانه و آینده دور، تعداد روزهای گرم و داغ افزایش می‌یابد. بر اساس دو سناریوی میانگین و بدبینانه، در آینده نزدیک، تعداد روزهای گرم و داغ و شرایط عدم آسایش در بیشتر موارد افزایش می‌یابد، اما در آینده دور، علاوه بر افزایش تعداد روزهای با عدم آسایش حرارتی، تعداد روزهای با شرایط سرد و شرایط آسایش نیز کاهش می‌یابد و روزها تمایل به گرم‌تر شدن خواهند داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه نشان داده است که دوره عدم آسایش بر اساس و تحت تأثیر تغییرات متغیرهای هواشناسی و اقلیمی مؤثر بر هر شاخص عدم آسایش رخ خواهد داد و آگاهی از شرایط آب و هوایی مرتبط با دوره‌های سطوح بالای عدم آسایش حرارتی به مدیریت و کاهش استرس گرمایی از طریق توسعه سیستم‌های هشدار اولیه کمک خواهد کرد. تعداد روزهایی که شرایط استرس گرمایی بالایی (شرایط گرم و شرجی) دارند، به طور بالقوه به سمت سناریوهای بدبینانه افزایش می‌یابد و احتمال عدم آسایش انسانی ناشی از گرمای زیاد (و گاهی رطوبت نسبی بالا) نه تنها در ماه‌های گرم سال بلکه در ماه‌های سرد نیز افزایش می‌یابد. در حالی که شرایط سرد و خنک کاهش می‌یابد. نتایج مطالعه در مقیاس فصلی نشان داده است که دوره‌ی ناراحتی بر پایه و تحت تأثیر تغییرات در متغیرهای هواشناسی و اقلیمی مؤثر بر هر شاخص ناراحتی رخ خواهد داد و آگاهی از شرایط آب و هوایی مرتبط با دوره‌های مربوط به سطوح ناراحتی حرارتی بالا به مدیریت و کاهش استرس گرمایی از طریق توسعه سیستم‌های هشدار اولیه کمک خواهد کرد. بنابراین، نتایج این مطالعه به دلیل اهمیت و تأثیر مستقیم پارامترهای اقلیمی بر سلامت انسان بسیار مهم است و مسئولان شهری باید استراتژی‌های زیست‌محیطی را برای کاهش اثرات گرما در شهر طراحی و ایجاد کنند. با این حال، به دلیل کمبود ایستگاه‌های هواشناسی با تراکم بالا در منطقه، تجزیه و تحلیل به ناچار در یک ایستگاه اما در مقیاس‌های زمانی مختلف انجام شد و این موضوع نتایج را محدود کرده است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، بررسی‌ها در مقیاس مکانی - زمانی و با چندین مدل اقلیمی انجام شود.

واژگان کلیدی: تنش گرمایی، رگرسیون چندک، شاخص ناراحتی، منطقه ساحلی، ناراحتی حرارتی.

مقدمه

حرارتی را بیش از پیش آشکار می‌سازد (Cárdenas-Jirón et al, 2023). تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی بخش گسترده‌ای از مسائل شهری و معماری شهری را تحت تأثیر قرار داده است و تهدیدات اساسی برای زیرساخت‌های شهری و کیفیت زندگی به دلیل افزایش سطح آب دریاها، طوفان‌های شدید و سیل، ایجاد گرمای شدید و خشک شدن موضعی خاک ایجاد می‌کند. براساس مطالعات انجام شده، جمعیت جهان در سال ۲۰۱۷ حدود ۵۴/۸۲ درصد رشد کرده است و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰ به ۶۸ درصد افزایش یابد (Kongbuamai et al, 2023). علیرغم اینکه شهرها درصد کوچکی از کره‌ی زمین را اشغال می‌کنند (تنها ۲ درصد) اما سهم فوق‌العاده‌ای در مصرف انرژی (۶۰ تا ۸۰ درصد) و انتشار کربن (۷۵ درصد) دارند (Akbari et al, 2016). معماری شهرها اهمیت بسیاری در تغییر اقلیم

آب و هوای شدید، آسایش اقلیمی در محیط سکونت انسانی را دستخوش تغییر قرار می‌دهد (Yu et al, 2022) و باعث می‌شود که دوره آسایش اقلیمی با ویژگی‌های متفاوتی در مناطق مختلف وجود داشته و بر سلامتی و راحتی انسان و نیز الگوی توسعه‌ی گردشگری تأثیر بگذارد. از طرفی دیگر، شهرنشینی نیز بر توزیع گرما در محیط‌های شهری تأثیرگذار بوده است (Deng et al, 2023). مصالح ساختمانی از جمله آسفالت و بتن باعث جذب بیشتر تشعشعات خورشید نسبت به پوشش گیاهی می‌شوند (Hussein et al, 2024). لذا گرمای بیشتری توسط این مواد در هوا آزاد می‌شود و دمای محیط را افزایش می‌دهد. لذا تأثیر متقابل بین عوامل اقلیمی و نوع معماری شهری، ضرورت بررسی و درک بهتر انسان از محیط گرمایی و افزایش عدم آسایش

(Isinkaralar, 2023)، تأثیر شکل خیابان‌ها بر آسایش گرمایی انسان (Cardenas-Jiron et al, 2023)، تحلیل آسایش حرارتی شهری در مسیرهای عابرپایاده (Arabi et al, 2023) و بررسی آسایش اقلیمی بر اساس ارتفاعات مختلف و کاربری اراضی (Cetin, 2020) اشاره نمود. نتایج مطالعات نشان داده است که افزایش دما و رطوبت نسبی ناشی از تغییر اقلیم بر روی آسایش اقلیمی و گردشگر تأثیرگذار می‌باشد و نوع معماری شهری مانند افزایش سطوح غیر قابل نفوذ، یک ارتباط قوی با افزایش حداکثر دما دارد. با توجه به اثرات بالقوه متغیرهای هواشناسی بر روی آسایش اقلیمی، ارزیابی آسایش اقلیمی آینده مبتنی بر تغییرات این متغیرها اهمیت و ضرورت دارد. این ارزیابی‌ها به طور معمول با استفاده از روش‌های آماری و رگرسیونی از جمله تحلیل روند تغییرات یا بررسی اثرات متغیرهای اقلیمی بر روی شاخص‌های آسایش-اقلیمی انجام می‌گردد. مطالعات مختلفی به بررسی آسایش اقلیمی آینده پرداخته‌اند؛ برای نمونه، اصغری و همکاران (Asghari et al, 2023) در بررسی تغییرات آینده نراحتی حرارتی با استفاده از شاخص دما-رطوبت (THI) در شهر اراک با استفاده از سناریوهای مدل گردش عمومی در دوره‌ی زمانی ۲۰۹۹-۲۰۱۱ نتیجه گرفتند که مقادیر THI در ماه‌های ژانویه، فوریه و می (فصل زمستان) در دهه‌های آتی نیز بالاتر از دوره پایه (۱۹۷۶-۲۰۰۵) خواهد بود. در کنار تحلیل روند و اعمال روش‌های رگرسیونی بر روی میانگین محیطی، بررسی احتمال رخداد تغییرات در مقادیر حدی داده‌ها که دنباله‌های تابع توزیع را تشکیل می‌دهند نیز اهمیت دارد. روش‌های رگرسیون چندک (Koenker and Bassett, 1978) می‌توانند تغییرات در مقادیر مختلف از پارامترهای محیطی به‌ویژه مقادیر حدی را بررسی نمایند و امکان ارتباط بین متغیرهای مستقل و چندک‌های مختلف متغیر وابسته را فراهم کنند. این روش رگرسیونی برای تحلیل و بررسی روابط بین متغیرهای کمکی و دنباله‌های توزیع متغیر وابسته مفید می‌باشد. از این روش در مطالعات اقلیمی و محیطی مختلفی استفاده گردید (Sterin and Lavrov, 2023; Najib et al, 2024). جمع‌بندی مطالعات انجام شده در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر آسایش اقلیمی شهری، مبتنی بر سناریوهای اقلیمی مختلف و با بهره‌گیری از روش رگرسیون چندک، نشان داده است که تغییرات آب

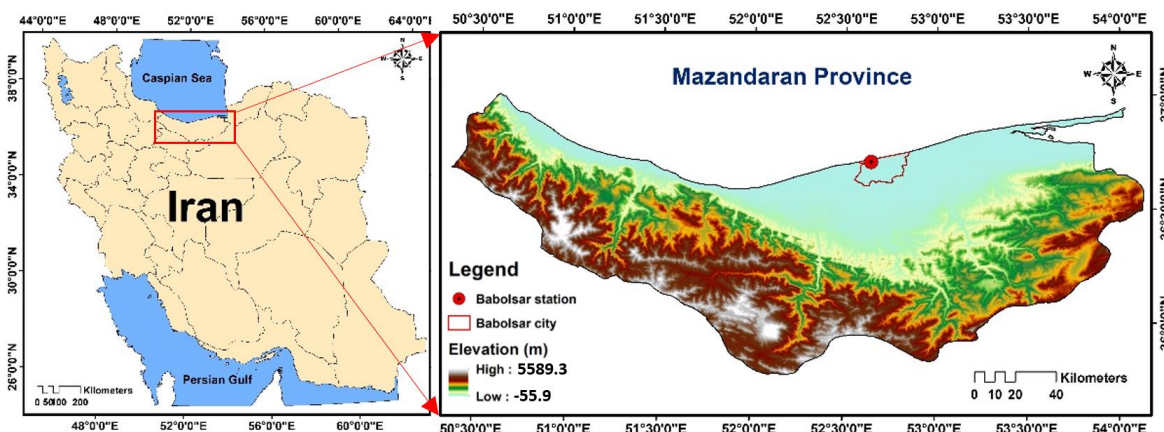
دارد به طوری که اثر شهرسازی شامل ساختمان و حمل و نقل بر تغییر اقلیم در کشورهای در حال توسعه حدود ۸۰ درصد و در کشورهای پیشرفته حدود ۶۰ درصد است (Hasani and Mofidi Shemirani, 2021). لذا الگوی شهرسازی و طراحی شهری مانند استفاده از مصالح با ظرفیت گرمایی بالا، ساخت و ساز زیاد، الگوهای حمل و نقل سنتی و ... پیامدهای زیادی بر پدیده تغییر اقلیم داشته است. با افزایش و پیشرفت سطح زندگی، آسایش اقلیمی زندگی در شهرها به معیار مهمی برای انتخاب محل سکونت تبدیل شده است (Starzyk et al, 2023). افزایش گرمایش جهانی موجب افزایش استرس گرمایی در بخش‌های مختلف جهان و ظهور روزهایی با خطرات مرتبط با گرما شده است. از طرفی تغییر اقلیم با افزایش تنش گرما، کاهش تنش سرما (نواحی اسکی گردشگری) و افزایش ساعات آفتابی بر گردشگری و توریسم تأثیرگذار است. نتایج مطالعات مختلف با تکیه بر بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر آسایش حرارتی و توریسم در کشورهای ویژه، نواحی اسکی، پارک‌ها و مناطق ساحلی نشان داده است که با افزایش دما، کاهش برف طبیعی و افزایش شرایط شرجی، پتانسیل گردشگری تا سال ۲۰۵۰ بین ۱۵ تا ۹۹ درصد کاهش می‌یابد (Karimi et al, 2017). لذا برنامه‌ریزی و طراحی شهری مناسب برای ایجاد آسایش حرارتی شهری، سلامت انسان و رفاه جامعه ضروری است (Abd Elraouf et al, 2022). برای ارزیابی آسایش اقلیمی از شاخص‌های زیست اقلیمی استفاده می‌گردد که خود بر پایه‌ی متغیرهای هواشناسی از جمله دما، باد، رطوبت و تابش می‌باشند (Tarasov and Rakhmanov, 2023). تعدادی از شاخص‌های زیست اقلیمی که در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است شامل شاخص دما و رطوبت^۱ و شاخص بهره‌وری باد (Zhang et al, 2022)، شاخص آسیب نسبی^۲ و شاخص حرارتی رطوبت^۳ (Ichim and Sfica, 2020)، دمای معادل فیزیولوژیکی^۴ (Alijani et al, 2020) و شاخص آب و هوای جهانی^۵ (Zhang et al, 2023) می‌باشد. مطالعات مختلفی در زمینه بررسی و تحلیل آسایش اقلیمی در بخش‌های مختلف انجام شده است؛ چند نمونه مطالعات انجام شده می‌توان به بررسی جامع آسایش حرارتی در فضای باز شهری (Aghamolaei et al, 2023)، بررسی آسایش اقلیمی با توجه به سناریوهای تغییر اقلیم

تحقیقات کنونی در مورد راحتی آب و هوا در ایران و به خصوص در مناطق شمالی ایران بسیار کم بوده و مطالعات کمی در مورد تحلیل شرایط آسایش تحت آب و هوای شدید در دوره‌ی زمانی حال و آینده صورت گرفته است. لذا در این مطالعه شرایط آسایش اقلیمی و راحتی انسان با توجه به گرمایش جهانی و سناریوهای تغییر اقلیم در نواحی جنوبی دریای خزر مورد مطالعه قرار گرفت.

منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی شامل شهرستان بابلسر (شکل ۱)، یکی از شهرهای ساحلی استان مازندران، شمال ایران، در ۵۲ درجه و ۳۹ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول جغرافیایی و ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه عرض جغرافیایی می‌باشد که بین کرانه‌های جنوبی دریای خزر و رشته کوه البرز قرار دارد و دارای مساحتی حدود ۲۴۸/۶ کیلومتر مربع است. به دلیل مجاورت با دریای خزر، خدمات گردشگری در این شهر توسعه یافته و یکی از بهترین مقاصد گردشگری (حدود ۶ میلیون گردشگر در سال) در ایران می‌باشد (Safarrad et al, 2021). شهر بابلسر در ارتفاع ۲۱- متر واقع شده و دارای اقلیم مرطوب معتدل است. به دلیل کم ارتفاع بودن آن، فصل تابستان دارای آب و هوای گرم و مرطوب بوده، زمستان‌های معتدل و مرطوب را تجربه می‌کند و به ندرت دچار یخبندان می‌شود. مقدار میانگین درازمدت دما و بارش سالانه این شهر به ترتیب ۱۷/۸ درجه سانتی‌گراد و ۹۳۹ میلی‌متر است.

و هوایی عمدتاً از طریق افزایش میانگین دما، شدت یافتن رخدادهای حدی (مانند موج گرما) و تأثیرگذاری بر پارامترهای خرداقلیم شهری بر آسایش حرارتی ساکنان تأثیرگذار است. همچنین استفاده از روش رگرسیون چندک ابزاری اثربخش برای تحلیل روندهای تغییر اقلیم در بخش‌های مختلف توزیع داده‌ها (مثلاً چندک‌های حدی شدید بر استرس حرارتی انسانی از طریق مطالعه شاخص‌های آسایش اقلیمی فراهم می‌آورد، درحالی که تحلیل‌های معمول صرفاً میانگین داده‌ها را ارزیابی می‌کنند. با این حال، مطالعات محدودی در زمینه تأثیر مکانی-زمانی آب و هوای شدید آینده بر شاخص‌های آسایش اقلیمی در محیط‌های شهری و تأثیری که نوع معماری شهری می‌تواند بر کاهش یا افزایش دما و متعاقب آن بر آسایش انسانی داشته باشد، انجام شده است. با توجه تأثیر گرمایش جهانی و تغییر در پارامترهای اقلیمی در شهرسازی امروز و نیاز به ایجاد پایداری اکولوژیک میان طبیعت و مصنوعات بشری، بحث و بررسی در مورد تأثیر عوامل خرد اقلیم بر آسایش محیطی و حرارتی در فضاهای شهری به عنوان یکی از عوامل مهم در کیفیت فضاهای شهری مطرح گردیده است. مناطق شمالی ایران (نواحی جنوبی دریای خزر) دارای شرایط توپوگرافی و اقلیمی متنوع و سرشار از لندفرم‌های طبیعی و منابع گردشگری است. با گرم شدن بیشتر آب و هوای جهانی، مطالعه آسایش اقلیم گردشگری در این نواحی باید بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد. با این حال،



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

Fig. 1: Geographical location of the study area.

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش، داده‌های هواشناسی روزانه ایستگاه سینوپتیک بابلسر شامل دما، رطوبت نسبی و سرعت باد از سازمان هواشناسی استان مازندران، ایران، طی دوره‌ی آماری ۲۰۱۴-۱۹۸۵ استفاده گردید. سری زمانی داده‌های اقلیمی شامل دما، رطوبت و باد از داده‌های ایستگاه بابلسر استخراج شده و با استفاده از این داده‌ها، سری زمانی شاخص‌های آسایش مورد مطالعه برای دوره‌ی تاریخی محاسبه گردید. همچنین داده‌های اقلیمی مدل‌های CMIP6 برای سناریوهای مختلف آینده در محدوده ایستگاه بابلسر استخراج و سری زمانی شاخص‌های آسایش اقلیمی آینده برای سناریوهای مختلف محاسبه گردید. سپس الگوی تغییرات آسایش اقلیمی در شهرستان بابلسر بررسی، پیش‌نگری و تحلیل گردید.

مدل‌های CMIP6

مدل‌های CMIP6، جدیدترین گزارش انتشار یافته می‌باشند که به عنوان یک ابزار مهم در مطالعات شبیه‌سازی آب و هوایی استفاده می‌گردد. تعداد سناریوهای آینده بررسی شده در CMIP6 گسترش قابل توجهی یافته است که شامل مسیرهای مشترک اجتماعی-اقتصادی (SSP) مانند سناریوهای SSP1-1-9، SSP4.3.4، SSP3-7-0 می‌باشد (Gupta et al, 2020). برونداد مدل‌های CMIP6 شامل داده‌های تاریخی^۶ و سناریو است از پایگاه داده‌ای^۷ ESGF قابل دریافت می‌باشد. در این تحقیق، پس از استخراج برونداد مدل (های) اقلیمی CMIP6 در مقیاس زمانی روزانه، داده‌های مدل برای سه سناریو خوش‌بینانه SSP1-2-6، حد متوسط SSP2-4-5 و بدبینانه SSP5-8-5 در ایستگاه مورد نظر استخراج گردید. ابتدا داده‌ی تاریخی طی دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۸۵) و داده‌های سناریو برای دوره‌ی آینده (تا سال ۲۱۰۰) برای مدل اقلیمی مورد مطالعه از پایگاه داده دریافت گردید. سپس با در دست داشتن اطلاعات جغرافیایی ایستگاه مورد مطالعه شامل طول و عرض جغرافیایی و کدهای موجود در زبان برنامه نویسی R، سری زمانی داده‌های تاریخی و سناریو از مدل برای ایستگاه مورد نظر تشکیل شد. در گام بعد اقدام به مقیاس‌کاهی داده‌ها با روش درون‌یابی دو خطی بایلینیر^۸ برای ایستگاه مورد مطالعه گردید. در این روش از چهار پیکسل همسایه‌ی هر پیکسل استفاده شده و میان آن‌ها

درون‌یابی برای یافتن پیکسل مورد نظر انجام می‌گردد. به طوری که ابتدا میان هر دو پیکسل مقابل یک درون‌یابی خطی انجام می‌شود، سپس با استفاده از پیکسل‌های همسایه، مقدار پیکسل مورد نظر محاسبه می‌شود. این الگوریتم برای کاهش مقیاس داده‌های شبکه‌ای است (Rashiq et al, 2024; Norooz-Valashedi et al, 2024). در پژوهش حاضر، ابتدا داده‌های ۸ مدل تغییر اقلیم استخراج گردید. انتخاب مدل‌ها بر اساس مطالعات انجام شده در زمینه بررسی و ارزیابی بهترین مدل‌های CMIP6 در منطقه و ایران انجام گردید. با توجه به نتایج تحقیقات انجام شده در زمینه بررسی مدل‌های با دقت بالا در ایران (Zabihi and Ahmadi, 2024; Yazdandoost et al, 2021)؛ ACCESS-CM2، ACCESS-ESM1-5، CMCC-ESM2، GFDL-ESM4، IPSL-CM6A-LR، MPI-ESM1-2-HR، MRI-ESM2-0، NORESM-MM برای انتخاب مدل با دقت مناسب انتخاب گردید. بر اساس ارزیابی داده‌های مدل‌های اقلیمی استخراج شده از روش درون‌یابی دوخطی بایلینیر برای منطقه، از مدل GFDL-ESM4 به دلیل دقت نسبتاً مناسب‌تر ($R^2=0.7$) نسبت به مدل‌های دیگر، دارا بودن همه‌ی متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه (دما، رطوبت و باد) برای سناریوها و دوره‌های زمانی آینده، وضوح مکانی مناسب‌تر (۱۰۰ کیلومتر) و نیز دقت بالای آن با توجه به مطالعات انجام شده (Asadollah et al, 2022; Ahmadi and Mohammadimehr, 2024)، برای تحلیل‌های بعدی در این پژوهش استفاده گردید.

شاخص‌های آسایش اقلیمی

انسان در مقابل عناصر اقلیمی، محیطی و فیزیولوژیکی حساس بوده و با تغییر شکل در شرایط محیط، بدن انسان دمای مناسب زیست که حدود ۳۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد را برای قسمت‌های داخلی تنظیم می‌کند. با منظور کردن عوامل اقلیمی موثر در تنظیمات حرارت بدن و حدود آسایش انسان، مدل‌ها و روابط ریاضی متعددی معرفی گردید که شاخص‌های آسایش اقلیمی نامیده می‌شوند (Zhao et al, 2021).

با استفاده از این شاخص‌ها، ابتدا دامنه تغییرات دما، رطوبت نسبی، فشار بخار، و متوسط جریان باد برای منطقه آسایش تعریف می‌گردد و سپس با استفاده از اطلاعات هواشناسی

(Mazidi et al, 2021). طبقه‌بندی شاخص دمای مؤثر در جدول ۱ ارائه گردید. این شاخص بیشتر براساس مدل‌های آماری و تجربی توسعه داده شده و در شرایط اقلیمی مختلف و محیط‌هایی با دمای بالا، رطوبت بالا و سرعت باد زیاد، دقت پیش‌بینی را پایین می‌آورد (Roghanchi and Kocsis, 2018). بنابراین در کنار این شاخص، استفاده از شاخص‌های دیگر نیز برای تحلیل آسایش اقلیمی توصیه می‌شود.

منطقه، وضعیت روز، ماه یا سال مورد نظر در آن محدوده تعریف می‌شود. شاخص دمای مؤثر: شاخص دمای مؤثر با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد:

$$ET = T - 0.4(T - 10)(1 - RH/100)$$

در این رابطه، T دمای هوا بر حسب درجه سانتی‌گراد، RH رطوبت نسبی بر حسب درصد و ET مقدار دمای مؤثر است

جدول ۱: طبقه بندی آسایش انسان بر حسب شاخص دمای مؤثر (ET) (Mohamadi, 2008)
Table 1: Classification of human comfort according to ET index (Mohamadi, 2008)

Thermal coefficient	ET
Very hot	> 30
Sultry	30 – 27.5
Too warm	27.5 – 25.6
Warm	25.6 – 22.2
Comfort	22.2 – 17.8
Cool	17.8 – 15.5
Very cool	15.5 – 1.67
Cold	1.67 – (-10)
Very cold	(-10) – (-20)
Too cold	< -20

در رابطه بالا، THI شاخص دما-رطوبت، Temp دمای هوا بر حسب درجه‌ی سانتی‌گراد و RH رطوبت نسبی می‌باشد. طبقه‌های مختلف شاخص THI که بیانگر شرایط تنش سرمایی و گرمایی براساس دمای ظاهری بدن انسان می‌باشد در جدول ۲ آمده است (Yao et al, 2021). با این حال، از جمله محدودیت‌های این شاخص می‌توان به بسنده کردن تنها به دو متغیر دما و رطوبت و عدم به کارگیری متغیرهای دیگر (مانند باد، تابش و بخار آب)، عدم توجه به تفاوت‌های فردی مانند متابولیسم، سن، جنس و شرایط فیزیکی را در نظر نمی‌گیرد که بر شرایط آسایش تأثیرگذار است (Mazidi et al, 2021).

شاخص دما و رطوبت (THI)
این شاخص یک نوع شاخص تنش حرارتی می‌باشد که براساس داده‌های دما و رطوبت محاسبه می‌گردد. شاخص THI برای بررسی شرایط تنش در تمام طول سال (تنش گرما و سرما) قابل استفاده است که اثرات ترکیبی دما و رطوبت را بر روی عملکرد انسان بررسی می‌کند. رابطه‌ی THI به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود:

$$THI = (1.8 \times Temp + 32) - 0.55(1 - RH/100) \times (Temp \times 1.8 - 26)$$

جدول ۲: طبقه بندی شاخص دما-رطوبت (THI) از نظر احساس ناراحتی در بدن انسان (Yao et al, 2021)
Table 2: Classification of THI in terms of discomfort in the human body (Yao et al, 2021)

Comfort class	Human Sensation	THI Value	Number
Extremely uncomfortable	Extremely cold	≤ 40	1
Uncomfortable	Cold	40 – 45	2
Less comfortable	Slightly cold	45 – 55	3
Sub-comfort	Cool	55 – 60	4
Comfort	Slightly cool	60 – 65	5
sub-comfort	Warm	65 – 70	6

Less comfortable	Hotter	70 – 75	7
Uncomfortable	Sultry	75 – 80	1
Extremely uncomfortable	Extremely stuffy	≥ 80	2

رابطه ۳)

$$Cp = (0.26 + 0.34V^{0.632}) \times (36.5 - T)$$

در این رابطه، V سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه، T میانگین دمای روزانه بر حسب درجه سانتی‌گراد و Cp قدرت خنک‌کنندگی محیط بر حسب میکروکالری در سانتی‌متر مربع در ثانیه می‌باشد.

شاخص زیست اقلیمی بیکر^۳: این شاخص برای ارزیابی میزان آسایش گردشگران استفاده می‌شود و به دلیل استفاده از سرعت باد و دمای هوا از جامعیت مناسبی برخوردار است. انتخاب این شاخص به این دلیل است که باد و دما از بین پارامترهای منطقه‌ای مربوط به تحریکات زیست اقلیمی انسان مناسب‌تر است (Kaviani, 1992; Ramezani, 2010). رابطه بیکر در معادله رابطه ۳ آمده است:

جدول ۳: درجات خنک‌کنندگی محیط بر اساس شاخص بیکر (Kaviani et al, 1992)

Table 3: Environmental cooling classifications based on the Beiker index (Kaviani et al, 1992)

Human bioclimatic conditions	Air situation	Cp value
Bioclimatic pressure	Hot, warm, humid and undesirable	0 – 5
Bioclimatic comfort	Warm, tolerable	5 – 10
Bioclimatic comfort	Moderate and desirable	10 – 20
Moderate Stimulation	Cool	20 – 30
Middle to intense Stimulation	Cold	30 – 40
Presser in middle aspect	To cold	40 – 50
Intensively Presser	Undesirable cold	50 – 60
Intolerable	Intolerable too cold	60 – 70

رابطه ۵)

minimize $\{ \sum_{\{i|y_i < y_{\theta}(x_i)\}} (1 - \theta) |y_i - y_{\theta}(x_i)| + \sum_{\{i|y_i > y_{\theta}(x_i)\}} \theta |y_i - y_{\theta}(x_i)| \}$
 $\{y_{\theta}(x_i) = \beta_0(\theta) + \beta_1(\theta)x_i, i = 1, 2, \dots, n\}$ که با توجه به رابطه‌ی ۲ برای برآورد رگرسیون چندک از حداقل نمودن مجموع قدرمطلق باقیمانده‌ها استفاده می‌شود که روش حداقل قدرمطلق باقیمانده‌ها^{۱۱} نامیده می‌شود که با توجه به آن، مقدار مطلق تفاوت بین یک مشاهده y_i از چندک θ ام منتاظر $y_{\theta}(x_i)$ وزن $(1 - \theta)$ می‌گیرد اگر مشاهدات زیر خط چندک باشد و وزن θ می‌گیرد اگر مشاهدات بالای خط چندک باشد. برای یک مجموعه از مشاهدات $(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, n$ ، برآورد ضرایب β_{θ} به شکل رابطه ۶ است:

رابطه ۶)

$$\hat{\beta}_{\theta} = \operatorname{argmin} \sum_{i=1}^n \theta_{\theta} (y_i - x_i^T \beta)$$

که تابع $\theta_{\theta}(\cdot)$ به شکل رابطه ۷ تعریف می‌شود:

رابطه ۷)

$$\theta_{\theta}(u) \begin{cases} u(\theta - 1) & \text{if } u < 0 \\ u\theta & \text{if } u \geq 0 \end{cases}$$

روش رگرسیون چندک^{۱۲}

روش رگرسیون چندک (Koenker and Bassett, 1978) یک روش آماری رگرسیونی است که تخمین‌های مبتنی بر مدل به جای میانگین داده‌ها (رگرسیون حداقل مربعات)، بر روی یک چندک مشخص از داده مورد بررسی تولید می‌کند. فرآیند مدلسازی این روش شامل یک متغیر پاسخ به عنوان نتیجه مورد نظر و یک یا چند متغیر مستقل می‌باشد که خروجی یک رابطه رگرسیونی شامل شیب و عرض از مبدأ برای هر یک از چندک‌های مورد مطالعه می‌باشد. مدل رگرسیون چندک به شکل رابطه ۴ است:

رابطه ۴)

$$Y(\theta|x) = \beta_0(\theta) + \beta_1(\theta)x + \varepsilon$$

که در آن، $\beta_0(\theta)$ عرض از مبدأ و $\beta_1(\theta)$ ضریب شیب است و هر دو بسته به مقدار θ امین چندک مورد بررسی تغییر می‌کنند. ε خطا با انتظار صفر و محدوده‌ی مقادیر θ از صفر تا یک است. رگرسیون چندک θ ام، توسط حداقل کردن رابطه ۵ انجام می‌شود:

بحث و نتایج

روند حال و آینده متغیرهای اقلیمی

روند تغییرات متغیرهای اقلیمی مؤثر بر آسایش اقلیمی شامل دما، رطوبت نسبی و باد در دوره‌ی تاریخی (۲۰۱۶-۱۹۸۷) و نیز دو دوره‌ی آینده‌ی نزدیک (۲۰۵۹-۲۰۲۰) و آینده‌ی دور (۲۰۹۹-۲۰۶۰) تحت سناریوهای SSP126 (خوش‌بینانه)، SSP245 (حد متوسط) و SSP585 (بدبینانه) بر روی داده‌های ایستگاه بابلسر انجام گردید. نتایج مطالعه شامل شیب و معنی‌داری روند برای سه چندک پایینی (0.05)، میانه (0.5) و بالایی (0.95) در دو فصل تابستان و زمستان به عنوان نمونه در جدول‌های ۴ و ۵ و شکل‌های ۲ و ۳ آمده است اما تحلیل نتایج برای تمامی فصل‌ها و نیز در مقیاس سالانه انجام گردید. برای فصل تابستان (جدول ۴) مقادیر (چندک‌های) مختلف از هر سه متغیر اقلیمی در دوره‌ی تاریخی دارای روند معنی‌دار بوده است؛ به طوری که میانگین دمای روزانه و باد دارای روند افزایشی اما رطوبت نسبی دارای روند کاهش می‌باشد. براساس سناریوی خوش‌بینانه (SSP126)، متغیر دما در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک دارای روند افزایشی بوده حال آنکه در دوره‌ی آینده‌ی دور، هیچ روند معنی‌داری برای دما مشاهده نخواهد شد. با این حال، رطوبت نسبی در هر دو دوره به صورت معنی‌دار افزایش خواهد یافت. براساس

سناریو حد متوسط (SSP245)، افزایش دما برای هر دو دوره‌ی آینده وجود خواهد داشت. برای رطوبت نسبی، یک روند کاهش معنی‌دار (با شیب -0.14) تنها برای چندک 0.95 (مقادیر بالای رطوبت) در دوره‌ی آینده‌ی دور و برای سرعت باد، یک روند کاهش معنی‌دار (با شیب -0.03) برای چندک 0.5 (مقادیر میانه سرعت باد) در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک وجود دارد حال آنکه در چندک‌های دیگر تغییر معناداری مشاهده نخواهد شد. با این حال، براساس سناریوی بدبینانه (SSP585)، مقادیر میانه دما (چندک 0.5) در آینده‌ی نزدیک و مقادیر میانه و بالایی آن (چندک‌های 0.5 و 0.95) در دوره‌ی آینده‌ی دور به صورت معنی‌دار افزایش خواهد یافت و شیب تغییرات در دوره‌ی آینده‌ی دور بیشتر خواهد بود. اما مقادیر رطوبت نسبی در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک دارای روند کاهش می‌باشد. یک روند کاهش معنی‌دار (با شیب -0.08) تنها برای چندک 0.5 (مقادیر میانه) مشاهده خواهد شد. حال آنکه سرعت باد هیچ تغییری در آینده نزدیک نخواهد داشت. اما در آینده‌ی دور، مقادیر پایینی (چندک 0.5)، میانه (چندک 0.5) و بالایی (چندک 0.95) از سرعت باد دارای روند افزایشی معنی‌دار (به ترتیب با شیب 0.04 ، 0.05 و 0.1) خواهد بود.

جدول ۴: نتایج روند حال و آینده پارامترهای اقلیمی مؤثر بر آسایش اقلیمی مبتنی بر سناریوهای تغییر اقلیم در فصل تابستان

Table 4: The results of current and future trends of climatic parameters affecting climatic comfort based on climate change scenarios in the summer season

Wind speed (m/s per year)	Relative humidity (% per year)			Temperature (°C per year)			Period	Scenario		
	0.95	0.5	0.05	0.95	0.5	0.05			(Quantile)	
0.04*	0.035*	0.03*	-0.17*	-0.094*	-0.17*	0.026*	0.07*	0.07*	1987-2016	Historical
0.001	0.02	0.001	0.004	0.12*	0.12*	0.03*	0.02	0.054*	2020-2059	SSP126
-0.002	0.003*	0.001	0.012	0.084*	0.12*	-0.007	0.015	-0.027	2060-2099	
0.001	-0.003*	-0.001	0.07	-0.012	-0.06	0.03*	0.003	0.03*	2020-2059	SSP245
-0.002	-0.001	0.001	-0.14*	-0.032	-0.022	0.04*	0.022*	0.044*	2060-2099	
0.009	-0.002	-0.001	-0.08*	-0.25*	-0.22*	0.022	0.023*	0.024	2020-2059	SSP585
0.01*	0.005*	0.004*	-0.043	-0.08*	-0.046	0.051*	0.08*	0.017	2060-2099	

*روند معنی‌دار (Significant trend)

مقادیر میانه سرعت باد در دوره‌ی تاریخی می‌باشد. اما رطوبت نسبی در هر سه چندک مورد مطالعه دارای روند کاهش می‌باشد و قابل ملاحظه بوده که بیانگر کاهش مقادیر مختلف رطوبت نسبی در این فصل می‌باشد. با این حال براساس سناریوی خوش‌بینانه (SSP126) در اغلب موارد

همچنین نتایج (شیب و معنی‌داری روند) در فصل زمستان (جدول ۵) نشان داده است که در دوره‌ی تاریخی، متغیر میانگین دما در چندک 0.95 (با شیب 0.073) و متغیر سرعت باد در چندک 0.5 (با شیب 0.22) دارای روند افزایشی بوده است که بیانگر افزایش مقادیر بالای دما و

پایین رطوبت نسبی با شیب 0.084 و مقادیر بالای سرعت باد با شیب -0.034 به ترتیب افزایش و کاهش خواهد یافت. با این حال، براساس سناریوی بدبینانه (SSP585)، مقادیر مختلف دما در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک (چندک‌های 0.05 و 0.095) و در دوره‌ی آینده‌ی دور (چندک‌های 0.05 و 0.15) به صورت معنی‌دار افزایش خواهد یافت و شیب روند نسبتاً بیشتر از سناریوهای دیگر (تا 0.1) در دوره‌ی تاریخی می‌باشد. در حالی که رطوبت نسبی (در چندک 0.095) و سرعت باد (در چندک 0.05) در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک به صورت معنی‌دار کاهش (به ترتیب با شیب -0.063 و -0.006) خواهد یافت اما در دوره‌ی آینده‌ی دور، یک روند افزایشی معنی‌دار برای مقادیر بالای رطوبت نسبی و سرعت باد (به ترتیب با شیب 0.09 و 0.03) احتمالاً وجود خواهد داشت.

روندها غیرمعنی‌دار بوده و تنها احتمال وجود یک روند افزایشی برای مقادیر پایین دما (چندک 0.05) در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک (با شیب 0.05) و برای مقادیر بالای دما (چندک 0.095) در دوره‌ی آینده‌ی دور (با شیب 0.042)، یک روند کاهشی معنی‌دار برای مقادیر بالای رطوبت نسبی در دوره‌ی آینده‌ی دور (-0.076) و یک روند افزایشی برای مقادیر پایین سرعت باد (چندک 0.05) در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک (با شیب 0.003) و برای مقادیر میانه سرعت باد در دوره‌ی آینده‌ی دور (با شیب 0.006) وجود خواهد داشت. در حالی که براساس سناریوی حد متوسط (SSP245)، دما (در چندک 0.05) و رطوبت نسبی (در چندک‌های 0.05 و 0.15) در آینده‌ی نزدیک افزایش اما سرعت باد (در چندک 0.05) کاهش خواهد یافت. در حالی که برای دوره‌ی آینده‌ی دور، دما هیچ تغییر معناداری نداشته و تنها مقادیر

جدول ۵: نتایج روند حال و آینده پارامترهای اقلیمی موثر بر آسایش اقلیمی مبتنی بر سناریوهای تغییر اقلیم در فصل زمستان
Table 5: The results of the current and future trend of climatic parameters affecting climatic comfort based on climate change scenarios in the winter season

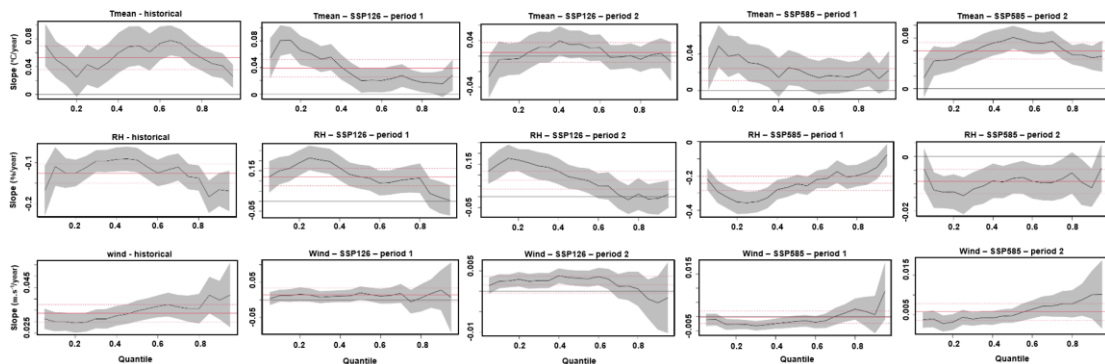
Wind speed (m/s per year)			Relative humidity (% per year)			Temperature ($^{\circ}\text{C}$ per year) (Quantile)			Period	Scenario
0.95	0.5	0.05	0.95	0.5	0.05	0.95	0.5	0.05		
0.016	0.22*	0	-0.16*	-0.17*	-0.24*	0.073*	0.02	0.017	1987-2016	Historical
0.012	-0.002	0.003*	0.005	0.009	-0.03	0.02	0.008	0.05*	2020-2059	
-0.002	0.006*	0.0003	-0.076*	-0.016	0.01	0.042*	0.006	-0.023	2060-2099	SSP126
0.0024	-0.002	-0.003*	0.015	0.22*	0.12*	0.008	0.03*	0.004	2020-2059	SSP245
-0.034*	0.002	-0.002	0.012	0.011	0.084*	0.015	0.016	0.01	2060-2099	
0.014	-0.006*	-0.003	-0.063*	-0.064	-0.013	0.05*	0.032*	0.01	2020-2059	SSP585
0.03*	-0.001	0.001	0.09*	0.04	0.187*	0.009	0.1*	0.064*	2060-2099	

*روند معنی‌دار (Significant trend)

بالای دما نیز اینگونه بوده اما به شدت کمتری همراه است. در حالی که براساس شرایط بدبینانه، مقادیر مختلف دما در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک و دور افزایش خواهد یافت اما شدت این روند افزایشی برای دوره‌ی آینده‌ی دور بیشتر خواهد بود. مقادیر رطوبت نسبی نیز در فصل تابستان براساس سناریوی خوش‌بینانه در آینده‌ی نزدیک افزایش اما در آینده‌ی دور کاهش خواهد یافت. در حالی که براساس سناریوی بدبینانه، تمامی مقادیر رطوبت نسبی یک روند کاهشی خواهد داشت. با این حال در فصل زمستان، تنها یک شیب روند افزایشی برای مقادیر پایین رطوبت نسبی براساس سناریوی خوش‌بینانه وجود خواهد داشت حال آنکه براساس سناریوی بدبینانه، مقادیر رطوبت نسبی در هر دو

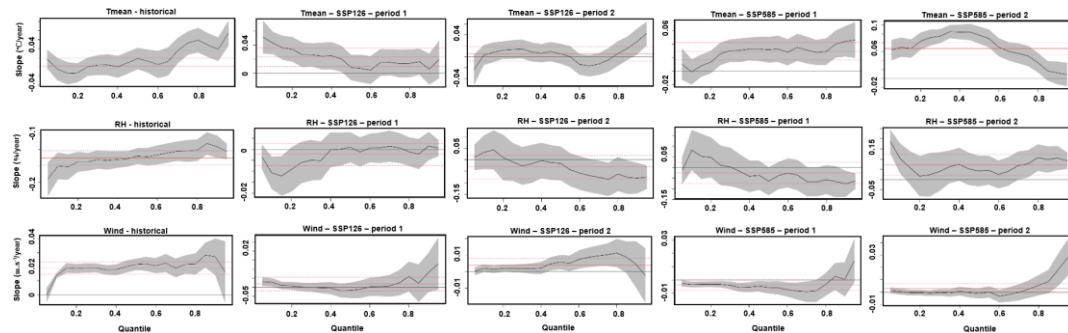
شکل‌های ۲ و ۳ مقادیر شیب روند در چندک‌های مختلف (0.05 تا 0.95 با گام 0.05) را برای متغیرهای اقلیمی در دو فصل تابستان و زمستان برای دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌ها می‌توان بیان کرد که مقادیر شیب روند در چندک‌های مختلف یا برای مقادیر مختلف از متغیرهای اقلیمی متفاوت با مقدار شیب رگرسیون میانگین بوده و بیشترین اختلاف متناسب با مقادیر حدی داده‌ها یا شیب روند در چندک‌های حدی می‌باشد. مقادیر پایین دما (چندک‌های >0.05) براساس سناریوی خوش‌بینانه در آینده‌ی نزدیک در هر دو فصل دارای روند افزایشی بوده حال آنکه در دوره‌ی آینده‌ی دور کاهش خواهد یافت. همچنین رفتار تغییرات برای مقادیر

دوره کاهش خواهد یافت. برای سرعت باد نیز بیشترین تغییرات مربوط به مقادیر بالا بوده است که در هر دو سناریو زمستان و نیز سناریوی بدبینانه بیشتر می‌باشد.



شکل ۲: مقادیر شیب روند حال و آینده در چندک‌های مختلف (۰/۰۵ تا ۰/۹۵ با گام ۰/۰۵) برای پارامترهای اقلیمی در دوره‌ی ۲۰۱۶-۱۹۸۷ (تاریخی)، ۲۰۲۰-۲۰۵۹ (per 1) و ۲۰۶۰-۲۰۹۹ (per 2) در فصل تابستان

Fig. 2: Current and future trend slope values in different quantiles (0.05 to 0.95 with a step of 0.05) for climate parameters in the period of 1987-2016 (historical), 2020-2059 (per 1) and 2060-2099 (per 2) in the summer season



شکل ۳: مقادیر شیب روند حال و آینده در چندک‌های مختلف (۰/۰۵ تا ۰/۹۵ با گام ۰/۰۵) برای پارامترهای اقلیمی در دوره‌ی ۲۰۱۶-۱۹۸۷ (تاریخی)، ۲۰۲۰-۲۰۵۹ (per 1) و ۲۰۶۰-۲۰۹۹ (per 2) در فصل تابستان

Fig. 3: Current and future trend slope values in different quantiles (0.05 to 0.95 with a step of 0.05) for climate parameters in the period of 1987-2016 (historical), 2020-2059 (per 1) and 2060-2099 (per 2) in the winter season

آینده‌ی نزدیک به صورت افزایشی (به ترتیب با شیب ۰/۰۲ و ۰/۱) اما برای سرعت باد به صورت کاهش‌ی (با شیب -۰/۰۰۴) خواهد بود. با این حال برای دوره‌ی آینده‌ی دور، احتمال افزایش معنی‌دار برای تمامی مقادیر دما (با شیب ۰/۰۵۴)، یک افزایش برای مقادیر پایین رطوبت نسبی (با شیب ۰/۱۶) و یک افزایش برای مقادیر بالای سرعت باد (با شیب ۰/۰۱۸) وجود خواهد داشت. حال آنکه براساس سناریوی بدبینانه، دما در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک بدون تغییر معنی‌دار بوده اما رطوبت نسبی و سرعت باد (به ترتیب با شیب -۰/۱۸ و -۰/۰۱) کاهش می‌یابد. در حالی که برای دوره آینده‌ی دور، تمامی مقادیر دما افزایش (با شیب ۰/۰۷۴) افزایش خواهد یافت حال آنکه احتمال رخداد یک روند افزایشی تنها برای مقادیر پایین سرعت باد (با شیب

در فصل بهار نیز روندهای معنی‌دار افزایشی برای دما و سرعت باد و روند کاهش‌ی برای رطوبت نسبی در دوره‌ی تاریخی مشاهده گردید. با این حال شیب روند دما (۰/۲۳) و رطوبت نسبی (-۰/۳۸) در این فصل بیشتر از فصل‌های دیگر بوده است که اغلب مربوط به مقادیر پایین این متغیرها می‌باشد. براساس سناریوی خوش‌بینانه، هیچ تغییر معناداری برای سرعت باد در هر دو دوره مشاهده نخواهد شد. با این حال دما و رطوبت نسبی در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک افزایش (به ترتیب با شیب تقریبی ۰/۰۲۵ و ۰/۱۲) خواهد یافت. حال آنکه در دوره‌ی آینده‌ی دور، تنها احتمال وجود یک روند کاهش‌ی برای رطوبت نسبی (با شیب -۰/۰۶۲) وجود خواهد داشت. در حالی که براساس سناریو حد متوسط، تغییرات روند در دما و رطوبت نسبی در دوره‌ی

لذا می‌توان بیان کرد اگر شرایط خوش‌بینانه برای دوره آینده برقرار شود، می‌توان شاهد عدم تغییر در دماهای بالا و افزایش روزهای بدون استرس حرارتی خصوصاً در تابستان (کاهش شرجی بودن هوا) بود. همچنین از آنجا که باد در خنک‌کنندگی محیط نقش دارد، افزایش سرعت باد بر اساس این سناریو در کنار تغییر کم در دما می‌تواند باعث کاهش استرس حرارتی شود. بر اساس سناریوی حد متوسط، دما در هر دو دوره افزایش خواهد یافت در حالی که رطوبت نسبی در فصل‌های بهار و زمستان افزایش اما در تابستان و پاییز در آینده‌ی دور کاهش خواهد یافت. با این‌حال، یک روند کاهش برای سرعت باد در زمستان و یک روند افزایشی در بهار و پاییز (آینده‌ی دور) مشاهده خواهد شد. اما بر اساس سناریوی بدبینانه، مقادیر دما در همه‌ی فصل‌ها افزایش خواهد یافت در حالی که رطوبت نسبی تنها در زمستان افزایش می‌یابد. با این‌حال، یک افزایش احتمالی برای سرعت باد (عمدتاً در آینده‌ی دور) رخ خواهد داد. این نتایج با مطالعات پیشین انجام شده در این نواحی و نواحی اطراف از جمله لشکری و همکاران (Lashkari et al, 2021)، لطفی‌راد و همکاران (Lotfirad et al, 2021) و خیرخواه و همکاران (Khairkhah et al, 2024) همخوانی دارد. همچنین نتایج دولابیان و همکاران (Doulabian et al, 2021) در بررسی تغییرات دمای هوای سطحی در مناطق مختلف ایران برای سه سناریوی انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و دوره‌ی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ نشان دادند که دمای هوای سطحی در همه‌ی ماه‌ها به احتمال زیاد برای هر منطقه افزایش خواهد یافت و بیشترین تغییرات دما عمدتاً در صدک‌های حدی (۱۰ درصد و ۹۰ درصد) رخ می‌دهد که مقدار تغییر در سناریو RCP8.5 تشدید خواهد شد باباییان و همکاران (Babaeian et al, 2024) در مطالعه‌ی پیش‌بینی تغییرات دمای خاورمیانه بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم نشان دادند که بر اساس سناریوی بدبینانه، انتظار می‌رود تا سال ۲۰۷۰، دما ۳ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد. حسینی و همکاران (Hoseini et al, 2024) در پیش‌بینی دما و بارش بر روی دریای خزر بر اساس مدل‌های CMIP6 نشان دادند که پیش‌بینی‌های آینده بیانگر آب و هوای گرم‌تر (۰/۴ تا ۳ درجه سانتی‌گراد) و تغییرات کاهش و افزایش بارندگی (۳٪ کاهش و ۲۰٪ افزایش) خواهد بود. روند افزایشی نمایه‌های دمایی گرم و

(۰/۰۵) وجود خواهد داشت. با این‌حال شدت تغییرات در این فصل برای مقادیر پایین متغیرهای اقلیمی نسبتاً بیشتر می‌باشد. همچنین نتایج بررسی روند متغیرهای اقلیمی در فصل پاییز، بیانگر وجود روند افزایشی معنی‌دار برای دما و سرعت باد (به ترتیب با شیب تقریبی ۰/۰۸ و ۰/۰۳) و روند کاهش معنی‌دار برای رطوبت نسبی (با شیب تقریبی ۰/۱۶-) در دوره‌ی تاریخی بوده است که شدت شیب برای مقادیر پایین دما و رطوبت نسبی نسبتاً بیشتر بوده است. با این‌حال در دوره‌ی آینده، براساس سناریوی خوش‌بینانه، هیچ روند معناداری برای متغیرهای اقلیمی در هر دو دوره‌ی مورد مطالعه مشاهده نخواهد شد. در حالی که براساس سناریوی حد متوسط، مقادیر میانه و بالای دما در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک و آینده‌ی دور به صورت معنی‌دار افزایش (با شیب تقریبی ۰/۰۴) خواهد یافت اما تنها یک کاهش معنی‌دار برای مقادیر پایین رطوبت نسبی و یک افزایش معنی‌دار برای مقادیر بالای سرعت باد (به ترتیب با شیب ۰/۰۳- و ۰/۰۵۵) در دوره‌ی آینده‌ی دور رخ خواهد داد. با این‌حال براساس سناریوی بدبینانه، دما در هر دو دوره‌ی آینده به صورت معنی‌دار افزایش (با شیب تقریبی ۰/۰۷) خواهد یافت. در حالی که رطوبت نسبی و سرعت باد تنها در دوره‌ی آینده‌ی دور دارای روند به ترتیب کاهش (۰/۰۲۲-) و افزایشی (۰/۰۰۷) خواهند بود. با توجه به نتایج می‌توان بیان کرد اندازه شیب روند برای مقادیر مختلف از متغیرهای اقلیمی و نیز شاخص‌های آسایش اقلیمی متفاوت بوده است. در دوره‌ی تاریخی، دما و سرعت باد در تمامی فصل‌های سال افزایش اما رطوبت نسبی کاهش یافته است. بر اساس سناریوی خوش‌بینانه، مقادیر مختلف دما در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۵۹) در فصل‌های بهار، تابستان و زمستان افزایش خواهد یافت؛ در حالی که برای دوره‌ی آینده‌ی دور، هیچ روند معنی‌داری برای دما مشاهده نخواهد شد و تنها یک افزایش معنی‌دار همچنان در زمستان وجود خواهد داشت. با این‌حال، رطوبت نسبی یک روند افزایشی در بهار و تابستان در آینده‌ی نزدیک خواهد داشت. دمای بالا در ترکیب با رطوبت نسبی بالا باعث افزایش ناراحتی گرمایی می‌شود. همچنین افزایش دما در مناطق ساحلی مانند بابلسر موجب افزایش فرآیند تبخیر در منطقه شده و متعاقب آن هوا از بخار آب اشباع می‌شود و باعث احساس ناراحتی در فرد خواهد شد (Kishta et al, 2022).

(چندک ۰/۹۵) و پایین (چندک ۰/۰۵) از شاخص‌های ET و THI در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک و مقادیر مختلف از شاخص‌ها در دوره‌ی آینده‌ی دور دارای روند افزایشی خواهد بود که شیب روند برای دوره‌ی آینده‌ی دور نسبتاً بیشتر می‌باشد. در حالی که مقادیر پایین و میانه شاخص Cp دارای روند کاهشی در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک و دور خواهد بود. اما مقادیر بالای این شاخص تغییر معنی‌داری براساس این سناریو نخواهد داشت. لذا با توجه طبقه‌بندی این شاخص می‌توان بیان کرد شرایط سرد در منطقه تغییری نخواهد کرد در حالی که شرایط گرم و آسایش به سمت گرم‌تر شدن گرایش دارند. با این حال براساس سناریوی بدبینانه، یک روند افزایشی برای مقادیر پایین شاخص‌های ET و THI (تبدیل شرایط سرد به سمت گرم شدن) در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک وجود خواهد داشت. در حالی که شاخص Cp هیچ تغییر معنی‌داری نخواهد کرد؛ این ممکن است به دلیل عدم تغییر معنی‌دار در سرعت باد تحت این سناریو در فصل تابستان باشد که این شاخص را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با این حال در دوره‌ی آینده‌ی دور از این سناریو (SSP585)، مقادیر میانه و بالای شاخص‌های ET و THI (افزایش شرایط گرم و شرجی) به صورت معنی‌دار افزایش اما مقادیر پایین و میانه شاخص Cp به صورت معنی‌دار کاهش خواهد یافت و شیب تغییرات نسبت به دوره‌ی آینده‌ی نزدیک بیشتر (افزایش شرایط گرم و داغ) می‌باشد.

کاهش نمایه‌های سرد باعث ایجاد چالش‌های زیست‌محیطی خواهد شد که کاهش این چالش‌ها و اتخاذ استراتژی‌های توسعه پایدار ضرورت دارد.

بررسی روند شاخص‌های آسایش اقلیمی

روند تغییرات مقادیر مختلف (چندک‌های ۰/۰۵، ۰/۵ و ۰/۹۵) شاخص‌های آسایش اقلیمی مورد مطالعه (ET، THI و Cp) در دوره‌ی تاریخی (۲۰۱۶-۱۹۸۷) و نیز تحت سناریوهای مختلف اقلیمی در دو دوره‌ی آینده‌ی نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۵۹) و آینده‌ی نزدیک (۲۰۶۰-۲۰۹۹) انجام گردید و نتایج (شامل روند و شیب روند) در دو فصل تابستان و زمستان برای نمونه در جدول‌های ۶ و ۷ و شکل‌های ۴ و ۵ ارائه گردید. با این حال نتایج برای تمامی فصل‌های سال تشریح شده است. بررسی تغییرات روند در فصل تابستان (جدول ۶) نشان داده است که در دوره‌ی تاریخی، مقادیر پایین و میانی (چندک‌های ۰/۰۵ و ۰/۵) از شاخص‌های ET و THI و مقادیر مختلف (چندک‌های ۰/۰۵، ۰/۵ و ۰/۹۵) از شاخص Cp دارای روند افزایشی معنی‌دار بوده است. براساس سناریوی خوش‌بینانه (SSP126)، در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک، مقادیر مختلف از ET و THI به صورت معنی‌دار افزایش و مقادیر مختلف Cp به صورت معنی‌دار کاهش یافته است که بیانگر افزایش تعداد روزهای با شرایط گرم‌تر می‌باشد و شدت (شیب روند) تغییرات برای مقادیر بالا بیشتر است. در حالی که در دوره‌ی آینده‌ی دور از این سناریو، هیچ تغییر معنی‌داری مشاهده نخواهد شد. براساس سناریوی حد متوسط، مقادیر بالا

جدول ۶: نتایج روند حال و آینده شاخص‌های آسایش اقلیمی مبتنی بر سناریوهای تغییر اقلیم در فصل تابستان

Table 6: The results of current and future trends of climate comfort indicators based on climate change scenarios in the summer season

Period	Scenario	Cp			THI			ET (Quantile)		
		0.95	0.5	0.05	0.95	0.5	0.05	0.95	0.5	0.05
1987-2016	تاریخی	0.09*	0.043*	0.063*	0.02	0.1*	0.11*	0.013	0.06*	0.064*
2020-2059	Historical	-0.08*	-0.013	-0.02*	0.062*	0.032*	0.05	0.035*	0.023*	0.042*
2060-2099	SSP126	0.005	-0.004	0.008	0.008	0.022	-0.018	0.001	0.015	-0.02
2020-2059	SSP245	-0.063	-0.013	-0.017*	0.054*	0.004	0.05*	0.03*	-0.002	0.026*
2060-2099	SSP245	-0.027	-0.03*	-0.02*	0.053*	0.026*	0.05*	0.03*	0.016*	0.04*
2020-2059	SSP585	-0.039	-0.014	-0.013	-0.003	0.022	0.052*	-0.0005	0.009	0.022*
2060-2099	SSP585	0.02	-0.043*	-0.034*	0.043*	0.079*	0.01	0.026*	0.048*	0.013

* روند معنی‌دار (Significant trend)

ترتیب با شیب ۰/۰۶ و ۰/۱۱) و مقادیر میانه شاخص Cp (با شیب ۰/۱) به صورت معنی‌دار افزایش یافته است که بیانگر افزایش شرایط گرم و شرجی براساس شاخص ET،

نتایج بررسی روند شاخص‌های آسایش در فصل زمستان نشان داده است که در دوره‌ی تاریخی، مقادیر بالای شاخص ET (با شیب ۰/۰۶)، مقادیر پایین و بالای شاخص THI (به

شرجی و متمایل شدن شرایط آسایش به سمت شرایط گرم‌تر در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک و افزایش شرایط گرم و شرجی در دوره‌ی آینده‌ی دور می‌باشد. اما برای شاخص Cp، احتمال رخداد یک کاهش معنی‌دار برای مقادیر بالای این شاخص در دوره‌ی آینده‌ی دور (افزایش شرایط گرم و داغ) برآورد گردید. با این حال براساس سناریوی بدبینانه نیز یک افزایش معنی‌دار برای مقادیر میانه و بالای ET و THI (افزایش شرایط گرم و شرجی) در آینده‌ی نزدیک و برای مقادیر پایین و میانه این دو شاخص در آینده‌ی دور (کاهش شرایط سرد) رخ خواهد داد. در حالی که یک روند کاهشی معنی‌دار برای مقادیر پایین و میانه Cp در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک (افزایش شرایط گرم) و برای مقادیر بالای این شاخص در دوره‌ی آینده‌ی دور (کاهش شرایط سرد) وجود خواهد داشت.

افزایش شرایط گرم و کاهش شرایط سرد براساس شاخص THI و افزایش شرایط آسایش و خنک می‌باشد. در بررسی سناریوهای آینده نیز نتایج نشان داده است که براساس سناریوی خوش‌بینانه، یک روند افزایشی معنی‌دار برای مقادیر پایین ET و THI در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک و یک افزایش معنی‌دار برای مقادیر بالای ET و THI در دوره‌ی آینده‌ی دور رخ خواهد داد که بیانگر کاهش شرایط سرد در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک و افزایش شرایط گرم و داغ در دوره‌ی آینده‌ی دور می‌باشد. حال آنکه شاخص Cp هیچ تغییر معنی‌داری نخواهد کرد. براساس سناریوی متوسط نیز یک افزایش معنی‌دار برای مقادیر میانه و بالای ET و THI در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک و یک افزایش معنی‌دار برای مقادیر بالای این دو شاخص در دوره‌ی آینده‌ی دور احتمالاً مشاهده خواهد شد. این امر بیانگر افزایش شرایط گرم و

جدول ۷: نتایج روند حال و آینده شاخص‌های آسایش اقلیمی مبتنی بر سناریوهای تغییر اقلیم در فصل زمستان

Table 7: The results of current and future trends of climate comfort indicators based on climate change scenarios in the winter season

Cp			THI			ET (Quantile)			Period	Scenario
0.95	0.5	0.05	0.95	0.5	0.05	0.95	0.5	0.05		
0.06	0.1*	0.07	0.11*	0.03	0.06*	0.06*	0.13	0.02	1987-2016	Historical
0.001	-0.005	-0.008	0.014	0.014	0.075*	0.007	0.008	0.052*	2020-2059	SSP126
-0.01	0.009	-0.014	0.052*	0.012	-0.006	0.033*	0.002	-0.016	2060-2099	SSP126
0.02	-0.032	-0.002	0.029*	0.042*	-0.009	0.022*	0.024*	0.002	2020-2059	SSP245
-0.1*	-0.024	0.004	0.035*	0.02	0.02	0.026*	0.015	0.006	2060-2099	SSP245
0.003	-0.04*	-0.06*	0.05*	0.042*	0.002	0.03*	0.027*	0.009	2020-2059	SSP585
-0.077*	-0.056*	-0.004	-0.006	0.14*	0.085*	-0.007	0.075*	0.054*	2060-2099	SSP585

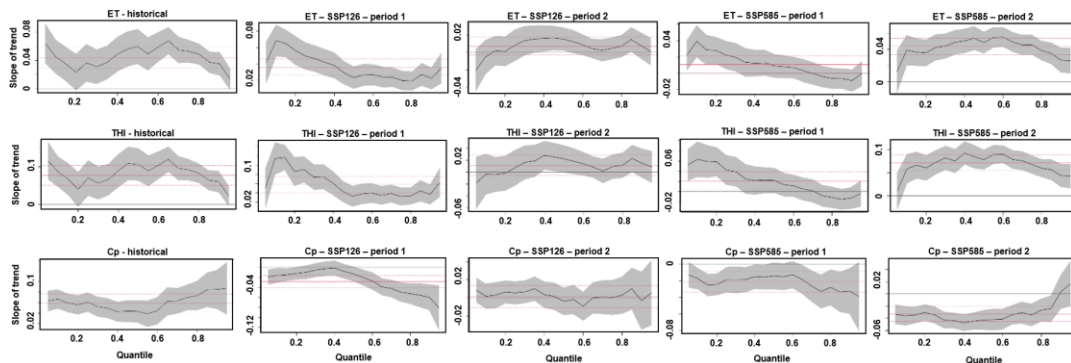
*روند معنی‌دار (Significant trend)

بالایی دارای شیب مثبت بوده است. در حالی که تمامی چندک‌های شاخص Cp در هر دو فصل دارای شیب مثبت می‌باشد. بر اساس سناریوی خوش‌بینانه، چندک‌های پایینی (>0.5) ET و THI نسبت به چندک‌های بالایی دارای شیب مثبت بالاتری در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک خواهد بود در حالی که در دوره‌ی آینده‌ی دور، چندک‌های پایینی حدی برای ET و THI یک روند کاهشی با شیب منفی خواهند داشت. اما چندک‌های بالایی دارای روند افزایشی با شیب مثبت می‌باشند. با این حال تغییرات برای چندک‌های مختلف از Cp قابل توجه نخواهد بود. با این حال بر اساس سناریوی بدبینانه، شیب روند در چندک‌های پایینی ET و THI در آینده‌ی نزدیک مثبت اما برای چندک‌های بالایی منفی (کاهشی) خواهد بود. در حالی که در دوره‌ی آینده‌ی دور، تمام مقادیر این دو شاخص افزایش خواهد یافت و

بررسی شیب روند تغییرات حال و آینده برای مقادیر مختلف از شاخص‌های آسایش اقلیمی (چندک‌های 0.05 تا 0.95 با گام 0.05) در فصل‌های تابستان و زمستان (شکل‌های ۴ و ۵) نشان داده است که مقادیر شیب روند در چندک‌های مختلف متفاوت بوده که حاکی از آن است مقادیر مختلف از شاخص‌های آسایش با شدت‌های متفاوتی تغییر خواهد کرد. رفتار تغییرات شاخص‌های ET و THI (شاخص‌های بر پایه دما و رطوبت) در چندک‌های مختلف مشابه می‌باشد اما مقدار شیب تغییرات متفاوت است. در دوره‌ی تاریخی، شیب روند تغییرات برای ET و THI در فصل تابستان در چندک‌های مختلف مثبت بوده و شدت شیب برای مقادیر میانه (چندک‌های $0.5-0.7$) بیشتر می‌باشد. اما در فصل زمستان، چندک‌های پایینی این دو شاخص دارای روند کاهشی (با شیب منفی) اما چندک‌های

مختلف در تابستان و زمستان معکوس می‌باشد و شدت شیب منفی در زمستان بیشتر خواهد بود.

مقدار شیب برای چندک‌های میانی بیشتر خواهد بود. این حال مقادیر مختلف Cp در هر دو دوره کاهش خواهد یافت؛ به طوری که الگوی تغییرات شیب‌ها برای چندک‌های

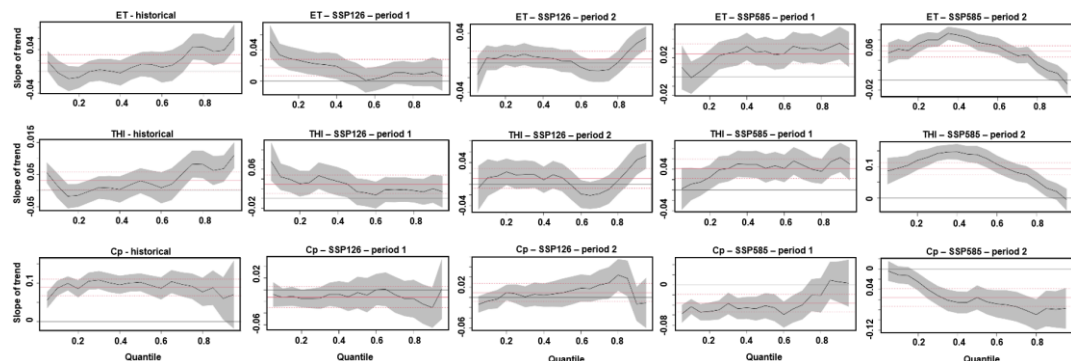


شکل ۴: مقادیر شیب روند حال و آینده در چندک‌های مختلف (۰/۰۵ تا ۰/۹۵ با گام ۰/۰۵) برای شاخص‌های آسایش مورد مطالعه در دوره‌ی ۱۹۸۷-۲۰۱۶ (تاریخی)، ۲۰۲۰-۲۰۵۹ (per 1) و ۲۰۶۰-۲۰۹۹ (per 2) در فصل تابستان

Fig. 4: Current and future trend slope values in different quantiles (0.05 to 0.95 with a step of 0.05) for climatic comfort indices in the period of 1987-2016 (historical), 2020-2059 (per 1) and 2060-2099 (per 2) in the summer

مختلف ET دارای یک روند افزایشی معنی‌دار (به ترتیب با شیب ۰/۰۱۷، ۰/۰۲ و ۰/۰۴) و یک روند افزایشی برای مقادیر میانه و بالای THI (به ترتیب با شیب ۰/۰۳۲ و ۰/۰۷۵) خواهند بود. براساس سناریوی بدبینانه نیز شاخص‌های ET و THI در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک تغییرات معنی‌داری نخواهد داشت اما در دوره‌ی آینده‌ی دور، یک روند افزایشی قابل توجه برای تمام مقادیر ET و THI (به ترتیب با شیب تقریبی ۰/۰۶۴ و ۰/۱۱) وجود خواهد داشت. در حالی که برای شاخص Cp، در هر دو دوره‌ی آینده‌ی نزدیک و دور، یک روند کاهشی معنی‌دار (با شیب تقریبی به ترتیب ۰/۰۳۶ و ۰/۰۹) وجود خواهد داشت.

بررسی روند شاخص‌های آسایش اقلیمی برای فصل بهار نیز بیانگر افزایش هر سه شاخص ET، THI و Cp در دوره‌ی تاریخی بوده است حال آنکه برای دوره‌ی آینده، نتایج براساس سناریوی خوش‌بینانه بیانگر احتمال وجود یک روند افزایشی معنی‌دار تنها برای مقادیر میانه ET و THI در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک می‌باشد. در حالی که در دوره‌ی آینده‌ی دور، مقادیر پایین ET و THI دارای یک روند افزایشی (به ترتیب با شیب ۰/۰۲۶ و ۰/۰۵۵) اما مقادیر میانه Cp دارای یک روند کاهشی (با شیب -۰/۰۲۶) خواهد بود. حال آنکه براساس سناریوی حد متوسط، تغییرات معنی‌داری برای شاخص‌های ET و THI در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک برآورد نگردید. اما در دوره‌ی آینده‌ی دور، مقادیر



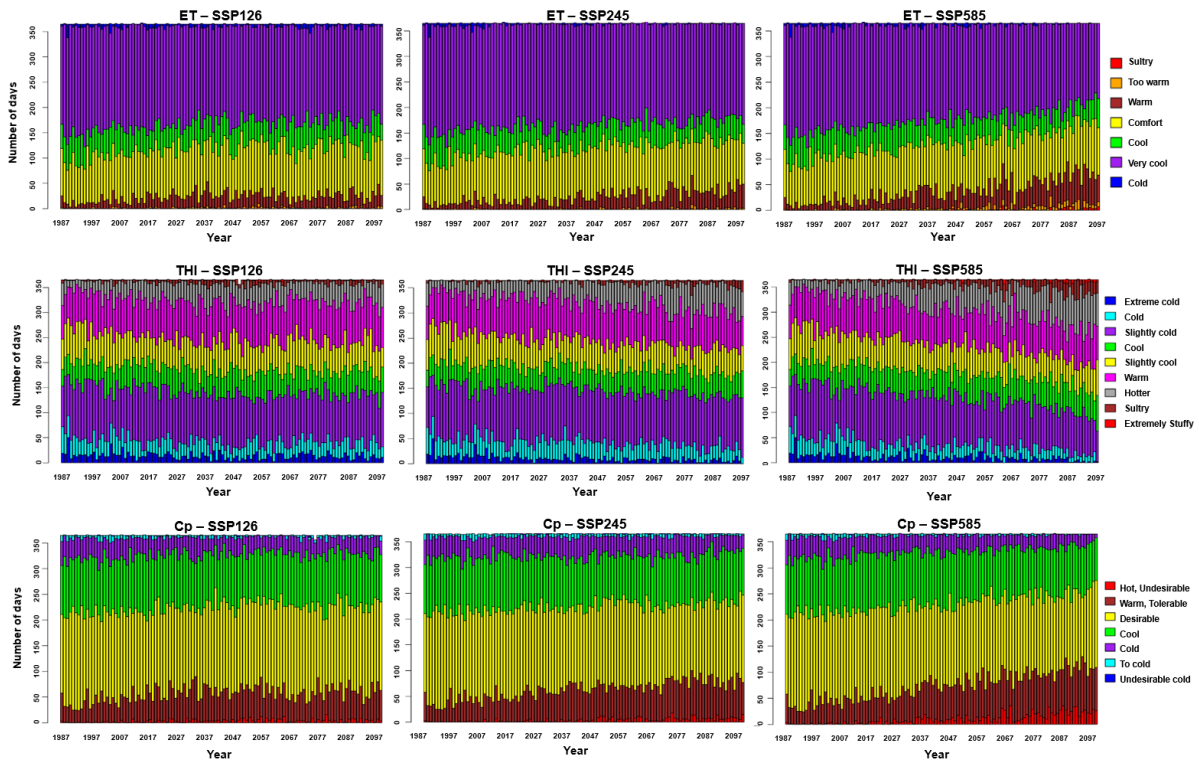
شکل ۵: مقادیر شیب روند حال و آینده در چندک‌های مختلف (۰/۰۵ تا ۰/۹۵ با گام ۰/۰۵) برای شاخص‌های آسایش مورد مطالعه در دوره‌ی ۱۹۸۷-۲۰۱۶ (تاریخی)، ۲۰۲۰-۲۰۵۹ (per 1) و ۲۰۶۰-۲۰۹۹ (per 2) در فصل زمستان

Fig. 5: Current and future trend slope values in different quantiles (0.05 to 0.95 with a step of 0.05) for climatic comfort indices in the period of 1987-2016 (historical), 2020-2059 (per 1) and 2060-2099 (per 2) in the winter season

کاهش خواهد یافت و روزها به سمت گرمتر شدن گرایش خواهند داشت. مطالعات مختلفی نتایج مشابه داشته‌اند؛ اصغری و همکاران (Asghari et al, 2023) در مطالعه‌ی وضعیت کنونی و سناریوهای آینده از ناراحتی حرارتی در یک اقلیم نیمه‌خشک در ایران با استفاده از شاخص‌های THI و ET نتیجه گرفتند بر اساس سناریوهای مختلف (SSP126, SSP245 and SSP585)، مقادیر THI در ماه‌های ژانویه، فوریه و می در دهه‌های آتی بیشتر از مقدار تاریخی (افزایش ناراحتی حرارتی) خواهد بود و ناراحتی حرارتی نه تنها در فصول گرم، بلکه فصول سرد را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. در حالی که بر اساس سناریوی خوش‌بینانه، روند نزولی اندکی مشاهده خواهد شد. لی و همکاران (Li et al, 2023) در پیش‌بینی تغییرات آینده دما در یک منطقه ساحلی در چین گزارش کردند که تحت تأثیر SSP126، دما ممکن است ثابت بماند یا اندکی کاهش یابد اما بر اساس SSP585، دما به طور قابل ملاحظه افزایش خواهد یافت. نتایج مطالعه کامروزمان و همکاران (Kamruzzaman et al, 2024) نیز بیانگر افزایش دما و متعاقب آن افزایش ناراحتی حرارتی بر اساس سناریوهای SSP245 و SSP585 در یک منطقه ساحلی بود.

بررسی تعداد روزهای ناراحتی در دوره‌ی حال و آینده
نتایج بررسی تعداد رخداد‌های هر طبقه از شاخص‌های آسایش اقلیمی مورد مطالعه (ET، THI و Cp) برای هر سال (در دوره زمانی ۲۰۹۹-۱۹۸۷) در دوره تاریخی و براساس سناریوهای مختلف آینده (شکل ۶) نشان داده است که بر اساس سناریوهای مختلف، تعداد روز رخداد برای هر طبقه تغییر خواهد کرد؛ به طوری که از شرایط خوش‌بینانه به سمت شرایط بدبینانه، تعداد روز رخداد برای طبقات گرم بیشتر شده و از تعداد روز رخداد در طبقات سرد کاسته شده است. همچنین به سمت دوره‌ی زمانی آینده‌ی دور (۲۰۹۹) به شدت این الگوها اضافه می‌شود.

نتایج برای فصل پاییز نیز بیانگر وجود یک روند افزایشی برای هر سه شاخص مورد مطالعه در دوره‌ی تاریخی می‌باشد. با این‌حال، براساس سناریوی خوش‌بینانه، در دوره‌ی آینده‌ی دور، یک روند افزایشی برای مقادیر میانه ET و THI (به ترتیب با شیب ۰/۰۱ و ۰/۰۱۵) و یک روند کاهش‌ی برای مقادیر میانه Cp (با شیب ۰/۰۱۶-) وجود خواهد داشت که هر سه بیانگر افزایش شرایط گرم در منطقه می‌باشد. با این‌حال، براساس سناریوی حد متوسط، تمام مقادیر ET و THI در هر دو دوره‌ی آینده‌ی نزدیک (با شیب تقریبی ۰/۰۴۳) و آینده‌ی دور (با شیب تقریبی ۰/۰۶۳) افزایش خواهد یافت در حالی که یک روند کاهش‌ی معنی‌دار برای مقادیر Cp در هر دو دوره (با شیب تقریبی ۰/۰۴- و ۰/۰۱۵-) مشاهده خواهد شد. اما براساس سناریوی بدبینانه، تمام مقادیر ET و THI در هر دو دوره‌ی آینده افزایش (به ترتیب با شیب تقریبی ۰/۰۳۹ و ۰/۰۶) خواهد یافت. افزایش ET و THI بیانگر افزایش شرایط ناراحتی گرمایی اما افزایش Cp بیانگر افزایش شرایط سرد و خنک در منطقه می‌باشد. این افزایش در Cp ممکن است به دلیل افزایش سرعت باد در منطقه در تمامی فصل‌ها باشد. عدم تغییر افزایشی (برای ET و THI) و کاهش (برای Cp) در تابستان بر اساس شرایط خوش‌بینانه، بیانگر عدم افزایش در شرایط ناراحتی گرمایی در این فصل گرم از سال می‌باشد. با این‌حال بر اساس سناریوی حد متوسط و بدبینانه، شاخص‌های ET و THI به صورت معنی‌دار افزایش اما شاخص Cp به صورت معنی‌دار کاهش خواهد یافت (افزایش شرایط گرم و داغ) و به سمت سناریوی بدبینانه و نیز آینده‌ی دور، تعداد روزهای گرم و داغ افزایش خواهد یافت. بنابراین در آینده‌ی نزدیک، تعداد روزهای گرم و داغ و شرایط عدم آسایش در اغلب موارد افزایش خواهد یافت اما در دوره‌ی آینده‌ی دور، علاوه بر افزایش روزهای ناراحتی گرمایی، تعداد روزهای با شرایط سرد و شرایط آسایش نیز



شکل ۶: بررسی تعداد روز رخداد هر طبقه از شاخص‌های آسایش اقلیمی در سال براساس سناریوهای مختلف مورد مطالعه

Fig. 6: Investigating the number of days of occurrence in each class of climatic comfort indicators per year based on the different scenarios studied

در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، نوامبر و دسامبر می‌باشد. در حالی که کمترین تعداد روز رخداد مربوط به طبقات "سرد"، "شرجی" و "خیلی گرم" (شرایط ناراحتی گرمایی) بوده که براساس سناریوی خوش‌بینانه، تعداد روز با شرایط سرد افزوده خواهد شد. در حالی که براساس سناریوی بدبینانه، تعداد روز با شرایط "شرجی" و "خیلی گرم" افزایش خواهد یافت و این شرایط به سمت دوره‌ی آینده‌ی دور احتمالاً تشدید خواهد شد. علاوه بر این، زمان (ماه) رخداد شرایط خیلی گرم عمدتاً در ماه‌های ژوئیه، جولای و آگوست اما برای شرایط سرد در ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر خواهد بود. با این حال، زمان رخداد برای طبقات با شدت ناراحتی سرمایی و گرمایی کمتر به ترتیب در ماه‌های مارس، آوریل، می، اکتبر، نوامبر و ژوئیه، جولای، آگوست و سپتامبر خواهد بود. حال آنکه بیشترین دوره‌ی آسایش، در ماه‌های متعادل‌تر از نظر شدت گرما و سرما (آوریل، می، ژوئیه، نوامبر و دسامبر) رخ خواهد داد. همچنین زمان رخداد شرایط گرم و سرد برای شاخص‌های THI و Cp نیز تقریباً مشابه با شاخص ET می‌باشد و تنها میانگین تعداد روز رخداد در طبقه‌های مختلف با تفاوت‌هایی همراه است.

براساس سناریوی خوش‌بینانه، الگوی تعداد روز رخداد برای هر طبقه از شاخص‌های آسایش اقلیمی همانند دوره‌ی تاریخی می‌باشد و با تغییر بسیار کمی تا سال ۲۰۹۹ همراه است. اما براساس سناریوی حد متوسط و بدبینانه، تعداد روزهای رخداد برای طبقات گرم و دارای شرایط ناراحتی (عدم آسایش) اقلیمی بیشتر شده و از تعداد روز برای طبقات سرد (ناراحتی سرمایی) کاسته خواهد شد. با این حال الگوی تغییرات چندانی بر روی ناراحتی‌های گرمایی و سرمای‌متمركز است. تحلیل فراوانی رخداد (تعداد روز و ماه رخداد) برای هر طبقه از شاخص‌های آسایش اقلیمی در دوره‌ی تاریخی و براساس سناریوهای مختلف آینده نشان داده است که برای شاخص ET (جدول ۸) بیشترین تعداد روز رخداد مربوط به طبقه "خیلی خنک" می‌باشد و تعداد روز در دوره‌ی تاریخی و نیز سناریوهای خوش‌بینانه، حد متوسط و بدبینانه به طور میانگین به ترتیب ۲۰۶، ۱۸۹، ۱۹۰ و ۱۶۹ روز خواهد بود. اما به سمت دوره‌ی آینده‌ی دور از تعداد آن کاسته خواهد شد. همچنین زمان رخداد این شرایط در طول ماه‌های سال متغیر است و به طور عمده

جدول ۸: بررسی فراوانی رخداد (تعداد روز برای هر طبقه) شاخص ET در دوره‌ی ۲۰۱۶-۱۹۸۷ (تاریخی)، ۲۰۲۰-۲۰۵۹ (per 1) و ۲۰۹۹-۲۰۶۰ (per 2)

Table 8: Analysis of the frequency of occurrence (number of days for each category) of the ET index in the periods 1987-2016 (historical), 2020-2059 (per 1) and 2060-2099 (per 2)

ET Category (ET)	Historical		SSP126		SSP245		SSP585	
	Historical	Per 1	Per 2	Per 1	Per 2	Per 1	Per 2	
Sultry	0	0	0	0	0	0	2	
Too warm	1	2	2	1	2	3	8	
Warm	13	25	23	21	33	29	49	
Comfort	89	97	98	99	97	94	95	
Cool	50	45	48	42	41	46	40	
Very cool	206	191	189	200	190	187	169	
Cold	6	4	5	2	1	4	1	

به ۲۰ روز) خواهد یافت. زمان رخداد این شرایط عمدتاً در ماه‌های گرم سال (ژوئیه، جولای، آگوست و سپتامبر) خواهد بود. با این حال تعداد روز رخداد برای شرایط خیلی سرد براساس سناریوی خوش‌بینانه به سمت آینده‌ی دور (تا ۲۰۹۹) افزایش (۱۲ روز تبدیل به ۱۳ روز) اما براساس سناریوی بدبینانه کاهش (تبدیل ۱۱ روز به ۶ روز) خواهد یافت و زمان رخداد این شرایط نیز عمدتاً در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و دسامبر خواهد بود.

براساس شاخص THI (جدول ۹)، بیشترین تعداد روز رخداد مربوط به طبقه "کمی خنک" می‌باشد که تعداد آن براساس سناریوی حد متوسط بیشتر (۱۰۵ روز) خواهد بود و به طور کلی به سمت دوره‌ی آینده‌ی دور از تعداد روز با شرایط "کمی خنک" کاسته خواهد شد. با این حال تعداد روز رخداد برای شرایط خیلی گرم براساس سناریوی خوش‌بینانه به سمت آینده‌ی دور کاهش (۷ روز تبدیل به ۶ روز) اما براساس سناریوی بدبینانه افزایش (۹ روز تبدیل

جدول ۹: بررسی فراوانی رخداد (تعداد روز برای هر طبقه) شاخص THI در دوره‌ی ۲۰۱۶-۱۹۸۷ (تاریخی)، ۲۰۲۰-۲۰۵۹ (per 1) و ۲۰۹۹-۲۰۶۰ (per 2)

Table 9: Analysis of the frequency of occurrence (number of days for each category) of the THI index in the periods 1987-2016 (historical), 2020-2059 (per 1) and 2060-2099 (per 2)

THI Category (THI)	Historical	SSP126		SSP245		SSP585	
		Per 1	Per 2	Per 1	Per 2	Per 1	Per 2
Extremely cold	16	12	13	9	7	11	6
Cold	34	27	28	35	28	24	18
Slightly cold	103	99	96	105	102	98	85
Cool	45	47	45	41	46	48	51
Slightly cool	63	56	60	54	50	57	51
Warm	73	76	79	78	72	71	68
Hotter	28	39	37	38	52	45	63
Sultry	3	7	6	4	8	9	20
Extremely stuffy	0	0	0	0	0	0	2

سال (عمدتاً در مارس، آوریل، می و دسامبر) متغیر خواهد بود. برای طبقه "سرد" نیز الگوی تغییرات مشابه با طبقه "معتدل و مرطوب" می‌باشد و زمان رخداد این شرایط عمدتاً در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، اکتبر، نوامبر و دسامبر خواهد بود. همچنین الگوی تغییرات برای طبقه‌های مربوط به شرایط خیلی گرم و سرد این شاخص همانند شاخص‌های ET و THI خواهد بود.

برای شاخص Cp (جدول ۱۰) نیز بیشترین تعداد روز رخداد مربوط به طبقات "معتدل و مرطوب" و "سرد" می‌باشد. براساس سناریوی خوش‌بینانه، تعداد روز دارای شرایط معتدل و مرطوب به سمت آینده‌ی دور افزایش (۱۶۵ روز در آینده‌ی نزدیک تبدیل به ۱۶۹ روز در آینده‌ی دور) اما براساس سناریوی حد متوسط و بدبینانه کاهش خواهد یافت. زمان رخداد این شرایط نیز در ماه‌های مختلف

جدول ۱۰: بررسی فراوانی رخداد (تعداد روز برای هر طبقه) شاخص Cp در دوره‌ی ۱۹۸۷-۲۰۱۶ (تاریخی)، ۲۰۲۰-۲۰۵۹ (per 1) و ۲۰۶۰-۲۰۹۹ (per 2)

Table 10: Analysis of the frequency of occurrence (number of days for each category) of the Cp index in the periods 1987-2016 (historical), 2020-2059 (per 1) and 2060-2099 (per 2)

طبقه Cp Category (Cp)	Historical	SSP126		SSP245		SSP585	
		Per 1	Per 2	Per 1	Per 2	Per 1	Per 2
warm and undesirable	1	4	4	3	7	8	20
Warm, tolerable	41	59	55	59	70	61	79
Moderate and desirable	172	165	169	163	153	159	150
Cool	105	100	101	95	95	101	91
Cold	38	32	31	38	35	32	23
To cold	7	4	4	5	4	3	2

می‌شود (Karimi et al, 2017). علیرغم تمایل به سمت شرایط گرم و استرس حرارتی در بابلسر، از لحاظ درصد فراوانی رخداد روزهای شرجی و گرم، بیشترین رخداد شرایط گرم و شرجی براساس میانگین سه شاخص آسایش مورد مطالعه، عمدتاً در ماه‌های ژوئیه، جولای و آگوست و بیشترین رخداد شرایط سرد و خیلی سرد در ماه‌های ژانویه، نوامبر و دسامبر خواهد بود. در این ماه‌ها، درصد رخداد شرایط عدم آسایش نسبت به ماه‌های دیگر بیشتر با محدودیت گردشگری رو به رو می‌باشند. با این حال، شهر بابلسر در بیشترین روزهای سال از شرایط آسایش برخوردار خواهد بود که بیشترین شرایط آسایش براساس هر سه شاخص، در ماه‌های آوریل، می، آگوست و سپتامبر می‌باشد و شرایط برخورداری از جنبه‌های زیبایی‌شناختی و توریستی در این ایام از سال دارای محدودیت نمی‌باشد. بنابراین این بازه‌های زمانی از سال، مطلوب‌ترین ایام برای گردشگری است. افزایش روزهای گرم و شرجی خصوصاً در شهرهای معتدل ساحلی با رطوبت بالا، کیفیت زندگی، سلامت فردی، اجتماعی و پایداری محیط را با چالش جدی مواجه می‌کند به طور کلی، انسان در هوای گرم و مرطوب توانایی کمتری برای دفع گرما نسبت به آب و هوای گرم و خشک دارد. در شرایط رطوبت بالا، به دلیل اینکه تعریق به درستی صورت نمی‌گیرد، دفع حرارت بدن به شدت مختل می‌شود. این شرایط می‌تواند بسیار خطرناک و منجر به افزایش فشار به قلب، کاهش تمرکز و کاهش بهره‌وری انسان حتی برای افراد سالم شده و در صورت تداوم موجب گرم‌زدگی و مرگ شود. همچنین مقابله با گرما و شرایط شرجی نیازمند مصرف بیشتر انرژی و استفاده بالقوه از سیستم‌های تهویه و سرمایشی است که موجب مصرف بیشتر سوخت و انرژی می‌شود. بیشترین شیب تغییرات در پارامترهای اقلیمی مربوط به سناریوی بدبینانه می‌باشد؛

یافته‌ها نشان می‌دهد که شرایط آسایش اقلیمی به سمت سناریوی بدبینانه کاهش خواهد یافت. شیب روند تغییرات در فصل زمستان بیشتر از فصل‌های دیگر می‌باشد اما بیشترین روندهای معنی‌دار در فصل تابستان خواهد بود. در شرایط بدبینانه، در کنار افزایش روزهای گرم و کاهش روزهای سرد در فصل‌های تابستان و زمستان، روزهای آسایش نیز با شدت بالایی به سمت گرم شدن گرایش دارند. با این حال براساس سناریوی خوش‌بینانه، تنها تعداد روزهای سرد و خنک در فصل زمستان کاهش خواهد یافت اما روزهای آسایش و گرم تغییر نخواهد کرد. درحالی که در فصل تابستان، در کنار کاهش روزهای سرد و افزایش روزهای گرم، روزهای آسایش نیز تمایل به گرم شدن خواهند داشت. در اغلب فصل‌ها، افزایش شرایط گرم و تنش حرارتی با افزایش دما در آن فصل ارتباط دارد؛ بنابراین این شاخص‌ها بیشتر به تغییرات دما نسبت به سایر پارامترهای اقلیمی حساس هستند و الگوی تغییرات این شاخص‌ها (خصوصاً ET) با الگوی تغییرات دما مشابه است. در تعامل تغییر اقلیم با ساختار شهری نیز با یک فرآیند چرخه‌ای مواجه هستیم؛ به طوری که نوع طراحی شهری و عناصر آن‌ها به عنوان منشأ عوامل انسانی تغییر اقلیم روی شاخص‌هایی نظیر جزایر حرارتی، گازهای گلخانه‌ای و تغییرات سطح زمین تأثیرگذار است. سطح بالای این عوامل خود منجر به افزایش CO₂ و گرمایش جهانی می‌شود که در نهایت منجر به پدیده تغییر اقلیم می‌گردد (Hasani and Mofidi Shemirani, 2021). بنابراین محیط انسان‌ساخت و عناصر طراحی شهری شامل فضای عمومی، ساختمان‌ها، خیابان‌ها، مناظر طبیعی و حمل و نقل به عنوان منشأ تغییر اقلیم محسوب می‌شوند. همچنین با توجه به جنبه‌ی فیزیکی طرح اطلاعات اقلیمی گردشگری، شرجی بودن هوا جزء محدودیت گردشگری محسوب

شامل پوشش خیابان‌ها با کاشت درختان و ایجاد سایه مصنوعی، کاهش پوشش بتنی و افزایش پوشش گیاهی، استفاده از بام‌های خنک و تغییر پارکینگ‌ها به فضای سبز در محیط شهری بایسبر می‌باشد. کاهش پوشش بتنی و آسفالت به دلیل کاهش جذب تشعشعات خورشیدی در سطح شهر می‌تواند باعث کاهش دما (حتی به اندازه‌ی ۱۰ درجه سانتی‌گراد) نسبت به محیط اطراف شود. سبزی‌سازی شهری و بام‌ها خنک (استفاده از پوشش‌های بسیار بازتابنده روی سطح سقف برای افزایش آلودگی) موجب کاهش دما در محیط شهری می‌شود (Calhoun et al, 2024). از طرفی دیگر، افزایش پوشش گیاهی موجب افزایش تبخیر و تعرق در محیط شهری می‌شود و اجازه می‌دهد انرژی حاصل از تابش خورشید به جای گرم کردن هوا برای تبخیر آب استفاده شود. بنابراین با توجه به نتایج مطالعه حاضر و مطالعات انجام شده در جهت تغییرات استرس حرارتی متناسب با مقادیر حدی پارامترهای اقلیمی، توجه بیشتری به درک اثرات بالقوه گرمایش جهانی بر روی اکوسیستم و همچنین بر سلامت انسان موردنیاز است.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این مطالعه، بررسی و شناسایی الگوهای زمانی و روندهای ناراحتی حرارتی مبتنی بر شاخص‌های آسایش-ناراحتی مختلف در دوره‌ی تاریخی ۲۰۱۶-۱۹۸۷ و بر اساس سناریوهای اقلیمی آینده SSP126، SSP245 و SSP585) در مقیاس زمانی روزانه از مدل اقلیمی GFDL-ESM4 در دو دوره‌ی ۲۰۲۰-۲۰۵۹ و ۲۰۲۰-۲۰۹۹ در شهر ساحلی و توریست‌پذیر بابلسر، واقع در نواحی شمالی ایران و سواحل جنوبی دریای خزر، می‌باشد. برای این منظور، مقادیر مختلف (خصوصاً مقادیر حدی) دما، رطوبت نسبی و سرعت باد در فصل‌های مختلف تجزیه و تحلیل گردید. سپس شاخص‌های آسایش-ناراحتی شامل ET، THI و Cp برای تمام سناریوها و دوره‌های زمانی مورد مطالعه محاسبه گردید و بررسی روند بر روی مقادیر مختلف از این شاخص‌ها و نیز متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه در دوره‌ی تاریخی و بر اساس سناریوهای مختلف آینده با استفاده از روش رگرسیون چندک انجام گردید. نتایج بیانگر پیامدهایی برای مدیریت خطرات مربوط به استرس گرمایی و گاهاً سرما در بابلسر است. تغییر در پارامترهای اقلیمی و

بیشترین افزایش در دما برای فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب به اندازه‌ی ۰/۰۷، ۰/۰۸، ۰/۰۷ و ۰/۱ درجه سانتی‌گراد در سال می‌باشد. بیشترین تغییرات در پارامتر رطوبت نسبی نیز در بهار و تابستان به اندازه‌ی ۰/۱۸ و ۰/۲۵ درصد در سال کاهش اما در زمستان به اندازه‌ی ۰/۲ درصد در سال افزایش می‌باشد در حالی که بیشترین افزایش در سرعت باد به اندازه‌ی ۰/۰۱ و ۰/۰۳ متر بر ثانیه در سال به ترتیب در فصل‌های تابستان و زمستان خواهد بود. تغییر در شاخص‌های آسایش اقلیمی نیز اغلب در سناریوی بدبینانه تشدید می‌شود؛ به طور کلی، بر اساس شاخص ET، تعداد روزهای با شرایط گرم و خیلی گرم در سه سناریوی خوش‌بینانه، حالت متوسط و بدبینانه به ترتیب برابر ۲۶، ۲۸ و ۴۴ روز (افزایشی) اما تعداد روزهای با شرایط خنک و خیلی خنک به ترتیب ۲۳۶، ۲۳۵ و ۲۲۱ روز (کاهش) خواهد بود و شرایط آسایش از ۹۸ روز در سناریوی خوش‌بینانه به ۹۴ روز در سناریوی بدبینانه کاهش می‌یابد. در حالی که براساس شاخص THI، تعداد روزهای رخداد برای طبقه گرم، داغ و شرجی برای سه سناریو به ترتیب ۱۲۲، ۱۲۶ و ۱۳۸ روز (افزایش روزهای گرم) اما تعداد روزهای رخداد برای طبقه سرد و بسیار سرد به ترتیب ۴۰، ۳۹ و ۲۹ روز (کاهش روزهای سرد) می‌باشد. با این حال براساس شاخص Cp، برای سه سناریوی خوش‌بینانه، حالت متوسط و بدبینانه، تعداد روزهای رخداد برای طبقه گرم به ترتیب ۶۱، ۶۹ و ۸۴ روز، برای طبقه معتدل و مرطوب به ترتیب ۱۶۷، ۱۵۸ و ۱۵۴ روز و برای طبقه خنک و سرد به ترتیب ۱۳۲، ۱۳۶ و ۱۲۳ روز می‌باشد. همچنین بیشترین رخداد روزها برای شاخص‌های ET، THI و Cp به ترتیب مربوط به طبقه خیلی خنک، کمی سرد و معتدل می‌باشد. با توجه به افزایش احتمالی قابل ملاحظه دما در دوره‌های آینده و متعاقب آن افزایش تعداد روزهای با ناراحتی حرارتی شدید در بابلسر، سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان شهری می‌بایست با اجرای استراتژی‌های سازگاری با تغییرات اقلیمی، کاهش اثرات سوء آن و طراحی دقیق شهرهای آینده برای کاهش اثرات استرس گرمایی، سلامت و رفاه عمومی را در مناطق شهری، به‌ویژه برای گروه‌های آسیب‌پذیر، در اولویت قرار دهند. یکی از استراتژی‌های کاهش استرس حرارتی و کاهش اثر جزیره گرمایی، اقدامات فرضی در جهت ایجاد خرد اقلیم شهری

آب و هوایی مرتبط با دوره‌های مربوط به سطوح ناراحتی حرارتی بالا به مدیریت و کاهش استرس گرمایی از طریق توسعه سیستم‌های هشدار اولیه کمک خواهد کرد و مسئولان شهری باید استراتژی‌های محیطی در جهت کاهش اثرات گرما در سطح شهر طراحی و ایجاد کنند. بنابراین با توجه به نتایج پژوهش حاضر و احتمال افزایش شرایط استرس و تنش گرمایی در دهه‌های آینده، انجام اقدامات زیر به منظور مدیریت و کاهش اثرات سوء پدیده تغییر اقلیم بر شرایط آسایش انسان در زمینه‌های زیر پیشنهاد می‌گردد:

- سلامت عمومی: طراحی سیستم‌های هشدار زودهنگام برای گروه‌های آسیب‌پذیر در مواجهه با افزایش روزهای گرم شدید، ایجاد زیرساخت‌های درمانی برای مواجهه با گرما در فصل گرم، بهبود سیستم سرمایش ساختمان‌ها از طریق استفاده از عایق‌های حرارتی برای کاهش دمای محیط داخلی ساختمان

- صنعت گردشگری: برنامه‌ریزی برای توسعه فضاهای سبز ساحلی و شهری به منظور افزایش سایه و کاهش دما از طریق ایجاد خرده اقلیم به منظور جبران کاهش روزهای با آسایش حرارتی مطلوب برای گردشگران

سپاسگزاری

این مقاله محصول اجرای طرح پژوهشی از محل گرنت است که بدین وسیله از دانشگاه مازندران سپاسگزاری می‌گردد.

شاخص‌های آسایش به سمت سناریوی بدبینانه تشدید می‌شود. بیشترین افزایش در دما و سرعت باد در زمستان به ترتیب ۰/۱ درجه سانتی‌گراد و ۰/۰۳ متر بر ثانیه در سال اما بیشترین تغییرات در پارامتر رطوبت نسبی در تابستان به اندازه ۰/۲۵ درصد در سال کاهش اما در زمستان به اندازه ۰/۲ درصد در سال افزایش می‌باشد. بر اساس شاخص ET، تعداد روزهای با شرایط گرم و خیلی گرم در سه سناریوی خوش‌بینانه، حالت متوسط و بدبینانه به ترتیب برابر ۲۶، ۲۸ و ۴۴ روز (افزایشی) اما تعداد روزهای با شرایط خنک و خیلی خنک به ترتیب ۲۳۶، ۲۳۵ و ۲۲۱ روز (کاهش) خواهد بود. در حالی که براساس شاخص THI، تعداد روزهای رخداد برای طبقه گرم، داغ و شرجی برای سه سناریو به ترتیب ۱۲۲، ۱۲۶ و ۱۳۸ روز (افزایش روزهای گرم) اما تعداد روزهای رخداد برای طبقه سرد و بسیار سرد به ترتیب ۴۰، ۳۹ و ۲۹ روز (کاهش روزهای سرد) می‌باشد. با این حال براساس شاخص Cp، برای سه سناریوی خوش‌بینانه، حالت متوسط و بدبینانه، تعداد روزهای رخداد برای طبقه گرم به ترتیب ۶۱، ۶۹ و ۸۴ روز و برای طبقه خنک و سرد به ترتیب ۱۳۲، ۱۳۶ و ۱۲۳ روز می‌باشد و احتمال رخداد شرایط عدم آسایش انسانی ناشی از گرمای زیاد و گاهاً رطوبت نسبی بالا نه تنها در ماه‌های گرم سال، بلکه در ماه‌های سرد نیز افزایش در حالی که شرایط سرد و خنک کاهش می‌یابد. بنابراین دوره‌ی ناراحتی گرمایی بر پایه و تحت تأثیر تغییرات در متغیرهای هواشناسی خصوصاً دما رخ خواهد داد و آگاهی از شرایط

پانویس

- 1-Temperature and Humidity Index
- 2-Relative Strain Index
- 3-Thermo-Hygrometric Index
- 4-Physiologically Equivalent Temperature
- 5-Universal Thermal Climate Index
- 6-Historical

References

- Abd Elraouf, R., Elmokadem, A., Megahed, N., Eleinen, O.A. and Eltarabily, S., 2022. The impact of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot-humid climate. *Building and Environment*, v. 225 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109632>
- Aghamolaei, R., Azizi, M.M., Aminzadeh, B. and O'Donnell, J., 2023. A comprehensive review of outdoor thermal comfort in urban areas: Effective parameters and approaches. *Energy*

- 7-Earth System Grid Federation (<https://esgf-node.llnl.gov/projects/esgf-llnl/>)
- 8-Bilinear
- 9-Beiker bioclimatic index
- 10-Quantile Regression
- 11-Least Absolute Deviation

- and Environment, v. 34(6), p. 2204-2227. <https://doi.org/10.1177/0958305X221116176>
- Ahmadi, M. and Mohammadimehr, N., 2024. Forecasting of aerosols in southwest Asia based on SSP scenarios of CMIP 6 models. *Researches in Earth Sciences*, v. 15(1), p. 131-141. <https://doi.org/10.48308/esrj.2023.104050> (In Persian).
- Akbari, H., Cartalis, C., Kolokotsa, D., Muscio, A., Pisello, A.L., Rossie, F. and Zinzig, M., 2016. *Local Climate Change and Urban Heat Island*

- Mitigation Techniques – The State of the Art. *Journal of Civil Engineering and Management*, v. 22(1), p. 1-16. <https://doi.org/10.3846/13923730.2015.1111934>
- Alijani, S., Pourahmad, A., Nejad, H.H., Ziari, K. and Sodoudi, S., 2020. A new approach of urban livability in Tehran: Thermal comfort as a primitive indicator. Case study, district 22. *Urban Climate*, v. 33, p. 100656. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100656> (In Persian).
- Arabi, M., Pourjafar, M. and Mahdavejad, M., 2023. A Review of methodologies for analyzing thermal comfort in urban pedestrian pathways. *Future Energy*, v. 2(2), p. 39-45. <https://fupubco.com/fuen/article/view/71>
- Asadollah, S.B.H.S., Sharafati, A. and Shahid, S., 2022. Application of ensemble machine learning model in downscaling and projecting climate variables over different climate regions in Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 29(12), p. 17260-17279. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16964-y> (In Persian).
- Asghari, M., Ghalhari, G.F., Ghanadzadeh, M., Moradzadeh, R., Tajik, R., Samadi, S. and Heidari, H., 2023. 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 and Health*, v. 16(6), p. 1195-1205. <https://doi.org/10.1007/s11869-023-01335-y>
- Babaeian, I., Giuliani, G., Karimian, M. and Modirian, R., 2024. Projected precipitation and temperature changes in the Middle East-West Asia using RegCM4. 7 under SSP scenarios. *Theoretical and Applied Climatology*, p. 1-11. <https://doi.org/10.1007/s00704-024-04900-2> (In Persian).
- Calhoun, Z.D., Willard, F., Ge, C., Rodriguez, C., Bergin, M. and Carlson, D., 2024. Estimating the effects of vegetation and increased albedo on the urban heat island effect with spatial causal inference. *Scientific Reports*, v. 14(1), p. 540. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50981-w>
- Cárdenas-Jirón, L.A., Graw, K., Gangwisch, M. and Matzarakis, A., 2023. Influence of street configuration on human thermal comfort and benefits for climate-sensitive urban planning in Santiago de Chile. *Urban Climate*, v. 47, p. 101361. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101361>
- Cetin, M., 2020. Climate comfort depending on different altitudes and land use in the urban areas in Kahramanmaraş City. *Air Quality, Atmosphere and Health*, v. 13(8), p. 991-999. <https://doi.org/10.1007/s11869-020-00858-y>
- Deng, X., Gao, F., Liao, S., Liu, Y. and Chen, W., 2023. Spatiotemporal evolution patterns of urban heat island and gits relationship with urbanization in Guangdong-Hong Kong-Macao greater bay area of China from 2000 to 2020. *Ecological Indicators*, v. 146, p. 109817. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109817>
- Doulabian, S., Golian, S., Toosi, A.S. and Murphy, C., 2021. Evaluating the effects of climate change on precipitation and temperature for Iran using RCP scenarios. *Journal of Water and Climate Change*, v. 12(1), p. 166-184. <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.114>
- Gupta, V., Singh, V. and Jain, M.K., 2020. Assessment of precipitation extremes in India during the 21st century under SSP1-1.9 mitigation scenarios of CMIP6 GCMs. *Journal of Hydrology*, v. 590(1), p. 125422. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125422>
- Hasani, A. and Mofidi Shemirani, S.M., 2021. The interaction of urban design and climate change based on theories. *Geography (Regional Planning)*, v. 10(41), p. 461-472. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22286462.1399.11.1.28.2> (In Persian).
- Hoseini, S.M., Soltanpour, M. and Zolfaghari, M.R., 2024. Climate change impacts on temperature and precipitation over the Caspian Sea. *International Journal of Water Resources Development*, p. 1-26. <https://doi.org/10.1080/07900627.2024.2313050> (In Persian).
- Hussein, A.K., Rashid, F.L., Togun, H., Sultan, H.S., Homod, R.Z., Sadeq, A.M. and Kolsi, L., 2024. A review of design parameters, advancement, challenges, and mathematical modeling of asphalt solar collectors. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 149(1), p. 41-61. <https://doi.org/10.1007/s10973-023-12674-4>
- Ichim, P. and Sfiică, L., 2020. The influence of urban climate on bioclimatic conditions in the city of Iași, Romania. *Sustainability*, v. 12(22), p. 9652. <https://doi.org/10.3390/su12229652>
- Isinkaralar, O., 2023. Bioclimatic comfort in urban planning and modeling spatial change during 2020-2100 according to climate change scenarios in Kocaeli, Türkiye. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 20(7), p. 7775-7786. <https://doi.org/10.1007/s13762-023-04992-9>
- Kamruzzaman, M., Islam, H.T., Mainuddin, M., Affan, A., Ahmed, S., Rahman, M.A. and Sadeque, A., 2024. Thermal Bioclimatic Transformations in the Coastal Regions of Ganges Delta: Insights from CMIP6 Multi-Model Ensembles. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4101730/v1>
- Karimi, Z., Nazaripour, H. and Khosravi, M., 2017. Potential Impacts of Climate Change on Tourism

- in South Beaches of Iran based on Climate Tourism Information Scheme. *Geography and Environmental Planning*, v. 28(1), p. 21-34. <https://doi.org/10.22108/gep.2017.97874> (In Persian).
- Kaviani, M.R., 1992. The study of Bioclimatology in Caspian Sea Coastal and Alborz Mountain. *Geographical Researches*, p. 1-16 (In Persian).
- Khairkhah, A., Kamali, G., Meshkatei, A.H., Babazadeh, H. and Oskouei, E.A., 2024. Forecasting the rice crop calendar in the northern regions of Iran with emphasis on climate change models. *Paddy and Water Environment*, v. 22, p. 41-60. <https://doi.org/10.1007/s10333-023-00951-9> (In Persian).
- Kishta, M., Robaa, S.M., Wahab, M.A. and Al Abadla, Z., 2022. Spatial distribution of outdoor thermal human comfort in the UAE. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, v. 13(2), p. 043-049. <http://dx.doi.org/10.30574/wjarr.2022.13.2.0104>
- Koenker, R. and Bassett, G., 1978. Regression Quantils. *Econometrica*, v. 46, p. 33-50. <https://doi.org/10.2307/1913643>
- Kongbuamai, N., Bui, Q., Adedoyin, F.F. and Bekun, F.V., 2023. Developing environmental policy framework for sustainable development in Next-11 countries: the impacts of information and communication technology and urbanization on the ecological footprint. *Environment, Development and Sustainability*, v. 25(10), p. 11307-11335. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02528-8>
- Lashkari, A., Irannezhad, M., Zare, H. and Labzovskii, L., 2021. Assessing long-term spatio-temporal variability in humidity and drought in Iran using Pedj Drought Index (PDI). *Journal of Arid Environments*, v. 185, p. 104336. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104336> (In Persian).
- Li, X., Fang, G., Wei, J., Arnault, J., Laux, P., Wen, X. and Kunstmann, H., 2023. Evaluation and projection of precipitation and temperature in a coastal climatic transitional zone in China based on CMIP6 GCMs. *Climate Dynamics*, v. 61(7), p. 3911-3933. <https://doi.org/10.1007/s00382-023-06781-z>
- Lotfirad, M., Adib, A., Salehpoor, J., Ashrafzadeh, A. and Kisi, O., 2021. Simulation of the impact of climate change on runoff and drought in an arid and semiarid basin (the Hablehroud, Iran). *Applied Water Science*, v. 11(10), p. 1-24. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01494-2> (In Persian).
- Mazidi, A., Omidvar, K., Malek Ahmadi, A. and Hosseini, S.S., 2021. Evaluation of bioclimatic indicators affecting human comfort (Case study: Urmia). *Geography and Human Relationships*, v. 4(2), p. 155-175. <https://doi.org/10.22034/gahr.2021.286618.1560> (In Persian).
- Mazidi, A., Omidvar, K., Malek Ahmadi, A. and Hosseini, S.S., 2021. Evaluation of bioclimatic indicators affecting human comfort (Case study: Urmia). *Geography and Human Relationships*, v. 4(2), p. 155-175. <https://doi.org/10.22034/gahr.2021.286618.1560> (In Persian).
- Modabber-Azizi, S., Salarijazi, M. and Ghorbani, K., 2022. Estimation of seasonal and annual river flow volume based on temperature and rainfall by multiple linear and Bayesian quantile regressions. *Időjárás/Quarterly Journal of The Hungarian Meteorological Service*, v. 126(4), p. 567-582. <http://doi.org/10.28974/idojaras.2022.4.6> (In Persian).
- Mohamadi, H., 2008. *Applied climatology*, Tehran, university, second edition, 375 p (In Persian).
- Najib, M.K., Nurdiani, S. and Sopaheluwakan, A., 2024. Prediction of hotspots pattern in Kalimantan using copula-based quantile regression and probabilistic model: a study of precipitation and dry spells across varied ENSO conditions. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, v. 46(1), p. 12-33. <http://dx.doi.org/10.15625/2615-9783/19302>
- Norooz-Valashedi, R., Bararkhanpour Ahmadi, S., Bahrami Pichaghchi, H. and Mazloom Babanari, S., 2024. Forecasting the changes of temperature extreme indices in the area of Mazandaran Province under CMIP6 scenarios. *Watershed Engineering and Management*, v. 16(2), p. 279-301. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2024.363859.036>
- Ramezani, G.B., 2010. A Survey on Planning Human Bioclimatic Comfort for Ecotourism (Case Study: Gilan, Iran-South West of Caspian Sea). *Iranian Journal of Tourism and Hospitality*, v. 1(1), p. 27-36. <https://sid.ir/paper/321482/en> (In Persian).
- Rashiq, A., Kumar, V. and Prakash, O., 2024. A Spatiotemporal Assessment of the Precipitation Variability and Pattern and an Evaluation of the Predictive Reliability of Global Climate Models over Bihar. *Hydrology*, v. 11(4), p. 50. <https://doi.org/10.3390/hydrology11040050>
- Roghanchi, P. and Kocsis, K.C., 2018. Challenges in selecting an appropriate heat stress index to protect workers in hot and humid underground mines. *Safety and health at work*, v. 9(1), p. 10-16. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2017.04.002>
- Safarrad, T., Ghadami, M., Dittmann, A. and Pazhuhani, M., 2021. Tourism effect on the spatiotemporal pattern of land surface temperature (Lst): Babolsar and Fereydonkenar cities (cases study in Iran). *Land*, v. 10(9), p. 945. <https://doi.org/10.3390/land10090945>

- Soltani, K., Masoompour Samakosh, J., Mojarrad, F., Hadi Pour, S. and Jalilian, A., 2024. Spatial Changes of Seasonal Reference Evapotranspiration in Iran Based on CMIP6 Models. *Journal of the Earth and Space Physics*, v. 49(4), p. 175-192 (In Persian).
- Starzyk, A., Donderewicz, M., Rybak-Niedziółka, K., Marchwiński, J., Grochulska-Salak, M., Łacek, P. and Vetrova, P., 2023. The Evolution of Multi-Family Housing Development Standards in the Climate Crisis: A Comparative Analysis of Selected Issues. *Buildings*, v. 13(8), p. 1985. <https://doi.org/10.3390/buildings13081985>
- Sterin, A.M. and Lavrov, A.S., 2023. Temperature trends in the free atmosphere: Calculations using the quantile regression method. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, v. 59(2), p. S223-S231. <https://doi.org/10.1134/S000143382314013X>
- Tarasov, A.V. and Rakhmanov, R. S., 2023. *Marine Climate of Russian Coastal Territories: Public Health Aspects of Biological Adaption*. Springer Nature, p. 19-36. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30951-9_3
- Yao, X., Zhang, M., Zhang, Y., Xiao, H. and Wang, J., 2021. Research on evaluation of climate comfort in northwest China under climate change. *Sustainability*, v. 13(18), p. 10111. <https://doi.org/10.3390/su131810111>
- Yazdandoost, F., Moradian, S., Izadi, A. and Aghakouchak, A., 2021. Evaluation of CMIP6 precipitation simulations across different climatic zones: Uncertainty and model intercomparison. *Atmospheric Research*, v. 250, p. 105369. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105369> (In Persian).
- Yu, H., Yang, J., Li, T., Jin, Y. and Sun, D., 2022. Morphological and functional polycentric structure assessment of megacity: An integrated approach with spatial distribution and interaction. *Sustainable Cities and Society*, v. 80, p. 103800. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103800>
- Yu, K. and Zhang, J., 2005. A three-parameter asymmetric Laplace distribution and its extension. *Communications in Statistics: Theory and Methods*, v. 34, p. 1867-1879. <https://doi.org/10.1080/03610920500199018>
- Zabihi, O. and Ahmadi, A., 2024. Multi-criteria evaluation of CMIP6 precipitation and temperature simulations over Iran. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 52, p. 101707. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101707> (In Persian).
- Zhang, D., Zhou, C., Zhou, Y. and Zikirya, B., 2022. Spatiotemporal relationship characteristic of climate comfort of urban human settlement environment and population density in China. *Frontiers in Ecology and Evolution*, v. 10, p. 953725.
- Zhang, S., Zhang, X., Niu, D., Fang, Z., Chang, H. and Lin, Z., 2023. Physiological equivalent temperature-based and universal thermal climate index-based adaptive-rational outdoor thermal comfort models. *Building and Environment*, v. 228, p. 109900. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109900>
- Zhao, Q., Lian, Z. and Lai, D., 2021. Thermal comfort models and their developments: A review. *Energy and Built Environment*, v. 2(1), p. 21-33.