



Forecasting the climate capacity of southern provinces of Iran in 2050 using the SSP2-4.5 scenario and the GFDL-ESM4 model

Mostafa Ghavidel   1

1. PhD in Climatology from the University of Tehran

Article Info:

Article type:

Research Article

Date:

Received: 2024.07.30

Received: 2024.11.23

Accepted: 2025.01.04

Keywords:

Climate change, climate capacity, forecasting, analytic hierarchy process, GFDL-ESM4

Abstract: This study evaluates the climate capacity of the southern strip of Iran in 2050. Due to its high climatic sensitivity and the pressures of human activities, this region is considered one of the country's key areas in confronting climate change, making future climate projections essential. The objective of this research is to identify favorable and unfavorable areas in terms of climate capacity by 2050. For this purpose, the Analytic Hierarchy Process (AHP) method was used. The data used in the study are humidity, wind speed, minimum temperature, maximum temperature, precipitation, longwave radiation, and shortwave radiation from the SSP 245 scenario and the GFDL-ESM4 model on a daily scale. Seven factors were used in the AHP. AHP computations were performed in MATLAB, and spatial maps were generated in R. The results indicate that the northern half of Fars Province and the northeastern part of Khuzestan Province will be the most favorable regions, while Hormozgan Province and the southern half of Sistan and Baluchestan Province will be the least favorable. Among the seven factors, precipitation, temperature, and humidity were identified as the most influential determinants of climatic capacity.

Cite this article: Ghavidel, M. (2025). Forecasting the climate capacity of southern provinces of Iran in 2050 using the SSP2-4.5 scenario and the GFDL-ESM4 model. *Climate Change and Climate Disasters*, 3(6), 311-352.

© The Author(s).

Homepage: cccd.znu.ac.ir

Publisher: University of Zanjan.



Extended Abstract

Introduction

In recent decades, climate change, especially in arid and semi-arid regions of the world, has become one of the most important challenges to sustainable development. Iran, being located in the global arid belt, especially in its southern regions, has faced an increasing trend of increasing temperature, decreasing precipitation, and intensifying drought (Sultani et al., 2012). The southern strip of Iran is very vulnerable to these changes due to its geographical location, hot and dry climate, and strong dependence on surface and groundwater resources. Numerous studies have shown that if the current trend of greenhouse gas emissions continues, this region will face increasing temperature, decreasing precipitation, and intensifying drought (Javan and Azizzadeh, 2013). Increasing temperature and decreasing precipitation in the southern regions of Iran have led to intensifying drought, decreasing water resources,

and threatening food security (Rezaei et al., 2013). Identifying the best-performing climate models is essential for better understanding future climate, its impacts, and for effective planning for climate change adaptation and mitigation measures (Gashaw et al., 2024).

Materials and Methods

This study investigates the climate capacity in the southern strip of Iran in 2050. Data from the GFDL-ESM4 model from the SSP 245 scenario were used to predict the climate capacity of the southern strip of Iran in 2050. The SSP2-4.5 scenario assumes that global carbon dioxide emissions remain close to current levels until around 2050, then decline but do not reach net zero until 2100. This makes it a realistic baseline between optimistic reductions (SSP1-2.6) and pessimistic high-emission futures (SSP5-8.5) (Climate Model, 2021). The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has also introduced the AR6, SSP2-4.5 scenario as a reference scenario for many regional climate studies, as it

represents moderate socio-economic development and minor climate policy (Climate Model-Surface Temperature Change, 2021).

After extracting the standard data of each of the variables of maximum temperature, minimum temperature, precipitation, wind speed, relative humidity, long-wave radiation and short-wave radiation for the locations of the counties of the study area, the data of each column were first interpolated for the study area to provide the conditions for spatial analysis of each data. The IDW method was used to interpolate the data.

After interpolating the data columns, since the results of each column did not independently determine the climatic capacity of the study area, a method had to be used that could assign the desired weight to each variable while simultaneously using all the data, so the analytic hierarchy process was chosen to do this. The analytic hierarchy process (AHP) was introduced by Saty T. L. in 1994 and

is based on pairwise comparison of criteria and conversion of qualitative judgments into quantitative values. In this method, each factor is compared with other factors and its relative importance is determined. The pairwise comparison matrix is then normalized and the final weight of each factor is extracted. In climate studies using the AHP method, the positive or negative sign of the weights indicates the direction of each factor's influence on climate stability or capacity. Enhancing factors (such as precipitation and humidity) receive positive weights, while limiting or stressing factors (such as maximum temperature or intense radiation) receive negative weights (Lee et al., 2024). In AHP, after calculating the weights, they are normalized so that the sum of the weights is equal to 1. This allows the weight of each factor to be expressed in relative terms and no weight is greater than 1 (Sari. F., 2024).

Results and Discussion

In Fars province, the temperature has gradually increased from north to

south. The highest area with low temperature is seen in Fars province and the highest area with high temperature is seen in Khuzestan province. Bushehr and West Hormozgan provinces have average temperatures ranging from 30 to 32 degrees. The entire area of Khuzestan Province and the western and northern halves of Fars Province receive the most rainfall, and areas with low rainfall are seen in the southern half of Sistan and Baluchestan, the entire Hormozgan Province, and the south of Bushehr. The entire area of Bushehr, Hormozgan, and the southern half of Sistan and Baluchestan provinces has the highest long-wave radiation, and areas with low long-wave radiation are seen in most of Fars province, northwest of Hormozgan, and the northern half of Khuzestan. By examining the map, it was found that the largest area of favorable areas in terms of climatic capacity is located in the northern half of Fars Province and northeastern Khuzestan. Small parts of the northern provinces of Hormozgan and Bushehr are also located within the

favorable areas. The largest areas of unfavorable climatic capacity are located in the southern half of Sistan and Baluchestan, the entire area of Hormozgan Province, and south of Bushehr.

Conclusion

After extracting the results, it was found that the northern half of Fars Province and the northeast of Khuzestan Province have achieved the highest possible scores compared to other regions and are introduced as favorable regions in the climatic capacity of the southern strip of Iran in 2050. Also, the southern half of Sistan and Baluchestan Province and the entire Hormozgan Province have achieved the lowest scores compared to other regions and are introduced as unfavorable regions in the climatic capacity of the southern strip of Iran in 2050. By county analysis, Sepidan County with a score of 14.47 percent in the north of Fars Province was the most favorable county in this study in terms of climatic capacity, and Konarak with a score of 7.94 percent in the southern half of Sistan and

Baluchestan Province was the most unfavorable county in terms of climatic capacity. The most important factors affecting climatic capacity were identified as annual

precipitation, temperature, and humidity.

Keywords: Climate change, climate capacity, sixth report Ipcc, climate prediction, GFDL model



پیش‌یابی ظرفیت اقلیمی استان‌های جنوبی ایران در سال ۲۰۵۰ با استفاده از سناریوی SSP2-4.5 و مدل GFDL-ESM4

مصطفی قوبدل^۱

۱. دانش‌آموخته دکتری اقلیم‌شناسی از دانشگاه تهران

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۹

بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳

پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵

واژگان کلیدی:

تغییر اقلیم، ظرفیت اقلیمی، پیش‌یابی، تحلیل سلسله‌مراتبی، GFDL-ESM4

چکیده: در این مطالعه ظرفیت اقلیمی نوار جنوبی ایران در سال ۲۰۵۰ مورد ارزیابی قرار گرفته است. نوار جنوبی ایران به دلیل حساسیت بالای اقلیمی و فشارها و فعالیت‌های انسانی یکی از مناطق کلیدی کشور در مواجهه با تغییر اقلیم است. از این رو پیش‌بینی وضعیت اقلیم آینده آن ضروری است. هدف این مطالعه شناسایی مناطق مطلوب و غیر مطلوب در ظرفیت اقلیمی در سال ۲۰۵۰ است. برای اینکار از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده مطالعه رطوبت، سرعت باد، حداقل دما، حداکثر دما، بارش، تابش موج بلند و تابش موج کوتاه از سناریو SSP 245 و مدل GFDL-ESM4 در مقیاس روزانه هستند. در تحلیل سلسله‌مراتبی از ۷ عامل بهره‌برداری شد. جهت انجام تحلیل سلسله‌مراتبی از زبان برنامه‌نویسی متلب و جهت تولید نقشه‌ها از زبان برنامه‌نویسی R استفاده شد. نتایج نشان داد که نیمه شمالی استان فارس و شمال شرق استان خوزستان مطلوب‌ترین مناطق و کل استان هرمزگان و نیمه جنوبی سیستان و بلوچستان نامطلوب‌ترین مناطق در ظرفیت اقلیمی نوار جنوبی ایران در سال ۲۰۵۰ هستند. همچنین مهم‌ترین عوامل در ظرفیت اقلیمی سه عامل بارش، دما و رطوبت تشخیص داده شد.

استناد: قوبدل، مصطفی. (۱۴۰۳). پیش‌یابی ظرفیت اقلیمی استان‌های جنوبی ایران در سال ۲۰۵۰ با استفاده از سناریوی SSP2-4.5 و مدل GFDL-ESM4. دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی، ۳(۶)، ۳۱۱-۳۵۲.

© نویسندگان .

Homepage: cccd.znu.ac.ir

ناشر: دانشگاه زنجان



۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر تغییر اقلیم به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به یکی از مهم‌ترین چالش‌های توسعه پایدار تبدیل شده است. ایران، با قرارگیری در کمربند خشک جهانی به‌ویژه در نواحی جنوبی خود، با روندی فزاینده از افزایش دما، کاهش بارش، و تشدید خشکسالی مواجه بوده است (Soltani et al., 2024). نوار جنوبی ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی، اقلیم گرم و خشک و وابستگی شدید به منابع آب سطحی و زیرزمینی در برابر این تغییرات بسیار آسیب‌پذیر است. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که در صورت ادامه روند فعلی انتشار گازهای گلخانه‌ای این منطقه با افزایش دما، کاهش بارش، و تشدید خشکسالی مواجه خواهد شد (Javan & Azizzadeh, 2024). افزایش دما و کاهش بارش در مناطق جنوبی ایران

منجر به تشدید خشکسالی، کاهش منابع آب، و تهدید امنیت غذایی شده است (Rezaei et al., 2024). شناسایی مدل‌های اقلیمی با بهترین عملکرد برای درک بهتر آب و هوای آینده، تأثیر آن و برای برنامه‌ریزی مؤثر در جهت سازگاری با تغییر اقلیم و اقدامات کاهش اثرات آن ضروری است (Gashaw et al., 2024). داده‌های CMIP6 هیچ مزیت کلی نسبت به CMIP5 در شبیه‌سازی بارش کل (PRCPTOT) و حداکثر روزهای خشک متوالی (CDD) ندارد. با مقایسه نتایج آزمون روند CMIP5 و CMIP6 در آینده، مناطق بیشتری با روند قابل توجه بر اساس آزمون Mann-Kendall در CMIP6 در مقایسه با CMIP5 وجود دارد (Li et al., 2021). SSPها روایت‌هایی را ارائه می‌دهند که توصیف‌کننده تحولات اجتماعی-اقتصادی جایگزین، از جمله مسیرهای جمعیت، تولید ناخالص داخلی و

شهرنشینی هستند (Arias et al, 2021). خشکی (LM4.1) با دینامیک پوشش گیاهی و میکروب‌های خاک) - بیوژئوشیمی اقیانوس (COBALTv2) - آئروسول‌های تعاملی، گرد و غبار و چرخه آهن (NOAA GFDL, 2022). این مدل همچنین اجزای به‌روزرسانی‌شده زمین، اقیانوس و یخ دریا، از جمله نمایش‌های پیشرفته دینامیک پوشش گیاهی، فرآیندهای خاک و بیوژئوشیمی اقیانوس را، همان‌طور که در شرح فنی جامع سیستم جفت‌شده مستند شده است در بر می‌گیرد که اطمینان به پیش‌بینی‌های دما، بارش و گردش در مقیاس بزرگ را افزایش می‌دهد (Dunne, J. P, 2020). در مطالعات گذشته (Koroozhdeh et al, 2024) در مطالعه‌ای با استفاده از شاخص SPEI و مدل‌های CMIP6 از جمله GFDL-ESM4، تغییرات خشکسالی در استان خراسان رضوی را بررسی کردند. داده‌های مدل با داده‌های ایستگاهی مقایسه شد و

میانه‌رو در مجموعه داده‌های مدل اقلیمی مانند علم در یک سیاره توصیف شده است (Tebaldi et al, 2021). پیش‌بینی‌های اقلیمی بر اساس سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای ساخته می‌شوند که چگونگی تأثیر سیاست‌های جهانی و توسعه اجتماعی-اقتصادی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای را بررسی می‌کنند (Understanding climate, 2024). SSP 245 به طور گسترده در آزمایش‌های مدل‌سازی CMIP6 (به عنوان مثال، NASA GISS-E2.1) برای بررسی تغییر اقلیم آینده تحت فرضیات کاهش متوسط استفاده می‌شود (Bevacqua et al, 2024). مدل GFDL-ESM4 شامل اجزای جامع و تعاملی برای بخش‌های زیر است: جو (AM4.0) - اقیانوس (OM4) - مبتنی بر (MOM6) - یخ دریا (SIS2) -

همبستگی بالای GFDL-ESM4 با LSBC توانایی لازم جهت شبیه‌سازی داده‌های واقعی تأیید شد. نتایج نشان داد که در سناریوی SSP 2-4/5، شدت و فراوانی خشکسالی‌ها در این منطقه افزایش خواهد یافت. (Yousefi et al, (2021) با استفاده از مدل‌های GCM از جمله GFDL-ESM2M، HadGEM2-ES و IPSL-CM5A-LR، تغییرات دمای ایران را تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 بررسی کردند. داده‌های دمای کمینه و بیشینه با روش CCT ریزمقیاس‌نمایی شدند. نتایج نشان داد که دمای ایران در آینده به ویژه در فصل تابستان افزایش خواهد یافت. (Rezaei et al., (2024) با استفاده از داده‌های ۸ مدل CMIP6 و سه سناریوی SSP، از جمله SSP2-4.5، تغییرات دما و بارش ایران را بررسی کردند. روش تحقیق شامل اصلاح اریبی با روش LSBC و تحلیل داده‌های ۶۰ ایستگاه همدیدی بود. نتایج نشان داد که روش

LSBC توانایی لازم جهت شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش در منطقه مورد مطالعه را دارد و بیشتر مناطق ایران با افزایش دما و کاهش بارش به ویژه در نواحی شرقی و مرکزی مواجه خواهند شد. Sari Saraf et al., (2022) در پیش‌نگری بارش با استفاده از مدل‌های CMIP6 تا پایان قرن ۲۱ در شمال غرب ایران نشان داد که از میان مدل‌های مورد بررسی، مدل MPI-ESM1-2-LR با متوسط R2 برابر با ۰/۸۶ و RMSE برابر با ۱۹/۷ در سطح منطقه از دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها در شبیه‌سازی بارش برخوردار است. Najafi et al., (2024) در مطالعه ای با عنوان پیش‌بینی چند مدلی شرایط حدی اقلیمی تحت گرمایش جهانی ۱/۵ تا ۴ درجه سانتی‌گراد در ایران، مشاهدات شبکه‌بندی‌شده شده از اندازه‌گیری‌های زمینی را با استفاده از الگوریتم SYMAP با وضوح ۸/۱ درجه عرض جغرافیایی-طول

جغرافیایی، استخراج نمود و ریزمقیاس‌نمایی آماری GCMها را با استفاده از رویکردهای اصلاح بایاس چندمتغیره (MBC) و آنالوگ‌های ساخته‌شده با اصلاح بایاس با مرتب‌سازی مجدد نگاشت چندکی (BCCAQ) انجام داد. (Usta et al., (2022) در ارزیابی تغییرات دما در ایران طی قرن بیست و یکم با استفاده از مدل‌های CMIP6 تحت سناریوهای SSP1-26، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 از یک گروه شامل ۲۲ مدل از CMIP6 برای تجزیه و تحلیل آب و هوای آینده ایران از نظر دمای هوای سطحی استفاده کرد که مدل‌های ACCESS-ESM1.5، ACCESS-CM2، CESM2-WACCM، BCC-CSM2-MR، FGOALS-g3، INM-CM5-0، and CNRM-CM6-1-HR بهترین عملکرد را نشان دادند. همه مدل‌ها تشدید گرمایش در منطقه ایران را نسبت به روندهای جهانی نشان دادند. Naderi et

al., (2025) در تأثیر کاربری اراضی و تغییر اقلیم بر جریان‌های حدی آینده: مطالعه‌ای برای سه حوزه آبخیز سد در استان‌های البرز و تهران ایران، داده‌های بارش و دمای روزانه از CMIP6 را با استفاده از LARS-WG تحت سناریوهای گرمایش جهانی SSP1-1.9، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 ریزمقیاس‌نمایی کرد. نتایج نشان داد منطقه مورد مطالعه در مقایسه با دوره پایه ۱۹۹۱-۲۰۱۴، به ترتیب در SSP1-1.9، SSP2-4.5 و SSP5-8.5، افزایش دما به میزان ۰/۷۸، ۲/۱ و ۲/۴ درجه سانتی‌گراد و ناهنجاری‌های بارش به میزان ۱۲۹/۳+، ۹۵/۶- و ۵۴/۲- میلی‌متر را تجربه خواهد کرد. مدل GFDL-ESM4 از جمله مدل‌هایی است که در پیش‌بینی دماهای حدی فصل سرد عملکرد مناسبی دارد و نواحی جنوبی ایران در دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ با افزایش دماهای حدی مواجه خواهد بود (Ahmadi &

GFDL- (Kamangar., 2023) مدل ESM4 پس از تصحیح اریبی با روش تغییر عامل دلتا قابلیت مناسبی برای پیش‌بینی بارش دارد (Javan & Azizzadeh, 2024). امروزه تغییر پارامترهای دما و بارش یکی از چالش‌های مهم منابع آب محسوب می‌شود. دلیل این امر این است که این تغییرات باعث خشکسالی و یا سیلاب‌های شدید، کوتاه و بلندمدت در آینده می‌شوند (Niroumandfard et al., 2022). اطلاعات اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای به طور فزاینده‌ای قوی و برای مدل‌سازی تأثیر و ارزیابی ریسک ضروری است (Ipcc., 2024). داده‌های CMIP6 برای پاسخگویی به نیازهای بهبود درک سیستم اقلیمی، ارائه تخمین‌هایی از تغییر اقلیم آینده و عدم قطعیت‌های مرتبط، ارائه

داده‌های ورودی برای سازگاری با تغییر اقلیم، بررسی پیش‌بینی‌پذیری اقلیمی و بررسی توانایی مدل‌ها برای پیش‌بینی اقلیم در مقیاس‌های زمانی دهه‌ای طراحی شده‌اند (ECMWF ., 2021). مدل‌های اقلیمی نسل ششم (CMIP6) از جمله مدل GFDL-ESM4، قابلیت بالایی در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دارند (Soltani et al., 2024). لذا با توجه به این مطالب هدف اصلی این پژوهش، بررسی ظرفیت اقلیمی در نوار جنوبی ایران در افق ۲۰۵۰ تحت سناریوی SSP2-4.5 می‌باشد. هدف دیگر پژوهش، ارزیابی عملکرد مدل GFDL-ESM4 در پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی مثل دما و بارش و استفاده از آن برای تحلیل تغییر اقلیم در مقیاس منطقه‌ای است.

۱.۱. ضرورت پژوهش

تحت سناریوی SSP2-4.5، طول فصل تابستان در ایران به طور متوسط ۱۰ روز

منطقه و میزان تحمل جمعیت آن در دوره- های آتی است. توجه به نتایج این مطالعه برای هر گونه برنامه‌ریزی توسعه‌ای از جمله اسکان جمعیت و یا انتقال آن در نوار جنوبی ایران بسیار حیاتی است.

۲. داده‌ها و روش‌ها

۲.۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد ارزیابی این مطالعه در نوار جنوبی ایران قرار دارد و از تنوع جغرافیایی و اقلیمی قابل توجهی برخوردار است. این ناحیه شامل استان‌های خوزستان، فارس، بوشهر، هرمزگان و بخش‌هایی از حوزه آبریز بلوچستان جنوبی در محدوده جغرافیایی استان سیستان و بلوچستان است. بسیاری از پژوهش‌های اقلیم و جغرافیای ایران، نوار جنوبی را شامل خوزستان، فارس، بوشهر، هرمزگان و بلوچستان جنوبی می‌دانند در حالی که کرمان به‌عنوان منطقه‌ای پهناور با شرایط متفاوت، در دسته‌بندی جداگانه بررسی می‌شود (Hatami et al., 2010).

بیشتر از زمستان خواهد بود و دمای فصل گرم به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. این تغییرات در نوار جنوبی ایران شدیدتر هستند و می‌توانند بر کشاورزی، منابع آب، و سلامت انسانی تأثیر بگذارند (Naderi et al., 2025). نواحی جنوبی ایران در سناریوی SSP2-4.5 با افزایش خشکی و کاهش شاخص‌های رطوبتی مواجه خواهند شد (Soltani et al., 2024). نواحی جنوبی ایران در بازه ۲۰۲۰-۲۰۵۰ تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 با افزایش تبخیر و کاهش بارش مواجهند (Masoompour et al., 2023). با توجه به مشکلات عدیده اقلیمی نوار جنوبی ایران ضروری است ظرفیت اقلیمی این ناحیه در دوره‌های آتی و از جمله سال ۲۰۵۰ بررسی شود تا مناطق مطلوب و نامطلوب این منطقه به لحاظ ظرفیت اقلیمی مشخص شوند. میزان ظرفیت اقلیمی این منطقه در آینده نمایانگر اقلیم

منابع اقلیم‌شناسی تأکید دارند که جنوب کرمان یک منطقه انتقالی میان نوار جنوبی (هرمزگان و سیستان جنوبی) و فلات مرکزی ایران است. این ویژگی باعث می‌شود در بسیاری از مطالعات، به‌جای قرار گرفتن در نوار جنوبی، به‌عنوان منطقه‌ای مستقل یا گذرگاهی تعریف شود (Mazedi et al., 2021). با توجه به تمایزات بیان‌شده استان کرمان جز منطقه مورد مطالعه انتخاب نشد. این منطقه در امتداد سواحل شمالی خلیج فارس و تنگه هرمز قرار گرفته که رشته‌کوه‌های زاگرس و دشت‌های ساحلی را شامل می‌شود. از نظر موقعیت جغرافیایی، این ناحیه جنوبی‌ترین بخش ایران بوده و در مجاورت خلیج فارس و دریای عمان قرار دارد. مرزهای بین‌المللی این منطقه از غرب با عراق و از شرق با پاکستان، آن را به یک منطقه راهبردی برای اهداف تجاری و سیاسی تبدیل کرده است. نزدیکی به تنگه

هرمز که یکی از آبراه‌های کلیدی در حمل‌ونقل جهانی به شمار می‌رود بر اهمیت این منطقه افزوده است. ویژگی‌های طبیعی متنوع آن شامل دشت‌های ساحلی، مناطق کوهستانی و رودخانه‌های بزرگ است. در این مطالعه از داده‌های سال ۲۰۵۰ مدل GFDL-ESM4 برای موقعیت ۹۸ شهرستان نوار جنوبی ایران بهره‌برداری شده است که موقعیت آن‌ها در شکل ۱ دیده می‌شود. شکل ۱ نقشه جغرافیایی این منطقه را نمایش می‌دهد.

۲.۲.۲. داده‌ها

در این مطالعه ظرفیت اقلیمی در نوار جنوبی ایران در سال ۲۰۵۰ بررسی شده است. برای پیش‌نگری ظرفیت اقلیمی نوار جنوبی ایران در سال ۲۰۵۰ از داده‌های مدل GFDL-ESM4 از سناریو SSP 245 استفاده شد. سناریو SSP2-4.5 فرض می‌کند که انتشار جهانی کربن دی‌اکسید تا حدود سال ۲۰۵۰ نزدیک به

سطح فعلی باقی می‌ماند، سپس کاهش می‌یابد اما تا سال ۲۱۰۰ به صفر خالص نمی‌رسد. این امر آن را به یک خط مبنای واقع‌بینانه بین کاهش خوش‌بینانه (-SSP1) و آینده‌های بدبینانه با انتشار بالای (SSP5-8.5) تبدیل می‌کند (Tebaldi et al., 2021). بنابراین مدل مذکور انتخاب شد. هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC) نیز سناریو AR6، SSP2-4.5 را به عنوان سناریوی مرجع برای بسیاری از مطالعات اقلیمی منطقه‌ای معرفی کرده است، زیرا نشان‌دهنده توسعه اقتصادی-اجتماعی متوسط و سیاست اقلیمی جزئی است (Climate Model., 2022). با توجه به آنچه بیان شد استفاده از سناریو -SSP2-4.5 برای انجام مطالعه کافی دانسته شد و فقط از آن استفاده شد. مدل GFDL-ESM4 توسط آزمایشگاه دینامیک سیالات ژئوفیزیکی (NOAA) توسعه یافته و در پروژه CMIP6 مشارکت دارد. این مدل توانایی شبیه‌سازی دقیق تبادل انرژی بین اقیانوس، جو و سطح زمین را دارد. این مدل با داده‌های گذشته اعتبارسنجی شده و توانسته شرایط تاریخی را بازتولید کند، بنابراین برای پیش‌بینی آینده قابل اعتماد است (Tebaldi et al., 2021). بنابراین مدل مذکور انتخاب شد. هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم، در سه بازه تغییر اقلیم را زمانی بررسی می‌کند: کوتاه‌مدت (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، میانی (۲۰۴۱-۲۰۶۰) و بلندمدت (۲۰۸۱-۲۱۰۰). سال ۲۰۵۰ نماینده بازه میانی است و بیشترین کاربرد را در مطالعات سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی دارد (Climate change., 2021). اتحادیه اروپا هدف قانونی بی‌طرفی اقلیمی تا سال ۲۰۵۰ را تصویب کرده است. این هدف در قلب قرارداد سبز اروپا قرار دارد و به عنوان نقطه مرجع سیاست‌های اقلیمی اروپا مطرح است (European Commission., 2020). پژوهشگران و

سیاست‌گذاران جهانی پیشنهاد کرده‌اند که اهداف توسعه پایدار (SDGs) فراتر از ۲۰۳۰ تا افق ۲۰۵۰ امتداد یابند، زیرا بسیاری از تحولات اقلیمی و اجتماعی در این بازه زمانی معنا پیدا می‌کنند (Fuso Nerini et al., 2024). بنا بر آنچه محققین گذشته بیان کردند انتخاب سال ۲۰۵۰ امری منطقی در مطالعات اقلیم آینده است که ضمن نمایش تلویحی اقلیم آینده به داده‌های زمان حال نیز نزدیکی دارد. به این منظور در نوار جنوبی ایران از مجموعه‌ای از داده‌های حداکثر دما، حداقل دما، بارش، سرعت باد، رطوبت نسبی، تابش موج بلند و تابش موج کوتاه از مدل مذکور استفاده شده است. برای این کار ابتدا داده‌ها از یک تارنمای اینترنتی^۱ منتسب به ناسا که برای کل سیاره است، بارگیری و سپس برای شهرستان‌های

محدوده مورد مطالعه استخراج شد. داده‌ها در این مدل با قدرت تفکیک ۲۵ کیلومتر تولید شده‌اند که برای بررسی منطقه‌ای مناسب است لذا ریزمقیاس‌نمایی انجام گرفت. چون داده‌ها در مدل عیناً مختصات نقاط شهرستان‌ها را در بر نمی‌گیرد برای نقاط شهرستان‌های مورد مطالعه از داده‌هایی که به لحاظ طول و عرض کمترین فاصله را با مختصات هر شهرستان داشتند بهره برداری شد. همچنین موقعیت مرکز سه شهرستان در نیمه جنوبی استان سیستان و بلوچستان در محدوده مورد مطالعه نیست اما بخشی از محدوده سیاسی آن‌ها در محدوده مورد مطالعه قرار دارد لذا از داده‌های این سه نقطه نیز بهره برداری شده است. داده‌ها در مدل بر اساس واحدهای استاندارد مانند بارش به میلی‌متر و یا دما به سلسیوس نیستند لذا بعد از

¹ <https://www.nccs.nasa.gov>

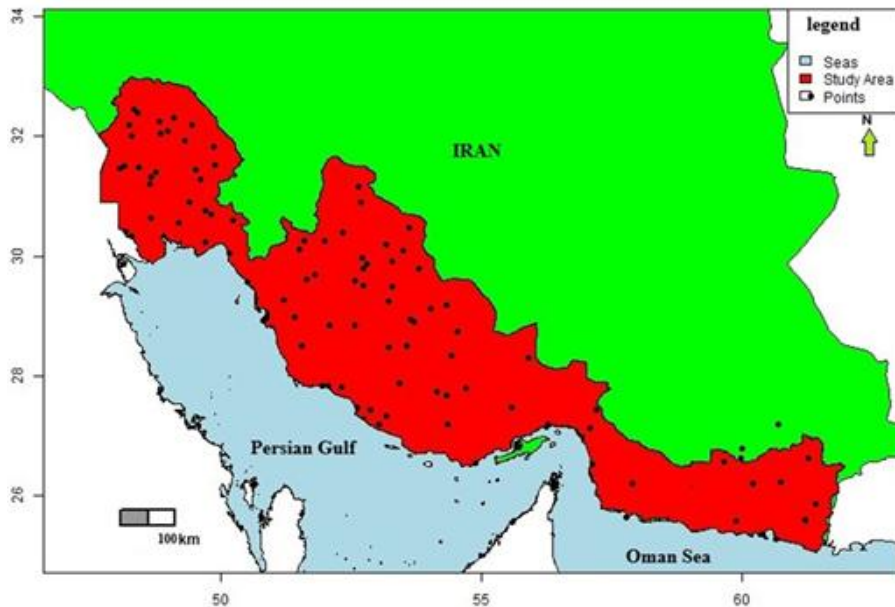
پیش‌یابی ظرفیت اقلیمی استان‌های جنوبی ایران.../ قویدل

۱۰

استخراج داده‌ها برای نقاط مد نظر، همه

داده‌های عددی طی عملیاتی به واحد

استاندارد تبدیل شدند.



شکل ۱: نقشه جغرافیایی نوار جنوبی ایران (منبع: نویسنده)

شهرستان‌های منطقه مورد مطالعه، ابتدا

داده‌های هر یک از ستون‌ها برای محدوده

مورد مطالعه درون‌یابی شد تا شرایط

تحلیل فضایی هر یک از داده‌ها را مهیا کند.

۳.۲. روش‌ها

بعد از استخراج داده‌های استاندارد هر کدام

از متغیرهای حداکثر دما، حداقل دما، بارش

، سرعت باد، رطوبت نسبی، تابش موج بلند

و تابش موج کوتاه برای موقعیت

برای درونیابی داده‌ها از روش آی دی دلبیو^۱ (IDW) بهره‌برداری شد. بعد از درونیابی ستون‌های داده برای اینکه نتایج هر کدام از ستون‌ها به طور مستقل ظرفیت اقلیمی منطقه مورد مطالعه را مشخص نمی‌کرد، باید از روشی بهره‌برداری می‌شد که ضمن استفاده همزمان از همه داده‌ها بتوان به هر متغیر وزن مطلوب آن را اختصاص داد، پس روش تحلیل سلسله‌مراتبی برای انجام اینکار انتخاب شد. روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) توسط ساتی. تی. ال^۲ در سال ۱۹۹۴ معرفی شد و اساس آن بر مقایسه زوجی معیارها و تبدیل قضاوت‌های کیفی به مقادیر کمی است. در این روش، هر عامل با سایر عوامل مقایسه شده و میزان اهمیت نسبی آن تعیین می‌شود. سپس ماتریس مقایسه زوجی

نرمال‌سازی شده و وزن نهایی هر عامل استخراج می‌شود. در مطالعات اقلیمی که از روش AHP استفاده می‌کنند، علامت مثبت یا منفی وزن‌ها نشان‌دهنده جهت اثرگذاری هر عامل بر پایداری یا ظرفیت اقلیمی است. عوامل تقویت‌کننده (مثل بارش و رطوبت) وزن مثبت می‌گیرند، در حالی که عوامل محدودکننده یا تنش‌زا (مثل دمای حداکثر یا تابش شدید) وزن منفی دریافت می‌کنند (Guruanand et al., 2026). در AHP، پس از محاسبه وزن‌ها، آن‌ها نرمال‌سازی می‌شوند تا مجموع وزن‌ها برابر با ۱ باشد. این کار باعث می‌شود وزن هر عامل به صورت نسبی بیان شود و هیچ وزنی بزرگ‌تر از ۱ نباشد (Ishizaka et al., 2006). در زمینه مطالعات اقلیمی و هیدرولوژیک، بارش

که در آن مقادیر نقاط مجهول با استفاده از میانگین وزنی نقاط معلوم مجاور محاسبه می‌شوند.
2. Saaty, T. L

^۱ روش درونیابی معکوس فاصله‌ای (Inverse distance weighting) یک روش درونیابی است

سالانه یکی از مهم‌ترین متغیرها و جزء اصلی چرخه آب به‌شمار می‌آید و منبع اصلی آب شیرین در سطح زمین است (Vargas Godoy et al., 2025). بنابراین اختصاص وزن بیشتر به آن منطقی است. دما به ویژه دمای حداکثر، از طریق کنترل تبخیر، تعرق، توازن انرژی سطح و تنش حرارتی، یکی از متغیرهای اصلی در مطالعات اقلیم و چرخه آب است (Barbulescu et al., 2025). بر این اساس، در این مطالعه به بارش سالانه و دمای حداکثر وزن بیشتری اختصاص داده شده است؛ زیرا این دو متغیر بر اساس مبانی فیزیکی و شواهد موجود در ادبیات، نقش غالب‌تری در فرایند مورد بررسی دارند. برای انجام تحلیل سلسله مراتبی یک ماتریس ورودی تهیه شد که در آن داده های تمامی ستون‌ها در یک جدول قرار داده شد و به هر کدام از ستون‌ها یک وزن اختصاص یافت که در آن هر ستون

داده به عنوان یک عامل در نظر گرفته می شود. جدول ۱ عوامل مورد نظر و وزن آن‌ها را نشان داده است. تصحیح اریبی از جمله روش‌های باز تولید داده از مدل‌های گردش عمومی جو است که در برخی مطالعات گذشته به کار گرفته شده است. مطالعات گذشته نشان داده‌اند که بسیاری از روش‌های تصحیح اریبی علاوه بر حذف خطاهای سیستماتیک، بخشی از مقادیر تغییر اقلیم آینده را نیز تعدیل یا حذف می‌کنند. این امر منجر به ایجاد نتایج غیرواقعی در پیش‌بینی آینده می شود (Kim & Evans., 2026). روش‌های تصحیح اریبی، متنوع‌اند (مانند Quantile Mapping, Delta Change, PresRat) و هر کدام فرضیات خاصی دارند. انتخاب یک روش می‌تواند نتایج را به شدت تحت تأثیر قرار دهد و مقایسه‌پذیری با سایر مطالعات واقعی را کاهش دهد (Pierce et al., 2023). با توجه به آنچه در این بخش

بیان شد نیاز به روش‌های تصحیح اریبی در نشده است. جدول ۲ ماتریس ورودی این مطالعه وجود نداشت و از آنها استفاده تحلیل سلسله مراتبی را نشان می‌دهد.

جدول ۱: عوامل مورد استفاده و وزن اختصاص داده شده به آنها برای تحلیل سلسله مراتبی

این مطالعه (منبع: نویسنده)

رطوبت تابش موج تابش موج سرعت باد دما حداکثر دما حداقل بارش سالانه

۰٫۱۵	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۲	۰٫۱۵	۰٫۲
------	-----	-----	-----	-----	------	-----

جدول ۲: ماتریس ورودی تحلیل سلسله مراتبی این مطالعه (منبع: نویسنده)

نام شهرستان	رطوبت	تابش موج بلند	تابش موج کوتاه	سرعت باد	دما حداکثر	دما حداقل	بارش سالانه
ایرانشهر	۳۱٫۲۸	۳۴۲٫۵۵	۲۷۹٫۶۴	۳٫۷۷	۳۰٫۰۶	۱۶٫۳۰	۱۰۷٫۷۲
مهرستان	۳۶٫۲۳	۳۴۴٫۷۶	۲۷۹٫۴۴	۴٫۰۱	۳۱٫۱۷	۱۹٫۰۰	۸۲٫۲۰
نیک‌شهر	۳۸٫۴۵	۳۵۹٫۴۷	۲۷۹٫۰۰	۴٫۱۲	۳۲٫۸۵	۲۱٫۵۷	۶۵٫۵۵
فنوج	۳۴٫۵۳	۳۴۶٫۹۰	۲۷۹٫۷۹	۳٫۹۱	۳۱٫۱۵	۱۸٫۳۶	۱۰۰٫۵۸
قصرقند	۳۸٫۶۸	۳۵۲٫۱۱	۲۷۸٫۶۹	۴٫۱۳	۳۲٫۵۰	۲۱٫۳۸	۵۳٫۲۸
راسک	۴۱٫۹۳	۳۶۹٫۹۰	۲۷۷٫۱۷	۴٫۳۷	۳۲٫۷۱	۲۲٫۸۲	۵۳٫۷۶
سرباز	۳۳٫۹۴	۳۴۶٫۹۴	۲۷۸٫۶۴	۳٫۸۸	۳۰٫۲۰	۱۷٫۲۴	۷۶٫۱۱
لاشار	۳۴٫۵۳	۳۴۶٫۹۰	۲۷۹٫۷۹	۳٫۹۱	۳۱٫۱۵	۱۸٫۳۶	۱۰۰٫۵۸
زراباد	۴۲٫۸۷	۳۶۲٫۲۷	۲۷۸٫۴۶	۴٫۲۵	۳۲٫۹۸	۲۲٫۷۴	۵۶٫۹۸
دشتیاری	۴۴٫۱۳	۳۶۸٫۱۳	۲۷۷٫۰۰	۴٫۴۵	۳۲٫۳۰	۲۳٫۴۱	۵۰٫۰۰
چابهار	۴۶٫۰۹	۳۶۹٫۰۶	۲۷۷٫۰۷	۴٫۲۹	۳۲٫۲۷	۲۳٫۵۸	۳۷٫۹۸
کنارک	۴۵٫۷۷	۳۷۰٫۳۸	۲۷۷٫۳۵	۴٫۲۴	۳۲٫۴۹	۲۳٫۵۵	۳۵٫۷۴
امیدیه	۴۲٫۰۸	۳۵۳٫۷۵	۲۶۰٫۵۳	۳٫۵۵	۳۳٫۷۳	۲۰٫۹۴	۳۲۷٫۹۶
اندیکا	۴۱٫۱۰	۳۲۷٫۹۸	۲۵۹٫۹۴	۳٫۱۶	۳۰٫۹۰	۱۵٫۷۸	۴۱۹٫۳۷
اندیمشک	۴۰٫۶۹	۳۴۶٫۷۵	۲۵۶٫۷۵	۳٫۱۹	۳۴٫۹۱	۱۸٫۷۱	۴۴۸٫۰۶
اهواز	۴۱٫۱۲	۳۳۶٫۷۳	۲۵۷٫۴۱	۳٫۶۴	۳۴٫۷۷	۲۰٫۲۰	۳۴۴٫۳۹
ایذه	۴۱٫۴۸	۳۲۳٫۹۱	۲۶۱٫۲۲	۳٫۲۰	۲۹٫۳۴	۱۴٫۵۰	۴۱۳٫۳۲
ایادان	۴۰٫۷۳	۳۵۱٫۰۷	۲۵۶٫۵۲	۳٫۵۲	۳۴٫۵۱	۲۰٫۷۶	۲۵۰٫۱۱
اغاچاری	۴۲٫۳۱	۳۵۲٫۸۷	۲۶۱٫۵۶	۳٫۶۴	۳۳٫۱۴	۲۱٫۰۷	۳۲۲٫۲۱
باغ‌ملک	۴۱٫۷۷	۳۲۵٫۴۹	۲۶۱٫۴۶	۳٫۳۵	۲۹٫۱۶	۱۴٫۶۳	۳۹۵٫۹۳
باوی	۴۱٫۱۲	۳۳۶٫۷۳	۲۵۷٫۴۱	۳٫۶۴	۳۴٫۷۷	۲۰٫۲۰	۳۴۴٫۳۹
بندرماهشهر	۴۱٫۷۲	۳۵۰٫۷۲	۲۵۸٫۶۳	۳٫۶۵	۳۴٫۰۷	۲۱٫۳۴	۲۹۸٫۹۳
بهبهان	۴۱٫۴۹	۳۴۷٫۰۴	۲۶۲٫۶۴	۳٫۶۸	۳۲٫۱۹	۲۰٫۰۲	۳۳۴٫۵۵
حمیدیه	۴۰٫۹۰	۳۳۸٫۱۵	۲۵۶٫۸۴	۳٫۵۳	۳۴٫۷۸	۲۰٫۱۱	۳۴۴٫۲۴
خرمشهر	۴۰٫۷۲	۳۵۱٫۰۷	۲۵۶٫۵۲	۳٫۵۲	۳۴٫۵۱	۲۰٫۷۶	۲۵۰٫۱۱
دزپارت	۴۱٫۰۲	۳۳۸٫۴۰	۲۵۹٫۰۴	۳٫۲۳	۳۲٫۹۳	۱۷٫۶۴	۴۲۴٫۷۶
دزفول	۴۰٫۶۹	۳۴۶٫۷۵	۲۵۶٫۷۵	۳٫۱۹	۳۴٫۹۱	۱۸٫۷۱	۴۴۸٫۰۶
دشت آزادگان	۴۰٫۶۷	۳۳۹٫۴۱	۲۵۶٫۲۸	۳٫۴۳	۳۴٫۷۹	۲۰٫۰۸	۳۳۲٫۶۲
رامشیر	۴۱٫۹۶	۳۵۲٫۵۵	۲۵۹٫۵۵	۳٫۵۶	۳۴٫۲۳	۲۱٫۲۳	۳۱۹٫۴۶

ادامه جدول ۲: ماتریس ورودی تحلیل سلسله مراتبی این مطالعه (منبع: نویسنده)

نام شهرستان	رطوبت	تابش موج بلند	تابش موج کوتاه	سرعت باد	دما حداکثر	دما حداقل	بارش سالانه
رامهرمز	۴۱,۸۹	۳۴۰,۳۵	۲۶۰,۶۹	۳,۴۹	۳۲,۸۳	۱۸,۸۵	۳۶۵,۶۴
شادگان	۴۱,۱۲	۳۴۶,۷۹	۲۵۶,۱۳	۳,۶۴	۳۴,۴۰	۲۰,۸۳	۲۸۲,۴۷
شوش	۴۰,۶۷	۳۴۴,۶۶	۲۵۶,۱۴	۳,۱۹	۳۴,۷۴	۱۸,۷۹	۴۱۴,۹۸
شوشتر	۴۰,۹۳	۳۴۵,۵۷	۲۵۸,۲۲	۳,۳۱	۳۴,۴۸	۱۸,۹۷	۴۲۶,۲۴
کارون	۴۱,۱۲	۳۴۰,۶۹	۲۵۷,۳۰	۳,۶۱	۳۴,۷۰	۲۰,۴۶	۳۲۰,۳۳
کرخه	۴۰,۸۲	۳۴۲,۹۶	۲۵۶,۸۵	۳,۳۴	۳۴,۹۰	۱۹,۴۴	۴۰۳,۰۶
گتوند	۴۰,۹۳	۳۴۵,۵۷	۲۵۸,۲۲	۳,۳۱	۳۴,۴۸	۱۸,۹۷	۴۲۶,۲۴
لالی	۴۰,۸۰	۳۳۹,۷۷	۲۵۹,۱۲	۳,۱۴	۳۲,۳۱	۱۶,۷۸	۴۳۹,۰۱
مسجدسلیمان	۴۱,۳۷	۳۳۸,۸۵	۲۵۹,۸۱	۳,۲۷	۳۲,۵۳	۱۷,۶۹	۳۹۷,۲۲
هفتگل	۴۱,۸۹	۳۴۰,۳۵	۲۶۰,۶۹	۳,۴۹	۳۲,۸۳	۱۸,۸۵	۳۶۵,۶۴
هندیجان	۴۲,۵۴	۳۵۵,۷۷	۲۸۲,۵۵	۳,۸۲	۳۴,۶۰	۲۲,۰۳	۲۶۶,۰۰
هویزه	۴۰,۶۷	۳۳۹,۴۱	۲۵۶,۲۸	۳,۴۳	۳۴,۷۹	۲۰,۰۸	۳۳۲,۶۲
بستک	۳۹,۰۲	۳۵۶,۱۶	۲۷۴,۷۸	۴,۶۷	۳۰,۴۱	۱۹,۲۲	۱۸۶,۷۰
بشاگرد	۳۹,۷۳	۳۵۰,۲۹	۲۷۹,۲۱	۳,۸۳	۳۳,۵۳	۲۱,۲۲	۱۴۴,۷۷
بندرعباس	۳۵,۵۳	۳۶۷,۷۰	۲۷۶,۹۲	۴,۵۳	۳۲,۶۱	۲۲,۲۵	۱۱۷,۰۳
بندرلنگه	۴۰,۳۲	۳۷۱,۳۹	۲۷۶,۶۴	۴,۲۹	۳۳,۳۱	۲۳,۳۵	۱۳۵,۵۱
پارسیان	۴۰,۲۹	۳۶۵,۵۴	۲۷۲,۶۵	۴,۴۷	۳۲,۴۱	۲۱,۴۸	۱۴۱,۴۰
چاسک	۴۰,۹۴	۳۵۳,۷۲	۲۷۹,۴۰	۳,۸۶	۳۳,۵۶	۲۱,۷۵	۱۱۸,۱۸
حاجی‌آباد	۴۰,۴۱	۳۴۰,۲۹	۲۷۴,۶۹	۳,۹۹	۳۲,۹۴	۲۳,۹۱	۳۷۰,۹۷
خمیر	۳۶,۴۷	۳۴۲,۷۱	۲۷۶,۲۷	۴,۵۱	۳۰,۸۷	۱۹,۱۶	۱۸۵,۵۱
رودان	۳۴,۶۵	۳۵۸,۱۴	۲۷۷,۳۷	۴,۳۴	۳۲,۸۸	۲۰,۹۶	۱۰۰,۶۵
سیریک	۳۸,۰۰	۳۶۴,۲۹	۲۷۸,۴۴	۴,۰۲	۳۳,۶۷	۲۱,۵۵	۱۰۲,۷۸
میناب	۳۵,۷۷	۳۶۵,۷۱	۲۷۷,۷۲	۴,۲۱	۳۳,۶۴	۲۱,۸۲	۹۷,۵۷
دیلم	۴۱,۹۳	۳۵۷,۲۶	۲۶۲,۹۵	۳,۹۲	۳۳,۶۵	۲۱,۸۲	۲۷۵,۲۴
گناوه	۳۸,۷۳	۳۴۸,۴۵	۲۶۵,۰۱	۴,۴۸	۳۳,۰۶	۲۱,۷۴	۲۷۵,۸۱
دشتستان	۳۶,۰۱	۳۵۷,۷۷	۲۶۶,۸۱	۴,۵۱	۳۳,۱۱	۲۱,۷۶	۲۸۴,۴۲
بوشهر	۳۸,۳۹	۳۶۰,۷۶	۲۶۵,۰۳	۴,۴۱	۳۴,۱۵	۲۱,۴۸	۱۹۵,۲۹
دیر	۳۸,۵۹	۳۶۹,۵۲	۲۶۸,۶۰	۴,۶۱	۳۴,۲۹	۲۱,۵۹	۱۵۳,۹۰
دشتی	۳۶,۹۶	۳۶۰,۹۵	۲۶۷,۹۱	۴,۴۷	۳۱,۸۳	۲۰,۵۰	۲۱۴,۲۴
تنگستان	۳۶,۱۲	۳۵۲,۴۱	۲۶۷,۲۸	۴,۴۴	۳۰,۵۵	۱۸,۹۸	۲۵۴,۵۱
کنگان	۳۸,۲۸	۳۴۴,۶۵	۲۶۹,۴۳	۴,۷۱	۳۰,۵۱	۱۸,۹۶	۱۷۲,۵۸
جم	۳۷,۹۷	۳۴۳,۵۲	۲۷۰,۲۶	۴,۸۲	۳۰,۵۱	۱۹,۲۶	۱۸۲,۱۹
عسلویه	۴۰,۳۸	۳۶۸,۰۸	۲۷۱,۱۹	۴,۷۴	۳۳,۹۴	۲۳,۴۱	۱۴۶,۴۸
ارسنجان	۲۳,۶۴	۳۲۶,۸۸	۲۷۱,۸۰	۴,۳۰	۲۶,۷۵	۸,۷۴	۲۵۱,۹۸
استهبان	۲۷,۰۰	۳۲۱,۵۴	۲۷۳,۱۴	۴,۳۵	۲۶,۰۵	۸,۶۷	۲۲۳,۹۲
اقلید	۲۷,۲۳	۲۸۹,۹۹	۲۶۹,۳۳	۴,۱۳	۲۲,۵۳	۵,۵۹	۳۰۶,۲۰
اوز	۳۴,۸۹	۳۴۳,۳۶	۲۷۳,۹۲	۴,۶۹	۲۹,۲۸	۱۶,۰۴	۱۵۸,۴۳
ایاده	۲۸,۱۳	۳۰۸,۹۰	۲۶۸,۸۲	۴,۰۷	۲۴,۵۳	۸,۰۲	۲۷۸,۳۸
بختگان	۲۲,۷۳	۳۱۶,۷۷	۲۷۱,۸۴	۴,۱۷	۲۵,۲۷	۷,۱۷	۲۳۶,۲۰
بیوانات	۲۴,۴۹	۲۹۰,۱۷	۲۷۰,۱۱	۳,۹۶	۲۲,۷۴	۴,۷۴	۲۵۸,۷۳
بیضاء	۲۵,۱۴	۳۲۰,۷۰	۲۷۱,۴۷	۴,۶۶	۲۷,۷۹	۱۰,۳۸	۲۹۸,۵۹
پاسارگاد	۲۳,۹۱	۳۱۵,۸۳	۲۷۱,۰۳	۴,۲۴	۲۶,۰۴	۸,۱۵	۲۷۲,۷۳
چهرم	۳۲,۴۳	۳۳۱,۴۱	۲۷۲,۶۶	۴,۴۳	۲۸,۲۵	۱۳,۲۵	۱۹۰,۳۱
خرامه	۲۶,۵۴	۳۱۴,۴۵	۲۷۲,۸۸	۴,۵۴	۲۶,۳۳	۸,۴۹	۲۴۸,۸۱
خرم‌بید	۲۶,۵۱	۲۹۷,۴۶	۲۷۰,۲۵	۴,۳۷	۲۴,۲۱	۷,۲۱	۳۳۸,۹۳
خفر	۲۹,۲۶	۳۳۹,۸۹	۲۷۲,۸۱	۴,۳۷	۲۹,۴۳	۱۲,۸۷	۲۰۳,۱۶
خنج	۳۶,۳۱	۳۴۶,۸۷	۲۷۲,۲۶	۴,۶۲	۳۰,۳۲	۱۷,۳۳	۱۸۲,۷۲

ادامه جدول ۲: ماتریس ورودی تحلیل سلسله مراتبی این مطالعه (منبع: نویسنده)

نام شهرستان	رطوبت	تابش موج بلند	تابش موج کوتاه	سرعت باد	دما حداکثر	دما حداقل	بارش سالانه
داراب	۲۷,۹۰	۳۲۲,۴۵	۲۷۳,۳۴	۴,۲۲	۲۵,۴۵	۸,۷۹	۱۹۴,۲۹
رستم	۳۰,۸۸	۳۱۴,۸۵	۲۶۸,۹۶	۴,۲۲	۲۸,۳۴	۱۳,۱۲	۳۴۷,۶۲
زرقان	۲۵,۱۴	۳۲۰,۷۰	۲۷۱,۴۷	۴,۶۶	۲۷,۷۹	۱۰,۳۸	۲۹۸,۵۹
زرین‌دشت	۳۱,۶۶	۳۵۱,۹۴	۲۷۳,۲۰	۴,۵۲	۳۰,۵۱	۱۵,۶۵	۱۶۸,۷۵
سپیدان	۲۹,۴۳	۲۷۵,۱۸	۲۶۹,۶۱	۴,۱۸	۲۱,۷۲	۵,۵۴	۳۶۷,۳۲
سرچهان	۲۳,۵۲	۳۰۹,۴۲	۲۷۱,۰۰	۴,۱۴	۲۵,۲۹	۷,۲۶	۲۶۵,۳۳
سروستان	۲۸,۴۰	۳۲۲,۷۹	۲۷۲,۶۶	۴,۵۶	۲۷,۶۸	۱۰,۴۲	۲۶۸,۴۶
شیراز	۲۶,۵۶	۳۱۱,۹۶	۲۷۲,۰۲	۴,۸۷	۲۷,۴۵	۱۰,۱۱	۲۸۲,۸۲
فراشند	۳۲,۸۶	۳۳۲,۵۵	۲۷۰,۳۴	۴,۶۵	۳۰,۱۸	۱۶,۰۰	۲۵۱,۵۳
فسا	۲۹,۲۶	۳۳۹,۸۹	۲۷۲,۸۱	۴,۳۷	۲۹,۴۳	۱۲,۸۷	۲۰۳,۱۶
فیروزآباد	۳۱,۰۰	۳۰۲,۲۵	۲۷۱,۷۳	۴,۷۴	۲۶,۶۲	۱۰,۶۶	۲۵۷,۶۰
قبر و کارزین	۳۲,۹۲	۳۵۲,۰۱	۲۷۲,۲۹	۴,۴۹	۳۰,۹۵	۱۶,۵۹	۱۹۴,۶۰
کازرون	۳۲,۰۹	۳۲۹,۹۱	۲۶۹,۱۵	۴,۵۷	۲۹,۲۸	۱۶,۹۵	۳۰۹,۱۷
کوار	۲۶,۵۶	۳۱۱,۹۶	۲۷۲,۰۲	۴,۸۷	۲۷,۴۵	۱۰,۱۱	۲۸۲,۸۲
کوه چنار	۳۰,۴۵	۳۰۵,۰۴	۲۷۰,۲۰	۴,۶۶	۲۶,۰۷	۱۰,۵۹	۳۰۸,۷۵
گراش	۳۷,۲۵	۳۳۴,۸۸	۲۷۳,۳۴	۴,۹۲	۲۸,۹۹	۱۶,۳۹	۱۷۰,۷۳
لارستان	۳۶,۹۵	۳۳۷,۹۰	۲۷۳,۷۴	۵,۰۰	۲۹,۴۳	۱۶,۸۳	۱۶۴,۰۵
لامرد	۳۹,۶۸	۳۴۶,۸۶	۲۷۲,۱۵	۴,۶۵	۳۰,۱۳	۱۹,۳۶	۱۵۸,۰۳
مرودشت	۲۴,۶۱	۳۲۵,۰۸	۲۷۱,۶۲	۴,۵۲	۲۷,۹۷	۱۰,۲۹	۲۷۹,۴۲
ممسنی	۳۰,۸۸	۳۱۴,۸۵	۲۶۸,۹۶	۴,۲۲	۲۸,۳۴	۱۳,۱۲	۳۴۷,۶۲
مهر	۴۰,۰۳	۳۴۷,۹۰	۲۷۱,۶۷	۴,۶۸	۳۱,۴۵	۲۱,۰۳	۱۵۱,۱۲
نی‌ریز	۲۶,۶۵	۳۳۲,۵۱	۲۷۳,۲۶	۴,۳۷	۲۶,۳۵	۹,۰۲	۲۱۷,۴۰

(۱) روش اصلی این مطالعه تحلیل سلسله

$$S_i = \sum_{j=1}^n W_j * \frac{x_{ij}}{\sum_{k=1}^m x_{kj}}$$

مراتبی است. این روش در مطالعات

اقلیم‌شناسی زیادی مورد توجه بوده است.

که در آن S_i امتیاز تحلیل سلسله مراتبی

بعد از استخراج داده‌های عوامل مد نظر در

برای هر ایستگاه است. W_j وزن هر کدام از

مرحله اول داده‌های عوامل به دست آمده

معیارها است. x_{ij} نمره عملکرد هر ایستگاه

با روش تحلیل سلسله مراتبی امتیازدهی

در هر کدام از معیارهای هفت گانه و m

شدند. در روش تحلیل سلسله مراتبی با

تعداد معیارهای به کار گرفته شده است.

رابطه زیر امتیازدهی ایستگاه‌های مورد

بعد از انجام تحلیل سلسله مراتبی نتایج این

مطالعه انجام شده است (Saaty. T. L.,

1994).

تحلیل با روش خوشه بندی وارد خوشه بندی شد.

منظور از امتیازدهی این بود که ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه با توجه به ۷ عامل شرح داده شده و وزن آنها چه رتبه‌ای را در ظرفیت اقلیمی سال ۲۰۵۰ می‌توانند به دست آورند. در وزن دهی به عوامل مورد استفاده در این تحلیل مجموع وزن‌ها عدد ۱ است یعنی وزن‌ها بر اساس صدم یا درصد هستند. هر کدام از عوامل بارش سالانه و حداکثر دما بیشترین وزن ممکن یعنی $0/۲$ و $-0/۲$ را به خود اختصاص داده‌اند. این به سبب تأثیرگذاری بیشتر این عامل نسبت به سایر عوامل در ظرفیت اقلیمی بوده است. عوامل بعدی که وزن بیشتری گرفته اند رطوبت و حداقل دما هستند که به آنها وزن $0/۱۵$ و $-0/۱۵$ (منفی پانزده صدم) اختصاص یافته است . به هر کدام از عوامل تابش موج بلند، تابش موج کوتاه و سرعت باد وزن $0/۱$ (منفی

یک دهم) اختصاص پیدا کرده است. وزن منفی به عوامل حداکثر دما و حداقل به این سبب است که هر چقدر مقدار دما زیاد باشد از میزان ظرفیت اقلیمی کاسته می‌شود. همچنین هر چقدر تابش موج بلند، تابش موج کوتاه و سرعت باد زیاد باشد اثر کاهنده بر ظرفیت اقلیمی برجای می‌گذارند. بنابراین هنگام اجرای تحلیل سلسله مراتبی برای اینکه وزن این عوامل نیز مثبت شود تمامی داده‌های ستون حداقل دما، حداکثر دما، تابش موج بلند، تابش موج کوتاه و سرعت باد هنگام اجرا معکوس می شوند تا وزن اختصاص داده شده به این عوامل مثبت شود. وقتی که داده های ستون حداقل دما، حداکثر دما، تابش موج بلند، تابش موج کوتاه و سرعت باد معکوس می شوند ابتدا وزن اختصاص داده شده به ستون به ارزشی مثبت بدل شده و بعد از آن حداقل دما، حداکثر دما، تابش موج بلند، تابش موج کوتاه و سرعت

باد بالا اثر کاهنده و حداقل دما، حداکثر دما، تابش موج بلند، تابش موج کوتاه و سرعت باد کم اثر افزایش دهنده برای امتیاز نهایی شهرستان ها بر جای می گذارند. این مهم برای اینست که غیر از حداقل دما، حداکثر دما، تابش موج بلند، تابش موج کوتاه و سرعت باد داده های ستون های دیگر هرچقدر بیشتر باشند همان قدر نیز امتیاز ایستگاه ها را در تحلیل سلسله مراتبی افزایش می دهند. لذا برای هم سویی اثر عوامل حداقل دما، حداکثر دما، تابش موج بلند، تابش موج کوتاه و سرعت باد با سایر عوامل اینکار انجام گرفته است. بعد از انجام تحلیل سلسله مراتبی هر شهرستان محدوده مورد مطالعه یک امتیاز بر حسب درصد به دست آورده است که رتبه هر نقطه را در ظرفیت اقلیمی سال ۲۰۵۰ نشان داده است. اما چون هدف مطالعه بر اساس استخراج ظرفیت اقلیمی در شهرستان خاصی نبوده است باید این نتایج گروه بندی می شدند تا گستره های مطلوب و نامطلوب منطقه مورد مطالعه در ظرفیت اقلیمی سال ۲۰۵۰ مشخص شوند. برای اینکار از روش خوشه بندی وارد استفاده شد. روش خوشه بندی وارد نیز یکی از روش های تحلیل سلسله مراتبی است. محاسبه خوشه بندی با استفاده از رابطه زیر و در نرم افزار متلب انجام شده است. روش خوشه بندی سلسله مراتبی واریانس کل درون خوشه ای را به حداقل می رساند و به طور مکرر خوشه هایی را ادغام می کند که منجر به کوچک ترین افزایش واریانس می شود. همچنین Rodrigo et al., (2023) روش وارد به عنوان یک تکنیک خوشه بندی سلسله مراتبی برای منطقه بندی مجموعه داده ها با گروه بندی ایستگاه ها با تنوع بین سالانه مشابه شاخص IRT، که تفاوت بین درصد بارندگی در روزهای سرد و گرم را اندازه گیری می کند، استفاده کرد. (Jahn., (2023) در مقاله ای

شکل ۲ نتایج درونیابی میانگین سالانه حداکثر دما پیش‌نگری شده نوار جنوبی ایران با مدل GFDL-ESM4 در سال ۲۰۵۰ را نشان می‌دهد. برای اینکه این مطالعه بر اساس یک ایستگاه خاص نبوده و به صورت گستره مطالعاتی بررسی شده است، تفکیک ایستگاه‌های هواشناسی به محدوده شهرستان های آنها نمی‌توانست هدف مطالعه را برای گستره جغرافیایی نوار جنوبی ایران برآورده کند. لذا داده‌های به‌دست‌آمده ایستگاه ها با روش آی دی دبلیو (IDW) درونیابی شد تا ضمن نمایش فضایی نتایج، بتواند نقاط مطلوب و نامطلوب این متغیر را شناسایی کند. در این نقشه اختلاف دمایی ۲۷/۷ تا ۳۴/۹ دیده می‌شود که بسیار بالاست و اقلیم‌های متفاوتی را در گستره نقشه تداعی می‌کند. خنک‌ترین طبقه نقشه در بخش شمال استان فارس قرار دارد و گرم‌ترین قسمت‌های آن در نیمه غربی خوزستان و

از روش وارد برای تقسیم اروپا به شش منطقه با ویژگی‌های ازن و دمای سطح زمین همگن استفاده کرد. با توجه به این مطالعات اهمیت روش وارد در خوشه‌بندی داده‌های اقلیمی مشخص شد و لذا با این روش می‌توان به شکل منطقی داده‌های مد نظر این مطالعه را خوشه بندی کرد. محاسبه خوشه بندی با استفاده از رابطه زیر و در نرم افزار متلب انجام شده است (Ward, 1963).

(۲)

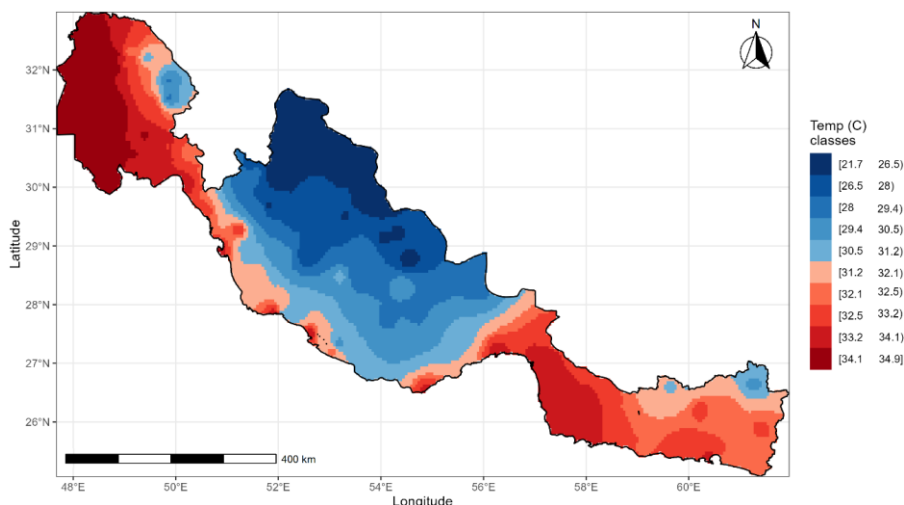
$$\Delta E(C_i, C_j) = \frac{(|C_i| * |C_j|)}{(|C_i| + |C_j|)} * d(\mu_i, \mu_j)^2$$

که در آن C_i, C_j گروه‌هایی از نقاط داده، $|C_i|, |C_j|$ تعداد نقاط داده در هر خوشه، μ_i, μ_j موقعیت میانگین تمام نقاط داده در خوشه و d اندازه گیری فاصله بین دو نقطه در فضای اقلیدی می‌باشد.

۳. یافته‌ها و نتایج

نیمه شرقی هرمزگان مشاهده می‌شود. در محدوده استان فارس به تدریج از شمال به جنوب به میزان دما افزوده شده است. بیشترین محدوده دارای دما کم در استان فارس و بیشترین محدوده دارای دما زیاد در استان خوزستان دیده می‌شود.

استان‌های بوشهر و غرب هرمزگان متوسط دما یعنی محدوده ۳۰ تا ۳۲ درجه را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین در نیمه جنوبی استان سیستان و بلوچستان دما از شمال به جنوب افزایش پیدا کرده است.

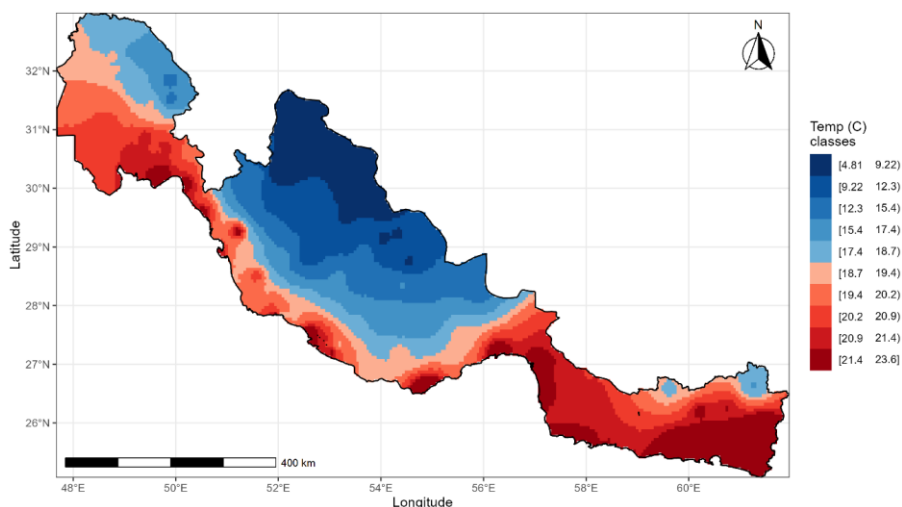


شکل ۲: نتایج درونیابی میانگین سالانه حداکثر دما پیشنگری شده نوار جنوبی ایران با مدل GFDL-ESM4 در سال ۲۰۵۰ (منبع: نویسنده)

شکل ۳ نقشه درونیابی میانگین سالانه حداقل دما پیشنگری شده نوار جنوبی ایران با مدل GFDL-ESM4 در سال ۲۰۵۰ را نشان می‌دهد. اختلاف دمایی در این نقشه از $\frac{4}{81}$ تا $\frac{23}{6}$ درجه سلسیوس است که این طبقات دمایی به ترتیب در شمال استان فارس و نیمه جنوبی استان سیستان و بلوچستان و شرق هرمزگان مشاهده می‌شوند. کل گستره استان فارس و شمال خوزستان بیشترین محدوده دمای

کم را به خود اختصاص داده‌اند و محدوده دارای دمای زیاد در نیمه جنوبی سیستان و بلوچستان و شرق هرمزگان دیده می‌شود. استان های بوشهر و غرب هرمزگان متوسط دما یعنی محدوده ۱۸ تا ۲۱ درجه را به

خود اختصاص داده‌اند. همچنین در استان های خوزستان و فارس دما از شمال به جنوب افزایش پیدا کرده است.

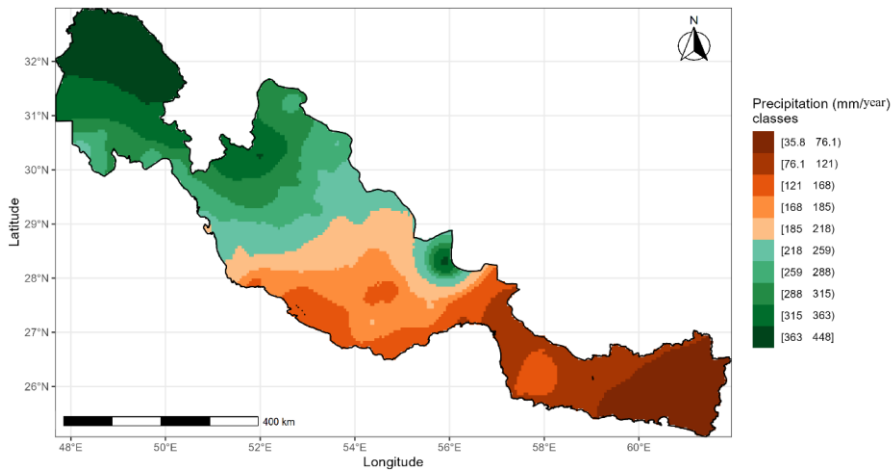


شکل ۳: نقشه درونیابی میانگین سالانه حداقل دما پیشنگری شده نوار جنوبی ایران با مدل GFDL-ESM4 در سال ۲۰۵۰ (منبع: نویسنده)

شکل ۴ نقشه درونیابی مجموع سالانه بارش پیشنگری شده نوار جنوبی ایران با مدل GFDL-ESM4 در سال ۲۰۵۰ را نشان می‌دهد. اختلاف بارش در این نقشه از ۴۴۸ تا ۳۵ میلی‌متر است که این طبقات بارش به ترتیب بیشترین بارش در

شمال استان خوزستان و کمترین بارش در شرق نیمه جنوبی استان سیستان و بلوچستان و شرق هرمزگان مشاهده می‌شوند. کل گستره استان خوزستان و نیمه غربی و شمالی فارس بیشترین بارش را به خود اختصاص داده‌اند و محدوده دارای

بارش کم در نیمه جنوبی سیستان و بلوچستان، کل هرمزگان و جنوب بوشهر دیده می‌شود. بارش در استان های خوزستان، فارس و هرمزگان از شمال به جنوب کاهش پیدا کرده است. جنوب فارس و غرب هرمزگان متوسط بارش یعنی ۱۲۱ تا ۲۱۸ میلیمتر به خود اختصاص داده است.

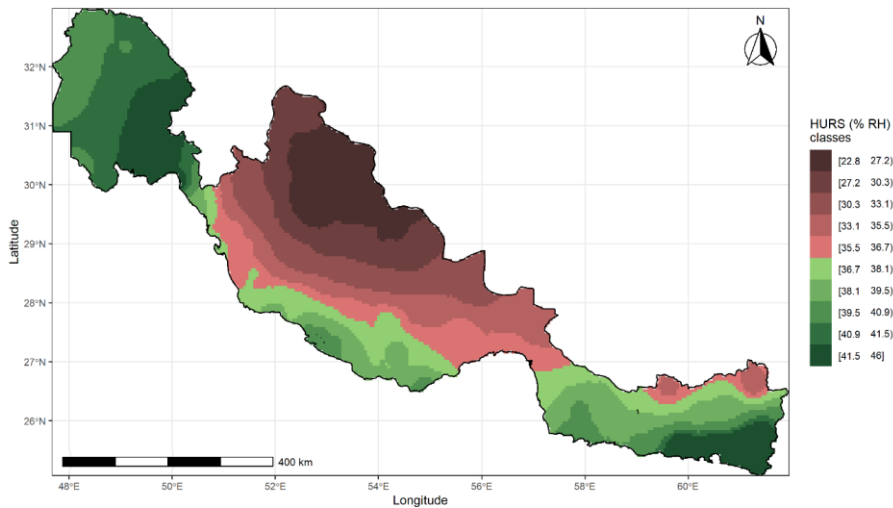


شکل ۴: نقشه درونیایی جمع سالانه بارش پیشنگری شده نوار جنوبی ایران با مدل GFDL-ESM4 در سال ۲۰۵۰ (منبع: نویسنده)

شکل ۵ نقشه درونیایی رطوبت نسبی سطح زمین پیش‌نگری‌شده نوار جنوبی ایران با مدل GFDL-ESM4 در سال ۲۰۵۰ را نشان می‌دهد. اختلاف رطوبت نسبی در این نقشه از ۴۶ تا ۲۲/۸ درصد است که این طبقات رطوبت به ترتیب بیشترین رطوبت در جنوب‌شرق نیمه جنوبی سیستان و بلوچستان و جنوب‌شرق خوزستان و کمترین رطوبت در مرکز و نیمه شمالی استان فارس مشاهده می‌شود. کل گستره استان خوزستان و نیمه جنوبی استان سیستان و بلوچستان بیشترین رطوبت را به خود اختصاص داده‌اند و محدوده دارای رطوبت کم در بیشتر

محدوده استان فارس، مرکز هرمزگان و شمال بوشهر دیده می‌شود. رطوبت در استان های هرمزگان و نیمه جنوبی سیستان و بلوچستان از شمال به جنوب

افزایش پیدا کرده است. همچنین رطوبت در استان خوزستان از غرب به شرق افزایش یافته است.

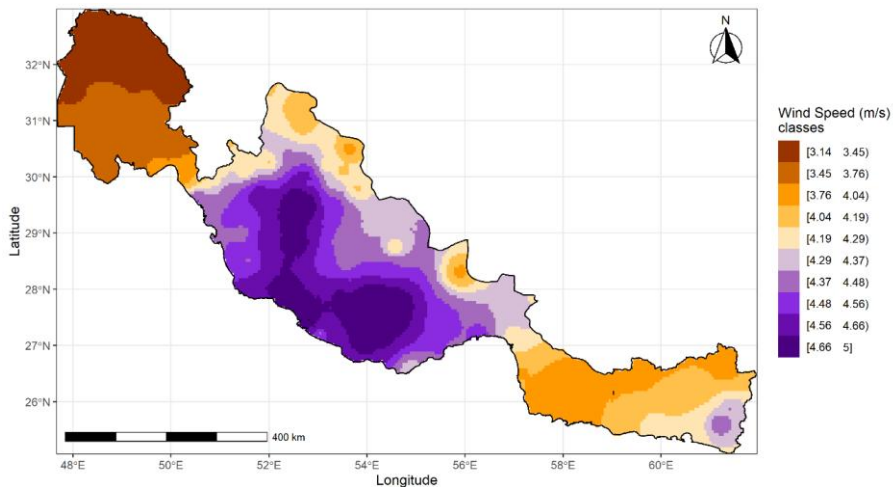


شکل ۵: نقشه درونیابی رطوبت نسبی سطح زمین پیشنگری شده نوار جنوبی ایران با مدل GFDL-ESM4 در سال ۲۰۵۰ (منبع: نویسنده)

شکل ۶ نقشه درونیابی سرعت باد پیشنگری شده نوار جنوبی ایران با مدل GFDL-ESM4 در سال ۲۰۵۰ را نشان می‌دهد. اختلاف سرعت باد در این نقشه از ۵ تا ۳/۴ متر در ثانیه است که این طبقات سرعت باد به ترتیب بیشترین سرعت باد در استان بوشهر، نیمه جنوبی فارس و غربی هرمزگان و کمترین سرعت باد در نیمه شمالی استان خوزستان مشاهده می‌شود. کل گستره استان بوشهر، نیمه جنوبی فارس و بیشتر محدوده استان هرمزگان بیشترین سرعت باد را به خود اختصاص

داده‌اند و محدوده دارای سرعت باد کم در کل استان خوزستان، شمال فارس و شرق هرمزگان دیده می‌شود. سرعت باد در استان های هرمزگان، نیمه جنوبی سیستان و بلوچستان و فارس از شمال به جنوب افزایش پیدا کرده است. سرعت باد در استان خوزستان و نیمه غربی فارس هم از

شمال به جنوب و هم از غرب به شرق افزایش یافته است. در محدوده استان فارس مرکز استان بیشترین سرعت باد را از خود نشان داده است که نسبت به دو نیمه غربی و شرقی بیشتر است و وجه تمایزی را در این بین ایجاد نموده است.

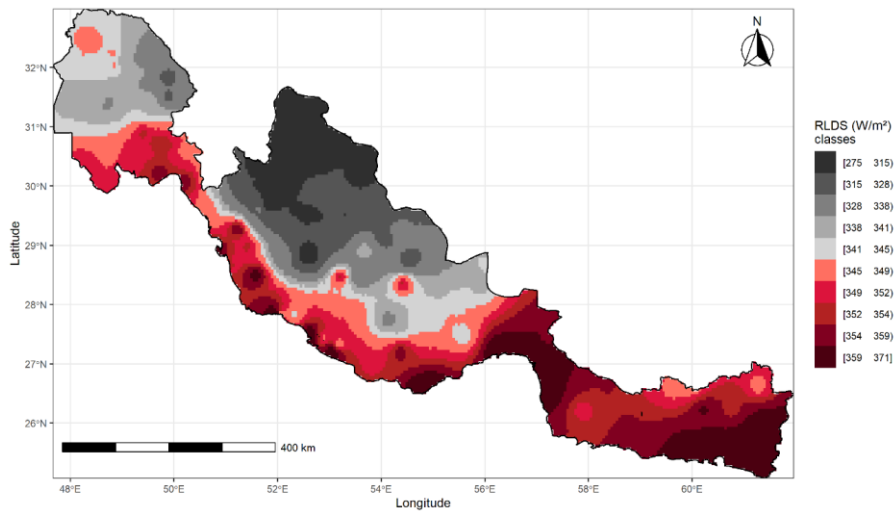


شکل ۶: نقشه درونیایی سرعت باد پیشنگری شده نوار جنوبی ایران با مدل GFDL-ESM4 در سال ۲۰۵۰ (منبع: نویسنده)

شکل ۷ نقشه درونیایی تابش موج بلند نزولی سطح زمین (RLDS) پیشنگری شده نوار جنوبی ایران با مدل GFDL-ESM4 در سال ۲۰۵۰ را نشان می‌دهد. اختلاف تابش موج بلند در این نقشه از ۳۷۱ تا ۲۷۵ وات بر متر مربع است که این

استان فارس، شمال‌غرب هرمزگان و نیمه شمالی خوزستان دیده می‌شود. تابش موج بلند در کل محدوده مورد مطالعه از شمال به جنوب افزایش پیدا کرده است. مرکز استان‌های فارس و خوزستان طبقات متوسط تابش موج بلند این نقشه یعنی ۳۴۱ تا ۳۴۵ وات بر متر مربع را به خود اختصاص داده است.

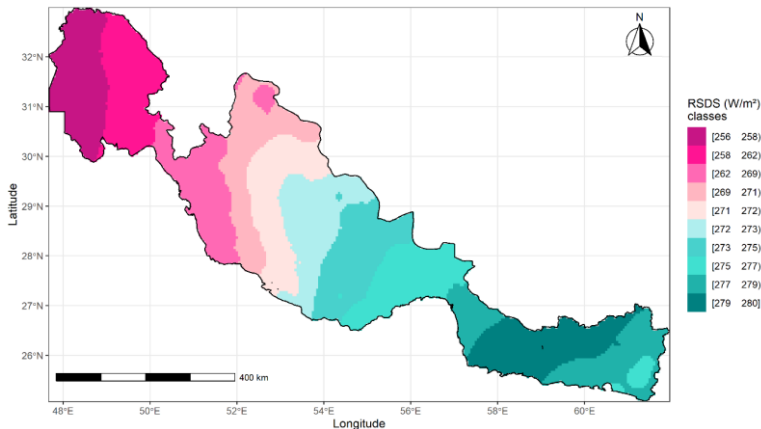
طبقات تابش موج بلند به ترتیب بیشترین مقدار در نیمه جنوبی سیستان و بلوچستان و مرکز هرمزگان و کمترین تابش موج بلند در نیمه شمالی استان‌های فارس و خوزستان مشاهده می‌شود. کل گستره استان‌های بوشهر، هرمزگان و نیمه جنوبی سیستان و بلوچستان بیشترین تابش موج بلند را به خود اختصاص داده‌اند و محدوده دارای تابش موج بلند کم در بیشتر محدوده



شکل ۷: نقشه درونیایی تابش موج بلند نزولی سطح زمین (RLDS) پیش‌نگری شده نوار جنوبی ایران با مدل GFDL-ESM4 در سال ۲۰۵۰ (منبع: نویسنده)

شکل ۸ نقشه درونیایی تابش موج کوتاه نزولی سطح زمین (RSDS) پیشنگری شده نوار جنوبی ایران با مدل GFDL-ESM4 در سال ۲۰۵۰ را نشان می‌دهد. اختلاف تابش موج کوتاه در این نقشه از ۲۸۰ تا ۲۵۶ وات بر متر مربع است که این طبقات تابش موج کوتاه به ترتیب بیشترین مقدار در نیمه جنوبی سیستان و بلوچستان و مرکز هرمزگان و کمترین تابش موج کوتاه در نیمه غربی استان خوزستان مشاهده می‌شود. کل گستره استان‌های هرمزگان، نیمه جنوبی سیستان و

بلوچستان و جنوب شرق فارس بیشترین تابش موج کوتاه را به خود اختصاص داده‌اند و محدوده دارای تابش موج کوتاه کم در کل گستره استان خوزستان، شمال بوشهر و نیمه غربی فارس دیده می‌شود. تابش موج کوتاه در کل محدوده مورد مطالعه از غرب به شرق افزایش پیدا کرده است. نیمه شرقی استان فارس و نیمه غربی استان هرمزگان طبقات متوسط تابش موج کوتاه این نقشه یعنی ۲۷۱ تا ۲۷۳ وات بر متر مربع را به خود اختصاص داده است.



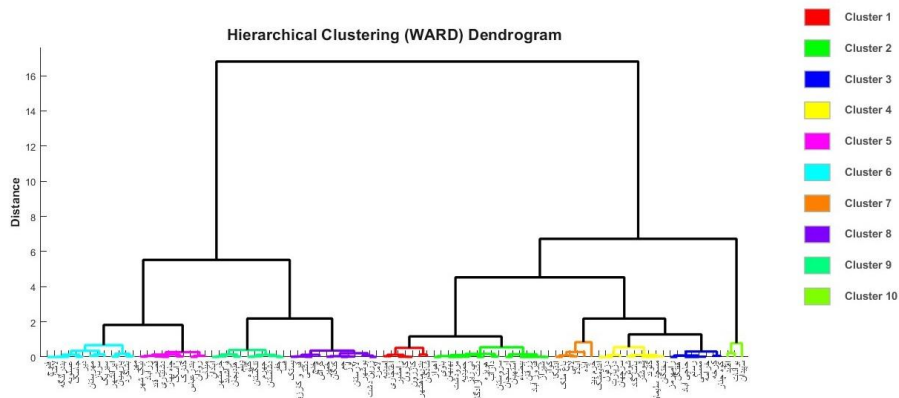
شکل ۸: نقشه درونیایی تابش موج کوتاه نزولی سطح زمین (RSDS) پیشنگری شده نوار جنوبی ایران با مدل GFDL-ESM4 در سال ۲۰۵۰ (منبع: نویسنده)

ظرفیت سنجی اقلیمی با محاسبه جداگانه متغیرهای دما، رطوبت و ... به دست نمی‌آید. برای اینکه اندازه‌گیری ظرفیت اقلیمی در این بخش به اثر هماهنگ همه عوامل حداقل دما، حداکثر دما، تابش موج بلند، تابش موج کوتاه، بارش سالانه، رطوبت و سرعت باد نیازمند است. لذا با استفاده از داده‌های این عوامل میانگین آن‌ها برای سال مطالعاتی ۲۰۵۰ برای تمام شهرستان‌ها محاسبه شد و به عنوان ماتریس ورودی تحلیل سلسله مراتبی در نظر گرفته شد. پس از آن برای محاسبه اثر تمامی عوامل تحلیل سلسله مراتبی برای داده‌های مهیا شده انجام گرفت. جدول ۳ نتایج تحلیل سلسله مراتبی این مطالعه را به تفکیک شهرستان نشان داده است. با تجزیه و تحلیل داده‌های جدول مشخص شد که شهرستان‌های سپیدان، بوانات و اقلید به ترتیب بیشترین امتیازات ممکن را در تحلیل ظرفیت اقلیمی نوار جنوبی ایران

در سال ۲۰۵۰ به دست آورده‌اند. همچنین ایستگاه‌های قصرقند، راسک و کنارک نیز به ترتیب کمترین امتیازات ممکن را در تحلیل مذکور به دست آورده‌اند. به این ترتیب ایستگاه‌های سپیدان با امتیاز ۱۴/۴۷ از نیمه شمالی فارس مطلوب‌ترین و کنارک با امتیاز ۷/۹۴ از نیمه جنوبی استان سیستان و بلوچستان نامطلوب‌ترین شهرستان‌های این مطالعه در ظرفیت اقلیمی سال ۲۰۵۰ معرفی می‌شوند. پس از انجام تحلیل سلسله مراتبی، برای اینکه ایستگاه‌های مورد نظر با توجه به داده‌های خود در عوامل مختلف گروه‌بندی شوند با استفاده از روش وارد خوشه‌بندی شدند. شکل ۹ دندروگرام حاصل از خوشه بندی وارد در این مطالعه را نشان می‌دهد. هدف از خوشه‌بندی یافتن بهترین خوشه دارای ظرفیت اقلیمی در سال ۲۰۵۰ در نوار جنوبی ایران بوده است. عوامل به کار گرفته شده در خوشه بندی در بخش داده‌ها شرح

جدول ۴ نشان داده شده است. با تجزیه و تحلیل داده‌های جدول مشخص شد که خوشه شماره ۱۰ شامل ایستگاه‌های اقلید، بوانات و سپیدان با کسب میانگین امتیاز ۱۴/۰۱ درصد مطلوب‌ترین خوشه در میزان ظرفیت اقلیمی در نوار جنوبی ایران در سال ۲۰۵۰ است. همچنین خوشه شماره ۳ شامل ایستگاه‌های کنارک، راسک، قصرقند، دشتیاری، چابهار، نیک‌شهر، زرآباد، میناب، رودان و بندرعباس با کسب میانگین امتیاز ۸/۰۶ درصد نامطلوب‌ترین خوشه در ظرفیت اقلیمی نوار جنوبی ایران در سال ۲۰۵۰ بوده است.

داده شده است. اعداد روی محور عرضی (Y) نشان‌دهنده فاصله (یا عدم تشابه) بین خوشه‌ها در طول فرایند ادغام سلسله مراتبی است. از آنجایی که از روش حداقل واریانس وارد استفاده شده است، این فاصله بر اساس افزایش کل واریانس درون خوشه‌ای زمانی که دو خوشه ادغام می‌شوند محاسبه می‌شود. طبق ارتفاع خوشه‌ها در دندروگرام خوشه ۱۰ و ۷ بالاترین امتیازات را کسب کرده و بیشترین شباهت را دارند. همچنین خوشه شماره ۵ که پایین‌ترین ارتفاع را دارد حاوی کمترین امتیازات بوده است. نتایج خوشه‌بندی در



شکل ۹: دندروگرام حاصل از خوشه بندی وارد در این مطالعه (منبع: نویسنده)

جدول ۳: نتایج تحلیل سلسله مراتبی این مطالعه به تفکیک شهرستان (منبع: نویسنده)

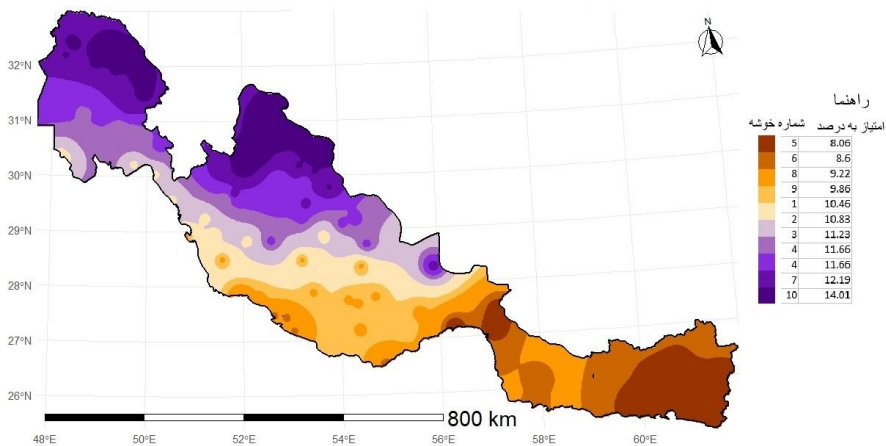
نام شهرستان	امتیاز از ۵	نام شهرستان	امتیاز به درصد	نام شهرستان	امتیاز به درصد	نام شهرستان	امتیاز به درصد
کنارک	۷/۹۵	ایرانشهر	۸/۷۶	تنگستان	۹/۸۱	حمیدیه	۱۰/۷۶
راسک	۷/۹۸	بشاگرد	۸/۸۵	چهرم	۹/۸۲	نی‌ریز	۱۰/۷۸
قصر قند	۸/۰۱	مهر	۸/۸۹	فراش بند	۹/۸۹	سروستان	۱۰/۸۲
دشتیاری	۸/۰۳	بوشهر	۹/۰۵	آبادان	۹/۹۲	داراب	۱۰/۸۵
چابهار	۸/۰۳	لامرد	۹/۱۲	خرمشهر	۹/۹۲	بیضاء	۱۰/۹۲
نیک‌شهر	۸/۰۶	زرین‌دشت	۹/۱۲	هندیجان	۹/۹۹	زرقان	۱۰/۹۲
زراباد	۸/۰۸	کنگان	۹/۱۸	دیلم	۱۰/۰۱	فیروزآباد	۱۰/۹۲
میناب	۸/۱۲	خمیر	۹/۱۹	شادگان	۱۰/۱۸	شیراز	۱۰/۹۳
رودان	۸/۱۸	جم	۹/۲۱	بندرماهشه	۱۰/۳۱	کوار	۱۰/۹۳
بندرعباس	۸/۱۸	اوز	۹/۲۱	رامشیر	۱۰/۵۱	استهبان	۱۱/۰۱
سیریک	۸/۳۲	لارستان	۹/۲۳	کارون	۱۰/۵۲	ارستان	۱۱/۰۲
مهرستان	۸/۴۱	بستک	۹/۲۸	کازرون	۱۰/۵۳	رامهرمز	۱۱/۱۵
سرباز	۸/۴۸	قیرو کارزین	۹/۲۹	آغاچاری	۱۰/۵۸	هفتکل	۱۱/۱۵
عسلویه	۸/۵۵	خنج	۹/۳۰	امیدیه	۱۰/۶۲	رستم	۱۱/۲۰
بندرلنگه	۸/۵۵	دشتی	۹/۳۰	دشت آزادگان	۱۰/۶۹	ممسنی	۱۱/۲۰
فنج	۸/۵۵	گراش	۹/۳۹	هويزه	۱۰/۶۹	حاجی‌آباد	۱۱/۲۰
لاشار	۸/۵۵	دشتستان	۹/۷۱	اهواز	۱۰/۷۳	خرامه	۱۱/۲۱
دیر	۸/۶۲	خفر	۹/۷۵	باوی	۱۰/۷۳	کرخه	۱۱/۲۳
جاسک	۸/۶۲	فسا	۹/۷۵	مرودشت	۱۰/۷۶	کوه‌چنار	۱۱/۲۰
پارسیان	۸/۷۳	گناوه	۹/۸۰	بهبهان	۱۰/۷۶	پاسارگاد	۱۱/۵۰
						اندیمشک	۱۱/۲۶
						دزفول	۱۱/۲۹
						سرچهان	۱۱/۸۸
						ایبده	۱۲/۲۷
						خرم‌بید	۱۲/۷۳
						اقلید	۱۳/۶۸
						بوانات	۱۳/۹۰
						سپیدان	۱۳/۳۷
						---	---
						---	---

جدول ۴: نتایج خوشه بندی این مطالعه (منبع: نویسنده)

شماره خوشه	ایستگاه های شامل	میانگین امتیاز به درصد
۵	کنارک، راسک، قصر قند، دشتیاری، چابهار، نیک‌شهر، زراباد، میناب، رودان، بندرعباس	۸/۰۶
۶	سیریک، مهرستان، سرباز، عسلویه، بندرلنگه، فنج، لاشار، دیر، جاسک، پارسیان، ایرانشهر، بشاگرد، مهر	۸/۶۰
۸	بوشهر، لامرد، زرین‌دشت، کنگان، خمیر، جم، اوز، لارستان، بستک، قیر و کارزین، خنج، دشتی، گراش	۹/۲۲
۹	دشتستان، خفر، فسا، گناوه، تنگستان، چهرم، فراش‌بند، آبادان، خرمشهر، هندیجان، دیلم	۹/۸۶
۱	شادگان، بندرماهشهر، رامشیر، کارون، کازرون، آغاچاری، امیدیه	۱۰/۴۶
۲	دشت آزادگان، هويزه، اهواز، باوی، مرودشت، بهبهان، حمیدیه، نی‌ریز، سروستان، داراب، بیضاء، زرقان، فیروزآباد، شیراز، کوار، استهبان، ارستان	۱۰/۸۳
۳	رامهرمز، هفتکل، رستم، ممسنی، حاجی‌آباد، خرامه، کرخه، کوه‌چنار	۱۱/۲۳
۴	پاسارگاد، شوش، مسجدسلیمان، شوشتر، گتوند، بختگان، دزپارت، اندیمشک، دزفول، سرچهان	۱۱/۶۶
۷	آباده، لالی، باغ‌ملک، اندیکا، ایبده، خرم‌بید	۱۲/۱۹
۱۰	اقلید، بوانات، سپیدان	۱۴/۰۱

خوزستان قرار دارد. بخش‌های کوچکی از شمال استان‌های هرمزگان و بوشهر نیز در محدوده مناطق مطلوب قرار گرفته است. وسیع‌ترین مناطق نامطلوب ظرفیت اقلیمی نیز در نیمه جنوبی سیستان و بلوچستان، کل محدوده استان هرمزگان و جنوب بوشهر قرار گرفته‌اند.

شکل ۱۰ نقشه درونیابی ظرفیت اقلیمی نوار جنوبی ایران در سال ۲۰۵۰ بر اساس سناریو SSP 245 مدل مدل GFDL-ESM4 گزارش ششم هیات بین‌الدولی تغییر اقلیم را نشان داده است. با بررسی نقشه مشخص شد که بیشترین وسعت مناطق مطلوب در ظرفیت اقلیمی در نیمه شمالی استان فارس و شمال شرق



شکل ۱۰: نقشه درونیابی ظرفیت اقلیمی نوار جنوبی ایران در سال ۲۰۵۰ بر اساس سناریو SSP 245 مدل مدل GFDL-ESM4 (منبع: نویسنده)

ESM4 گزارش ششم هیات بین‌الدولی

۴. نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم بررسی کرده است. در این مطالعه از روش تحلیل سلسله‌مراتبی جهت تفکیک مناطق مطلوب و نامطلوب در

این مطالعه ظرفیت اقلیمی نوار جنوبی ایران را در سال ۲۰۵۰ با استفاده از داده‌های سناریو SSP 245 از مدل GFDL-

سنجش ظرفیت اقلیمی استفاده شده است. روش تحلیل سلسله مراتبی یکی از روش‌های قدرتمند تفکیک و استخراج نقاط با هدف خاص در مطالعات با حجم عظیم داده است. در این روش نویسنده با امکان انتخاب عوامل مورد دلخواه و امکان وزن دهی متناسب به هر عامل می‌تواند نتایج نزدیک به واقعیت از مطالعه خود به دست آورد. پس از استخراج نتایج مشخص شد که نیمه شمالی استان فارس و شمال شرق استان خوزستان بیشترین امتیازات ممکن را نسبت به سایر مناطق به دست آورده اند و به عنوان مناطق مطلوب در ظرفیت اقلیمی نوار جنوبی ایران در سال ۲۰۵۰ معرفی می‌شوند. همچنین نیمه جنوبی استان سیستان و بلوچستان و کل استان هرمزگان کمترین امتیازات را نسبت به سایر مناطق کسب کرده‌اند و به عنوان مناطق نامطلوب در ظرفیت اقلیمی نوار جنوبی ایران در سال ۲۰۵۰ معرفی می‌شوند. با تحلیل شهرستانی نیز شهرستان سپیدان با کسب امتیاز ۱۴/۴۷ درصد در شمال استان فارس مطلوب‌ترین شهرستان و کنارک با امتیاز ۷/۹۴ درصد در نیمه جنوبی استان سیستان و بلوچستان نامطلوب‌ترین شهرستان این مطالعه در ظرفیت اقلیمی بودند. مهم‌ترین عوامل موثر در ظرفیت اقلیمی بارش سالانه، دما و رطوبت تشخیص داده شدند. در مقایسه با مطالعات گذشته Riagani et al., (2025) در مطالعه‌ای با هدف بررسی تغییر اقلیم آینده ایران، از مدل‌های اقلیمی جهانی (GCM) و سناریوهای انتشار RCP4/5 و RCP8/5 برای شبیه‌سازی شرایط اقلیمی در بازه زمانی ۲۰۲۵ تا ۲۰۴۵ استفاده کردند. نتایج نشان داد که میانگین دمای سالانه در اکثر مناطق ایران بین ۷/۵ تا ۲/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت، بارش سالانه در نواحی مرکزی و غربی کاهش می‌یابد. مطالعه

حال حاضر نتایج مطالعه قبلی را تأیید می‌کند. (Abbasi & Athamari., 2011) در پیش بینی و ارزیابی تغییرات دما و بارش ایران در دهه های آینده با الگوی MAGICC-SCENGEN به این نتیجه رسید که بر اساس مدل HadCM2 بارش‌های ایران تا سال ۲۱۰۰ حدود ۲/۵ درصد کاهش می‌یابد، در حالی که مدل ECHAM4 افزایش ۱۹/۸ درصدی بارش را پیش بینی کرده است. تحلیل منطقه‌ای مدل HadCM2 نشان داد که استان‌های شمالی مانند مازندران، گلستان، خراسان شمالی و تهران با افزایش بارش مواجه خواهند شد، در حالی که مناطق مرکزی و جنوبی کشور با کاهش بارش و افزایش دما روبه رو می‌شود. نتایج مطالعه حال حاضر در عین حال که بیشتر نتایج مطالعه گذشته را تأیید می‌کند اما نتیجه‌گیری مطالعه گذشته مبنی بر کاهش کلی بارش و افزایش کلی دما در جنوب ایران را تأیید نمی‌کند. چرا که با مقایسه بارش فعلی استان‌های فارس و خوزستان با بارش سال ۲۰۵۰ مشخص شد که بارش در این نواحی افزایشی خواهد بود. همچنین در مطالعه حال حاضر دما در نواحی شمالی استان فارس افزایش چندانی از خود نشان نداده است. در مطالعات گذشته در مطالعه (Burcu Circi et al., 2024) با عنوان پیش‌بینی رویدادهای خشکسالی هواشناسی در حوضه بالایی قزلباغ ترکیه تحت سناریوهای تغییرات آب و هوایی یافته‌های این مطالعه نشان داد که تحت سناریوی SSP 2-4/5، اثرات خشکسالی مرتبط با تغییر اقلیم تا سال ۲۱۰۰ کاهش خواهد یافت. از سوی دیگر، تعداد و شدت رویدادهای خشکسالی و همچنین مدت دوره‌های خشک، تا سال ۲۱۰۰ تحت سناریوی SSP 5-8/5 افزایش خواهد یافت. یافته‌های مطالعه گذشته با مطالعه حاضر منافات نسبی دارد، چرا که طبق پیش‌نگری

بارش در مطالعه حال حاضر بارش در کل منطقه مورد مطالعه کاهش یافته است و لذا اثرات خشکسالی کاهش نخواهد یافت. Ghorbani et al., (2024) در مطالعه‌ای با عنوان بررسی پیش‌نگری تغییر اقلیم بر پارامترهای دما، بارش و ساعات آفتابی با استفاده از برخی مدل‌های CMIP6 به این نتیجه رسید که دمای حداقل و حداکثر در دوره‌های آینده نسبت به داده‌های مشاهداتی دارای روند افزایشی خواهد بود. اما پارامتر بارش در بیشتر ماه‌ها دارای روند کاهش و در بعضی ایستگاه‌ها به صورت جزئی روند افزایشی داشت. نتایج این مطالعه با مطالعه حال حاضر مبنی بر افزایش حداقل دما و حداکثر کاهش کلی بارش در دوره‌های آتی همخوانی دارد. Saymohammadi et al., (2017) در مطالعه‌ای با عنوان پیش‌بینی دما و بارندگی ناشی از تغییر اقلیم: مورد ایران شبیه‌سازی تحت سناریوی A2 برای سه دوره زمانی (۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰) انجام داد. طبق مدل شبیه‌سازی شده بارش روند کاهش و دما روند افزایشی از خود نشان داد. نتایج این مطالعه نیز مورد تأیید مطالعه حال حاضر می‌باشد. با توجه اینکه در بیشتر مطالعات گذشته نیز مانند این مطالعه حداقل دما و حداکثر بارش ایران افزایشی و بارش سالانه کاهش یافته است، لازم است در مدیریت مصرف منابع طبیعی مانند آب یک تجدید نظر اساسی از سوی حاکمیت ایران و مردم صورت گیرد. از موثرترین مولفه‌های ظرفیت اقلیمی دما و بارش هستند که هر دو این پارامترها در ایران و جنوب آن وضع مطلوبی نخواهند داشت. ظرفیت اقلیمی در کل منطقه جنوب ایران نسبت به زمان حال حاضر نامطلوب پیش‌بینی شده است که می‌تواند عواقب ناخوشایندی برای جمعیت‌های این منطقه ایجاد کند. یافته‌های این مطالعه برای هر گونه برنامه‌ریزی توسعه‌ای در

جنوب ایران حیاتی ضروری هستند و لازم

است به آن توجه شود.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی: این پژوهش هیچ کمک مالی از سازمان های تأمین مالی دریافت نکرده است.
تعارض منافع: طبق اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.
برگرفته از پایان نامه / رساله: این مقاله برگرفته از پایان نامه / رساله نبوده است.

Reference

- Abbasi, F., and Athamari, M. (2011). Forecasting and assessing changes in temperature and precipitation in Iran in the coming decades using the MAGICC-SCENGEN model. *Water and Soil*, 25(1).

<https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.8507>

CMIP6 models. *Nivar*, 47(120-121), 71-88. doi: 10.30467/nivar.2023.38907 9.1240
- Ahmadi, Mahmoud and Kamangar, Muhammad . (2023). Forecasting extreme temperatures in the cold season of Iran using a multi-model Hamadi system with socio-economic scenarios of

– Arias, P. A., Bellouin, N., Coppola, E., & Zickfeld, K. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment... ResearchGate*; unknown.

https://www.researchgate.net/publication/356344795_Climate_Change_2021_The_Physical_Science_Basis_Contribution_of_Working_Group_I_to_the_Sixth_Assessme

- [nt Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Technical Summary#references](#)
- Climatology, 155(6), 5629–5646.
<https://doi.org/10.1007/s00704-024-04952-4>
- Barbulescu, A., Costache, R., & Dumitriu, C. Ş. (2025). Climate change and hydrological processes. *Water*, 17(10), 1474. <https://doi.org/10.3390/w17101474>
 - Bevacqua, E., Rakovec, O., Schumacher, D.L. et al. Direct and lagged climate change effects intensified the 2022 European drought. *Nat. Geosci.* 17, 1100–1107 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41561-024-01559-2>
 - Burcu Çirci, S., Selçuk, S. F., Selçuk, M., & Sarioğlu Cebeci, M. (2024). Projections of meteorological drought events in the upper Kızılırmak basin under climate change scenarios. *Theoretical and Applied*
 - Climate Model , (2022)- Surface Temperature Change: SSP1 (Sustainability) - 2015 - 2100
 - Dunne, J. P., Horowitz, L. W., Adcroft, A. J., Ginoux, P., Held, I. M., John, J. G., Krasting, J. P., Malyshev, S., Naik, V., Paulot, F., Shevliakova, E., Stock, C. A., Zadeh, N., Balaji, V., Blanton, C., Dunne, K. A., Dupuis, C., Durachta, J., Dussin, R., ... Gauthier, P. P. G. (2020). The GFDL Earth System Model version 4.1 (GFDL-ESM 4.1): Overall coupled model description and simulation characteristics. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 12(11). <https://doi.org/10.1029/2019MS002015>

- ECMWF. (2021). CMIP6 climate projections. Copernicus Climate Data Store. <https://doi.org/10.24381/cds.c866074c>
- European Commission. (2020). 2050 long-term strategy. Climate Action. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy_en
- Fuso Nerini, F., Mazzucato, M., Rockström, J., van Asselt, H., Hall, J. W., Matos, S., Persson, Å., Sovacool, B., Vinuesa, R., & Sachs, J. (2024). Extending the Sustainable Development Goals to 2050 — A road map. *Nature*, 630(8017), 555–558. <https://doi.org/10.1038/d41586-024-01754-6>
- Ghorbani Minaei, Leili, Zakerinia, Mehdi and Kalbali, Elham. (2024). Forecasting and assessing changes in precipitation and temperature based on CMIP6 models (Case study: Hashemabad station, Gorgan). *Climatological Research*, 2024(57), 211-228. doi: 10.22034/jcr.2024.198109
- Guruanand, C., Boomiraj, K., Geethalakshmi, V., Dheebakaran, G., Babu Rajendra Prasad, V., Naresh Kumar, S., Kokilavani, S., Gayathri, J., Nandhini, V., Senthilraja, K., Mohan Kumar, S., & Selvakumar, S. (2026). Revolutionising crop modelling and resource management by integrating deep learning - A review. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 175, 114455. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2026.114455>
- Hatami Bahman Bigloo, Khodakaram, Khoshal Dastjerdi, Javad. (2010). Climatic zones of Fars province by factor analysis.

- Geographical Space, 10(32), 135-150. SID. <https://sid.ir/paper/91624/fa>
- IPCC. (n.d.). Chapter 12: Climate change information for regional impact and for risk assessment. In AR6 WGI Report. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-12/>
 - Ishizaka, A., & Lusti, M. (2006). How to derive priorities in AHP: a comparative study. Central European Journal of Operations Research, 14(4), 387–400. <https://doi.org/10.1007/s10100-006-0012-9>
 - Jahn, Sally. 2023. “Health-relevant, compound ozone and temperature burden in Europe: statistical modeling and climate change projections.” Augsburg:Universität Augsburg.
 - Javan, Khadijeh and Azizzadeh, Mohammad Reza. (2024). Evaluation of different bias correction methods on precipitation forecast of GFDL-ESM4 model in Lake Urmia basin. Geography and Planning, 28(88), 415-397. doi: 10.22034/gp.2023.56731.3140
 - Kim, Y. and Evans, J. 2026, SDMBCv2 (v1.0): correcting systematic biases in RCM inputs for future projection, EGUsphere [preprint], <https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-6411>, 2026.
 - Koroozdeh, Mehsan, Amininia, Karim and Saghebian, Seyed Mehdi. (2024). Investigating the effects of climate change on droughts in Khorasan Razavi Province using the SPEI index. Climate Change Research, 5(19), 19-36. doi: 10.30488/ccr.2024.455649. 1213

- Li, J., Huo, R., Chen, H., Zhao, Y., & Zhao, T. (2021). Comparative assessment and future prediction using CMIP6 and CMIP5 for annual precipitation and extreme precipitation simulation. *Frontiers in Earth Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.687976>
- Li, Y., Huang, Y., Zhang, X., Jiang, Y., Jing, X., Deng, Y., Li, R., Jiang, D., & Mu, J. (2024). Ecosystem health assessment: A PSR analysis combining AHP and EW methods for Sansha Bay, China. *Frontiers in Marine Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1396026>
- Masoompour Samakosh, Soltani, Kobra , Jafar , Mojarrad, Firouz , Hadi Pour, Sahar و Jalilian, Abdollah . (2023). Spatial Changes of Seasonal Reference Evapotranspiration in Iran Based on CMIP6 Models. *Earth and Space Physics*, 49(4), 175-192. doi: 10.22059/jesphys.2023.364373.1007556
- Mazedi, A., Enayatpour, M., and Hosseini, S. S. (2021). Determining the climate of Kerman province using the methods of ambrothermal curve, Dumartin aridity coefficient, and Amberger climatology. *Geography and Human Relations*, 4(2), 35–43. <https://doi.org/10.22034/gahr.2021.287987.1565>
- Naderi, M., Talebi Ardeh, F., Abedi, F., & Masoumi, Z. (2025). Impact of land-use and climate change on future extreme flows: A study for three dam watersheds in Alborz and Tehran provinces of Iran. *Applied Water Science*, 15(3). <https://doi.org/10.1007/s13201-025-02396-3>

- Najafi, M. R., Abbasian, M., Na, W., RahimiMovaghar, M., Bakhtiari, S., Islam, M. R., Fereshtehpour, M., Pirani, F. J., & Rezvani, R. (2024). Multi-model projection of climate extremes under 1.5°C–4°C global warming levels across Iran. *International Journal of Climatology*.
<https://doi.org/10.1002/joc.8740>
- NASA. (2019). Water cycle and precipitation research page.
<https://science.gsfc.nasa.gov/earth/climate/researchareas/155>
- Niroumandfard, Fariba , Khashaei-Siouki, Abbas , Hashemi, Seyed Reza Hashemi and Ghorbani, Khalil . (2022). Investigating climate change forecasting on temperature and precipitation parameters using CMIP6 models (Case study: Birjand station). *Iranian Soil and Water Research*, 53(9), 2009-2026.
doi:
10.22059/ijswr.2022.343936.669284
- NOAA GFDL. (2022). Earth System Model (ESM4). Geophysical Fluid Dynamics Laboratory.
<https://www.gfdl.noaa.gov/earth-system-esm4/>
- Pierce, D., Rahimi, S., Cayan, D., & Kalansky, J. (2023). Data adoption justification memo (for California’s Fifth Climate Change Assessment): Bias correction in the WRF and LOCA version 2 projections. California Energy Commission.
https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2024-03/01_BiasCorrectioninWRF_and_LOCA2Projections_DataJustificationMemo_Pierce_Adopted_ada.pdf
- Rezaei, H., Pashapour, H. A., and Sadeghi, F. (2024). Performance evaluation of

- CMIP6 models and forecasting temperature and precipitation changes under shared socio-economic trajectory (SSP) scenarios in Iran. *Strategic Futures Studies Quarterly*, 3(10), 7–30.
- Riagani, B., Barati Ghahfarkhi, S., and Hosseini Taifeh, F. (2025). Study of climatic conditions in the next 20 years in different regions of Iran. *Environment and Cross-Sectoral Development*, 10(88), 19–33.
<https://doi.org/10.22034/env.j.2025.506657.1470>
 - Rodrigo, F. S. (2023). Spatiotemporal variability of the relationship between seasonal temperatures and precipitation in Spain, 1951–2019. *Theoretical and Applied Climatology*, 153, 1371–1391.
<https://doi.org/10.1007/s00704-023-04550-w>
 - Saaty, T. L. (1994). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *Interfaces*, 24(6), 19–43.
<https://doi.org/10.1287/inte.24.6.19>
 - Sari Saraf, Behrouz, Rostamzadeh, Hashem and Mohammadi, Nabi. (2022). Precipitation forecasting using CMIP6 models until the end of the 21st century in northwest Iran. *Geography and Environmental Hazards*, 13(1), 173-194. doi: 10.22067/geoeh.2022.76646.1223
 - Saymohammadi, S., Zarafshani, K., Tavakoli, M., Mahdizadeh, H., & Amiri, F. (2017). Prediction of climate change induced temperature and precipitation: The case of Iran. *Sustainability*, 9(1), 146.
<https://doi.org/10.3390/su9010146>

- Soltani, Kobra, Masoumpour, Samakoosh, Jafar, Mojared, Firouz, Hadipour, Sahar, and Jalilian, Abdollah. (2023). Analysis of trends and spatial variability of land in the future climate of Iran. *Natural Geography Studies*, 55(2), 25–50. doi: 10.22059/jphgr.2023.36133 9.1007777

Voldoire, E. Volodin, K. Wyser, X. Xin, R. Xinyao, S. Yang, Y. Yu, and T. Ziehn, 2021: Climate model projections from the Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) of CMIP6. *Earth Syst. Dyn.*, 12, no. 1, 253-293, doi:10.5194/esd-12-253-2021.
- Tebaldi, C., K. Debeire, V. Eyring, E. Fischer, J. Fyfe, P. Friedlingstein, R. Knutti, J. Lowe, B. O'Neill, B. Sanderson, D. van Vuuren, K. Riahi, M. Meinshausen, Z. Nicholls, G. Hurtt, E. Kriegler, J.-F. Lamarque, G. Meehl, R. Moss, S.E. Bauer, O. Boucher, V. Brovkin, J.-C. Golaz, S. Gualdi, H. Guo, J.G. John, S. Kharin, T. Koshiro, L. Ma, D. Olivie, S. Panickal, F. Qiao, N. Rosenbloom, M. Schupfner, R. Seferian, Z. Song, C. Steger, A. Sellar, N. Swart, K. Tachiiri, H. Tatebe, A.

– Temesgen Gashaw, Abeyou Abeyou, Meron Taye, Haileyesus Belay Lakew, Abdulkarim Seid, Amare Hailesslassie. (2024). Performance evaluations of CMIP6 model simulations and future projections of rainfall and temperature in the Bale Eco-Region, Southern Ethiopia. *Theoretical and Applied Climatology*, 155, pp. 5069-5092.
- Usta, D. F. B., Teymouri, M., & Chatterjee, U. (2022). Assessment of temperature changes over Iran during the twenty-first century using

- CMIP6 models under SSP1-2.6, SSP2-4.5, and SSP5-8.5 scenarios. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(5). <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09709-9>
- Vargas Godoy, M. R., and Coauthors, 2025: Which Precipitation Dataset to Choose for Hydrological Studies of the Terrestrial Water Cycle?. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 106, E2000–E2016, <https://doi.org/10.1175/BA-MS-D-24-0306.1>.
 - Ward, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58, 236–244. <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>
 - Yousefi, Hossein , Pirbazari, Saman , Moridi, Ali , Khajehpour, Hossein , Karbasi, Hanieh Sadat and Fathi, Touraj . (2021). Study of temperature changes in Iran due to climate change. *Water and Irrigation Management*, 11(2), 237-248. doi: 10.22059/jwim.2021.324760.875